

Министерство образования и науки Российской Федерации
Администрация Алтайского края
Ассоциация технологов-машиностроителей Российской Федерации
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
Новосибирский государственный технический университет
Кузбасский государственный технический университет
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Инновации в машиностроении – основа технологического развития России

Материалы VI международной научно-технической конференции
23 – 26 сентября 2014 года

Часть 1

Изд-во АлтГТУ
Барнаул • 2014

УДК 621:658.011.8

Инновации в машиностроении – основа технологического развития России : материалы VI международной научно-технической конференции : Часть 1 / под. ред. А. Г. Сулова, А. М. Маркова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. – 290 с.

ISBN 978-5-7568-1068-4 (ч. 1)

ISBN 978-5-7568-1067-7

В сборнике опубликованы материалы исследований ведущих ученых в рамках тематики VI международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении - основа технологического развития России».

Освещены актуальные вопросы по проблемам современных технологий изготовления деталей и сборки машин, прогрессивные технологические процессы заготовительного производства, упрочняющие технологии и функциональные покрытия, вопросы автоматизации производства.

Редакционная коллегия:

Ситников А.А.

Сулов А.Г.

Леонов Г.В.

Марков А.М.

Батаев А.А.

Блюменштейн В.Ю.

Овчаренко А.Г.

Рахимьянов Х.М.

Татаркин Е.Ю.

ISBN 978-5-7568-1068-4 (ч. 1)

ISBN 978-5-7568-1067-7

© Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Абабков Н.В., Смирнов А.Н., Быкова Н.В. Разработка экспериментальной установка для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля	7
Аверченков А.В., Кукло Е.Ю. Определение себестоимости операций фрезерования при помощи математической модели	13
Акиньшин Р.Н. Расчет составляющей профиля шероховатости поверхности, обусловленной пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки, при точении	19
Алексеев А.П., Баранов П.А. Анализ существующих технологий изготовления деталей крепления	25
Антонец И.В., Терешенок А.П. Новые весоизмерительные системы с демпфирующими элементами	30
Ардашев Д.В. Проектирование операций шлифования на основе групповой технологии	36
Афанасенков М.А. Комплексные методики формирования функциональных слоев на поверхности режущего инструмента	42
Бабичев А.П., Бабичев И.А., Мотренко П.Д., Пастухов Ф.А., Эль Дакдуки Ахмад. Виброударная и виброволновая упрочняющая обработка в технологии изготовления и ремонта деталей транспортных средств (на примере летательных аппаратов, автомобильного и ж.д. транспорта)	47
Балашов А.В., Верховская А.А., Потапов И.С. Способы управления точностью изготовления нежестких корпусных деталей	54
Беляев В.Н. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей при обкатывании	59
Блюменштейн В.Ю., Махалов М.С. Состояние металла поверхностного слоя деталей машин при обработке ППД сложнопрофильным инструментом	61
Бондарев А.А., Полянчиков Ю.Н., Ингеманссон А.Р., Крайнев Д.В. Повышение эффективности токарной обработки конструкционных углеродистых и легированных сталей	68
Бочкарёв П.Ю., Митин С.Г., Бокова Л.Г. Формирование принципов разработки механообрабатывающих операций на основе взаимодействия автоматизированных систем конструкторского и технологического проектирования	73

Бржозовский Б.М., Захаров О.В., Усынин С.М. Математическая модель центрирования заготовок по окружности минимальной зоны	78
Булатов О.Н., Кораблева Н.Ю., Ковеленов Н.Ю., Пономаренко В.А., Радциг Н.М. Исследование влияния износостойкого покрытия на режущие свойства СМП на основе СВН	82
Буров В.Г. Упрочнение стальных изделий износостойкими покрытиями из композиционных материалов, проблемы и пути их решения	87
Бутенко В.И. Инновационные технологии создания многокомпонентных слоёв на поверхностях деталей трибосистем	93
Верещагин П.В., Свиридов И.А. Использование многогранных заготовок для получения высоких стаканов	98
Верещагин П.В., Хоробрых С.А. Теоретический анализ второй операции ступенчатого обжима оболочек пуль	102
Газизуллин К.М., Салтанаева Е.А., Ганиев И.М. Изготовление отверстий в твердом сплаве	107
Гаспарова Л.Б., Гаспаров Э.С., Синев А.В. Использование методов виброакустической диагностики и мониторинга технического состояния шпиндельных узлов	112
Гаспарова Л.Б., Губин С.А. Сквозная компьютерная подготовка студентов машиностроительного профиля	115
Гилета В. П., Асанов В. Б., Безнедельный А.И. Упрочняюще-чистовая обработка деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС)	118
Гилета В.П., Барис А.В. Волновая передача с гибким колесом в виде пальцевой цепи	124
Горин Е.Ю., Кряжев А.Ю., Татаркин Е.Ю., Кряжев Ю.А. Прогнозирование качества обработанной поверхности при фрезеровании на станках с ЧПУ	129
Демин А.А., Титов И.А. Сборка прессовых соединений с разупрочнением поверхности детали охватываемой	134
Дробышев В.М., Фирсов А.М., Калистру В.А, Трапеев И.В. Влияние тепловых деформаций на отклонение формы базовых отверстий корпусных деталей сложной формы	137

Зубарев Ю.М., Косаревский С.В. Перспективные методы контроля резьбы на координатных измерительных системах	142
Зубарев Ю.М., Круглов А.И., Афанасенков М.А. Синергетические процессы, происходящие в поверхностных слоях металла при ионно-вакуумной модификации режущего инструмента	148
Ильиных А.С. Особенности формирования технологического процесса при упругой подвеске шлифовальной головки	152
Кадочникова А.Р. Анализ параметров сборки и общего уровня вибрации подшипников качения с позиции технологического наследования	158
Калистру В.А., Антонова А.А. Использование устройств виртуальной реальности в совершенствовании образовательного процесса в области машиностроения	163
Киселев Е.С. Благовский О.В. Особенности формирования фазового состава поверхностного слоя деталей из титановых сплавов при комбинированной обработке с ультразвуком	167
Кисель А. Г. Повышение эффективности токарной обработки за счет научно обоснованной методики подбора смазочно-охлаждающей жидкости	172
Козицын А.В., Ромашев А.Н. Реверсивный резбонарезной патрон	178
Косов М.Г., Кузнецов А.П., Гришина Т.Г., Капитанов А.В., Толкачёва И.М. Трибозкология – новое научное направление	182
Косов М.Г., Кузнецов А.П., Гришина Т.Г., Толкачёва И.М., Капитанов А.В. Методы моделирования точности технологического оборудования	187
Косов М.Г., Толкачёва И.М., Гришина Т.Г., Капитанов А.В., Искра Д.Е. Метод декомпозиции в оценке точности технологического оборудования	193
Кречетов А.А. Расчет усилий обработки на основе решения контактной задачи взаимодействия обрабатываемой детали и инструмента методом конечных элементов	196
Кречетов А.А., Трухманов Д.С. Применение наносетей из углеродных нанотрубок в качестве чувствительных элементов тензометрических датчиков в системах диагностики состояния конструкций	202
Кузнецов В.П., Горгоц В.Г., Скоробогатов А.С., Анисимова Г.С. Теплофизические основы наноструктурирующего выглаживания	208
Ле Суан Хонг Анализ и оценка перспектив развития полупроводниковых преобразователей на полностью управляемых полупроводниковых приборах для транспортных систем электропривода	214

<p>Логинова М.В., Филимонов В.Ю., Яковлев В.И., Ситников А.А., Негодяев А.З., Афанасьев А.В., Шрейфер Д.В. Эволюция структурно-фазовых превращений в механоактивированной порошковой смеси $3\text{Ti}+\text{Al}$ при проведении синтеза в условиях объемного воспламенения</p>	217
<p>Макаров В. Ф., Пепельшев А. В. Растровый метод фрезерования на станках с ЧПУ</p>	222
<p>Макаров В.Ф., Владыкин А.В., Сибирева О.А. Особенности скоростного электроэрозионного сверления отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных сплавов с керамическим покрытием ...</p>	226
<p>Макаров В.Ф., Никитин С.П. Теория и практика разработки и применения высокоэффективных научно-технологических производств газотурбинных двигателей</p>	230
<p>Макаров В.Ф., Никитин С.П. Исследование влияния параметров динамической системы станка и глубинного шлифования на повышение качества и усталостной прочности лопаток турбин</p>	240
<p>Макаров В.Ф., Горбунов А. С. Повышение эксплуатационной надежности спиральноконических шестерен путем последовательной упрочняющей обработки дна впадины между зубьями</p>	247
<p>Марков А.М., Габец Д.А., Габец А.В., Некрасов В.Н., Каргин В.В. Методика испытания материалов на износостойкость</p>	253
<p>Марков А.М., Ромашев А.Н., Перепелкин П.В., Дубаносов А.В., Кудрявцев А.С. Конструирование и исследование поведения пьезокерамических многоэлектродных датчиков для регистрации силовых параметров процесса резания</p>	259
<p>Маркова М.И. Автоматизация технологической подготовки производства</p>	268
<p>Мирошин И.В., Петренко К.П. Исследование микроструктуры поверхностного слоя при алмазном выглаживании</p>	273
<p>Михайлов С.В., Ковеленов Н. Ю., Михайлов А.С. Проектирование и освоение производства сложнопрофильных токарных пластин с расширенными технологическими свойствами</p>	276
<p>Морозова А.В., Киричек А.В., Тарасов Д.Е., Алисова М.В. Сравнительный анализ субъектно-ориентированных идентификационных систем агентов социально-профессионального пространства (на примере молодых специалистов машиностроительного профиля)</p>	280

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РОТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН ПО ОСЕВОМУ КАНАЛУ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Н.В. Абабков, к.т.н., **А.Н. Смирнов**, д.т.н., профессор,

Н.В. Быкова, соискатель

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово

В статье рассмотрены виды разрушений роторов паровых турбин. Изучены причины разрушения роторов паровых турбин и существующие методы контроля и диагностики. На основе проведенного анализа предложена экспериментальная установка для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля

Ключевые слова: диагностика, ротор паровой турбины, осевой канал, спектрально-акустический метод, разрушение, трещина.

В практике эксплуатации паровых турбин известны серьезные аварии в результате повреждения роторов. Большое внимание привлекли следующие случаи: авария на тепловой электростанции в США (штат Теннесси, 1974 г.); авария в России на Каширской ГРЭС-4 (октябрь 2002 г.); авария в Украине на одном из энергоблоков Приднепровской ТЭС (2007 г.); авария в России на ООО «Западно-Сибирский Metallургический Комбинат» (2010 г.) [1].

Роторы представляют собой один из самых ответственных узлов паровой турбины. Они несут на себе рабочие лопатки, образующие вместе с направляющими лопатками, расположенными в корпусе цилиндра, проточную часть турбины, и передают на генератор крутящий момент, возникающий от окружного усилия, развиваемого потоком пара на лопатках [1].

Конструкции роторов и применяемые при их изготовлении материалы определяются особенностями и условиями их работы: высокой частотой вращения, значительными усилиями от центробежных сил, длительным воздействием высоких температур и быстрым их изменением, коррозионно-эрозионным разрушением металла.

Составные роторы являются одной из разновидностей роторов с насадными дисками.

Для роторов и валов турбин используют высокопрочные углеродистые или легированные релаксационно-устойчивые жаропрочные стали. Материалом дисков служат как простая углеродистая сталь, так и специальные стали (хромоникелевая, хромо-молибденовая и другие).

Для цельнокованых и комбинированных роторов ЦВД и ЦСД наиболее часто употребляются стали марок ЭИ 415 (20ХЗМВФ), Р2 (25Х1М1Ф), Р2МА (25Х1М1ФА), ЭИ 572, обладающие высоким сопротивлением ползучести и термической усталости.

Для роторов НД применяются стали марок 34ХНЗМ, 34ХМ, обладающие высокой статической прочностью, вязкостью разрушения и высоким

сопротивлением коррозионному разрушению. Валы роторов с насадными дисками, сами диски и другие насадные детали изготавливаются чаще всего из стали марок 34ХЗМ, 35Х12Ф, 35ХМЮА; 34ХН1МА; 34ХНЗМА; 35ХНЗМФАР.

Во время плановых остановов при проведении диагностики роторов обнаруживаются дефекты, требующие устранения. Наиболее часто встречаются следующие неисправности.

- Увеличенный статический прогиб роторов;
- Абразивный, эрозионный износ, "коррозионное растрескивание под напряжением" и "коррозионное усталостное растрескивание" в разгрузочных отверстиях роторов и в ступицах дисков.
- Коррозионные повреждения роторов, включая все детали (стояночная коррозия), происходящие при длительных простоях оборудования без консервации.
- Повреждения шеек роторов, происходящие вследствие полного или частичного прекращения подачи масла в подшипники, а также использования грязного или обводненного турбинного масла.
- Трещины, в осевых каналах роторов высокого и среднего давления, работающих в зоне высоких температур, происходящие, как правило, из-за термической усталости или дефектов изготовления.

Исходя из вышеперечисленного, одной из главных причин аварий и катастрофических разрушений роторов турбин является накопление усталостной поврежденности вследствие крутильных колебаний ротора (рис. 1, б). Появление трещин на расточках, в ободьях дисков и придисковых галтелях высокотемпературных роторов возможно вследствие исчерпания длительной прочности материала (рис. 1, а). Появление трещин на поверхности цельнокованых роторов в зоне концевых и диафрагменных уплотнений и в придисковых галтелях происходит чаще всего вследствие термической усталости материала. Появление трещин вследствие коррозии под напряжением наблюдается на расточках насадных дисков, в ободьях, галтелях и разгрузочных отверстиях насадных дисков [1].



а)



б)

Рисунок 1 - Виды повреждений роторов турбин:

а – трещина в расточке; б – разрушение ротора из-за многоциклового усталости

В промышленных условиях [2] для обнаружения этих и других дефектов и повреждений используют следующие методы неразрушающего контроля (рис. 2): визуально-измерительный метод; вибрационная диагностика; магнитопорошковый метод; ультразвуковой метод; капиллярный метод; вихретоковый метод.

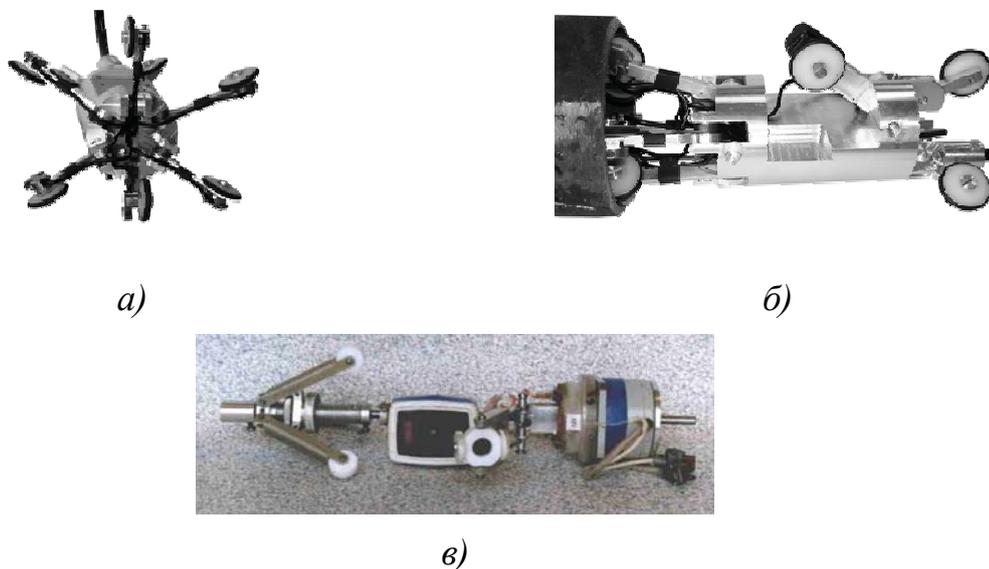


Рисунок 2 - Разновидности установок для контроля валов роторов паровых турбин по осевому каналу:
а – ультразвуковой метод; *б* – ультразвуковой метод и визуально-измерительный метод; *в* – вихретоковый метод

Методы неразрушающего контроля, применяемые в настоящее время, используются в основном для обнаружения существующих дефектов и не позволяют, в необходимой мере, определять степень изменения структуры металла в процессе длительной эксплуатации. В этом отношении перспективны акустические, в частности, спектрально-акустический метод («АСТРОН»).

Исходными данными для проектирования экспериментальной установки будут являться такие параметры как: диаметр и длина осевого канала вала ротора паровой турбины, шероховатость поверхности осевого канала, контактная жидкость и др.

Конструктивно валы роторов паровых турбин изготавливают с осевыми каналами, которые предназначены для проведения технической диагностики с применением неразрушающих методов контроля во время плановых остановов паровых турбин. Диаметр осевого канала вала ротора паровой турбины варьируется в пределах от 70 до 90 мм. Поэтому диаметр самой установки предлагается сделать 65 мм во избежание застревания ее в осевом канале. Длина установки также варьируется в пределах от 450 мм для меньшего диаметра осевого канала и 350 мм для наибольшего значения диаметра осевого канала. В связи с этим для обеспечения устойчивости установки с обоих концов установки будет по три опоры в виде роликов, с помощью которых также будет

осуществляться продольное перемещение установки по осевому каналу. Необходимое прижатие опор-роликов к стенкам осевого канала будет обеспечено при помощи гаечной распорки. В центральной части установки располагаются три отверстия – канала. Через первый будет подаваться контактная жидкость, во втором будет расположен датчик, в третьем – губка для сбора контактной жидкости. Необходимое прижатия будет обеспечено при помощи пружин в каждой втулке. Контактную жидкость планируется подавать через гибкий резиновый шланг небольшого сечения – до 5 мм.

Описание установки (рис. 3).

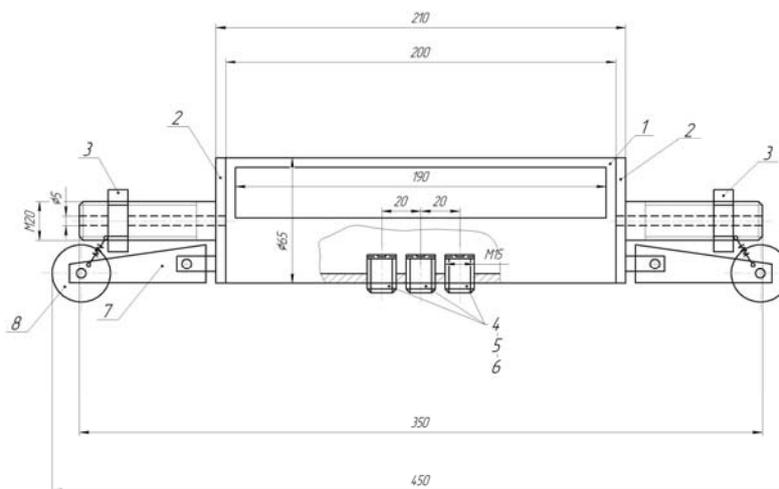


Рисунок 3 - Эскиз экспериментальной установки для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля

Для обеспечения устойчивости установки с обоих концов установки будет по три опоры 7 в виде роликов 8, с помощью которых также будет осуществляться продольное перемещение установки 2 по осевому каналу. В центральной части установки располагаются три отверстия – канала. Через первый 4 будет подаваться контактная жидкость, во втором 5 будет расположен датчик, в третьем 6 – губка для сбора контактной жидкости.

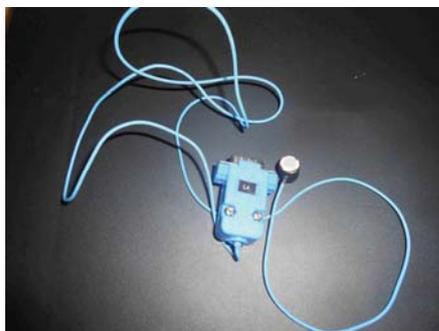
В установке планируется использование двух типов датчиков: датчика продольных волн и датчика поверхностных акустических (Релеевских) волн. В связи с тем, что валы роторов паровых турбин имеют большую протяженность – до 20 000 мм, то возникает необходимость в кабеле соответствующей длины. К размерам датчиков предъявляются также требования по размерам. В частности, в связи с тем, что втулки имеют внутреннюю полость диаметром всего 11 мм, то и диаметр датчиков соответственно не должен превышать 11 мм.

В качестве контактной жидкости планируется использовать: для датчика продольных волн дистиллированную воду; для датчика поверхностных акустических (Релеевских) волн – глицерин.

Согласно проведенным расчетам были выбраны и описаны типы датчиков, которые будут использоваться в экспериментальной установке для

диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля. После этого данные датчики были изготовлены совместно с ООО «Интеллект-НН», г. Нижний Новгород.

Ниже приведены фотографии изготовленных датчиков (рис. 4,5, *а* и *б*).



а)



б)

Рисунок 4 - Датчик продольник волн:

а – 4 КГц; *б* – 6 КГц



а)



б)

Рисунок 5 - Датчик поверхностных акустических (Релеевских) волн:

а – 4 КГц; *б* – 6 КГц

Выводы:

Выполнены все необходимые расчеты и эскизов проекта установки для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля. Подготовлены чертежи, и описание установки для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля. Выбраны и описаны типы применяемых в установке датчиков, а также рассчитаны их геометрические размеры.

Библиографический список

1. Смирнов, А.Н. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин (обзор) / А.Н. Смирнов, Н.В. Быкова, Н.В. Абабков и др. // Вестник КухзГТУ. – 2014. – №2. – С. 38–46.
2. Пчелкин, А.Б. Анализ систем диагностики роторов паровых турбин в России и Европейском союзе / А.Б. Пчелкин, А.А. Любимов // Энергетик. – 2013. – №12. – С. 26–28.

THE DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL SETUP FOR THE DIAGNOSIS OF STEAM TURBINE ROTORS ALONG THE AXIAL CHANNEL USING SPECTRAL-ACOUSTIC METHOD OF CONTROL

N.V. Ababkov, A.N. Smirnov, N.V. Bykova

The article discusses types of destruction of steam turbine rotors. The causes of the destruction of steam turbine rotors and the existing methods of monitoring and diagnostics are studied. The experimental setup for the diagnosis of steam turbine rotors along the axial channel using spectral-acoustic method of control on the basis of analysis.

Keywords: *diagnosis, steam turbine rotor, axial channel, spectral-acoustic method, fracture, crack.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ОПЕРАЦИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

А.В. Аверченков, д.т.н., профессор, **Е.Ю. Кукло**, аспирант
Брянский государственный технический университет, г. Брянск

Проведено математическое моделирование себестоимости операций фрезерования перетачиваемым инструментом и со сменными многогранными пластинами. Рассмотрены вопросы использования полученной модели в автоматизированной системе выбора режущего инструмента и назначения режимов резания для снижения себестоимости механообработки.

Ключевые слова: автоматизированная система, выбор инструмента, математическая модель, оптимизация, режимы резания, снижение себестоимости.

Промышленное предприятие может увеличить свою прибыль путем повышения дохода и снижения убытков. На начальных этапах жизненного цикла продукции - конструкторско-технологического проектирования и изготовления можно существенно повлиять на себестоимость изделия и таким образом на прибыль предприятия. Эффективность процесса механообработки существенно влияет на себестоимость детали. Правильно выбранный инструмент, при его эффективном использовании с высокопроизводительными режимами резания, может значительно сократить себестоимость изготовления детали, тем самым увеличив рентабельность производства.

Структура затрат предприятия и режимы резания оказывают большой эффект на стоимость готовых деталей по сравнению со сроком службы инструмента и его стоимостью. Согласно исследованиям ведущего производителя инструмента Sandvik Coromant [1] выгоднее использовать более дорогие инструменты, работающие на более высоких режимах резания, чем использовать дешевые инструменты с низкой производительностью. Так, например, увеличение режимов резания на 20% снизит затраты на производство более чем на 10%, поскольку это уменьшит машинное время, затраты на эксплуатацию металлорежущего оборудования и накладные расходы, в которых учитывается зарплата операторов. А увеличение срока службы инструмента на 50% или снижение его стоимости на 30% приведет к общему снижению затрат на изготовление одной детали всего лишь на 1-2%, так как затраты на инструменты, по исследованиям ведущих производителей инструмента [2], в среднем составляют 3-5% от производственных затрат.

Суммарная себестоимость обработки является наиболее объективным критерием оценки эффективности применения инструмента. Именно ее снижение приводит к уменьшению себестоимости изделия. Ее можно рассчитать по формуле, предложенной в [3]:

$$C = B_c t_m + B_c t_{cm} \frac{t_m}{T} + \Gamma_u \frac{t_m}{T} \quad (1)$$

где B_c – полная себестоимость одной минуты работы станка и станочника без затрат на режущий инструмент; t_m – машинное время обработки; t_{cm} – время смены затупившегося инструмента; Γ_u – затраты,

обусловленные эксплуатацией режущего инструмента за период его стойкости между переточками; T – стойкость инструмента.

Приведенная формула применяется для перетачиваемого инструмента, но не учитывает особенности сменных многогранных пластин (СМП). Для этого случая, с учетом амортизацию приобретаемого инструмента, в исследовании предлагается использовать зависимость [4]:

$$C = B_c t_m + B_c t_{cm} \frac{t_m}{T} + \left(\frac{\Gamma_\Phi}{T_\Phi} + \frac{z\Gamma_\Pi}{n_c} \right) \frac{t_m}{T} \quad (2)$$

где Γ_Φ – стоимостью корпуса фрезы, T_Φ – его ресурс; Γ_Π – стоимость СМП; z – число зубьев фрезы; n_c – число режущих кромок пластины.

Зачастую присутствие оператора необязательно во время всего процесса обработки, а только для смены инструмента и заготовки, наладки станка и запуска программы обработки. Тогда предложенная формула примет следующий вид:

$$C = \frac{t_m}{T} \left(B_c T + \frac{\Gamma_\Phi}{T_\Phi} + \frac{z\Gamma_\Pi}{n_c} \right) \quad (3)$$

Следует заметить, что себестоимость обработки зависит от времени обработки и стойкости инструмента, в то время как оставшиеся составляющие постоянны (параметры инструмента, стоимость, время замены, нормативы оплаты труда). Однако, как время обработки, так и стойкость инструмента не являются регулирующими параметрами (т.е. которые можно изменять напрямую) при механообработке, поэтому больший интерес представляет зависимость от параметров, которые непосредственно определяют стойкость инструмента и время обработки. Переход к ней можно произвести используя известные зависимости скорости резания от частоты вращения шпинделя и основного закона стойкости, а также используя известные формулы расчёта времени обработки [5]:

$$T = \frac{C^v D^q}{v^m a_p^x f_z^y a_e^u z^p} k_v \quad (4)$$

$$t_m = \frac{kL}{nzf_z} = \frac{kL\pi D}{1000vzf_z} \quad (5)$$

где C_v – коэффициент влияния материалов заготовки и фрезы; D – диаметр фрезы; v – скорость резания; f_z – подача на зуб; t , L , B – глубина, длина и ширина фрезерования; q , m , x , y , u , p – показатели степени; k – количество проходов, для обработки припуска по всей глубине резания; k_v – поправочный коэффициент на изменённые условия обработки; n – частота вращения.

Перечисленные показатели степеней и коэффициенты для отечественных инструментов можно найти в справочных таблицах, однако для современных зарубежных инструментов они не задаются. Для них стойкость инструмента является не расчетным, а исходным параметром. В каталогах обычно указываются скорость резания, с расчетом стойкости 15 мин., а также зависимости ее от твердости обрабатываемого материала (k_{HB}) и расчётной стойкости. Действительную скорость резания можно найти по формуле [6]:

$$v_d = v_s k_{HB} k_T k_h \quad (6)$$

где v_s – скорость резания при $T = 15$ мин., твердости заготовки 180 НВ; k_{HB} – коэффициент зависимости скорости резания от твердости материала; k_h – коэффициент зависимости скорости резания от средней толщины стружки; k_T – поправочный коэффициент на действительное время контакта.

Поправочный коэффициент k_{HB} можно найти напрямую из таблиц, зная группу обрабатываемого материала и его твердость [7].

Таблица 1 - Значения поправочного коэффициента k_{HB}

Группа материала	Твердость материала			
	140	180	220	260
Р	1,19	1	0,85	0,75
М	1,23	1	0,85	0,72
К	1,19	1	0,91	0,85

При необходимости при расчётах можно произвести интерполяцию табличных данных, для определения промежуточных значений.

Коэффициент зависимости скорости резания от средней толщины стружки (k_h) определяются по справочным таблицам исходя из обрабатываемого и инструментального материала, а также средней толщины стружки, рассчитываемого по формуле [6], учитывающей расстояния от оси фрезы до краев фрезерования:

$$h_m = f_z \frac{2\left(\frac{b_1}{D} + \frac{b_2}{D}\right)}{\arccos\left(-2\frac{b_1}{D}\right) - \arccos\left(2\frac{b_2}{D}\right)} \sin \varphi \quad (7)$$

где φ - главный угол в плане; b_1, b_2 – расстояния от краев фрезерования до оси фрезы (см. рис. 1).

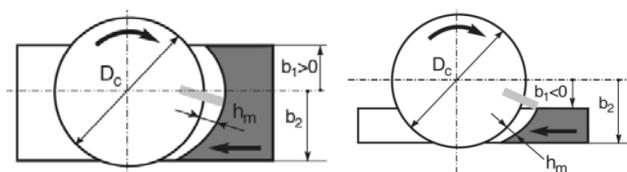


Рисунок 1 - Расстояния от краев фрезерования до оси фрезы

Коэффициент зависимости скорости резания от действительного времени контакта (Kt), определяется по таблице 2 [5] исходя из действительного времени контакта фрезы с заготовкой, рассчитываемого по формуле:

$$T_d = \frac{TL_k}{\pi D} = T \left(\arcsin\left(2\frac{b_1}{D}\right) + \arccos\left(2\frac{b_2}{D}\right) \right) \quad (8)$$

Таблица 2 - Значения поправочного коэффициента k_T

Стойкость, мин	10	15	20	25	30	45	60
Коэффициент коррекции k_T	1.1	1	0.95	0.9	0.87	0.8	0.75

С учетом всех описанных данных, конечная формула расчета себестоимости для инструмента со сменными многогранными пластинами будет иметь вид:

$$C = \frac{kL\pi D}{1000v_s k_{HB} k_t k_h z f_z T} \left(B_c T + \frac{\Gamma_\phi}{T_\phi} + \frac{z\Gamma_\Pi}{n_c} \right) \quad (9)$$

Она позволяет перейти к построению зависимости себестоимости обработки от режимов резания (v_s, f_z), параметров инструмента ($D, z, \phi, n_c, \Gamma_\phi, T_\phi, \Gamma_\Pi$), условий обработки ($L, T, b_1, b_2, k_{HB}, k_t, k_h$) и структуры затрат предприятия (B_c).

По рекомендации для обработки торцевой поверхности, ширина фрезерования не должна превышать $\frac{2}{3}$ диаметра фрезы [1]:

$$b_1 + b_2 \leq \frac{2}{3} D \quad (10)$$

В случае обработки поверхностей, когда материал заготовки ограничивает фрезу (пазы, карманы и т.п.):

$$b_1 + b_2 \leq D \quad (11)$$

Ограничения на выбор подачи f_z при черновом фрезеровании являются:

- мощность станка;
- жесткость несущей системы;
- несущая способность выбранной режущей пластины по максимальной толщине стружки h_{\max} [2].

Требуемая мощность не должна превышать мощность станка [5]:

$$\frac{a_p (b_1 + b_2) \frac{1000v}{\pi D} z f_z k_c}{60 \times 10^6} \leq P_{CT} \quad (12)$$

где a_p, a_e - глубина и ширина фрезерования, f – минутная подача, k_c – удельная сила резания.

В общем случае предельные значения максимальной толщины стружки h_{\max} зависят от толщины пластины [5]:

Таблица 3 - Значения максимальной толщины стружки h_{\max}

Толщина пластины	h_{\max}
Менее 3,18	0,1-0,15
3,18- 3,97	0,2
4,76-5,56	0,3
6,35 и более	0,4-0,7

Ограничения, накладываемые на подачу на зуб [5], если центр фрезы находится вне заготовки (см. рис. 2):

$$f_z \leq \frac{1}{2 \times \sqrt{\frac{b}{D} \left(1 - \frac{b}{D}\right)}} \frac{h_{\max}}{\sin \varphi} \quad (13)$$

Если центр фрезы находится внутри заготовки (см. рис. 2):

$$f_z \leq \frac{h_{\max}}{\sin \varphi} \quad (14)$$

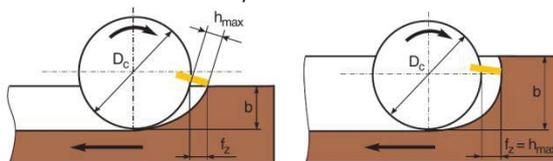


Рисунок 2 - Максимальная толщина стружки

При чистовом фрезеровании подача ограничивается со стороны получаемой шероховатости поверхности, которую можно выразить формулой [7]:

$$f_z = \sqrt{\frac{R_e \times h}{125}} \quad (15)$$

где R_e – радиус, при вершине пластины.

В случае использования при обработке пластин с зачистной фаской, подача на оборот не должна превышать длину зачистной фаски [6]:

$$f_z \leq \sqrt{\frac{L_f}{z}} \quad (16)$$

Представленную математическую модель рекомендуется использовать для расчета режимов резания в автоматизированной системе выбора фрезерного инструмента. Такая система определит режущий инструмент различных производителей, подходящий для заданных условий обработки и для каждого выбранного инструмента рассчитает режимы резания, стойкость, а также себестоимость механической обработки, по которой будет проходить оптимизация и выбор наиболее подходящего инструмента [8].

Создаваемая автоматизированная система позволит сократить трудозатраты технолога-программиста при выборе фрезерного инструмента, стратегии обработки и назначении режимов резания, а также сократить затраты на механообработку, благодаря расчету наиболее производительных режимов резания, выбору более производительного инструмента, либо более дешевого, но не уступающего по характеристикам.

Библиографический список:

1. SandvikCoromant TechnicalGuide – Руководство по металлообработке: Технический справочник от SANDVIK Coromant, 2000. - 169 с.

2. Mitsubishi Materials Токарный инструмент, вращающийся инструмент, инструментальные системы: общий каталог 2007-2009 / Mitsubishi Materials Corporation, 1085 с.

3. Безъязычный, В.Ф. Расчет режимов резания. Учебно-методическое пособие / Аверьянов И.Н. Кордюков А.В.– М.: Машиностроение, 2010.– 270 с.

4. Аверченков, А.В. Автоматизация процедуры выбора современного фрезерного металлорежущего инструмента / Аверченков, А.В., Кукло, Е.Ю // Вестник БГТУ № 4 (32) 2011, С. 81-85.

5. Аверченков, А.В. Автоматизированный выбор металлорежущего инструмента для механической обработки заготовок деталей машин // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – №9. – С. 27-31.

6. Аверченков, А.В. Повышение эффективности виртуальной подготовки производства на основе выбора оптимального режущего инструмента и стратегий обработки // Вестник ТГТУ. – 2011. – Том 17. №3. – С. 767-774.

7. Виноградов, Д.В. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. – М.: Полиграфия, 2003. – 301 с.

8. Аверченков, В.И. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ: монография / В.И. Аверченков, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, Е.Ю. Кукло. – Брянск: БГТУ, 2010. – 148 с.

MILLING OPERATIONS COST DETERMINING WITH HELP OF THE MATHEMATICAL MODEL

A.V. Averchenkov, E.Yu. Kuklo

Mathematic modeling of the prime cost of milling operations with regrounded tools and tools replaceable cutting inserts was issued. Mathematical modeling procedures and developing software modules for the automated selection of cutting tools were described.

Keywords and phrases: *automated system, tool selection, mathematical model, optimization, cutting conditions, cost reduction.*

РАСЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ПЛАСТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ В ЗОНЕ КОНТАКТА ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ, ПРИ ТОЧЕНИИ

Р.Н. Акиншин, аспирант

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Рассмотрена схема формирования микронеровностей поверхности при лезвийной обработке. Предложен способ расчета высотных параметров шероховатости поверхности Ra и Rz при точении. Приведен пример расчета высоты неровностей профиля по десяти точкам Rz .

Ключевые слова: качество поверхности, шероховатость поверхности, среднее арифметическое отклонение профиля, высота неровностей профиля по десяти точкам, точение.

Повышение технических возможностей современных машиностроительных изделий сопровождается ужесточением требований к качеству поверхности деталей, к точности их размеров, формы и взаимного расположения. Для надежного обеспечения заданных параметров качества необходимо знать физическую картину их формирования в процессе обработки.

Поэтому, целью данной работы является установление математической зависимости высотных параметров шероховатости поверхности от условий резания.

В настоящее время существует большое количество параметров, характеризующих качество поверхности. В данной работе основное внимание уделено параметрам шероховатости поверхности: Ra - среднее арифметическое отклонение профиля; Rz - высота неровностей профиля по десяти точкам (ГОСТ 2789-73). Причины выбора указанных параметров следующие:

- Ra и Rz являются частью технических требований всех чертежей машиностроительных деталей и подлежат обязательному контролю;
- для данных параметров существуют доступные и надежные средства измерения;
- перечисленные параметры оказывают значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: контактную жесткость, износостойкость, усталостную прочность, герметичность, коррозионную стойкость [1];

При лезвийной обработке установлены следующие зависимости, отражающие взаимосвязь указанных параметров шероховатости [1]:

$$Ra \approx 0,2 \cdot Rz \quad (1)$$

Таким образом, если известен один из рассмотренных параметров, то величину другого можно ориентировочно определить по формуле (1).

Расчет высоты неровностей профиля по десяти точкам Rz при лезвийной обработке и, в частности при точении, предлагается выполнять по следующей зависимости, отражающей физическую картину формирования

микронеровностей поверхности детали [1]:

$$Rz = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (2)$$

где h_1 – составляющая профиля шероховатости, определяемая геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента, мкм;

h_2 – составляющая профиля шероховатости, вызванная колебаниями инструмента относительно обрабатываемой поверхности, мкм;

h_3 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки, мкм;

h_4 – составляющая профиля шероховатости, определяемая шероховатостью рабочих поверхностей инструмента, мкм.

Отметим, что в настоящее время из геометрических построений однозначно определяется только составляющая профиля шероховатости h_1 , для определения слагаемых h_2 и h_3 общепринятых зависимостей нет. Составляющая h_4 равна высоте неровностей режущей кромки инструмента.

В данной работе параметр Rz рассчитывается как сумма h_1 и h_3 . Составляющая h_4 не учитывается, поскольку имеет незначительную величину по сравнению с остальными слагаемыми. Величиной h_2 можно пренебречь только при достаточной жесткости технологической системы.

Составляющая h_3 возникает из-за того, что на режущей кромке инструмента имеется радиус, и поэтому часть материала удаляемого припуска при лезвийной обработке не срезается, а пластически деформируется инструментом. Величина этого слоя может быть рассчитана по формуле:

$$b_{\text{сдв}} = 0,5 \cdot \rho \cdot [2 \cdot \tau_{\text{сдв}} / (\tau_{\text{сдв}}^2 + \sigma_{\text{T}}^2)^{0,5} - 1], \quad (3)$$

где ρ – радиус режущей кромки инструмента, мкм;

$\tau_{\text{сдв}}$ – прочность обрабатываемого материала на сдвиг, МПа;

σ_{T} – предел текучести обрабатываемого материала, МПа.

Зная величину пластического оттеснения материала $b_{\text{сдв}}$, можно определить величину высоты неровностей при лезвийной обработке по схеме, представленной на рис.1.

Для расчета высоты неровностей профиля согласно представленному рисунку автор предлагает математическую модель режущего инструмента, в которой режущие кромки задаются уравнениями прямых и окружностей.

На рис. 1 схематично изображена вершина резца, участвующая в удалении припуска с поверхности заготовки и формировании неровностей обработанной поверхности. Цифрами «1-4» обозначены прямолинейные и радиусные части режущих кромок инструмента, цифрами «1'-4'» обозначены те же части режущих кромок, но смещенные на величину подачи S_o . Горизонтальная прямая «5», проведенная на расстоянии t от вершины пластины, изображает глубину резания. На рисунке также показаны: $Rz_{\text{геом}}$ – составляющая шероховатости h_1 ; $Rz_{\text{деф}}$ – высота неровностей с учетом пластической деформации; γ , α – передний и задний углы резца; ϕ , ϕ_1 – главный и вспомогательный углы резца в плане; r – радиус при вершине резца; ϕ_y – угол наклона условной плоскости сдвига.

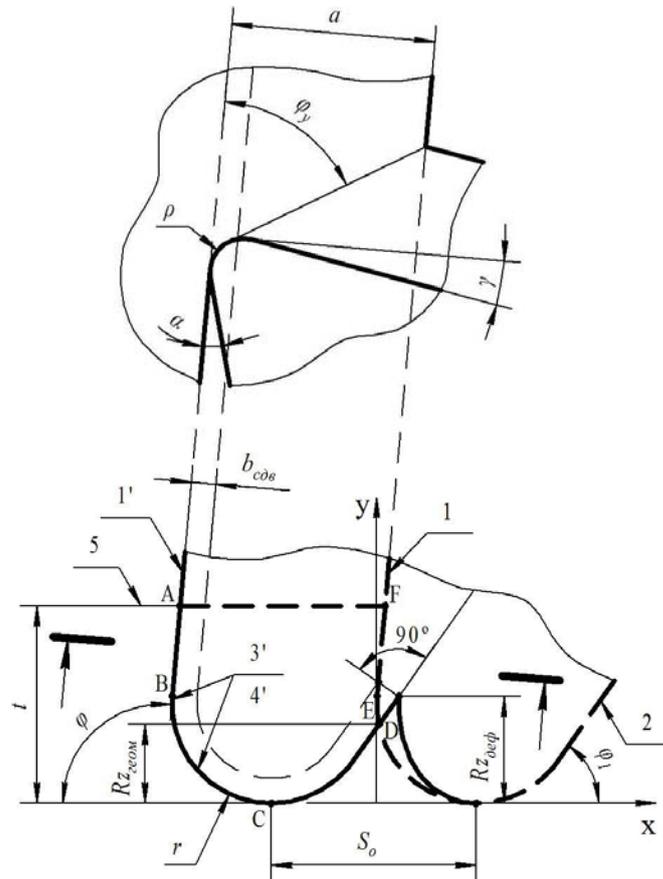


Рисунок 1 - Схема формирования шероховатости поверхности

Для определения значений перечисленных величин части режущих кромок описываются в системе координат x - y уравнениями:

«1»: $y = k_1 \cdot x + b_1$	«1'»: $y = k_1 \cdot (x + S_0) + b_1$
«2»: $y = k_2 \cdot x + b_2$	«2'»: $y = k_2 \cdot (x + S_0) + b_2$
«3»: $y = r + (2 \cdot x \cdot r - x^2)^{0,5}$	«3'»: $y = r + (2 \cdot (x + S_0) \cdot r - (x + S_0)^2)^{0,5}$
«4»: $y = r - (2 \cdot x \cdot r - x^2)^{0,5}$	«4'»: $y = r - (2 \cdot (x + S_0) \cdot r - (x + S_0)^2)^{0,5}$
«5»: $y = t$	

Решение несложных математических уравнений позволяет вычислить координаты характерных точек и, соответственно, требуемое значение $Rz_{\text{деф}}$. Кроме того представленная схема режущего инструмента (рис. 1) дает возможность более точно определять толщину a и ширину b срезаемого слоя. На основе принятых в теории резания [2-5] понятий фигура ABCDEF представляет собой сечение срезаемого слоя, ширина срезаемого слоя b равна длине линии ABC, а толщина срезаемого слоя a равна отношению площади срезаемого слоя (площади фигуры ABCDEF) к ширине срезаемого слоя b (длине линии ABC).

Поскольку условия пластической деформации при резании значительно отличаются от условий при статических испытаниях материала на прочность (высокие температура и скорость деформации), предлагается в формуле (3) для расчета величины пластического оттеснения материала использовать вместо величин $\tau_{\text{сдв}}$ и σ_T средние значения касательных и нормальных напряжений в условной плоскости сдвига.

На основе схемы стружкообразования с одной плоскостью сдвига касательные напряжения в условной плоскости сдвига рассчитываются следующим образом [2, 4, 5]:

$$\tau = P_z / [a \cdot b \cdot (\operatorname{ctg} \varphi_y + \operatorname{tg} (\varphi_y + \eta - \gamma))], \quad (4)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н;

η – средний угол трения на передней поверхности инструмента.

Нормальные напряжения в условной плоскости сдвига:

$$\sigma = [\tau \cdot f - 0,5 \cdot \sin(2 \cdot (\varphi_y - \gamma)) \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg}(\varphi_y - \gamma))] / [\cos^2(\varphi_y - \gamma) \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg}(\varphi_y - \gamma))], \quad (5)$$

где f – средний коэффициент трения на передней поверхности инструмента.

Для определения среднего коэффициента трения в работе [5] приведена следующая зависимость, полученная на основе гипотезы о минимуме мощности стружкообразования:

$$f = 1 - \operatorname{tg} (\varphi_y - \gamma) \quad (6)$$

Для сталей при расчете угла наклона условной плоскости сдвига можно воспользоваться формулой [3]:

$$\varphi_y = \pi/2 - \operatorname{arctg}[(0,237 \cdot (\eta_0 \cdot E_1 \cdot b/a)^{0,25} / v^{0,355} + \cos\gamma - \sin\gamma) / (\cos\gamma + \sin\gamma)], \quad (7)$$

где η_0 – упругая постоянная;

v – скорость резания, м/мин.

$$\eta_0 = (1 - \mu_1^2) / E_1 + (1 - \mu_2^2) / E_2, \quad (8)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона обрабатываемого и инструментального материалов;

E_1, E_2 – модули упругости обрабатываемого и инструментального материалов, МПа.

Из формулы (4) следует, что для расчета напряжений в зоне резания необходимо значение тангенциальной составляющей силы резания P_z . В настоящее время, по мнению автора, не существует теоретических зависимостей, позволяющих с достаточной точностью априорно определять силу резания. Поэтому предлагается составляющую силы резания P_z вычислять по эмпирическим формулам вида:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S_o^y \cdot v^n, \quad (9)$$

где C_p, x, y, n – постоянные для конкретных условий обработки.

Зависимость (9) необходимо получать экспериментальным путем для конкретного обрабатываемого материала и условий обработки или использовать справочные данные, например [6].

На рис. 2 представлен пример расчета параметра Rz в виде графика зависимости от скорости резания при постоянных глубине резания ($t = 0,5$ мм) и подаче на оборот ($S_o = 0,1$ мм/об) для точения стали 07X16H6. График построен на основе значений, вычисленных в программе *Microsoft Office Excel* по рассмотренной методике. Расчет тангенциальной составляющей силы резания P_z выполнен по эмпирической зависимости [6]. Для расчета приняты следующие геометрические параметры резца: $r = 0,40$ мм; $\varphi = 95^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; $\gamma = 7^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\lambda = 6^\circ$; $\rho = 40$ мкм, соответствующие режущему инструменту фирмы Iscar (державка DWLNL 2020K-08W, пластина WNMG 080404-PP (IC907)).

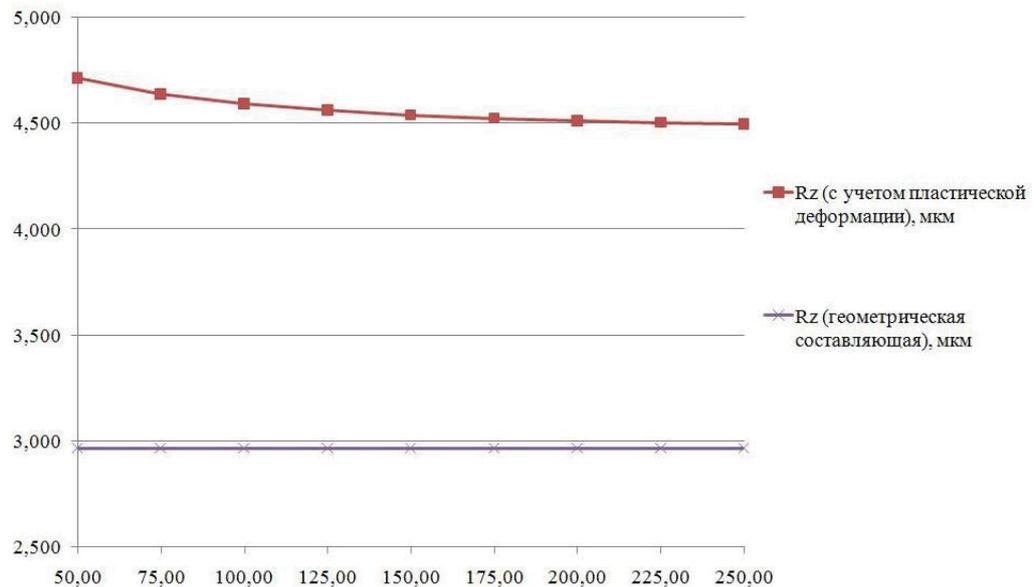


Рисунок 2 - График зависимости параметра шероховатости Rz от скорости резания

Полученный график (рис. 2) хорошо согласуется с общепринятым характером изменения высоты неровностей при варьировании режимов резания. Разумеется, представленные зависимости требуют уточнения и экспериментальной проверки.

Таким образом, в данной работе представлены теоретические зависимости, позволяющие для заданных режима резания и геометрии инструмента определять высотные параметры шероховатости Ra и Rz обработанной поверхности при точении. Полученные зависимости могут быть использованы при оптимизации условий обработки, когда параметры шероховатости поверхности являются критериями оптимизации или ограничивающими факторами.

Библиографический список

1. Суслов А.Г., Безъязычный В.Ф., Панфилов Ю.В. и др. Инженерия поверхности деталей / под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: учебник для техн. вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.
3. Грубый С.В. Разработка методологии управления режимными параметрами и процессом изнашивания инструментов как основы повышения эффективности лезвийной обработки: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 535 с.
4. Рыжкин А.А., Шучев К.Г., Климов М.М. Обработка материалов резанием: учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 411 с.
5. Солоненко В.Г., Рыжкин А.А. Резание металлов и режущие инструменты: учебное пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2007. – 413 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. М.: Машиностроение-1, 2001. – 944 с.

**THE CALCULATION OF ROUGHNESS PROFILE COMPONENT,
GENERATED BY PLASTIC DEFORMATIONS IN CONTACT AREA OF
CUTTING TOOL AND WORKPIECE, IN TURNING.**

R.N. Akin'shin

The scheme of surface roughness generation in cutting is considered. The method of altitude surface roughness parameters R_a and R_z calculation in turning is offered. The example of roughness height R_z determination is represented.

Keywords: surface quality, surface roughness, arithmetic average roughness, roughness height calculated by ten points, turning.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КРЕПЛЕНИЯ

А.П. Алексеев, магистрант, **П.А. Баранов**, магистрант
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Выявлены и проанализированы причины потери времени связанные с технологическим процессом изготовления деталей крепления. Приведены возможные способы устранения, выявленных причин.

Ключевые слова: детали крепления, диаграмма Исикавы, граф маршрутов обработки, технологическая операция.

Введение

Детали крепления на авиационном предприятии играют важную роль. От метизов зависит собираемость, качество и надёжность самолёта в целом. Так как болтам, винтам, заклепкам на сегодняшний день в авиации нет достойной альтернативы для получения надёжного соединения, развитие мастерской их производства нельзя оставлять без внимания.

Основными недостатками существующей мастерской по производству крепежа являются: изношенность оборудования (холодно-высадочные автоматы 1947-1951 г.в.); недостаточная стойкость инструмента и недостаточная обеспеченность средствами измерения и контроля; неоптимальное размещение оборудования на участке; использование ручного труда в большом объёме; небольшое количество деталей в партии; нарушение ритмичной работы мастерской в связи с корректировкой плана выпуска деталей.

Для устранения вышеперечисленных недостатков требуется организация большой исследовательской работы, поэтому на начальном этапе была поставлена цель по выявлению потерь времени в действующей мастерской.

Факторы, влияющие на потерю времени при производстве

На потери времени влияют большое количество факторов, которые представлены на диаграмме Исикавы (рис. 1.) называемой «рыбий скелет».

Анализируя причинно-следственную диаграмму можно сказать, что основной вклад в потери времени вносит технологический процесс, поэтому в соответствии свыше указанной целью была поставлена задача проанализировать существующие технологии изготовления деталей крепления, взяв за основу болты и винты, содержащие наибольшее количество операций.

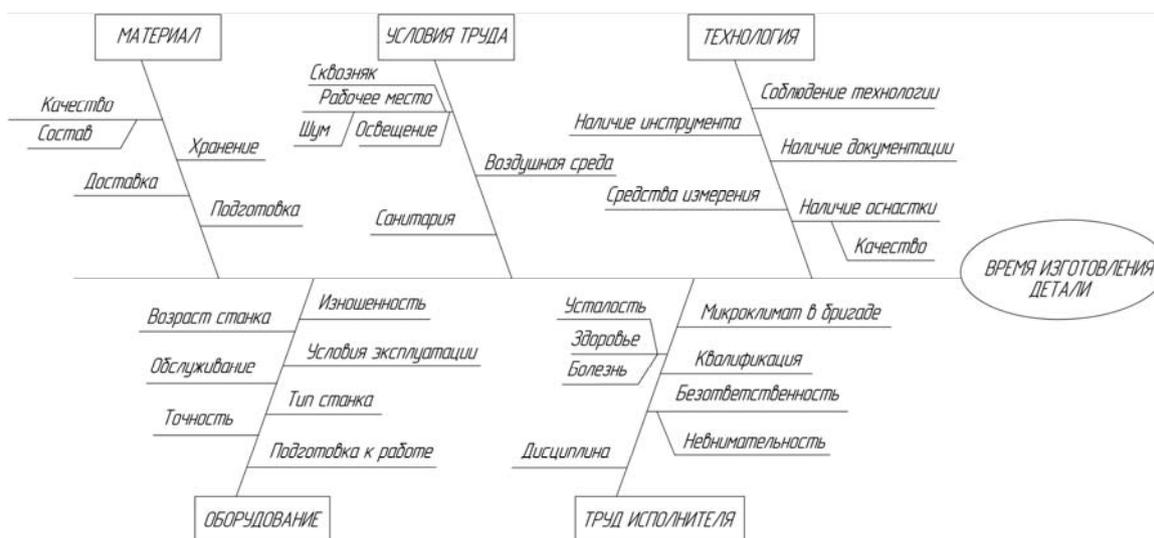


Рисунок 1 - Причинно-следственная диаграмма Исикавы

Результаты и обсуждение

В ходе анализа выяснилось, что для данного производства характерна большая номенклатура деталей крепления с резьбой, и их технологии имеют разные маршруты обработки.

Для наглядности представления технологии изготовления деталей был составлен граф возможных маршрутов обработки (рис. 2.), так как контрольная, высадочная, протирочная, резьбонакатная операции и приёмочный контроль присутствуют во всех маршрутах обработки, а обесечная, фрезерная, термообработка и остальные только в некоторых.

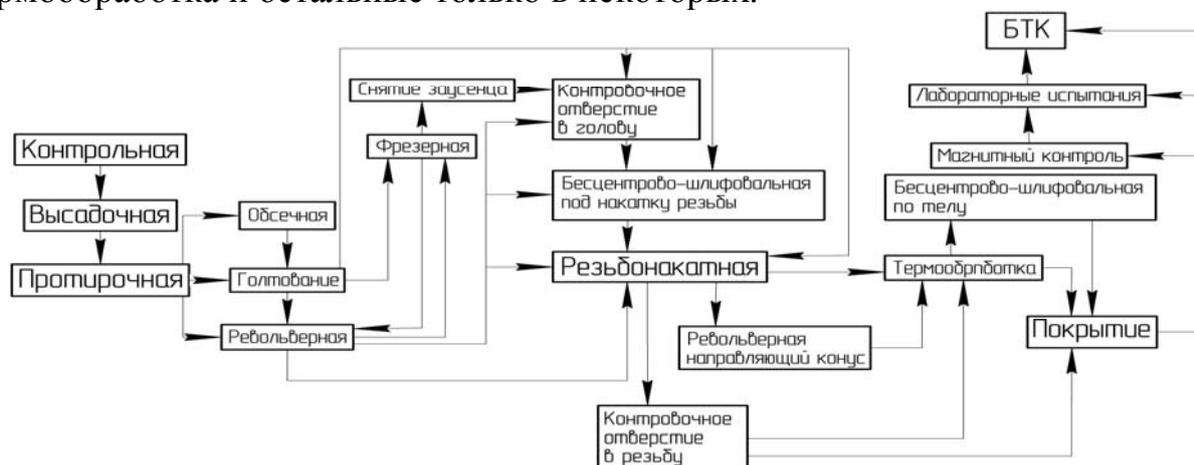
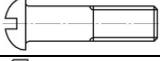
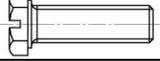
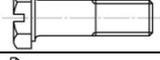
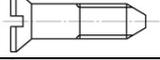
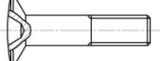
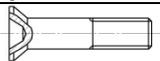
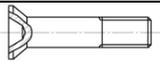
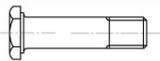
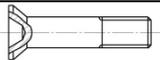
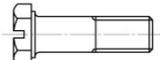


Рисунок 2 - Граф возможных маршрутов обработки

Что касается большой номенклатуры, то из всего объёма производства деталей крепления методом случайной выборки было выбрано порядка 50 наименований. Данные сведены в табл. 1, где отображено время, затрачиваемое на конкретную операцию и количество деталей необходимое на одно изделие.

Таблица 1- Время на выполнение различных операций

№	Детали					Наименование операций						
	ОСТ	Эскиз	Ø заготовки, мм.	Материал	Кол-во на изделие, шт.	Высадочная, мин.	Обсечная, мин.	Фрезерная, мин.	Револьверная, мин.	Бесцентрово – шлифовальная п/н, мин.	Резьбонакатная, мин.	Бесцентрово - шлифовальная, мин.
1	3-12-КД 1 31529-80		2.6	16ХСН	577	0.3					0.5	
2	2)-4-12-КД 1 31149-80		3.8	16ХСН	2	0.2		0.7		1.5	0.6	
3	5-14-КД 1 31508-80		4.35	16ХСН	1551	0.02	0.15	0.2		0.3	0.06	
4	5-26-КД 1 31521-80		4.35	СТ10	269	0.1		0.6	0.8		0.2	
5	5-14-КД 1 31109-80		4.8	16ХСН	688	0.03	0.2	0.3		0.3	0.07	
6	5-18-Ц 1 31178-80		4.9	16ХСН	4	0.02			0.9	0.7	0.08	0.8
7	5-14-КД 1 31195-80		4.9	16ХСН	207	0.02			0.15	0.4	0.06	
8	5-20-Ц.бцв 1 31184-80		5	16ХСН	88	0.3			0.8	0.8	0.1	1
9	6-30-КД 1 31155-80		5.8	16ХСН	14	0.2		0.4		0.8	0.1	
10	6-16-КД 1 31180-80		6	16ХСН	3517	0.009	0.33			0.2	0.08	0.25
11	(3)-7-30-КД 1 31133-80		7	16ХСН	124	0.25	0.16		0.4		0.09	0.8
12	8-28-КД 1 31180-80		8	16ХСН	190	0.1			0.4	0.3	0.1	0.4
13	10-30-Ц.бцв 1 31109-80		9.8	30ХГСА	228	0.15	0.3	0.6		0.4	0.03	0.6

Примечание. В табл. 1 приведены характерные представители болтов и винтов.

На диаграмме (рис. 3), построенной по данным табл. 1, отображено присутствие различных операций в технологиях при изготовлении деталей.

Анализ диаграммы показывает, что высадочная и резьбонакатная операции присутствуют в 100% технологий обработки, в 79% используется бесцентрово-шлифовальная операция под накатку резьбы, остальные операции встречаются реже.

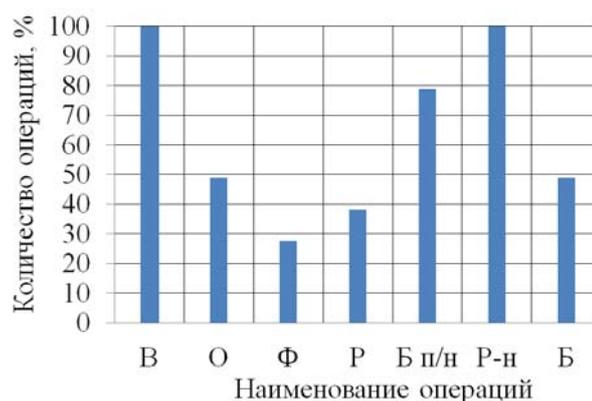


Рисунок 3 - Диаграмма присутствия операций в технологиях:
 В – высадочная, О – обсечная, Ф – фрезерная, Р – револьверная, Б п/н –
 бесцентрово-шлифовальная под накатку резьбы, Р-н – резьбонакатная, Б –
 бесцентрово-шлифовальная гладкой части

В следующей диаграмме, представленной на рис. 4., составленной по данным табл. 1, отображено суммарно затрачиваемое время на операциях.

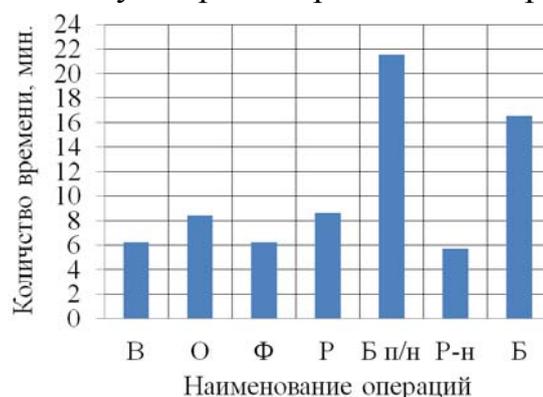


Рисунок 4 - Диаграмма суммарного времени на операции

Диаграмма показывает, что бесцентрово-шлифовальная операция под накатку резьбы занимает в техпроцессах больше времени, чем другие операции, несмотря на то, что суммы времени состоят из разного количества операций и данная операция присутствует не во всех технологиях изготовления деталей крепления.

На диаграмме (рис. 5) показано отношение суммарного времени к присутствию операций в технологиях.

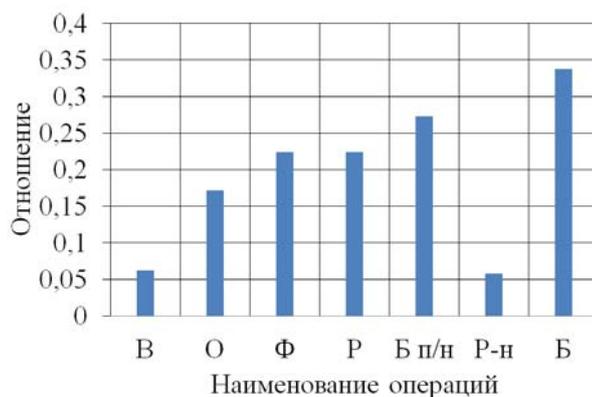


Рисунок 5 - Диаграмма отношения суммарного времени к присутствию операций в технологиях

Проанализировав диаграмму, представленную на рис. 5, выявили следующее, в среднем, по данным выборки, обработка одной детали на высадочной и резьбонакатной операциях в РАЗЫ проходит быстрее, соответственно необходимо уменьшать время обработки на остальных операциях.

Выводы

Для сокращения времени, затрачиваемого на обсечной, фрезерной, резьбонакатной, бесцентрово-шлифовальной операциях под накатку резьбы и гладкой части болтов, возможны следующие рекомендации:

1. На обсечной операции использовать высокопроизводительное оборудование для «обсечки» шестигранника либо отойти от этой операции и «высаживать» шестигранник.
2. Упразднить фрезерную и револьверную операцию и «высаживать» шлиц и направляющий конус.
3. На резьбонакатной операции использовать устройство по позиционированию деталей в пространстве, использовать высадочный и резьбонакатной станки в комплексе.
4. Отойти от бесцентрово-шлифовальной операции под накатку резьбы и на высадочной операции использовать инструмент с редуцированием.
5. На операции бесцентрово-шлифовальной гладкой части детали механизировать загрузку деталей в станок

Библиографический список

1. Биллигман И. Высадка и другие методы объемной штамповки. Москва: МАШГИЗ, 1960. — 233 с.;
2. Барабанова О.А. Семь инструментов контроля качества. Инновационный технологический центр МАТИ / О. А. Барабанова, В. А. Васильев, С. А. Одинокоев. - М.: ИЦ «Мати» - РГТУ им. Циолковского, 2001.

ANALYZES OF MANUFACTURING TECHNOLOGY OF FASTENINGS

A.P. Alekseev, graduate student, **P.A. Baranov**, graduate student.
Novosibirsk State Technological University

Causes of time lost connected with technological process of fastenings manufacturing have been determined and analysed. Feasible methods of elimination of determined causes are cited.

Keywords: fastenings, diagram of Issikava, graf of ways machining, technological operation.

НОВЫЕ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ДЕМПФИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

И.В. Антонец, д.т.н., профессор, **А.П. Терешенок**, аспирант
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

В работе представлены оригинальные конструкции систем кольцевых упругих чувствительных элементов, используемых в силоизмерительных устройствах, с использованием различных демпфирующих элементов. Приводятся результаты экспериментальной оценки влияния демпфирующих элементов на время затухания колебательных процессов в реальных силоизмерительных приборах при воздействии ударной нагрузки.

Ключевые слова: Упругий элемент, кольцевой упругий элемент, кольцевой элемент, чувствительный элемент, деформация упругого элемента, демпфирующие устройства, весоизмерительные устройства.

Особенностью весовых приборов с упругими преобразователями является зависимость их точности от упругих «несовершенств» материала, из которого этот преобразователь изготовлен: прямого и обратного упругого последействия, гистерезиса, релаксации напряжений и др. К упругим элементам (УЭ), применяемым для силоизмерения и измерения массы, предъявляются дополнительные повышенные требования стабильности и постоянства показаний. Минимальное влияние упругих «несовершенств» в измерительных УЭ достигается соответствующим выбором материала, конструкции и технологии их производства (защитные покрытия, термообработка, тренировка и др.)

Существующие весоизмерительные устройства, чувствительным элементом которых является упругое кольцо, работают в определенных интервалах нагрузки. Характерной особенностью известных весоизмерительных устройств является наличие порога чувствительности, не позволяющего осуществлять измерение малых сил с заданной точностью. Известны [1] оригинальные конструкции весоизмерительных устройств, у которых пара колец работает или последовательно, или параллельно, что обеспечивает заданную точность измерения нагрузки в широком диапазоне ее изменения, а так же повышает быстродействие прибора в целом.

Проведенные исследования значений низших частот колебаний для различных по конфигурации УЧЭ, а так же интервалов затухания колебательного процесса при ударном воздействии нагрузки, позволило нам разработать ряд конструкций весоизмерительных устройств, использующих схему с параллельной работой упругих колец, но соединенных между собой с

помощью демпфирующих устройств. Использование демпфера предположительно уменьшит скачок статической характеристики в момент начала работы двух колец. Более того, использование демпфера позволит погасить собственные колебания упругой системы и улучшить ее частотную характеристику, особенно для кольца с большей чувствительностью.

Представленное на рис.1 весоизмерительное устройство состоит из внешнего кольца 1 и внутреннего кольца 3, прикрепленного к верхней части внешнего кольца. Снизу к кольцу 3 прикреплен шток 7, который с минимальным зазором перемещается в гильзе 5, движения которой в свою очередь ограничиваются по двум координатам пружинами 6. Между нижним основанием плунжера и нижним приливом внешнего кольца присутствует зазор S , т. е. используется конструкция поршневого воздушного демпфера с плоским поршнем.

Устройство работает следующим образом. В процессе воздействия на силоизмерительное устройство нагрузки, в работу вступает внутренне кольцо 3. При достижении пороговой нагрузки, плунжер 4, сжимая воздух, перемещается и ложится на основание внешнего кольца 1, ликвидируя тем самым зазор S , нагрузку начинают воспринимать оба кольца, работая параллельно до предельной нагрузки. Помимо функции демпфирования, конструкция выполняет функцию центрирования перемещения штока 7, что позволяет избежать скачкообразного процесса деформации системы колец. При радиальном ударе гильза 5 смещается в сторону, растягивая кольцевую пружину 6, которая, в свою очередь, возвращает систему в исходное положение.

Весоизмерительное устройство (рис. 2) отличается конструкцией плунжера 4, который так же имеет форму диска, но с выточкой в его нижней части, что позволяет осуществить более плавное перемещение во время перехода нагрузки с внутреннего кольца на внешнее.

Плунжер, используемый в данной конструкции, позволяет повысить тормозной эффект, следовательно, повысить коэффициент демпфирования. Для обеих конструкций зазор между поршнем и стенкой камеры принимаем равным 0,3-0,4 мм.

Отличительной особенностью конструкции весоизмерителя (рис. 3) является наличие каналов в гильзе 5, заполненной жидкостью.

Устройство работает следующим образом. При воздействии на силоизмерительное устройство нагрузки, сначала в работу вступает внутреннее кольцо 3, деформация которого влечет перетекание жидкости из нижней части гильзы по каналам в верхнюю её часть. При достижении пороговой нагрузки, плунжер 4 ложится на основание внешнего кольца 1, ликвидируя тем самым зазор S , нагрузку начинают воспринимать оба кольца, работая параллельно до предельной нагрузки. Наличие жидкостного демпфера компенсирует скачки

перемещения при переходе от работы внутреннего кольца к совместной работе с внешним.

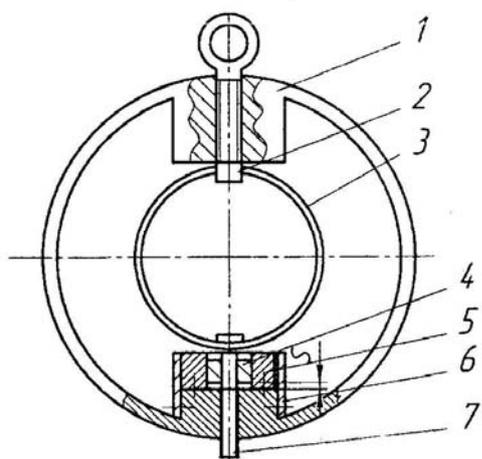


Рисунок 1 - Весоизмерительное устройство системой колец, соединенных воздушным демпфером с плоским поршнем:

1 – внешнее кольцо, 2 – болт, 3 – внутренне кольцо, 4 – плунжер, 5 – гильза, 6 – пружины, 7 – шток.

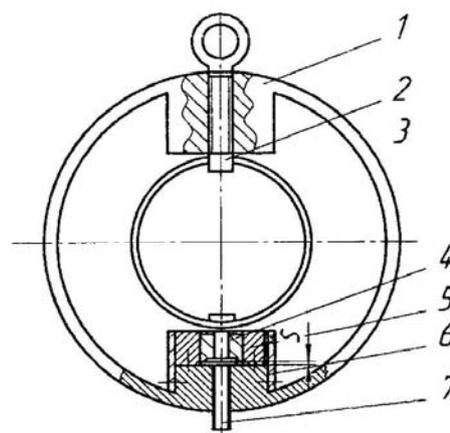


Рисунок 2 - Весоизмерительное устройство с системой колец, соединенных воздушным демпфером, у которого поршень имеет загнутые края:

1 – внешнее кольцо, 2 – болт, 3 – внутренне кольцо, 4 – плунжер, 5 – гильза, 6 – пружины, 7 – шток.

Весоизмерительное устройство (рис. 4) отличается от предыдущей конструкции наличием отверстий в плунжере 4, при этом отсутствуют каналы внутри гильзы 5. Эффект демпфирования двух последних конструкций – максимальный. К недостаткам можно отнести необходимость герметизации гильзы, относительную сложность технологического процесса изготовления каналов для протекания жидкости в первой конструкции и отверстий в плунжере – во второй.

Для экспериментальной оценки характеристик демпфирования систем был разработан стенд для измерения времени затухания колебательных процессов, возникающих при нагружении системы кольцевых УЧЭ, включающий измерительное устройство (вторичный датчик), усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

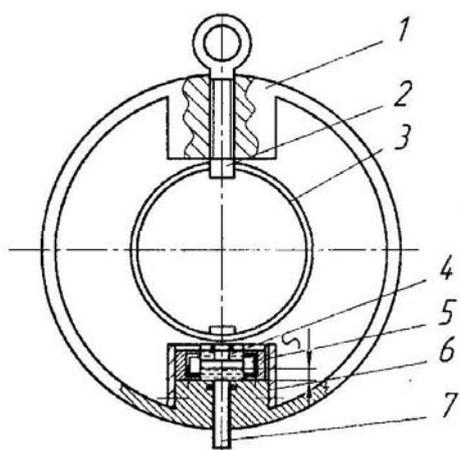


Рисунок 3- Весоизмерительное устройство с системой колец, соединенных жидкостным демпфером: 1 – внешнее кольцо, 2 – болт, 3 – внутренне кольцо, 4 – плунжер, 5 – гильза, 6 - пружины, 7 – шток.

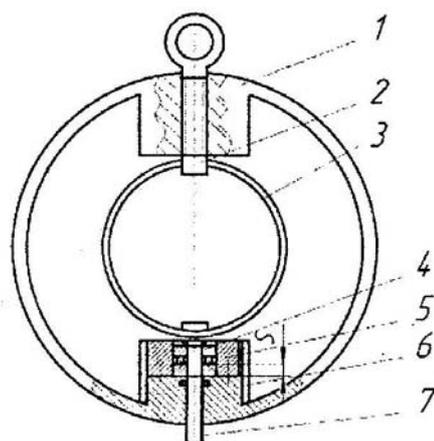


Рисунок 4 - Весоизмерительное устройство с системой колец, соединенных жидкостным демпфером: 1 – внешнее кольцо, 2 – болт, 3 – внутренне кольцо, 4 – плунжер, 5 – гильза, 6 - пружины, 7 – шток.

УЧЭ были изготовлены из материала сталь 40Х. В соответствии с технологическим процессом, кольца были подвергнуты закалке, отпуску, циклической и статической «тренировке». Размеры УЧЭ, составляющих систему, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Геометрические параметры УЧЭ

Расположение УЧЭ	Геометрические параметры УЧЭ			
	Средний радиус R, мм	Толщина h, мм	Высота b, мм	Конструктивный угол прилива α , град
Внутреннее	41,4	2	14	90
Внешнее	62	2	16	66°56'

Для нагружения систем кольцевых УЧЭ использовался груз массой 30,5 кг, свободно падающий с высоты 100 мм на чашу измерительного устройства. В целях исключения влияния на колебания системы в целом упругого взаимодействия груза с чашей, был использован насыпной груз, плотно упакованный в матерчатую емкость.

Эксперимент проводился при 4 параллельных измерениях. Для обработки экспериментальных данных были использованы программы GoldWave v4.24 GoldWave Inc., «Узкополосный спектральный анализ» ZetLab, в которых был проведен частотный анализ и фильтрация шума, а так же произведено графическое представление полученных результатов. Время затухания переходного процесса определялось с амплитудной погрешностью $2\gamma = 2\%$.

Полученный в результате анализа ряд времен затухания колебаний системы, представленный в таблице 2 для груза массов 30,5 кг, позволяет оценить эффективность демпфирования разработанных устройств.

Таблица 2 - Результаты эксперимента

Описание демпфирующего устройства	Время затухания t, с
Без демпфирующего устройства	1,731
Воздушное с плоской поверхностью поршня	1,532
Воздушное с вогнутой поверхностью поршня	1,501
Жидкостное с системой циркуляции в цилиндре	0,895
Жидкостное с системой циркуляции в поршне	0,905

Очевидна наибольшая эффективность демпфирующих устройств с системой циркуляции жидкости через отверстия в поршне. В то же время требуемая эффективность демпфирования определяется конструкцией и режимом работы грузочного устройства. Следовательно, реализована может быть любая из приведенных конструкций с учетом сложности изготовления и надежности эксплуатации.

Таким образом, в результате проведенных исследований авторами разработаны оригинальные конструкции весоизмерительных устройств с параллельной работой измерительных колец, соединенных между собой с помощью демпфирующих устройств. Предлагаемые конструкции предназначены для измерения нагрузки в диапазоне от десятков до сотен ньютон с равной чувствительностью во всем диапазоне и в широком диапазоне частот возмущающих воздействий.

Библиографический список

1. Антонец, И. В. Весоизмерительные устройства с кольцевым упругим элементом и вторичным фотодатчиком. / И. В. Антонец, В. П. Табаков, Д. Э.

Финогенов // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2006. – №12. – с. 21-25.

2. Антонец, И. В. Динамические модели силоизмерительных устройств кольцевого типа / И. В. Антонец, А. В. Демокритова // Труды 2-й междунаро. конф. «Математическое моделирование систем и процессов». – УлГУ, Ульяновск, 1999. – С. 43–45.

3. Джилавдари, И. Э. Динамика электромеханического преобразования с силовым уравниванием и электронным демпфированием / И. Э. Джилавдари // Датчики и системы. – 2008. – №11. – с. 9–12.

4. Левшина, Е.С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи) / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

5. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под ред. Е. П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 147 с.

6. Ананьев, Л. В. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем / Л. В. Ананьев. – М.: ОГИЗ, Гостехиздат, 1964. – 418 с.

NEW WEIGHING SYSTEMS WITH DAMPING ELEMENTS

I.V. Antonets, A.P. Tereshenok

The article presents the design of the original systems of ring elastic sensing elements used in the force uring devices with damping elements. Presented results of the experimental researches show the influence of damping elements on the decay time of the oscillatory processes in a real force measuring devices when exposed to shock loads.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГРУППОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Д.В. Ардашев, к.т.н. доцент

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В настоящее время в связи с интенсификацией мирового машиностроения особенно остро стоит задача энерго- и ресурсосберегающей технологии обработки деталей машин, в том числе и шлифования. Решение обозначенной задачи может быть достигнуто за счет применения принципов групповой технологии шлифования, основанной на прогнозировании работоспособности шлифовальных кругов в различных технологических условиях.

Ключевые слова: групповая технология шлифования, прогнозирование работоспособности, абразивная обработка.

Современное мировое машиностроение функционирует в условиях быстрой и частой смены выпускаемых изделий. При этом в качестве чистового метода обработки деталей машин довольно часто используется шлифование. Существующие методики выбора характеристики шлифовального круга и режимов шлифования подразумевают, что обработка каждой детали, изготовленной из конкретного материала, к которой предъявляются определенные требования по качеству обработки должна вестись шлифовальным кругом конкретной характеристики [1, 2]. Учитывая достаточно продолжительный наладочный период, возникающий вследствие замены круга на станке, в течение которого оборудование простаивает, указанные рекомендации не пригодны для использования в современной конъюнктуре машиностроения. В случае применения рассмотренных рекомендаций по режимно-инструментальному оснащению операций абразивной обработки ресурс работоспособности инструмента используется крайне неэффективно – на 5...7 %. Более того, отсутствие рекомендаций по режимам шлифования кругами конкретной характеристики различных марок сталей и сплавов приводит к существенному снижению производительности процесса, либо браку. Таким образом, для успешного функционирования современного машиностроительного производства необходим иной подход к проектированию операций шлифования, основанный в частности на учете работоспособности шлифовальных кругов в различных технологических условиях.

Одним из методов решения поставленной задачи является создание групповой технологии шлифования, подразумевающей, что заготовки объединяются в группу по мере поступления на обработку. При этом абразивный инструмент, выбираемый в результате проектирования операции на основе групповой технологии шлифования, должен обеспечивать выполнение требований, предъявляемым ко всем группам обрабатываемых деталей, а также соблюдение организационно-технических и экономических требований производства. Кроме того, результатом применения групповой технологии шлифования должно явиться выявление области рационального применения

инструмента той или иной характеристики, устанавливаемой либо установленной на станке. В этом случае также может быть установлена номенклатура абразивных инструментов, позволяющих обработать заготовки с выполнением требований чертежа и производительности процесса.

Учитывая вышесказанное, применительно к абразивной обработке ***под групповой технологией шлифования следует понимать*** метод обработки деталей шлифованием, в котором детали поступают на станок мелкими группами, при этом детали разобщены: изготовлены из различных материалов, имеют различные размеры, геометрию, требования по качеству обработки. При этом все детали всех групп, планируемых к изготовлению, должны быть обработаны шлифовальным кругом определенной характеристики (установленным на станке), либо кругом назначаемой в результате проектирования операции шлифования характеристики, обеспечивающей максимальную производительность обработки и выполнение требований чертежа.

Основными задачами групповой технологии шлифования являются:

1. Назначение режимов шлифования различных деталей кругом определенной характеристики в широком диапазоне технологических условий.

2. Выбор характеристики абразивного инструмента, позволяющего обработать все партии заготовок, планируемых к поступлению на станок в определенный промежуток времени, с выполнением требований по качеству и производительности обработки, а также режимов шлифования выбранным инструментом.

3. Определение номенклатуры характеристик шлифовальных кругов, режимов обработки, а также периода их замены, с целью обеспечения требуемых показателей качества обработки и уровня производительности процесса в случае, когда кругом одной характеристики не удастся обеспечить требуемую производительность процесса либо показатели качества обработки.

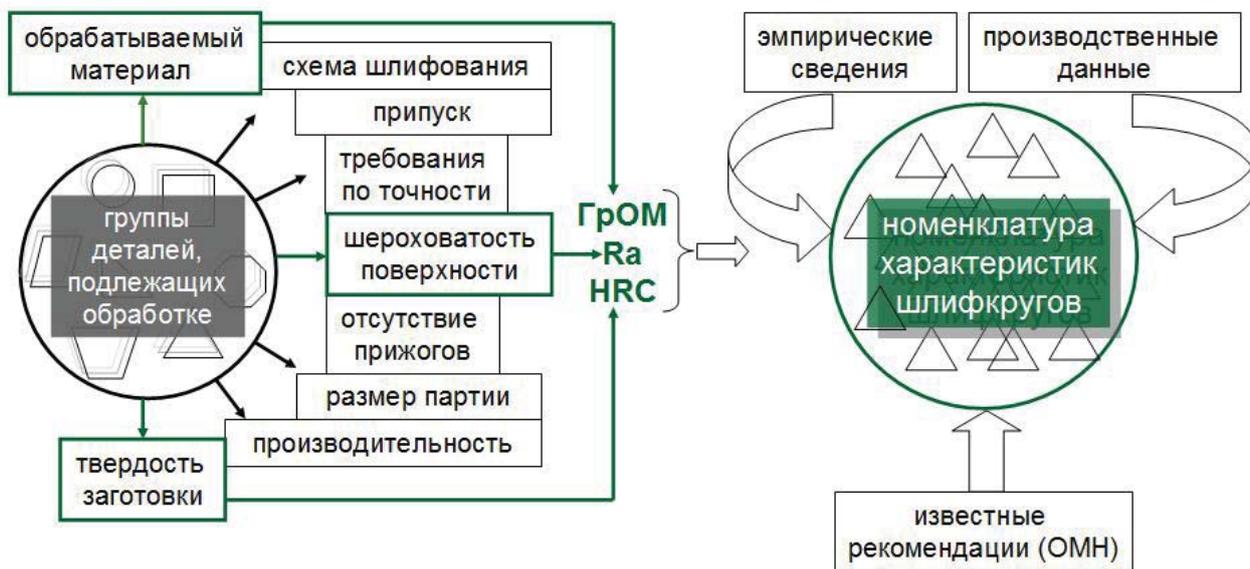
Условно последовательность проектирования групповой технологии шлифования можно разделить на два этапа (рисунок). Первый этап (см. рисунок, а) включает в себя получение исходной информации о деталях, планируемых к поступлению на станок. Эта информация содержит три группы данных:

1. Сведения, принимаемые из чертежа детали: группа обрабатываемого материала заготовки (ГрОМ), точность обрабатываемого размера (номер квалитета либо величина допуска), параметр шероховатости обработанной поверхности (Ra), твердость поверхности заготовки (HRC), допустимость прижога (допускаемая его глубина) и др.

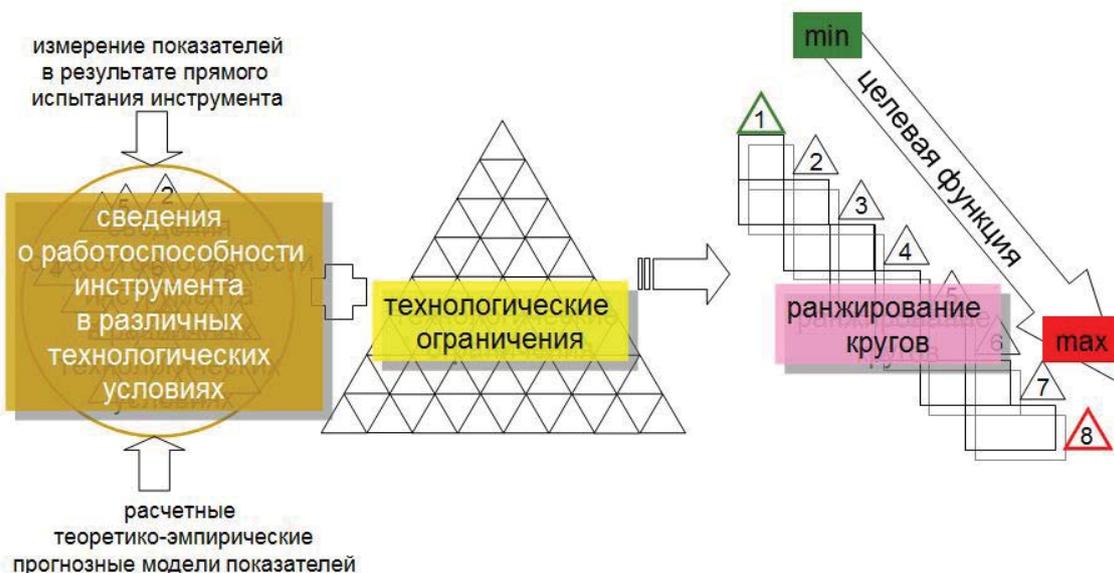
2. Техничко-организационные и экономические сведения: схема шлифования (для которой проектируется операция), величина припуска на операцию (может быть принята по результатам построения и расчета размерной схемы), количество деталей в каждой партии (принимается из данных о производственной программе, требуемая производительность процесса (принимается из экономического обоснования производства деталей, либо из

бизнес плана предприятия), последовательность поступления деталей на станок и др.

3. Дополнительная информация: схема шлифования, марка (модель) станка, наличие (отсутствие) автоматического механизма правки на станке и др.



а)



б)

Рисунок 1 - Методика групповой технологии шлифования:

а) первый этап; б) второй этап

В дальнейшем, используя известные общепринятые рекомендации [1, 2], либо на основе собственного эмпирического или производственного опыта используя комплекс возможности применимости той или иной характеристики инструмента формируется номенклатура возможных шлифовальных кругов, рекомендуемых к применению для обработки поступаемых партий деталей.

На втором этапе проектирования для всех характеристик выбранных шлифовальных кругов на сведения о работоспособности инструментов накладываются ограничения, полученные в ходе выполнения первого этапа. В результате формируется массив данных, содержащий возможные режимы шлифования кругами всех выбранных характеристик всех деталей, планируемых к поступлению на станок (см. рисунок 1, б)). Впоследствии, в соответствии с целевой функцией и критерием оптимальности, выбранные шлифовальные круги выстраиваются в ряд предпочтений – каждый круг получает ранг применимости для обработки всех партий деталей, планируемых к поступлению на станок. В лучшем случае необходимо использовать шлифовальный круг имеющий ранг №1, однако если экономические затраты на приобретение данного круга превышают уровень снижения производительности обработки кругом более низких рангов следует воспользоваться менее предпочтительными кругами. При этом снижение производительности при использовании менее предпочтительных кругов известно заранее.

При проектировании операции шлифования на основе групповой технологии необходимо рассматривать различные варианты решения задачи назначения оптимальной характеристики круга и режимов обработки.

Вариант 1. Круг, установленный на станке, продолжает работать.

Такая ситуация возможна в случае, когда установленный на станке шлифовальный круг не выработал свой ресурс полностью, соответствует требованиям ГОСТ Р 52588-2006 «Инструмент абразивный. Требования безопасности» и входит в номенклатуру рекомендуемых кругов для обработки последующих партий деталей, поступаемых на станок. Это может быть вызвано схожестью требований по качеству обработки и родством основного материала деталей вновь поступаемых с предшествующими. При этом данный круг может не наивысший ранг, однако сравнение уровня его оптимальности с уровнем оптимальности наиболее предпочтительного круга, с учетом его замены на станке, показывает, что его дальнейшая эксплуатация более выгодна, чем замена круга. В этом случае стоит задача оптимизации режимов шлифования: назначение скорости подачи круга, обеспечивающей выполнение требований чертежа при максимальном уровне производительности.

Вариант 2. Выбран новый круг, устанавливаемый на станке.

Подобная ситуация может возникнуть когда обработка всех партий деталей окончена, при этом круг выработал свой ресурс и должен быть заменен на новый в соответствии с требованиями безопасности. В результате проектирования групповой технологии шлифования для обработки вновь поступающих деталей может быть выбран круг либо той же характеристики, либо другой круг. В любом случае, в целевой функции необходимо учитывать время на замену шлифовального круга, включающее его балансировку и многократную правку.

Вариант 3. Установленный на станке круг не является оптимальным для всех партий деталей.

Такая ситуация возникает когда поступаемые на станок детали изготовлены из материала, относящегося к различным группам обрабатываемости шлифованием, либо требования к качеству этих деталей отличаются в значительной степени. В этом случае результатом решения задачи выбора характеристики шлифовального круга будет номенклатура шлифовальных кругов, соответствующие им группы обрабатываемых деталей, а также режимы шлифования для каждой пары «шлифовальный круг-группа обрабатываемых деталей».

В основе групповой технологии шлифования лежит информация о работоспособности абразивных инструментов в различных технологических условиях. Данная информация может быть получена двумя основными методами получения сведений о работоспособности абразивных инструментов – эмпирический (по результатам стендовых испытаний абразивных инструментов в различных технологических условиях на разработанном стенде) [3, 4, 5] и расчетный, основанный на прогнозировании величин эксплуатационных показателей шлифовальных кругов на основе теоретико-эмпирических моделей. Развитие системы прогнозных моделей показателей работоспособности абразивного инструмента позволит в дальнейшем полностью отказаться от стендовых испытаний инструмента, как достаточно затратного и длительного метода. В итоге на основе системы прогнозных моделей для любых условий эксплуатации кругов (технологических, технико-экономических, организационных и др.) наложением системы технологических ограничений на величины показателей работоспособности инструментов, сформированная номенклатура возможных характеристик кругов ранжируется по критерию оптимальности, выбранному в соответствии с целевой функцией. В дальнейшем технолог, проектирующий операцию шлифования, имея полную информацию о возможности применения круга той или иной характеристики, о сравнении эксплуатационных возможностей кругов различных характеристик либо производителей может принимать наиболее выгодное с точки зрения эффективности производства решение: заменять имеющийся на станке круг, продолжать обработку установленным кругом, заказывать производителю абразивного инструмента определенную номенклатуру кругов, либо использовать имеющиеся на складе запасы инструмента.

В результате, реализация групповой технологии шлифования, основанной на прогнозировании работоспособности шлифовальных кругов, позволит проектировать эффективную технологию абразивной обработки различных деталей кругами определенных характеристик.

Библиографический список

1. Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник / Д.В. Ардашев, Д.Е. Анельчик и др. Челябинск: АТОКСО, 2007. – 384 с.

2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках / Часть 3: протяжные, шлифовальные и доводочные станки / Изд. 3-е. –1978. – 360 с.

3. Ардашев, Д.В. Стенд для исследования взаимодействия абразивного зерна и образца в процессах абразивной обработки / Д.В. Ардашев, В.В. Ахлюстина // Технология машиностроения. – М.: Технология машиностроения, № 6, 2013. – С. 27–28.

4. Система измерения эксплуатационных показателей абразивного инструмента. Заявка №2011106953. Пр. от 24.02.2011 г. Ардашев Д.В., Кошин А.А. Патент на полезную модель № 107996. Оpubл. 10.09.2011, бюл. № 25.

5. Система измерения эксплуатационных показателей абразивного инструмента. Заявка №2010114131. Пр. от 09.04.2010 г. Ардашев Д.В., Кошин А.А., Чаплыгин Б.А. Патент на полезную модель № 97078. Оpubл. 27.08.2010, бюл. № 24.

DESIGNING OF GRINDING OPERATIONS BASED ON GROUPED-TECHNOLOGY METHOD

D.V. Ardashev

At this time, due to the intensification of the modern engineering is particularly acute problem of energy-and resource-saving technologies of processing machinery parts, including grinding. The decision of the problem can be achieved by applying the principles of group-technology method of grinding, based on the prediction performance of grinding wheels in a variety of process conditions.

Keywords: group-technology method of grinding, forecasting performance, abrasive machining.

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

М.А. Афанасенков, аспирант

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
г. Санкт-Петербург

Рассмотрен алгоритм системного подхода к процессу разработки условий и методов формирования на поверхности режущего инструмента функциональных слоев, с учетом всех особенностей его дальнейшего применения для обработки конкретного типа заготовок.

Ключевые слова: системный подход, функциональный слой, режущий инструмент, износостойкие покрытия, эксплуатационные свойства, увеличение стойкости.

Одной из основных тенденций современного машиностроения является повышение производительности механообработки при сохранении требуемых качества и точности деталей машин. Эффективность лезвийной обработки на современном этапе развития машиностроения в немалой степени зависит от работоспособности режущего инструмента, которая, в первую очередь, определяется сочетанием физико-механических свойств инструментального материала – твердостью, прочностью, износостойкостью и т.п. Однако, получение оптимального сочетания таких свойств в объеме материала режущего инструмента представляет значительные трудности.

Поскольку создание нового материала является чрезвычайно длительным и дорогостоящим процессом, то наиболее эффективной является разработка технологий нанесения защитных износостойких покрытий на рабочие поверхности режущего инструмента [1].

Улучшение эксплуатационных характеристик инструментов является одним из основных направлений повышения ресурса и надежности их работы. Основные и наиболее важные эксплуатационные показатели работоспособности инструментов в значительной степени определяются качеством поверхностных слоев, потому формирование высококачественных поверхностных слоев - одно из наиболее эффективных средств повышения работоспособности инструментов.

Наряду с традиционными способами повышения эксплуатационных свойств режущего инструмента в настоящее время применяются новые перспективные, так называемые, физико-технические, или электрофизические методы обработки. Эти методы, как правило, связаны с использованием различных источников энергии и способны гораздо сильнее влиять на свойства поверхностных слоев инструмента, чем традиционно применяемая поверхностная обработка упрочнения. К таким способам относится обработка

изделий в вакууме с использованием энергии пучков ускоренных ионов и атомов [2,3].

Режущий инструмент является наиболее уязвимым звеном в технологических системах автоматизированного производства, поэтому использование современного высокопроизводительного и качественного режущего инструмента повышенной надежности, позволяет заметно увеличить эффективность автоматизированного производства и надежность его функционирования. Важной особенностью режущего инструмента является возможность его использования с применением различных смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС), позволяющих так же повысить износостойкость. При подборе предпочтение отдается режущему инструменту физико-механические, теплофизические и кристаллофизические свойства, которого наиболее полно отвечают условиям резания. Следует отметить, что как нет идеального, или универсального инструментального материала, также нет и какого-то универсального покрытия или метода упрочнения режущего инструмента. Чтобы достичь максимальной эффективности обработки для каждой конкретной технологической операции механической обработки и для каждого конкретного материала обрабатываемой заготовки целесообразно выбирать наиболее рациональный инструментальный материал и метод его упрочнения или покрытия.

Однако до настоящего времени отсутствует общепризнанный комплексный подход к исследованию закономерностей построения технологических процессов формирования высококачественных поверхностных рабочих слоев инструментов. Без учета данных, в полной мере объясняющих механизмы явлений, возникающих как при эксплуатации режущих инструментов, так и при реализации способов невозможно научно обоснованно спроектировать технологические процессы нанесения покрытий.

За последние годы накоплено большое число экспериментальных работ, свидетельствующих о значительном интересе к обработке, использующей потоки высокоэнергетических частиц [4,5]. На данный момент возникла необходимость в разработке системного подхода к подбору имплантируемых элементов и элементов покрытия, обеспечивающих физико-химические свойства наносимых слоев. Так же необходимы методические указания и алгоритмы действий для подбора методов нанесения покрытий, разработке поэтапного технологического процесса и выбора установки, для реализации метода, с учетом особенностей и требований производств.

Приведенная ниже блок-схема алгоритма поэтапной разработки условий и методов формирования на поверхности инструмента функциональных слоев (рис.1) позволит систематизировать подход к разработке типового технологического процесса для проектирования узкоспециализированного режущего инструмента. В данном алгоритме охвачена целиком область очередности действий, включающая в себя оценку всех параметров обрабатываемого изделия, разработку технологического процесса нанесения рабочего слоя, выбор химических элементов для модификации, материала

основы инструмента и заканчивая выбором установки и метода нанесения износостойкого покрытий.

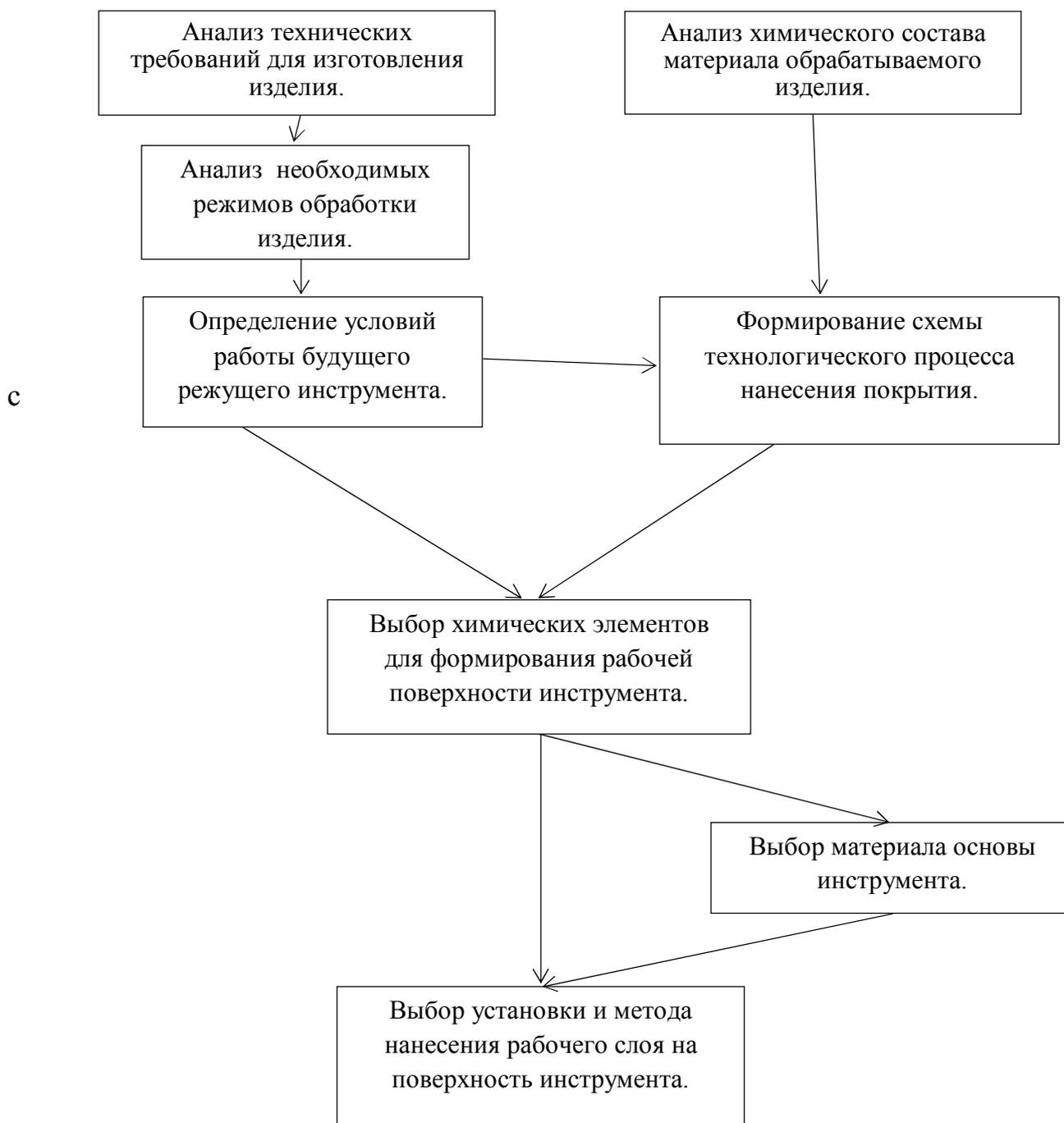


Рисунок 1 - Блок-схема поэтапной разработки условий и методов формирования на поверхности режущего инструмента функциональных слоев.

Одним из первых этапов, необходимых для формирования на поверхности режущего инструмента правильного функционального слоя, является анализ условий эксплуатации изделия, изучение закономерности процессов,

происходящих на контактных поверхностях и технических требований, предъявляемых к изделию. При оценке технических требований к изделию необходимо учитывать его назначение, особенности геометрической формы, физико-механические свойства материала, требуемые параметры качества поверхности и пр.

Тщательное изучение технических требований к изделию позволяет сформировать технологический процесс для его обработки и произвести анализ режимов резания, необходимых для изготовления будущего изделия. Данные по типу и числу технологических переходов, полученные в результате анализа режимов обработки, позволяют определить режимы резания, которые будут использоваться для обработки изделия.

Полученные расчетные данные о режимах резания позволяют определить действительные условия эксплуатации инструмента с нанесенным функциональным покрытием, а значит учесть температурные режимы обработки, нагрузку в зоне резания и пр.

Однако не менее важной для выбора наносимого покрытия на режущий инструмент является и оценка химического состава обрабатываемого изделия. Взаимная химическая инертность элементов, входящих в состав обрабатываемой заготовки и покрытия режущего инструмента позволяет дополнительно снизить износ инструмента и повысить качество обрабатываемой поверхности.

Имея резюмированные данные о химическом составе материала заготовки и условиях работы будущего инструмента с функциональным покрытием, возможно формирование технологического процесса нанесения покрытия на режущий инструмент. Типовой технологический процесс модификации поверхностного слоя режущего инструмента состоит из нескольких технологических переходов:

1) Распыление дефектного поверхностного слоя.

Данный переход позволяет получить на поверхности материала основы стехиометрии, определяемой химической формулой сплава основы, провести активизацию поверхностных атомов в кристаллической решетке основы и обеспечивает удаление поверхностного слоя, содержащего дефекты, трещины, поры, примесные адсорбированные атомы.

2) Создание переходного модифицированного слоя между основой и последующими подслоями покрытия.

Назначение переходного слоя – плавное изменение физико-механико-химических свойств от основы к покрытию. В некоторых случаях созданный на данном переходе модифицированный слой может быть внешним рабочим слоем инструмента, непосредственно контактирующим с поверхностью заготовки при ее обработке.

3) Формирование композитного покрытия.

Состоит из функциональных подслоев, обеспечивающих требуемые физико-химико-механические и эксплуатационные свойства изделия. Перечень требуемых свойств определяется в каждом конкретном случае, исходя из условий работы инструмента, материала и свойств заготовки.

Исходя из имеющихся данных по условиям работы режущего инструмента и разработанный технологический процесс нанесения функционального покрытия на его поверхность, а так же принимая во внимание химический состав материала

обрабатываемой заготовки, возможен выбор соответствующих материалов из базы данных для нанесения покрытия на рабочую часть режущего инструмента.

С учетом химического состава наносимого на поверхность режущего инструмента материала объективен выбор наиболее оптимального материала основы инструмента, который в процессе обработки будет обеспечивать наиболее эффективную адгезию наносимого рабочего слоя, тем самым обеспечивая максимально возможный уровень повышения всех эксплуатационных характеристик инструмента.

На заключительном этапе разработки метода формирования на поверхности режущего инструмента износостойкого функционального слоя, целесообразен выбор наиболее эффективного способа его нанесения, а так же, соответственно, установки и условий обработки. Необходимо принимать во внимание особенности технологического процесса, размеры заготовки, объемы партии обрабатываемых инструментов и пр.

Предлагаемый алгоритм, по нашему мнению, обеспечит более структурированный подход к разработке режущего инструмента, позволяя делать наиболее целесообразный выбор всех необходимых частей составляющих процесс его разработки. То есть алгоритм позволит систематизировать и наиболее эффективно применять накопленные знания в области модификации поверхностного слоя режущего инструмента.

Библиографический список

1. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы. - С-Пб.: Изд-во Лань, 2008. – 224 с.
2. Зубарев Ю.М., Ревин Н.Н. Повышение работоспособности деталей машин и инструментов. – С-Пб.: Изд-во С-Пб ГПУ, 2013. – 125 с.
3. Сенчило И.А., Зубарев Ю.М., Бабошкин А.Ф. и др. Технология обработки с использованием потоков высокоэнергетических частиц. - СПб., Изд-во ПИМаш, 2004. – 116с.
4. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента. – М.: Изд-во Машиностроение, 2011. – 368 с.
5. Зубарев Ю.М., Круглов А.И., Семейкин Д.В. Системный подход к подбору имплантирующих элементов при ИВМ путем создания алгоритма. Сб. «Известия Волгоградского государственного технического университета». Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении», вып. 9, №7 (110), 2013, с. 22-25.

COMPLEX TECHNIQUES FORM FUNCTIONAL LAYERS ON THE SURFACE CUTTING TOOL

M.A. Afanasenkov

The algorithm of the system approach to the development process conditions and methods of forming on the surface of the cutting tool functional layers, taking into account all the peculiarities of its further use to handle specific types of blanks.

Keywords: *system approach, the functional layer, cutting tools, wear-resistant coatings, operational properties, increase resistance.*

**ВИБРОУДАРНАЯ И ВИБРОВОЛНОВАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ
ОБРАБОТКА В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА
ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (НА ПРИМЕРЕ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, АВТОМОБИЛЬНОГО И Ж.Д.
ТРАНСПОРТА)**

А.П. Бабичев¹, д.т.н., профессор, **И.А. Бабичев²**, директор,
П.Д.Мотренко¹, д.т.н., профессор, **Ф.А. Пастухов¹**, инженер, Эль Дакдуки
Ахмад¹, аспирант

¹Донской государственной технической университет, ²ЗАО «Комтех-плюс», г. Ростов-на-Дону

В статье формулируется проблема, стоящая перед сельскохозяйственным машиностроением, авиационной промышленностью, железнодорожным транспортом – повышение надежности и ресурса работы изделий, работающих в тяжелых условиях. Приводится сравнительная характеристика методов обработки, используемых для решения рассматриваемой проблемы.

Применение транспортных средств различного назначения находит широкое применение в нашей стране и в мировой практике. При этом отмечается рост объемов изготавливаемых и применяемых изделий и их совершенствование. Увеличение жизненного цикла изделий автомобильного и железнодорожного транспорта, авиационной и сельскохозяйственной техники, улучшение их эксплуатационных характеристик является предметом изыскания путей решения упомянутых задач технологов и конструкторов машиностроения. В практике находит применение широкий спектр технологических методов и операций упрочняющей обработки деталей упомянутых типов изделий. Среди них в последние годы получили распространение методы виброударной и виброволновой упрочняющей обработки [1, 2].

Ключевые слова: виброволновая обработка, вибрационное упрочнение, поверхностный слой, виброударный инструмент, долговечность, износостойкость.

Ниже приведены некоторые примеры применения упомянутых методов обработки для повышения качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей транспортных средств различного назначения.

Виброударная обработка коленчатых валов тракторных и судовых двигателей осуществляется в рабочей камере объемом 100 и 350 дм³. Каждый вал размещается в специальном приспособлении, позволяющим ему вращаться вокруг своей оси под динамическим воздействием рабочей среды и её циркуляционного движения для равномерной обработки поверхности детали. Приспособление жёстко крепится к стенкам рабочей камеры, т.е. была выбрана схема, обеспечивающая наибольшую интенсивность процесса. В качестве рабочей среды использовалась смесь стальных шаров диаметром 8... 12 мм, продолжительность процесса при $A = 3$ мм и $f = 25$ Гц составила 60 минут. При этом достигается равномерное упрочнение поверхностного слоя всех

элементов детали, отделка и скругление острых кромок, плавность переходов, исключение поводки нежестких валов имеющей место при избирательной обработке обкатыванием галтелей крупногабаритных деталей. Сравнительные испытания усталостной прочности исходных и упрочнённых валов проводилась на специальном стенде в институте машиностроения АН БССР. Полученные положительные результаты позволили рекомендовать процесс виброударного упрочнения коленчатых валов для повышения их усталостной прочности и исключения нежестких валов на основе всесторонней и одновременной обработки всех элементов детали.

Методика экспериментальных исследований.

Эффективной является ВиО шатуна двигателя. Достаточно равномерно обрабатывается вся его сложная поверхность. Отделке и упрочнению подвергаются галтели и кромки.

Вибрационное упрочнение галтелей клапанов двигателя, изготовленных из стали 40ХН, осуществлялось в среде закалённых шлифованных роликов из стали ШХ-15 (HRC 62...64, размеры 20 x 20, вес ролика 50 г). Режим и продолжительность обработки: $A = 2,5$ мм, $f = 33,3$ гц, $t = 120$ мин. Обработка осуществлялась при непрерывной подаче ТЖ в виде 2%-го водного раствора кальцинированной соды.

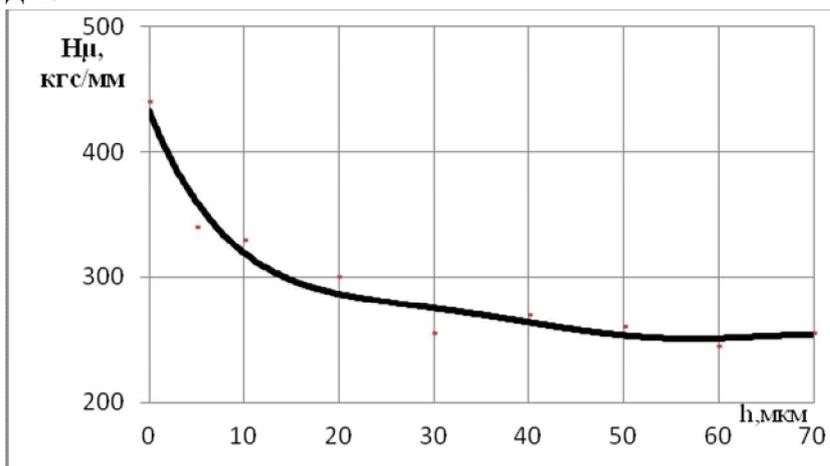


Рисунок 1 - Изменение микротвердости по глубине сечения галтели клапана двигателя

Исследована возможность применения ВиО для повышения долговечности и надёжности зубьев шестерён коробки перемены передач зерноуборочного комбайна. Шестерни изготавливаются из стали 25ХГ и подвергаются нитроцементации и термообработке до $HRC \geq 56$. Из-за конструктивных и эксплуатационных особенностей торцы шестерён при переключении скоростей подвергаются высоким контактными давлениями ударного характера, от которых преждевременно разрушаются их поверхности. Направленное изменение параметров качества поверхностного слоя торцев зубьев шестерён в результате виброударной обработки способствует повышению их долговечности и надёжности.

Сравнительным испытаниям подвергались шестерни коробки скоростей малого токарного станка ($m = 2$ мм), прошедшие шпиндельную виброотделку.

Обработка производилась в среде шлифзерна КЧ32, увлажненного 2%-ным водным раствором кальцинированной соды. Режимы и продолжительность обработки: Пш = 3000 об/мин., А = 2,5 мм, Пк = 2000 кол/мин (33 Гц), t = 5 минут, реверсивное вращение шпинделя - через 2,5 минуты. Скругление кромок достигало $r = 0,5...0,8$ мм.

Из обработанных шестерён были собраны две коробки скоростей, и проведены сравнительные испытания на шумность. Сравнились коробки скоростей с шестернями, изготовленными по технологии завода и шестернями прошедшими шпиндельную виброотделку. В обоих случаях сравнивалась шумность с эталонной коробкой скоростей. При этом установлено, что коробки скоростей, собранные из шестерён, изготовленных по технологии завода, для снижения шума до уровня эталона проходят приработку в течение 4...7 часов. Коробки скоростей с шестернями, прошедшими шпиндельную виброотделку, после сборки не превышают уровень шума эталона и дополнительной приработки не требуют. Кроме того, при эксплуатации отмечается лучшая включаемость шестерён, прошедших шпиндельную виброотделку.

В практике встречаются изделия, детали которых работают в тяжёлых условиях эксплуатации: без смазки, в среде жидкого водорода, при больших контактных давлениях. Износостойкость и долговечность таких деталей, в частности зубчатых передач, часто оказываются недостаточными. Возможность применения процесса виброударной обработки с целью повышения их долговечности и надёжности проведена на шестернях и колёсах, изготовленных из стали 30ХЗВА, азотированной на глубину до 0,65 мм и термообработанной до $HRC \geq 60$. Сравнительные испытания зубчатых передач, обработанных по разным технологическим схемам, проведены на специальных стендах в среде жидкого азота (при температуре $T = -196$ °С) при $a_k = 12500$ кгс/см² и $M_{кр} = 5213$ кгс-см.

Результаты и обсуждения.

Результаты испытаний зубчатых передач показали, что у прошедших виброударную обработку деталей износостойкость увеличилась в среднем на 30% по сравнению с базовыми (исходными), долговечность в 2 раза. Процесс виброударной обработки шестерён и колёс зубчатых передач был внесён разработчиком в ТУ на изготовление изделия.

Разработана технология и специальное оборудование вибрационной обработки шестерён тяговой передачи электровоза. Вибрационная обработка деталей осуществляется после фрезерования и термической обработки. ВиО осуществляется с целью удаления окалина и заусенцев, скругления кромок торцов зубьев и снижение шероховатости их рабочей поверхности, в том числе впади зубьев. Материал детали - сталь 20ХНЗА; поверхность зубчатого венца подвергается цементации и закалке ($HRC 60...63$). Размеры детали: наружный диаметр - 400 мм, высота - 100 мм, вес - 50 кг, ш = 10 мм, z = 23. Специальное оборудование предусматривает одновременную обработку 5 деталей, устанавливаемых на медленно вращающихся шпинделях (круговая подача) с целью обеспечения равномерной обработки зубьев. Вибрационная обработка (по ре-

зультатам исследований) обеспечивает удаление окалины, съём заусенцев и скругление кромок зубьев, снижение шероховатости поверхности составило от Ra 4,5 - 3 мкм до Ra 1 - 1,5 мкм.

В НИИ «Вибротехнология» ДГТУ созданы и исследованы оригинальные конструкции многоконтактных виброударных инструментов для упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД). Промышленная апробация произведена на операциях упрочнения фасонных поверхностей силовых деталей, в том числе сварных швов. Проведенные испытания упрочненных сварных швов показали хорошие результаты: разрушения в результате испытаний происходят по основному материалу, упрочненный сварной шов оказался прочнее основного материала. Указанный инструмент и технология могут быть использованы для упрочнения сварных швов стыков железнодорожных рельс, рамных конструкций бандажей и осей колес подвижного состава и т.п. Инструмент удобен в эксплуатации, может применяться в заводских условиях, ремонтных мастерских, на линии и в полевых условиях.

Многоконтактный виброударный инструмент может быть применен для упрочнения рабочих поверхностей путевых (рельсовых) крестовин с целью повышения их износостойкости.

Большой интерес представляет отделочно-упрочняющая обработка пружин и рессор подвижного состава методом виброударной и виброволновой механо-термической обработки и алюминирования (совмещенный процесс упрочнения и образования алюминиевого покрытия). Для реализации разработан технологический процесс, спецоборудование; произведена практическая апробация на Белорецком специализированном заводе по изготовлению широкой номенклатуры пружин и на Одесском заводе «Стройгидравлика». Получены положительные результаты, повышение долговечности пружин при усталостных испытаниях составляют 30...40% и более. Указанным методом возможно образование покрытий из порошков цинка, алюминия, титана, графита, дисульфида молибдена, меди.

Разработан процесс вибрационного механохимического цинкования с целью образования цинковых покрытий широкой номенклатуры деталей. Практическая апробация технологии ВиМХЦ осуществлена совместно с Тихорецким заводом путевых машин на деталях крепежа и с заводом «Автозапчасть» на деталях типа тормозных пластин. При ВиМХО возможно образование других видов покрытий (оксидирование, меднение, фосфатирование).

С КБ авиационных двигателей «Сатурн» (г. Москва), выполнены работы по образованию покрытий MoS_2 на детали и узлы, работающие в условиях критических нагрузок при форсированных режимах работы двигателя: нанесение такого же покрытия на рабочие поверхности гидроцилиндров из титанового сплава. Образование покрытий осуществляется при совмещенном процессе виброударной обработки и образования пленки дисульфида молибдена.

Виброударная упрочняющая и стабилизирующая обработка крупногабаритных нежёстких коленчатых валов дизелей выполнена и апробирована совместно с предприятиями транспортных двигателей г. Барнаул. Аналогичные работы выполнены для повышения качества и долговечности коленчатых и распределительных валов автомобильных и тракторных двигателей (Минский моторный завод); Саратовский завод «Автотракторозапчасть» г. Саратов) Виброударная и виброволновая обработка может быть эффективно использована для упрочнения штампового инструмента и режущих инструментов.

Некоторые примеры практической апробации результатов исследований приведены на рис. 2 а,б,в,г.

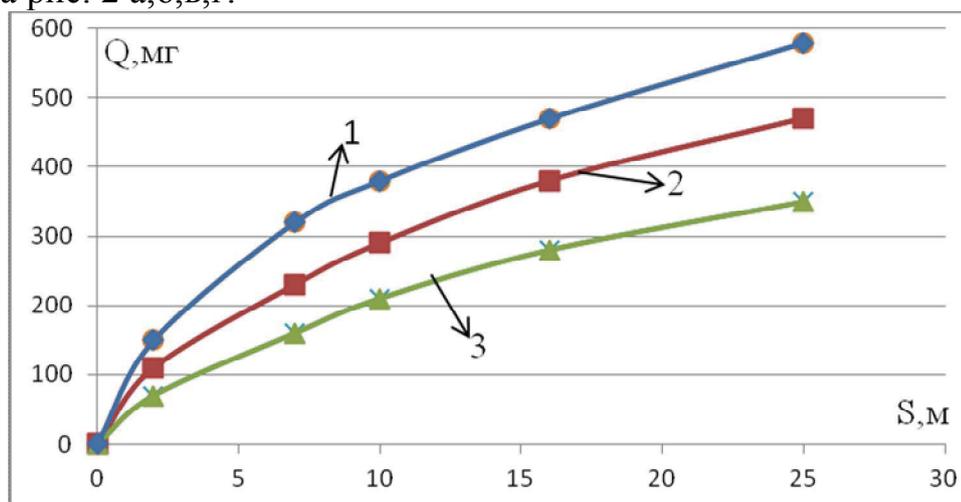


Рисунок 2а - Влияние виброударной обработки на суммарный износ пар трения образцов при различных условиях испытания в зависимости от величины пути трения S . Материал образцов – сталь У12, состояние образцов: 1 – шлифование со шлифованием; 2 – шлифование с виброупрочнением; 3 – виброупрочнение с виброупрочнением

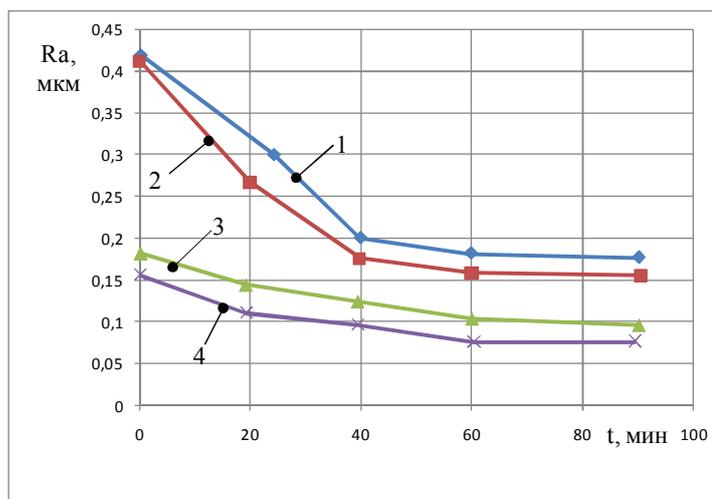


Рисунок 2б - Влияние времени (t) виброударной обработки и амплитуды колебаний (A) на изменение шероховатости (Ra)
 1- 3 - амплитуда $A=2,5$ мм, 2-4- амплитуда $A=3$ мм; шар $d= 8$ мм
 (материал образцов: P18; P6K5; X12M)

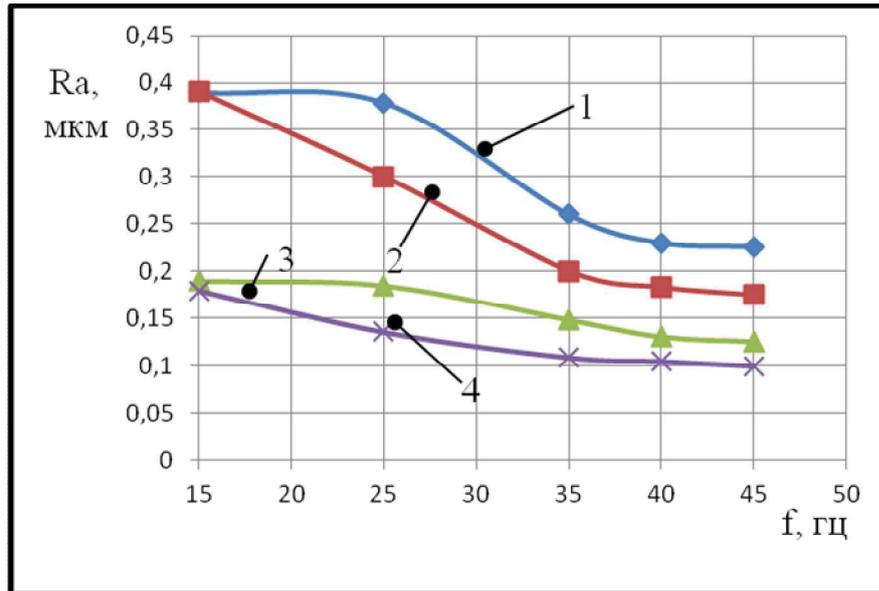


Рисунок 2в - Влияние частоты колебаний (f) и диаметра шара на изменение шероховатости поверхности (R_a): 1, 3 – шар $d=8$ мм; 2, 4 – шар $d=11$ мм; (материал образцов: сталь P18; P6K5; X12M)

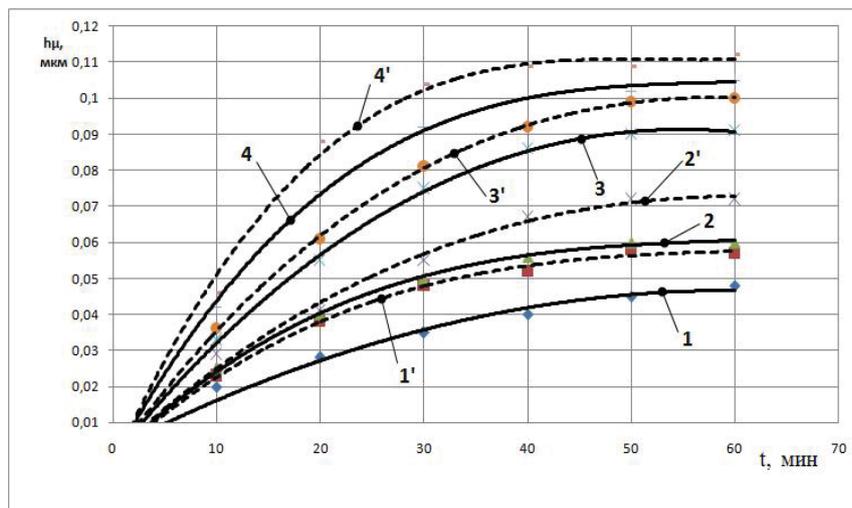


Рисунок 2.г - Влияние амплитуды колебаний, времени обработки и диаметра шара на глубину упрочнения (h_u) стали X12M, P6M5, P18: 1, 2, 3, 4 - $d=8$ мм; 1', 2', 3', 4' - $d=14$ мм; 1, 1' - $A=1,5$ мм; 2, 2' - $A=2$ мм; 3, 3' - $A=2,5$ мм; 4, 4' - $A=3,5$ мм; (время ВиО – 40 мин, частота колебаний $f=35$ Гц), исходная шероховатость поверхности $R_a=0,42$ мкм

Библиографический список

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. - Ростов-н/Д: ДГТУ, 1999. - 620 с.
2. Бабичев А.П., Мотренко П.Д. и др. Отделочно-упрочняющая обработка

деталей многоконтактным виброударным инструментом. - Ростов-н/Д, ДГТУ, 2003. - 192 с.

3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 2004. - 287 с.

4. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 2002. - 299 с.

5. Суслов А.Г., Рыжов Э.В., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. - М.: Машиностроение, 1979. – 176.

6. Ганиев Р.Ф., (под ред.) Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии. – Киев: Техника 1980.

7. Фортов В.Е., Избранные статьи и доклады.- Черноголовка: ИПХФ РАН, 2005. - 575 с.

SHOCK-VIBRATION AND VIBROWAVE STRENGTHENING TREATMENT IN THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING (PRODUCING) AND REPAIRING OF VEHICLES (ON EXAMPLE OF FLYING APPARATUSES, OF HIGH WAY AND RAILWAY TRANSPORTATION)

**A. P. Babichev, I.A. Babichev, P. D. Motrenko, Ph. A. Pastukhow ,
Ahmad El Dakdouki**

The paper raises the problem that agricultural machinery, aviation industry, railroad transport are facing increasing reliability and operational life of hardware, working in hard conditions.

The comparative analysis of operation methods used for solving this problem is given.

The application of various vehicles is widely spread both in our country and in the world. Herein the volume growth of produced and applied hardware as well as their refinement is noticed.

The increasing of operational life of high way and railway transportation, aerotechnics, agricultural machinery, the improvement of their performance characteristics is the subject of investigation of solution methods by technologists and designers.

In practice a wide range of technological methods is applied together with operations of strengthening treatment of parts of the devices mentioned above.

Among them the methods of shock- vibrating and vibrowave strengthening machining have recently become widely spread.

Key words: vibrowave strengthening, vibration, surface layer, vibro-impact tool, durability, endurance.

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

А.В. Балашов, к.т.н., доцент, **А.А. Верховская**, магистрант,

И.С. Потапов, студент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Рассмотрены особенности разработки способов управления показателями точности при изготовлении нежестких корпусных деталей, основанные на принципах поискового конструирования. Приведен одного из способов управления показателями точности, полученного в результате комбинаторного синтеза.

Ключевые слова: управление точностью, корпусные детали, поисковое проектирование.

Введение. Существующая тенденция к снижению материалоемкости выпускаемых изделий, возрастающие потребности промышленности в упругих устройствах обусловили непрерывный рост объема производства нежестких корпусных деталей высокой точности. Нежесткие корпусные детали применяются в широком классе машин. Анализ литературных источников, рабочих чертежей нежестких корпусных деталей позволил выявить наиболее характерные требования по точности, предъявляемые к данным поверхностям: отклонения формы и взаимного расположения главных поверхностей - от 5 мкм до 50 мкм; точность линейных размеров (толщина стенки) - 7 - 10 квалитеты; параметр шероховатости, R_a - 0,32 - 0,25 мкм. Достижение данных требований без использования специально разработанных способов достижения требуемой точности весьма затруднительно. В настоящее время существуют различные способы управления показателями точности (СУПТ), однако все они требуют систематизации, позволяющей не только выбрать способ управления из уже имеющихся, но и разработать новый способ управления точностью на основе систематизированных данных.

Теория. Для систематизации СУПТ целесообразно использовать методологию поискового конструирования и, в частности, метод синтеза технических решений (ТР) на И-ИЛИ - графе. Суть метода состоит в том, что информацию о прототипах и известных ТР представляют и записывают в виде связного графа. На основе И-ИЛИ - графа ТР и общего списка требований разрабатывается модель оценки синтезированных ТР, которая позволяет сравнить различные варианты ТР, выбирать ТР, удовлетворяющие заданному списку требований а так же получать наилучшие ТР.

Граф $G(X,U)$ включает в себя два типа множеств: множество X и множество ребер U . Вершины графа описывают элементы и признаки ТР, выявленные в результате предварительных исследований. Ребра показывают иерархическую соподчиненность между вершин X состоит из пары

подмножеств X_1 и X_2 . Вершины подмножеств X_1 называются И-вершинами; они представляют собой элементы технических объектов, общие для всех ТР. Подмножество X_2 составляют ИЛИ - вершины, которые объединяют альтернативные элементы и признаки, учитывающие особенности каждого из ТР. Особенности построения И-ИЛИ - графа подробно рассмотрены в [1].

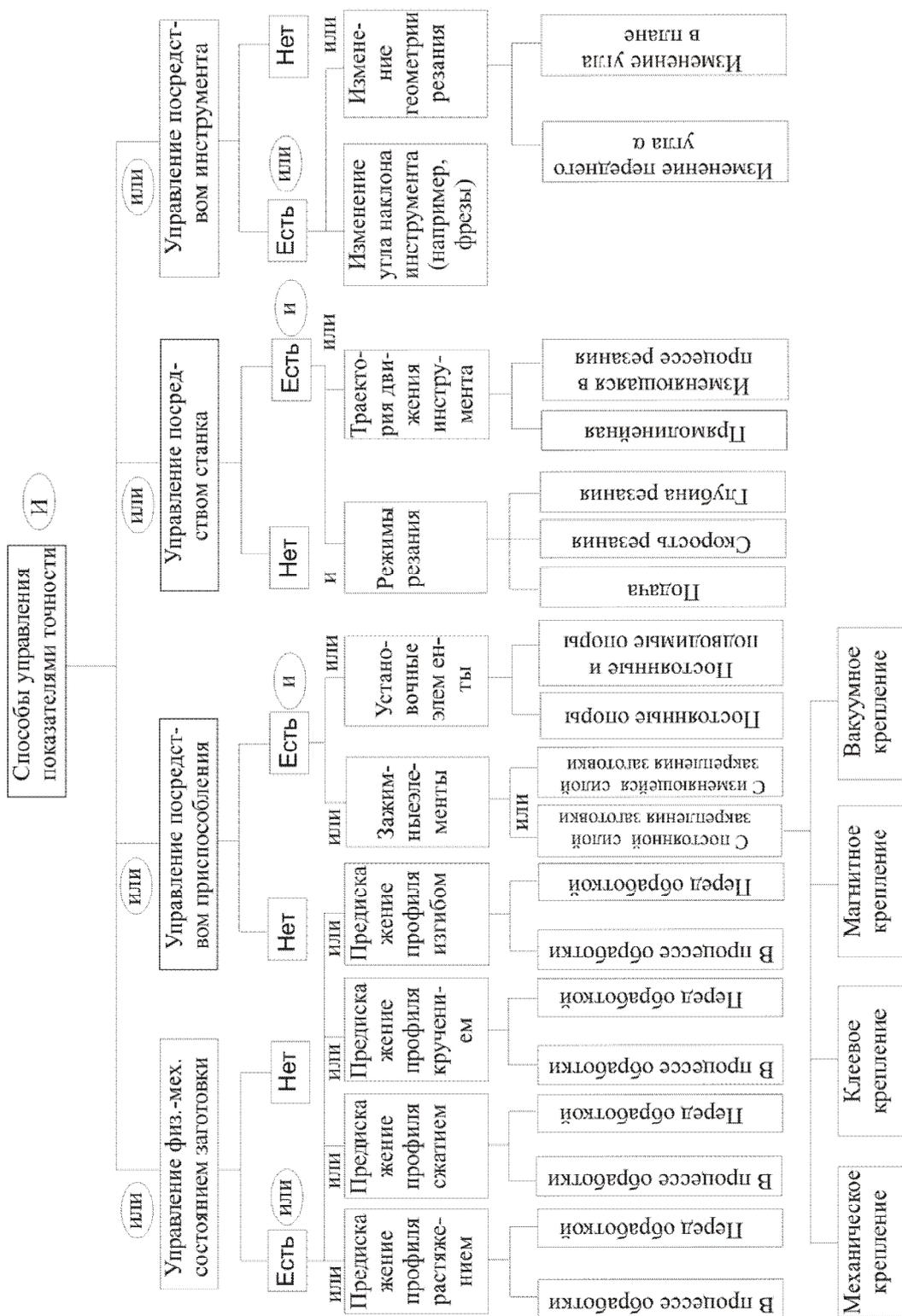


Рисунок 1 - И-ИЛИ-граф способов управления показателями точности при обработке плоских поверхностей нежестких деталей

После составления И-ИЛИ- графа следует синтез структуры ТР, удовлетворяющих требованиям технического задания. Данная процедура весьма трудоемка и требует использования вычислительной техники. Результатом работы служат синтезированные структуры технических решений, которые выводятся на дисплей или принтер в виде иерархической последовательности совокупности описаний их основных элементов (рисунок 2). На основе выданных решений разрабатываются принципиальные схемы из осуществления.

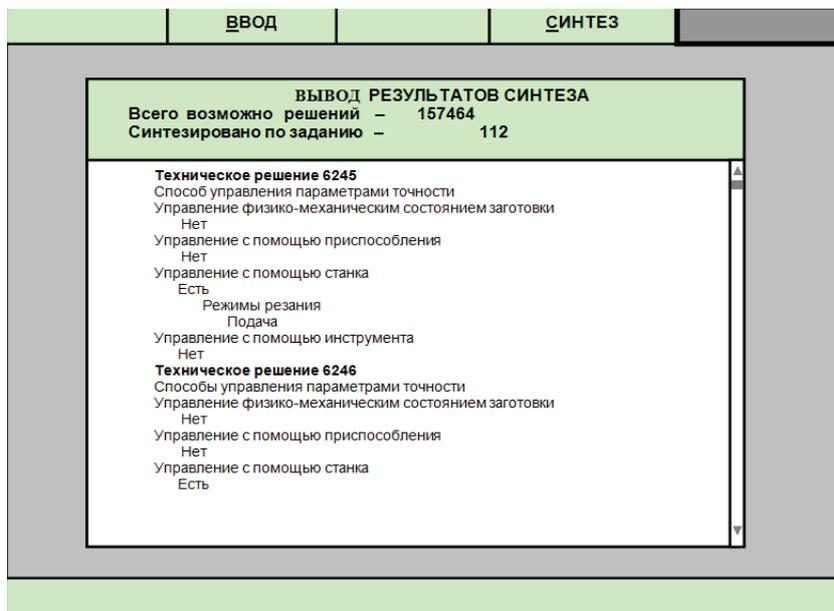


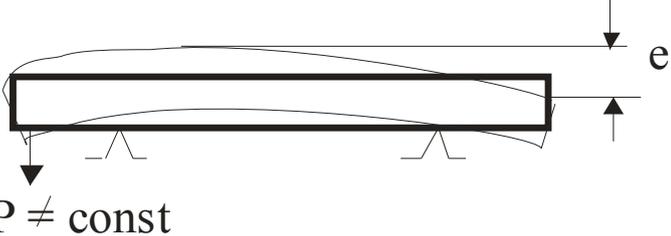
Рисунок 2 - Экранная форма результатов синтеза ТР

Результаты. В таблице 1 приведены принципиальные схемы реализации двух ТР, полученных в результате комбинаторного синтеза и обладающих новизной. Техническое задание формулировалось следующим образом: «Способ фрезерования плоскостей нежестких корпусных деталей, в котором обеспечение заданных показателей волнистости, плоскостности и толщины стенки осуществляется автоматически, за счет изменения физико-механического состояния заготовки перед обработкой или в процессе обработки».

Таблица 1 - Технические решения, полученные на И-ИЛИ - графе

Обозначение	Обеспечиваемый показатель точности	Принципиальная схема реализации технического решения
ТР-1	Толщина стенки Волнистость Плоскостность	

Продолжение таблицы 1

Обозначение	Обеспечиваемый показатель точности	Принципиальная схема реализации технического решения
ТР-2	Толщина стенки Волнистость Плоскостность	 <p>$P \neq \text{const}$</p>

Представленное в таблице 1 первое техническое решение (ТР-1) предусматривает возможность управления показателями точности мало жесткой детали посредством предискажения обрабатываемой поверхности заготовки изгибом при помощи двух внешних сил P_1 и P_2 до обработки. Предискажение заготовки осуществляется на величину упругих отжатию заготовки «е», возникающих во время обработки, тем самым, компенсируя их и позволяя выдержать исследуемый линейный размер (толщину стенки) в пределах поля допуска.

Техническое решение ТР-2 позволяет управлять показателями точности мало жесткой детали при помощи изгиба обрабатываемой поверхности заготовки одной внешней силой P во время обработки, причем величина силы P изменяется в зависимости от положения фрезы в ходе резания. Данное техническое решение также позволяет выдержать необходимый размер в пределах поля допуска.

Выводы

1. Разработанный подход к систематизации способов управления показателями точности обработки не жестких деталей, основанный на принципах поискового конструирования, позволяет не только выбрать требуемый способ управления из уже существующих, но и предложить новые способы управления точностью, являющиеся результатом комбинаторного синтеза структуры технических решений.

2. Предложенные способы управления показателями точности при фрезеровании плоских поверхностей не жестких деталей способны обеспечивать соблюдение требуемых точностных показателей в процессе обработки в автоматическом режиме.

Библиографический список

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1998. – 368 с., ил.

WAY OF MANAGEMENT OF ACCURACY PRODUCTION OF NONRIGID CASE DETAILS

A.V. Balashov, A.A. Verhovskaya, I.S. Potapov

Features of development of ways of management are considered by accuracy indicators at production of the nonrigid case details, based on the principles of search designing. It is provided one of ways of management by indicators of the accuracy, received as a result of combinatory synthesis.

Key words: Management of accuracy, case details, search design.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ

В.Н. Беляев, к.т.н., доцент

Бийский технологический институт (филиал)

АлтГТУ им. И. И. Ползунова, г. Бийск

Предлагается подход для обеспечения эксплуатационных характеристик деталей обкатыванием путем варьирования свойств технологической жидкости, воздействия электро-магнитного поля, светового облучения и других параметров внешней среды.

Ключевые слова: обкатывание, технологическая жидкость, модифицирование, покрытие

В настоящее время в области контактного взаимодействия материалов существует достаточно много фундаментальных открытий и исследований (гидродинамическая теория смазки, эффект Ребиндера, явление избирательного переноса и т.д.), формирующих понимание основных явлений происходящих на границах раздела фаз, в том числе и при механической обработке материалов. В то же время создание и исследование новых эффективных технологий, базирующихся на существующих фундаментальных основах, с применением новых подходов к обработке материалов всегда является актуальным.

Улучшение свойств поверхностного слоя детали является одним из путей повышения эксплуатационных характеристик изделий. Для этого используют различные методы: химико-термическая обработка, нанесение различных специальных покрытий, поверхностно-пластическое деформирование и др. Процессы поверхностного пластического деформирования широко изучены многими учеными. При этом, практически отсутствует теория ППД, учитывающая физико-химическое влияние внешней среды на процесс деформации металла.

Одним из перспективных методов формирования поверхностного слоя деталей является обкатывание при котором деформация металла обеспечивается подачей технологической жидкости под давлением от гидростанции к деформирующему шару. При данном способе разделением слоем технологической жидкости поверхности деформирующего шара и обрабатываемой детали может позволить: изменять процесс деформации металла, реализуя эффекты Ребиндера, Киркендала и др.

Таким образом, предлагается подход обеспечения эксплуатационных характеристик деталей при обкатывании варьированием параметрами внешней среды (свойства технологической жидкости, воздействие электро-магнитного поля, светового облучения и др.). При реализации такого подхода, достижение требуемых эксплуатационных характеристик деталей (антифрикционности, износостойкости) можно достичь путем модифицирования поверхностного слоя ультрадисперсными материалами, введенными в технологическую

жидкость[1], формирования покрытий на поверхности при реализации окислительно-восстановительной реакции введением солей металлов в технологическую жидкость[2].

На границе раздела фаз практически всегда протекают электрохимические процессы. Наложение электрического поля на процесс деформации металла при обкатывании позволяет влиять на процесс деформации металла, формирования покрытий на поверхности детали, являясь инструментом к технологическому обеспечению эксплуатационных свойств деталей.

Библиографический список

1. Беляев В.Н., Жарков А.С., Татаркин Е.Ю. Улучшение шероховатости и твердости поверхностного слоя деталей при обкатывании с гидроприводом введением нанокремнезема в зону обработки / Ползуновский вестник. – 2012. – №1. – С. 37-40.

2. Беляев В.Н., Татаркин Е.Ю. Повышение износостойкости деталей нанесением меди на поверхность при обкатывании с гидроприводом / Упрочняющие технология и покрытия. – 2012. – №7. – С. 3-6.

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF OPERATIONAL PROPERTIES OF DETAILS ON ROLLING

V.N. Belyaev

Approach of providing exploitation characteristics of details by rolling is offered at a variation of properties of technological liquid, by influence of an electromagnetic field, light radiation and other parameters of environment.

Keywords: rolling, technological liquid, modifying, coating

СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ОБРАБОТКЕ ППД СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

В.Ю. Блюменштейн, д.т.н., профессор, **М.С. Махалов**, к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово.

Рассматривается задача расчета деформационных параметров металла поверхностного слоя при обработке поверхностным пластическим деформированием роликами специального профиля.

Ключевые слова: Поверхностный слой, технологическая наследственность, сложнопрофильный инструмент

Введение

К числу эффективных направлений обеспечения требуемого состояния поверхностного слоя при обработке поверхностным пластическим деформированием (ППД) относят использование комбинированных инструментов, в том числе, со сложной геометрией профиля. Это обусловлено стремлением создать в очаге деформации напряженно-деформированное состояние с существенным гидростатическим напряжением близким к всестороннему сжатию. В свою очередь, это позволяет в процессе обработки ППД накапливать большие деформации, распространяющиеся на большую глубину без разрушения поверхностного слоя.

Методика проведения экспериментальных исследований

Исследуемые образцы $\varnothing 67$ мм и длиной 350 мм были изготовлены из стали 45 одной поставки (ГОСТ 1050-88, 160-180 *HV*). Цилиндрическая поверхность образца разделена на 5 шеек канавками глубиной 5 мм и шириной 10 мм.

Маршрут подготовки поверхностей образца под обработку ППД следующий:

1. Резание предварительное: подача $S = 0,07$ мм/об; припуск $t = 0,25$ мм на сторону; резец проходной 2102-0307 29x20, материал режущей части Т15К6;
2. Резание чистовое: $S = 0,07$ мм/об; $t = 0,05$ мм на сторону; резец проходной 2102-0307 29x20, материал режущей части Т15К6;
3. Шлифование предварительное: наждачная бумага 20-Н 14А СФЖ ГОСТ 13344-79.
4. Шлифование окончательное: наждачная бумага 13А СФЖ 4П УГ П580.

Проводилась обработка поверхностным пластическим деформированием роликом со специальным двухрадиусным профилем при использовании различных усилий деформирования.

Специальный профиль ролика диаметром $D_p = 60$ мм представлял собой комбинацию 2-х близкорасположенных деформирующих элементов (ДЭ), имеющих относительно друг друга некоторое смещение в радиальном направлении (рис. 1).

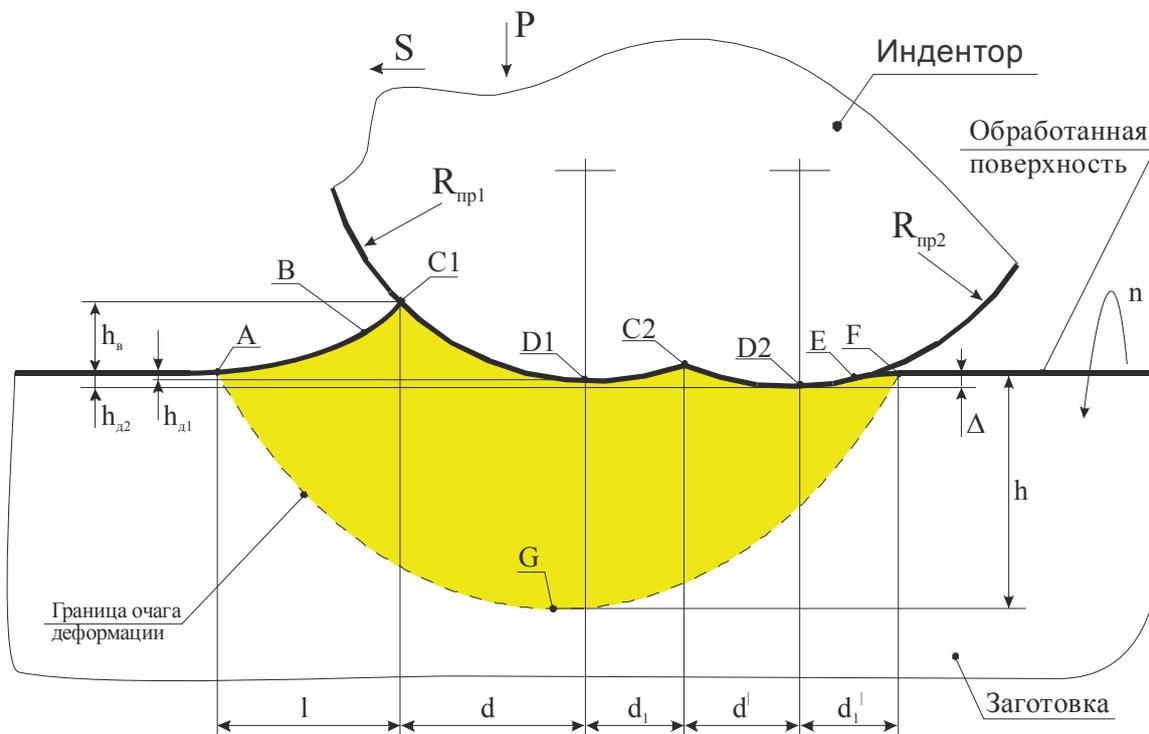


Рисунок 1 - Схема очага деформации (ОД) при обработке ППД двухрадиусным роликом специального профиля: $ABC_1D_1C_2D_2EFG$ - контур ОД, h_b - высота волны, Δ - величина упруго-пластического восстановления металла за инструментом, h - глубина ОД (глубина упрочнения), l - длина передней внеконтактной поверхности, d - длина передней контактной поверхности 1-го ДЭ, d_1 - длина задней контактной поверхности 1-го ДЭ, d' - длина передней контактной поверхности 2-го ДЭ, d_1' - длина задней контактной поверхности 2-го ДЭ

Деформирующий элемент первым входящий в контакт с поверхностным слоем имел профильный радиус $R_{np1} = 1$ мм.

Второй ДЭ также имел профильный радиус $R_{np2} = 1$ мм и смещение относительно 1-ого элемента в радиальном направлении на величину 0,03 мм. Таким образом, действительный натяг 2-го элемента относительно поверхности составил $h_{\delta 2} = h_{\delta 1} + 0,03$ мм.

Теоретическое расстояние между вершинами деформирующих элементов составило $d_1 + d' = 0,733$ мм. Вследствие этого, волна деформированного металла, возникающая от воздействия второго деформирующего элемента, располагалась в задней зоне очага пластической деформации, созданного первым деформирующим элементом.

Частота вращения составляла $n = 630$ об/мин, подача $S = 0,07$ об/мин, усилия, задаваемые при обработке, приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Усилия при обработке экспериментальных образцов

№ образца	Усилие P , кгс/Н
1.0	250/2500
1.1	100/1000
1.2	200/2000
1.3	250/2500
1.4	300/3000
1.5	350/3500

Фиксация очага деформации проводилась с помощью специального приспособления для «отстрела» роликовой головки (рис. 2). Обработка образца № 1.0 проводилась без устройства для отстрела.

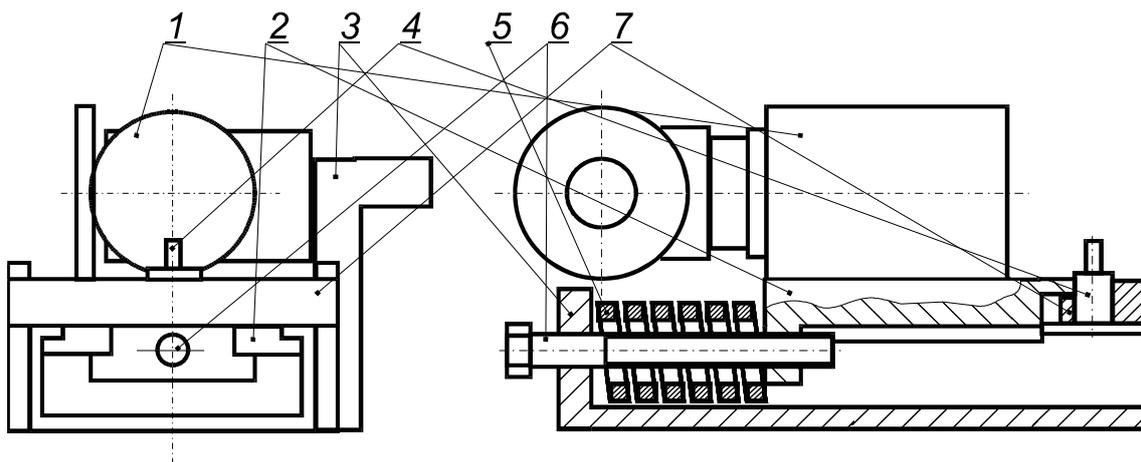


Рисунок 2 - Приспособление для «отстрела» роликовой головки: 1 – роликовая головка; 2 - салазки; 3 - станина с направляющими; 4 - стопор; 5 - пружина; 6 - винт; 7 - брусок

В дальнейшем с поверхности образцов на электроэрозионном станке вырезали образцы-сегменты для проведения исследований, включая (рис. 3):

1. Сегмент размером 10x5x5 мм в количестве 2 шт. вырезался из зоны очага деформации.

2. Сегмент размером 5x5x5 мм в количестве 2 шт. вырезался из обработанной ППД поверхности образца.

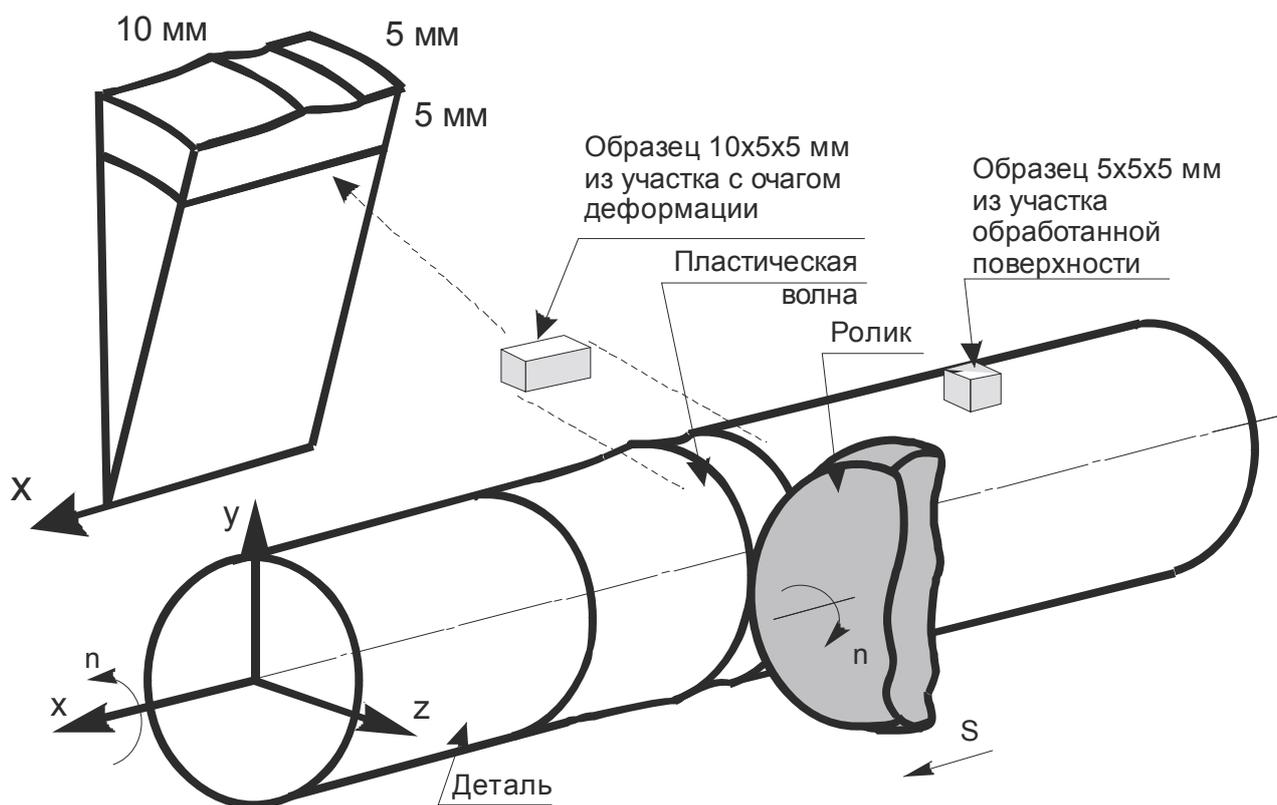


Рисунок 3 - Схема вырезки и размеры вырезаемых образцов: сегмент 10x5x5 мм из зоны очага деформации, сегмент 5x5x5 мм из зоны обработанной поверхности

На следующем этапе исследований выполнялось сканирование (измерение) профиля очага деформации в осевом сечении вырезанных образцов (рис. 4). Для этого использовался комплекс изучения топографии поверхности (оптический интерферометр) ZygoNewView™ 7300, который предназначен для получения 3D топографии участка поверхности и автоматического (программного) расчета параметров 3D шероховатости на микро и наноуровне. Схема сканируемых участков показана на рис. 5.

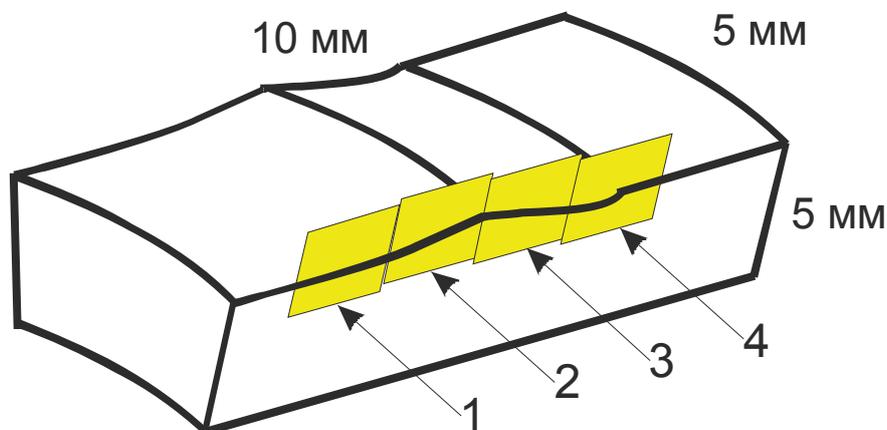


Рисунок 4 - Плоскость фиксации профиля очага деформации

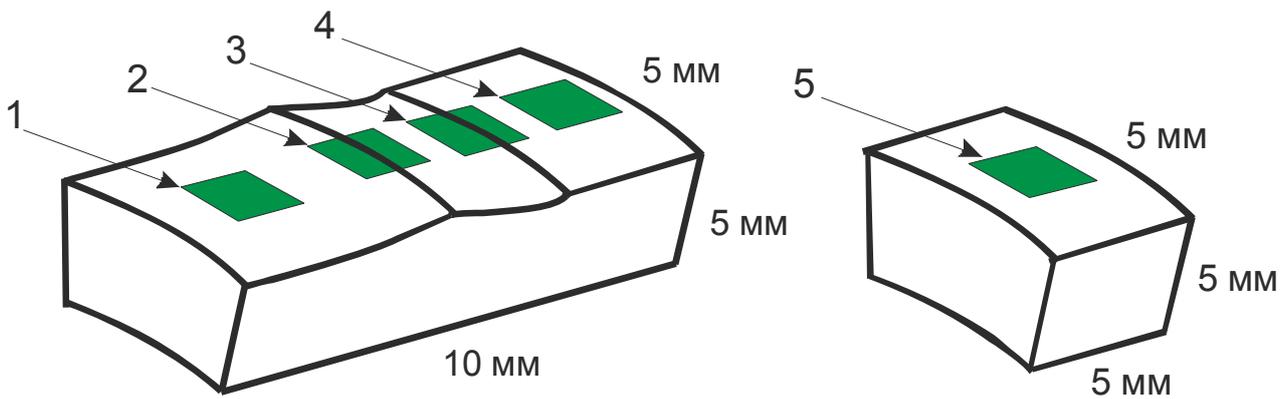


Рисунок 5 - Схема получения 3D топографии участков исследуемых поверхностей

Фрагмент 3D изображения микропрофиля поверхности очага деформации в формате программного обеспечения ZygoNewView представлен на рис. 6.

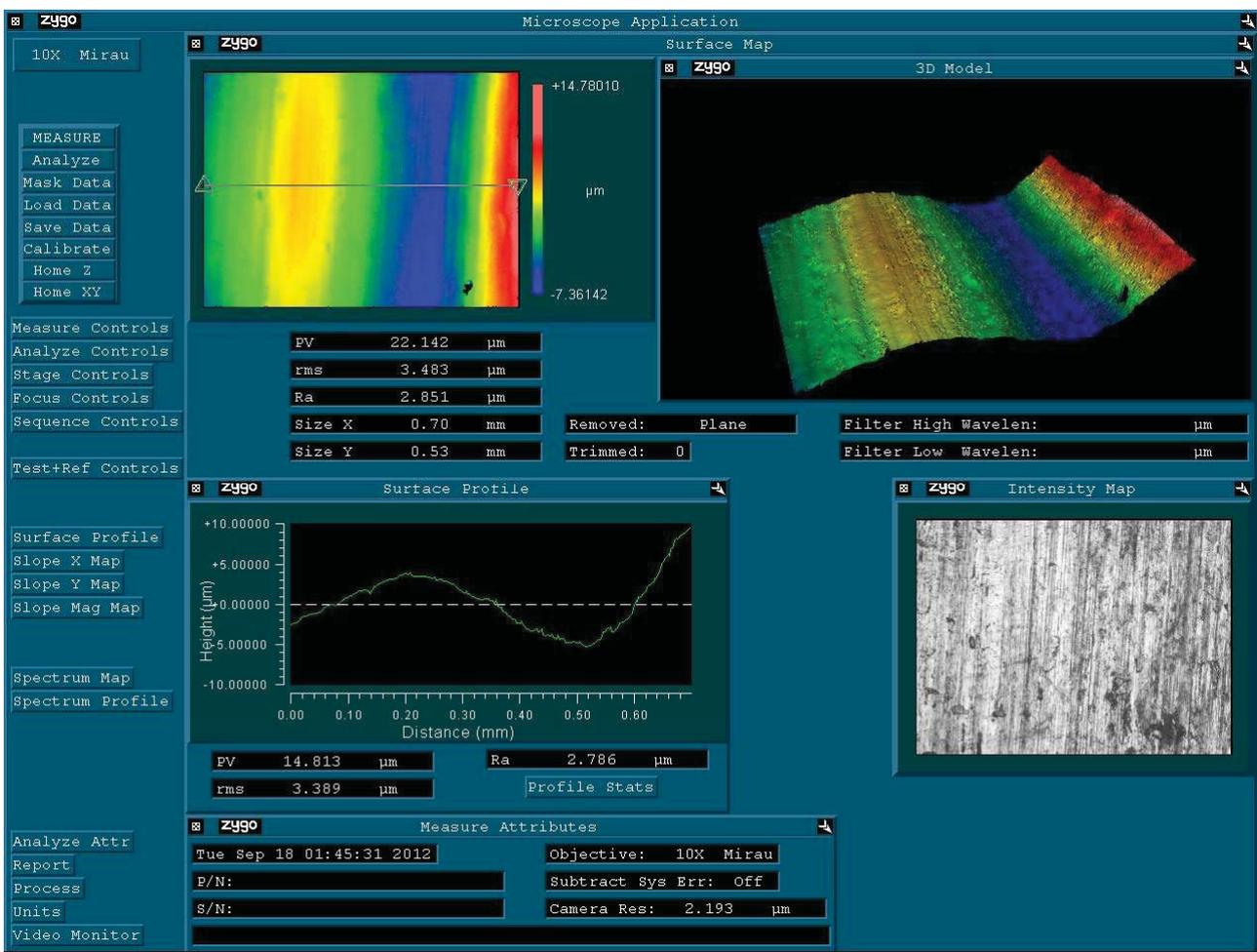


Рисунок 6 - Фрагмент 3D изображения микропрофиля поверхности очага деформации (образец № 1.0)

Полученные фрагменты профилограмм (рис. 7) очагов деформации в дальнейшем подвергались соединению и масштабированию (рис. 8).

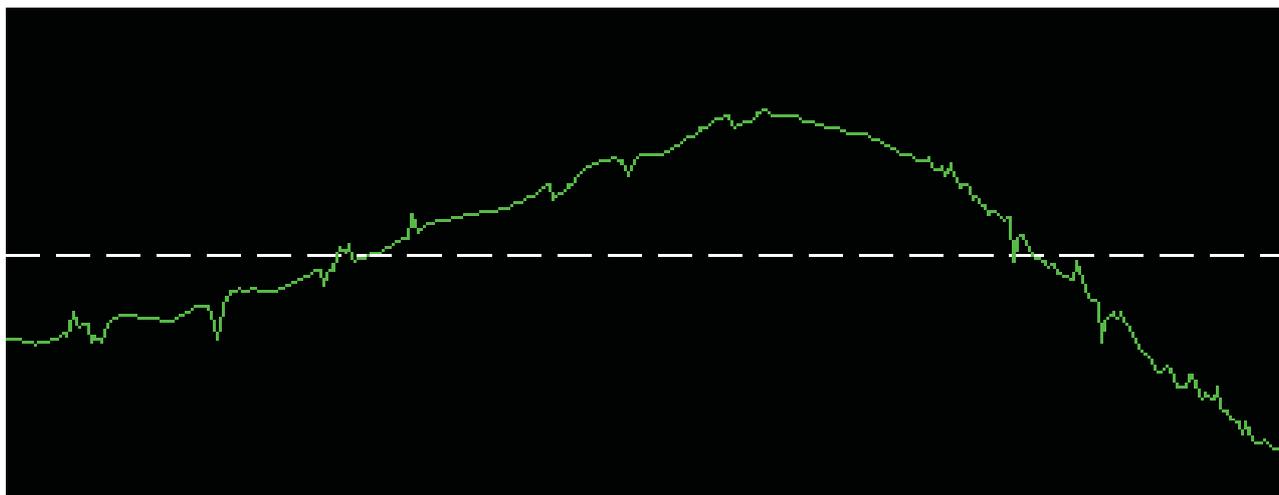


Рисунок 7 - Фрагмент профилограммы очага деформации в 2D формате (образец 1.1)



Рисунок 8 - Пример профилограммы очага деформации (образец 1.3)

Измеренные по полученным профилограммам параметры ОД представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Параметры ОД экспериментальных образцов

№ обр.	Ra, мкм	l, мм	hd ₁ , мм	hd ₂ , мм	h _в , мм	hd ₁ +hd ₂ , мм
1.0.	0,770	0,695	0,013	0,007	0,007	0,019
1.1.	0,573	0,615	0,000	0,009	0,007	0,009
1.2.	0,595	0,000	0,004	0,001	0,000	0,005
1.3.	0,479	0,723	0,003	0,013	0,005	0,016
1.4.	1,047	0,484	0,003	0,015	0,004	0,018
1.5.	0,926	0,677	0,008	0,009	0,005	0,017

Для определения компонентов напряженно-деформированного состояния при обработке использовался метод конечных элементов (МКЭ). В соответствии с принятыми постановками моделирования создавались конечно-элементные модели, состоящие из обрабатываемой детали и внедряемого в нее ролика специальной формы. Деталь моделировалась как упругопластическое тело, а ролик – как абсолютно жесткое [1-3].

Выполнены исследования напряженно-деформированного состояния очага деформации, включая полный комплекс компонент тензора напряжений и деформаций.

Получены взаимосвязи параметров очага деформации с параметрами качества поверхностного слоя, включая шероховатость, упрочнение, остаточные напряжения.

Показана высокая эффективность обработки сложнопрофильным инструментом.

Библиографический список

1. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. - М.: Машиностроение, 2002. - 300 с.

2. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. - М.: Машиностроение, 1977. - 423 с.

3. Блюменштейн В. Ю. Механика поверхностного слоя при обработке размерным совмещенным обкатыванием / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // Упрочняющие технологии и покрытия. - М.: Машиностроение, 2006. - №2(14). - С. 18-27.

MACHINE PARTS SURFACE LAYER METAL CONDITION IN COMPLEX PROFILED TOOL SURFACE PLASTIC DEFORMATION PROCESSING

V.Y. Blumenstein, M.S. Mahalov
Kuzbass State Technical University, Kemerovo

The problem of surface layer metal deformation parameters calculating in special profiled tool surface plastic deformation processing is proved as being topical.

KeyWords: Surface layer, technological inheritance, complex profiled tool

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

А.А. Бондарев, аспирант, **Ю.Н. Полянчиков**, д.т.н., профессор,
А.Р. Ингеманссон, к.т.н., **Д.В. Крайнев**, к.т.н., доцент
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

Создана математическая модель, описывающая закономерности формирования шероховатости при точении с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности. Регрессионный анализ позволил выявить характер зависимости функции отклика и величину влияния каждого из факторов на нее. Предложена формула для расчета среднего арифметического отклонения профиля Ra, расширяющая возможности применения способа резания с ОПД в практике механической обработки.

Ключевые слова: математическая модель, шероховатость, точение, опережающее пластическое деформирование (ОПД), формула, расчет, углеродистые стали

Введение

В современном машиностроении широко применяются конструкционные углеродистые и легированные стали, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости и качества поверхности. Благодаря исследованиям отечественных и зарубежных ученых, инженеров накоплен значительный опыт в области улучшения обрабатываемости материалов резанием. Так, на основе анализа исследований можно выделить следующие направления повышения эффективности обработки материалов резанием: увеличение эффективности использования технологических средств при осуществлении процесса резания (станочного оборудования, режущих инструментов, технологической оснастки); оптимизация и автоматизация процесса резания; интенсификация процессов механической обработки (высокопроизводительные процессы резания, процессы резания с особыми кинематическими и физическими схемами обработки, комбинированные методы обработки). Следует отметить, работы в указанных направлениях позволяют повысить производительность, качество и точность обработки. Однако закономерности влияния методов на процесс резания и в частности формирование качества обработанной поверхности в настоящий момент исследованы недостаточно. Получение же достоверных закономерностей и математических моделей, описывающих формирование результирующих параметров обработанной поверхности в зависимости от значений управляемых параметров процесса, позволило бы максимально эффективно управлять процессом резания. Поэтому исследование вопросов повышения эффективности обработки точением конструкционных углеродистых и легированных сталей является актуальной задачей.

Методика исследования

Построение математической модели формирования шероховатости обработанной поверхности выполнялось для чистового точения ($t = 0,5$ мм).

При этом исследовались как традиционное точение, так и точение с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности [1, 2]. В указанных условиях обработки в качестве характеристики функции отклика выступает среднее арифметическое отклонение профиля Ra . Измерение параметров шероховатости обработанной поверхности выполнялось при помощи профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7», интегрированного с персональным компьютером. Обрабатываемые материалы – коррозионно-стойкая сталь 20Х13 (сортовой прокат, состояние поставки, $\sigma_{0,2} = 440$ МПа), конструкционная легированная сталь 20ХН (сортовой прокат, состояние поставки, $\sigma_{0,2} = 590$ МПа), конструкционная углеродистая сталь 20 ($\sigma_{0,2} = 245$ МПа). Увеличение главного угла в плане φ резца при токарной обработке обеспечивает уменьшение площади срезаемого слоя и, следовательно, снижение силовой нагруженности кромки и повышение виброустойчивости процесса. На чистовых проходах стремятся к уменьшению значений вспомогательного угла в плане φ_1 . Помимо этого, получаемая микрогеометрия зависит от радиуса сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок r лезвия. Наиболее часто при чистовой и получистовой обработке задаются значением $r = 0,8$ мм. Представленные положения обуславливают выбор сменных многогранных твердосплавных режущих пластин формы W ($\alpha = 0^\circ$; $\varphi = 95^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; $r = 0,8$ мм (ISO 1832-1991)), являющихся наиболее применяемыми для получистового и чистового точения. Обработка выполнялась без СОТС. В качестве факторов, определяющих значение функции отклика (Ra), были выбраны: скорость резания, теплопроводность инструментального материала, подача и коэффициент ОПД – $K_{ОПД}$.

Коэффициент ОПД – характеристика комбинированной обработки:

$$K_{ОПД} = \frac{h_{нак}}{t}, \quad (1)$$

где $h_{нак}$ – глубина наклепанного поверхностного слоя, мм;

t – глубина резания, мм.

Для исследований приняты, как наиболее часто рассматриваемые, математические модели следующих спецификаций: аддитивная (линейная) и мультипликативные (степенная и показательная).

Задача использования математических методов планирования экспериментов состоит в том, чтобы после реализации опытов получить математическое описание функции отклика в виде математической модели, связывающей эту функцию с варьируемыми факторами [4]. Минимальный и достаточный объем статистической выборки, на основании которой выполняется моделирование, определяется в зависимости от спецификации модели и количества рассматриваемых факторов (в данном исследовании 4) и равен:

$$- \text{ для аддитивной модели: } k_{\min} = 2^n = 2^4 = 16; \quad (2)$$

$$- \text{ для мультипликативных моделей } k_{\min} = 3^n = 3^4 = 81, \quad (3)$$

где k_{\min} – количество независимых опытов при полном факторном эксперименте;

n – число факторов.

Корректная оценка степени влияния факторов на характер и величину функции отклика возможна только при условии сопоставимости значений всех факторов и собственно целевой функции. Поскольку рассматриваемые факторы имеют различный масштаб, было выполнено нормирование исходных данных по правилам соответствующим регрессионным моделям различных спецификаций.

Средняя относительная погрешность (расхождение значений Ra , рассчитанных по модели и полученных опытным путем) линейной модели ниже аналогичных параметров степенной и показательной (8,78 % – линейная; 18,15 % – степенная; 18,44 % – показательная), что является преимуществом. Степень влияния на шероховатость поверхности случайных факторов, выражаемая соответствующим коэффициентом регрессии, у линейной модели равна по абсолютной величине 0,01, т. е. незначительна. У степенной и показательной моделей влияние случайных факторов характеризуется абсолютной величиной 0,28, что весьма существенно на фоне принятых в исследовании факторов. Таким образом, линейная модель облегчает дальнейший прогноз качества поверхности после токарной обработки с ОПД.

Результаты и обсуждение

На основании проведенного регрессионного анализа математическая модель влияния основных параметров обработки традиционным точением и точением с ОПД на показатель среднего арифметического отклонения профиля Ra обработанной поверхности реализуется в виде следующей зависимости для стали 20X13:

$$Ra = 1,33 \cdot V^{0,1} \cdot \lambda^{0,16} \cdot S_o^{0,4} \cdot K_{опд}^{-0,04}, \quad (4)$$

для стали 20ХН:

$$Ra = 1,91 - 0,02 \cdot V + 0,02 \cdot \lambda + 3 \cdot S_o - 0,04 \cdot K_{опд}, \quad (5)$$

для стали 20:

$$Ra = 2,51 - 0,004 \cdot V + 0,008 \cdot \lambda + 3,08 \cdot S_o - 0,39 \cdot K_{опд}, \quad (6)$$

где V – скорость резания, м/мин;

λ – коэффициент теплопроводности инструментального материала, Вт/м·К;

S_o – подача, мм/об;

$K_{опд}$ – коэффициент ОПД.

Эти формулы позволяют рассчитать значение среднего арифметического отклонения профиля при традиционном точении и точении с ОПД, т. е. спрогнозировать повышение эффективности процесса резания за счет снижения величины параметра Ra получаемой поверхности при изучаемом способе и учесть это в технологическом маршруте обработки. Представленные математические модели, описывающие закономерности формирования микрогеометрии при точении с ОПД по обрабатываемой поверхности, расширяют возможности применения исследуемого способа резания в практике

механической обработки. Зависимости рекомендуются для значений скорости резания: 90 – 180 м/мин, коэффициента теплопроводности инструментального материала: 11 – 50 Вт/м·К, продольной подачи: 0,083 – 0,256 мм/об, коэффициента ОПД: 0,001 – 3,2 (20X13); 0,001 – 2 (20XH); 0,001 – 1,8 (20). Другие условия обработки для практического применения формул описаны выше.

С целью автоматизации процесса определения величины среднего арифметического отклонения профиля на базе разработанной математической модели создана программа для ЭВМ [3] по расчету величины шероховатости обработанной поверхности при обычном точении и точении с ОПД. Программа предназначена для установления значения Ra и уровня относительного повышения эффективности точения по снижению среднего арифметического отклонения профиля при использовании ОПД по сравнению с традиционным способом для последующей корректировки базового технологического процесса. Особенностью программы является наличие возможностей определения режима осуществления ОПД по обрабатываемой поверхности в зависимости от параметров точения и заданной техническими условиями величины среднего арифметического отклонения профиля получаемой поверхности, дополнения, уточнения и развития пользователем статистической и математической базы для выполнения расчета.

Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- расчет величины среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности при точении с ОПД и традиционном точении;
- вывод результатов расчета;
- анализ соответствия выбранных пользователем режимов обработки рекомендованным значениям;
- предоставление пользователю возможности дополнения, уточнения и развития статистической и математической базы для выполнения расчета величины среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности при точении с ОПД и традиционном точении.

Предложенный аппарат может применяться в практике механической обработки металлов, научном и образовательном изучении технологии машиностроения и обработки материалов резанием.

Выводы

Таким образом, построены математические модели влияния основных параметров обработки на качество получаемых поверхностей при обработке сталей.

Разработанные математические модели описывают закономерности формирования шероховатости при точении с ОПД по обрабатываемой поверхности и традиционном точении, позволяют прогнозировать получаемую величину среднего арифметического отклонения профиля, определять величину прироста эффективности процесса резания за счет снижения величины параметра Ra получаемой поверхности при использовании ОПД и вносить соответствующие коррективы в базовый технологический процесс, в

том числе, на этапе проектирования. Регрессионный анализ позволил выявить характер зависимости функции отклика и величину влияния каждого из факторов на нее.

С целью автоматизации процесса определения величины среднего арифметического отклонения профиля на базе разработанной математической модели создана программа для ЭВМ по расчету величины шероховатости обработанной поверхности при обычном точении и точении с ОПД.

Библиографический список

1. Математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием коррозионно-стойких сталей / А. Р. Ингеманссон [и др.] // Металлообработка. – 2012. – № 1. – С. 11-15.

2. Пат. 2399460 Российская Федерация. МПК В 23 В 1/00. Способ обработки деталей резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, П. А. Норченко, Д. В. Крайнев, А. Р. Ингеманссон, Л. А. Качалова, Л. С. Ангеловская; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2009111702/02; заявл. 30.03.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.

3. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012611474 РФ. МПК (нет). Расчет величины среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием и традиционном точении / Ю. Н. Полянчиков, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, А. В. Раздвогин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ВолгГТУ». – № 2012611474; заявл. 14.12.2011; опубл. 8.02.2012.

4. Чигиринский Ю. Л. Стохастическое моделирование в машиностроении: Учеб. пособие. / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская, Ю. М. Быков. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002. – 68 с.

INCREASE OF EFFICIENCY OF TURNING CONSTRUCTIONAL CARBONACEOUS AND ALLOYED STEELS

A.A. Bondarev A., U.N. Polyanchikov, A.R. Ingemansson, D.V. Krainev

A mathematical model which describes the regularities of formation a surface roughness in turning with advance plastic deformation (APD) on the workpiece surface has been created. The regression analysis has allowed revealing the dependence of the response function and the influence of each factor on the function. The formula for the calculation of an average arithmetic average roughness height Ra expanding possibilities of the cutting with APD application in machining practice has been offered.

Keywords: turning of stainless steels, advance plastic deformation, mathematical model for calculation surface roughness.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАЗРАБОТКИ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНСТРУКТОРСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

П.Ю. Бочкарёв, д.т.н., профессор, **С.Г. Митин**, к.т.н., доцент,
Л.Г. Бокова, к.т.н., ассистент

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов

Статья посвящена созданию принципов разработки интегрированной системы проектирования механообрабатывающих операций, которая оказывает поддержку принятия решений на всех этапах разработки и производства изделий. Такой подход позволит сократить себестоимость изготовления изделий и повысить конкурентоспособность машиностроительных предприятий.

Ключевые слова: Автоматизация проектирования, САПР ТП, многономенклатурное производство, компьютерно-интегрированное производство

Перспективы развития современного машиностроения лежат в области создания гибких компьютерно-интегрированных производств, которые имеют возможность адаптироваться к постоянным изменениям номенклатуры изготавливаемых изделий. Для повышения конкурентоспособности продукции на первый план выходит задача сокращения длительности производственного цикла. Экономическая целесообразность комплексного обеспечения качества деталей на всех стадиях их жизненного цикла [1] вызвала необходимость создания сквозных систем автоматизированного конструирования и производства, связанных с помощью системы автоматизированного планирования технологических процессов.

При традиционном подходе к проектированию и производству изделий задачи разработки конструкции и отработки на технологичность решаются независимо от условий и возможностей предприятия, на котором предполагается изготовление изделия. Это приводит к не всегда обоснованному ужесточению требований к точности и качеству поверхностей и, следовательно, к нерациональному использованию технологических возможностей предприятий. В свою очередь, расширение возможностей механообрабатывающего оборудования ставит задачу разработки инновационных подходов к проектированию технологических операций, которые бы обеспечивали максимальное их использование и минимальные затраты времени на проектирование.

Одним из путей решения указанных задач является создание интегрированной системы автоматизированного планирования технологических процессов (ИСАПТП), которая оказывает поддержку принятия решений на всех этапах проектирования и производства изделий [2]. На этапе разработки конструкции изделий ИСАПТП даёт рекомендации по назначению требований точности и качества поверхностей на основе возможностей предполагаемой производственной системы. При формировании комплекта обрабатываемых деталей ИСАПТП оценивает его производственную технологичность с точки

зрения соответствия технологическим возможностям производственной системы. На этапе разработки технологических процессов на уровне технологических операций ИСАПТП предлагает многовариантные решения задач проектирования и позволяет выбирать рациональные варианты структур операций, оборудования, технологической оснастки, режимов обработки в зависимости от складывающейся производственной ситуации.

Теоретические основы технологии машиностроения включают понятие конструкторской подготовки производства, которая проводится в несколько этапов: разработка технического предложения, разработка эскизного проекта, разработка технического проекта, разработка технической документации. На каждом этапе задействованы существующие CAD/CAE системы, однако они не обладают информацией о технологических возможностях конкретной производственной системы, поэтому конструктор принимает решение, основываясь на собственный опыт и справочные рекомендации. В свою очередь, технолог при разработке технологических процессов на уровне технологических операций вынужден выполнять заданные конструктором требования к точности размеров и качеству поверхностей. В результате усложняются технологические операции, увеличивается время обработки и себестоимость изготовления изделий.

Чтобы избежать подобных негативных моментов в ходе работ по созданию ИСАПТП разработаны процедуры взаимодействия систем конструкторской и технологической подготовки производства, в результате чего конструктор может получить рекомендации по принятию решений, обеспечивающих рациональную конструкцию деталей для конкретной производственной системы, а принятые им решения могут в дальнейшем обеспечить рациональное использование технологических возможностей производственной системы.

Конструкторская часть этой системы получает информацию о технологических возможностях и текущем состоянии производственной системы, на основе которой формируются рекомендации для конструктора по:

- 1) назначению требований к точности, качеству и отклонениям формы поверхностей детали;
- 2) определению основных и вспомогательных поверхностей, конструкторских баз, простановке размеров.

По результатам выполнения этих проектных процедур в ИСАПТП поступает информация с рекомендациями по:

- 1) обеспечению заданной точности и качества поверхностей, что влияет, в том числе, на выбор режущего инструмента;
- 2) выбору технологических баз при разработке ТП, что определяет стратегию обработки, структуру ТП и технологических операций.

Вместе с тем, степень скоординированности работ на стадиях конструкторской и технологической подготовки производства должна иметь количественное выражение, чтобы была возможность в полной мере оценить степень соответствия запланированного для обработки комплекта деталей

возможностям производственной системы. В настоящее время для этой цели может быть использована оценка конструкции спроектированных деталей на технологичность и оценка производственной технологичности. Обобщая современное состояние в данной области, можно констатировать, что задача формирования оптимальной конструкции изделия с точки зрения технологичности в полной мере до настоящего времени не решена, а задача отработки конструкции изделия на производственную технологичность с учетом конкретных условий производства не ставилась. В связи с этим существует необходимость в разработке новых подходов к оценке производственной технологичности, направленных на обеспечение учёта возможностей и текущего состояния производственной системы, в которой запланировано изготовление проектируемых изделий.

На основе заявленных требований к оценке производственной технологичности обоснован состав дополнительных показателей оценки производственной технологичности [3]:

- 1) показатель наличия технологической возможности изготовления заданной номенклатуры деталей в рассматриваемой производственной системе;
- 2) показатель использования технологических возможностей оборудования;
- 3) показатель оценки функциональных возможностей оборудования с позиции увеличения концентрации технологических операций и обеспечения условий для формирования рациональных структур операций;
- 4) показатель прогнозирования загрузки технологического оборудования по конструктивным характеристикам обрабатываемых деталей;
- 5) показатель прогнозирования многовариантности обработки деталей.

Для определения каждого показателя созданы математические модели и методики, позволяющие сделать заключение о возможности рационального обеспечения параметров деталей при их обработке в конкретной производственной системе.

По результатам оценки технологичности комплекта деталей даётся заключение о возможности его изготовления в конкретной производственной системе и появляется необходимость разработки технологических процессов. Одним из наиболее сложных вопросов является автоматизация проектирования технологических операций механической обработки, которая включает необходимость формализации таких творческих задач как разработка структуры операции, выбор средств технологического оснащения, расчёт рациональных режимов обработки [4].

Процесс проектирования технологических операций целесообразно разделить на три стадии. На первой стадии генерируется множество возможных вариантов технологических операций, на второй стадии производится отсев нерациональных вариантов, а на третьей – выбор рациональных вариантов реализации технологических операций в соответствии с действующими производственными условиями.

Выходными данными является множество вариантов технологических операций, а также комплект технологической документации, который

поступает в качестве управляющего алгоритма на вход подсистемы реализации технологических процессов. В роли внешнего возмущающего воздействия выступает информация о текущем состоянии производственной системы, благодаря чему существует возможность оперативно реагировать на изменение производственной ситуации путём выбора альтернативных вариантов реализации технологических операций.

При разработке внутренней структуры подсистемы проектирования технологических операций выделен ряд подсистем: формирования комплектов технологической оснастки, разработки структур технологических операций и расчёта параметров обработки. В каждой подсистеме предусматривается взаимодействие с производственной системой для возможности быстрого реагирования на изменение производственной ситуации.

Формализация проектных процедур проводится с использованием математического аппарата:

- для моделирования работы системы проектирования технологических операций – сети Петри, которые дают возможность моделирования системы с параллельно и асинхронно функционирующими элементами;
- для формирования комплекта проектных процедур в зависимости от групп оборудования – кластерный анализ;
- для формирования комплектов технологической оснастки – динамическое программирование, которое позволяет оптимизировать систему в целом с учётом всех элементов;
- для разработки структур технологических операций – теорию цветных графов, позволяющую создать модель формирования последовательностей технологических переходов в операции;
- для расчёта параметров обработки – линейное программирование, с помощью которого возможно оптимизировать режимы обработки с учётом имеющихся в системе ограничений.

Для информационной поддержки принятия проектных решений существует необходимость разработки эффективного информационного обеспечения. Для обеспечения возможности быстрой адаптации ИСАПТП к условиям конкретной производственной системы необходимо максимальное наполнение исходной базы данных технологических возможностей оборудования и технологической оснастки. База технологических знаний, обеспечивающая информационную поддержку принятия проектных решений, формируется параллельно с разработкой математического обеспечения и включает в себя таблицы решений и нормативно-справочную информацию.

В ходе исследований получены следующие результаты:

- разработаны механизмы взаимодействия между системами конструкторской и технологической подготовки производства, что даёт возможность конструктору получить рекомендации по простановке размеров и назначению требований к точности, качеству и отклонениям формы и расположения поверхностей деталей;

- разработана система оценки производственной технологичности по дополнительным количественным показателям, которые позволяют определить степень соответствия запланированного комплекта деталей технологическим возможностям конкретной производственной системы и спрогнозировать эффективность функционирования производственной системы при изготовлении деталей;
- разработаны математические модели и информационное обеспечение для формализации проектных процедур проектирования технологических операций механической обработки.

Таким образом, сформулированы принципы разработки механообрабатывающих операций в условиях многономенклатурных производственных систем на основе взаимодействия систем конструкторского и технологического проектирования, что даёт возможность формирования рациональной конструкции изделий и рационального использования технологических возможностей конкретного предприятия для повышения конкурентоспособности и снижения себестоимости изделий.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-1835.2013.8.

Библиографический список

1. Инженерия поверхности деталей: монография / А. Г. Сулов, В. Ф. Безъязычный [и др.]. - М. : Машиностроение, 2008. - 318 с.
2. Бочкарёв, П. Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П. Ю. Бочкарёв // Технология машиностроения.– 2002. №1.– С.10-14.
3. Митин, С. Г. Разработка технологических операций учетом показателя технологичности в системе планирования многономенклатурных технологических процессов / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев, Л. Г. Бокова // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2011. - № 58. - С. 101-105.
4. Митин, С. Г. Формирование методического обеспечения автоматизированной подсистемы проектирования операций фрезерной обработки / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Научные технологии в машиностроении. - 2012. - N 1(07). - С. 32-39.

THE MACHINING OPERATIONS DEVELOPMENT CONCEPT CREATION ON BASIS OF INTERACTION BETWEEN AUTOMATED SYSTEMS OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PLANNING

P.Yu. Bochkarev, S.G. Mitin, L.G. Bokova

The article touches upon the integrated computer-aided process planning system creation that supports decision-making at all stages of product design and manufacturing. This approach leads to a reduction in production costs and improve the competitiveness of machine-building enterprises.

Design automation, CAPP, multiproduct manufacturing, computer integrated manufacturing

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ПО ОКРУЖНОСТИ МИНИМАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Б.М. Бржозовский, д.т.н., профессор, **О.В. Захаров**, д.т.н., профессор,
С.М. Усынин, аспирант

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина
Ю.А., г. Саратов

Обоснован метод центрирования деталей, базирующийся на окружности минимальной зоны. Сравнительный анализ показал преимущества данного метода по сравнению с известными методами.

Ключевые слова: центрирование, круглость, окружность минимальной зоны.

Введение

Обеспечение технологической надежности машин и механизмов обуславливает необходимость повышения точности размеров и формы обработки их деталей на токарно-карусельных станках и обрабатывающих центрах. Это в свою очередь требует научно обоснованного подхода к базированию и контролю для минимизации снимаемого припуска и погрешностей формы поверхностей. Особую актуальность данная задача приобретает для агрегатов энергетического и атомного машиностроения, где заготовки обладают значительными размерами, массой и стоимостью [1].

Постановка задачи

Обеспечение точности обработки и минимизация снимаемого припуска требуют центрирования заготовок на обрабатывающем оборудовании. В качестве базы при установке заготовок с цилиндрическими поверхностями могут использоваться три варианта: средняя окружность по методу наименьших квадратов (МНК), прилегающая окружность (наружная и внутренняя) и окружность минимальной зоны [2]. В виду простоты расчета и однозначности результатов чаще всего используют среднюю окружность профиля заготовки [3-5]. Проведенные предварительные исследования показали, что расхождение в результатах для трех указанных баз могут достигать 20 %.

Решение задачи нахождения центра средней и прилегающих окружностей достаточно полно изложено в литературе [2-5]. Расчет окружности минимальной зоны является наиболее сложным и реализуется только итерационными методами. Общие рекомендации дает стандарт ISO 12181-2:2011, однако вопрос об эффективности конкретных методик и алгоритмов до сих пор остается открытым [4, 6]. В связи с этим в статье рассматривается простой и в тоже время эффективный алгоритм поиска окружности минимальной зоны и проводится сравнение получаемых результатов при использовании других баз.

Математическая модель

Исходной предпосылкой для оценки эффективности метода, по нашему мнению, должен выступать следующий факт. Согласно определению, зоной

минимальной ширины называют зону, образованную двумя concentричными окружностями, охватывающими профиль детали извне и изнутри, причем радиальное расстояние между этими окружностями минимально. При этом ширина зоны и определяет величину круглости. Таким образом, наилучший результат соответствует минимальному значению круглости. Это и будет результирующей оценкой при сравнении как методов, использующих различные базовые окружности, так и конкретных алгоритмов, реализующих данные методы.

Предлагается простой и эффективный итерационный метод. Его сущность заключается в минимизации собственно ширины кольцевой зоны (рис. 1). Для этого вначале профиль детали описывается в системе координат (X, Y) с варьируемыми координатами (x_j, y_j) центра O_j относительно начала O исходной системы координат. Затем определяется целевая функция F (ширина кольцевой зоны), которая минимизируется итерационной процедурой:

$$F = \{r_{ij\max} - r_{ij\min}\} \rightarrow \min,$$

где $r_{ij\max}$, $r_{ij\min}$ – максимальное и минимальное значение радиусов r_{ij} профиля детали на j -м шаге варьирования координат центра (x_j, y_j) .

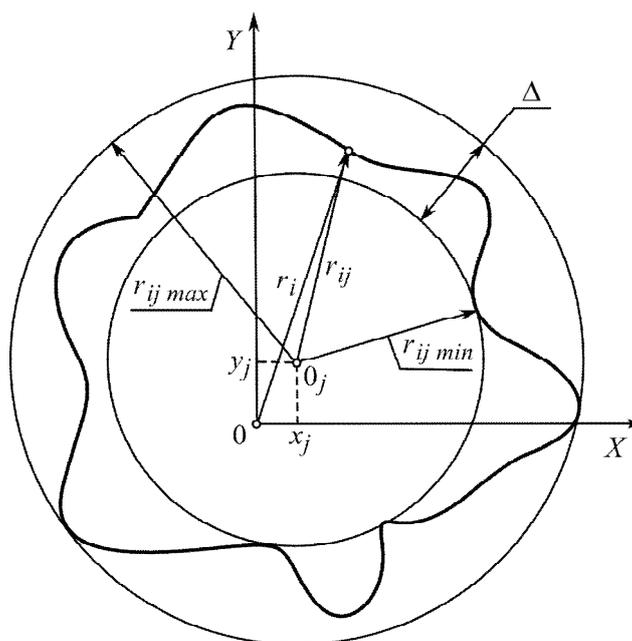


Рисунок 1 - Расчетная схема центрирования

Алгоритм расчета параметров окружности минимальной зоны показан на рис. 2. Исходными данными выступают координаты (x_i, y_i) профиля детали. Также вначале в интерактивном режиме вводятся параметры, необходимые для поиска окружности: начальные координаты (x_0, y_0) центра окружности; величины шагов по координатам Δx , Δy ; коэффициент пропорциональности шага n , минимальная величина шага Δ . Анализ показал, что целевая функция от двух переменных $F(x_j, y_j)$ имеет только один локальный минимум, овражный эффект отсутствует, поэтому выбор начального приближения не столь важен.

Процедура поиска центра O_j окружности минимальной зоны реализуется следующим образом. Рассчитывается начальное значение целевой функции F для введенных исходных данных. Затем последовательно выполняются шаги по координатам x_j, y_j и определяются значения соответственно r_{ij}, F_j, F_j' на каждом шаге. В зависимости от результатов сравнения значений F, F_j, F_j' выбирается направление последующих шагов. Если целевая функция не уменьшается после перебора всех направлений, то минимум находится в окрестности этой точки, поэтому уменьшаются шаги $\Delta x, \Delta y$ на величину n , тем самым сужается область поиска. В качестве критерия окончания поиска выступает уменьшение величины шага по координатам (принимаются равными для x, y) до значения Δ .

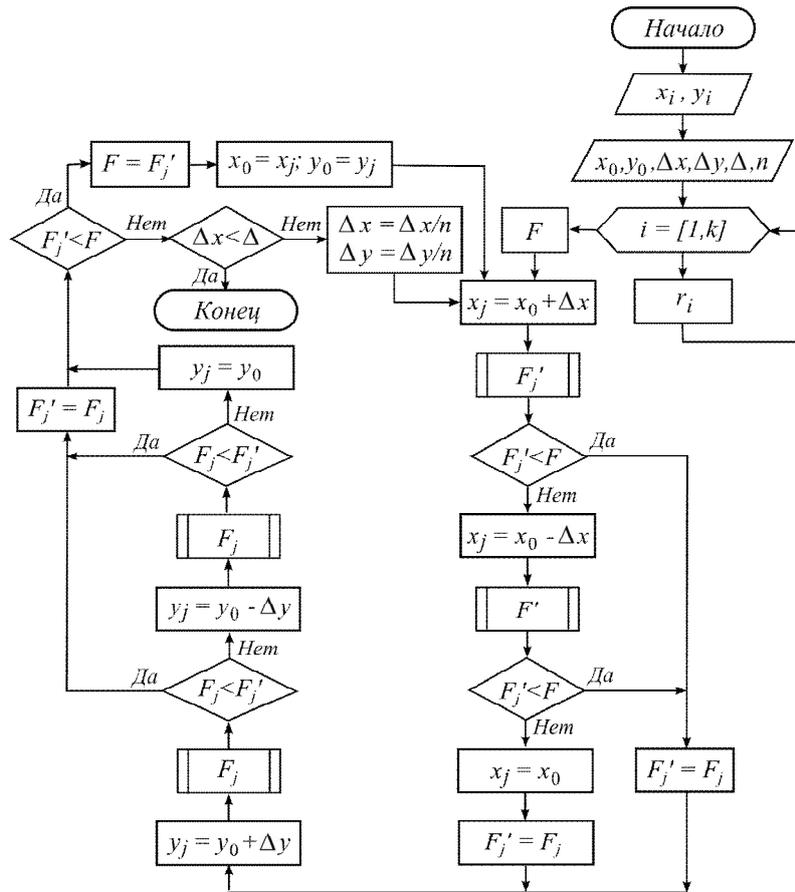


Рисунок 2 - Алгоритм расчета окружности минимальной зоны

Практическая реализация

На основе рассмотренного алгоритма создана программа в среде Matlab. Проведены исследования контроля круглости при использовании различных баз. В качестве объекта были выбраны две партии по колец подшипников после бесцентрового шлифования. Допуск на круглость составлял 2 мкм. Измерения проводились на приборе *Talyrond 73* (*Taylor Hobson*, Великобритания), оснащенный компьютером, в условиях ОАО «Саратовский подшипниковый завод». Для окружности минимальной зоны получено среднее значение $\Delta_{ср} = 1,34$ мкм и среднеквадратическое отклонение $D = 0,26$ мкм в партии против $\Delta_{ср} = 1,48$ мкм, $D = 0,33$ мкм для средней окружности и $\Delta_{ср} = 1,50$ мкм, $D = 0,33$

мкм для наружной прилегающей окружности. При этом количество забракованных деталей по круглости снизилось с 12 % до 4 %.

Анализ результатов контроля показал, что наилучший результат обеспечивает база в виде окружности минимальной зоны. По сравнению со средней и прилегающей наружной окружностью, которые в данном примере показывают примерно равные результаты, снижается среднее значение на 10,6 % и стандартное отклонение на 21,2 %. В итоге процент забракованных деталей в партии уменьшается в 3 раза по сравнению со средней окружностью и в 4 раза по сравнению с прилегающей окружностью.

Заключение

Обоснован и реализован простой и эффективный метод центрирования на основе окружности минимальной зоны. Данный метод наилучшим образом отвечает физическому смыслу и обеспечивает минимальное значение круглости по сравнению с другими известными методами.

Библиографический список

1. Лубков В. С. Проектирование, строительство и монтаж оборудования ТЭС: учебное пособие для студентов энергетических специальностей / В. С. Лубков, С. В. Новичков. Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2012. 264 с.
2. Авдулов А. Н. Контроль и оценка круглости деталей машин / А. Н. Авдулов. М.: Изд-во стандартов, 1974. 176 с.
3. Сысоев Ю. С. Установка крупногабаритных заготовок при их механической обработке / Ю. С. Сысоев, В. В. Маневич // Вестник машиностроения. 1998. № 6. С.14-19.
4. Оценка отклонения от круглости деталей различными методами / Б.М. Бржозовский, П.Ю. Бочкарев, О.В. Захаров, Е.П. Решетникова // Сборник научных трудов Sworld. Одесса, 2013. Т. 3. № 1. С. 3-5.
5. Захаров О. В. О точности центрирования при измерении на кругломерах / О. В. Захаров, Б. М. Бржозовский // Измерительная техника. 2006. № 11. С. 20-22.
6. Changcai Cui. An iterative neighborhood search approach for minimum zone circularity evaluation from coordinate measuring machine data / Changcai Cui, Wei Fan, Fugui Huang // Measurement Science and Technology. 2010. V. 21. N. 2. p. 027001.

THE MATHEMATICAL MODEL OF CENTRING AROUND THE MINIMUM ZONE TOLERANCE CIRCLE

Brzhozovsky B.M., Zakharov O.V., Usynin S.M.

Substantiated a method of centering, based on the Minimum Zone tolerance circle. Comparative analysis showed the advantages of this method compared to known methods

Key words: centering, roundness, Minimum Zone tolerance circle.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА СМП НА ОСНОВЕ cBN

**О.Н. Булатов, Н.Ю. Кораблева, Н.Ю. Ковеленов,
В.А. Пономаренко, Н.М. Радциг**
ООО «ВИРИАЛ», г. Санкт-Петербург

Сделана оценка увеличения работоспособности СМП на основе cBN при нанесении износостойкого защитного покрытия AlTiN. Приведены результаты электронномикроскопического анализа. Предложен механизм изнашивания пластин при токарной обработке закаленной стали марки ХВГ твердостью 60 HRC с покрытием и без. Ключевые слова: высокоскоростная обработка, инструментальные режущие материалы с покрытием, cBN.

Введение

В условиях появления новых труднообрабатываемых материалов, повышения требований к качеству их поверхностей эксплуатационные показатели режущего инструмента являются решающими факторами высокоэффективной и экономичной механической обработки. При этом наиболее важным показателем является износостойкость режущего инструмента, которая может быть увеличена за счет применения новых материалов или модификации физико-механических свойств существующих, направленной на объемное и поверхностное упрочнение.

Наличие на контактных поверхностях инструмента износостойких покрытий приводит к перераспределению напряжений за счет изменения коэффициента трения и, как следствие, сил и температуры резания. Одновременно коренным образом изменяется химизм контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого изделия, что позволяет за счет подбора состава покрытия минимизировать эффекты, оказывающие отрицательное влияние на его работоспособность[1].

Цель работы - увеличение работоспособности сменных многогранных пластин (СМП) на основе кубического нитрида бора (cBN) за счет поверхностного упрочнения износостойким покрытием.

Методы исследования

Исследование физико-механических свойств композиционного материала проводили по стандартизированным методикам: фазовый состав исследовали методом РФА на дифрактометре «Дрон-4» при комнатной температуре на $Cu_{K\alpha}$ - излучении, твердость по Виккерсу – в соответствии с ISO 14705, коэффициент трещиностойкости определяли методом индентирования при нагрузке 10 кг, модуль упругости - по ISO 3312, кажущуюся плотность – методом гидростатического взвешивания по ISO 5017. Исследование микроструктуры полученного материала осуществляли методами оптической микроскопии на металлографическом микроскопе МТКФ-1 и растровой электронной микроскопии с помощью электронного микроскопа JEOL7001F.

Работоспособность экспериментальных пластин проверяли на токарных резцах CSDNN25x25, оснащенных многогранными неперетачиваемыми режущими пластинами SNMN 120408 (обозначении в соответствии с ISO 513) по степени износа задней грани при обработке закаленной стали марки ХВГ (твердость 60 HRC) при работе с ударом и без.

Результаты и обсуждение

Композиционную керамику на основе cBN получали термобарическим методом с использованием камеры высокого давления типа «наковальня с лункой» в температурном диапазоне 1450÷1550°C при давлении, не превышающем 4,0 ГПа. При синтезе материалов использовались стальные блок-матрицы.

Как видно из микроснимка серийного материала VB07, представленного на рисунке 1, материал имеет беспористую структуру, сверхтвердый компонент cBN распределен равномерно, его доля в материале составляет ~80%.

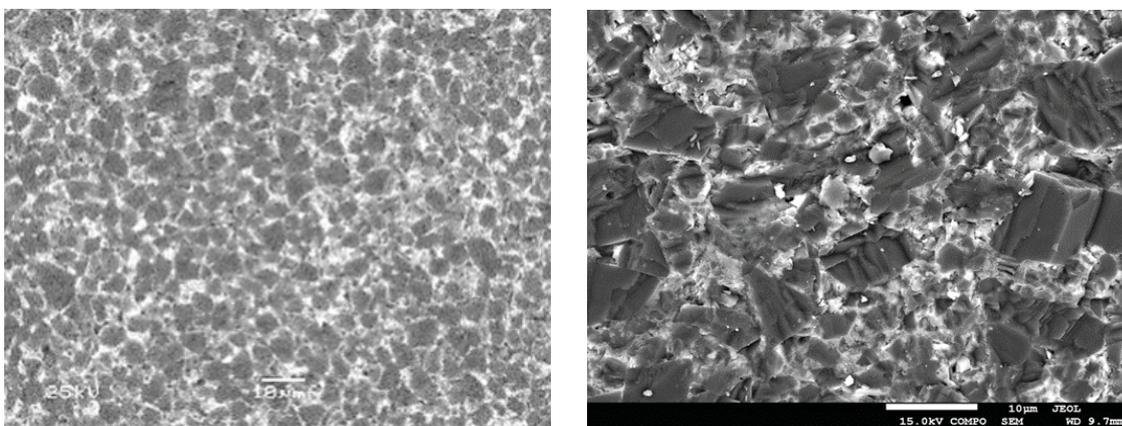


Рисунок 1- Микроструктура материала марки VB07: а) оптическое изображение, шлиф, 1000×; б) РЭМ, излом, 2000×

Растровая электронная микроскопия изломов показала, что характер разрушения композита – смешанный - интер- и транскристаллитный.

В таблице 1 приведены средние значения показателей физико-механических свойств материала марки VB07.

Из приведенных данных следует, что композит обладает уникальным комплексом свойств: высокой прочностью, твердостью и трещиностойкостью. Эти свойства в сочетании с высокой коррозионной стойкостью, низким химическим сродством к металлам группы железа и низким коэффициентом трения [2,3] делают его незаменимым для обработки закаленных сталей, чугунов и прочих материалов с твердостью до 70 HRC [4-6].

Достаточно высокая температурная стойкость материала на основе кубического нитрида бора позволяет использовать его для обработки указанных выше материалов без СОЖ.

Таблица 1 – Физико-механические свойства материала марки VB07

Характеристика	Материал VB07
Плотность, г/см ³	3,3-3,5
Модуль Юнга, ГПа	590 - 610
Прочность на изгиб, МПа	600 - 800
Твердость по Виккерсу, ГПа	32 - 36
Трещиностойкость, МПа * м ^{1/2}	9,0 – 12,0
Температурная стойкость, °С	1300

Для увеличения работоспособности сменных многогранных пластин (СМП) на основе кубического нитрида бора (сBN) была проведена работа по нанесению на их рабочие поверхности износостойкого защитного покрытия AlTiN.

Покрытие наносили методом PVD (*Physical vapor deposition*) на установке нанесения функциональных покрытий ТКДБ.443225.013.

Электронномикроскопические снимки материала на основе сBN с покрытием приведены на рисунке 2а. Толщина покрытия составила ~3 мкм.

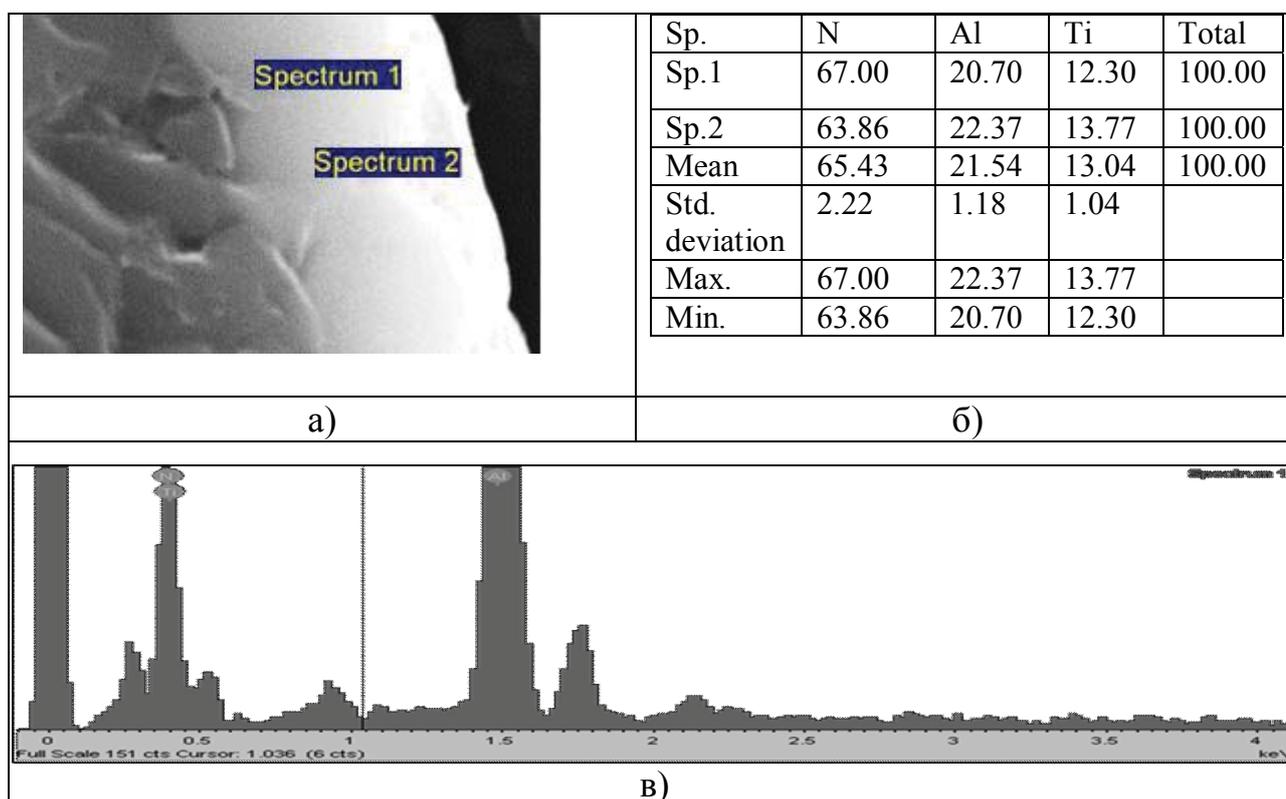


Рисунок 2 - Данные РЭМ анализа покрытия : а) снимки фрагмента микроструктуры; б) элементный состав; в) спектр элементов

Химический состав покрытия - $Al_{0,62}Ti_{0,38}N$ - выбран, исходя из представлений о контактных взаимодействиях на рабочих поверхностях, что обеспечило хорошую адгезию покрытия к материалу пластины (рисунок 2).

Сравнение режущих свойств СМП с покрытием и без него осуществляли при токарной обработке закаленной стали марки ХВГ (твердость 60 HRC) пластинами SNMN120408 (обозначении в соответствии с ISO 513) по

двумрежимам: с ударом и без удара без применения СОЖ. Удар обеспечивался наличием на обрабатываемой заготовке паза шириной 4 мм во всю ее длину. Режимы испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Режимы испытаний

Режимиспытаний	Параметры испытаний
Без удара	$V=160$ м/мин; $a_p=0,2$ мм; $f=0,07$ мм/об, $t=5$ мин.
С ударом	$V=160$ м/мин; $a_p=1$ мм; $f=0,07$ мм/об. $t=1$ мин.

Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний

Режимиспытаний	Вид СМП	Износ по задней грани (VB_c), мм
Без удара	С покрытием	0,06
	Без покрытия	0,12
С ударом	С покрытием	0,04
	Без покрытия	0,1

Сравнительные испытания пластин показали, что применение СМП с PVD покрытием AlTiN снижает скорость изнашивания инструмента при обработке закаленной стали ХВГ в два раза, с 12 мкм/мин до 24 мкм/мин., при том, что износ наблюдается как по задней, так и по передней поверхностям. При обработке с ударом эффект от использования покрытия выражен еще больше. При более длительной работе эффект нивелируется, стойкость инструментов с покрытием в среднем на 25...30% выше, чем у инструментов без покрытия.

В процессе проведенных исследований установлено, что при резании инструментом с защитными покрытиями адгезионное взаимодействие на поверхности контакта инструмент-стружка минимизировано за счет уменьшения силы трения, что приводит к снижению температуры рабочей поверхности и, следовательно, к уменьшению скорости диффузионного изнашивания. Кроме того, защитный слой препятствует диффузии и уменьшает схватывание материалов инструмента и стружки.

Необходимо отметить, что эффективность применения инструмента с покрытием возрастает с повышением скорости резания, при этом облегчен контроль величины износа инструмента за счет более четкого выявления его изношенных участков.

Выводы

Сравнительные испытания пластин с покрытием и без него показали, что применение PVD покрытия AlTiN на токарных резцах CSDNN25x25, оснащенных многогранными неперетачиваемыми режущими пластинами SNMN 120408 из материала марки VB07 на основе cBN, повышает стойкость инструмента при обработке закаленной стали (HRC 60 ед.) на 25...30 процентов. Это существенно снижает расход инструмента, улучшает качество обрабатываемой поверхности, позволяет более эффективно

использовать оборудование при переходе к высоким скоростям резания и снижает себестоимость изделий в целом.

Библиографический список

1. Клименко С. А., Копейкина М. Ю. Лезвийный инструмент с покрытием, оснащенный ПТСМ на основе кубического нитрида бора // Инструментальный світ.-2009.-. №3.-С. 13-15.

2. Rong X., Tsurumi T., Fukunaga O., Yano T. High-pressure sintering of cBN-TiN-Al composite for cutting tool application // Journal Diamond and Related. 2002. №11. P.280-286.

3. Angseryd J., Elfving M., Olsson E., Andrén H. Detailed microstructure of a cBN based cutting tool material // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2009. № 27. P. 249-255.

4. Зубарев, Ю. Современные инструментальные материалы. СПб: Издательство «Лань», 2008, p 224.

5. Thamizhmanii S., Bin Omar B., Saparudin S., and Hasan S., Hasan. Surface roughness analyses on hard martensitic stainless steel by turning // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2008. № 26. P. 139-142.

6. Клименко С.А., Петруша И.А., Осипова А.С и др. Создание и применение инструментальной керамики на основе сверхтвердых структурированных композитов // Процес механічної обробки в машинобудуванні. – 2012. – № 12. – С. 127-135.

EFFECT OF THE WEAR-RESISTANT COATING ON CUTTING PERFORMANCE OF THE cBN-BASED CUTTING INSERTS

**O. Bulatov, N. Korableva, N. Kovelonov,
V. Ponomarenko, N. Radtsig**
VIRIAL Ltd, Saint-Petersburg

The effects of the wear-resistant AlTiN protective coating on the service life of the cBN-based indexable faceted cutting inserts (IFCIs) were evaluated. Electron microscopy results are described. Inset wear mechanism during turning of the Cr-W-Mn steel (60 HRC) were proposed for both coated and uncoated IFCIs.

Keywords: high-speed cutting, coated cutting tool materials, cBN.

УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В.Г. Буров, д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Проведены исследования условий обеспечения термомеханической и физико-химической совместимости основного металла стальных изделий с компонентами вольфрамокобальтовых твердосплавных порошковых смесей при формировании износостойких покрытий методом наплавки. Установлено, что при нагреве твердосплавной смеси в присутствии железа происходит образование охрупчивающих композицию сложных карбидов, которое начинается при температурах выше 710 °С и продолжается вплоть до появления жидкой фазы. Обосновано применение барьерных слоев, препятствующих формированию хрупких фаз. Установлено, что предварительное борирование поверхностных слоев углеродистой стали является эффективным способом управления структурой и свойствами твердосплавного покрытия и переходной зоны. Применение барьерных слоев позволяет формировать композиции, состоящие из основного металла и покрытия, имеющего прочную связь с основным металлом, структуру и свойства металлокерамического твердого сплава.

Ключевые слова: карбид вольфрама, твердосплавное покрытие, переходная зона, физико-химическая совместимость, термомеханическая совместимость.

Введение

Задача формирования на стальных деталях машин и инструментах поверхностных слоев, имеющих свойства, близкие к свойствам спеченных твердых сплавов относительно удачно решается при наплавке толстых порошковых композиций. Наплавкой, предусматривающей наличие расплава в поверхностном слое изделия и в объеме покрытия, формируются слои, представляющие собой гетерофазный матричный сплав, содержащий тугоплавкие соединения, расположенные в матрице с большим содержанием железа [1]. В большинстве случаев в качестве тугоплавких соединений используются карбиды и бориды различного состава - от монокарбидов тугоплавких металлов до соединений сложного химического состава. Использование плазменного, электронно-лучевого и лазерного нагрева, позволяющих локализовать объемы расплава наплавляемого материала и поверхностного слоя изделия, расширяет возможности оптимизации структуры и свойств формируемых поверхностных слоев с обеспечением плавного перехода структуры от основного материала к материалу покрытия [1-3]. Наличие переходной зоны, которая является результатом физико-химического взаимодействия железа основного металла с компонентами наплавляемого слоя, позволяет решить проблему термомеханической совместимости материалов изделия и покрытия. Однако в результате взаимодействия основного металла и компонентов покрытия в переходной зоне могут

образовываться хрупкие фазы, приводящие к резкому снижению прочностных и эксплуатационных свойств композиции. На примере жидкофазного спекания покрытий из твердосплавных порошковых смесей на поверхностях стальных изделий доказана возможность использования предварительной химико-термической обработки поверхностного слоя основного материала, позволяющей формировать твердосплавное покрытие, управлять толщиной переходной зоны между основным металлом и покрытием и исключить образование хрупких фаз в формируемой композиции.

Методика исследования

Проведение экспериментальных исследований по созданию композиций «сталь – переходная зона – твердосплавное покрытие» проводилось с использованием трех видов нагрева: в вакуумных печах, лазерным лучом и электронным пучком, выведенным в воздушную атмосферу. Изучение возможности управлять градиентной структурой с плавным переходом свойств от покрытия к основному металлу выполнялось в несколько этапов: - первый этап исследований заключался в теоретическом обосновании возможности формирования металлокерамического слоя, в котором в присутствии железа основного металла стальных изделий сохранялись бы исходные частицы монокарбида вольфрама; - на втором, экспериментальном, этапе изучались химико-термические процессы взаимодействия железа с компонентами твердосплавных порошковых смесей, из которых формируется покрытие; - третий этап посвящен экспериментальному исследованию путей оптимизации структуры формируемой композиции. Температурно-временные режимы формирования твердосплавных покрытий определялись необходимостью нагрева до температуры появления жидкой фазы и достаточностью времени для обеспечения смачивания расплавом матричного материала частиц упрочняющей фазы. После наплавки (спекания) твердосплавной порошковой смеси исследовалась структура полученной композиции, состоящей из покрытия, переходной зоны и основного металла: контролировался химический и фазовый состав, геометрия фаз, твердость композиции и структурных составляющих. Композиции, имеющие свойства покрытия, близкие к свойствам спеченных твердых сплавов, и свойства переходной зоны, близкие к свойствам основного металла, подвергались прочностным и эксплуатационным испытаниям, определялись: прочность на разрыв, трещиностойкость композиций и износостойкость поверхностных слоев.

Для исключения образования в переходной зоне хрупких фаз (обеспечения физико-химической совместимости основного металла и компонентов покрытия) в результате взаимодействия частиц карбида вольфрама с железом основного материала использовались следующие технологические приемы: в зону расплава вводились химические элементы, снижающие температуру появления жидкой фазы; формировались барьерные слои, ограничивающие процессы химического взаимодействия упрочняющей фазы с основным металлом. Барьерные слои представляли создавались двумя способами: между основным металлом и наплавляемой порошковой смесью

наносился дополнительный промежуточный слой порошковой смеси, имеющей химический состав, отличный от состава наплавляемого покрытия, либо проводилось модифицирование поверхностного слоя основного материала предварительным химико-термическим насыщением углеродом или бором.

Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования жидкофазного спекания твердосплавных вольфрамокобальтовых порошковых смесей на стальных изделиях показали, что независимо от скорости нагрева и времени существования расплава в переходной зоне формируется новая фаза в виде крупных кристаллов сложных карбидов типа Me_6C (рис. 1). Эта фаза характеризуется высокой хрупкостью.

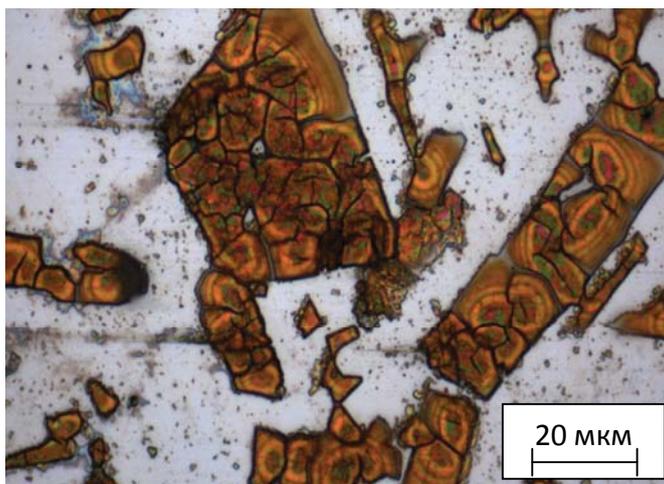


Рисунок 1 - Структура переходной зоны между твердосплавным покрытием и сталью 20 после жидкофазном спекания порошковой смеси ВК6

Рентгеновская дифрактометрия порошковых смесей карбида вольфрама, кобальта и железа после нагрева до 600, 800, 1000 и 1200 °C позволила сделать заключение о формировании соединений типа $(W,Co,Fe)_nC$ в результате взаимодействия карбида вольфрама с железом и кобальтом при температуре выше 600 °C и ниже 800 °C.

Результаты дифференциальной сканирующей колориметрии позволили сделать заключение, что образование сложных карбидов происходит в диапазоне температур от 710 до 771 °C. Температура начала образования сложных карбидов зависит от состояния порошковой смеси (количества кобальта в смеси, количества свободного и связанного углерода, количества кислорода).

Наличие физико-химического взаимодействия кобальта и железа с карбидом вольфрама в твердофазном состоянии (в условиях отсутствия жидкой фазы) обеспечивает нулевой угол смачивания при ее появлении в системе. Расчетное время смачивания частиц карбида вольфрама размером 1 мкм расплавом при температуре 1250 °C составляет менее 10^{-3} с. Это означает, что

использование любых источников нагрева в реальных технологических процессах обеспечивает условия для формирования композиции. Как показали экспериментальные исследования, образование в переходном слое крупных кристаллов сложных карбидов (рис. 2 а), отличающихся повышенной хрупкостью, является закономерным явлением и не определяется временем присутствия жидкой фазы. Форма и размеры кристаллов сложных карбидов определяются температурно-временными характеристиками процесса спекания, а также временем существования жидкой фазы. Известно, что эти карбиды неустойчивы при наличии достаточного количества углерода в нагреваемой системе [4]. Избежать сохранения этих карбидов в переходной зоне и покрытии можно обеспечив условия, при которых железо, диффундирующее из основного металла не будет связывать углерод, имеющийся в композиции в достаточном количестве, обеспечивающем при охлаждении распад сложных карбидов с образованием монокарбида вольфрама.

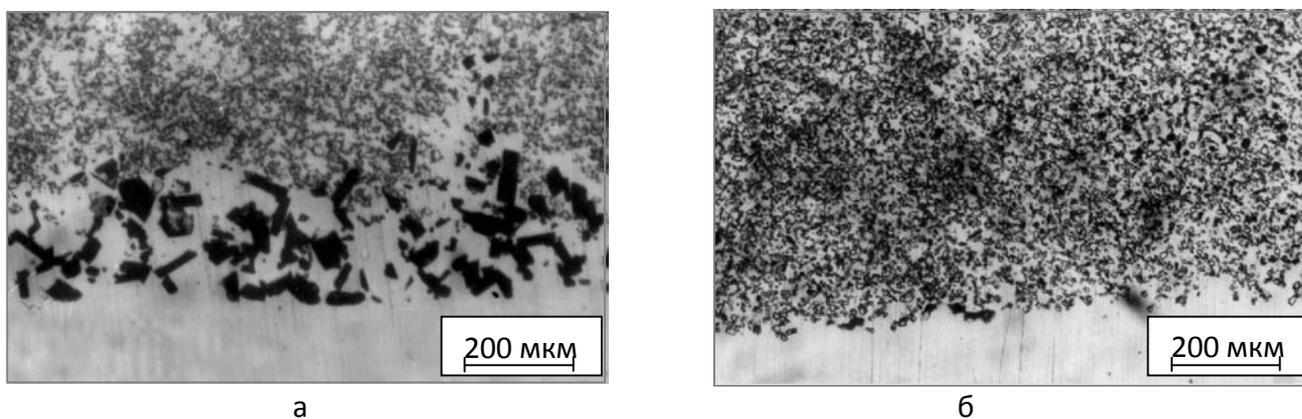


Рисунок 2 - Структура переходной зоны композиции "сталь – покрытие" после жидкофазного спекания твердосплавной порошковой смеси ВК6 на науглероженной стали У8 (а) и на стали 45, предварительно насыщенной бором при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 6 часов (б)

Наилучшие результаты получены при использовании в качестве барьерного слоя насыщенного бором поверхностного слоя стального изделия. Химико-термическое насыщение поверхностного слоя стали бором позволяет снизить объемную долю хрупкой фазы в переходной зоне формируемой композиции при наплавке вольфрамкобальтовой порошковой смеси (рис. 2 б). Управление режимами борирования позволяет изменять толщиной и структурой борированного слоя стали и, как результат - толщину переходной зоны.

Наличие развитой переходной зоны (рис. 3), характер разрушения которой отличается от хрупкого, позволяет обеспечить формируемым

композициям сочетание свойств основного материала с износостойкостью твердого сплава.

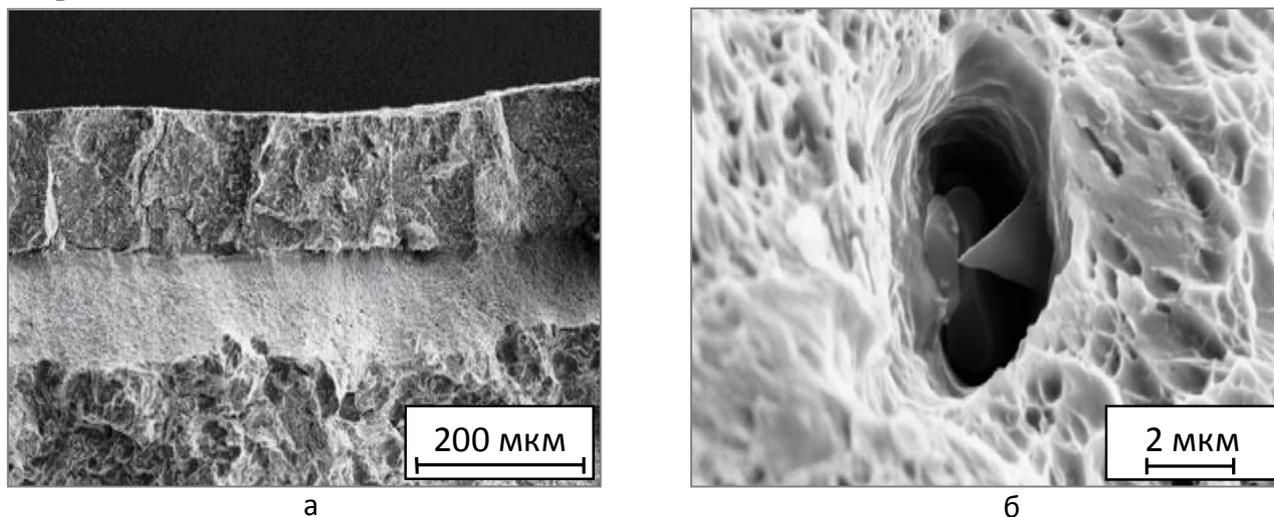


Рисунок 3 - Фрактограммы поверхности излома образцов, полученных жидкофазным спеканием порошковой смеси ВК6 на насыщенной бором стали 45; температура насыщения бором 900 °С, температура спекания 1180 °С; закалка от 850 °С; отпуск при 300 °С: а – покрытие, переходная зона и основной металл, б – переходная зона

Выводы

Выявлены технологические условия формирования качественных твердосплавных вольфрамокобальтовых покрытий на заготовках из углеродистых сталей. Установлено, что образование сложных карбидов типа $(M)_nC$, отличающихся повышенной хрупкостью, обусловлено избытком железа и недостатком углерода в зоне расплава и является характерным для высокотемпературной обработки порошковой вольфрамокобальтовой смеси, нанесенной на сталь. Установлено, что при нагреве твердосплавной смеси в присутствии железа образование сложных карбидов начинается при температурах выше 710 °С. Доказано, что предварительное борирование поверхностных слоев углеродистой стали позволяет формировать твердосплавные покрытия, характеризующиеся структурой и свойствами, соответствующими металлокерамическим твердым сплавам ($HV \approx 1200$), отсутствием хрупких фаз в переходной зоне, прочной связью с основным металлом.

Библиографический список

1. Гнусов С.Ф. электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь P_6M_5+WC / C . Ф. Гнусов, К.С. Гнусов, В.Г. Дураков // Сварочное производство. – 2007. – №12. – С. 12-15.
2. Шевченко О.И. Плазменная наплавка и ультразвук // Тяжелое машиностроение. – 2004. – №6. – С.26-27.

3. Surface-layer formation by melting tungsten-cobalt powder mixtures on steel [Text] / V. G. Burov, V. A. Bataev, S. V. Veselov, Z. B. Bataeva, T. S. Sameishcheva // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 1. – P. 95–97.

4. Таран Ю. Н., Иванов Л. И., Мошкевич Л. Д. Морфология эвтектик в Fe – W – C сплавах // Металловедение и термическая обраб. металлов. – 1972. – №1. – С. 2–6.

STEEL PARTS STRENGTHENING BY COMPOSITE WEAR RESISTANT COATINGS. PROBLEMS AND THE WAYS FOR THEIR SOLVING

The investigation of conditions for thermomechanical and physicochemical compatibility of tungsten carbide – cobalt hardmetals components with steel during the fusion of thin coatings on midget parts are carried out. It was stated that complex carbides formation starts at 710 °C and continues up to liquid phase appearing. An application of barrier layers which prevent coarse embrittling carbides formation was proved. It was shown that steel surface layer preliminary borating is an effective way for governing of hardmetal coating and transition regions structure and properties. Barrier layers usage allows formation of coatings with high adhesion and with the structure and properties of cermet hardmetal.

Key words: tungsten carbide, hardmetal coating, interlayer, physicochemical compatibility, thermomechanical compatibility.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СЛОЁВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОСИСТЕМ

В.И. Бутенко, д.т.н., профессор
Инженерно-технологическая академия
Южного федерального университета, г. Таганрог

Разработаны инновационные технологии, применяемые для создания многокомпонентных функциональных слоёв на поверхностях деталей трибосистем и определены наиболее эффективные области их использования. Показана роль йода в модифицированном после отделочно-упрочняющей обработки поверхностном слое деталей и дано описание создания таких слоёв.

Ключевые слова: деталь, поверхность, слой, компоненты, легкоплавкий сплав, графит, йод, система.

Введение

Одним из направлений решения проблемы обеспечения высокой надёжности деталей трибосистем, эксплуатируемых в экстремальных условиях, является создание на поверхностях деталей структур, которые обладают свойствами саморегулирования и самоуправления [1, 2]. Наиболее эффективным путём создания саморегулирующихся и самоуправляемых структур на рабочих поверхностях деталей трибосистем является формирование на них многокомпонентных функциональных слоёв (МФС) [3, 4], которые могут быть классифицированы по следующим основным признакам: функциональному назначению, способу формирования, количеству компонентов, свойствам используемых компонентов. При этом МФС могут быть получены на полимерной основе (полиэтилен, полистирол, капрон), на основе легкоплавких сплавов (сплавы Вуда и Розе), или смешанной основе с использованием компонентов с функционально заданными свойствами.

Методика экспериментального исследования. МФС могут быть созданы на рабочих поверхностях деталей либо на модернизированной установке для нанесения на поверхность слоёв, смонтированной на базе токарно-револьверного станка [3], либо на специальном станке для нанесения покрытий на поверхности детали [1]. При этом металлополимерные слои рекомендуется создавать на поверхностях деталей, работающих в агрессивных средах с высокой запылённостью при температурах не выше 80 – 100°С и требующих высокой точности перемещения (позиционирования) сопряжённых деталей [3].

Перспективным направлением повышения работоспособности деталей трибосистем является создание на их рабочих поверхностях МФС на основе полимеров с включением в них легкоплавких сплавов, твёрдых смазок и материалов, проявляющих при определённых условиях эксплуатации свойства смазок (например, кристаллического йода) [4]. При этом полимер выполняет в создаваемом МФС функции связки (каркаса) и своеобразного демпфера; легкоплавкие сплавы способствуют равномерному распределению МФС по

поверхности и переходу от сухого (или граничного) трения к жидкостному или полужидкостному в зависимости от температуры в зоне контакта. Назначение графита, дисульфида молибдена и кристаллического йода в МФС состоит в существенном снижении коэффициента трения в зоне контакта и создании специальной плёнки из йодистых соединений на поверхности сопряжённой детали. Определяющим фактором при назначении состава многокомпонентной системы, содержащей полимер, является температура в контактной зоне взаимодействующих поверхностей деталей, которая не должна превышать температуры деполимеризации используемого полимера не более чем на 20%.

Разработан и исследован способ ОУО рабочих поверхностей деталей с созданием в нём модифицированного слоя [3], при котором в зону контакта упрочняющего ролика с обрабатываемой поверхностью детали подаётся алюминиевая фольга шириной 5 мм и толщиной не более 0,05 мм с нанесёнными и закреплёнными на ней с помощью специального клея графитовым порошком и кристаллическим йодом. Установлены следующие режимы ОУО: усилие прижима ролика к обрабатываемой поверхности детали $P = 1000$ Н, частота вращения детали $n_d = 80$ об/мин; продольная подача $S_{np} = 0,1$ мм/об; количество проходов $m = 3$; величина импульсного тока $I = 2,5$ КА. Такие режимы обработки способствуют созданию на поверхности детали трибосистемы достаточно плотного модифицированного слоя, толщиной 0,3 – 0,5 мм с твёрдостью, равной 80-90% твёрдости основного материала детали и хорошей сцепляемостью с ним ($\tau_{сц} = 150 - 180$ МПа).

Эффективные МФС можно получать при ОУО деталей из смазочно-плакировочной жидкостной композиции, содержащей в определённом количестве твёрдую смазку и кристаллический йод [6].

Результаты и обсуждение. Работоспособность деталей трибосистем после ОУО с модифицированием материала поверхностного слоя оценивалась по интенсивности изнашивания поверхностного слоя. Установлено, что создание на поверхностях деталей трибосистем модифицированного слоя путём ОУО с применением алюминиевой фольги, графита и кристаллического йода позволяет существенно снизить коэффициент трения при повышенных температурах в зоне контакта взаимодействующих поверхностей (рис. 1).

Получены следующие эмпирические зависимости интенсивности изнашивания I для некоторых диапазонов изменения давления p , скорости скольжения $V_{ск}$, и температуры в зоне контакта Θ :

$$p = 0,2 - 1,0 \text{ МПа}; V_{ск} = 0,1 - 0,5 \text{ м/с}; \Theta = 50 - 150^\circ \text{ С};$$

$$I = 4,754 p^{0,792} V_{ск}^{0,426} \Theta^{0,275}, \text{ мг/час};$$

$$p = 1,0 - 1,5 \text{ МПа}; V_{ск} = 0,5 - 1,0 \text{ м/с}; \Theta = 150 - 250^\circ \text{ С};$$

$$I = 5,947 p^{0,704} V_{ск}^{0,434} \Theta^{0,361}, \text{ мг/час};$$

$$p = 1,5 - 2,5 \text{ МПа}; V_{ск} = 1,0 - 2,0 \text{ м/с}; \Theta = 250 - 400^\circ \text{ С};$$

$$I = 6,1284 p^{0,753} V_{ск}^{0,486} \Theta^{0,412}, \text{ мг/час}.$$

Спектрографический анализ поверхностного слоя деталей контртел из стали X18H9T, контактируемых с модифицированными поверхностями образцов из стали 45, выполненный на электронном микроскопе «Quanta –

200», показал, что добавка кристаллического йода в закрепляемый на фольге графитовый порошок способствует не только снижению коэффициента трения в зоне контакта, но и создаёт на сопряжённой поверхности детали плёнку из йодитов металлов, выполняющую роль твёрдой смазки.

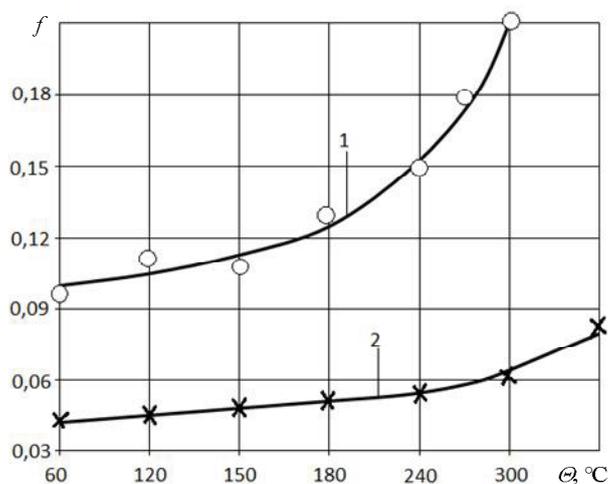


Рисунок 1 - Изменение коэффициента трения f от температуры в зоне контакта Θ

при обычном трении (кривая 1) и с модифицированным слоем (кривая 2):

$$p = 0,5 \text{ МПа}, V_{ск} = 0,2 \text{ м/с}$$

Установлено, что оптимальное количество йода в модифицируемом материале поверхностного слоя детали определяется как его состоянием после предварительной обработки по параметрам шероховатости, структуры и величины технологических остаточных напряжений, режимов обкатки, так и условиями эксплуатации. При температуре эксплуатации трибосистемы до $\Theta = 250^\circ\text{C}$ рекомендуется добавлять в наносимый на алюминиевую фольгу графит 5 – 8% (по объёму) кристаллического йода. Если температура эксплуатации детали с модифицированным слоем превышает 250°C , то вместо кристаллического йода, который при высоких температурах возгоняется, рекомендуется на фольге закреплять размельчённый диодид хрома [7] в количестве 15 – 20% (по объёму) от графита.

Практика показывает, что создание на поверхностях деталей трибосистем модифицированного графито-йодо-алюминиевого слоя целесообразно при температурах в зоне контакта $300 - 500^\circ\text{C}$, давлении $p = 2,0 - 4,0 \text{ МПа}$ и скорости скольжения $V_{ск} = 0,2 - 1,0 \text{ м/с}$. Такие условия эксплуатации характерны, например, для листопрокатного, кузнечно-штамповочного и литейного оборудования, где применение разработанной технологии ОУО с графито-алюминиево-йодным модифицированием материала рабочих поверхностей деталей трибосистем может до 3-х раз увеличить их ресурс.

Перспективной инновационной технологией создания МФС с направленной модификацией материала поверхностного слоя деталей трибосистем может стать способ обработки цилиндрических деталей [6], включающий ОУО детали и непрерывную подачу в зону поверхностного

пластического деформирования смазочно-плакировочной жидкостной композиции, содержащей компоненты в следующих соотношениях (масс. %): измельченный графит – 2,5 – 3,0; кристаллический йод – 0,05 – 0,08; минеральное масло – остальное. Создание на поверхностях деталей железоуглеродистой нанослой позволяет в 2 – 4 уменьшить интенсивность их изнашивания (см. таблицу) и существенно изменить сам процесс изнашивания, обеспечив практически постоянной величиной интенсивности изнашивания в течение всего периода эксплуатации трибосистемы (рис. 2).

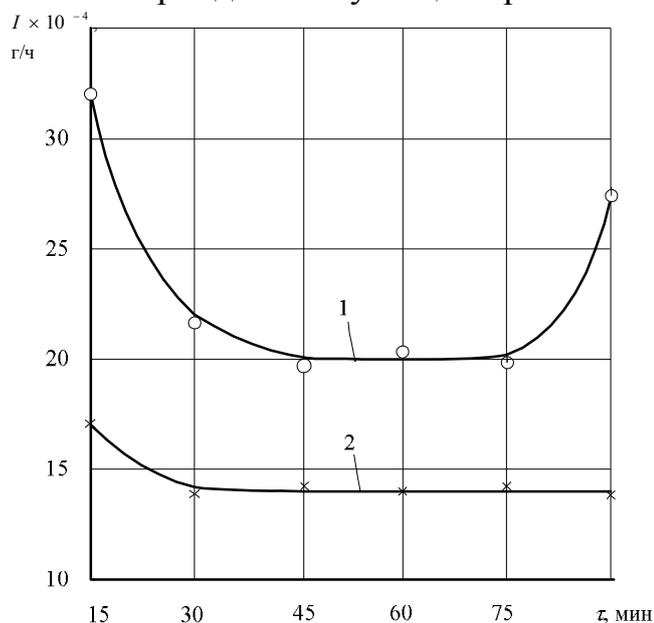


Рисунок 2 - Изменение интенсивности изнашивания I поверхностей пары трения «сталь 20ХН2МА – сталь 20ХН2МА» от времени эксплуатации τ : 1 – без железоуглеродистой нанослой; 2 – с железоуглеродистым нанослоем ($p = 0,8$ МПа; $V_{ск} = 0,5$ м/с; $\Theta = 200^\circ\text{C}$)

Обрабатываемый материал	Условия эксплуатации			Интенсивность изнашивания, $I \times 10^{-4}$, г/ч	
	p , МПа	$V_{ск}$, м/с	$\Theta^\circ\text{C}$	без нанослоя	с нанослоем
12Х2Н4А	0,5	0,2	100	20,6	9,8
20ХН2МА	0,5	0,2	100	19,5	9,3
20ХН2МА	0,5	0,5	200	28,1	13,2
30ХГСА	1,0	0,5	200	32,6	14,5
30ХГСА	1,5	1,0	200	44,8	17,4
45Х25Н20С2	1,0	1,0	300	36,5	14,8
45Х25Н20С2	1,5	1,0	300	39,2	15,3
ХН70ВМТЮ	1,5	1,0	500	48,4	13,7
ХН70ВМТЮ	1,5	1,0	800	72,9	17,6
ХН77ТЮР-ВД	1,5	1,0	800	65,3	14,9

Выводы. Таким образом, представленные инновационные технологии для создания МФС на рабочих поверхностях деталей трибосистем могут существенно повысить их работоспособность при сравнительно небольших дополнительных экономических затратах. Выбор того или иного МФС на поверхностях деталей и технологий их создания обусловлены конкретными условиями эксплуатации трибосистемы.

Библиографический список

1. Бутенко, В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения [Текст]: монография / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с.
2. Бутенко, В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем [Текст]: монография / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с.
3. Бутенко, В.И. Технология создания металлополимерных слоёв на контактных поверхностях деталей трибосистем [Текст] / В.И. Бутенко // Научно-технические в машиностроении. – 2011. – № 12. – С. 42–48.
4. Бутенко, В.И. Научно-технические технологии в процессах создания многокомпонентных функциональных слоёв на рабочих поверхностях деталей [Текст] / В.И. Бутенко // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2013. – № 9. – С. 35–39.
5. Бутенко, В.И. Научные основы нанотрибологии [Текст]: монография / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 275 с.
6. Пат. № 2412042 Россия, МПК В24В 39/04, С10М 141/00. Способ обработки цилиндрических деталей [Текст] / Бутенко В.И.; заявитель и патентообладатель Южный федеральный университет. – № 2009130720; заявл. 11.08. 2009; опубл. 20.02.2011, Бюл. №5. – 6 с.
7. Бутенко, В.И. Повышение эффективности шлифования поверхностей деталей машин [Текст]: монография / В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2012. – 176 с.

THE INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE CREATION MULTICOMPONENT FUNCTIONAL LAYERS ON PARTS SURFACES IN THE TRIBOSYSTEMS

V.I. Butenko

There are developed the innovative technologies, which are used for the building of multicomponent functional layers on parts surfaces in the tribosystems, and it is given the most effective use of them. It was defined the function of iodine in the after finishing and strengthening treatment modified layer on surface of part and the building of this layers is described.

Keywords: part, surface, component, layer, low-melting alloy, graphite, iodine, system.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОГРАННЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ СТАКАНОВ

П.В. Верещагин, к. т. н., профессор, **И.А. Свиридов**, студент
Бийский технологический институт (филиал)
АлтГТУ им. И. И. Ползунова, г. Бийск

Представлены результаты трехмерного моделирования процессов вытяжки и выдавливания из многогранных плоских заготовок, определены зоны поврежденности, сделан анализ эффективности использования металла.

Ключевые слова: листовая штамповка, вытяжка, производство патронов, эффективность использования металла.

В патронном производстве до 50% затрат на изготовление составляют затраты на исходные материалы. Металлоемкие элементы патрона гильза и оболочка пули изготавливаются методами листовой штамповки. Технологические процессы их изготовления включают следующие основные формообразующие операции: вырубка круглой рондоли; несколько операций комбинированной вытяжки или вытяжки с утонением стенки, для получения высокого тонкостенного стакана; обрезка фестонов - неровного края заготовки; следующие операции либо формируют оживальную фигуру пули, если это оболочка пули, либо придают соответствующую форму гильзе.

В отличие от приведенной технологической схемы находит применение другая технологическая цепочка, в которой заготовка после вырубки имеет не круглую, шестигранную форму. Это позволяет использовать безотходный раскрой полосы и тем самым увеличить коэффициент раскроя, характеризующий эффективность использования материала на этапе получения заготовки. Коэффициент раскроя 60% при круглой заготовке, 95% при многогранной заготовке.

Процесс последующей штамповки может идти одним из трех путей:

– Первый путь - переформовка многогранной заготовки в круглую карточку, проблемой является переменная толщина стенки рондоли после скругления.

– Второй путь формообразование многогранной заготовки путем вытяжки, торец остается неровным или комбинированной операции вытяжка-выдавливание, когда подсадка торца края стенки выравнивает ее торец. Проблемой при вытяжке многогранной заготовки является увеличенная зона поврежденности торца детали, при вытяжке-выдавлывании высокие усилия и контактные давления, снижающие стойкость инструментов.

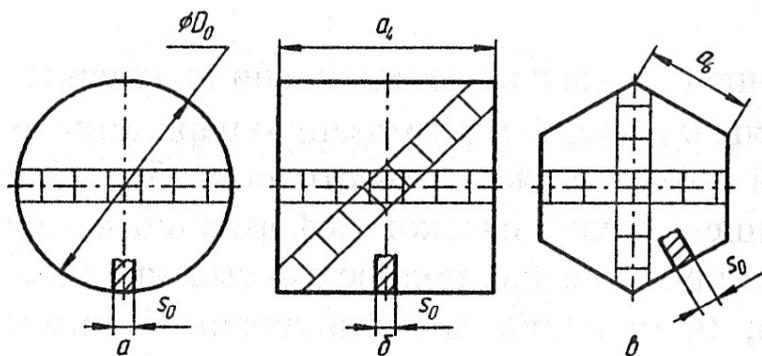


Рисунок 1 - Плоские заготовки для первой вытяжки без прижима:
 a – круглая; b – квадратная; $в$ – шестигранная

Третий путь обрезка краев многогранной заготовки до размеров обычной круглой рондоли, преимущество - неизменный технологический процесс, после обрезки, недостаток дополнительная формообразующая операция и химическая операция, предохраняющая полуфабрикат от коррозии.

Цель работы: сравнительный анализ поврежденности заготовок при получении глубоких тонкостенных стаканов на базе вытяжки многогранной рондоли, на базе вытяжки-выдавливания, на базе обрезки многогранной оболочки.

Задачи: разработать трехмерные модели заготовки и инструментов под обрезку, вытяжку и вытяжку-выдавливание; задать свойства материала заготовки; определить условия контакта заготовки и инструментов; провести расчет напряженно-деформированного состояния и поврежденности на операциях.

При проведении анализа объем и круглых, и многогранных заготовок принимался одинаковым, достаточным для формообразования гильзы патрона 7,62x39.

Пооперационно проектировались три технологических процесса, в первом использовалась круглая заготовка, во втором и третьем многогранная - шестигранная. Первый и второй процесс продолжали по традиционной технологической цепочке, использующей операции вытяжки с утонением стенки, а третий по схеме совмещения операций вытяжки-выдавливания и последующей вытяжки с утонением, рисунок 2. В процессе расчетов анализировалось напряженно-деформированное состояние и поврежденность заготовок на операциях.

На рисунке 2 показана последовательность технологических операций, для рассмотренных схем технологических процессов. Красными, яркими точками показаны места нарушения сплошности стенки штампуемой детали.

Как следует из результатов трехмерного моделирования процессов штамповки, наименьшая поврежденность края заготовки у традиционной технологической схемы - вытяжка из круглой заготовки, наибольшая поврежденность края детали при вытяжке из многогранной заготовки. В обоих случаях поврежденная область находится выше зоны обрезки детали, но при вытяжке из многогранной заготовки повреждения приближаются к зоне

обрезки. При использовании вытяжки-выдавливания поврежденная схема меньше, чем при вытяжке из многогранной заготовки, но стойкость инструмента понижена, что сдерживает внедрение таких процессов в производство.

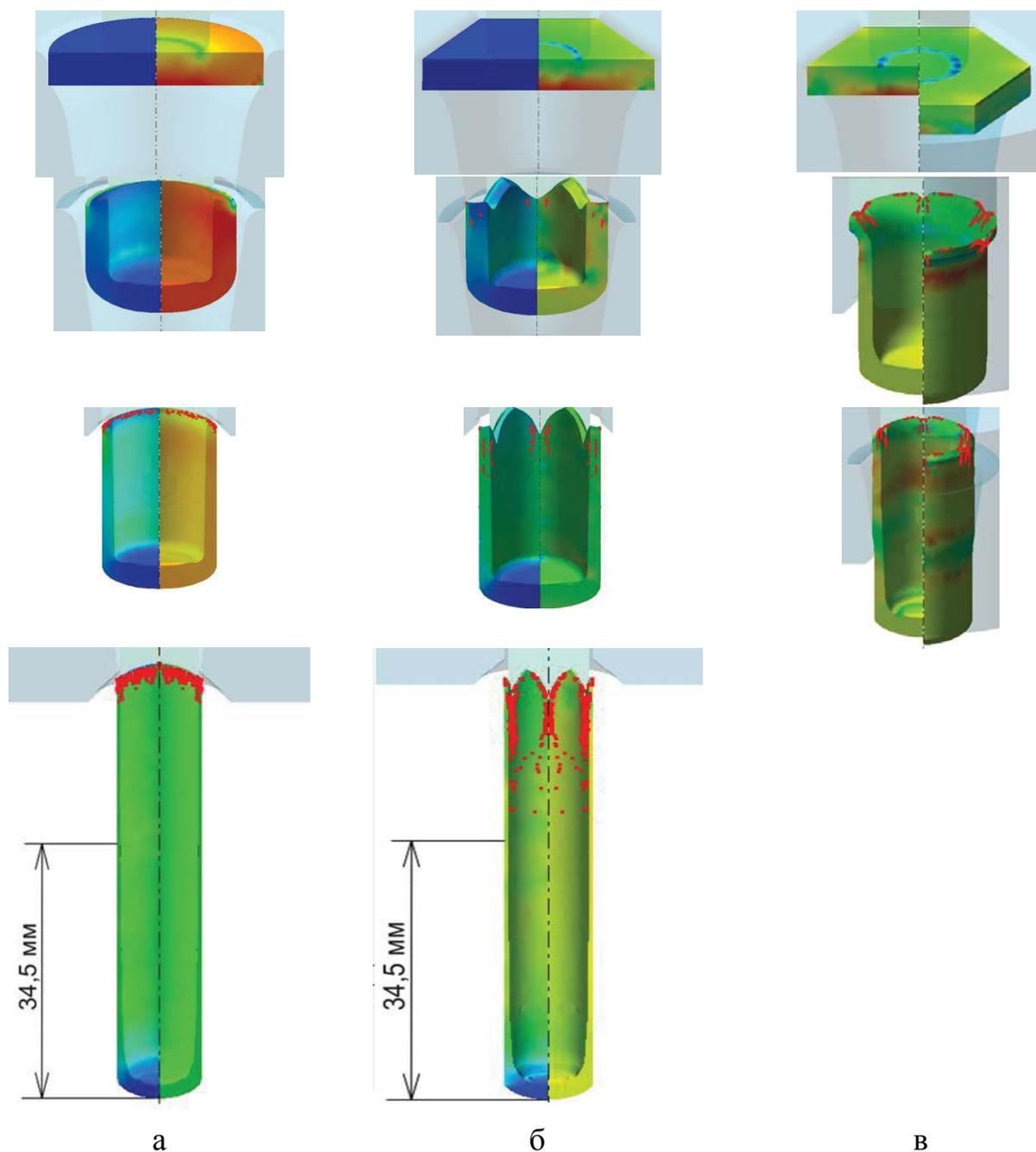


Рисунок 2 - Технологические цепочки формообразования высоких стаканов. а - технологический процесс вытяжки из круглой рондоли; б - технологический процесс вытяжки из многогранной заготовки; в - технологический процесс совмещающий вытяжку-выдавливание и последующие вытяжки

Использование процесса вытяжки шестигранных заготовок осложняется еще и тем, что затруднительна транспортировка, ориентирование и подача на позицию штамповки деталей с корончатым торцом.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– Использование многогранной заготовки позволяет значительно экономить листовой прокат, коэффициент раскроя возрастает с 60% до 95%.

– Технологический процесс, построенный на базе переформовки многогранной заготовки в цилиндрический стаканчик позволяет в наибольшей степени экономить металл, так как "корона" вытянутой заготовки выравнивается на этапе выдавливания, это уменьшает высоту обрезки. Недостаток высокие усилия и низкая стойкость инструмента.

– Технологический процесс, использующий многогранную заготовку для последующей вытяжки формирует на краю изделия протяженную поврежденную область, это вынуждает увеличивать высоту обрезки, повышает риск перехода повреждений на готовое изделие, затрудняет автоматизацию загрузки заготовок.

– Представляется перспективным процесс использующий обрезку граней многогранной заготовки и последующую вытяжку стаканов. При этом потери на обрезку составят до 10%, но исчезнет риск получения дефектного края изделия, изменения в технологическую цепочку будут минимальны, появятся две дополнительные операции обрезка и химическая обработка защищающая заготовку от коррозии при межоперационном хранении.

USE MULTIFACETED BLANKS FOR HIGH CAPS

P.V.Vereschagin, I.A. Sviridov

Presents the results of three-dimensional modeling of the processes of drawing and extruding polygonal slabs, defined areas of damage, made an analysis of the effectiveness of the use of metal.

Keywords: stamping, extractor, production of ammunition, efficient use of metal.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВТОРОЙ ОПЕРАЦИИ СТУПЕНЧАТОГО ОБЖИМА ОБОЛОЧЕК ПУЛЬ

П.В. Верещагин, к. т. н., профессор, **С.А. Хоробрых**, студент
Бийский технологический институт (филиал)
АлтГТУ им. И. И. Ползунова, г. Бийск

Приведена математическая модель для определения напряженного состояния и допускаемых деформаций второй операции ступенчатого обжима оболочек пуль.

Ключевые слова: листовая штамповка, допускаемая деформация, производство пуль.

Обычно технологический процесс изготовления оболочки пули, включает следующую последовательность операций: вырубка-свертка, отжиг, химическая обработка, вытяжка 1, вытяжка 2, обжим 1, обжим 2, обрезка, расправка. Операции вытяжки проводятся по комбинированной схеме, обжим по бесступенчатой схеме.

В отличие от приведенной технологической схемы находит применение другая технологическая цепочка, в которой заготовка на первой операции обжима имеет не оживальную, а ступенчатую форму. Это позволяет повысить технологические возможности второй операции путем совмещения двух штамповочных операций раздачи и вытяжки. Использование такой технологической схемы изготовления оболочек пуль сдерживается отсутствием расчетных зависимостей для определения напряженного состояния на второй операции ступенчатого обжима.

Цель работы: разработать математическую модель для определения напряженного состояния второго ступенчатого обжима оболочки пули.

Задачи: провести качественный анализ напряженного состояния на операции; сформировать уравнение равновесия и условия пластичности для каждого участка очага деформации; определить границы между участками и назначить граничные условия.

На первой операции ступенчатого обжима формируется ступень переходный конический участок. Высота формируемой ступени (малого радиуса) и переходного участка равна высоте оживальной части оболочки пули. На второй операции ступенчатого обжима происходит окончательное оформление заготовки за счет раздачи фигурной части, вытяжки придонного участка, формовки стенки в вершине заготовки.

Процесс идет в три этапа, рисунок 1: вначале, при движении пуансона происходит раздача, приводящая к возникновению заталкивающего усилия в стенках детали; при достижении пуансоном дна начинается процесс вытяжки верхней части оболочки и продолжается раздача нижней части; в момент полного соприкосновения поверхностей заготовки и инструментов начинается утонение стенки в вершине оболочки и калибровка формы изделия,

напряженное состояние становится объемным – всестороннее сжатие, опасности разрушения нет.

Наиболее опасен момент деформации перед плотным соприкосновением поверхностей, в опасном сечении действуют наибольшие растягивающие меридиональные напряжения, которые могут привести к отрыву донной части заготовки.

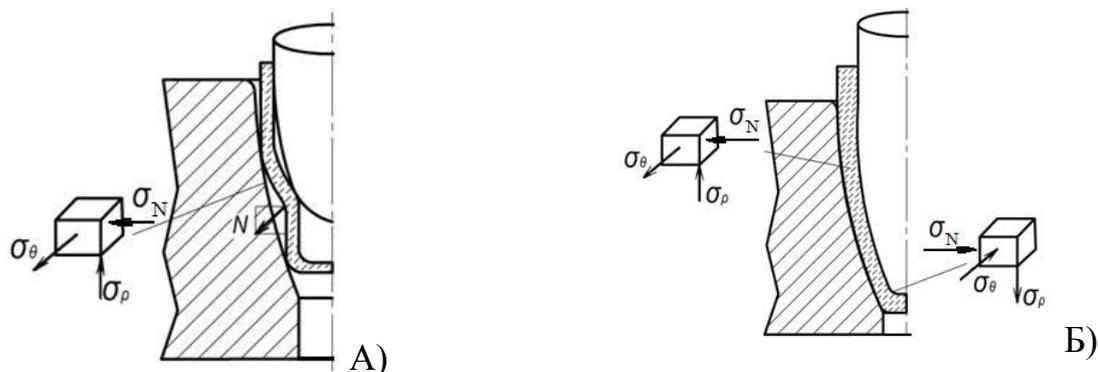


Рисунок 1 - Схема напряженного состояния второго ступенчатого обжима.
А) - Первый этап ступенчатого обжима; Б) - Второй этап ступенчатого обжима

Для проверки возможности проведения операции обжима с заданной степенью деформации следует проверить условие прочности опасного сечения, которое находится на участке радиусного сопряжения дна и стенки. Условие прочности:

$$|\sigma_p^{max}| \leq [\sigma] \quad (1)$$

Здесь σ_p^{max} - наибольшее меридиональное напряжение; $[\sigma]$ - допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \frac{r}{r + 0,5S_0} \left(\sigma_y + \frac{\sigma_p - \sigma_y}{\epsilon_p - \epsilon_y} (0,58\epsilon_p - \epsilon_y) \right) \quad (2)$$

Здесь r - радиус сопряжения дна и стенки обжимала заготовки; S_0 - толщина дна заготовки, равна толщине листа S_0 ; ϵ_y и σ_y - логарифмическая деформация и истинное напряжение в момент образования шейки в испытаниях на растяжение; ϵ_p и σ_p - логарифмическая деформация и истинное напряжение в момент разрушения в испытаниях на растяжение.

Величина напряжений, действующих в опасном сечении неизвестна. Их значение определяется методом решения основного уравнения листовой штамповки (3) совместно с приближенным условием пластичности (4), [2]:

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} - \frac{f}{\sin(\alpha)} \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\sigma_{max} - \sigma_{min} = \sigma_s \quad (4)$$

Здесь σ_ρ и σ_θ - меридиональное и окружное напряжения, действующие в очаге деформации, рисунок 1; ρ - радиус срединной поверхности оболочки; f - коэффициент трения заготовки о поверхность инструмента; α - угол между касательной к образующей оболочки и осью симметрии; R_ρ - меридиональный радиус кривизны оболочки, рисунок 2; R_θ - радиус нормального конического сечения оболочки; σ_{max} и σ_{min} - наибольшее и наименьшее напряжение, действующие в очаге деформации; σ_s - сопротивление деформированию материала заготовки.

К концу второй стадии ступенчатого обжима, оболочки пули имеет вид, показанный на рисунке 2. На боковую поверхность заготовки переходит часть материала более толстого дна, это утолщение будет "раздавлено" позже на третьей стадии, которая определит наибольшее усилие. Такое утолщение в конце самой опасной второй стадии благоприятно сказывается на несущей способности опасного сечения, это следует учесть при определении допускаемых напряжений:

$$|\sigma_\rho^{max}| \leq \left(\frac{S_\partial}{S} \right) [\sigma] \quad (5)$$

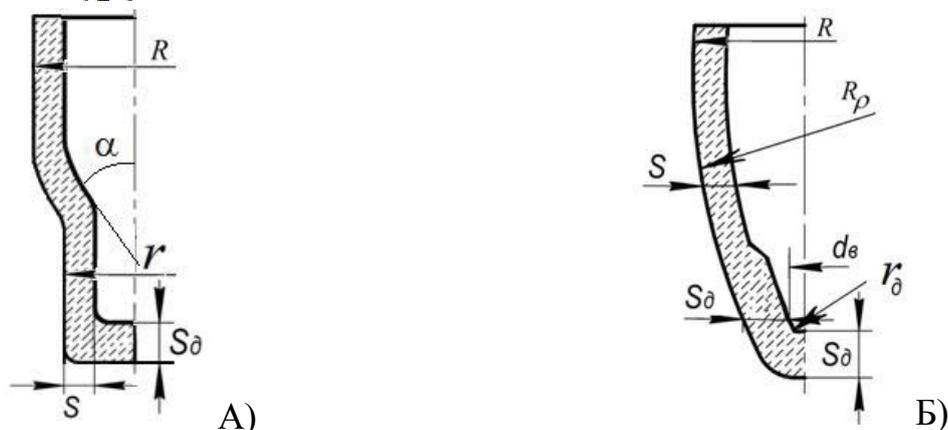


Рисунок 2 - Геометрия заготовки. А) Заготовка после первого ступенчатого обжима; Б) Заготовка после второго этапа второго обжима оболочки

Распределение деформаций по длине малой ступени и переходного участка представлено на рисунках 3 и 4.

В верхней части очага деформации при обжиге оболочки идет раздача стенки. Поэтому в стенках оболочки действуют сжимающие меридиональное и контактное напряжения, тангенсальное напряжение растягивающее, Следовательно, наибольшим напряжением является тангенсальное, а наименьшим окажется контактное напряжение, определяемое зависимостью:

$$\sigma_N = - \left| S \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right) \right| \quad (6)$$

Контактное напряжение всегда сжимающее, так как формируется контактным давлением со стороны инструмента.

С учетом сказанного, условие пластичности (4) и уравнение равновесия (3) запишутся в виде, соответствующем условиям раздачи. Граничное условие на входе в очаг деформации - меридиональных напряжений нет:

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_\rho - (\sigma_s - \sigma_N)}{\rho} - \frac{f}{\sin(\alpha)} \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_s + \sigma_N}{R_\theta} \right) = 0 \\ \sigma_\theta - \sigma_N = \sigma_s \\ \sigma_\rho|_{\rho=R} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

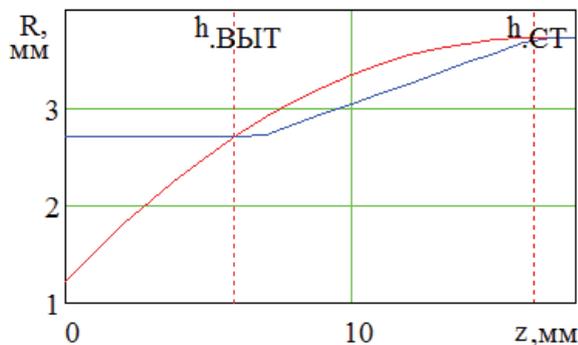


Рисунок 3 - Пересечение профилей ступенчатой и оживальной заготовок

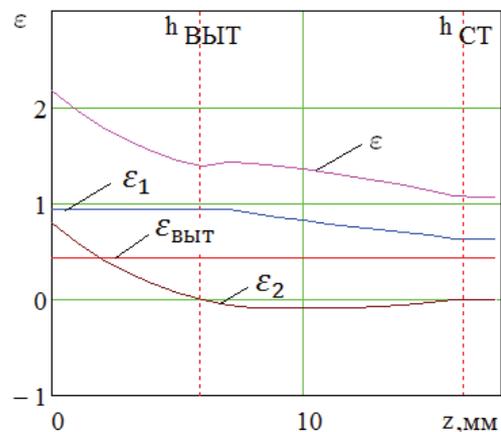


Рисунок 4 - Распределение деформаций по очагу деформации

На некотором удалении от входа в очаг деформации величина меридиональных сжимающих напряжений уменьшится настолько, что они станут наименьшими напряжениями в очаге деформации. Это изменит вид условия пластичности (4) и уравнения равновесия (3), в соответствии с новой схемой напряженного состояния. Условием смены схемы напряженного состояния является равенство меридиональных и контактных напряжений между собой. Граничное условие - значение меридионального напряжения, соответствующее условию смене условия пластичности:

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{-\sigma_s}{\rho} - \frac{f}{\sin(\alpha)} \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_s + \sigma_\rho}{R_\theta} \right) = 0 \\ \sigma_\theta - \sigma_\rho = \sigma_s \\ \sigma_\rho|_{\rho=\rho_{разд}} = (\sigma_\rho = \sigma_N) \end{cases} \quad (8)$$

В точке пересечения профилей заготовок ступенчатого и бесступенчатого обжима меняется вид технологической операции с раздачи на вытяжку, поэтому тангенсальные напряжения становятся сжимающими, а

меридиональные растягивающими. Но на границе участков раздачи и вытяжки меридиональные напряжения не равны нулю, как в условиях обычной вытяжки, они имеют значительную величину, так как это наименьшие напряжения в конце участка раздачи, поэтому вблизи пересечения профилей формируется переходный участок, схема напряженного состояния которого соответствует обжиму. Граничное условие - значение меридионального напряжения в точке смены вида операции с раздачи на обжим (точка пресечения профилей, рисунок 4). Этим условиям соответствует система уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_\rho - (\sigma_N - \sigma_s)}{\rho} - \frac{f}{\sin(\alpha)} \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_N - \sigma_s}{R_\theta} \right) = 0 \\ \sigma_N - \sigma_\theta = \sigma_s \\ \sigma_\rho \Big|_{\rho=\rho_{\text{обж}}} = \sigma_\rho^{\text{разд}} \end{array} \right. = 0 \quad (9)$$

На участке вытяжки меридиональные напряжения быстро возрастают и становятся растягивающими, рисунок 3, поэтому меняется условие пластичности и вид уравнения равновесия. Условием изменения системы уравнений является равенство меридиональных контактных напряжений. Граничное условие - меридиональные напряжения равны их величине в конце участка обжима:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_s}{\rho} - \frac{f}{\sin(\alpha)} \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_s}{R_\theta} \right) = 0 \\ \sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s \\ \sigma_\rho \Big|_{\rho=\rho_{\text{выт}}} = \sigma_\rho^{\text{обж}} \end{array} \right. = 0 \quad (10)$$

Таким образом, основное уравнение листовой штамповки при помощи условия пластичности адаптируется к условиям напряженного состояния для каждого участка очага деформации. При этом, в каждом случае, оно приводится к виду линейного дифференциального уравнения с одной неизвестной, которое решается при известных граничных условиях - значениях меридиональных напряжений на границах участков.

THEORETICAL ANALYSIS OF OPERATIONS SECOND STAGE CRIMPING SHELLS BULLETS

P.V. Vereshchagin, S.A. Khorobrikh

The mathematical model to determine the state of stress and the deformation of the second operation step crimping shells bullets.

Keywords: Stamping, allowing distortion, manufacture bullets.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ТВЕРДОМ СПЛАВЕ

К.М. Газизуллин¹, д.т.н., профессор, **Е.А.Салтанаева²**, ст. преподаватель,
И.М. Ганиев³, к.т.н., директор

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет имени Туполева, ² Казанский государственный энергетический университет, г. Казань,

³ Елабужский филиал Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, г. Елабуга

В работе рассматриваются новые конструкционные материалы, используемые в различных областях промышленности. Описаны сложности формирования отверстий в форсунках, выполненных из керамики и используемых в энергетических системах. Предложен перспективный метод получения каналов форсунок с закладными вставками.

Ключевые слова: энергетические системы, каналы в форсунках, промышленная керамика, комбинированный способ обработки

Новые конструкционные материалы и область их применения

Для технического и социального развития современного общества необходимо появление новых конструкционных материалов, а также технологии их получения.

Материалы с такими структурами служат основой для создания различного рода композиционных материалов, деталей, полученных методами порошковой металлургии, и других деталей, обладающих специальными свойствами.

Согласно второму закону термодинамики коэффициент: чем выше температура на входе в преобразователь, тем выше КПД. Возможность повышения температуры на входе в преобразователь зависит от теплостойкости используемых материалов, от их жаростойкости и жаропрочности.

По [1] различают несколько разновидностей жаропрочных конструкционных сталей: перлитные, мартенситные, аустенитные. Перлитные стали содержат относительно малые количества углерода и обычно легированы хромом, молибденом и ванадием (марки 12ХМ, 12Х1МФ). Стали мартенситного класса используют для изготовления деталей энергетического оборудования (лопатки, диафрагмы, турбинные диски, роторы), длительно работающих при температурах 600 – 620°С. Стали более значительно легированы хромом, а также вольфрамом, молибденом, ванадием (марки 15Х11МФ, 15Х12ВНМФ). Из аустенитных сталей изготавливают роторы, диски, лопатки газовых турбин, клапаны дизельных двигателей, работающие при температурах 600 – 700°С. Хромоникелевые аустенитные стали для увеличения жаропрочности дополнительно легируют вольфрамом, молибденом, ванадием, ниобием, бором и другими элементами. К жаропрочным сталям аустенитного класса относятся стали 09Х14Н16Б, 09Х14Н19В2БР, 45Х14Н14В2М.

При более высоких рабочих температурах (до 1000°С) выдерживают нагрузку, так называемые, суперсплавы, выплавленные на основе элементов VIII группы периодической системы – никелевые, кобальтовые,

железоникелевые сплавы. Их применяют при изготовлении газотурбинных двигателей для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. Для работы при еще более высоких температурах применяют тугоплавкие металлы и керамические материалы (1000-1300°C).

Конструкционные стали, твердые сплавы, промышленная керамика

Керамика наиболее перспективный промышленный материал после металлов и полимеров. Керамические материалы обладают высокой жаропрочностью, превосходной коррозионной стойкостью и малой теплопроводностью, что позволяет с успехом использовать их в качестве элементов тепловой защиты.

Главные области текущих и потенциальных применений промышленной керамики – машиностроение, электротехника и электроника [2].

Еще одно существенное преимущество керамических изделий – значительная дешевизна по сравнению с цветными металлами (медь, олово, свинец и др.). Также преимуществом является возможность получения готовых деталей с высокой степенью точности без последующей обработки резанием. При этом снижается время на изготовление деталей, а также потери на металлическую стружку [3].

Для изготовления ответственных деталей газотурбинных двигателей и энергетических установок (детали валов, зубчатых колес, сопел форсунок) используют нитриды и карбиды кремния, диоксиды циркония, а также керамики на основе оксида кремния и циркония [1].

Обработка керамики является основной составляющей стоимости изделия [1]. Благодаря прочности химических межатомных связей, керамические материалы обладают высокой твердостью, химической и термической стойкостью. И, как следствие, большинство керамических материалов с трудом поддается механической обработке. Поэтому основным условием керамической технологии является получение при консолидации практически готовых изделий. К основным методам обработки керамики относятся термообработка и размерная обработка поверхности.

Формирование отверстий форсунок

Все большее распространение получают газотурбинные энергетические установки для автономного тепло- и электроснабжения. Например, установка ГТЭУ-18, выпускаемая ОАО «КМПО» г. Казань.

В энергетических машинах требуются форсунки с большим ресурсом. Для обеспечения высокой износостойкости форсунки для подачи топлива в зону горения, ранее выполнявшиеся из жаростойких сплавов металлов, более эффективно изготавливать из жаростойких керамик, которые уже широко используются в авиакосмической отрасли.

При изготовлении форсунок наиболее сложным является формирование сопла при малом диаметре и сложной геометрии отверстий (сквозные каналы с диаметром от 0,15мм и глубиной до 10 диаметров). А именно изготовление

тангенциальных каналов с сечением до $0,2 \text{ мм}^2$, где традиционные методы обработки поверхностей детали, такие, как механическое сверление и прошивка материалов, лазерная прошивка отверстий, электрохимическая размерная обработка, струйная электрохимическая прошивка, литье деталей с закладными вставками, электроэрозионная прошивка, комбинированная электроэрозионнохимическая обработка с наложением электрического поля не применимы.

В последнее время началось интенсивное развитие нетрадиционных технологических методов обработки деталей в машиностроении. Новый подход заключается в комбинировании традиционных и нетрадиционных способов воздействия на материал детали [4].

На основе имеющихся работ по способам комбинированной обработки каналов в минералокерамиках [5], [6], предложен новый способ изготовления отверстий в соплах заготовок, полученных методом прессования с металлическими вставками, соответствующими любой форме, сечению и положению оси канала.

Комбинированный способ

Способ проиллюстрирован на рис. 1.

Геометрические размеры и форма отверстий закладываются при изготовлении рабочей части металлической вставки, которую покрывают тонким слоем диэлектрика, отделяющего вставку от форсунки (рис. 1).

Вставка 6 повторяет профиль сопла 7. Над торцем вставки 6 установлен катод-инструмент 1, который вращается с частотой, позволяющей совмещать оси отверстия 2 и вставки 6 со стороны катода-инструмента. Через слой электролита 12 подается ток от источника к катоду-инструменту 1. Как следствие происходит удаление вставки 6 путем ее анодного растворения [7]. В зоне 8, на торце вставки, скапливаются продукты анодного растворения. В момент совмещения осей отверстия в катод-инструменте 11 и вставки 6 подается концентрированный поток энергии 3 от ультразвукового концентратора, который и удаляет эти продукты. Для защиты кромок детали от осыпания под действием звукового давления от ультразвуковых колебаний [8] отверстие 2 выбирают таким образом, чтобы оно частично или полностью совпадало с сечением канала в заготовке. Под воздействием ультразвукового луча продукты обработки поступают в электролит 12, после чего происходит заполнение свежим электролитом и процесс повторяется до полного удаления вставки 6 из сопла.

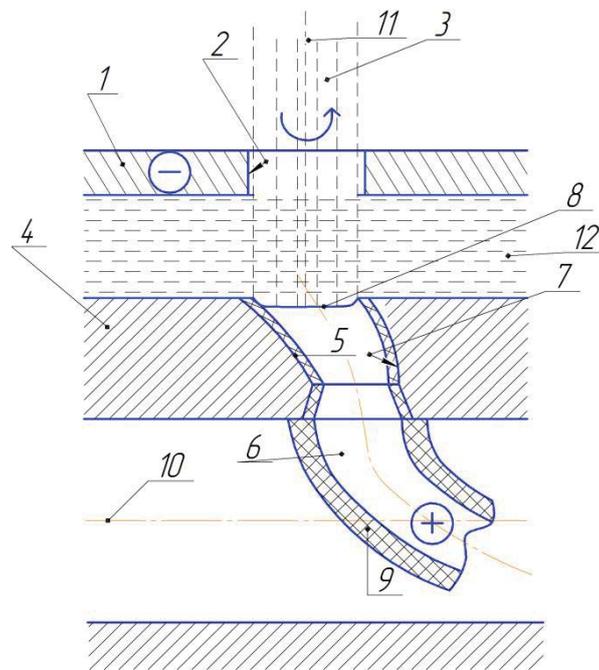


Рисунок 1 - Схема получения отверстий форсунки

1 – катод – инструмент; 2 – отверстие для подачи концентрированного ультразвукового луча 3; 4 – корпус форсунки; 5 – диэлектрическое покрытие рабочей части вставки 6; 7 – сопло форсунки; 8 – зона анодного растворения вставки 6; 9 – диэлектрическое покрытие технологического участка вставки 6; 10 – магистраль подвода горючей среды в форсунку; 11 – ось вращения катода-инструмента 1; 12 – электролит.

Описанный метод дает следующие технологические возможности: диаметр отверстий 0,1-1,5 (в том числе некруглых отверстий с различной формой оси); точность (квалитет) 5-6; параметр шероховатости (Ra) 0,16...0,63 мкм; отношение наибольшей глубины к диаметру – до 800.

Библиографический список

1. Новые материалы металлургии А.М. Зборщик. Донецкий национальный технический университет. Конспект лекций по дисциплине «Новые материалы в металлургии» / Авт. Зборщик А.М. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2008. – 253 с.
2. *Онлайн энциклопедия Кругосвет. Раздел «Керамика промышленная»*
3. Цукерман С.А. Порошковая металлургия — М.: Академия наук СССР, 1958. — 159 с
4. В.П. Смоленцев, А.В. Кузовкин, А.И. Болдырев, В.И. Гунин. Технология электрических методов обработки: Учебное пособие – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2001 – 310 с.
5. А.С. № 1299719 (СССР) Способ электрохимической обработки металлических покрытий на диэлектриках (Авт. В.П. Смоленцев и др.). Бюл. изобр. № 12, 1987.

6. Патент 2216437 (РФ) Способ электрохимической обработки (Авт. В.П. Смоленцев, К.М. Газизуллин). Бюл. изобр. № 32, 2003.

7. Смоленцев Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки. М: Машиностроение, 2005 – 511 с.

8. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов В 2 Т. Т. 1 / Под ред. В.П. Смоленцева. М: Высш. шк., 1983 – 247 с.

THE PRODUCTION OF HOLES IN CERAMICS

K.M. Gazizullin, E.A. Saltanaeva, I.M. Ganiev

This work discusses the new structural materials used in various industries. It describes the difficulties in the formation of holes in nozzles which are made of ceramics and used in power systems. It also suggests a promising method of producing the channels in nozzles with embedded inserts.

Keywords: power systems, channels in nozzles, industrial ceramics, combined method of manufacturing.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Л.Б. Гаспарова, к.п.н., доцент, **Э.С. Гаспаров**, ассистент, **А.В. Синев**, студент
Самарский государственный технический университет, г. Самара

Представлен анализ сигналов виброускорения подшипниковых опор мотор-шпинделя, на основании результатов выполненных экспериментов получены сигналы и определен принцип их модуляции.

Ключевые слова: мотор-шпиндель, виброакустическая диагностика, виброускорение, спектральная характеристика, амплитуда.

Для металлообрабатывающего оборудования актуальны вопросы обеспечения надежной работы и исправного состояния формообразующих узлов на весь срок их эксплуатации. Одним из таких узлов является шпиндельный узел, от работы которого во многом зависит качество выпускаемой продукции и на долю которого приходится от 50 до 80% погрешностей в общем балансе точности станка [1, 2]. Одним из путей обеспечения параметрической надежности шпиндельных узлов и точности обработки является использование методов виброакустической диагностики и мониторинга.

Решение для диагностики и мониторинга состояния шпиндельных узлов необходимо искать в группе методов, основанных на выделении и анализе дискретных составляющих на частотах, определяемых вынужденными колебаниями, либо частотами возбуждения колебаний в опорах, в том числе возникающими по причине различных дефектов элементов подшипниковых опор [3].

Для предварительной визуальной качественной оценки характера вибраций подшипника качения был проведен следующий эксперимент. В качестве объекта исследования использован шлифовальный мотор-шпиндель с рабочим диапазоном частоты вращения шпинделя от 50000 до 75000 оборотов в минуту, жестко закрепленный на массивном чугунном столе. В передней опоре мотор-шпинделя был установлен радиально–упорный шарикоподшипник типа 76101, где профилем беговой дорожки внутреннего кольца являлась поверхность самого шпинделя.

В качестве программно-аппаратного комплекса для проведения измерений была использована программа Sound and Vibration Assistant из пакета LabView, сигнальная панель, в состав которой входят аналого-цифровой преобразователь, усилитель, контроллер USB и акселерометры с рабочим

частотным диапазоном от 0 до 12,5 кГц и с предварительным усилением сигнала [4].

Эксперименты проводились при следующих условиях. Мотор-шпиндель предварительно работал 15 мин на частоте вращения шпинделя 830 об/с. Далее были проведены измерения сигнала виброускорения на холостом ходу на этой же частоте вращения шпинделя (830 об/с) при крайне левом, среднем и крайне правом положении винта регулирования осевого натяга подшипникового узла. Затем для создания дисбаланса на конце шпинделя закрепляли алюминиевый диск с резьбовыми отверстиями, расположенными по окружности.

Из общего числа проведенных экспериментов были выбраны временные реализации сигналов полученных при следующих условиях: ослабленный осевой натяг подшипникового узла, усиленный осевой натяг. Ниже приведены графики полученной временной реализации сигнала (рис.1).

Анализируя временной сигнал радиальной составляющей виброускорения, можно утверждать, что здесь присутствует многократная амплитудная модуляция. Причем и модулирующие функции и «несущая» являются функциями периодическими.

Полученный экспериментальный сигнал виброускорения содержит в своем составе квадратурно-амплитудномодулированный сигнал с частотами модуляции кратными частоте вращения ротора и сепаратора.

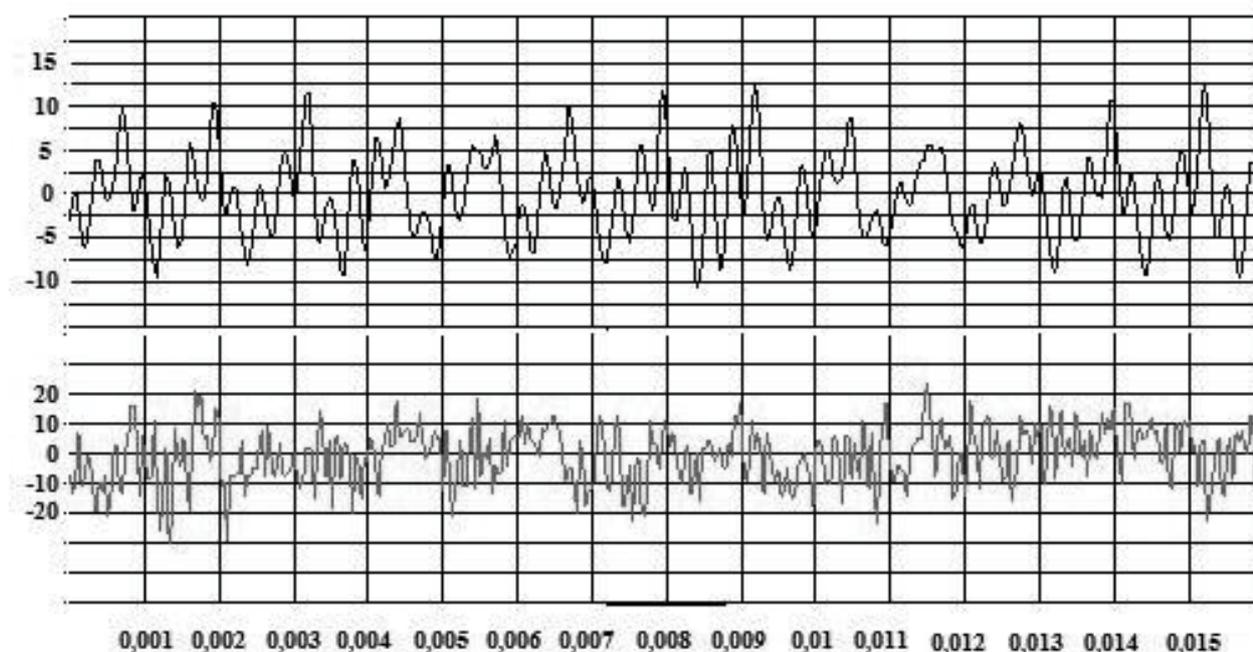


Рисунок 1 - Графики временных реализаций радиальной и осевой составляющих виброускорения

Для построения системы глубокой диагностики и мониторинга подшипниковой опоры шпиндельных узлов необходимо выяснить и описать механизм образования квадратурных амплитудно-модулированных составляющих вибрации, иметь возможность из полученного экспериментально сигнала определить параметры подшипникового узла как механической системы, и выявить диагностические признаки для диагностирования и мониторинга состояния узла. Для этого необходимо построить математическую модель работы подшипника, которая описывала бы с достаточной для составления алгоритма обработки сигнала точностью образование подобных сигналов при работе подшипников качения.

Библиографический список

1. Бржозовский, Б.М. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков/ Игнатъев А.А., Добряков В.А., Мартынов В.В. Саратов: СГТУ, 1994. – Ч.2. – 156 с.
2. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков и станочных систем//СТИН. – 2000. – №9. – С. 12-20.
3. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов/ Соколова А.Г.– М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
4. Программное обеспечение NI Sound and Vibration Measurement Suite. Реализация задач вибрационного и акустического контроля, мониторинга состояния механизмов.

METHODS FOR VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS AND MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF SPINDLE UNITS

L.B. Gasparova, E.S. Gasparov, A.V. Sinev

About analysis of signals of the vibration of bearings for motor-spindle, received signals and defined the principle of their modulation.

Key words: motor-spindle, vibration preliminary treatment, vibration acceleration, spectral characteristics, amplitude

СКВОЗНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Л.Б. Гаспарова, к.п.н., доцент, **С.А. Губин**, студент

Самарский государственный технический университет, г. Самара

Рассматривается опыт сквозной компьютерной подготовки студентов машиностроительного профиля. В качестве направления для повышения эффективности подготовки студентов рассмотрена возможность совершенствования содержания лабораторных работ, проводимых по компьютерным дисциплинам.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, лабораторная работа, станочное оборудование, современные CAD/CAM/CAE-системы, компьютерное проектирование

В настоящее время подготовку высококвалифицированных кадров невозможно представить без применения современных систем автоматизированного проектирования, значительно облегчающих трудоемкую проектно-конструкторскую работу.

Появление современной вычислительной техники не изменило основных целей обучения, но заставило во многом совершенствовать методики преподавания. Одним из путей совершенствования является сквозная подготовка (конструкторская, технологическая и др.), основные положения которой отражены в разработанных в университете учебных планах. Широкое использование в учебном процессе ЭВМ позволило осуществить также и сквозную компьютерную подготовку.

Компьютерную подготовку студенты начинают в 1 и 2 семестрах при изучении курсов «Информатика», «Основы компьютерной графики», «Геометрическое моделирование и основы автоматизированного проектирования», «Численные методы расчета в инженерных задачах» (на примере профиля подготовки бакалавров «Металлообрабатывающие станки и комплексы»).

В курсе «Информатика» студенты знакомятся с системами передачи, обработки и хранения информации, средствами визуализации и образного представления данных, различными операционными средами, средствами мультимедиа, гипермедиа и Интернет. В результате изучения курсов «Основы компьютерной графики», «Геометрическое моделирование и основы автоматизированного проектирования» у студентов вырабатываются навыки и умения создания конструкторских чертежей и документации в процессе автоматизированного черчения в САД-системе КОМПАС-3D, разработанной компанией АСКОН (г. Санкт-Петербург). В курсе «Численные методы расчета» студенты приобретают навыки расчетов элементов конструкций с помощью САЕ-системы ANSYS.

Далее компьютерная подготовка продолжается при изучении дисциплин, проводимых выпускающей кафедрой «Автоматизированные станочные и инструментальные комплексы».

Концепция сквозной компьютерной подготовки заключается в последовательном освоении студентами навыков автоматизированного проектирования и использовании их при выполнении курсовых работ и проектов.

Содержание лабораторного цикла компьютерных дисциплин позволяет студентам получить навыки выполнения рабочего и сборочного чертежей деталей и узлов металлорежущих станков (на примере деталей и узлов коробки скоростей и шпиндельного узла), объемного моделирования, сборки и анимации принципа работы таких объектов, как коробка скоростей и шпиндельный узел в редакторе КОМПАС-3D, навыки выполнения расчетов механизмов, узлов и конструкций технологического оборудования и его инженерного анализа с целью выбора оптимальных параметров.

Эффективность приобретенных навыков студенты могут оценить при выполнении курсовых работ и проектов, содержание которых построено на использовании полученных навыков автоматизированного проектирования. Так, например, содержание задания контрольных и курсовых работ по дисциплинам «Металлообрабатывающее оборудование машиностроения», «Металлообрабатывающие станки автоматизированного производства», «Расчет и конструирование станков» предполагает значительную долю расчетов, методики которых освоены и апробированы ранее в циклах лабораторных работ.

Кроме того контрольные и курсовые работы содержат графические листы (кинематическая схема, развертка и свертка коробок скоростей и подач металлообрабатывающего оборудования), выполняемые с использованием редактора КОМПАС.

Возможности используемых программных пакетов (например, метод конечных элементов) заставляют в настоящее время вносить изменения и в содержание технического задания для выполнения выпускной квалификационной работы. В частности, студенты получают возможность выполнять расчеты корпусных деталей, для которых используемые до настоящего времени методики основывались на очень существенных упрощениях и допущениях.

Внедрение сквозной компьютерной подготовки потребовало не только необходимого аппаратного обеспечения (компьютерный класс с вычислительными машинами, охваченными локальной вычислительной сетью, имеется доступ в сеть Интернет, оргтехника, лицензионные программные пакеты), существенного обновления методического обеспечения.

Преподавателями кафедры разработан целый ряд методических материалов (учебные пособия, методические указания), используемых в учебном процессе: «Компьютерная графика и моделирование технологических систем», «Инженерная графика и основы САПР», «Расчет передач станков в

APM Win Machine», «Расчет соединений в APM Win Machine», «Выполнение рабочего чертежа оси в среде КОМПАС», «Выполнение рабочего чертежа вала в среде КОМПАС», «Инженерное проектирование и расчет в APM Win Machine», «Введение в CAD/CAM – технологии», «Инженерная графика», «Моделирование и расчет конструкций металлорежущих станков с использованием пакета WinMachine».

Внедрение сквозной компьютерной подготовки имеет и социальную направленность. Студенты, освоившие навыки автоматизированного проектирования современного конкурентоспособного оборудования, несомненно, будут востребованы на многих промышленных предприятиях.

THROUGH COMPUTER TRAINING STUDENTS OF MACHINE-BUILDING PROFILE

L.B. Gasparova, S.A. Gubin

About experience through computer training students of machine-building profile. The article considers the possibility of improving the content of laboratory works computer studies.

Key words: computer modeling, laboratory work, machine tools, modern CAD/CAM/CAE-systems, computer designing.

УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС)

В. П. Гилета, к.т.н., доцент, **В. Б. Асанов**, к.т.н., доцент,
А. И. Безнедельный, к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Приведены результаты исследований по выбору схем и режимов упрочняюще-чистой обработки ультразвуковым инструментом деталей двигателя внутреннего сгорания, ответственных за работоспособность и ресурс.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, качество поверхностного слоя, ультразвуковой инструмент, схемы и режимы обработки, детали ДВС.

Введение

Повышение надежности ДВС является актуальной задачей промышленности. Эта задача решается как совершенствованием конструкции, так и технологии изготовления и сборки. Потенциал технологических возможностей на сегодняшний день далеко не исчерпан.

Потеря эксплуатационных свойств деталями ДВС, в основном, происходит из-за износа поверхностей и накопления усталостных повреждений. Протекание этих явлений во многом определяется состоянием поверхностного слоя деталей, который формируется набором технологических воздействий, особенно на заключительных стадиях процесса изготовления.

В заводских условиях в качестве финишных операций при изготовлении деталей ДВС применяются абразивные виды обработки: шлифование, доводка с полировкой, суперфиниширование, хонингование.

Известно, что абразивная обработка позволяет получать высокую точность размеров, формы, ориентации, месторасположения, но в тоже время ей присущи недостатки: шаржирование поверхности абразивом, образование в поверхностном слое неблагоприятных растягивающих остаточных напряжений, формирование шероховатости с острыми вершинами и впадинами.

Наиболее благоприятными для обработки деталей, работающих в условиях износа и усталостных нагрузений, являются методы поверхностного пластического деформирования (ППД). Они позволяют как упрочнять, так и улучшать микрогеометрию поверхности. На сегодняшний день применяется большое количество методов ППД [1, 2]. Анализ их говорит о том, что наиболее широкими технологическими возможностями обладает ультразвуковая упрочняюще-чистовая обработка (УЗО), реализуемая по различным схемам подвода энергии ультразвуковых колебаний к деформатору [1 - 4]. Исходя из вышесказанного целью данной работы являлось повышение эксплуатационных свойств деталей ДВС путем улучшения качества поверхностного слоя поверхностным пластическим деформированием инструментом, колеблющимся с ультразвуковой частотой.

Методика экспериментального исследования

Детали ДВС характеризуются широким спектром геометрических форм (цилиндрические, конические, плоские, фасонные) и требований к состоянию поверхности. Они изготавливаются из разнообразных материалов и подвергаются различным видам термического и химико-термического воздействия, а зачастую, используются и покрытия для придания требуемых эксплуатационных свойств. Эти характерные особенности деталей ДВС требуют индивидуального подбора схем и режимов УЗО с учетом геометрии и условий их эксплуатации.

Геометрия поверхности в основном влияет на выбор схемы обработки. Цилиндрические поверхности (опорные шейки распределительного и кулачкового валов, стержни клапанов впуска и выпуска, ролики различных толкателей) могут быть обработаны по схеме рис. 1,а; торцевые поверхности (тарелки клапана, диски упора) - по схеме рис. 1,б; конические поверхности (тарелки регулятора) - по схеме рис. 1,в.

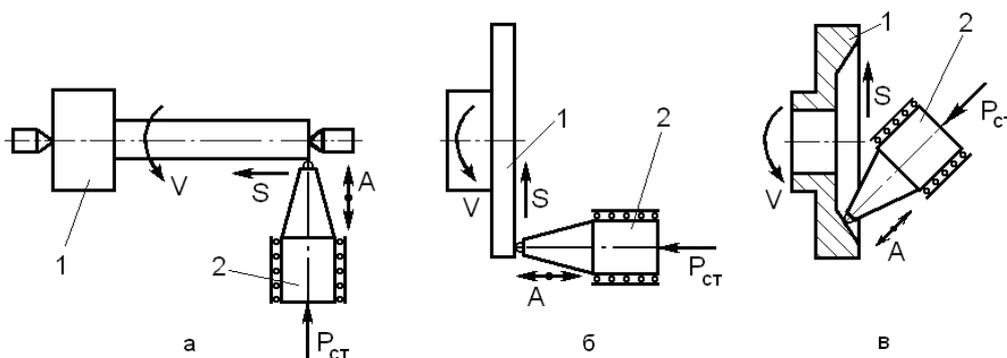


Рисунок 1 - Схемы УЗО различных поверхностей:

1 – обрабатываемая деталь, 2 – ультразвуковой преобразователь

Кулачки валов могут обрабатываться по схеме рис.1,а или с использованием механизма копирования профиля.

Цилиндрические поверхности с галтелями (шатунные и коренные шейки коленчатых валов) наиболее целесообразно обрабатывать с обкатыванием радиусов, что требует дополнительных кинематических движений. Схема обработки показана на рис. 2.

Для обработки шатуна, который имеет сложную геометрию поверхности и работает в условиях циклического нагружения вышеперечисленные схемы не применимы. Обработка возможна в ультразвуковом стакане (рис. 3).

Результаты и обсуждение

В качестве примера приведены данные исследований применения УЗО тарелок клапана, которые изготавливаются из стали 20Х.

Рабочая поверхность (торцевая) тарелки клапана при эксплуатации взаимодействует с кулачком распределительного вала и подвергается периодическому нагружению, обуславливающему ее износ. Поэтому к этой поверхности предъявляются наиболее жесткие требования по твердости, точности формы и шероховатости. Они цементируются и закаливаются до

твердости HRCэ 58...60, шлифуются и суперфинишируются для достижения плоскостности и шероховатости с $R_a 0,16$.

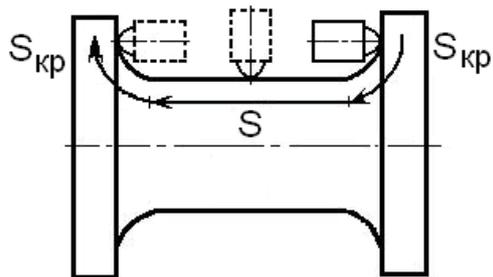


Рисунок 2 - Схема УЗО шеек коленчатого вала

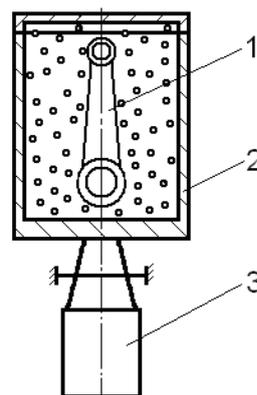


Рисунок 3 - Схема УЗО шатунов:
1 – обрабатываемая деталь,
2 – ультразвуковой волновод (стакан),
3- ультразвуковой преобразователь

Тарелки клапанов подвергались УЗО по схеме рис.1,б на установке, смонтированной на токарном станке 1К62, с использованием ультразвукового генератора УЗГЗ-0,4 и магнитострикционного преобразователя с рабочей частотой 44 кГц. Преобразователь монтировался на шариковых направляющих, снабженных устройством нагружения. Материалом деформаторов служил синтетический поликристаллический алмаз АСПК.

Для оценки состояния поверхности использовались приборы: твердомер Роквелла, микротвердомер ПМТ-3, профилограф-профилометр модели 252 завода «Калибр», интерферометр МИИ-4 и комплекс изучения топографий поверхностей NewView 7300.

Основными технологическими параметрами УЗО являются: статическая нагрузка $R_{ст}$, амплитуда колебаний инструмента A , частота колебаний f , скорость вращения детали V , подача инструмента S , количество проходов i , радиус деформатора r .

Из вышеперечисленных параметров в качестве переменных были выбраны: r от 1,5 мм до 4,0 мм, $R_{ст}$ от 100 Н до 250 Н, V от 50 м/мин до 250 м/мин, S от 0,07 мм/об до 0,15 мм/об, i от 1 до 3. Частота и амплитуда колебаний сохранялись постоянными и определялись используемым ультразвуковым оборудованием. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применялось индустриальное масло 45.

УЗО проводилось на тарелках клапана с различной исходной поверхностью, полученной по заводской технологии черновым, чистовым шлифованием и суперфинишированием.

Предварительные эксперименты показали, что основными параметрами, ответственными за формирование качества поверхностного слоя тарелок клапана являются подача, статическая нагрузка, радиус деформатора. Скорость вращения детали влияет на производительность обработки, не существенно сказывается на формировании микрогеометрии поверхности, но определяет

количество дискретных воздействий инструмента на единицу площади, ответственное за механические свойства поверхностного слоя. Исходя из сказанного, рациональной для тарелок клапана является скорость $V=150$ м/мин. Проведенные исследования показали, что при рассматриваемом диапазоне параметров УЗО, для формирования требуемой микрогеометрии интервал подач целесообразно ограничить величиной $0,07...0,08$ мм/об.

Радиус деформатора и статическая нагрузка во многом определяют размер очага деформации и соответственно микрогеометрические и физико-механические свойства поверхности. Их наивыгоднейшее сочетание определяется исходным микрогеометрическим и физико-механическим состоянием обрабатываемой поверхности, что видно из рассмотрения таблицы.

№ п/п	Метод обработки	Режим обработки	HRCэ	H ₅₀ , МПа
1	Черновое шлифование	По заводской технологии	60	7160
2	Чистовое шлифование	По заводской технологии	59	7740
3	Суперфиниширование	По заводской технологии	61	7750
4	Черновое шлифование + УЗО	$r = 2,5$ мм, $P_{ст} = 200$ Н, $i = 1$	63	8860
5	Чистовое шлифование + УЗО	$r = 4,0$ мм, $P_{ст} = 200$ Н, $i = 1$	62	9000
6	Суперфиниширование + УЗО	$r = 4,0$ мм, $P_{ст} = 150$ Н, $i = 1$	63	8870

На рис. 4 представлены профилограммы поверхностей после исходных обработок (рис. 4, а, б, в) и этих же поверхностей после УЗО (рис. 4, г, д). На рис. 5 показана топография исходной и упрочненной поверхностей.

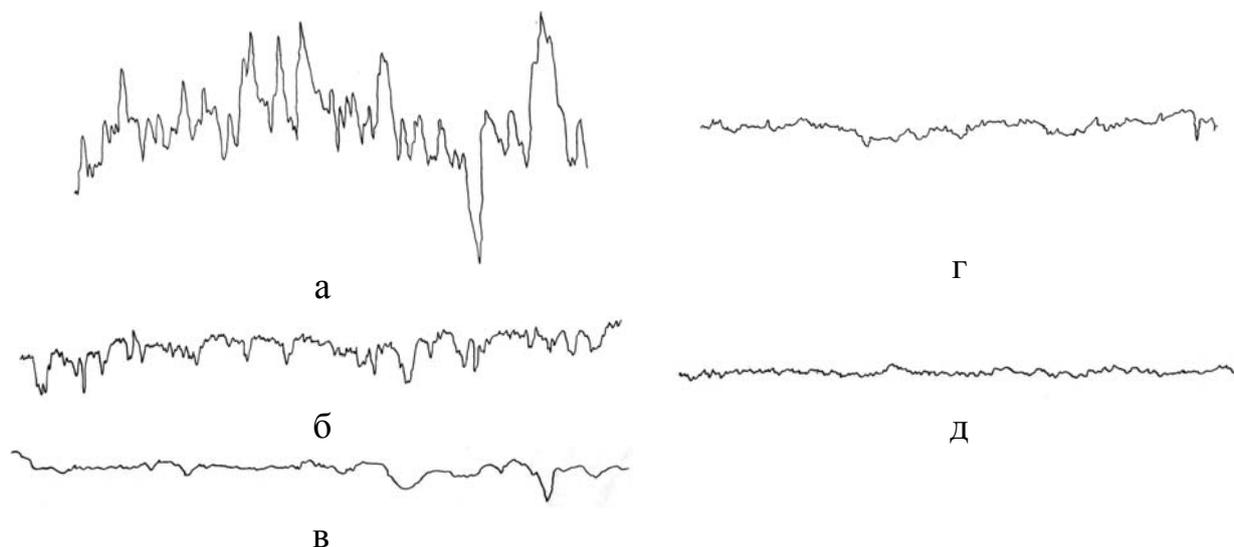


Рисунок 4 - Профилограммы исходных поверхностей и исходных + УЗО:
а – черновое шлифование, б - чистовое шлифование, в – суперфиниширование,
г - черновое шлифование + УЗО, д - чистовое шлифование + УЗО

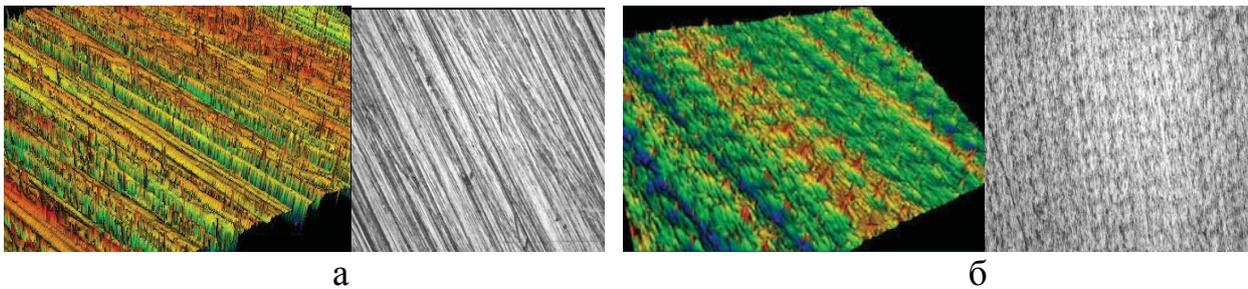


Рисунок 5 - Топографии поверхностей:
а – чистовое шлифование, б – чистовое шлифование +УЗО

Анализ результатов исследований (см. таблицу, профилограммы, топограммы) показывает, что УЗО улучшает характеристики качества поверхностного слоя тарелок клапана по физико-механическим (HRC_s , H_{50}) и микрогеометрическим параметрам, при этом требуемая шероховатость достигается после чистового шлифования + УЗО, что позволяет исключить из технологического процесса операцию суперфиниширования.

Лабораторные сравнительные испытания тарелок клапана показывают повышение износостойкости после УЗО на 20...30 % по отношению к деталям, обработанным по заводской технологии.

Выводы

УЗО позволяет достигать требуемого качества поверхностного слоя после чистового шлифования, исключая операцию суперфиниширования, формировать поверхностный слой со специфичными микрогеометрическими и физико-механическими свойствами и может быть рекомендовано для повышения эксплуатационных свойств деталей ДВС.

Библиографический список

1. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Муханов И.И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. НТО Машпром. – М.: Машиностроение, 1978. – 44 с.
3. Гилета В.П. Технологические возможности поверхностного пластического деформирования с использованием ультразвуковых колебаний / Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: сборник трудов Международной научно-практической конференции / под ред. В.Ю. Блюменштейна и Ф.И. Пантелеенко. – Кемерово:ГУ КузГТУ, 2009. – С. 75-79.
4. Гилета В.П. Технологические рекомендации по применению ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки / Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. // Инновации в машиностроении: труды 4-ой Международной научно-практической конференции г. Новосибирск, 2-4 октября 2013 / под ред. Х.М. Рахимянова.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013.

REINFORCING FINISHING OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE (ICE) PARTS

Gileta V.P., Asanov V.B., Beznedelnyy A.I.

The results of studies on the choice of schemes and modes of reinforcing-finishing by ultrasonic instrument of internal combustion engine parts, which are responsible for working capacity and service life, are presented.

Key words: surface plastic deformation, surface layer quality, ultrasonic instrument, schemes and treatment regimens, internal combustion engine parts.

ВОЛНОВАЯ ПЕРЕДАЧА С ГИБКИМ КОЛЕСОМ В ВИДЕ ПАЛЬЦЕВОЙ ЦЕПИ

В.П. Гилета, д.т.н., профессор, **А.В. Барис**, аспирант
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Предложена конструкция волновой передачи с гибким колесом в виде пальцевой цепи, обеспечивающая диапазон передаточных отношений от 2 до 80. Пальцевая цепь состоит из пальцев, объединенных пластинами, причем концы пальцев при помощи сферических кинематических пар установлены на опорном диске, связанном с выходным валом. Методика синтеза рабочих поверхностей генератора, зубьев жесткого колеса и звездочки основана на математической модели, описывающей законы движения осей пальцев в системах координат, связанных с генератором, жестким колесом и звездочкой. Выполнены макеты волновой передачи с гибким колесом в виде пальцевой цепи. Экспериментальная проверка работоспособности макетов подтверждает правильность разработанных методик геометрического синтеза волновой передачи.

Ключевые слова: волновая передача, пальцевая цепь, генератор, жесткое колесо, звездочка, пальцы, пластины, макет.

В механических приводах точных станков и промышленных роботов хорошо себя зарекомендовали волновые зубчатые передачи. К основным достоинствам волновых передач относятся высокие: кинематическая точность, нагрузочная способность, точность позиционирования; малые: габариты, масса, инерционность. Однако, диапазон передаточных отношений волновых передач начинается от 80, что обусловлено конструкцией гибкого колеса представляющего собой стакан или кольцо, имеющими зубчатый венец. При снижении передаточного отношения волновой передачи ниже 80 возрастают поперечные деформации в гибком колесе, которые вызывают недопустимо большие напряжения, приводящие к его поломке [1]. С целью расширения области использования волновых передач в диапазоне передаточных отношений от 2 до 80 предложена принципиально новая конструкция волновой передачи (рис.1), гибкое колесо которой представляет собой пальцевую цепь [2].

Волновая передача имеет концентрично расположенные входной 1 и выходной 2 валы. Пальцевая цепь состоит из пальцев 3, объединенных пластинами 4. Каждая пластина объединяет два соседних пальца, образуя шарниры цепи. Пальцы 3 одним концом при помощи сферических кинематических пар 5 установлены на опорном диске 6, неподвижно закрепленном на выходном валу 2, а другим концом, через ролики 7 опираются на кулачковый генератор 8, закрепленный на входном валу 1. Пальцы 3 взаимодействуют с внутренними зубьями жесткого колеса 9, неподвижно установленного в корпусе и со звездочкой выходного вала 10, имеющей внутренние и наружные зубья, число которых равно количеству пальцев цепи.

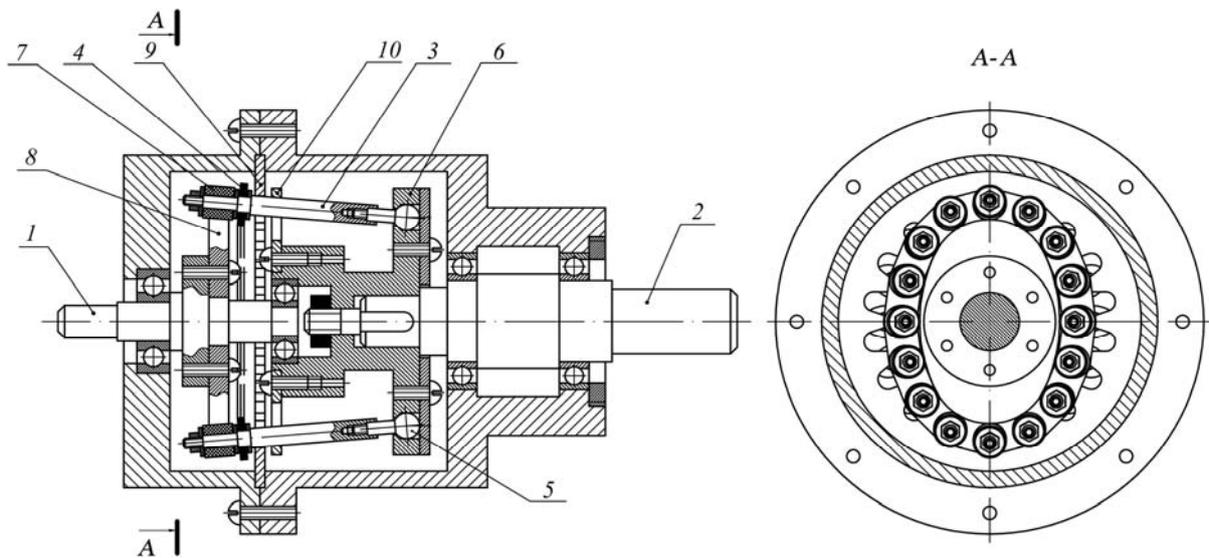


Рисунок 1

Передаточное отношение волновой передачи, при неподвижном жестком колесе определяется по формуле

$$i = -\frac{n_g}{n_k - n_g},$$

где n_g – число пальцев цепи, n_k – количество зубьев жесткого колеса.

Волновая передача работает следующим образом. Вращение от входного вала передается генератору волн, который взаимодействует с концами пальцев. Пальцы, объединенные пластинами, совершают волновое движение, подобное движению зубчатого венца традиционной волновой передачи. Между зубьями жесткого колеса и звездочки обеспечен клиновой зазор в который входит палец, взаимодействующий с генератором, поворачивая звездочку вместе с выходным валом. Постоянное вращение выходного вала обеспечивается за счет того, что в работе участвует одновременно несколько пальцев. Палец работает как рычаг имеющий опору на опорном диске. Для постоянства передаточного отношения рабочие поверхности генератора, зубьев жесткого колеса и звездочки спрофилированы соответствующим образом.

Разработана методика синтеза рабочих поверхностей генератора, зубьев жесткого колеса и звездочки, основанная на математической модели описывающей законы движения пальцев цепи [3, 4].

Движение пальцев относительно выходного вала можно рассматривать, как движение твердого тела относительно неподвижной точки, которой является центр сферической опоры пальца. Ось пальца движется по конической траектории, которую можно описать как движение образующей конуса с вершиной в центре сферической кинематической пары по направляющей, которой является траектория движения центра шарнира пальцевой цепи W в системе координат $X_2Y_2Z_2$, связанной с выходным валом (рис. 2)

$$\left. \begin{aligned} x_{2W} &= f_{x_2}(t), \\ y_{2W} &= f_{y_2}(t), \\ z_{2W} &= L. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Зависимости (1) могут быть получены на основе известной теории волновых передач в предположении, что пластины цепи движутся в одной плоскости расположенной на расстоянии L от плоскости проходящей через центры сферических опор пальцев и окружной шаг цепи в при ее движении относительно генератора не меняется.

Тогда для любой точки M , принадлежащей оси пальца

$$\left. \begin{aligned} x_{2M} &= x_{2W} \cdot \frac{l}{L}, \\ y_{2M} &= R_C + (y_{2W} - R_C) \cdot \frac{l}{L}, \\ z_{2M} &= \sqrt{l^2 - x_{2M}^2}, \end{aligned} \right\}$$

где l – расстояние между точками C и M .

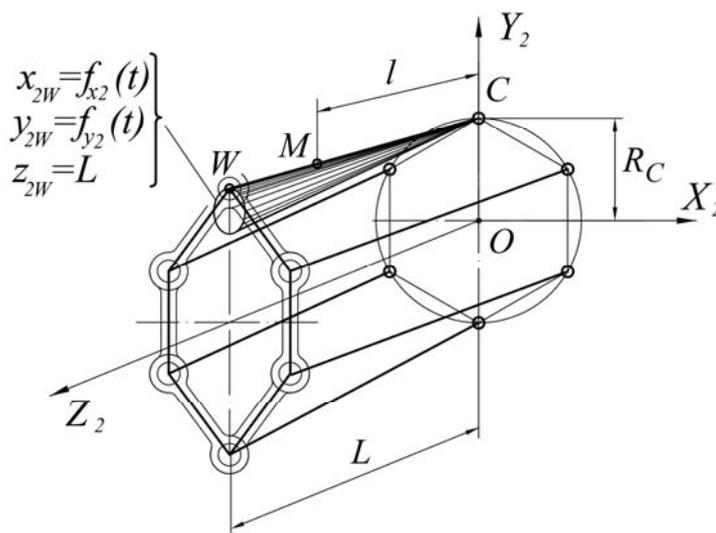


Рисунок 2

Относительно жесткого колеса и генератора пальцы совершают сложные пространственные движения, складывающиеся из движений пальцев относительно выходного вала, являющегося относительным движением, и переносных вращательных движений выходного вала относительно жесткого колеса и относительно генератора, соответственно. Траектории движений осей пальцев относительно генератора и жесткого колеса находятся методом преобразования координат из системы $X_2Y_2Z_2$, связанной с выходным валом в системы координат XYZ , и $X_1Y_1Z_1$, связанные с генератором и жестким колесом.

Поскольку пальцы имеют цилиндрическую форму, рабочие поверхности генератора, зубьев жесткого колеса и звездочки определяется как эквидистантные поверхности к траекториям движений пальцев в соответствующих системах координат.

Для экспериментального подтверждения работоспособности предложенной волновой передачи были изготовлены макеты с передаточными отношениями равными 6, 8 (рис. 3) и 10. Макеты волновой передачи показали плавную работу без заеданий и заклиниваний, что подтверждает правильность расчетных методик геометрического синтеза.



Рисунок 3

Выводы

С целью расширения области применения волновых передач в диапазоне передаточных отношений от 2 до 80 предложена конструкция волновой передачи с гибким колесом в виде пальцевой цепи.

Разработана методика синтеза рабочих поверхностей генератора, зубьев жесткого колеса и звездочки, основанная на математической модели описывающей законы движения пальцев цепи.

Экспериментальная проверка работоспособности макетов подтверждает правильность разработанных методик геометрического синтеза волновой передачи.

Библиографический список

1. Иванов М.И. Волновые зубчатые передачи. – М.: Высш. шк., 1981. – 183 с.
2. Пат. 2478847 Российская Федерация, МПК F16Н 1/00. Передача [Текст]/ Барис А.В., Гилета В.П. – 2013.– Бюл. №10.
3. Гилета В.П. Барис А.В. Волновая передача. VI Всероссийская конференция «Актуальные вопросы строительства»: труды [Электронный ресурс]. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – 350 с., С. 73–79.

4. Гилета В.П. Барис А.В. Профилирование зубьев волновой передачи // Доклады АН ВШ РФ. – 2013.– Выпуск 1(20) январь–июнь.– С. 80–86.

WAVE TRANSMISSION WITH FLEXIBLE WHEEL IN THE FORM OF FINGER CHAIN

V.P. Gileta, A.V. Baris

A design of the transmission wave with the flexible finger in the form of a wheel with the chain transfer number from 2 to 80. Finger chain consists of a finger joint plates, the ends of the fingers by means of spherical kinematic pairs mounted on the supporting disk connected with the output shaft. Methods of synthesis of the working surfaces of the generator, teeth hard wheels and sprockets is based on a mathematical model describing the laws of motion of the fingers in the coordinate system associated with the generator, a hard wheel and sprocket. Submitted layouts wave transmission with a flexible wheel in the form of finger chain. Experimental verification of the performance of models confirms the correctness of the developed methods of synthesis of geometric wave transmission.

Keywords: wave transmission, finger chain, generator, hard wheel, sprocket, fingers, plates, model

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Е.Ю. Горин, аспирант, **А.Ю. Кряжев**, аспирант,
Е.Ю. Татаркин, д.т.н., профессор, **Ю.А. Кряжев**, к.т.н., доцент.
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

В статье представлены статические и динамические исследования на станке с ЧПУ специально спроектированной торцовой фрезы с демпфирующими элементами, изготовленными из различных материалов. Данная конструкция торцовой фрезы повышает виброустойчивость технологической системы за счет снижения вибрационных нагрузок на режущий инструмент. Получены зависимости параметра шероховатости R_a , средней амплитуды - A и скорости счета акустической эмиссии - N от параметров режима резания V , S , t . Данные зависимости могут быть использованы в технологически ориентированном измерительном комплексе для диагностирования и прогнозирования параметров качества обработанной поверхности при фрезеровании на станках с ЧПУ.

Ключевые слова: процесс торцового фрезерования, акустический сигнал, шероховатость обработанной поверхности, демпфирующие элементы, виброустойчивость.

Процесс торцового фрезерования на станках с ЧПУ является одним из распространенных в машиностроении. Торцовое фрезерование может использоваться не только при обработке плоских, но и, в ряде случаев, фасонных поверхностей, обеспечивая высокую производительность. Торцовые фрезы используются для обработки кромок листового проката под последующую сварку, торцов валов на фрезерно-центровальных станках и др. Однако, торцовое фрезерование сопровождается нестабильностью срезания металла, которая связана с кинематикой и динамикой этого процесса обработки. В связи с этим, при торцовом фрезеровании возникают как вынужденные колебания, так и автоколебания, связанные с проявлением регенеративного эффекта. Вибрации технологической системы, возникающие при фрезеровании, оказывают большое влияние на точность обработки и стойкость режущего инструмента. При появлении колебаний режущего инструмента относительно обработанной поверхности его стойкость снижается пропорционально квадрату амплитуды и на заготовке возникают погрешности поперечного сечения, образуется волнистость и увеличивается шероховатость обработанной поверхности. Наиболее действенным средством борьбы с вибрациями и повышения виброустойчивости технологической системы является регулирование жёсткости (демпфирующей способности) всех элементов динамической системы. Важнейшим звеном этой системы является - «деталь-инструмент».

Степень устойчивости технологической системы определяет её способность рассеивать энергию, вносимую внешним воздействием, и может быть оценена по скорости затухания отклонений в переходных процессах [1]. Чем больше степень устойчивости в данной частной составляющей динамической системы, тем быстрее затухает переходный процесс врезания

режущих зубьев, тем меньше отклонения в установившемся процессе фрезерования. На сегодняшний день динамические процессы, происходящие в упругих замкнутых технологических системах, остаются недостаточно изученными. Управление этими процессами является одним из резервов повышения производительности и качества обработки. Известно, что при механической обработке не всегда удаётся обеспечить достаточную жёсткость и виброустойчивость обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. [1].

Обеспечение требуемого качества деталей машин при металлообработке неразрывно связано с задачей управления заданными параметрами микропрофиля (шероховатости) обрабатываемой поверхности. Формирование микропрофиля (шероховатости) обрабатываемой поверхности связано с процессами упруго-пластического деформирования, разрушения и образования новых поверхностей. Поэтому одним из наиболее информативных показателей, позволяющих определить шероховатость, является функционал работы, который можно оценить по спектру сигнала виброакустической эмиссии, снимаемого непосредственно в процессе резания. [2]. Для решения указанных задач были проведёны статические и динамические исследования специально спроектированной торцовой фрезы.

Анализ работ [1, 2, и др.], посвященных исследованиям рассеяния энергии при колебаниях динамических систем показал, что для технологической системы механической обработки деталей следует производить расчет диссипативных свойств с учетом сил вязкого сопротивления. В этих условиях обобщенный коэффициент демпфирования в продольном направлении может быть определен согласно следующей зависимости [1]: $h = \frac{2m}{T_k} \delta$ $h = \frac{2m}{T_k} \delta$, где δ – логарифмический декремент колебаний;

T_k – длительность одного колебательного цикла, с.

Логарифмический декремент колебаний определяется по формуле: $\delta = nT_k = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$, где A – амплитуда колебаний, дБ; n – коэффициент, характеризующий вязкость системы.

В результате эксперимента удалось рассчитать декремент колебаний для двух вариантов демпфирующих элементов специальной торцовой фрезы, изготовленных из резины и стали 45. Декремент колебаний у фрезы с резиновыми демпфирующими элементами почти вдвое больше чем (0,762), у фрезы со стальными вставками (0,405). При этом максимальная зафиксированная амплитуда для фрезы с резиновыми вставками в 1.5 раза меньше, чем для фрезы со стальными вставками. Таким образом, данное направление повышения виброустойчивости технологической системы за счёт снижения вибрационных нагрузок на режущий инструмент, может быть использовано при его эксплуатации.

Следующий эксперимент проводился на фрезерном станке ГФ-2171 с УЧПУ FMS 3000 при различных режимах фрезерования заготовки из легированной стали 18X12НЮТ торцовой фрезой с регулируемой жёсткостью.

Для регулирования жёсткости торцевой фрезы используются резиновые вставки (демпфирующие элементы), количество которых может изменяться в зависимости от требуемых условий резания и значений собственной частоты режущего инструмента. Одновременно с процессом резания проводилась запись сигналов акустической эмиссии. Запись осуществлялась с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) L-card L780M с частотой дискретизации до 400 кГц. По окончании эксперимента проводилось измерение шероховатости обработанной поверхности заготовки на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55». Анализ сигналов акустической эмиссии позволил установить зависимости параметра шероховатости R_a от средней амплитуды - A и скорости счета акустической эмиссии - \dot{N} . (см. рисунок 1). Для установления зависимости параметра шероховатости R_a от параметров режима торцевого фрезерования (V , S , t) был проведён плановый эксперимент типа ПФЭ 3^2 . Уровни и интервалы варьируемых факторов были определены по предварительным исследованиям и литературным данным.

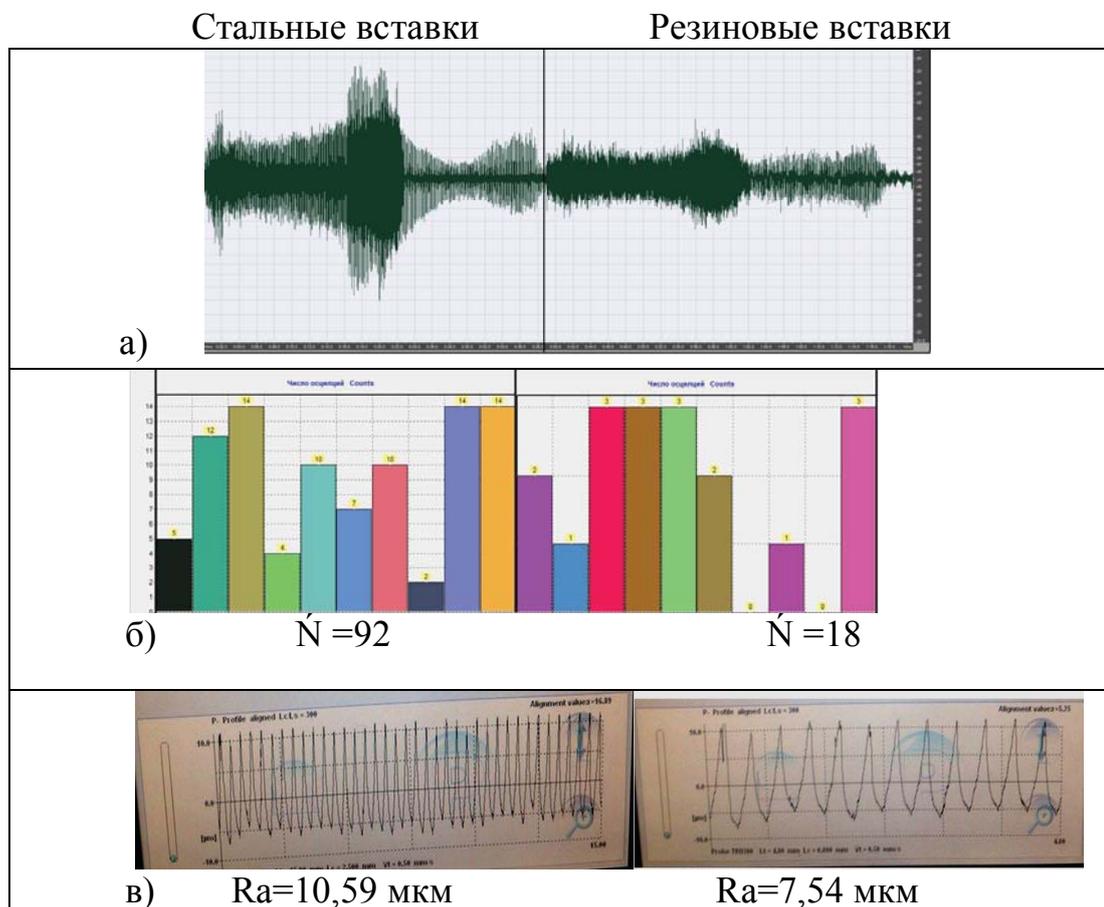


Рисунок 1 – Результаты анализа сигналов акустической эмиссии на режимах резания $t=1$ мм, $S_m=400$ мм/мин, $n=500$ об/мин: а) – осциллограммы сигналов акустической эмиссии для образцов со стальными и резиновыми демпфирующими вставками; б) – результаты анализа сигналов акустической эмиссии (\dot{N} – скорости счета акустической эмиссии); в) – результаты измерения шероховатости профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55»

Анализ результатов опытов позволил получить зависимости вида $Ra = f(V, S, t)$ для торцового фрезерования торцовой фрезой с регулируемой жёсткостью (с резиновыми и стальными вставками). Для наглядного представления сложных зависимостей между шероховатостью Ra и параметрами режимов резания V, S, t при торцовом фрезеровании на рисунке 2 представлены графы связей.

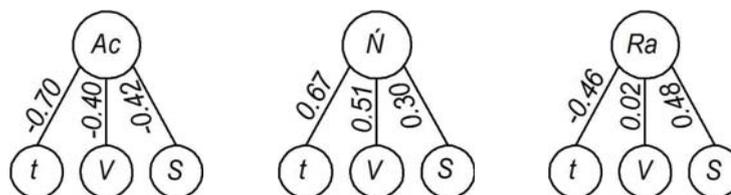


Рисунок 2 – Графы связей шероховатости Ra , средней амплитуды A , \dot{N} скорости счета акустической эмиссии от параметрами режимов резания V, S, t при торцовом фрезеровании.

Анализируя полученные графы связей шероховатости Ra и средней амплитуды A от параметров режима резания V, S, t можно заметить, что шероховатости Ra наиболее тесно связана с глубиной фрезерования – t и подачей – S , при этом и средняя амплитуда сигнала акустической эмиссии – A также наиболее сильно зависит от S и t , то есть подтверждаются результаты работы, выполненные по прогнозированию шероховатости методом акустической эмиссии по параметру амплитуды САЭ. [3].

Полученные зависимости:

$$Ra = 1,1225 + 0,6913t + 0,0048V + 0,0014S - 0,002tS + 0,0002tS - 0,000009VS$$

$$\dot{N} = 0,997863 + 0,996913t - 0,007957V - 0,0127S - 0,00478tS + 0,003562tS - 0,000006VS$$

$$Ac = 0,997959 + 0,99701t + 0,048044V + 0,026394S - 0,00415tS + 0,001618tS - 0,00038VS$$

могут быть использованы для прогнозирования параметров качества обработанной поверхности при фрезеровании на станках с ЧПУ [4].

Выводы:

1) Декремент колебаний у фрезы с резиновыми демпфирующими элементами почти вдвое больше чем (0,762), у фрезы со стальными вставками (0,405). При этом максимальная зафиксированная амплитуда для фрезы с резиновыми вставками в 1,5 раза меньше, чем для фрезы со стальными вставками. Данное направление повышения виброустойчивости технологической системы за счёт снижения вибрационных нагрузок на режущий инструмент, может быть использовано при его эксплуатации.

2) Анализируя полученные графы связей шероховатости Ra , средней амплитуды A , скорости счета акустической эмиссии \dot{N} от параметров режима резания V, S, t можно заметить, что шероховатости Ra наиболее тесно связана

с глубиной фрезерования – t и подачей – S , при этом и средняя амплитуда сигнала акустической эмиссии – A_c также наиболее сильно зависит от S и t , а скорость счета акустической эмиссии \dot{N} наиболее сильно зависит от V и t .

3) Полученные зависимости: $R_a = 1,1225 + 0,6913t + 0,0048V + 0,0014S - 0,002tS + 0,0002tS - 0,000009VS$

$\dot{N} = 0,997863 + 0,996913t - 0,007957V - 0,0127S - 0,00478tS + 0,003562tS - 0,000006VS$

$A_c = 0,997959 + 0,99701t + 0,048044V + 0,026394S - 0,00415tS + 0,001618tS - 0,00038VS$ - могут быть использованы в технологически ориентированном измерительном комплексе для диагностирования и прогнозирования параметров качества обработанной поверхности при фрезеровании на станках с ЧПУ.

Библиографический список

1. Жарков, И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом [Текст] / И. Г. Жарков. – Л. : Машиностроение, 1986. – 184 с. : ил.

2. Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С. Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала // Технология машиностроения. – 2008. – №1. – С.28-29.

3. Татаркин Е.Ю., Кряжев Ю.А. и др. Прогнозирование шероховатости при иглофрезеровании методом акустической эмиссии (статья) // Вестник Алтайской науки. – №2-1. – 2013. – С. 30-33.

4. Татаркин Е.Ю., Кряжев Ю.А. и др. Разработка измерительного комплекса для диагностирования качества обработанной поверхности при металлообработке // Обработка металлов (технология, оборудование, инструмент). – 2014. – №2 (63). – С. 39- 45.

THE PREDICTION OF THE QUALITY OF A TREATED SURFACE DURING THE CUTTING WITH CNC MACHINES.

Gorin E. U., Kryazhev U. A., Tatarkin E. U, Kryazhev A. U.

This article presents the static and dynamic research CNC machines specially designed with a face mill damping elements made of different materials. Such a construction of the face cutter increases the vibration of technological system by reducing vibration loading on the cutting tool. Thus we get relations of the roughness parameter R_a , average amplitude – A and count rate of acoustic emission – \dot{N} from cutting conditions V , S , t . These relations can be used in a technologically oriented measuring complex for the diagnosis and prediction of surface quality options during cutting with CNC control software.

Keywords: face cutting process, acoustic signal, roughness of a treated surface, damping elements, vibration resistance.

СБОРКА ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С РАЗУПРОЧНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ОХВАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ

А.А. Демин, инженер, **И.А. Титов**, к.т.н., доцент
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ, г. Бийск

Рассмотрен способ сборки соединений с натягом, позволяющий повысить несущую способность соединений обработкой сопрягаемой поверхностей одной из деталей токами высокой частоты.

Ключевые слова: сборка, прессовые соединения, прочность, термообработка.

При ремонте узлов и сборочных единиц в некоторых случаях возникает проблема снижения несущей способности прессовых соединений после нескольких циклов сборки-разборки. Это обусловлено тем, что поверхности сопрягаемых деталей во время сборки-разборки получают повреждения, приводящие к уменьшению площади их реального контакта и, соответственно, натяга соединяемых деталей.

Для сохранения несущей способности прессовых соединений при многократной сборке-разборке предложено [1] модифицировать сопрягаемые поверхности охватываемой детали термической обработкой токами высокой частоты (ТВЧ).

Целью работы являлась оценка возможности применения разработанной технологии при многократной сборке-разборке станочных приспособлений с кондукторными втулками.

Станочные приспособления с кондукторной втулкой, установленной с натягом в корпус приспособления (Рисунок 1), используют для повышения точности отверстий, получаемых сверлением. Учитывая, что кондукторные втулки выходят из строя примерно через 5-7 часов работы станка, возникает необходимость их периодической замены. Однако с каждой последующей заменой втулки, в результате деформации соединяемых поверхностей натяг в соединении уменьшается, а несущая способность снижается. Поэтому приходится растачивать отверстия в корпусе станочных приспособлений с последующей постановкой с натягом промежуточной ремонтной втулки.

Для увеличения срока службы приспособлений предложено использовать способ сборки [1] прессовых соединений, повышающий их несущую способность. Согласно предлагаемому способу проводится термообработка (отжиг) наружной поверхности кондукторной втулки в устройстве индукционного нагрева. Нагрев токами высокой частоты в течение малого промежутка времени позволяет провести отжиг только поверхностных слоев втулки, а внутренняя часть втулки сохраняет исходные механические свойства материала и износостойкость при сверлении.

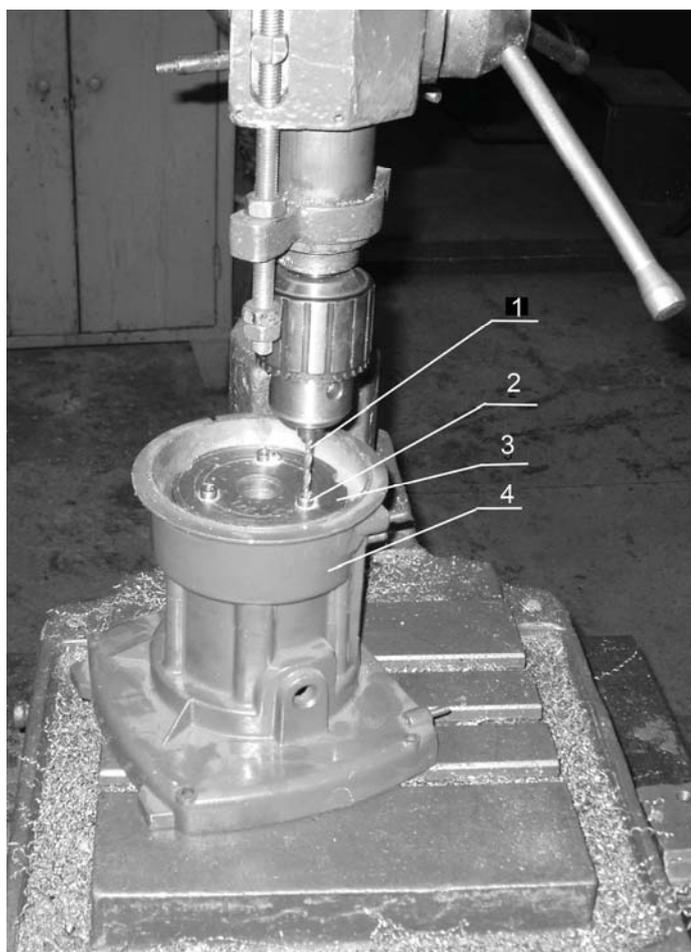


Рисунок 1 – Станочное приспособление

1 – сверло; 2 – кондукторная втулка; 3 – охватывающая деталь (корпус станочного приспособления); 4 – заготовка (картер)

Отжиг снижает твердость поверхностных слоев втулки, материал становится более пластичным. Поэтому при сборке, когда происходит смятие выступов микрорельефа на сопрягаемых поверхностях деталей, более пластичный материал уменьшает вероятность появления задиров на поверхности деталей и, вместе с тем, лучше заполняет микронеровности, увеличивая площадь реального контакта и, повышая прочность соединения.

Экспериментальные исследования зависимости несущей способности прессовых соединений от количества операций сборки-разборки проводились следующим образом. В охватываемую деталь запрессовывали втулки, имеющие исходные механические свойства материала и втулки с разупрочненным поверхностным слоем. После сборки соединений втулки выпрессовывались, при этом фиксировалось максимальное усилие демонтажа в осевом направлении, которое и характеризовало несущую способность соединений.

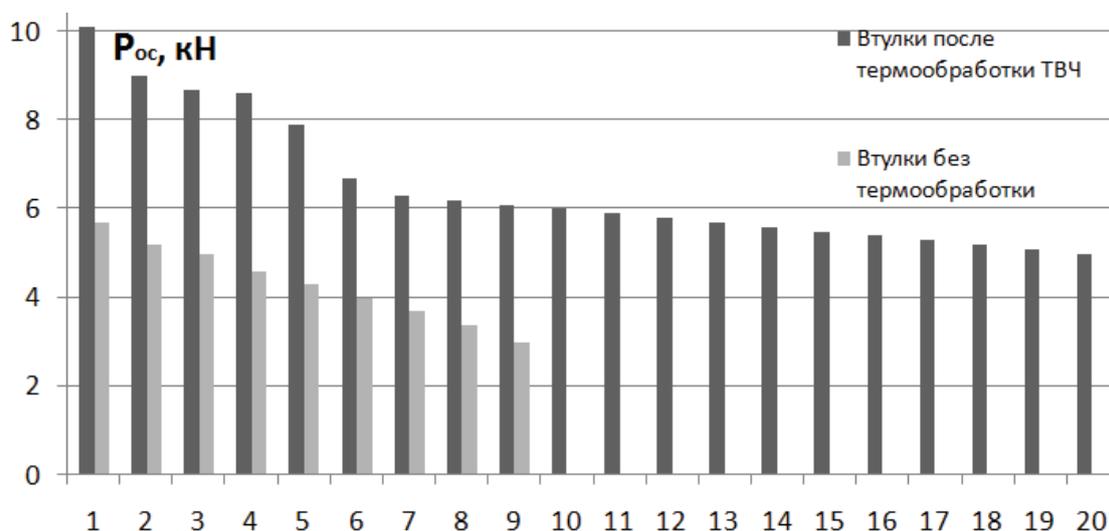


Рисунок 2 – Зависимость несущей способности соединения от количества циклов сборки-разборки

Проведенные исследования показали (рисунок 2), что втулки с разупрочненной поверхностью обеспечивают более высокую несущую способность прессовых соединений при многократной сборке-разборке. И если несущая способность соединений с необработанной ТВЧ втулкой падает в два раза после 8-9 циклов сборки-разборки, втулки с обработанной ТВЧ наружной поверхностью сохраняют несущую способность, соответствующую первой сборке необработанных втулок при 14-15 циклах. Также необходимо отметить, что после снижения несущей способности соединений с термообработанной втулкой при 5-6 циклах сборки-разборки в дальнейшем величина ее стабилизируется и практически не изменяется до 20 циклов.

Таким образом, использование втулок с разупрочненным поверхностным слоем позволяет увеличить время эксплуатации станочного приспособления без ремонта минимум в 2-3 раза.

Библиографический список

1. Пат. 2508181 МПК В23Р 11/00 Российская Федерация Способ получения соединений с гарантированным натягом / Демин А. А., Титов И. А., Макарьев А. В. // Бюл. – 2014. – №6.

ASSEMBLY OF CONNECTIONS WITH SOFTENING PRESSING SURFACE OF THE MALE PART

A.A. Demin, I.A. Titov,

The way to build connections with interference, allowing to increase the carrying capacity of the compounds by treatment mating surfaces of the details of high-frequency currents.

Keywords: assembling, pressing the compound strength, heat treatment.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ОТКЛОНЕНИЕ ФОРМЫ БАЗОВЫХ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В.М. Дробышев, студент, **А.М. Фирсов**, к.т.н., доцент, **В.А. Калистру**,
аспирант, **И.В. Трапеев**, студент
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ, г. Бийск

В данной работе рассматривается влияние температурных деформаций на отклонение формы при обработке базовых отверстий тонкостенных корпусных деталей с переменной толщиной стенок на примере корпуса цилиндра двухтактного двигателя. Исследования проведены путем компьютерного моделирования процесса тепловых деформаций в среде AnsysWorkbench 11.

Ключевые слова: тепловая деформация, корпусные детали, базовые отверстия, отклонение формы.

В процессе обработки большая часть работы сил резания переходит в тепло. Теплота, образовавшаяся в процессе резания, действует на элементы технологической системы (ТС), часть ее рассеивается в окружающей среде. Под действием теплоты в ТС происходят температурные деформации. Изменение размеров элементов ТС, являющихся составляющими звеньями размерной цепи ТС приводит к изменению замыкающего звена - размера детали. Таким образом, температурные факторы, действующие в процессе обработки, оказывают влияние не только на стойкость инструмента, но и на точность.

При обработке тонкостенных заготовок из-за ухудшенных условий отвода тепла происходят существенные температурные деформации. Величина температурных деформаций заготовки в некоторых случаях может составлять до 7 квалитета. [1]

В качестве объекта исследования выбран корпус цилиндра двухтактного двигателя, так как эта деталь является сложной по конструкции и имеет разную толщину стенок. Базовое отверстие этой детали определяют ресурс корпуса, поэтому была поставлена задача провести исследования по влиянию тепловых деформаций на точность формы базового отверстия. Обработка базового отверстия цилиндра двухтактного двигателя, является самым важным этапом в технологии изготовления данного цилиндра, так как в ее процессе формируются необходимые показатели качества поверхности. Ввиду тонкостенности заготовки, высокой температурной деформации алюминиевого сплава и сложного профиля в продольном и поперечном сечениях детали аналитические методы для оценки точности в данном случае неприемлемы, поэтому необходимо применять численные методы.

В настоящее время разработано достаточно много универсальных численных методов, которые применяются для решения дифференциальных уравнений в частных производных. Наиболее приемлемым для решения задачи определения теплового и напряженно-деформированного состояния цилиндра является метод конечных элементов (МКЭ). Основная идея МКЭ состоит в том,

что любую непрерывную величину, такую, как температура, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей (конечных элементов). Кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек (узлов) рассматриваемой области.

Для того, чтобы определить температуру в обрабатываемой заготовке, которую можно будет применить в моделировании распределения тепловых полей с последующей идентификацией деформации был проведён опыт с обработкой заготовки цилиндра двухтактного двигателя на станке с различной глубиной резания [2].

Для наблюдения за распределением температуры исследуемой детали использовался тепловизор марки Testo 890-2. Распределение температуры отображается на дисплее (или в памяти) тепловизора как цветное поле, где определённой температуре соответствует определённый цвет.

После каждой обработки с определённой глубиной резания, заготовка фиксировалась тепловизором, за счёт чего получали температурные поля. Для достоверности показаний заготовка после каждой обработки устанавливалась новая, чтобы исключить накопление тепла при последующих обработках одной заготовки. На рисунке 1 представлены тепловые поля заготовок, обработанных с разной глубиной резания.

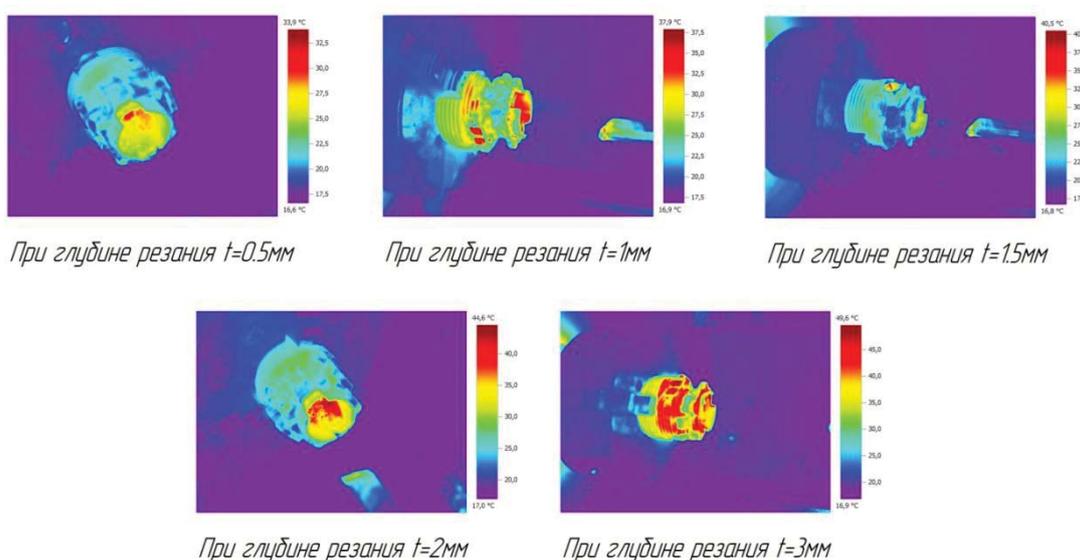


Рисунок 1 – Тепловые поля цилиндра при обработке с разной глубиной резания

Получив тепловые поля обработанных заготовок можно построить зависимость температуры от глубины резания, после чего можно определить как влияет глубина резания на температуру. Зависимость построена на основе максимальной температуры заготовки и представлена на рисунке 2.

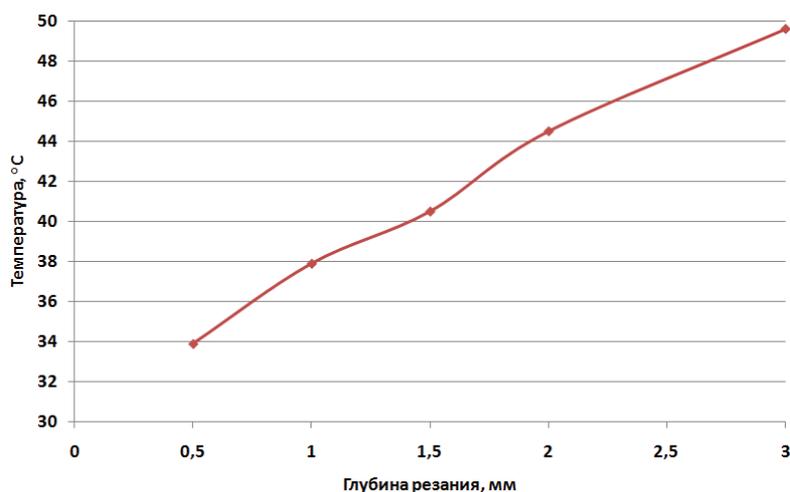


Рисунок 2 – Зависимость температуры заготовки от глубины резания

Анализируя график зависимости температуры от глубины резания, можно сделать вывод о том, что численные значения температуры обрабатываемых заготовок полученные опытным путем в процессе обработки будут изменяться незначительно с увеличением глубины резания, это подтверждает теорию о том, что влияние глубины резания на количество тепловыделения минимально, по сравнению со скоростью резания или подачей.

Далее на основе полученных результатах температурных полей был смоделирован процесс нагрева заготовки. Для расчета температурных деформаций от нагрева заготовки была использована программа AnsysWorkbench 11. Для исследования построена 3D модель детали цилиндр двухтактного двигателя, после чего сгенерирована КЭ сетка с шагом 2,5 мм, шаг выбран в несколько раз меньше наименьшего размера элемента детали для более точного анализа. Далее заданы необходимые параметры для деформационного расчета, такие как закрепление и температура. На поверхности отверстия цилиндра, начиная от фланца, были взяты точки с определенным шагом 0,20,42,55,75,82 мм. По данным точкам были измерены деформации при температурах 40, 60, 80, 100 градусов в продольных взаимноперпендикулярных плоскостях. Среднее значение температур полученных в предыдущем опыте, которое равно 40 градусов использовалось как минимальный порог в ряде температур нагрева участвующих в моделировании [3].

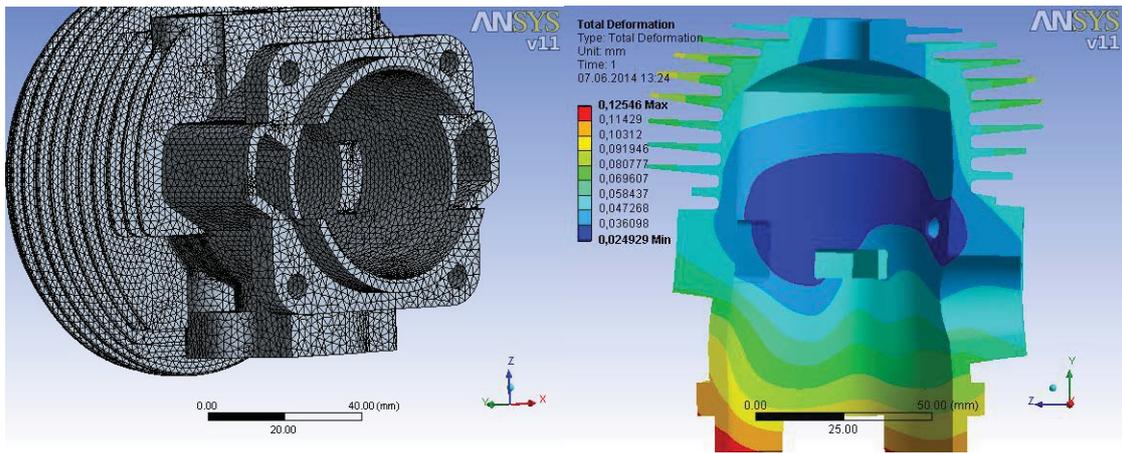
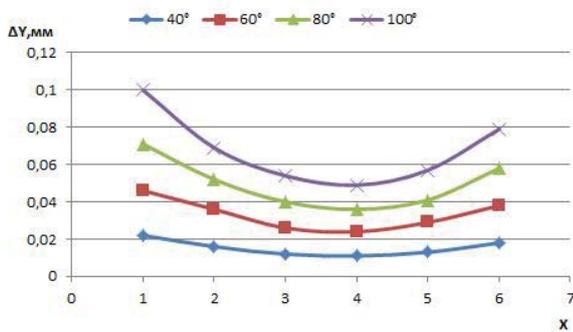
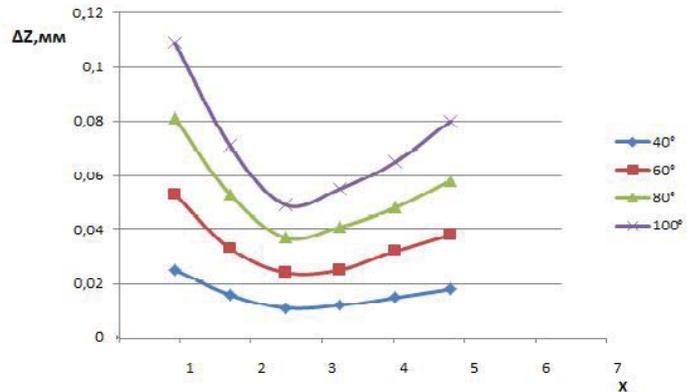


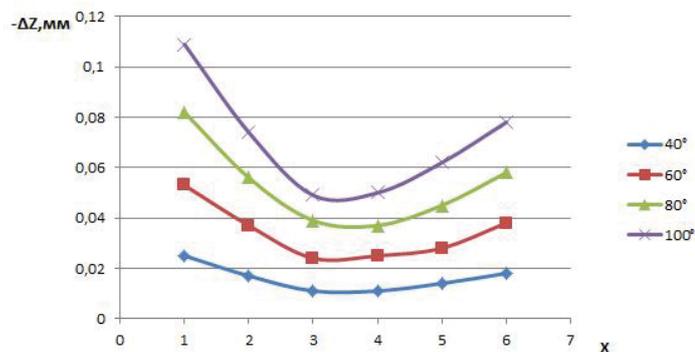
Рисунок 3 – Моделирование в Ansys Workbench
 а) разбиение на КЭ элементы; б) тепловые деформации заготовки



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Отклонение точек поверхности отверстия от оси:
 а) со стороны перепускных каналов б) со стороны впускного окна;
 в) со стороны выпускного окна

На рисунке 4б деформация при температуре 100 градусов составила 0,109мм на радиус, на диаметр значение будет равно 0,218 мм (в плоскости разреза по впускному и выпускному каналу) и при допуске на это отверстие 7 квалитета 0,04 мм необходимо учитывать эти деформации в процессе обработки, т.к. тепловая деформация больше допуска и превышает его в 5 раз.

Из графиков видно, что тепловые деформации в разных секущих плоскостях имеют расхождения и наименьшие значения приходятся на точки 3 и 4, которые расположены в зоне впускного, выпускного и перепускных окон. Максимальные значения температуры находятся в точках 1 и 6 это связано с неоднородностью толщины стенок. Из этого можно сказать, что при такой тепловой деформации в продольном сечении будет проявляться погрешность формы - седлообразность, а после механической обработки и остывания - соответственно бочкообразность.

Библиографический список

1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах [Текст] / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Фирсов А.М. Влияние тепловых деформаций на отклонение формы базовых отверстий корпусных деталей сложной формы / А.М. Фирсов, В.А. Калистру, И.В. Трапеев, В.М. Дробышев // Актуальные проблемы в машиностроении: материалы первой международной научно-практической конференции / под ред. В.Ю. Скибы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – С. 139-143.
3. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

INFLUENCE OF THERMAL STRAIN ON DEVIATION OF THE SHAPE HOUSING PARTS OF COMPLEX SHAPE.

V.M. Drobyshev, A.M. Firsov, V.A. Kalistru, I.V. Trapeev

In this paper we consider the problem of the influence of temperature on the dimensional accuracy of the deformation when processing thin-walled cylindrical holes non rigid parts with variable wall thickness for example, two-stroke engine cylinder body. Investigations were carried out by computer simulation of thermal deformation in the environment of the Ansys Workbench.

Keywords: thermal deformation, deviations form, basic hole, case details.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ РЕЗЬБЫ НА КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Ю.М. Зубарев, д.т.н., **С.В. Косаревский**, к.т.н.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
г. Санкт-Петербург

Промышленные измерения должны быть быстрыми, стабильными и автоматизированными. Автоматизация управления и контроля при измерении параметров резьбы деталей машиностроения и резьбовых калибров, позволяет повысить точность измерений и эффективность процессов измерения. В данной работе дан обзор методов координатного контроля геометрических параметров резьбы. Рассмотренные методы могут быть использованы для автоматизации большого числа операций при выполнении базирования резьбы и существенного уменьшения влияния оператора на процесс измерения, что позволяет уменьшить время и увеличить повторяемость измерений.

Введение

Существующие стандарты на геометрические параметры и допуски резьбовых деталей машиностроения требуют от методов контроля учёта всей поверхности контролируемых деталей. При контроле резьбы на координатно-измерительных машинах возникает проблема, связанная с тем, что КИМ измеряет только относительно небольшую часть контролируемой поверхности, даже с использованием режимов сканирования. Это не всегда позволяет сделать однозначные и надёжные выводы о собираемости деталей, подвергаемых такому методу контроля, а также об их параметрах, поэтому в машиностроении арбитражным методом контроля резьбы являются резьбовые и гладкие калибры.

Координатно-измерительные машины

Координатно-измерительные системы различного типа широко используются при измерении резьбы в последние несколько десятилетий. Измерение резьбы на координатно-измерительной машине является трудоёмкой операцией и требует значительных затрат. Кроме того, оператору требуется вручную показать расположение элементов резьбы (например, впадин), перед выполнением автоматизированной части измерений. Ему необходимо настроить программное обеспечение КИМ для различных типов резьбы. Это приводит к значительным временным затратам. Измерение резьбы на координатно-измерительной машине часто даёт ограниченный набор точек, пригодный для поэлементного контроля, но не достаточный для комплексного анализа резьбы и оценки возможности ее надежной сборки. Данное ограничение особенно существенно при контроле резьб, к которым предъявляются особые требования по надежности (нефтехимическая промышленность, тяжелое, атомное, энергетическое машиностроение и т.д.). В настоящее время, как результат прочно сложившейся долгосрочной международной практики, комплексный контроль таких резьб выполняется с помощью резьбовых калибров-колец и контрольных резьбовых и гладких калибров-пробок. Калибры подвержены механическому износу в процессе контроля, что приводит к необходимости постоянного обновления изношенных калибров и влечёт значительные расходы.

Стандарт ГОСТ Р 8.677-2009 «ГСИ. Калибры резьбовые цилиндрические. Методика поверки», заменивший методику контроля МИ 1904-88, предлагает использовать координатно-измерительные машины (КИМ) для определения среднего диаметра и шага резьбы в качестве средства поверки цилиндрических резьбовых калибров. В отличие от классических средств измерений резьбы, таких как инструментальные микроскопы и их модификации, двухкоординатные измерительные приборы серии ДИП, длинно-измерительные машины различной конструкции, широко использовавшихся ранее длительное время, новый стандарт не даёт рекомендаций о порядке выполнения измерений на КИМ, ссылаясь на руководства пользователя используемого оборудования. Измерение резьбы на КИМ является нетривиальной задачей, требующей от оператора, не снабжённого руководствами и методической литературой, специальных знаний. Найти описания современных практических методов в отечественной и зарубежной научно-технической литературе в настоящий момент затруднительно.

Методы распознавания резьбы

Для контроля резьбы широко применяются резьбовые и гладкие калибры, которые позволяют выполнить комплексный контроль резьбы. Калибры являются дорогостоящим средством, подвержены износу, а операция свинчивания выполняется вручную и может быть весьма длительной. В настоящее время развиваются различные методы поэлементного контроля резьбы, основанные на координатных измерениях и компьютерной обработке результатов.

Разработка новых способов контроля резьбы, используя оптические и контактные методы, стала популярной в последние годы. Карминьято и Шиффре [5] предложили метод контроля резьбы на координатно-измерительной машине с использованием специального игло-подобного щупа (рис. 1).

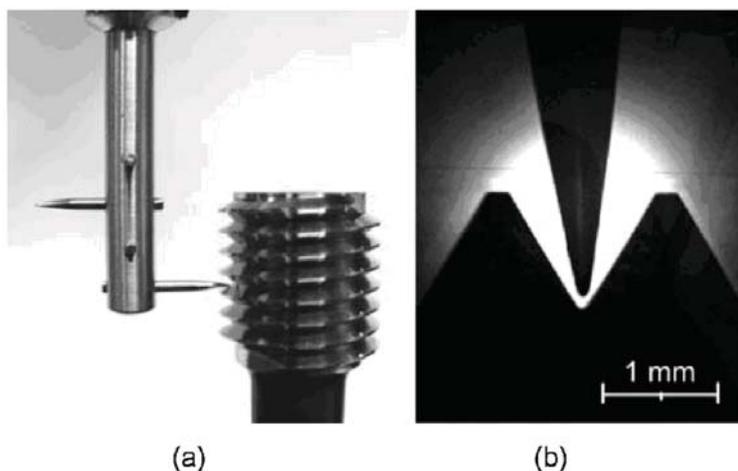


Рисунок 1 - Игло-подобный щуп [5]:

- (а) четыре иглы на стержне в контакте с резьбовым калибром М20;
- (б) увеличенный вид иглы и резьбы

Разные методы измерения обычно используют различные алгоритмы анализа формы из области компьютерного зрения и распознавания шаблонов. Робертсон и Фишер [9] проводили эксперименты с 3D-сканерами и их

применением к измерению крупногабаритных резьб (рис. 2). Они установили, что возможно распознавать параметры резьбы с отсканированных подобным образом 3D-данных, - но они работали только с наружным и внутренним радиусами резьбы. Также активно развиваются оптические бесконтактные методы координатных измерений включающие алгоритмы анализа изображений [3].

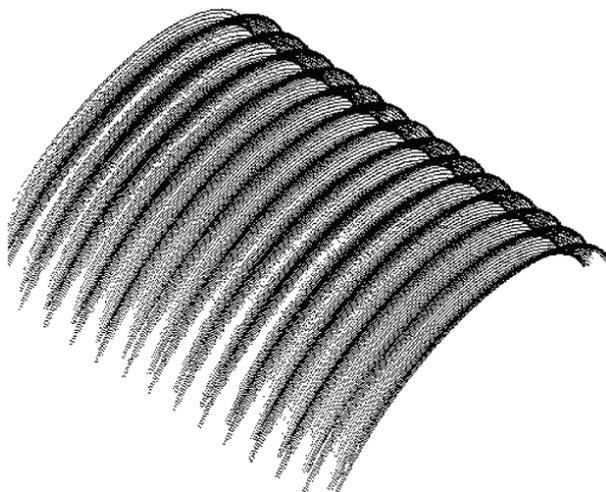


Рисунок 2 - Поверхность резьбы полученная с 3D-сканера [9]

Поэлементный контроль

Для контроля резьбы широко используются резьбовые и гладкие калибры, которые позволяют выполнить комплексный контроль резьбы. Калибры являются дорогостоящим средством контроля, подвержены износу, а операции свинчивания выполняются вручную и могут занимать значительное время. Резьбовые калибры, размеры которых выходят за величину допуска при прямых измерениях, могут быть свернуты с годными контрольными калибрами. Такая ситуация происходит достаточно часто, но калибры и прямое измерение параметров не являются взаимоисключающими методами контроля. Для измерения калибров применимы как контрольные калибры, так и поэлементный контроль. В настоящее время развиваются различные методы поэлементного контроля резьбы, основанные на координатных средствах измерения и компьютерной обработке результатов. Многие отечественные и зарубежные ученые работают над совершенствованием методов контроля резьбы. В работе [2] были рассмотрены многие новые координатные методы поэлементного контроля геометрических параметров резьбы, предложенные зарубежными учеными. В частности, дан обзор возможностям определения параметров повреждённых резьб на основе распознавания изображения с CCD-видеокамеры, рассмотрены методы поэлементного контроля внутренней резьбы основанные на лазерном сенсоре, цель которых - обеспечить оперативный контроль параметров резьбы в автомобильном производстве; представлена разработанная система для автоматического контроля внутренней резьбы основанная на промышленном эндоскопе и методах анализа изображений, но она предназначена для определения дефектов поверхности резьбы, а не её

геометрических параметров. Косаревский и Латыпов [3] предложили использовать преобразование Хафа для распознавания плоских сечений резьбы, полученных с приборов измерения профиля. Подробный обзор практических основ применения классических измерительных средств к измерению резьб можно найти в Записках Национальной Физической Лаборатории (NPL) о резьбовых калибрах [8]. Сначала должно выполняться измерение шага, среднего диаметра, наружного и внутреннего диаметров резьбы. Затем необходимо использовать калибры, чтобы убедиться в достоверности измерений. Поэлементный контроль более точен, но тот факт, что измерения выполняются не на всей поверхности калибра, может привести к не полному учёту отклонений формы. Калибры могут выявить такой вид ошибок, даже при успешном выполнении поэлементного контроля. Калибры сами по себе не могут выявить отдельно отклонения шага или диаметра. К тому же отклонения шага могут быть компенсированы увеличением среднего диаметра. Традиционно считается, что для очень маленьких резьб поэлементный контроль непрактичен и использование калибров является наилучшим вариантом контроля. По опыту NPL, основной причиной расхождения результатов поэлементного контроля и использования калибров являются отклонения формы поверхности резьбы. Величина среднего диаметра для наружной резьбы и внутренней резьбы с симметричным профилем при измерении сферическим наконечником может быть вычислена [6] по формуле

$$D = m \mp d_D \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \pm \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \mp A_1 \pm A_2,$$

где m - расстояние между центрами сферических наконечников, мм; d_D - диаметр сферических наконечников, мм; P - номинальный шаг резьбы, мм; α - угол профиля резьбы, градусы; A_1 - слагаемое компенсирующее перемещение измерительного наконечника, вызванное отклонением угла подъёма резьбы, мм; A_2 - слагаемое компенсирующее деформацию измерительного наконечника под воздействием измерительного усилия, мм. Верхние знаки используются при измерении наружных резьб, нижние - внутренних. Для вычисления слагаемого A_1 принята следующая аппроксимация:

$$A_1 = \frac{d_D}{2} \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \text{ где } \operatorname{tg} \varphi = \frac{P}{\pi D} - \text{тангенс угла подъёма резьбы.}$$

Поэлементный контроль резьбы подразумевает измерение, в том числе, и среднего диаметра, который для наружных резьб измеряют по контактными цилиндрам, расположенным по разные стороны резьбы. Такое измерение не позволяет напрямую получить средний диаметр.

Компьютерная томография

В последние несколько лет для решения измерительных задач стала применяться компьютерная томография высокого разрешения, которая активно развивается и превращается из повсеместно используемого средства качественной оценки и неразрушающего контроля в инструмент точной количественной оценки, который можно использовать для высокоточных

координатных измерений. В таких задачах измеряемый образец детали будет существенно влиять на точность выполнения пространственных измерений. Для достижения высокой точности результатов измерений в алгоритмах построения отсканированной модели необходимо проводить компенсацию различных физических эффектов, возникающих при сканировании. Обзор математического аппарата, лежащего в основе распознавания образов и компьютерной томографии, дан в [1]. Прослеживаемость результатов измерений, полученных на устройствах компьютерной томографии, обеспечивается путём применения специальных калибровочных приспособлений, которые в настоящее время получили сертификаты DIN/ISO. Программное обеспечение позволяет строить геометрические элементы по отсканированному полю плотностей и определять на них параметры формы и расположения в соответствии с DIN/ISO. Для оценки точности систем компьютерной томографии, помимо процедуры калибровки, применяются аттестованные детали. Алюминиевые детали измеряются на высокоточной координатно-измерительной машине, и результаты измерений сравниваются с данными, полученными по результатам томографии. Последние эксперименты на томографах GE Sensing & Inspection Technologies (Германия) показывают [7] хорошее соответствие результатов для расстояний и диаметров в пределах 6 мкм. Томографы Metrotom 800 фирмы Carl Zeiss при некоторых условиях [4] могут достигать точности $MPE_E = 4.5 + \frac{L}{100}$ мкм.

Выводы

Использование координатных измерительных систем и устройств метротомографии позволяет выполнять контроль резьб деталей в машиностроении, а также применяемых резьбовых и гладких калибров. Основное преимущество рассмотренных методов контроля резьбы в том, что результат представляет собой не просто бинарный ответ «годен/не годен», как происходит в случае применения предельных калибров, но и содержит дополнительную численную информацию о том, какие именно элементы резьбы были изготовлены неправильно. Это важно для принятия дальнейших технологических решений в процессе производства. К основным недостаткам представленных методов можно отнести высокую начальную стоимость необходимого измерительного оборудования, необходимость обучения инженерно-технического персонала и ограниченную возможность контроля в цеховых условиях, как это широко распространено с традиционными калибрами. Существенным ограничением является малая производительность некоторых существующих координатных измерительных систем, что может стать ограничивающим фактором, однако скорость работы многих других трёхмерных устройств сканирования поверхности (например, лазерное сканирование наружной резьбы) существенно выше и их использование в скором будущем может быть перспективно.

Библиографический список

1. Грузман, И. *Математические задачи компьютерной томографии* / И. Грузман // Соросовский образовательный журнал. - 2001. - Т. 7, № 5. - С. 117–121.
2. Зубарев, Ю. *Практический подход к измерению резьбы на координатно-измерительных машинах* / Ю. Зубарев, С. Косаревский, В. Тырс // Технология машиностроения. - 2011. - Т. 3. - С. 41–44.
3. Косаревский, С. *Распознавание резьбы с помощью преобразования Хафа по плоским образам, полученным с двухкоординатных измерительных приборов* / С. Косаревский, В. Латыпов // Технология машиностроения. - 2010. - Т. 7. - С. 39–42.
4. Benninger, R. *METROTOM 800 Computer Tomograph* / R. Benninger // Innovation SPECIAL Metrology. - 2009. - no. 11. - Pp. 6–7.
5. Carmignato, S. *A new method for thread calibration on coordinate measuring machines* / S. Carmignato, L. De Chiffre // CIRP Annals - Manufacturing Technology. - 2003. - Vol. 52. - Pp. 447–450.
6. Guide, E. C. *Determination of pitch diameter of parallel thread gauges by mechanical probing* / E. C. Guide // EURAMET/cg-10/v/01. - 2007. - November.
7. Luebbehuesen, J. *Comparison between 3D Metrology Results gained with conventional CMM and High Resolution X-ray Tomography* / J. Luebbehuesen // METROMEET. -2009. - March 27th.
8. *NPL Notes on Screw Gauges*. - National Physical Laboratory, 2010. <http://www.npl.co.uk/science-+-technology/dimensional/dimensional-measurements/npl-notes-on-screw-gauges>.
9. Robertson, C. *Shape recovery and analysis on large screw threads* / C. Robertson, R. Fisher // 3-D Digital Imaging and Modelling. Proceedings. Third International Conference on Volume. -2001. - Pp. 300–305.

OVERVIEW OF MODERN SCREW THREAD INSPECTION METHODS IN DIMENSIONAL MEASUREMENTS

Iu. M. Zubarev, S. V. Kosarevsky

Screw thread measurements must be rapid, robust and automated. Automation of screw thread measurements allows significant performance improvements in industrial measurements. In this paper, an overview of the modern dimensional measurement methods is given, which allow rapid and robust measurement of metric screw thread parameters. The presented methods improve repeatability of the measurements and reduce time required to perform many routine operations.

Keywords: screw thread, CMM, dimensional measurements, inspection, computed tomography

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ МЕТАЛЛА ПРИ ИОННО-ВАКУУМНОЙ МОДИФИКАЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.

Ю.М. Зубарев, д.т.н., **А.И. Круглов**, к.т.н., **М.А. Афанасенков**, аспирант
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
г. Санкт-Петербург

Рассмотрен синергетический подход к методологии управления свойствами поверхностных слоев посредством ионно-вакуумной модификации в системе «материал основы – модифицирующий элемент».

Ключевые слова: синергетический подход, ионно-вакуумная модификация, линейные уравнения, хаотичные динамические системы, метастабильные состояния.

Синергетика (от греч. «сии» - совместное, «эргос» - действие) считается междисциплинарным направлением научных исследований, задачей которого является познание природных явлений и процессов на основе принципов самоорганизации систем (состоящих из подсистем). Междисциплинарным – так как принципы управления процессами самоорганизации одни и те же безотносительно природы системы.

Учитывая чрезвычайно узкую специализацию многих наук, в первую очередь физических и технических, необходимо решить непростой вопрос о единой научной основе для формирования целостного взгляда на мир как единый эволюционный процесс. Между синергетикой и другими физическими, техническими, биологическими, экономическими науками имеется внутренняя взаимосвязь. В то же время синергетика в каждую из наук вносит свои особенности и подходы, которые были не присущи или даже чужды традиционным направлениям этих наук.

Современная наука, в отличие от классической, все в большей мере становится концептуальной. В этом отношении синергетика – это не новая наука, а по существу новая концепция, базирующаяся на свойстве самоорганизации систем различной природы. Она стала претендовать на роль базовой и целостной парадигмы современного естествознания.

Область исследований синергетики до сих пор до конца не определена, так как предмет исследований находится среди различных дисциплин, а основные методы синергетики взяты из нелинейной неравновесной термодинамики.

Классическая математическая физика (т.е. наука об исследовании математических моделей физики) имела дело с линейными уравнениями. Формально это уравнения, в которые неизвестные входят только в первой степени. Реально они описывают процессы, идущие одинаково при разных внешних воздействиях. С увеличением интенсивности воздействий изменения остаются количественными, новых качеств не возникает. Область применения линейных уравнений необычайно широка. Она охватывает классическую и

квантовую механику, электродинамику и теорию волн. Методы их решения, разрабатываемые в течение столетий, обладают большой общностью и эффективностью.

Однако ученым все чаще приходится иметь дело с явлениями, где более интенсивные внешние воздействия приводят к качественно новому поведению системы. Здесь нужны нелинейные математические модели. Их анализ – дело гораздо более сложное, но при решении многих задач он необходим. Это приводит к формированию широкого фронта исследований нелинейных явлений, к попыткам создать общие подходы, применимые ко многим системам (к таким подходам относится и синергетика).

Большинство реальных систем описываются нелинейными уравнениями. Если линеаризовать уравнения в их окрестности, получаются линейные соотношения.

Но этот прием не годится в том случае, когда воздействия на систему очень интенсивны, а также если система открыта и далека от равновесия.

Под условиями, при которых возможен синергетический подход можно принять технологию обработки поверхности с использованием потоков высокоэнергетических частиц в частности ионно-вакуумную модификацию. Так как при ИВМ процессы рассматриваются в диапазоне параметров, когда для их описания необходимы нелинейные математические модели, а также система является термодинамической открытой, возможен обмен энергией, веществом с окружающей средой (происходят диффузионные процессы) и отклонение от равновесия превышает критические значения, то есть рассматриваются состояния лежащие вне термодинамической ветви.

В рассмотрении технологии ИВМ, безусловно, применен синергетический подход.

Хаотичные динамические системы имеют замечательное свойство: они весьма податливы и чрезвычайно чувствительные к внешним воздействиям, таким как ИВМ.

Вероятно динамической хаотичной системой можно управлять, то есть посредством слабых воздействий переводить такие системы из режима хаотических колебаний на требуемый динамический режим. В поверхностных слоях металла при обработке ИВМ питаются процессы самоорганизации.

Ионные воздействия на поверхностные слои материалов, в частности, ионная имплантация, создают в этих слоях неравновесные, в некоторых случаях метастабильные состояния. Со временем, особенно при воздействии высоких температур и давлений, характерных для эксплуатации ряда ответственных изделий, происходит распад неравновесных фаз, сопровождающийся снижением энергии Гиббса, и система переходит в термодинамически устойчивое состояние, характеризующееся минимумом свободной энергии. Описание таких процессов с использованием неравновесной термодинамики и предсказание свойств модифицированных слоев материалов достаточно трудоемко и в некоторых случаях практически невозможно из-за сложности анализа указанных многокомпонентных систем.

Методология управления свойствами поверхностных слоев посредством ИВМ основана на допущении о том, что система «материал основы – модифицирующие элементы» обладает способностью к самоорганизации (организации) в твердом состоянии как непосредственно во время ионно-вакуумной модификации, так и после нее – при эксплуатации изделий. Причем при модификации для процессов самоорганизации системы используется энергия ионов, атомов и их образований – кластеров, молекул и капель, являющихся инструментами ионно-вакуумных способов обработки. При эксплуатации изделий с модифицированной поверхностью в последнюю будет поступать энергия, выделяемая при прохождении процессов, сопутствующих работе изделий; трение, упругие и пластические деформации, удары и др. Все перечисленное может быть, как толчком к самоорганизации, так и постоянно действующим энергетическим фактором для организации системы «материал основы – модифицирующие элементы».

Для многих хаотичных систем можно разработать эффективный сценарий поиска возмущений, приводящий к стабилизации цикла, проходящий через заданные точки. Эти точки можно выбрать случайным образом – тогда и стабильное небольшое возмущение будет выглядеть как случайная последовательность.

Синергетика, однако, ещё не построила всеобщую и единую теорию самоорганизации, справедливую для всех видов природных и технических систем. Поэтому в зависимости от конкретных свойств предметной области той или иной науки синергетический подход приобретает свои отличительные особенности и содержание. В настоящее время мы можем рассматривать его как некоторую направляющую концепцию в соответствующей науке.

Выбор оптимальной концентрации вещества в поверхностном слое и силы воздействия при ИВМ и изучение проходящих при этом синергетических процессов представляется актуальной научной задачей.

Библиографический список

1. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы. - С-Пб.:Изд-во Лань, 2008. – 224 с.
2. Зубарев Ю.М., Ревин Н.Н. Повышение работоспособности деталей машин и инструментов. – С-Пб.: Изд-во С-Пб ГПУ, 2013. – 125 с.
3. Сенчило И.А., Зубарев Ю.М., Бабошкин А.Ф. и др. Технология обработки с использованием потоков высокоэнергетических частиц. - СПб., Изд-во ПИМаш, 2004. – 116 с.
4. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента. – М.: Изд-во Машиностроение, 2011. – 368 с.
5. Зубарев Ю.М., Круглов А.И., Семейкин Д.В. Системный подход к подбору имплантирующих элементов при ИВМ путем создания алгоритма. Сб. «Известия Волгоградского государственного технического университета». Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении», вып. 9, №7 (110), 2013, с. 22-25.

SYNERGETIC PROCESSES OCCURRING IN THE SURFACE LAYERS OF METAL AT ION-VACUUM MODIFICATIONS CUTTING TOOL

Yu.M. Zubarev, A.I. Kruglov, M.A. Afanasenkov

Considered synergetic approach to the management methodology properties of the surface layers by ion-vacuum modifications in the "base material - modifying element."

Key words: a synergistic approach, vacuum ion modification, linear equations, chaotic dynamical systems, metastable states.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ УПРУГОЙ ПОДВЕСКЕ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

А.С. Ильиных, д.т.н., доцент

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Работа посвящена экспериментально-теоретическому анализу процесса плоского шлифования торцом круга с учетом специфики упругой подвески шлифовальной головки. Представлена обобщенная математическая модель определения глубины резания при силовом замыкании кинематической цепи технологической системы и её экспериментальное подтверждение.

Ключевые слова: абразивная обработка, шлифование торцом круга, глубина резания.

Введение

В настоящее время в различных отраслях производства широко применяются операции плоского шлифования торцом круга. Реализация этих операций осуществляется на плоскошлифовальных станках. На машиностроительных предприятиях, как правило, используются шлифовальные станки с геометрическим замыканием кинематической цепи «абразивный круг – обрабатываемая поверхность» (рис. 1, б). В этом случае глубина резания t шлифовальным кругом определяется настроечным размером h между базовой поверхностью станка и абразивным инструментом. Жесткость и виброустойчивость такой схемы позволяет обеспечить высокую геометрическую и размерную точность, а также высокое качество обработанной поверхности. При этом глубина резания t является параметром известным и при формировании технологического процесса учитывается при назначении режимов резания.

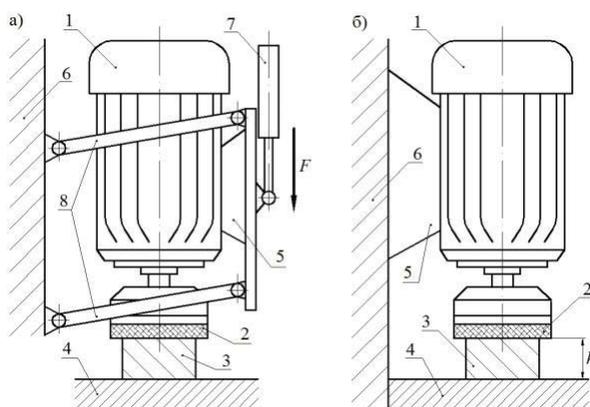


Рисунок 1 – Принципиальные схемы шлифования торцом круга
1 - шлифовальный электродвигатель; 2 - шлифовальный круг; 3 - обрабатываемая деталь; 4 - базовая поверхность; 5 - подмоторная плита; 6 - станина; 7 - пневмоцилиндр; 8 - параллелограммный механизм

Кроме классических плоскошлифовальных станков существует и специализированное оборудование, также работающее по принципу плоского

шлифования торцом круга, но имеющее принципиальное отличие, заключающееся в силовом замыкании кинематической цепи «абразивный круг – обрабатываемая поверхность» (рис. 1, а). При такой схеме шлифовальный круг 2 прижимается к обрабатываемой поверхности пневмоцилиндром 7 через приводной электродвигатель 1, закреплённый на подmotorной плите 5 параллелограммной подвески 8. Такая конструкция обеспечивает строго вертикальное опускание и поднятие шлифовальной головки. Усилие прижатия шлифовального круга к обрабатываемой поверхности определяется давлением в пневмоцилиндре, которое автоматически регулируется в зависимости от токовой нагрузки на обмотках электродвигателя.

На высокую точность обработки данная схема не претендует, а эффективность её применения определяется, прежде всего, повышенной производительностью. Недостатком силового замыкания является невозможность назначения глубины резания t в качестве исходных данных. Глубина резания самопроизвольно формируется в процессе обработки в зависимости от ряда факторов: усилия прижатия, геометрии и физико-механических свойств обрабатываемой поверхности, режимов обработки и др. Все это приводит к снижению эффективности шлифования с применением данной схемы, по причине нерациональной работы абразивного инструмента.

Для устранения указанного недостатка при формировании технологического процесса с применением упругой подвески шлифовальной головки, необходимо создать теоретическую основу позволяющую использовать глубину резания в качестве назначаемого и управляемого параметра, позволяющего назначать максимально эффективные режимы работы абразивного инструмента.

Теория

Основным параметром, определяющим эффективность процесса шлифования, является глубина среза единичным абразивным зерном. Для её нахождения воспользуемся известной формулой определяющей объем металла, удаляемого за проход шлифовальным кругом: $V = B \cdot L \cdot t$, где B – ширина дорожки шлифования, мм; L – длина обрабатываемого участка пути, мм; t – глубина резания шлифовальным кругом, мм.

Этот же объем удаленного металла представим выражением

$$V = 2a_{cp}^2 \cdot tg\gamma \cdot \mu \cdot L \cdot B, \quad (1)$$

где a_{cp} – средняя глубина единичных срезов абразивными зернами, мм; γ – передний угол режущей части абразивного зерна, град; μ – концентрация единичных срезов по длине обработанной поверхности, шт./мм.

Приравняв эти два объема, определили среднюю глубину среза единичными зернами по формуле

$$a_{cp} = \sqrt{\frac{t}{2 \cdot \mu \cdot tg\gamma}}, \quad (2)$$

в которой определяющим параметром является концентрация единичных рисок по длине обработанной поверхности μ , которое можно определить по формуле

$\mu = \tau \cdot v_{cp} \cdot Z$, где Z – концентрация зерен на рабочей поверхности шлифовального круга, шт./мм². Проведенный кинематический анализ [1] позволил определить время, за которое шлифовальный круг проходит расстояние для полной обработки поверхности: $\tau = [120 \cdot (R_{кр} - r_{кр})] / S_n$, где $R_{кр}$ – наружный радиус шлифовального круга, мм; $r_{кр}$ – внутренний радиус шлифовального круга, мм; S_n – продольная минутная подача, м/мин. С учетом полученных выражений среднюю глубину среза единичными зернами определили по формуле

$$a_{cp} = \sqrt{\frac{t \cdot S_n}{80 \cdot \text{tg} \gamma \cdot v_{cp} \cdot (R_{кр} - r_{кр}) \cdot Z}} \quad (3)$$

где v_{cp} – средняя скорость движения зерен, расположенных на разном расстоянии от оси вращения круга, м/с.

Анализ полученной зависимости показал, что влияние режимных факторов на глубину срезов абразивными зернами в равной степени одинаково на всем диапазоне их изменения. Увеличение одного из параметров в два раза при постоянных других приводит к изменению a_{cp} в среднем в 1,4 раза.

С точки зрения обеспечения максимальной производительности задача, решаемая силовой моделью, сводится к определению максимально возможной глубины единичного среза $a_{кр}$, превышение которой приводит к вырыванию абразивного зерна из связки шлифовального круга.

Как отмечено в исследованиях А.В. Королева [2], наиболее опасными являются растягивающие напряжения в связке, которые в большей степени определяются тангенциальной составляющей силы резания, значение которой можно определить, воспользовавшись моделью, разработанной С.Н. Корчаком [3]. Согласно этой модели сила, действующая на единичное абразивное зерно F'_z , является суммой тангенциальных сил от напряжения пластического сдвига и трения о заднюю поверхность зерна. С учетом принятых моделей формула для определения тангенциальной составляющей силы резания будет иметь следующий вид:

$$F'_z = 2K_1 \cdot \tau_c \cdot a_{cp}^2 \cdot \text{tg} \gamma, \quad (4)$$

где τ_c – касательные напряжения, при которых происходит сдвиг в зоне деформации, МПа; $K_1 = \sqrt{3.25} \cos \beta_1 / \sin \beta$, где β – угол между плоскостью сдвига и линией среза; β_1 – угол между линией среза и направлением равнодействующей от сил пластического деформирования срезаемого слоя.

Критическую нагрузку, вырывающую зерно из связки шлифовального круга, с достаточной степенью точности определили по формуле

$$F'_{cv} = \frac{\pi \cdot d_3^2 \cdot \sigma_{cv} \cdot K_{стр}}{8}, \quad (5)$$

где d_3 – диаметр абразивного зерна шлифовального круга, мм; σ_{cv} – предельная величина напряжений материала связки на растяжение, МПа; $K_{стр}$ – коэффициент структуры шлифовального круга, учитывающий наличие пор в зоне контакта абразивного зерна со связкой.

Если считать соотношение (4) справедливым для критических значений параметров среза $a_{кр}$ произведем замену в этом соотношении a_{cp} на $a_{кр}$. С учетом

принятого допущения приравняли правые части формул (4) и (5), а полученное уравнение решили относительно $a_{кр}$:

$$a_{кр} = \sqrt{\frac{\pi \cdot d_3^2 \cdot \sigma_{св} \cdot K_{сmp}}{16 \cdot K_1 \cdot \tau_c \cdot tg\gamma}}. \quad (6)$$

Таким образом, получена зависимость, определяющая максимально возможное значение глубины единичного среза, при котором происходит вырывание острого абразивного зерна из связки шлифовального круга.

Максимально возможная глубина резания шлифовальным кругом определена из расчета критической нагрузки на единичное зерно. Для этого приравняли величину $a_{кр}$, рассчитанную из условия прочности закрепления зерна в связке (6) к величине a_{max} , определенное по кинематическим параметрам (3), а полученное уравнение решили относительно t :

$$t = \frac{1,25 \cdot \pi \cdot d_3^2 \cdot \sigma_{св} \cdot K_{сmp} \cdot v_{ср} \cdot (R_{кр} - r_{кр}) \cdot Z}{K_1 \cdot \tau_c \cdot S_n}. \quad (7)$$

Полученная формула устанавливает взаимосвязь глубины резания шлифовальным кругом с кинематическими и силовыми параметрами процесса шлифования, характеристикой шлифовального круга и обрабатываемого материала и позволяет рассчитывать глубину резания шлифовальным кругом при работе инструмента в режиме самозатачивания. Величина глубины резания, полученная по данной формуле, позволяет обеспечить максимальную производительность шлифования. При этом полученное значение t является предельно допустимым, а его превышение приведет к катастрофическому износу абразивного инструмента.

Методика экспериментального исследования

Для оценки справедливости полученной зависимости проведен эксперимент, целью которого ставилось сравнение расчетных значений максимально возможной глубины резания $t_{расчет}$ с фактически полученными значениями t при шлифовании. Исследования проводились на шлифовальных кругах, изготовленных с использованием циркониевого электрокорунда на бакелитовой связке пяти различных рецептур производства компании «Абразивные заводы Урала».

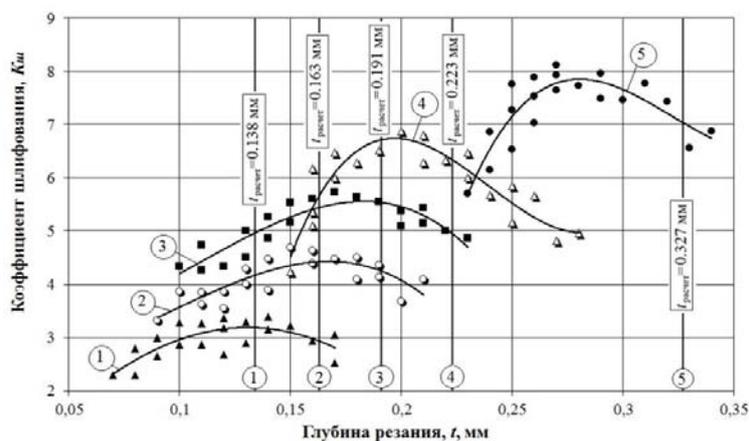
Методика проведения эксперимента заключалась в изменении усилия прижатия шлифовального круга к обрабатываемой поверхности при постоянной скорости резания и продольной подачи в соответствии со значениями, принятыми в расчете. Усилие прижатия позволяло изменять глубину резания, фактическое значение которой определялось измерением обрабатываемой поверхности до и после шлифования [1].

В качестве критерия, определяющего оптимальность глубины резания, был принят коэффициент шлифования $K_{ш}$, характеризующий отношение объема удаленного металла к объемному износу инструмента. В соответствии с этим для каждого шлифовального круга было рассчитано значение $K_{ш}$. Значение

глубины резания соответствующее максимальному коэффициенту шлифования являлось наиболее эффективным и это значение сравнивалось с расчетным.

Результаты и обсуждения

Проведенный эксперимент показал, что для максимального коэффициента шлифования $K_{ш}$ (рис. 2) расхождение фактически полученных значений глубины резания t с расчетными значениями $t_{расчет}$ в среднем составляет 12 %. В значительной степени на величину указанных расхождений влияет погрешность измерений глубины резания после шлифования.



Выводы

Разработанная модель процесса шлифования торцом круга, учитывающая особенность нестационарной обработки, заключающейся в упругой подвеске шлифовальной головки, позволила выявить взаимосвязи параметров технологического процесса и использовать глубину резания t в качестве управляемого параметра механической обработки.

Полученные результаты позволили внести в технологию шлифования торцом круга с применением упругой подвески шлифовальной головки элемент управления, реализуемого в части оптимизации работы абразивного инструмента.

Библиографический список

1. Ильиных, А.С. Научно-методические основы высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути / А.С. Ильиных // Вестник СГТУ. – 2013. – № 1. – С. 82-88.
2. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Саратов, 1987. – 156 с.
3. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.

SPECIFICATIONS OF FORMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS AT THE FLEXIBLE SUSPENSION OF A POLISHING HEAD

AS Il'inykh

Working deals with the experimental-theoretical analysis of the flat polishing process by the end of a circle considering the specification of the flexible suspension of a polishing head. Here is given a generalized mathematical model determining the depth of cutting in case of force closure of a kinematic chain of the technological system and its experimental confirmation.

Key words: abrasive manufacturing, polishing of the end of circle, depth of cutting.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СБОРКИ И ОБЩЕГО УРОВНЯ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С ПОЗИЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ

А.Р. Кадочникова

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
филиал в г. Прокопьевске

Представлены результаты экспериментальных исследований геометрических параметров, микроструктуры и микротвердости колец подшипников качения, а также параметров сборки и общего уровня вибрации подшипников, полученные с учетом технологического наследования.

Подшипники являются неотъемлемой частью большинства механизмов и машин. В связи с повышением требований к надежности, долговечности и конкурентоспособности подшипников, требований экологии по защите от вредного воздействия вибрации и шума, и в связи с тем, что последние являются основными показателями качества подшипников, целью исследования является обеспечение требуемого уровня этих параметров.

Управление уровнем вибрации представляется за счет учета технологического наследования и своевременной корректировке режимов обработки на стадии изготовления подшипников.

Установлено, что основными источниками вибрации являются погрешности микрогеометрии колец и шариков.

В данной работе объектом исследования стали наружные и внутренние кольца подшипника качения 310А, изготавливаемые из стали ШХ15.

Так как на свойства готового изделия наиболее существенное влияние оказывают финишные операции, для уточнения их роли на формирование общего уровня вибрации и свойств поверхностного слоя, были сформированы две группы колец, отличающиеся режимами резания на желобошлифовальной операции. Общая схема экспериментальных исследований представлена на рисунке 1.

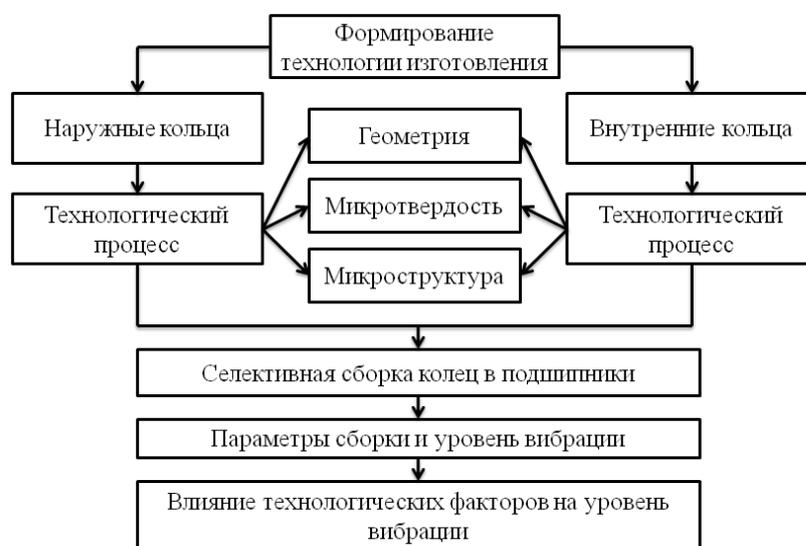


Рисунок 1 – Общая схема экспериментальных исследований

Кольца изымались по ходу технологического процесса и подвергались исследованиям.

Установлено, что значения шероховатости дорожек качения всех колец соответствуют методам обработки и ГОСТу [1]. Анализ профилограмм желоба колец после желобополировальной операции показал, что все действительные отклонения от круглости не превысили предельные и составили 5,2 – 8 мкм, $\Delta_{пред} = 8$ мкм [2]. Все профилограммы характеризуются наличием малого числа волн (в большинстве случаев трех), что является неустранимой (трудноустранимой) погрешностью формы.

Для исследования микроструктуры и микротвердости стали были изготовлены образцы соответствующие ГОСТ 2999-75 [3].

Микрошлифы исследовались поперек волокон при увеличениях: $\times 25$, $\times 50$, $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$, $\times 1000$, $\times 1600$.

Анализ полученных результатов показал следующее [4, 5]:

1. Сталь в состоянии поставки имеет структуру мелкозернистого перлита со средним диаметром зерна карбида (вторичного) 1 мкм, форма включений зерна или глобулы. Структура перлита в основном металле у большинства образцов оценена на 1-2 балла выше, чем в поверхностном слое. При этом 7 из 8 образцов наружных и все образцы внутренних колец превысили допустимый 4 балл.

2. Сталь после термообработки имеет структуру отпускаемого мелко- и среднеигльчатого мартенсита (средняя длина иглы 6-8 мкм) с равномерно распределенными мелкими избыточными карбидами. Более половины образцов наружных и внутренних колец превысили допустимый 4 балл.

3. В стали присутствуют такие дефекты как карбидная неоднородность, микропористость, карбидная сетка. Все они имеют допустимые баллы по ГОСТ 800-78 [62]. На одном образце было зафиксировано превышение балла по структурной полосчатости. Все образцы характеризуются наличием большого числа пор, объемная доля которых составляет 1,5 – 7 %. Средний диаметр пор 50-100 мкм. Также в стали присутствует незначительное количество флокенов.

4. Средняя глубина поверхностного слоя составила 37 мкм для образцов до термообработки и 67 мкм для образцов после термообработки. Структура поверхностного слоя оценена на 1-2 балла ниже структуры основного металла и в половине случаев для всех образцов соответствует требованиям.

Для анализа однородности структуры и определения соответствия стали требуемой твердости, были проведены исследования микротвердости по методу Виккерса.

Анализ результатов показал, что средняя величина микротвердости по образцу входит в регламентируемый интервал (HV 179-207 для образцов до ТО; HV 710-845 для образцов после ТО) у 93 % образцов. Однако колебания величины микротвердости по образцу в 54 % случаев превышает допустимые, что указывает на неоднородность структуры металла.

Данная неоднородность может быть унаследована последующими операциями и повлиять на качество готового подшипника.

Сборка подшипников осуществлялась компоновкой колец как из разных, так и из одинаковых групп, отличающихся режимами желобошлифовальной операции. Таким образом, было получено четыре группы подшипников:

- группа 1-1 - наружное кольцо из первой группы, внутреннее кольцо из первой группы;
- группа 1-2 - наружное кольцо из первой группы, внутреннее кольцо из второй группы;
- группа 2-1- наружное кольцо из второй группы, внутреннее кольцо из первой группы;
- группа 2-2 - наружное кольцо из второй группы, внутреннее кольцо из второй группы.

На всех подшипниках были замерены: величина зазора, торцевое биение колец, радиальное биение, общий уровень вибрации, согласно методикам.

Затем было найдено среднее значение измеренных параметров по группам.

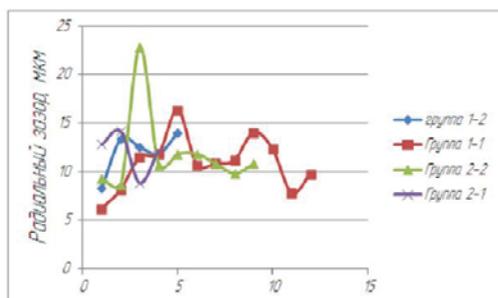
Группа подшипников	Gr, мкм	ΔC_s , мкм	ΔB_s , мкм	K, мкм	W, дБ
1-1	10,81	26,36	8,62	7,55	56,55
1-2	12	41,2	8,4	9	56,71
2-1	10,93	34,6	12	6,2	57,26
2-2	11,63	51,9	9,7	10,8	56,86

где Gr – радиальный зазор, ΔC_s – отклонение единичной ширины наружного кольца (торцевое биение), ΔB_s – отклонение единичной ширины внутреннего кольца (торцевое биение), K – радиальное биение внутреннего кольца, W – общий уровень вибрации.

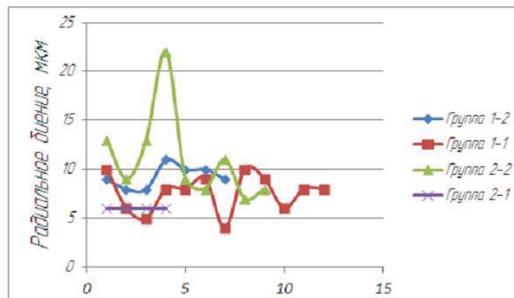
Анализ полученных результатов показал, что наибольшее влияние на общий уровень вибрации оказывает величина отклонения единичной ширины внутреннего кольца (чем больше данная величина, тем больше уровень вибрации подшипника).

Для детального представления о влиянии режимов обработки на выходные параметры подшипников были получены графики распределения параметров сборки по группам подшипников.

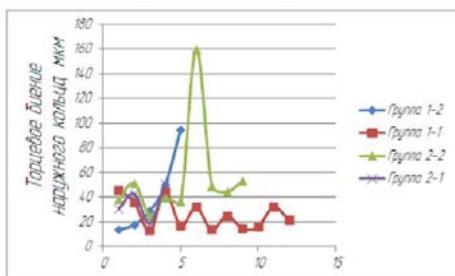
Распределение величины радиального зазора по группам подшипников



Распределение радиального биения по группам подшипников



Распределение торцевого биения наружного кольца по группам подшипников



Распределение торцевого биения внутреннего кольца по группам подшипников

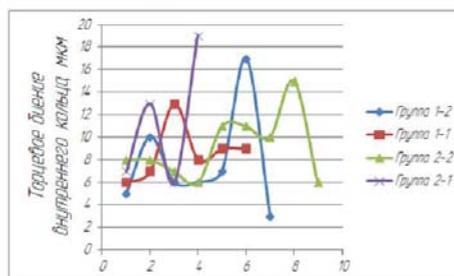


Рисунок 2 – Распределение параметров сборки по группам подшипников

На графиках наблюдаются скачки величин полученных параметров, наибольшие из которых приходятся на группу 2-2. Наименьший разброс параметров показывает группа 1-1, в том числе она имеет наименьшие значения величины торцевого биения внутреннего кольца, что наиболее благоприятно отражается на уровне вибрации.

Анализ зависимости общего уровня вибрации от частоты показывает, что наибольшая величина общего уровня вибрации приходится на рабочую частоту вращения подшипника. Для выявления закономерностей влияния режимов обработки на общий уровень вибрации были получены графики зависимости общего уровня вибрации от частоты по группам подшипников.

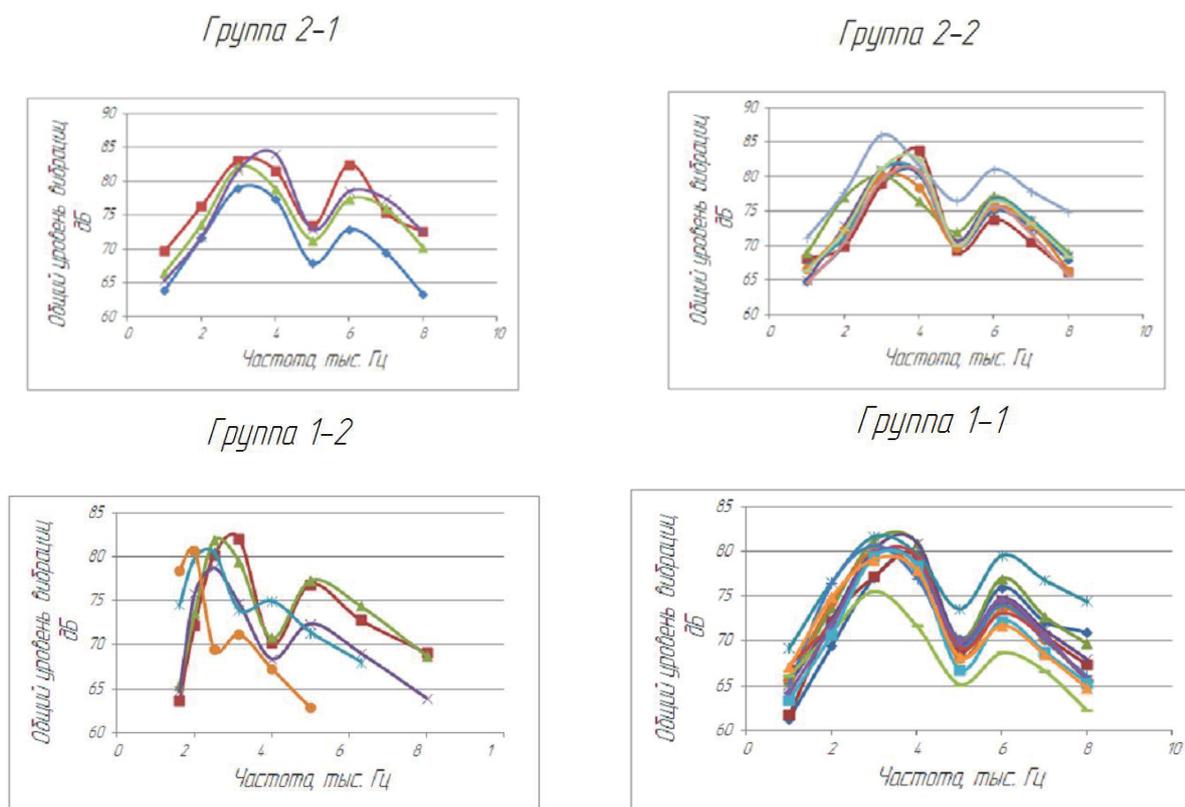


Рисунок 3 – Зависимость уровня вибрации от частоты по группам подшипников

Анализ полученных результатов показал следующее:

1. Наибольший уровень вибрации наблюдается в группах 2-1 и 2-2 и достигает 86 дБ, что почти на 4 дБ больше, чем в группе 1-1 и 1-2.

2. Наименьший уровень вибрации показывает группа 1-1. (Следует отметить, что микроструктура стали колец из первой группы в среднем на один балл ниже по структуре мартенсита, чем из второй).

3. Наиболее неравномерное распределение уровня вибрации по частотам в группе 1-2.

Для уменьшения общего уровня вибрации необходимо сместить пики, приходящиеся на рабочую частоту подшипника в область высоких частот или снизить величину пиков управлением геометрическими параметрами подшипников, в том числе волнистостью, и структурой металла на стадии технологического процесса с учетом технологического наследования.

Библиографический список

1. ГОСТ 520-2002. «Подшипники качения. Общие технические условия». – Взамен ГОСТ 520-89; введ. 2003-07-01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 2004. – 72с.

2. ГОСТ 24643-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения».

3. . ГОСТ 2999-75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу».

4. ГОСТ 801-78 «Сталь подшипниковая. Технические условия».

5. ГОСТ 8233-56 «Сталь. Эталоны микроструктуры».

THE ANALYZE OF PARAMETERS THE ASSEMBLY AND THE GENERAL LEVEL OF VIBRATION BEARINGS WITH A POSITION OF TECHNOLOGICAL INHERITANCE

A.R. Kadochnikova

Results of experimental studies of geometric parameters of microstructure and microhardness of rolling bearings rings, as well as the build settings and the overall level of vibration of bearings, taking account of technological inheritance.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В.А. Калистру, аспирант, **А.А. Антонова**, техник
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ, г. Бийск

Данная статья посвящена интеграции учебного процесса с современными VR-инструментами, использованию устройств виртуальной реальности, поддерживающих высокую степень визуализации для повышения качества данного процесса в области машиностроения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR-инструменты, САД система, программирование.

В современном образовательном процессе, особенно в области машиностроения, большое значение имеет материально-техническая база обучения. Одной из главных проблем образования в сфере машиностроения является слабая оснащённость необходимыми материальными ресурсами. В качестве примера можно привести Бийский технологический институт, в котором действующее оборудование устарело как морально, так и физически: средний возраст оборудования варьируется от 15 до 45 лет, вследствие этого из года в год происходит снижение качества образования молодых специалистов.

Таким образом первоочередной задачей в улучшении образовательного процесса в области машиностроения является применение современных информационных технологий, что обеспечит снижение затрат на усовершенствование материально-технической базы и придаст данному процессу современную форму.

Одним из перспективных направлений развития информационных технологий является внедрение средств виртуальной реальности во все сферы жизнедеятельности, в том числе в сферу образования. Системами «виртуальной реальности» называются устройства (VR-инструменты), которые более полно по сравнению с обычными компьютерными системами имитируют взаимодействие с виртуальной средой, путём воздействия на все пять имеющихся у человека органов чувств [1]. Одним из таких устройств является шлем виртуальной реальности Oculus Rift (рисунок 1), который при объединении с Leap Motion устройствами и при взаимодействии с такими программами, как Power Mill, Autodesk Inventor и Unity 3D обеспечивает наибольшую визуализацию окружающей среды.

Наша цель заключается в создании решения для визуализации моделирования оборудования и разработки понятного пользовательского интерфейса. Инструменты, используемые для достижения этой цели, детально проанализированы ниже.



Рисунок 1 – Очки виртуальной реальности Oculus Rift

Разработка основного приложения будет производиться при помощи мультиплатформенного инструмента Unity 3D версии 5 (рисунок 2). Данное приложение позволит моделировать с использованием C++ и JavaScript с интеграцией OpenGL. Такой подход расширит возможности при проектировании станка с тысячами компонентов, которые созданы из групп NURBS поверхностей.

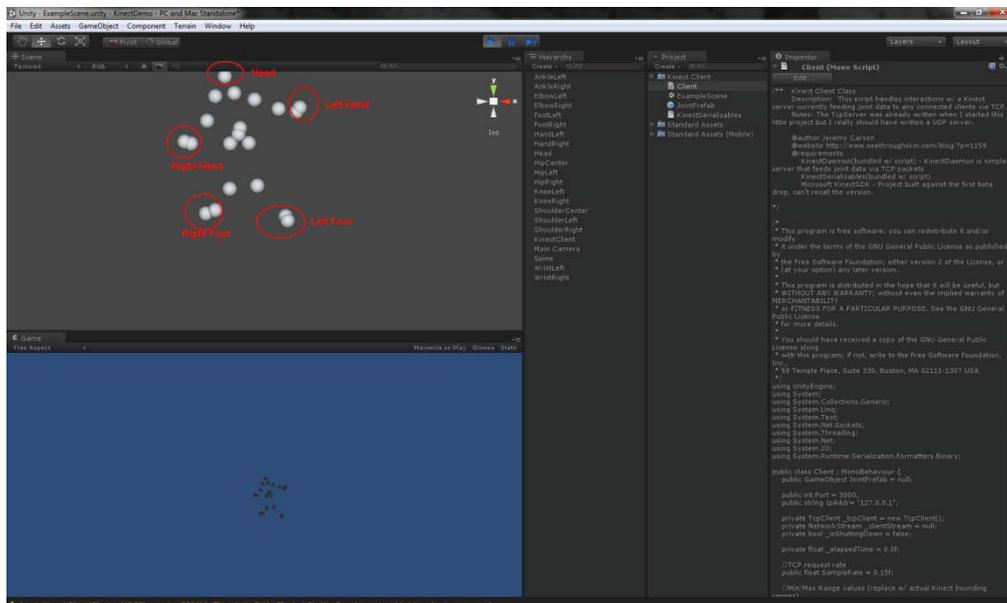


Рисунок 2 – Интерфейс мультиплатформенного инструмента Unity 3D

Исходными данными является 3D модель станка, в нашем случае вертикально-фрезерный станок с числовым программным управлением 6M13CH2 (рисунок 3), экспортируемая из CAD системы Autodesk Inventor в

формате DXF, а также математическая модель данного оборудования, разработанная на C++.

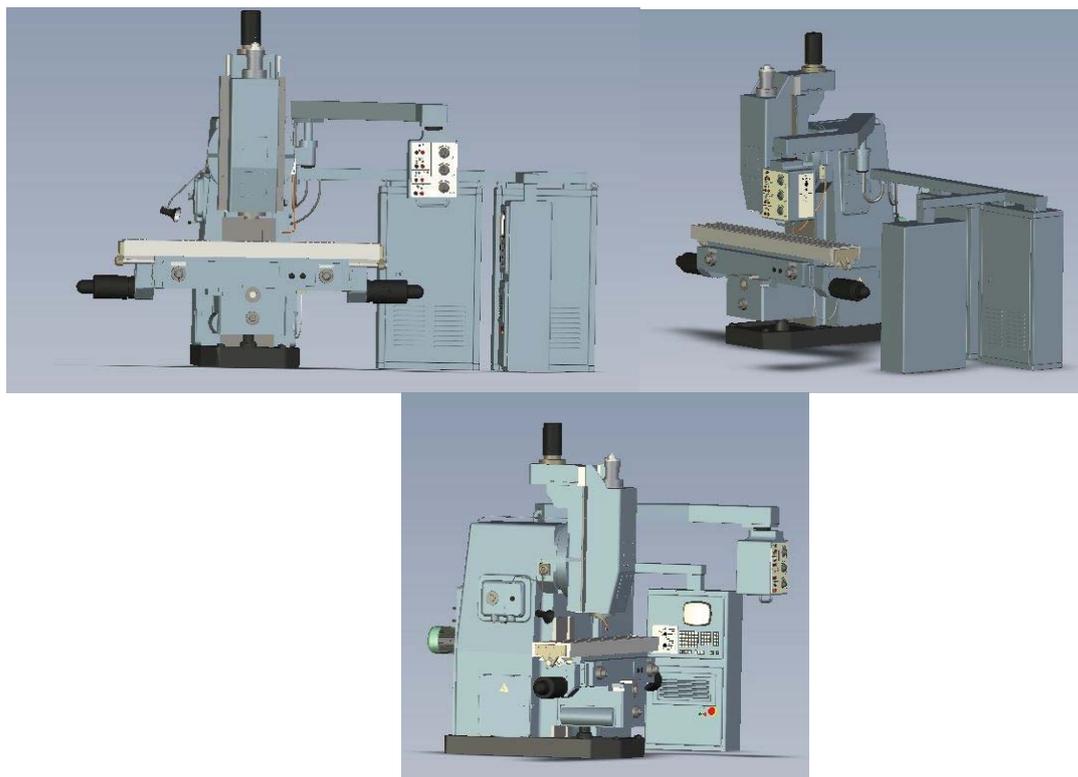


Рисунок 3 – Вертикально-фрезерный станок с числовым программным управлением 6M13CH2 [2].

Autodesk Inventor имеет программируемые надстройки и легкий в освоении интерфейс (так называемый SDK) для разработки внешних модулей. Визуализация рабочего процесса ведется на основе открытых проектных данных в этой САД-системе. Эти данные могут быть либо нативными (созданными непосредственно в этом приложении), либо импортированными из различных других форматов приложений САПР, либо преобразованными с помощью замены формата [2].

Приложение, разработанное на Unity 3D, будет запускаться на платформе Windows XP, Vista, 7. Для подключения к компьютеру используется разъем DVI, возможно подключение по HDMI. Кабели подключаются к компактному внешнему контроллеру, соединенному с очками одним проводом. Данные с этого приложения передаются на VR-очки, и тем самым область видимости для обоих глаз будет равна 8,5 метров (как если представить, что вы находитесь расстоянии 6 метров от телевизора данной высоты). Разрешение 1920x1080 пикселей. Данный VR-инструмент отслеживает движения головы, это обеспечит максимально достоверное наблюдение за виртуальным процессом обработки. Технология Leap Motion (бесконтактный сенсорный контроллер Kinect) позволит максимально точно взаимодействовать с виртуальным

пультом управления станка, а интеграция с Power Mill обеспечит возможность загрузки управляющей программы.

Эти VR-инструменты в совокупности с CAD, CAM системами обеспечат полное погружение в обрабатывающий процесс, что позволит ознакомиться и понять любое современное оборудование, не имея его в наличии. А также повысят уровень визуализации в процессе моделирования 3D объектов в различных CAD системах. Для обучения стандартной группы студентов понадобится всего лишь один комплект данных очков, персональный компьютер и сенсор Kinect, расположенный в противоположной стороне от обучающегося на высоте 1500 мм от пола. Такие передовые вычислительные технологии, которые способны автоматизировать некоторые функции, выполняемые работниками интеллектуального труда, также могут использоваться в сочетании с мобильным интернетом, чтобы обеспечить интерактивное, гибкое обучение в любой точке мира.

Библиографический список

1 Oculus Rift – [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <http://oculus-rift.ru/> (дата обращения 15.05.2014)

2 Казанцев А.Г. Машиностроение. Толковый словарь терминов. Справочное электронное издание. /А.Г. Казанцев, Ю.Н. Косицын//АлтГТУ, 2011.

3 Augste J. Tools for visualization of energy flows in the construction of machine-tools. /J. Augste, M. Holub, R. Knoflicek, T. Novotny// MM Science Journal, 2013. – №03. – pp. 392-395.

USE OF VIRTUAL REALITY DEVICES TO IMPROVE THE EDUCATIONAL PROCESS IN ENGINEERING.

V.A. Kalistru, A.A. Antonova

This article is devoted the integration of the educational process with modern VR-tools, use of virtual reality devices, maintaining a high degree of visualization to improve the process in the field of engineering.

Keywords: virtual reality, VR-tools, CAD-system, programming.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ С УЛЬТРАЗВУКОМ*

Е.С. Киселев д.т.н., профессор, **О.В. Благовский**, аспирант
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Приведены результаты исследований по оценке степени влияния элементов режима комбинированной обработки (точение совместно с твердосплавным выглаживанием) заготовок из титановых сплавов ВТЗ-1 и ВТ8 с наложением на выглаживатель ультразвуковых колебаний на фазовый состав их поверхностных слоев. Установлено, что наибольшее влияние оказывает глубина резания. Неоднозначно влияние окружной скорости заготовки, что связано, по мнению авторов с различием в химическом составе и механических характеристиках различных титановых сплавов.

Ключевые слова: титановый сплав, фазовый состав, поверхностный слой, ультразвук, комбинированная обработка

В качестве конструкционных материалов деталей летательных аппаратов и высокоскоростного наземного и морского транспорта всё более широкое распространение получают титановые сплавы класса $\alpha+\beta$ (например, ВТЗ-1, ВТ9, ВТ22 и т.д.). Их отличительной особенностью является оптимальное сочетание свойств α -титана, имеющего кубическую гранецентрированную решетку (мягкая и пластичная фаза) и β -титана с гексагональной плотноупакованной решеткой (твердая и хрупкая фаза). Фазовые превращения типа $\alpha\text{-Ti} \rightarrow \beta\text{-Ti}$ в материале поверхностного слоя (ПС) заготовок начинаются уже при температуре около 880°C , что в совокупности с низкой теплопроводностью таких сплавов создает значительные трудности при механической обработке [1].

Как известно, заключительные операции технологического процесса (ТП) обработки заготовок, в частности шлифование или тонкое точение, помимо обеспечения высокой размерной точности и малых значений высотных параметров шероховатости поверхностного слоя (ПС), сопряжены с высокими контактными температурами в зоне обработки, которые могут стать причиной активизации фазовых переходов и существенного изменения фазового состава (ФС) материала ПС, а следовательно, и технологических остаточных напряжений (ТОН).

Известные методы регулирования технологических остаточных напряжений и фазового состава связаны, как правило, с высокими энергетическими и временными затратами (термообработка) или же с потерей производительности механической обработки заготовок (при снижении элементов режима обработки для уменьшения теплообразования). Авторами данной работы предлагается для обеспечения требуемого ФС поверхностного слоя при сохранении заданной точности и других параметров качества ПС деталей машин использовать возможности комбинированной обработки с применением энергии ультразвукового (УЗ) поля, в частности, комбинированное точение и ультразвуковое твердосплавное выглаживание

(УЗТВ). На рис. 1 представлена схема комбинированной обработки, выполняемой на токарном станке.

Образцами при исследованиях служили валики диаметром 58 мм и длиной 250 мм из жаропрочного титанового сплава ВТЗ-1 и диаметром 50 мм и длиной 200 мм из коррозионно-стойкого титанового сплава ВТ9.

Обработку осуществляли на токарно-винторезном станке повышенной точности УТ16П с подачей к зоне контакта инструмента с заготовкой 3%-ного водного раствора концентрата полусинтетической смазочно-охлаждающей жидкости Велс-1 (расход: 10 л/мин). Поверхностное пластическое деформирование на стадии комбинированной обработки выполняли с подачей в зону контакта твердосплавного выглаживателя с заготовкой 100%-ного концентрата СОЖ Велс-1 с расходом 5 г/час путем нанесения её на контактирующие объекты кистью [2].

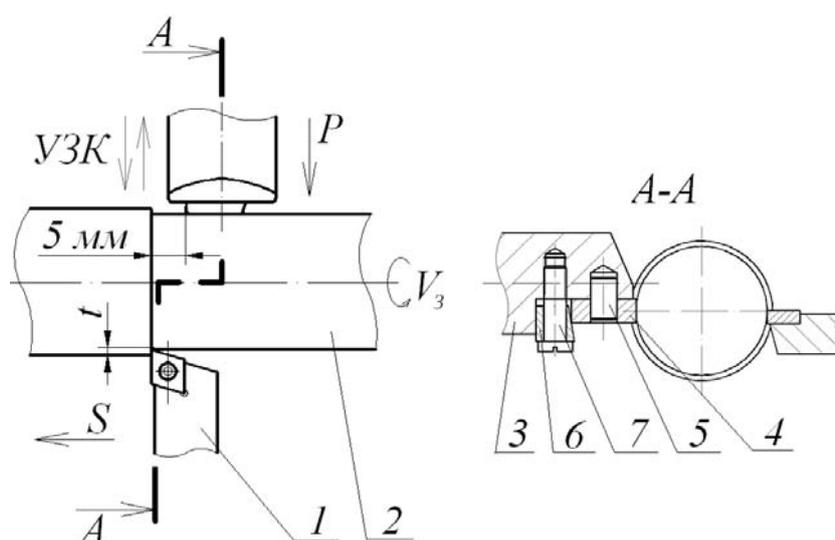


Рисунок 1 - Схема установки для комбинированной обработки точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием:

1 – резец; 2 – заготовка; 3 – концентратор; 4 – твердосплавный выглаживатель; 5 – штифт; 6 – клин; 7 – винт

УЗ колебания (частотой $f = 22$ кГц, амплитудой $A = 6-8$ мкм) накладывали на твердосплавный выглаживатель от УЗ-генератора УЗГ-641А.

В качестве варьируемых элементов режима обработки использовали глубину резания t (0.5, 0.75 и 1 мм), окружную скорость заготовки V_3 (36.4, 45.5 и 57.4 м/мин), продольную подачу S (0.046, 0.054 и 0.064 мм/об) и усилие прижима выглаживателя к заготовке P (100, 200 и 300 Н).

Фазовый состав определяли неразрушающим бесконтактным способом на рентгеновском измерительном комплексе «Рикор-7» (см. рис. 2) как отношение объема α -фазы к объему β -фазы (V_α / V_β) в ПС обработанных заготовок.



Рисунок 2 - Внешний вид рентгеновского измерительного комплекса «Рикор-7»: 1 – гониометрический узел; 2 – рентгеновская трубка; 3 – персональный компьютер; 4 – детектор; 5 – вычислительный блок; 6 – заготовка

Результаты экспериментальных исследований фазового состава образцов в зависимости от глубины резания, скорости вращения заготовки, продольной подачи и усилия прижима выглаживателя представлены на рис. 3.

Из результатов исследований следует, что элементы режима комбинированной обработки оказывают неоднозначное влияние на величину ТОН (оценку осуществляли на приборах «СИТОН-АРМ» и «РИКОР-4» неразрушающим методом) и соотношение объемов фаз титана в ПС заготовок.

Анализ полученных данных показывает, что наибольшее влияние на изменение фазового состава поверхностного слоя заготовок при комбинированной обработке оказывает глубина резания t . Увеличение глубины резания способствует существенному сокращению α -фазы по сравнению с β -фазой, что на наш взгляд связано с возрастанием температуры в зоне обработки и ускорением превращений типа $\alpha\text{-Ti} \rightarrow \beta\text{-Ti}$.

С увеличением продольной подачи S и усилия прижима выглаживателя P происходит обратный переход $\beta\text{-Ti} \rightarrow \alpha\text{-Ti}$. По-видимому, это объясняется интенсификацией процессов пластической деформации и распадом β -титана под воздействием давления в зоне контакта инструмента с заготовкой.

Рост окружной скорости вращения заготовки V_3 по-разному сказывается на изменении фазового состава для рассматриваемых сплавов. Так, для ВТЗ-1 увеличение скорости V_3 способствует образованию α -фазы, в то время как для ВТ9 эта зависимость носит обратный характер. По мнению авторов, это связано

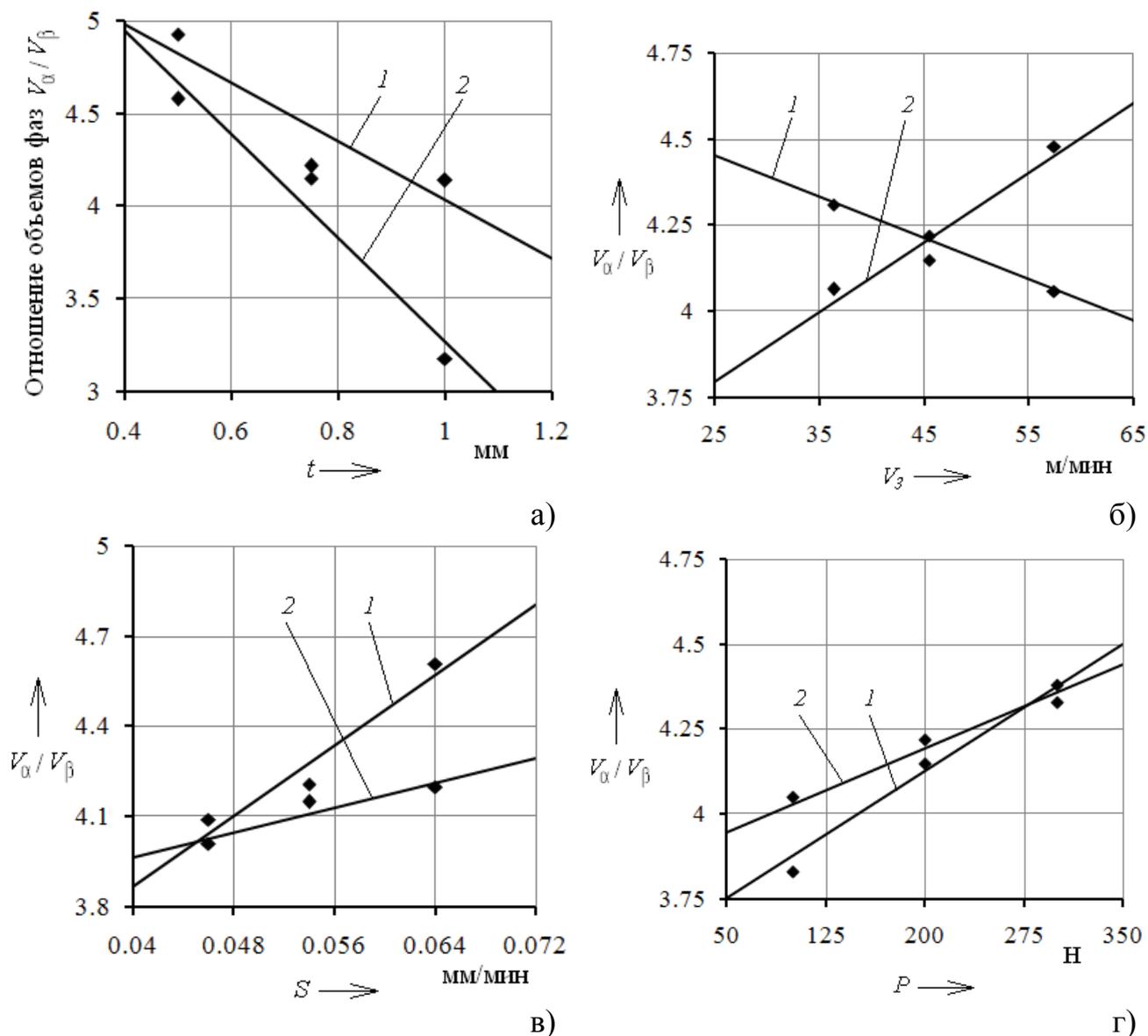


Рисунок 3 - Зависимость отношения объема α -Тi к объему β -Тi при изменении глубины резания t (а), скорости вращения заготовки V_3 (б), продольной подачи стола S (в) и усилия прижима выглаживателя P (г) в процессе комбинированной обработки: 1 – VT9; 2 – VT3-1

с различиями в механических характеристиках и химическом составе рассматриваемых титановых сплавов.

Выводы: Таким образом, предварительная комбинированная обработка точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием является эффективным способом формирования заданного фазового состава поверхностного слоя заготовок из титановых сплавов. Однако, различные элементы режима обработки по-разному влияют на соотношение α -фазы и β -фазы. Поэтому к их выбору следует подходить с учётом заданных технических требований, стремясь обеспечить не только требуемый фазовый состав поверхностного слоя, но и максимально возможную производительность

обработки. Как показали результаты исследований, представленные в данной статье, наибольшие резервы для этой цели открываются при варьировании глубиной резания и усилием прижима твердосплавного выглаживателя.

Библиографический список

1. Цвиккер У. Титан и его сплавы. – М.: Металлургия, 1979. – 362 с.
2. Киселев Е.С., Ковальногов В.Н. Механическая обработка заготовок в условиях критического тепломассопереноса. Избранные труды Российской школы по проблемам науки и технологий. – М.: РАН, 2008. – 250 с.

*) Исследования проведены в рамках выполнения гранта РФФИ по проекту 14-08-01059.

FEATURES OF THE FORMATION OF SURFACE LAYER'S PHASE COMPOSITION DURING ULTRASONIC COMBINED TREATMENT OF TITANIUM ALLOYS BLANKS

E. S. Kiselev, O. V. Blagovskiy

The results of experimental studies of regime's influence on the phase composition of titanium alloys during combined treatment by turning and ultrasonic hardmetal burnishing are represented. Found that most influence has the allowance. Ambiguous effect of the cutting speed, according to the authors, related from the difference in chemical composition and mechanical properties of various titanium alloys.

Keywords: titanium alloy, phase composition, surface layer, ultrasonic, combined treatment

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ЗА СЧЕТ НАУЧНО ОБОСНОВАННОЙ МЕТОДИКИ ПОДБОРА СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

А. Г. Кисель, аспирант

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск

При токарной обработке в зоне контакта инструмента и заготовки образуются высокие силы резания и температуры. В результате их воздействия появляется и растет износ режущей пластины по передней и задней поверхностям, что снижает точность и качество детали. С целью снижения сил резания и температуры на производстве применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Из литературных источников известно, что различные СОЖ по-разному влияют на процесс резания. В настоящее время ассортимент СОЖ настолько велик, что подбор конкретной марки становится весьма трудной задачей.

Ключевые слова: токарная обработка, функциональные действия, смазочно-охлаждающая жидкость, коэффициент трения, скорость охлаждения, методика подбора.

Введение

Для предприятий, каждое из которых нацелено на получение прибыли и снижение издержек, всегда актуально снижение затрат и повышение производительности. Применение СОЖ в металлообработке является одним из современных путей повышения ее эффективности [1, 2].

Известными отечественными и зарубежными производителями СОЖ являются такие фирмы, как:

- ADDINOL Lube Oil GmbH (Германия);
- Rhenus Lub GmbH & Co KG (Германия);
- ExxonMobil Lubricants & Specialties Europe (США);
- ЗАО НПО «Промэкология» (Россия, г. Омск);
- ООО «Хозрасчетный творческий центр Уфимского авиационного института» (Россия, г. Уфа)
- ОАО «Пермский завод смазок и СОЖ» (Россия, г. Пермь);
- и многие другие.

Ассортимент СОЖ каждой компании достаточно велик и с каждым годом только растет. Поэтому металлообрабатывающие предприятия при выборе конкретной марки руководствуются либо долголетним опытом эксплуатации, либо ценовым параметром: закупают дешевые отечественные (полагая, что все СОЖ одинаково влияют на процесс резания) или дорогие импортные (считая, что чем она дороже, тем эффективнее).

Согласно исследованиям, проведенным такими отечественными учеными, как С. Г. Ангелис, Л. В. Худобин, В. В. Подгорков, Е. С. Киселев, Е. М. Булыжев, И. В. Башкирцева, С. Р. Татарникова и других, СОЖ влияют на процесс обработки по-разному, поэтому при выборе конкретной марки следует

руководствоваться их функциональными действиями. Тем не менее, на сегодняшний день не разработана единая методика, позволяющая без проведения долгих производственных испытаний подобрать марку, применение которой обеспечило бы максимальную производительность при минимальных издержках.

Методика экспериментального исследования

Целью данной работы является разработка методики подбора СОЖ для токарной обработки основных групп материалов на основе исследований их функциональных действий. В качестве представителей для испытаний были выбраны следующие сплавы:

1. Стали – сталь 45;
2. Цветные металлы – Д16;
3. Жаропрочные и титановые сплавы – ВТ3 и ХН77ТЮР.

Основными функциональными действиями СОЖ, согласно данным в литературе, являются смазочное и охлаждающее действия [1, 2]. Однако, судить об эффективности СОЖ нужно по таким технологическим параметрам, как сила резания, стойкость инструмента и срок службы самой СОЖ. Именно эти показатели и будут определять экономическую эффективность металлообработки в целом, т. к. их улучшение приведет к снижению затрат на электроэнергию, на инструмент и на концентрат СОЖ.

Испытания проводились без применения СОЖ и с применением следующих марок:

1. 1,5 % водный раствор кальцинированной соды (в.р.к.с.);
2. Смальта-3 (10 % раствор);
3. Росойл-500 (10 % раствор);
4. Blasocut 4000 (10 % раствор);
5. Addinol WN430 (10 % раствор);
6. Isogrind-130EP (10 % раствор).

В работе необходимо оценить смазочное действие данных СОЖ, охлаждающее действие, влияние на силы резания и стойкость инструмента.

Смазочное действие оценивалось с помощью машины трения марки ИИ 5018 по среднему значению коэффициента трения между неподвижной колодкой, выполненной из твердого сплава, и вращающимся роликом, выполненным из обрабатываемого материала, к которому с определенной силой прижата колодка. Испытания проводились при режимах, близких к режимам токарной обработки представленных материалов.

Охлаждающее действие определялось с помощью специализированного стенда. В результате испытаний определялась максимальная скорость охлаждения датчика температуры, нагретого до 710 °С, при его погружении в каждый раствор СОЖ и на воздухе (без СОЖ).

Влияние СОЖ на силы резания оценивалось при различных режимах обработки названных выше материалов на станке ФТ-11 с помощью прибора

УДМ-100. При этом в зону обработки подавался испытываемый раствор СОЖ. Кроме того исследования проводились без применения СОЖ.

Определение стойкости инструмента с применением представленных марок СОЖ и без них проводилось также на токарном станке ФТ-11 при различных режимах обработки. Критерием оценки при этом являлось время, за которое износ режущей пластины по задней поверхности достигал 0,15 мм.

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований смазочного и охлаждающего действий различных марок СОЖ, их влияния на силы резания и стойкость инструмента при различных режимах обработки представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты испытаний смазочного и охлаждающего действий

Марка СОЖ	Среднее значение коэффициента трения				Максимальная скорость охлаждения, °С/с
	Сталь 45	ВТ3	Д16	ХН77ТЮР	
Без Сож					
1,5% в.р.к.с.	0,590	0,395	0,550	0,585	22,85
Смальта-3	0,160	0,515	0,130	0,555	19,77
Росойл-500	0,115	0,505	0,060	0,555	19,07
Blasocut 4000	0,170	0,485	0,096	0,545	20,70
Addinol WH430	0,100	0,505	0,090	0,545	22,00
Isogrind-130EP	0,145	0,500	0,650	0,555	20,38

Таблица 2 – Результаты испытаний сил резания и стойкости инструмента

Марка СОЖ	Сила резания, Н				Стойкость режущего инструмента, мин			
	Сталь 45	ВТ3	Д16	ХН77ТЮР	Сталь 45	ВТ3	Д16	ХН77ТЮР
Без Сож	812,05	866,56	734,51	1059,78	161	163	310	63
1,5% в.р.к.с.	799,77	892,65	660,68	1005,08	140	232	526	92
Смальта-3	799,77	792,98	578,90	1148,45	472	178	1557	96
Росойл-500	707,62	1023,19	493,18	1029,87	601	182	1900	96
Blasocut 4000	812,05	774,03	665,60	1023,25	451	190	1814	98
Addinol WH430	752,10	990,01	480,94	1161,58	690	182	1925	98
Isogrind-130EP	790,57	858,15	552,18	1139,16	514	184	447	96

На основе полученных данных выведены математические зависимости, позволяющие с точностью $\pm 4\%$ определить силы резания и стойкость инструмента по параметрам, полученным при испытании СОЖ на машине трения и стенде для оценки охлаждающего действия. Полученные эмпирические формулы имеют вид:

$$K_{СОЖ} = b_0 + b_1 \cdot K_{см} + b_2 \cdot K_{охл} + b_{11} \cdot K_{см}^2 + b_{12} \cdot K_{см} \cdot K_{охл} + b_{22} \cdot K_{охл}^2, \quad (1)$$

где $K_{СОЖ}$ – коэффициент снижения силы резания при применении определенной СОЖ;

$b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{12}, b_{22}$ – постоянные коэффициенты;

$K_{см}$ – коэффициент снижения коэффициента трения;

$K_{охл}$ – коэффициент увеличения скорости охлаждения.

Для расчета стойкости инструмента при обработке испытанных материалов выведена следующая эмпирическая зависимость:

$$T = \frac{C}{V \cdot S \cdot \sqrt{K_{см}^2 + K_{охл}^2}}; \quad (2)$$

где C – постоянный коэффициент;

V – скорость резания, м/мин;

S – подача, мм/об.

В результате проведенной работы разработана методика, представленная в виде блок-схемы (рис. 1), позволяющая подобрать наиболее технологически эффективную марку СОЖ.

Однако на производстве основным критерием выбора той или иной марки СОЖ является экономическая эффективность от ее применения, которая складывается из экономии средств, затрачиваемых на электроэнергию, режущий инструмент и покупку самого концентрата СОЖ.

Годовые затраты на обработку детали, выполненной из испытанных в работе материалов, на одном станке с применением разных марок СОЖ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Годовые затраты на обработку деталей из различных материалов на одном станке

Затраты на обработку разных материалов	Марки СОЖ						
	Без СОЖ	Смальта-3	Росойл-500	1,5% в.р.к.с.	Blasocut 4000	Addinol WH430	Isogrind-130EP
Затраты на обработку стали 45, руб.	56665,68	26365,61	18843,59	63171,01	30548,06	22001,97	26486,61
Затраты на обработку сплава Д16, руб.	30837,32	14630,74	9361,73	19637,57	15430,44	15439,69	29065,14
Затраты на обработку сплава ВТЗ, руб.	55098,30	56790,07	52374,78	40069,14	56331,53	57608,59	56603,88
Затраты на обработку сплава ХН77ТЮР, руб.	139203,29	99245,42	95389,14	96735,35	99369,61	99261,73	99755,57

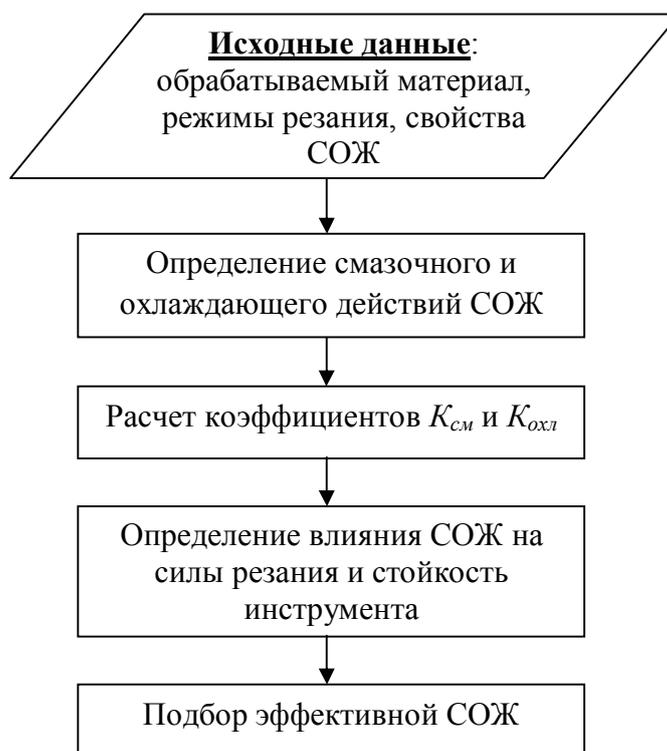


Рисунок 1 - Методика подбора технологически эффективной СОЖ

Выводы

В результате проведенных исследований произведена оценка смазочного и охлаждающего действий различных марок СОЖ, применяемых в металлообработке. Кроме того, определено их влияние на такие технологические параметры, как сила резания и стойкость инструмента при токарной обработке основных групп материалов. Полученные данные позволили разработать методику, обеспечивающую подбор наиболее технологически эффективной марки СОЖ.

Применение представленной методики позволит снизить затраты на режущий инструмент, электроэнергию и концентрат СОЖ, что повысит производительность обработки в целом.

Библиографический список

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжев и др. / Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
2. Энгелис С. Г., Берлинер Э. М. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.

THE INCREASING OF TURNING EFFICIENCY BECAUSE OF SCIENTIFICALLY DEVELOPED CHOICE TECHNIQUE OF LUBRICANT COOLING LIQUID

A. G. Kisel

In this article are presented the results of research the lubricant and cooling effects of different lubricant cooling liquid's (LCL) brands, applied in metal working. Besides, their influence on force of cutting and stability of the tool is defined when turning the main groups of materials. According to the obtained data is developed the choice technique of the most effective LCL. The application of this technique will allow the expenses of cutting tools, electric power and LCL. That will increase processing productivity

Keywords: turning, functional effects, lubricant cooling liquid, friction coefficient, cooling speed, choice technique.

РЕВЕРСИВНЫЙ РЕЗЬБОНАРЕЗНОЙ ПАТРОН

А.В. Козицын, студент, **А.Н. Ромашев**, к.т.н., доцент
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
г. Бийск

В статье представлена конструкция и принцип работы резьбонарезного патрона с автоматическим реверсом на основе передачи с промежуточными телами качения. Данная конструкция имеет встроенную двухсекционную шариковую передачу с разными затормаживаемыми элементами, что обеспечивает реверсирование при работе.

Ключевые слова: Реверсивный резьбонарезной патрон, передачи с промежуточными телами качения

В машиностроении в большинстве технологических процессах используется вращательное движение детали или инструмента, частоту и направление которых требуется изменять. В процессе обработки достаточно часто требуются различные частоты вращения, реализуемые в разных направлениях. Например, при нарезании резьбы метчиками, инструмент или заготовка должны совершать вращение с относительно небольшой частотой. Это весьма проблематично при обработке на многошпиндельном оборудовании, где нарезание резьбы является лимитирующей операцией. Кроме того, для выполнения процесса требуется реверсирование.

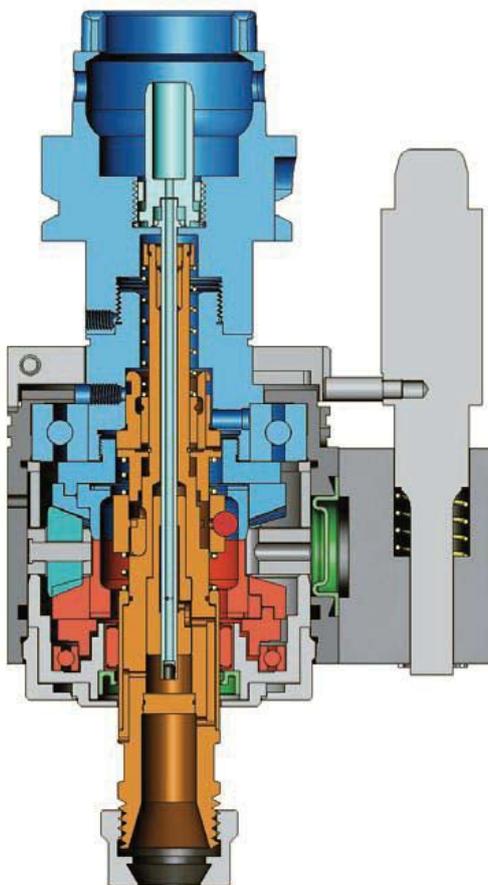


Рисунок 1 - Реверсивный резьбонарезной патрон ТАРМАТИС

Для решения подобной проблемы существуют конструкции технологической оснастки, позволяющие автоматически реализовать реверс (рисунок 1), при этом вращение в обратном направлении может происходить с увеличенной частотой за счет используемого зубчатого редуктора [1].

Актуальность представляемой работы состоит в том, что предлагаемая конструкция не имеет зубчатых передач, что уменьшает габариты и увеличивает долговечность.

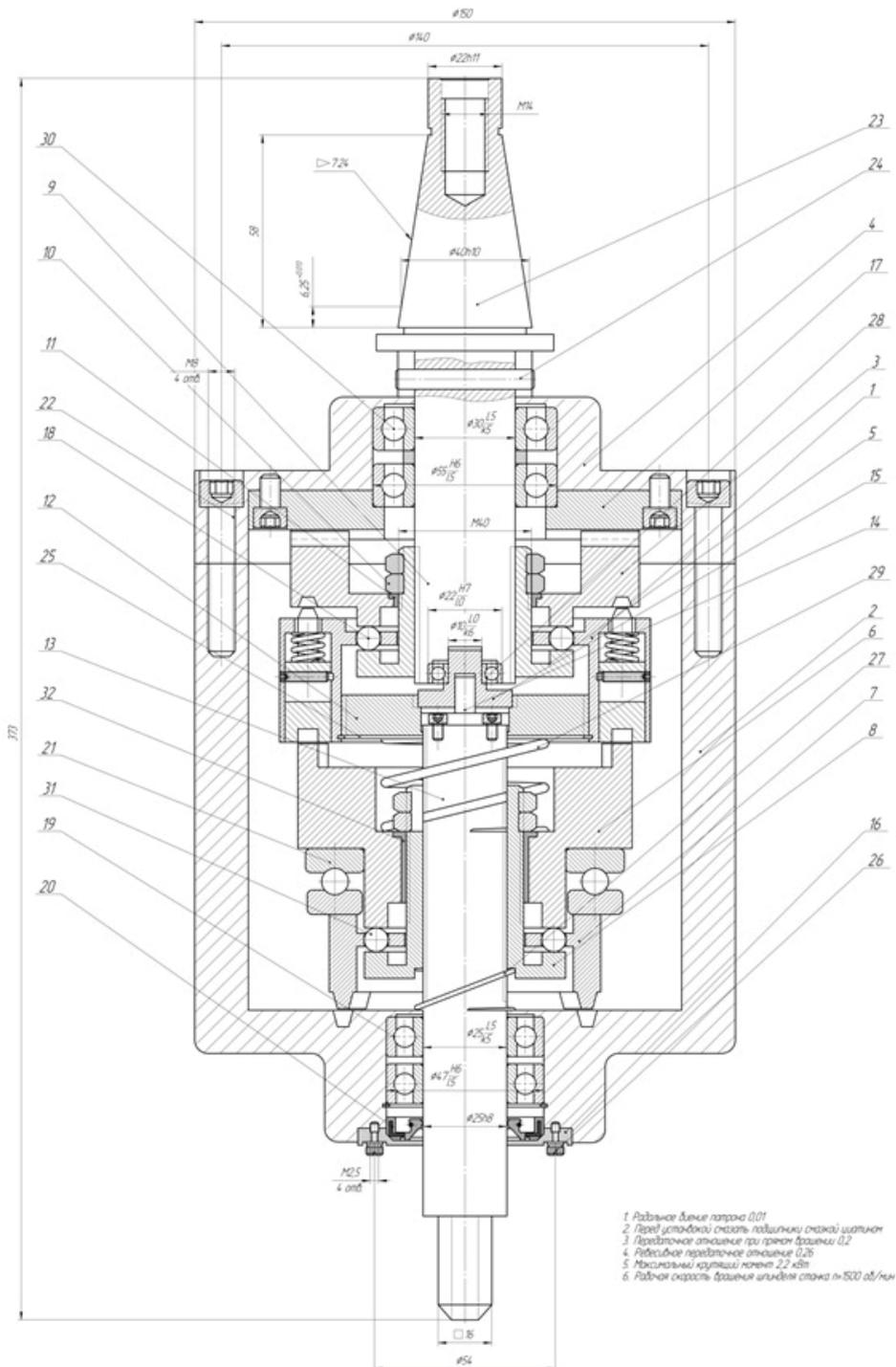


Рисунок 2 – Реверсивный резьбонарезной патрон на основе передачи с промежуточными телами качения

Во многих случаях передаточное отношение необходимо значительно изменить, что приводит к значительному увеличению габаритов зубчатых передач, которые будут применяться в данном устройстве и, как следствие, увеличиваются и размеры самого агрегата, что не всегда приемлемо в заданных условиях. Когда габариты передачи играют очень важную роль, а изменение передаточного отношения необходимо, и в чем большей степени оно будет изменено, тем лучше это скажется на работе данного агрегата, тогда необходимо применение иных способов и методов, которые позволили бы решить данную задачу. К таким методам как раз и относится использование передачи вращательного движения с помощью тел качения, которые за счет изменения траектории движения и использования спрофилированных поверхностей позволяют решить задачу значительного изменения передаточного отношения при неизменности или даже уменьшении габаритов самой передачи.

В последнее время активно исследуются и развиваются механизмы преобразования движения, в которых используется не зубчатое зацепление, а новый тип зацепления с помощью периодических дорожек качения и промежуточных тел качения: шариков или роликов.

Передача со свободными телами качения служит для изменения скорости вращения с помощью комплекта тел качения (шариков) и периодических дорожек качения. Это может быть использовано в различных механизмах и агрегатах. Именно с такой передачей на рисунке 2 представлен резьбонарезной патрон.

Реверсивный резьбонарезной патрон работает следующим образом. При вращении вала 9 крутящий момент передается на ведущий кулачок 5 передачи с промежуточными телами качения. Заторможенный элемент первой ступени этой передачи связан через торцевые пазы с неподвижным корпусом патрона, а ведомым звеном является сепаратор 1, вращающийся в ту же сторону, что и ведущий кулачок, но с редукцией. Через шайбу 12 момент будет передаваться на вторичный вал 13 к режущему инструменту, который на рисунке не показан.

После достижения необходимой длины нарезаемой резьбы прекращается осевое перемещение патрона, но вращение привода при этом не останавливается. В такой ситуации происходит осевое смещение элементов патрона внутри его корпуса, что обеспечивает отключение первой ступени передачи с промежуточными телами качения и включение второй ее ступени. Вторая ступень имеет заторможенный сепаратор 7. Это дает возможность изменить направление вращения ведомого звена 8 на противоположное и включить обратное осевое перемещение патрона для извлечения инструмента из нарезанной резьбы. Для реверсивного вращения сепаратор 1 одновременно блокируется с кулачками 3 и 6. После чего сепаратор 7 затормаживается с корпусом 2 посредством торцевых пазов. Тем самым на выходе крутящий момент, подаваемый на привод патрона меняет своё направление на противоположное. Процесс включения реверса вращения происходит за счет явления самозатягивания резьбообразующего инструмента, в течение этого

процесса корпус патрона должен оставаться неподвижным в осевом направлении.

Отличительной особенностью данного реверсивного резьбонарезного патрона от существующих аналогов является то, что внутреннее устройство выполнено на основе двухсекционной передачи с промежуточными телами качения. Технический результат повышение надежности, удобство эксплуатации, а так же упрощение конструкции и сокращение общих габаритных размеров.

Сама разработка носит перспективный характер, так как если поставить задачу реализации проекта в широких масштабах необходимо внести дополнительные средства на изготовление и испытание изделия. Так же можно оценить то, что стоимость изготовления деталей редуцирующего узла предлагаемой конструкции в 2-3 раза ниже, чем деталей редуктора с зубчатыми колесами.

Библиографический список

1. Tapmatic [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.tapmatic.com>.

REVERSIVE THREAD-CUTTING CHUCK

Kozitsin A.V., Romashev A.N.

The design and the principle of work of the thread-cutting are presented in article Chuck has an automatic reverse on the basis of transfer with intermediate ballbodies. This design has built-in two-section ball transfer with different slowed-down elements that provides a reversal during the work.

Keywords: The reversive thread-cutting chuck, transfers with intermediate ballbodies

ТРИБОЭКОЛОГИЯ – НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

М.Г. Косов, д.т.н., профессор, **А.П. Кузнецов**, д.т.н., доцент,
Т.Г. Гришина, д.т.н., доцент, **А.В. Капитанов**, к.т.н., доцент,
И.М. Толкачёва, к.т.н., доцент

Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», г. Москва

Проведен анализ технических систем с позиции влияния контакта и трения между её звеньями на экологию. Сформулировано понятие научного направления – трибоэкологии и дается её характеристика.

Ключевые слова: Контакт, износ, трение, экология, трибоэкология, силовые цепи, техническая система.

Технические и технологические системы (ТС) имеют решающее значение для различных областей экономики: машиностроения, автомобилестроения, приборостроения, энергомашиностроения и многих других областей материального производства. При выполнении любого технологического процесса ТС осуществляют изменение свойств и/или состояния и/или структуры поступившей на вход материи M , под воздействием поступающей на вход энергии \mathcal{E} в соответствии с заданной информацией I . Материя, энергия и информация по времени поступления на вход и по времени преобразования и взаимодействия могут совпадать или не совпадать друг с другом. В зависимости от вида энергии, направленного и осуществляющего изменение состояния, структуры и свойств материала, количества и способа передачи информации различают виды реализуемых технологических процессов: обработка резанием (механообработка), обработка давлением, литье, сварка, термическая обработка, гибка и др.

ТС можно определить как функционально взаимосвязанную совокупность деталей, механизмов и узлов, определяющих и обуславливающих преобразование потоков энергии (тепловой, силовой, электрической и др.) для реализации функций взаимодействия деталей, механизмов и узлов, обуславливающих изменения начального состояния и/или структуры и/или свойств материи (твердой, жидкой, газообразной и др.) как количественно, так и качественно под управлением информации о форме и последовательности преобразования циркулирующей материи и энергии в структуре ТС и окружающей её технологической среде.

Проектирование, изготовление и эксплуатация любой ТС так или иначе связаны с преодолением сил трения [1], поэтому до одной трети мировых энергетических ресурсов расходуется на преодоление сил трения в той или иной форме.

Известно также, что при функционировании технологического оборудования работа трения и связанный с этим процесс износа слоев контактирующих тел повышают расход энергии, вызывают вибрации, шум,

газовыделение и т.д., что приводит к вредному воздействию на окружающую среду.

Многочисленные исследования ТС направлены на снижение энергозатрат. Этому способствуют исследования в таких научных областях как динамика машин, трибомеханика, трибоника, трибология, трибохимия, трибофатика, приборостроение и др.

Большое количество работ посвящено различным аспектам функционирования ТС и протекающим в них процессам контакта, трения и износа, надежности и долговечности, прочности, виброустойчивости и др.

Однако вопросы функционирования ТС и воздействия вышеперечисленных процессов на экологические показатели технической и окружающей среды ТС чаще всего остаются вне поля зрения исследователей или только констатируются. Поэтому очевидно, что в разных областях производства (как на вредных производствах, так и в меньшей степени на машиностроительных производствах) все большее внимание уделяется мероприятиям по охране окружающей среды, на которые выделяются значительные ресурсы.

Такое противоречие обуславливает необходимость создания нового научного направления (области), которое устранил указанное несоответствие. Это требует комплексного подхода к построению технических систем и изучению взаимодействия функционирующей технической системы с экологическими факторами.

Естественно, что достижения в различных областях науки и техники не могут быть использованы при решении комплексной экологической проблемы путем простого переноса, т.к. результаты получены различными методами на моделях при различных предпосылках, граничных и начальных условиях.

Адаптация известных моделей и методов из различных областей науки и техники к решению экологических задач возможна на основе физического принципа, позволяющего объединить в единую структуру с позиции экологии все разнообразие действующих в ТС факторов.

В основу такого физического принципа, как будет показано, следует положить контактное взаимодействие, которое в ТС является основным явлением причиной негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации ТСС.

При проектировании и эксплуатации ТС возникает необходимость в рассмотрении вопросов по защите окружающей среды в связи с процессами контакта, трения и износа, происходящими в ТСС, поэтому целью научного направления, определяемого как трибоэкология, является минимизация экологических изменений на основе специального и дополнительного изучения процесса контакта для принятия конструкторско-технологических, управленческих и организационных решений и проведения эксплуатационных мероприятий [1-4].

Проведенный анализ ТС показал, что при ее работе возникает цепь процессов, влияющих на экологические факторы среды (рис. 1). Такими процессами будут:

1. Контакт поверхностей взаимодействующих звеньев (Контакт).
2. Трение и износ соприкасающихся поверхностей (Трение и износ).
3. Физические явления при контакте звеньев (Физические аспекты контакта и износа).
4. Контакт и износ в активных химических средах (Контакт в химически активной среде).
5. Износ и разрушение силовых цепей (Износо-усталостные напряжения).
6. Воздействие ТС на окружающую среду и оценка ТС на соответствие ее техническим и экологическим требованиям (Воздействие на среду).

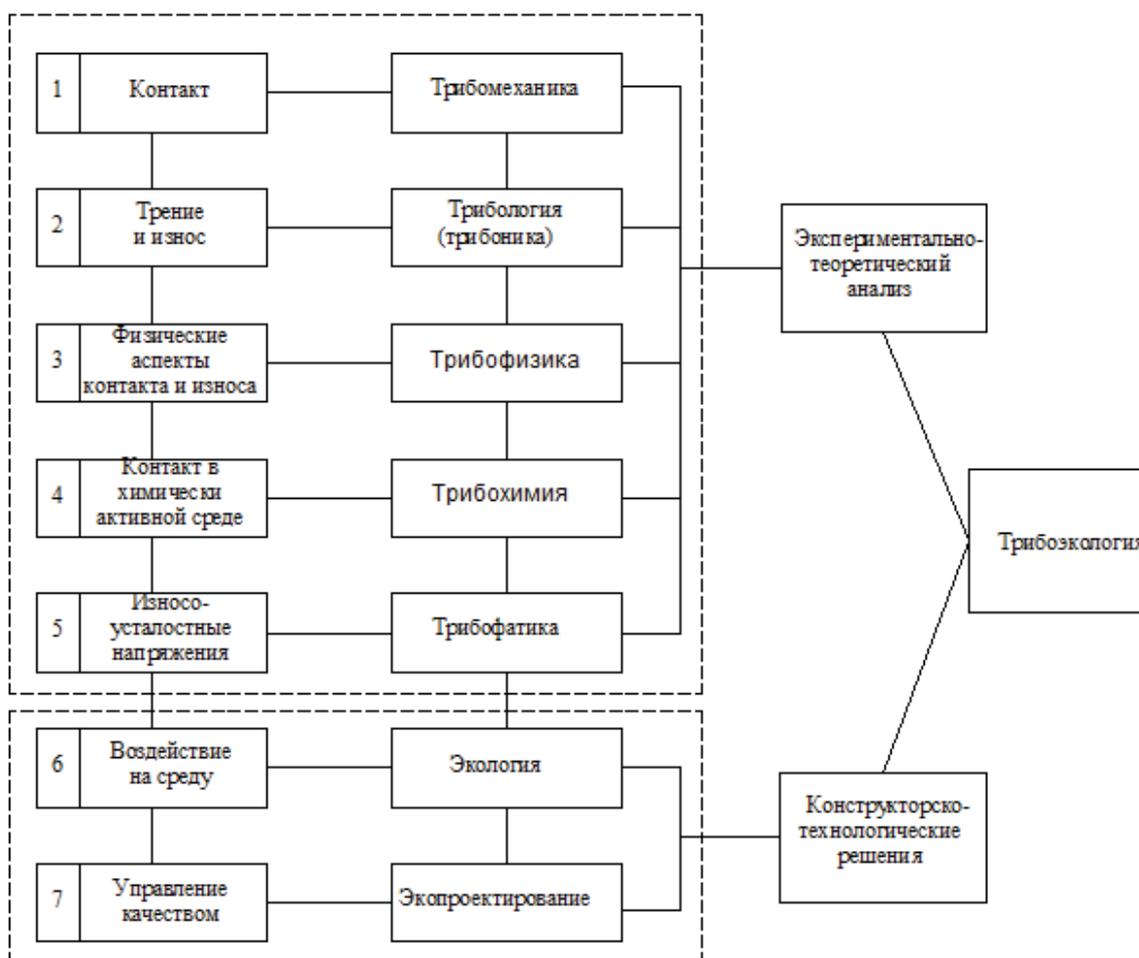


Рисунок 1 - Структура трибозкологии

7. На основании вышперечисленных факторов осуществляется оценка направлений и видов управленческих и конструктивно-технологических решений для минимизации экологических воздействий (Управление качеством).

При исследовании указанных процессов необходимо использование и объединение следующих направлений научных знаний [5]:

1. Трибомеханических, в которых рассматривается процесс контактного взаимодействия соприкасающихся поверхностей звеньев (трибомеханика).

2. Трибологических, в которых исследуются процессы, проходящие в контакте в результате относительного скольжения взаимодействующих (стыкуемых) поверхностей звеньев и возникающих при этом явлений трения и износа (трибология).

3. Трибофизических, в котором рассматриваются процессы контакта и износа на молекулярном уровне (трибофизика).

4. Трибохимических, в которых исследуются процессы контакта, трения и износа в химической активной среде (трибохимия).

5. Трибофактических, в которых изучаются износоусталостные повреждения поверхностей и разрушение звеньев силовых систем (трибофатика).

6. Экологических, которые рассматривают процессы, происходящие в функционирующей ТС и их воздействие на окружающую среду (экология) [5].

7. Проектировочных, в которых рассматриваются конструкторско-технологические мероприятия и управленческие решения для минимизации экологических потерь (экопроектирование).

Структура трибозологии и описанные научные направления представлены на рис.1.

Каждая из представленных научных дисциплин изучена достаточно обстоятельно в отдельности. Возникает задача комплексного подхода к изучению процессов применительно к задачам экологии.

Представленные на рис.1 научные направления можно условно разделить на две группы. К первой группе можно отнести научные направления (1-5), посвященные экспериментально-теоретическому анализу ТС. Ко второй группе относятся конструкторско-технологические решения, возникающие при проектировании ТС с учетом экологического воздействия.

Комплексный подход в трибозологии объединяет указанные на рис. 1 направления и связи между ними. Это позволяет отнести ее к многоплановой фундаментальной научной дисциплине [5].

Задача трибозологии состоит в исследовании контакта, трения, смазки и износа технических поверхностей в машине с целью получения подробного представления их связи и воздействия на окружающую среду с последующим усовершенствованием механизмов для уменьшения их экологического влияния. Формирование такой научной и технической дисциплины определяется универсальным значением контакта, трения и экологии в современном мире [2, 3, 4].

В первую очередь, в процессе проектирования ТС с учетом экологических факторов рассмотрены следующие процессы [4]:

-проведено экономическое обоснование необходимости развития трибозологического научного направления,

-предложена модель технической системы с позиции ее воздействия на окружающую среду в зависимости от технологических операций,

-обоснован выбор основного принципа, который может быть в основу решения задач трибозологии,

- дано определение и сформулирован предмет исследования трибоэкологии как научного направления,

- разработана структура связей в конструкциях ТС, обусловленных воздействием силовых источников с учетом геометрической формы и физико-механических свойств материалов и характера трения в стыках контактирующих звеньев,

- разработан метод оптимизации технологических процессов с учетом экологических факторов,

- предложены конструкции механизмов, осуществляющих передачу движения из одной области (например, агрессивная среда) в другую (атмосфера) без уплотнений в подвижных стыках.

- предложена модель контакта для исследования жесткости и износа шероховатых поверхностей в условиях рельефа шероховатости, приближенного к реальному прототипу.

- разработана база данных по выбору СОТС с учётом экологических факторов[6].

Библиографический список

1. Мур Д. Основы и применение трибоники.- М.: Наука, 1978. - 488 с.
2. Косов М.Г. Трибоэкология // Труды международной конференции ПРОТЕК-98.- М.: МГТУ (СТАНКИН), 1998. - с. 182-183.
3. Косов М.Г. Трибоэкология в машиностроении // Труды международной конференции ПРОТЕК-2000.- М.: МГТУ (СТАНКИН), 2000. - с. 183-184.
4. Косов М.Г. Учёт трибоэкологических факторов при разработки системы информационной поддержки проектирования / М.Г. Косов, Ю.Е.Гуревич, И.В. Муравьёв// Безопасность жизнедеятельности. - №8. - 2007. - с. 23-25.
5. Косов М.Г. Трибоэкология /М.Г. Косов, А.П. Кузнецов. - М.: МГТУ «Станкин», Янус-К, 2013. - 230 с.
6. Онякова Е.В. Автоматизированная система принятия конструкторско-технологических решений для обеспечения качества технологического процесса с учётом экологических факторов: Дис. кан. техн. наук: МГТУ «Станкин», 2004. – 126 с.

TRIBOECOLOGY - A NEW SCIENTIFIC DIRECTION

**M.G. Kosov, A.P. Kuznetsov, T.G. Grishina, A.V. Kapitanov,
I.M. Tolkacheva**

The analysis of technical systems from the perspective of the impact of contact and friction between its links to the environment. The notion of a scientific field - triboecology and given its characteristics.

Contact, wear, friction, ecology, triboecology, power circuits, the technical system.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.Г. Косов, д.т.н., профессор, **А.П. Кузнецов**, д.т.н., профессор,
Т.Г. Гришина, д.т.н., доцент, **И.М. Толкачёва**, к.т.н., доцент,
А.В. Капитанов, к.т.н., доцент

Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», г. Москва

Приводятся в хронологической последовательности их создания методы оценки и моделирования точности металлорежущих станков, их особенности и области применения на разных этапах создания и эксплуатации.

Ключевые слова: размерные цепи, точность, граничные, объёмные конечные элементы, кинематика, нейронные сети.

Стремление к сокращению сроков проектирования технологического оборудования обусловило необходимость создания моделей и математических методов, которые позволяют оценивать точность изготавливаемой продукции.

Обеспечение необходимой точности (табл.1) обработки потребовало, соответственно, и развитие методов моделирования и оценки точности самих металлорежущих станков. Так, например, скачек в повышении точности в период 1960-1980 гг. обеспечили новые подходы в объяснении и формировании параметров и характеристик точности, их взаимосвязей и взаимовлияний на конечные выходные показатели [1].

Таблица 1 - Тенденция изменения точности по годам и её прогноз

Вид обработки	1920 г.	1940 г.	1960 г.	1980 г.	2000 г.	2020 г.
Нормальная, мкм	-	60	30	5	1	0,1
Точная, мкм	-	75	5	0,5	0,1	0,03
Высокоточная, мкм (прецизионная)	75	5	0,5	0,05	0,01	$\geq 0,003$
Сверхточная, мкм. (ультрапрецизионная)	5	0,5	0,05	0,005	0,001	$\leq 0,3$ нм

В табл. 2. для логического сопоставления с показателями и тенденциями развития точности приведены (на основе анализа открытых и доступных источников), предложенные авторами в разный период основные методы оценки точности станков. Ограниченность объёма статьи вынуждает сократить ссылки на используемые литературные источники. Подробный список приводится в монографии [2].

Б.С. Балакшиным предложено три метода достижения и проверки точности: цепной, координатный и комбинированный.

Сущность цепного метода заключается в том, что любое из звеньев размерной цепи детали или деталей получается вслед за предыдущим, причем каждый раз при этом используется вновь полученная их общая база. Переход на новую базу для получения размера каждого последующего звена исключает влияние на его точность ошибок всех предыдущих звеньев. При цепном методе достижения точности, на каждом звене получается ошибка, зависящая только от технологического процесса, в результате которого образуется данное цепное звено.

Сущность координатного метода заключается в том, что все координатные звенья образуются или измеряются независимо друг от друга от одной и той же выбранной базы. Вследствие этого, ошибка, получаемая на каждом из координатных звеньев, не зависит от ошибок, получаемых на остальных координатных звеньях. Независимость ошибок координатных размеров друг от друга является основным преимуществом рассматриваемого метода. Вторым преимуществом данного метода является то, что ошибка каждого цепного звена равна сумме ошибок только двух координатных звеньев, образующих цепное звено.

Сущность комбинированного метода состоит в том, что одна часть звеньев обрабатывается с использованием координатного метода, другая часть с помощью цепного. В основу предложенных методов положено геометрическое представление размеров деталей, которое нашло в дальнейшем отражение в работах ученых МГТУ «Станкин».

Таблица 2 - Методы оценки точности металлорежущих станков

<i>Автор</i>	<i>Год</i>	<i>Метод исследования, анализа и оценки</i>
Бруевич Н.Г	1946	Вариация функции входных и выходных параметров
Соколовский А.П	1952	Статистические методы оценки точности и её составляющих
Балакшин Б.С	1957	Размерные цепи
Проников А.С	1971,1982	Вероятностная модель изменения точности во времени. Программный метод испытаний.
Schultchik R.	1977	Векторный анализ объемной точности
Базров Б.М	1978	Метод координатных систем с деформируемыми связями
Кузнецов А.П.	1979,1983	Образование, деформации и искажения геометрических образов
Donaldson R.	1980	Анализ составляющих погрешностей
Knapp W.	1983,1998	Статистические методы, методы повышения геометрической точности

Weck M.	1984	Методология точности станков
Косов М.Г.	1985	Метод гранично-объемных конечных элементов
Решетов Д.Н. Портман В.Т	1986	Вариационный метод расчета поведения станков
Schelekens P.H.J	1986	Моделирование точностного поведения станков
Donmez M.	1986	Преобразование форм соединительных элементов
Theuws	1991	Однородные преобразование координатных систем
Slocum A.	1992	Однородные преобразование координатных систем
Soons J.A	1992	Термо-механический анализ квазистационарного состояния
Kiridena V.S.B	1993	Кинематика твердого(rigid) тела(квазистатическая) и однородные преобразование координатных систем
Soons H.	1993	Однородные преобразование координатных систем
Moriwaki T, Sugimura N, Miao Y	1993	Точность движений формообразования(shape generation) на основе однородных преобразований координатных систем
Chen J.	1993,1996	Кинематика твердого тела, нейронные сети
Ferreira P.M	1994	Кинематика твердого тела (квазистатическая) и однородные преобразование координатных систем
Nakazawa H.	1994	Принципы прецизионного проектирования на основе независимых функций и состояний
Spann H.A.M	1995	Однородные преобразования координат. Программный метод компенсации
Hohg, Ehmann	1995	Система поверхностных форм
Yang H.	1996	Нейронные сети
Ni J.	1997	Преобразование координатных систем, авто регрессионный анализ
Inasaki I., Kishinami K., Sakamoto S., Takeuchi Y., Tanaka F.	1997	Теория движений формообразования (shape generation)
Yang H., Lee	1998	Нейронные сети + система изменения и контроля
Wang et al.	1998	Теория Грей систем
Portman V., Inasaki I., Sakakura	1998	Образование форм (Form-shaping) системой

M., Iwatate M .		станка
Okafor A.C Ertekin Y.M	2000	Кинематика твердого тела
Mize, Zeigert	2000	Нейронные сети
Ramesh R.	2000,2004	Нейронные и Байесовские сети
Wang C, Svoboda O, Bach P, Liotto G.	2004	Объемные ошибки не твердого (Non - rigid) тела при диагональном методе их описания
Кузнецов А.П., Косов М.Г.	2012	Структурная точность металлорежущих станков на основе функций состояний

Дальнейшее развитие размерный анализ получил в работах И.М.Колесова. Отказ от идеализированного представления формы тел позволил по-новому описать положение детали в машине и выразить допуски на размеры как функцию параметров, характеризующих отклонение формы поверхности от идеальной. В результате установлено, что детали соприкасаются между собой через комплект точек контакта (опорных точек), которые рассматриваются как материализация системы координат, связанной с деталью. Детали рассматриваются как абсолютно твердые тела, форма которых не изменяется от усилий закрепления и резания, что вполне обосновано при обработке жестких деталей. В таком случае для удержания твердого тела в определенном положении достаточно шести связей. Дальнейшее усложнение схемы определения положения детали достигается путем отказа представления деталей или узлов как абсолютно твердых тел и моделирования связей между деталями в виде упругой подвески или отдельных «пружинок», а затем учета собственных деформаций деталей и узлов технологического оборудования (ТО).

Метод координатных систем с деформируемыми связями приведен в работах Б.М. Базрова. В этом случае сначала производится выбор показателей погрешностей обработки, однозначно отражающих влияние факторов, порождающих погрешности. Затем строится пространственная размерная цепь, замыкающим звеном которой является расстояние между режущей кромкой инструмента и технологической базы детали. Выделяются узлы или детали, изменение положения которых, непосредственно оказывает влияние на точность обработки. На этих деталях строятся координатные системы, то есть, технологическое оборудование представляется совокупностью координатных систем, построенных на звеньях станка. Детали или узлы, а вместе с ними и координатные системы объединяются связями в виде упругих элементов, расположенных в опорных точках. При таком представлении задача математического описания процесса обработки сводится к установлению функциональных зависимостей между факторами, воздействующими на технологическое оборудование. Для упрощения математического описания,

выводится уравнение движения одной из точек режущего инструмента. По отклонению параметров движения этой точки от идеального, можно судить о погрешности обрабатываемой или базируемой поверхности. Математическое описание основано на зависимостях перехода от одной системы координат к другой. Данный метод накладывает такое число связей, которые делают решаемую задачу статически определимой.

В работах В.Г. Митрофанова дано решение подобной задачи для любого числа опорных точек методом винтового исчисления. Положение осей эквивалентных пружин, которые прикладываются в опорных точках, в пространстве задаются их плюскерывыми координатами – направляющими косинусами единичных векторов осей и моментами этих векторов относительно систем координат. Решение статической задачи сводится к определению координат неизвестного винта перемещений по заданным координатам силового винта.

В.Т. Портманом предложен метод, который базируется на матричном выражении для погрешности механического устройства, обобщающий известные формулы классической теории точности механизмов на случай наличия погрешностей положения звеньев по всем шести степеням свободы каждого звена. В аналитическом аппарате метода, важнейшую роль играет модель абсолютно твёрдого тела и интерпретация относительных перемещений звеньев с помощью преобразований координат. Связь между координатными системами моделируется линейными моделями.

Учет собственных и контактных деформаций с позиции контактного взаимодействия и их влияние на точность технологического оборудования производится на основе дискретной модели точности, предложенной в работах М.Г. Косова. В основу метода положено представление узлов и деталей одновременным набором объемных и граничных конечных элементов. Тогда перемещение каждой детали или узла технологического оборудования в пространстве представляется как относительное перемещение конечных объемных и граничных элементов.

Кроме того, такое представление позволяет отказаться от описания узлов и механизмов как абсолютно твердых тел благодаря конечно-элементному описанию их структуры, решить задачи контактного взаимодействия узлов технологического оборудования для любого количества опорных точек, учесть реальный характер распределения зазоров в стыках и свойства поверхностного слоя.

Библиографический список

1. Кузнецов А.П. Тепловое поведение и точность металлорежущих станков. - М.: МГТУ «Станкин», Янус-К, 2011. - 256 с.
2. Косов М.Г. Модели контактных задач в оценке точности машин / М.Г. Косов, А.П. Кузнецов, А.Д. Салдадзе. - М.: МГТУ «Станкин», Янус-К, 2012. - 220 с.

METHODS OF MODELING ACCURACY OF THE TECHNOLOGICAL MACHINES

M.G.Kosov, A.P. Kuznetsov, T.G. Grishina, I.M. Tolkacheva, A.V.Kapitanov

Given in chronological sequence of their appearance methods for assessing and modeling the accuracy of machine tools, their features and applications at various stages of development and operation.

Keywords: chains of size, accuracy, boundary and three-dimensional finite elements, kinematics, neural networks.

МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦИИ В ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.Г. Косов, д.т.н., профессор, **И.М. Толкачёва**, к.т.н., доцент,
Т.Г. Гришина, д.т.н., доцент, **А.В. Капитанов**, к.т.н., доцент,
Д.Е. Искра, д.т.н.

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
г. Москва

Приводится сравнительный анализ точностных моделей, на основании которого предлагается метод декомпозиции.

Ключевые слова: размерные цепи, допуски, отклонения формы, деформации, системы координат.

Обеспечение требуемой точности исполнительных поверхностей машин связано с переходом от допусков на параметры точности замыкающих звеньев к допускам на параметры точности составляющих звеньев. Последние не могут быть назначены достаточно обоснованно без учета физической сущности проявления конструктивных связей как функции реального контактного взаимодействия между деталями и узлами. В связи с этим необходимо решение задачи определения точности машин, охватывающее весь комплекс отмеченных связей [1].

Выбор метода решения возможен на основе следующих позиций:

- допущений относительно неизменяемости формы тел, образующих размерную цепь,
- учета в модели влияния геометрической формы тел (корпусные детали, тела вращения),
- допусков, отклонения формы, положения стыкуемых поверхностей, шероховатости;
- жесткости в стыках,
- изгибной и контактной деформации тел, а также учета статической определимости системы и односторонних или двухсторонних связей.

Б.С. Балакшиным введено понятие размерной цепи и описал пять методов достижения точности, как для плоской, так и для пространственной задачи на основе применения координатных систем. Тела в модели принимались абсолютно жесткими и учитывались только допуски на линейные и угловые размеры.

И.М. Колесовым применена методология размерного анализа, дополненная в размерной цепи параметрами отклонения формы и положений и системой связей размерных и информационных свойств материалов. Поставлена, но не решена задача расчета допусков на составляющие звенья редукторов с учетом деформируемости звеньев.

В.Т. Портманом введены в матричные преобразования координатных систем малые возмущения. В таких матрицах линейные и угловые возмущения для почти параллельных систем координат суммируются.

Б.М. Базровым предложен метод координатных систем с деформируемыми связями, заключающийся во введении в зависимости, описывающие положение детали, упругих связей в виде стержневых моделей. Задача решается как статически определимая, при этом используется как детерминированный, так и стохастический подход, при наложении двусторонних связей в станках.

Б.М. Базровым на основе разработанного им метода координатных систем с деформируемыми связями предложена методика расчета допусков пространственных размерных цепях в стохастической постановке.

В.Г. Митрофановым в координатной форме предложена модель оценки параметров точности для любого количества стержневых двухсторонних связей на основе теории винта при детерминированном подходе.

Д.Н. Решетовым дано решение задач для ряда форм деталей (корпус, вал и т.д.) с учетом контактов в стыках, отклонений формы стыкуемых поверхностей при наложении односторонних связей.

М.Г. Косовым предложена дискретная модель точности на базе, как метода граничных элементов, так и метода конечных элементов для тел произвольной формы, с учетом геометрических погрешностей, как в стохастической, так и в детерминированной постановке.

Сравнительные характеристики различных методических положений, используемых авторами, приведенные в [1], показывают, что поставленная модель точности обладает рядом общих признаков:

- значительная размерность задачи;
- нелинейность отдельных параметров;
- влияние как собственных, так и контактных деформаций на точность;
- влияние допусков, отклонений формы и положений;
- наличие односторонних связей в стыках.

Отдельные параметры могут быть как стохастическими, так и детерминированными.

Поэтому, перечисленные особенности требуют внесения изменений и дополнений в точностные модели.

Для решения точностной задачи могут быть выбраны несколько схем расчета [2]. В первой схеме контактные усилия и области из распределения определяются с учетом одновременного отрыва поверхностей во всех стыках. Такой подход требует значительных затрат машинного времени, т.к. этой схеме присуще физическая и контактная нелинейности, что приводит к использованию громоздких итерационных методов расчета. Расчет упрощается при использовании второй схемы, в которой отрыв поверхностей учитывается по крайней мере в одном стыке, в то время как в остальных стыках связи между контактирующими поверхностями принимаются двусторонними. Разрешающая система уравнений, описывающая взаимодействие деталей по этой схеме, становится проще за счет уменьшения числа нелинейных членов. По третьей расчетной схеме исследуется модель со стержневыми связями,

аппроксимирующими жесткость стыков. В этом случае схема взаимодействия деталей определяется линейной системой уравнений.

В перечисленных расчетных схемах необходимо разрешающую систему уравнений составлять для конструкции станка в целом. Это усложняет процесс разбиения конструкции на конечные элементы, приводит к неоправданным упрощениям расчетных схем отдельных деталей и стыков между ними, требует выделение значительного объема памяти ЭВМ. Кроме того, в процессе счета часто теряется физический смысл решаемой задачи.

Отмеченные недостатки могут быть устранены методом декомпозиции путем последовательного выделения областей влияния, в основу которого положена пошаговая процедура задания суперэлементных связей, перекрывающих друг друга [2]. Т.е. в размерной цепи последовательно выделяются блоки (области влияния). При этом действие отброшенных частей конструкции на каждую область влияния заменяется внешними силами. Эти силы отыскиваются на предыдущем шаге расчета. Условия заделки выбираются такими, чтобы, по возможности, исключить их влияние на напряженно деформированное состояние выделенного узла. Метод декомпозиции применён к оценке бокового зазора и определения параметров пятна контакта между зубьями редуктора[1].

Библиографический список

1. Косов М.Г. Модели контактных задач в оценке точности машин / М.Г. Косов, А.П. Кузнецов, А.Д. Салдадзе. - М.: МГТУ «Станкин», Янус-К, 2012. - 220 с.
2. Косов М.Г. Моделирование точности при автоматизированном проектировании и эксплуатации металлорежущего оборудования. Дисс. док. наук: Станкин, 1985. - 405 с.

THE METHOD OF DECOMPOSITION TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ACCURACY ASSESSMENT

**M.G. Kosov, I.M. Tolkacheva, T.G. Grishina, A.V. Kapitanov,
D.E. Iskra**

A comparative analysis of models accuracy is presented, on which basis the decomposition method is suggested.

Keywords: chains of size, admissions, shape deflection, deformations, coordinate systems.

РАСЧЕТ УСИЛИЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ И ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.А. Кречетов, к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово

Для проектирования упрочняющих технологических процессов, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства изделий, разработан аппарат механики технологического наследования. Дальнейшее развитие механики технологического наследования возможно в направлении оценки на стадии проектирования не только показателей механического состояния металла поверхностного слоя, но и факторов, которые определяют точность размеров и качество поверхности. Одним из важных параметров, который определяет погрешность обработки, являются упругие отжатия технологической системы. Для прогнозирования величины этой составляющей погрешности необходимо на стадии проектирования технологии рассчитывать усилия обработки. Показано, что такой расчет возможен на основе решения контактной задачи взаимодействия обрабатываемой детали и инструмента методом конечных элементов.

Ключевые слова: Механика технологического наследования, проектирование упрочняющих технологических процессов, усилия обработки, метод конечных элементов, контактная задача.

Введение

В современных условиях высокую актуальность приобретает развитие подходов, позволяющих еще на стадии проектирования технологии прогнозировать результат обработки: параметры точности и качества поверхности, эксплуатационные свойства изделий в зависимости от выбранных при проектировании технологических факторов.

Одним из перспективных подходов к проектированию упрочняющих технологических процессов является механика технологического наследования. В соответствии с основными положениями этого подхода эксплуатационные свойства определяются механическим состоянием поверхностного слоя после стадий механической обработки [1].

Значения показателей механического состояния (накопленная степень деформации сдвига Λ , степень исчерпания запаса пластичности Ψ) рассчитываются как результат пластического течения металла вдоль линий тока в очаге деформации. Очаг деформации – это локальный участок поверхностного слоя в состоянии пластического течения, возникающий в результате взаимодействия обрабатываемой детали с инструментом (рисунок 1).

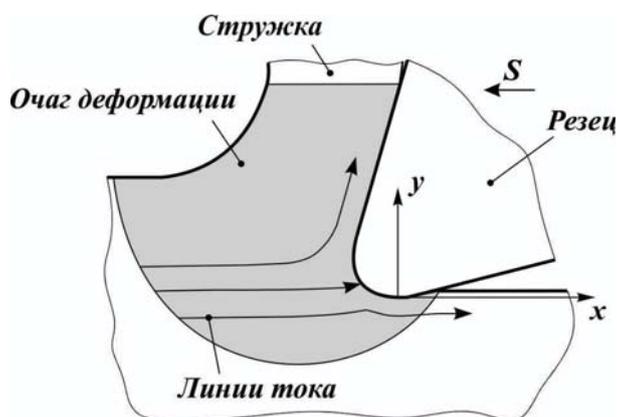


Рисунок 1 - Очаг деформации, возникающий при резании

Использование аппарата механики технологического наследования позволяет по заданным технологическим режимам, геометрии инструмента и базовым механическим свойствам материала определить прогнозируемый ресурс изделия при заданных условиях эксплуатации. Эти представления были положены в основу методик проектирования упрочняющих технологических процессов, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства изделий [1].

Однако опыт практического использования этих методик показывает, что теория механики технологического наследования требует развития, в том числе, в направлении обеспечения заданной точности размеров и заданных параметров шероховатости поверхности.

Теория

Систематическая составляющая погрешности обработки, которая, в том числе, влияет на точность получаемых при механической обработке размеров, определяется погрешностью установки заготовки $\varepsilon_{уст}$ и погрешностью, обусловленной процессом обработки Δ_n [2]:

$$\Delta_n = \Delta_{ин} \pm \Delta_m \pm \Delta_{упр} + \Delta_{см}, \quad (1)$$

где $\Delta_{ин}$, Δ_m , $\Delta_{упр}$ и $\Delta_{см}$ – погрешности, возникающие вследствие неточности изготовления и размерного износа инструмента, температурных деформаций, упругих отжатий в технологической системе и геометрической неточности станка соответственно.

Факторы, влияющие на образование отдельных составляющих систематической погрешности, достаточно хорошо изучены. Однако до настоящего времени остается ряд нерешенных в полной мере задач. Так, величина составляющей погрешности $\Delta_{упр}$ определяется упругими перемещениями в технологической системе станок-приспособление-инструмент-деталь. В свою очередь, эти упругие перемещения зависят от усилий обработки и жесткости элементов технологической системы.

Жесткость элементов технологической системы, как правило, при проектировании технологических операций определена. Оценка усилий обработки, возникающих при резании металлов, в основном, по результатам экспериментальных исследований, например [3]

$$P_{xyz} = 10C_p t^x s^y v^n K_p, \quad (2)$$

где t – глубина резания; s – подача; v – скорость резания; C_p , x , y , n и K_p – эмпирические коэффициенты, при этом коэффициент K_p определяется через другие коэффициенты $K_p = K_{mp} K_{fp} K_{gp} K_{lp} K_{rp}$.

Очевидно, что подобные зависимости работают только в пределах варьирования экспериментальных технологических факторов. Разработка перспективных технологических процессов, применение новых материалов и новых технологических схем обработки потребует выполнения новых трудоемких экспериментальных исследований.

Как было отмечено выше, в соответствии с основными положениями механики технологического наследования расчет показателей механического состояния производится на основе оценки пластического течения в очаге деформации. В свою очередь, закономерности пластического деформирования определяются параметрами напряженно-деформированного состояния в очаге деформации.

Для расчета напряженно-деформированного состояния используется метод конечных элементов [4]. Однако традиционный подход к моделированию контактного взаимодействия обрабатываемой детали и инструмента в процессе механической обработки с применением промышленных конечно-элементных САЕ-систем имеет ряд ограничений и недостатков.

Решение контактной задачи возможно путем включения аппроксимации контактной поверхности индентора непосредственно в систему уравнений конечных элементов, связывающих усилия и перемещения в узлах. Такое решение позволяет повысить точность получаемых значений параметров напряженно-деформированного состояния, а также определить усилия в узлах конечно-элементной модели, требуемые для деформирования обрабатываемого тела, то есть, определить усилие обработки.

Результаты и обсуждение

Для определения усилий и перемещений в узлах конечно-элементной модели решают систему линейных уравнений [5]

$$[K]\{u\} = \{f\}, \quad (3)$$

где $[K]$ – матрица жесткости модели; $\{u\}$ – столбец перемещений узлов; $\{f\}$ – столбец усилий в узлах.

Для плоской постановки задачи (каждый узел имеет две степени свободы – перемещение u и v по осям x и y соответственно) можно записать перемещения узлов через их конечные и начальные координаты и выразить конечные координаты узлов по оси y через координаты по оси x с использованием аппроксимации контактной поверхности индентора после его смещения. В этом случае система уравнений становится неопределенной, так как для каждого узла будет иметься два уравнения с тремя неизвестными – координатой по оси x и усилиями по осям x и y .

Например, для линейного треугольного элемента, показанного на рисунке 2, при условии жесткого закрепления узлов 1 и 2 ($u_1 = v_1 = u_2 = v_2 = 0$) система уравнений примет вид

$$\begin{cases} k_{55}(x_3^k - x_3^h) + k_{56}(a_1 x_3^k + a_0 - y_3^h) = f_3^x \\ k_{56}(x_3^k - x_3^h) + k_{66}(a_1 x_3^k + a_0 - y_3^h) = f_3^y \end{cases} \quad (4)$$

В выражениях (6) k_{ij} – коэффициенты матрицы жесткости; f_3^x и f_3^y – усилия в узле 3 по осям x и y соответственно; a_0 и a_1 – коэффициенты аппроксимации контактной поверхности индентора после смещения; верхние индексы k и h обозначают соответственно конечную (после смещения индентора) и начальную (до смещения индентора) координату узла 3, при этом начальные координаты узла известны.

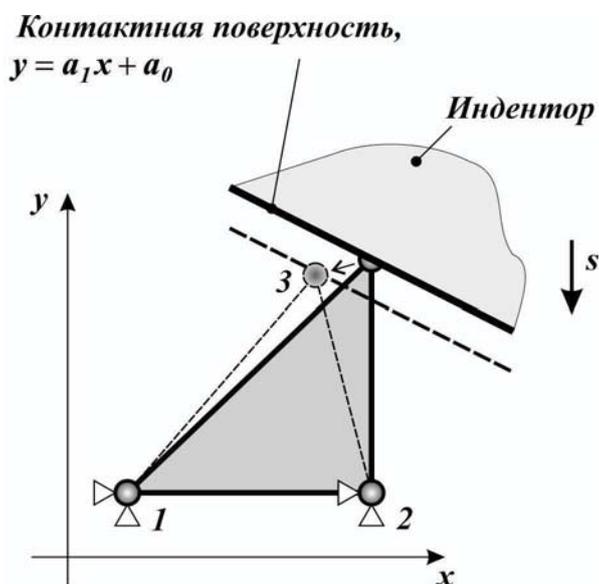


Рисунок 2 - Деформирование линейного треугольного конечного элемента в результате смещения индентора

Решением выражений (4) будет такое значение x_3^k , при котором полная потенциальная энергия системы будет минимальной [6]. В условиях медленного упругого деформирования полная потенциальная энергия системы будет соответствовать работе деформирования:

$$U = W = \frac{1}{2} (f_3^x (x_3^k - x_3^h) + f_3^y (y_3^k - y_3^h)). \quad (5)$$

Пример решения задачи показан на рисунке 3. При моделировании предполагалось, что толщина элемента постоянна и составляет $t = 1$ мм, свойства материала соответствуют стали 45.

После определения усилий в узлах, которые находятся на контактной поверхности, составляющие усилия обработки могут быть определены как

$$P_x = -\sum_{i=1}^n f_i^x, \quad P_y = -\sum_{i=1}^n f_i^y. \quad (6)$$

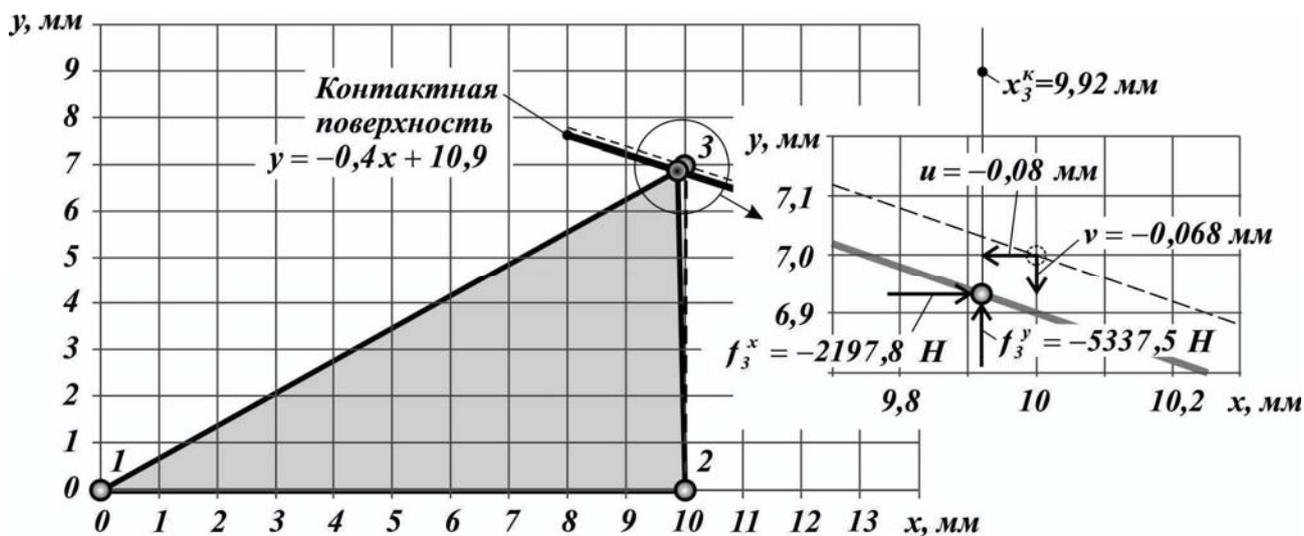


Рисунок 3 - Решение системы (4), соответствующее минимальному значению потенциальной энергии

Выводы

Показано, что расчет усилий обработки возможен путем решения конечно-элементной задачи взаимодействия обрабатываемой детали и индентора. В этом случае составляющие усилия обработки определяются как сумма сил в узлах, которые находятся на контактной поверхности. Перспективным подходом с точки зрения повышения точности решения является включение в систему уравнений, связывающих перемещения и усилия в узлах конечно-элементной модели, аппроксимации контактной поверхности.

Библиографический список

1. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В.М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
2. Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 430 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Кречетов А.А., Мирошин И.В. Моделирование процессов обработки деталей резанием и поверхностным пластическим деформированием // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – №10. – С. 14-19.
5. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
6. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. – М.: Металлургия, 1970. – 229 с.

ESTIMATION FORCES OF MACHININGBASED ON SOLVING THE CONTACT PROBLEM OF INTERACTION OF THE WORKPIECE AND THE TOOL BY FINITE ELEMENT METHOD

A.A. Krechetov

Mechanics of technological inheritance can be the base of hardening processes design providing established operational properties. It can be improved by dimensional precision and surface roughness estimate. Elastic movement of the technological system is one of the important factors of deviation during machining. It needs calculate forces of machining for prediction of this deviation value. It's possibly by solving the contact problem of interaction of the workpiece and the tool based on finite element method.

Keywords: Mechanics of technological inheritance, hardening processes design, forces of machining, finite element method, contact problem

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСЕТЕЙ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

А.А. Кречетов, к.т.н., доцент, **Д.С. Трухманов**, ст. преподаватель
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово

В последнее время для диагностики в режиме реального времени ответственных инфраструктурных сооружений, таких как мосты, здания и трубопроводы, для военной и гражданской авиации, а также космической техники все чаще применяется структурный мониторинг состояния (Structural Health Monitoring – SHM)[1]. Это устоявшийся в англоязычной литературе термин означает процесс обнаружения повреждений и деформаций, а также план мероприятий по исследованию инженерных сооружений.

Широкое применение подобных систем обуславливает увеличение потребностей в датчиках, способных выдавать точные результаты в широких диапазонах измерений и работать в различных средах. При этом повышение эксплуатационных требований к SHM-системам приводит и к повышению требований к датчикам. В ряде случаев использование датчиков, изготовленных с использованием традиционных подходов, не позволяет в полной мере строить современные SHM-системы нового уровня [2]. На сегодняшний день существует несколько основных разновидностей тензометрических датчиков.

Электростатические датчики на основе конденсаторов, по сути, представляют собой две проводящие поверхности, несущие разноименные заряды. Чувствительность таких датчиков пропорциональна площади перекрытия параллельных поверхностей. Несмотря на очевидные плюсы электростатического подхода, такие как простота исполнения, низкая рабочая мощность, высокая скорость реакции, возникают очевидные трудности его применения при мониторинге больших деформаций или перемещений. А высокая чувствительность к внешним вибрациям делает такие датчики не в полной мере практичными для применения в SHM-системах [3].

Пьезорезистивные датчики основаны на использовании пьезорезистивного эффекта, который заключается в изменении сопротивления элемента при возникновении в нем напряжений и деформаций. Строго говоря, пьезорезисторы – это устройства, в которых изменение сопротивления вызвано изменением удельного сопротивления. При этом их сопротивление изменяется гораздо сильнее, чем геометрические размеры при деформации [3]. Устройство, которое изменяет свое сопротивление из-за объемных деформаций, называется тензодатчиком. Обычно для таких датчиков используются различные металлические материалы, а также кристаллический и поликристаллический

кремний. Такие датчики чаще всего используются в качестве датчиков инерции, датчиков давления, датчиков потока и тактильных датчиков [4, 5].

Пьезоэлектрические датчики строятся с использованием материалов, которые вырабатывают электрический заряд или напряжение, когда подвергаются механическим нагрузкам. Пьезоэлектрические кристаллы представляют собой массив из отдельных кристаллических доменов. Когда кристалл подвергается воздействию сильного электрического поля при повышенной температуре, домены, направления которых больше всего совпадают с направлением поля, будут расти и поглощать другие домены кристалла (этот процесс и называется поляризацией). Деполяризации происходит, если пьезоэлектрический материал подвергается сильному воздействию электрического поля противоположной направленности, а также при механических нагрузках или термическом воздействии.

От датчиков для SHM-систем в первую очередь ожидается длительный интервал работы без технического обслуживания и высокая надежность, а деполяризация пьезоэлектрических материалов становится проблемой в том случае, когда требуется стабильность.

Оптические датчики используют деформацию оптоволоконного провода, встроенного в инфраструктуру для обнаружения аномалий в структуре. Некоторые из общих методов оптического зондирования включают анализ полостей Фабри-Перо, использование волоконных брэгговских решеток (ВБР) и рассеяние Мандельштама – Бриллюэна [6, 7, 8]. Хотя данный подход и является достаточно привлекательным для тензометрии, относительная сложность исполнения и узкий динамический диапазон препятствуют применению оптических датчиков деформации в SHM-системах.

Перспективным для создания современных SHM-систем нового уровня является использование в качестве первичных датчиков **углеродных нанотрубок** (УНТ), которые имеют высокие механические, электромеханические и пьезорезистивные свойства [9]. Пьезорезистивное поведение УНТ обусловлено дефектами в структуре нанотрубки. Теоретически, УНТ представляют собой непрерывную гексагональную структуру. Однако в реальных УНТ присутствуют топологические дефекты, такие как пяти- и восьмиугольники. Под действием нагрузки нанотрубка деформируется и движения дислокаций приводят к изменению электрических свойств, в том числе и изменению проводимости [11].

Использование отдельных УНТ в качестве чувствительного элемента для первичных датчиков затруднительно. Это связано с тем, что отдельные УНТ сложно калибровать в больших масштабах, и они имеют ограничения по максимальной длине. Кроме того, разрушение одной УНТ по какой-либо причине приводит к выходу из строя всего устройства.

В связи с этим, для создания новых первичных датчиков SHM-систем было предложено использовать двумерную сеть из массива нанотрубок, расположенных случайным образом – наносеть из углеродных нанотрубок

(УНТ-наносеть) [11]. В данном случае под двумерной сетью понимается такой объект, длина и ширина которого много больше его толщины.

Сопротивление датчика на основе УНТ-сети зависит не только от дислокаций в пределах одной нанотрубки, но и от относительного позиционирования соседних УНТ, которое определяет эффективные электрические характеристики проводящих контуров. Это обеспечивает более широкий динамический диапазон измерения деформации и напряжений.

В настоящее время развиваются разные подходы к изготовлению УНТ-сетей. Одним из самых технологичных способов создания УНТ-наносети является осаждение УНТ из раствора на подложке. В этом случае УНТ-наносеть образуется, когда раствор УНТ, например, в диметилформамиде, пропускают через бумажный фильтр или тефлон, и сушат в вакууме [14]. Такие УНТ-наносети в англоязычной литературе получили название *viscureper* или «углеродная бумага».

Во многих университетах и НИИ по всему миру ведутся разработки несколько типов тензодатчиков, основанных на УНТ-сетях, в частности *viscureper*, которые можно будет применять не только в SHM-системах, но и для биологического мониторинга. Дэниель Тэк Инь Ау из Университета Ватрелоо исследовал механические свойства тензометрических датчиков, чувствительным элементом в которых выступал осажденный субстрат из нанотрубок. Для определения модуля упругости было проведено ряд циклических испытаний. Датчики показывали очень высокую повторяемость результатов на протяжении большого количества циклов нагружения-разгружения (график практически сливается в одну линию). Модуль упругости был определен, как 0,7 ГПа.

С. М. Вемуру и Р. Вахи в своей работе по изучению эффективности применения в тензометрии пленок, состоящих их многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) провели ряд испытаний по деформации медного образца, с установленным на нем тензодатчиком. На рисунках 1 и 2 приведены некоторые результаты этих испытаний, из которых хорошо видно высокую чувствительность подобных датчиков.

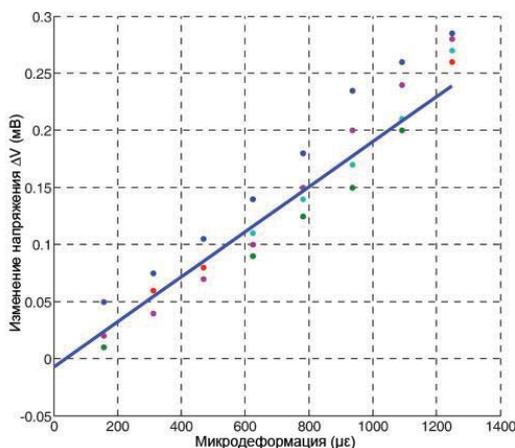


Рисунок 1 - Изменение напряжения в МУНТ-пленке в зависимости от деформации медного образца

Однако использование Вискурарег в качестве первичного датчика SHM-систем затрудняется возможным снижением их чувствительности. Это связано с тем, что отдельные нанотрубки в Вискурарег в процессе деформации могут проскальзывать друг относительно друга [13, 14].

Одной из частных проблем при изготовлении Вискурарег является использование для диспергирования нанотрубок в раствор механической ультразвуковой дисперсии или перемешивания. Это может приводить к разрушению отдельных нанотрубок, что нарушает заданную концентрацию раствора и ухудшает электрические свойства полученной Вискурарег [13, 14, 15]. Также, существующие технологии изготовления Вискурарег обуславливают недетерминированный характер формирования УНТ-наносети, что отрицательно сказывается на стабильности измерений и чувствительности датчиков.

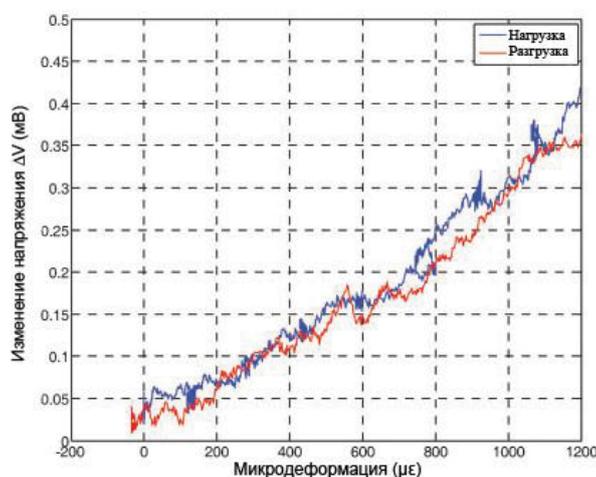


Рисунок 2 - Зависимость изменения напряжения в зависимости от деформации во время нагрузки и разгрузки образца

Таким образом, повышение эффективности перспективных датчиков SHM-систем нового уровня на основе Вискурарег требует исследований стабильности измерений этих датчиков, разработки такого исполнения датчика, которое позволило бы снизить негативное влияние проскальзывания нанотрубок друг относительно друга.

На сегодняшний день нами была разработана и протестирована на возможность изготовления и применения конструкция тензодатчика на основе вискурарег, которая схематично представлена на рис. 3. Такая конструкция позволяет обеспечить высокую прилегаемость датчика к поверхности исследуемого изделия, а также простоту и низкую стоимость его изготовления. Сейчас ведутся работы по совершенствованию данной конструкции в целях повышения качества, надежности и улучшения эксплуатационных характеристик.

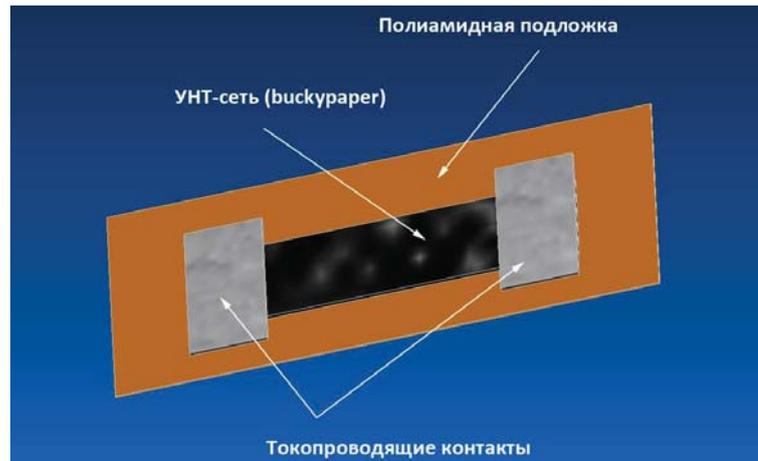


Рисунок 3 – Схематичная конструкция тензорезистивного датчика на основе бускурапер

Библиографический список

1. Dawson, Brian, «Vibration condition monitoring techniques for rotating machinery», The Shock and Vibration Digest, London: SpringerLink, 1976.
2. K. Huang, P. Peumans. Stretchable silicon sensor networks for structural health monitoring // Smart Structures and Materials 2006: Sensors and Smart Structures Tech. for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems, p. 617412, 1997.
3. C. Liu. Foundations of MEMS. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc., 2006.
4. J. Engel et al., Polymer-based MEMS multi-modal sensory array // Polymer Preprints, vol. 44, no. 2, pp. 534-535, 2003.
5. Y. Kanda, Piezoresistance effect of silicon // Sensors and Actuators A: Physical, vol. 28, pp. 83-91, 1991.
6. L. Zou et al., Structural health monitoring of pipeline with distributed Brillouin sensor // Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructures, Z. Wu and M. Abe, Eds. Lisse, The Netherlands: Swets and Zeitlinger B. V., 2003, pp. 65–71.
7. A. Mufti, Integration of sensing in civil structures: Development of the new discipline of Civionics // Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructures, Z. Wu and M. Abe, Eds. Lisse, The Netherlands: Swets and Zeitlinger B. V., 2003, pp. 65-71.
8. M. J. Schulz et al., Nanoengineering of Structural // Functional and Smart Materials. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
9. M. S. Dresselhaus, Carbon Nanotubes: Synthesis, Structure, Properties and Applications. New York, NY: Springer-Verlag, 2001.
10. V. Gayathri, R. Geetha, Carbon nanotube as NEMS sensor – effect of chirality and stone-wales defect intend // Journal of Physics: Conference Series, vol. 34, pp. 824-828, 2006.

11. Y. Nakayama, Plasticity of carbon nanotubes: Aiming at their use in nanosized devices // Jap. Jour. of Appl. Phys., vol. 46, no. 8A, pp. 5005-5014, 2007.
12. I. Kang, Building smart materials using carbon nanotubes // Smart Electronics, MEMS, and BioMEMS, and Nanotechnology Conference, 2004, vol. 5389, pp. 167-175.
13. K. Liao and S. Li, Interfacial characteristics of a carbon nanotube-polystyrene composite system // Applied Physics Letters, vol. 79, no. 50, pp. 4225-4227, 2001.
14. P. Dharap et al., Nanotube film based on single-wall carbon nanotubes for strain sensing // Nanotechnology, vol. 15, pp. 379-382, 2004. 40
15. K. L. Lu et al., Mechanical damage of carbon nanotubes by ultrasound // Carbon, vol. 34, p. 814, 1996.

APPLICATION OF NANO-NETWORKS OF CARBON NANOTUBES AS SENSING ELEMENTS STRAIN SENSORS IN DIAGNOSIS OF THE CONDITION OF CONSTRUCTIONS

A. A. Krechetov, D.S. Trukhmanov

The article describes the existing types of strain gauges, evaluated their advantages and disadvantages. Based on this information assessed prospects for the application of CNT networks, as strain-sensing elements of the primary sensors in SHM-systems. Analyzed the main methods of CNT networks, such as, buckypaper, and the main problems in the existing technologies of their production.

Keywords: strain measurement, structural health monitoring, carbon nanotubes, strain gages, strain gauges, CNT-network buckypaper.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

В.П. Кузнецов, к.т.н., доцент, **В.Г. Горгоц**, к.т.н., доцент,
А.С. Скоробогатов, аспирант, **Г.С. Анисимова**, инженер
Курганский государственный университет, г. Курган

В докладе предложен подход к управлению теплофизическим состоянием поверхностного слоя и режимами финишной обработки деталей из конструкционных сталей наноструктурирующим выглаживанием на основе теоретико-экспериментального обоснования параметров системы теплоотвода инструмента и критерия сдвиговой неустойчивости материала.

Ключевые слова: наноструктурирующее выглаживание, сдвиговая неустойчивость материала, теплоотводящая система инструмента

Современные подходы к повышению надежности машин и механизмов основываются на принципиально новых методах упрочнения поверхностных слоев традиционно используемых сталей и сплавов за счет нанесения покрытий и формирования наноструктурного состояния интенсивной пластической деформацией [1,2].

Концепция финишной технологии наноструктурирующего выглаживания состоит в том, что интенсивная пластическая деформация достигается путем многократного нагружения поверхностного слоя. Управление нагружением осуществляется комбинацией нормальных напряжений, развиваемых силой выглаживания, и напряжений сдвига, обеспечиваемых трением в зоне контактного взаимодействия индентора инструмента и поверхностного слоя [3]. Нормальная нагрузка (сила выглаживания), сила трения и скорость обработки определяют интенсивность накопления деформаций и мощность генерации тепла в деформируемом поверхностном слое.

Теплофизические основы наноструктурирующего выглаживания определяют разработку методов и средств поддержания допустимого уровня температуры поверхностного слоя по условиям наноструктурирования интенсивной пластической деформацией и производительности обработки.

Задачи анализа теплофизики процесса состоят в установлении связи:

- температуры поверхностного слоя в контактной зоне очага деформации с силой трения, скоростью обработки и теплопроводностью модифицированного материала и элементов инструмента в условиях принудительного отвода тепла от индентора различными способами;
- температуры в контактной зоне очага деформации и критического состояния сдвиговой неустойчивости материала поверхностного слоя.

Критическое состояние сдвиговой неустойчивости материала при трении возникает в условиях повышения скорости и характеризуется существенным ухудшением шероховатости и наступлением адгезионного схватывания и разрушения.

Кроме того, должны быть решены задачи синтеза системы теплоотвода инструмента с целью повышения производительности процесса в условиях поддержания требуемого уровня силы трения и сдвиговых деформаций.

Теоретические основы теплофизики алмазного выглаживания и определение температуры в зоне контакта рассмотрены в работе [4]. Получена зависимость, позволяющая определять максимальную температуру в очаге деформации поверхностного слоя от скорости выглаживания, тангенциальной силы, касательных напряжений, а также от глубины проникновения пластических деформаций и соотношения теплопроводности материалов инструмента и детали только для адиабатических условий процесса.

Математическая зависимость температуры получена на основе классического подхода, развитого в работах Д. Егера и Н.Н. Рыкалина. Установлено, что источник тепла при выглаживании может быть отнесен к быстродвижущимся согласно безразмерному критерию Пекле Pe . Для быстродвижущихся источников тепла $Pe \geq 5$.

Ранее выполненные теоретические исследования теплофизики выглаживания не позволяют решать задачи управления температурой в тонком поверхностном слое в условиях повышенной фрикционной нагрузки. Проблема отвода тепла от индентора инструмента впервые поставлена в работе [5]. Приведены экспериментальные данные по возможности снижения контактной температуры при алмажном выглаживании на 30...40 % за счет установки на индентор воздушного радиатора. Однако теоретического обоснования эффективности теплоотвода и практического применения этот способ не нашел.

Вопросы сдвиговой неустойчивости материала поверхностного слоя при трении рассмотрены в работах А.В. Колубаева и С.Ю. Тарасова [6,7].

Для теоретического решения задачи управления температурным режимом поверхностного слоя при наноструктурирующем выглаживании с применением теплоотвода в сложной многоэлементной теплопередающей системе поверхностного слоя и инструмента использован метод эквивалентных тепловых сетей, разработанный Х.Блоком [8].

Математическая модель теплофизики процесса строится на основе обобщенной эквивалентной схемы возможных вариантов систем теплоотвода от индентора инструмента [9] и представляет собой систему уравнений теплового баланса в матричной форме записи узловых тепловых потоков, проводимостей и температур. Узловые проводимости – это обратные величины объемных и контактных термических сопротивлений поверхностного слоя и элементов инструмента.

Термические сопротивления поверхностного слоя и элементов теплоотводящей системы устанавливают связь источника тепловыделения процесса мощностью $q_{нсв}$ и распределение теплового потока с возможными стоками тепла. Мощность $q_{нсв} = F_B \mu v_B$, где F_B – сила выглаживания, μ – коэффициент трения, v_B – скорость выглаживания.

В зависимости от физической природы термические сопротивления наноструктурирующего выглаживания классифицированы в группы:

- объемные, обусловленные теплопроводностью материалов заготовки, поверхностного слоя, подвергнутого интенсивной пластической деформации сдвига, и теплоотводящих элементов инструмента;

- контактные поверхностного слоя и рабочего элемента индентора, вызванные сужением теплового потока в относительно малой области контакта в сравнении с размерами нагреваемого объема заготовки (сопротивления стягивания);

- контактные, обусловленные конвективным теплообменом поверхностей теплоотвода инструмента на границе с охлаждающими средами;

- контактные, определяемые зазором между подвижным индентором и корпусом инструмента.

Для решения общей задачи управления теплоотводом наноструктурирующего выглаживания и поддержания допустимого уровня температуры в очаге деформации поверхностного слоя достаточно ограничиться определением температур в характерных точках эквивалентной тепловой схемы и параметров термических сопротивлений. Число элементов разбиения эквивалентной тепловой схемы (термических сопротивлений) зависит от типа теплоотводящей системы в соответствии со способом подвода к индентору инструмента охлаждающих сред.

Таким образом, математическая модель теплофизики наноструктурирующего выглаживания может быть представлена в виде системы уравнений теплового баланса для всех возможных конфигураций теплоотводящих систем:

$$\begin{cases} G_{11}\Theta_1 - G_{12}\Theta_2 - G_{13}\Theta_3 = q_1 \\ -G_{21}\Theta_1 - G_{22}\Theta_2 - G_{23}\Theta_3 = q_2, \\ -G_{31}\Theta_1 - G_{32}\Theta_2 - G_{33}\Theta_3 = q_3 \end{cases} \quad (1)$$

где G_{ij} – расчетные узловые проводимости; q_i – узловые тепловые потоки, Θ_i – узловые температуры. Следует учитывать, что $q_{\text{НСВ}} = \sum_1^n q_i$.

Решения системы уравнений математической модели теплофизики процесса с различными конфигурациями теплоотводящей системы выполняются численным моделированием. Моделирование выполнено применительно к системам теплоотвода, которые предусматривают отвод тепла от индентора инструмента воздушной конвекцией, а также в наружную или внутреннюю среду охлаждения СОТС или специального низкотемпературного реагента.

Экспериментальное исследование влияния скорости обработки на сдвиговую неустойчивость поверхностного слоя проводилось с помощью физического моделирования наноструктурирующего выглаживания цементованной стали 20X(HRC65) и термоупрочненной стали 20X13(HB460). Обрабатывались торцевые поверхности плоских дисков после чистового точения твердосплавной пластиной Sandvik WNGA 080408 с режимами (скорость обработки 80 м/мин, подача инструмента 0,06 мм/об), обеспечивающими минимальную шероховатость Ra соответственно 0,34 мкм и 0,76 мкм.

Наноструктурирующее выглаживание проводилось при оптимальных для формирования наноструктурного состояния поверхностного слоя силе выглаживания, силе трения и подаче инструмента на токарно-фрезерном центре Multus B300-W. Перемещение индентора инструмента осуществлялось от центра детали диаметром 80 мм к периферии, что обеспечивало изменение скорости выглаживания v_b от 1 до 50 м/мин.

При наноструктурирующем выглаживании стали 20X(HRC65) сила выглаживания задавалась равной 200 Н, подача инструмента 0,04 мм/об. Обработка проводилась инструментом с рабочей частью из плотного кубического нитрида бора DBN при охлаждении индентора естественной воздушной конвекцией (коэффициент трения $\mu \approx 0,34$) и с принудительным наружным охлаждением COTC Rhenus ($\mu \approx 0,13$). Наноструктурирующее выглаживание стали 20X13(HB460) осуществлялось синтетическим алмазом АСПМ-3 с охлаждением индентора естественной воздушной конвекцией ($\mu = 0,14$) при силе выглаживания 340Н и подаче 0,04 мм/об.

Зависимость среднего арифметического отклонения профиля выглаженной поверхности Ra от скорости выглаживания v_b (рис. 1) указывает на наличие трех зон. Зона I характеризуется стабильно минимальным уровнем шероховатости. Зона II – зона, в которой шероховатость Ra растет у всех выглаженных образцов. Зона III – зона критического состояния сдвиговой неустойчивости. Как следует из рисунка 1, критическая скорость выглаживания стали 20X (HRC65) инструментом с рабочей частью из DBN при коэффициенте трения $\mu \approx 0,34$ находится в пределах 12 м/мин (см. кривую 1).

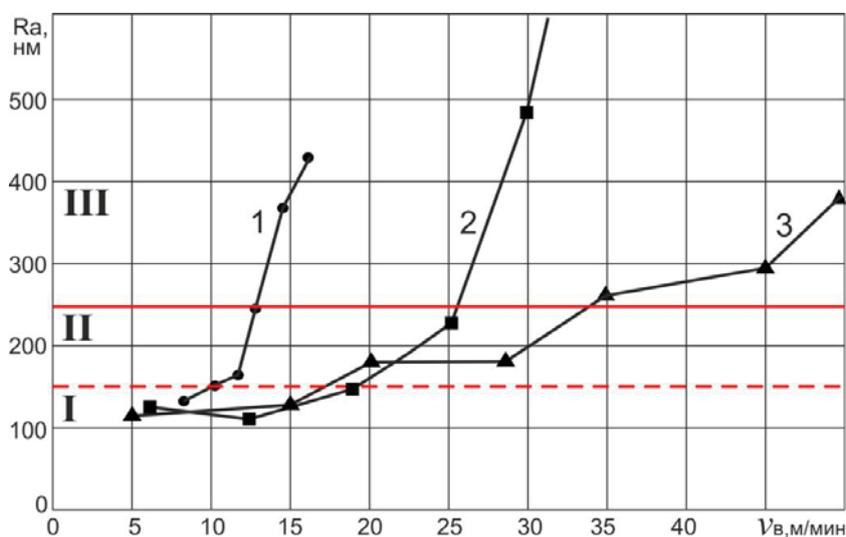


Рисунок 1 - Зависимость среднего арифметического отклонения профиля Ra от скорости выглаживания v_b : 1 – сталь 20X(DBN; сухой воздух, $\mu=0,34$); 2 – сталь 20X13 (APSM-3, сухой воздух, $\mu=0,14$); 3 – сталь 20X (APSM-3, $\mu=0,13$, COTC Rhenus)

При выглаживании образцов из стали 20X13(HB460) синтетическим алмазом при скорости выглаживания ~ 25 м/мин возникают автоколебания (кривая 2 на рис. 1). При дальнейшем увеличении скорости выше 25 м/мин среднее

арифметическое отклонение профиля Ra увеличивается примерно до 1,5 мкм. Таким образом, скорость 25 м/мин является критической скоростью наноструктурирующего выглаживания стали 20X13 (HB460) при $\mu=0.14$ вследствие потери динамической устойчивости.

Для определения температурного порога наступления критического состояния сдвиговой неустойчивости сталей при наноструктурирующем выглаживании использовался выглаживающий инструмент со встроенной термопарой и циркониевой теплоизолирующей втулкой [10]. Температура внутри инструмента была близка к температуре в контакте инструмента и материала поверхностного слоя.

Экспериментально установлено, что температурный порог сдвиговой неустойчивости стали 20X(HRC55) равен ~ 295 °С и в адиабатических условиях наступает при скорости 2...3 м/мин. Аналогичным образом определена пороговая температура потери сдвиговой устойчивости ~ 370 °С для стали 20X13(HB460). Экспериментально измеренный температурный порог близок к значению, полученному при численном моделировании процесса в адиабатических условиях. Результаты численного моделирования температуры в очаге деформации наноструктурированного поверхностного слоя приведены на рисунке 2.

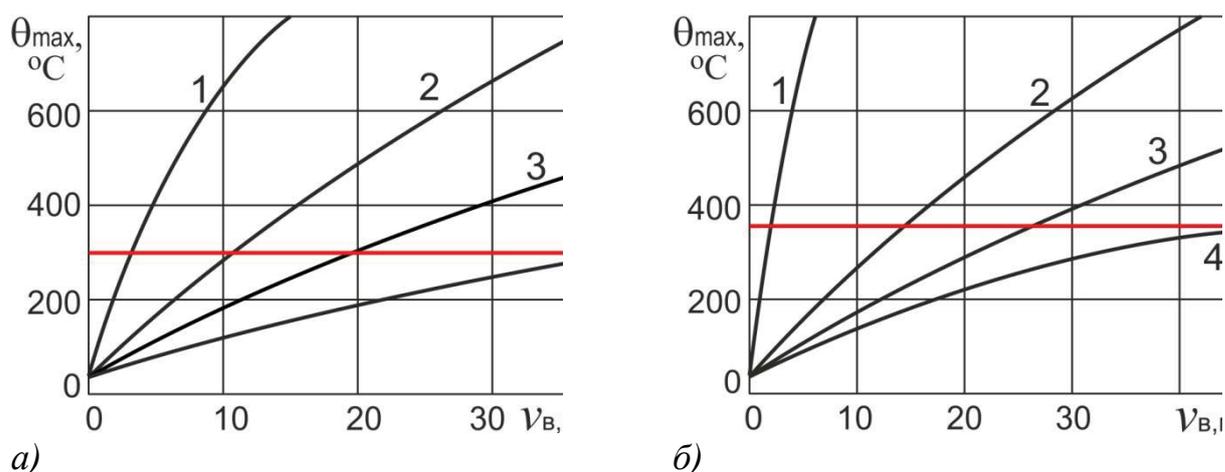


Рисунок 2 - Зависимость максимальной температуры в очаге деформации от скорости обработки сталей инструментом с радиусом рабочей части индентора 2 мм при подаче 0,04 мм/об: а – стали 20X(HRC55) с силой 200 Н материалом DBN; б – стали 20X13(HB460) с силой 350 Н синтетическим алмазом АСПМ-3

Анализ полученных зависимостей показал ограниченные возможности повышения производительности наноструктурирующего выглаживания при использовании инструмента с теплоотводом от индентора наружной конвекцией. Повышение скорости обработки стали 20X14 (HB460) до 26 м/мин и стали 20X (HRC65) до 20 м/мин удалось обеспечить за счет специального инструмента с внутренним отводом тепла от индентора с помощью СОТС под давлением.

Работа выполнена в рамках государственного заказа на НИР №01201461774

Библиографический список

1. Кузнецов В.П. Технология наноструктурирующего выглаживания на основе теоретического обоснования и создания инструмента с теплоотводящей системой // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2013. – №11(29). – С.19–30.
2. Кузнецов В.П., Горгоц В.Г., Скоробогатов А.С., Анисимова Г.С. Финишная технология наноструктурирующего выглаживания поверхностных слоев при обработке деталей машиностроения на многоцелевых станках // Нанотехнологии – производству: Тезисы докладов X научно-практической конференции, 2-4 апреля 2014, г. Фрязино. – М.: Изд-во «Янус-К», С. 47-48.
3. Пат. 2460628 РФ. Способ наноструктурирующего упрочнения поверхностного слоя прецизионных деталей выглаживанием / Кузнецов В.П. 10.09.2007 г.
4. Резников А.Н., Барац Я.И. Применение алмазного выглаживания для отделочно-упрочняющей обработки // Вестник машиностроения. – 1970 – №1.
5. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 287 с.
6. Tarasov S., Rubtsov V., Kolubaev A. Subsurface shear instability and nanostructuring of metals in sliding // Wear 268, 59 (2010). S.Yu. Tarasov, V.E. Rubtsov Shear instability in the subsurface layer of a material in friction. – 2011. – 53(2): 358-362.
7. Тарасов С.Ю., Рубцов В.Е. Сдвиговая неустойчивость в подповерхностном слое материала при трении // Физика твердого тела. – 2011. – Т.53(2). – С. 336–340.
8. Blok H. Thermo-Tribology – Fifty Years on //Proc. Inst. Conf. Tribology – Friction, Lubrication and Wear. – IMechE (UK). – 1987. – Vol. 1. – P. 1–8.
9. Патент 129443 РФ. Выглаживающий инструмент с охлаждением индентора / Кузнецов В.П., Горгоц В.Г., Кузнецова Е.М. 27.06.2013 г.
10. Патент 126979 РФ. Инструмент с системой контроля температуры поверхностного слоя в контактной зоне очага деформации для наноструктурирующего выглаживания / Кузнецов В.П. 20.04.2013 г.

ТHERMOPHYSICAL BASICS OF NANOSTRUCTURING BURNISHING

V.P. Kuznetsov, V.G. Gorgots, A.S. Skorobogatov, G.S. Anisimova

The approach to control of surface layer thermophysical condition and parameters of finishing of parts made of structural steels by nanostructuring burnishing on the basis of theoretical and experimental identification of tool heat removal system and material shear instability criterion is given.

Keywords: nanostructuring burnishing, shear instability of material, heat removal system

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПОЛНОСТЬЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ле Суан Хонг, аспирант

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

В настоящее время в связи с развитием полупроводниковой преобразовательной техники появилось много возможностей совершенствования тягового электропривода. Статья посвящена анализу и оценке перспективы развития полупроводниковых преобразователей для транспортных систем электропривода.

Ключевые слова: Полупроводниковый преобразователь, широтно-импульсный преобразователь, маловентильный непосредственный преобразователь частоты, силовой полупроводниковый прибор, Транзисторные защищенные ключи.

Сегодня приблизительно по половине железных дорог электрифицировано на постоянном и переменном токе. Электроподвижный состав (ЭПС) с электроснабжением переменным током классифицируется, хотя и некорректно, как ЭПС переменного тока. Электроснабжение городского уличного (трамвай и троллейбус) ЭПС и поездов метро производится только постоянным током.

В связи с развитием полупроводниковой преобразовательной техники появилось много возможностей совершенствования тягового электропривода (ТЭП) [1–2]. Среди них: использование на ЭПС с традиционными тяговыми машинами (ТМ) при электроснабжении постоянным током импульсного управления и при электроснабжении переменным током – плавного регулирования напряжения питания ТМ и рекуперативного торможения и на обоих типах ЭПС с коллекторными тяговыми машинами (КТМ) независимого возбуждения (НВ), а также – применение бесколлекторных ТМ – асинхронных, вентильных (ВТМ) и индукторных (ИТМ).

Роль полупроводниковых преобразователей в системах электропривода (ЭП) железнодорожного, автономного внутризаводского транспорта и других транспортных средств неуклонно возрастает. Расширяется номенклатура используемых приборов и типов структур полупроводникового электропривода. В зависимости от предъявляемых требований ЭП транспортных устройств можно разделить на две группы.

Первая группа – широкодиапазонные и высокодинамичные транспортные электроприводы с автоматическими оптимизированными по определенным параметрам законами управления и регулирования.

Для этой группы приводов перспективно применение электроприводов постоянного и переменного тока, построенных по принципу замкнутых систем, в которых используются законы управления по цепи якоря и комбинированное управление двигателями постоянного тока (ДПТ), и частотные способы регулирования машин переменного тока – асинхронных (АМ) и синхронных

вентильных двигателей (ВД). В этом случае применяются следующие основные структуры силовой цепи ЭП: источник питания постоянного тока или сеть переменного тока с неуправляемым выпрямителем-силовой LC – фильтр – широтно – преобразователь (ШИП) – ДПТ; источник питания постоянного напряжения – силовой LC – фильтр – автономный инвертор тока или напряжения модуляционного типа – АМ или ВД; источник питания переменного тока – полновентильный непосредственный преобразователь частоты (НПЧ) – машина переменного тока.

Вторая группа – электроприводы транспортных устройств с несложными ступенчатыми законами регулирования, основные требования к которым связаны с низкой стоимостью, металлоемкостью, высокой надежностью и простотой обслуживания. Для второй группы ЭП перспективны следующие структуры силовых цепей: сеть переменного тока с неуправляемым выпрямителем или источник постоянного тока с выходным LC – фильтром – простейший ШИП – ДПТ; сеть переменного напряжения – полупроводниковый регулятор напряжения с фазовым управлением – АМ; сеть переменного напряжения – маловентильный непосредственный преобразователь частоты (МНПЧ) с квазичастотным или смешанным фазочастотным управлением – АМ.

Успех внедрения преобразователей модуляционного типа в электроприводах транспортных устройств в значительной степени зависит от развития приборной элементной базы, ассортимента полупроводниковых приборов, правильности расчета возможных режимов работы приборов в преобразователях. Необходимо также располагать полной информацией о статических и динамических характеристиках силовых полупроводниковых приборов (СПП), их областях безопасной работы (ОБР) в статических и импульсных режимах.

Основным прибором в тяговых системах полупроводникового электропривода являлся тиристор. Однако развитие элементной базы полупроводниковой техники позволит в ближайшем будущем ограничить область использования тиристоров, сохранив их в преобразователях с непосредственной связью с питающей сетью переменного напряжения.

Для создания преобразователей транспортных устройств со звеном постоянного тока более перспективны полупроводниковые приборы и силовые модули с полным управлением (запираемые по управляющему электроду) по ряду причин (более низкая стоимость и высокая надежность вследствие отсутствия коммутирующих устройств, лучшие динамические качества, возможность повышения несущей частоты и выбора разнообразных видов ШИМ).

Применение полностью управляемых приборов позволяет использовать различные виды модуляции, что снижает содержание высших гармоник в токах электрической машины, пульсации вращающего момента, уменьшает добавочные потери мощности в них, а также обеспечивает снижение воздействия преобразователя на питающую сеть, уровней шумов и повышение надежности системы.

Дальнейшее совершенствование полностью управляемых полупроводниковых приборов идет по пути улучшения их динамических качеств, снижения энергетических затрат на управление путем использования МОП (металл — оксид — полупроводник) и МО (металл — оксид) *S*-структур, повышения мощности в одном модуле, дополнения силового прибора элементами управления, защиты, индикации состояния, смонтированными в общем блоке.

Транзисторные защищенные ключи постоянного и переменного токов обеспечивают защиты по мгновенной рассеиваемой мощности в приборе от рабочих и случайных перенапряжений, ограничивают скорость изменения коллекторного напряжения и имеют встроенные устройства диагностики.

Приводятся технические характеристики разработанных защищенных транзисторных ключей, особенности их режимов и результаты эксплуатации. Установлены рациональные области применения различных запираемых СПП в регулируемых приводах, определяемые мощностью и видом используемой в преобразователе модуляции, диапазоном регулирования скорости в системе. Рассматриваются также некоторые схмотехнические и конструктивные решения, повышающие помехозащищенность и ЭМС преобразователей модуляционного типа [3].

Библиографический список

1. Пименова А.А., Тулупов В.Д. Оценка технико-энергетической эффективности альтернативных систем тягового электропривода. Тезисы докладов. Четырнадцатая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. - Москва, 2008. - с. 195-197.

2. Тулупов В.Д. Тяговый электропривод постоянного тока с наилучшими технико-экономическими показателями. Сборник "Электросила", выпуск 41. - Санкт-Петербург, 2002. - с. 196-210.

3. Глазенко Т.А. Перспективы развития полупроводниковых преобразователей для транспортных систем электропривода. Тезисы докладов. Вторая Международная научно-техническая конференция "Проблемы создания подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями". - Рига, 1990. - с. 34-36.

ANALYSIS AND EVALUATION THE DEVELOPMENT PROSPECTS OF SEMICONDUCTOR CONVERTERS ON FULLY MANAGED SEMICONDUCTORS FOR ELECTRIC TRANSPORTATION SYSTEMS

Le Xuan Hong

Currently, due to the development of semiconductor converter technology, many ways of improving traction drive. This article analyzes the prospects for the development and evaluation of semiconductor converters for electric transportation systems.

Keywords: Semiconductor converters, pulse-width converter, malorientilny direct frequency converter, power semiconductors, transistor protected keys.

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ $3\text{Ti}+\text{Al}$ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СИНТЕЗА В УСЛОВИЯХ ОБЪЕМНОГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

М.В. Логинова, к.т.н., с.н.с., **В.Ю. Филимонов**, д.ф.-м.н., профессор,
В.И. Яковлев, к.т.н., с.н.с., **А.А. Ситников**, д.т.н., профессор, **А.З. Негодяев**,
аспирант, **А.В. Афанасьев**, к.т.н., **Д.В. Шрейфер**, аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Проведен высокотемпературный синтез предварительно механоактивированной порошковой смеси состава $3\text{Ti}+\text{Al}$ в условиях объемного воспламенения методом разогрева смеси высокочастотными электромагнитными полями. Исследовано влияние основных макрокинетических режимов высокотемпературного синтеза на структурно-фазовое состояние механоактивированной порошковой смеси $3\text{Ti}+\text{Al}$. Выделены оптимальные параметры синтеза для получения монофазного интерметаллида Ti_3Al .

Ключевые слова: высокотемпературный синтез, индукционный нагрев, механоактивация, структурообразование, фазообразование, рентгеновская дифрактометрия.

Введение

Одной из важных задач современного материаловедения является разработка новых конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами, предназначенных для эксплуатации в тяжелых условиях внешнего нагружения. К таким материалам относятся сплавы на основе алюминидов титана (Ti_3Al , TiAl). Обладая уникальным набором свойств, таких как высокая прочность, износостойкость, низкая плотность, стойкость к воздействию агрессивных сред и т.д., они являются востребованными в авиа- космической промышленности, судостроении, автомобилестроении, энергостроении и т.п. В настоящее время особый интерес представляют сплавы на основе соединения Ti_3Al [1-2].

Традиционные способы получения интерметаллидов на основе алюминидов титана (порошковая металлургия, литейные, электро-дуговые технологии и т.д.) продолжительны, многостадийны, дорогостоящие, не дают чистоты и монофазности при выходе конечного продукта [3]. Эффективным способом, позволяющим получать новые композиционные материалы и влиять на структуру шихты и параметры синтеза является сочетание предварительной механоактивации и высокотемпературного синтеза (СВС) [4-6]. Для получения продукта требуемого состава и свойств необходимо знать и уметь управлять процессами структуро- и фазообразования [7].

Экспериментальная методика

Для выявления влияния параметров синтеза на структуро- и фазообразование конечного продукта в предварительно механоактивированной порошковой смеси состава $3\text{Ti}+\text{Al}$, были проведены эксперименты по высокотемпературному синтезу в режиме динамического теплового взрыва

путем нагрева смеси в быстропеременных электромагнитных полях, с изменением подводимой мощности индуктора и варьированием временами выдержки после завершения химической реакции. Предварительную механоактивацию исходной порошковой смеси $3\text{Ti}+\text{Al}$, проводили в планетарной шаровой мельнице АГО–2С с водяным охлаждением, при отношении массы мелющих тел к массе исходного сырья 1:20 в течение 7 мин. Высокотемпературный синтез реализовывался в режиме теплового взрыва методом индукционного нагрева на базе высокочастотного электромагнитного нагревателя 6А [8].

Результаты и обсуждения

На рисунке 1 представлены характерные термограммы, полученные в процессе высокотемпературного синтеза в условиях объемного воспламенения предварительно механоактивированной смеси состава $3\text{Ti}+\text{Al}$ при подводимой мощности индуктора 10 Вт и 20 Вт.

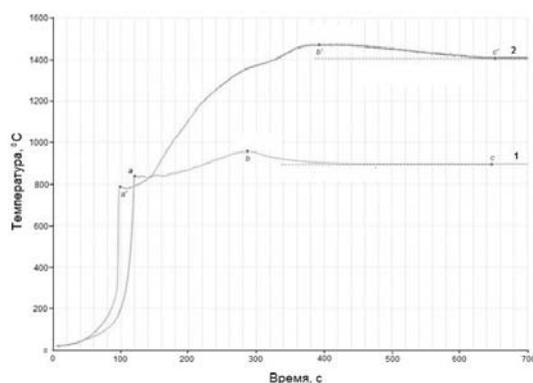


Рисунок 1- Термограммы синтеза для двух значений подводимой мощности источника нагрева: 1 – 10 Вт; 2 – 20 Вт

Из анализа термограмм следует, что процесс синтеза является стадийным: 1 – стадия химической реакции образования интерметаллидного соединения Ti_3Al . Предварительная механоактивация повышает реакционную способность порошковой смеси, что позволяет ускорить время протекания химических реакций, синтез проходит в режиме твердофазного горения. 2 – выдержка системы с разными временными интервалами (структурная релаксация системы, стабилизация кристаллической решетки); 3 – охлаждение системы (переход системы в термодинамически равновесное состояние).

Исследования структурных и фазовых переходов на всех стадиях синтеза проводились на дифрактометре рентгеновском общего назначения ДРОН-6. Обработку и анализ экспериментальных данных осуществляли с помощью пакета программ PDWin. На рисунке 2 представлены дифрактограммы продуктов синтеза с разными временами выдержки системы после завершения химической реакции при подведенной мощности индуктора 20 Вт.

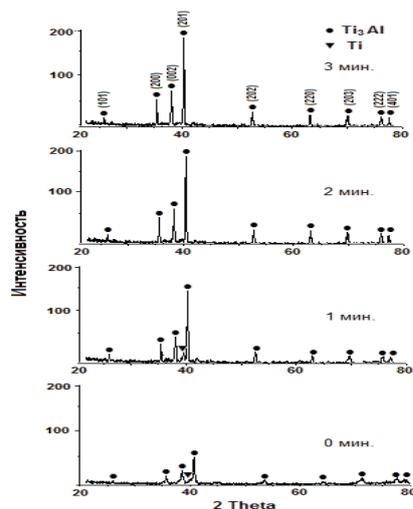


Рисунок 2 - Дифрактограммы продуктов синтеза с разными временами выдержки при подведенной мощности индуктора 20 Вт

Из анализа дифрактограмм следует, что при 0 выдержки системы ($T_{\max}=850^{\circ}\text{C}$) идентифицируются дифракционные отражения интерметаллида Ti_3Al и сохраняется остаточный $\beta\text{-Ti}$. Уширенные, смещенные пики указывают на наличие в кристаллической решетке микронапряжений.

После 1 минутной выдержки системы ($T_{\max}=1130^{\circ}\text{C}$) наблюдается стабилизация кристаллической решетки, остаточный $\beta\text{-Ti}$ сохраняется.

После 2 и 3 минутной ($T_{\max}=1160^{\circ}\text{C}$ и $T_{\max}=1250^{\circ}\text{C}$) выдержки идентифицируются узкие и симметричные дифракционные максимумы интерметаллида Ti_3Al , имеет место процесс релаксации неравновесных дефектов.

На рисунке 3 приведена зависимость структурных параметров синтеза от времени выдержки системы на этапе структурной релаксации при синтезе с подведенной мощностью индуктора 20 Вт.

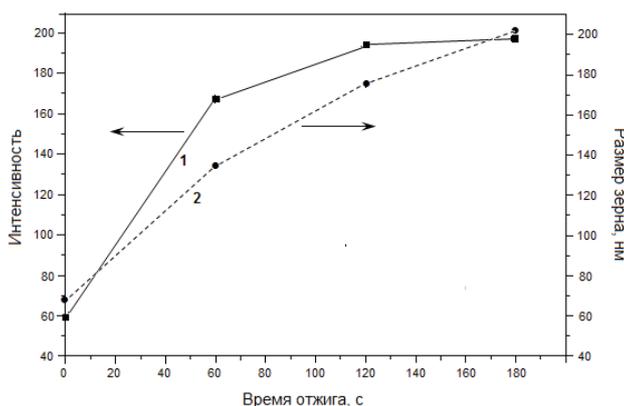


Рисунок 3 - Зависимость структурных параметров продукта синтеза от времени отжига на этапе структурной релаксации: 1 - интенсивности рефлексов (201) фазы Ti_3Al ; 2 – средний размер кристаллитов фазы Ti_3Al

Таким образом, с увеличением времени отжига системы происходит нормализация структуры синтезированного продукта, идет рост фазы и

стабилизация решетки. Конечным продуктом синтеза является монофазный интерметаллид Ti_3Al .

Необходимо отметить, что рассмотренный процесс получения монофазного продукта является неравновесным, так как за счет быстрого охлаждения смеси $\alpha 2$ -фаза не успевает перейти в термодинамически равновесное состояние. Это дает возможность управления структурой синтезируемого продукта за счет варьирования временами выдержки системы.

Структурный переход нестабильной гексагональной фазы Ti_3Al (пространственная группа $P63/mmc$) в упорядоченную фазу Ti_3Al осуществляется с увеличением времени отжига системы до 3 мин. Происходит упорядочение, которое сдвигает положение атомов в гексагональной решетки в основном за счет уменьшения параметра a .

В таблице 1 приведены структурные параметры решетки интерметаллида Ti_3Al при подводимой мощности индуктора 20 Вт с изменением времени отжига.

Таблица 1 - Структурные параметры и объем кристаллической решетки интерметаллида Ti_3Al при изменении времени отжига

Параметры ячейки, А	Времена отжига при подводимой мощности индуктора 20 Вт, мин.			
	0	1	2	3
$\Delta d/d$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$
a	5,801	5,793	5,787	5,780
c	4,666	4,666	4,663	4,653
V	136,089	135,642	135,249	134,655

Приведенные изменения структурных параметров с увеличением времен выдержки до 3 мин. подтверждают стабилизацию кристаллической решетки $\alpha 2$ -фазы и приближение ее к табличным значениям. Из расчета микронапряжений следует, что с увеличением времени отжига наблюдается уменьшение величин внутренних напряжений при 0 мин. отжига $\langle \varepsilon^2 \rangle = 6,77 \cdot 10^{-7}$, при 1 мин. $\langle \varepsilon^2 \rangle = 4,75 \cdot 10^{-7}$, после 3 мин. конечным продуктом синтеза является монофазный интерметаллид Ti_3Al , величина ОКР около 200 нм.

Выводы

Проведенный анализ структуро- и фазообразования при синтезе в режиме объемного воспламенения методом индукционного нагрева механоактивированной системы состава $3Ti+Al$ при различных временах выдержки позволяет сделать следующие выводы. Варьирование временами отжига системы после завершения химической реакции дает возможность управления структуро- и фазообразованием системы. Изменение временных и температурных параметров отжига позволяет регулировать концентрацию неравновесных дефектов структуры и размер зерна синтезированного продукта, что является важным для получения СВС-материалов с заданными свойствами. Увеличение времени отжига исследуемой системы до 3 мин. после завершения химической реакции при $T_{max} = 1250^\circ C$ приводит к стабилизации структурных параметров решетки и образованию монофазного соединения Ti_3Al .

Библиографический список

1. Глазунов С.Г., Павлов Г.А, Тетюхин В.В. Алюминиды титановых сплавов, как новые конструкционные материалы для авиакосмического машиностроения // В сб.: Металловедение и термическая обработка. – 1991. – с.84 (ВИЛС).
2. Аношкин Н.Ф. Анализ потребностей и возможностей создания новых материалов на основе титана в ближайшее десятилетие // Технология легких сплавов. – 1999. – №3. – с. 39-43.
3. Солонина О.П., Глазунов С.Г. Титановые сплавы: Жаропрочные титановые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 448 с.
4. Григорьева Т.Ф., Корчагин М.А., Баринаева А.П., Ляхов Н.З. Влияние механохимической активации на концентрационные границы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Докл. РАН. – 1999. – Т.369, № 3. – С.345-347.
5. Mukasyan A.S. Combustion synthesis of nitrides: Mechanistic studies // Proc. Of the Combustion Institute. - 2005.- Vol.30.-P.2529-2535.
6. V.Y.Filimonov, V.V.Evstigneev, A.V.Afanas'ev, M.V.Loginova. Thermal Explosion Ti + 3Al Mixture. Mechanism of Phase Formation // International Journal of Self-Propagating High – Temperature Synthesis.-2008.- vol 17.- №2. pp 101-105.
7. Ляхов Н.З., Талако Т.Л., Григорьева Т.Ф. Влияние механоактивации на процессы фазо-и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. Новосибирск. Изд-во “Параллель”, 2008.
8. V. Yu. Filimonov, A. A. Sitnikov, A. V. Afanas'ev, M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, A. Z. Negodyaev, D. V. Schreyfer, and V. A. Solov'ev. Microwave Assisted Combustion Synthesis in Mechanically Activated 3Ti + Al Powder Mixtures: Structure Formation Issues // International Journal of Self Propagating High Temperature Synthesis, 2014, Vol. 23, No. 1, pp. 18–25.

EVOLUTION OF STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS IN THE MECHANICALLY ACTIVATED POWDER MIXTURES 3Ti + Al DURING SYNTHESIS IN CONDITIONS OF VOLUME IGNITION

Loginova M. V., Filimonov V.Yu., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Negodyev A.Z., Afanasyev A.V., Shreyfer D.V.

Carried out high-temperature synthesis of Previously mechanically activated powder mixture 3Ti + Al in conditions of volume ignition by heating a mixture by high-frequency electromagnetic fields. Investigated the influence the main macrokinetic modes of high-temperature synthesis on structural-phase state of the mechanically activated powder mixture 3Ti + Al. Marked the optimal parameters of synthesis to obtain the monophasic intermetallic Ti₃Al.

Keywords: high-temperature synthesis, induction heating, mechanical activation, structure formation, phase formation, X-ray diffractometry

РАСТРОВЫЙ МЕТОД ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В.Ф. Макаров, д.т.н., профессор, **А.В. Пепельшев**, аспирант,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

Рассмотрен новый метод прецизионной обработки – метод растрового фрезерования. Этот метод предназначен для обработки плоских торцевых поверхностей на станках с ЧПУ. Проведены экспериментальные исследования метода. Производительность нового метода выше в 2,5-3 раза по сравнению с ручной доводкой.

Ключевые слова. ЧПУ, растровое фрезерование, растровая траектория, прецизионная обработка, точность геометрической формы.

Постоянный рост требований к точности размеров, формы и шероховатости поверхностей деталей приводит к увеличению трудоёмкости и себестоимости изготовления изделия в целом. Без внедрения инновационных методов обработки и использования современного оборудования невозможно выполнять всё возрастающие требования по точности изготовления деталей.

Одной из наиболее остро стоящих проблем машиностроительного производства является прецизионная обработка плоских боковых поверхностей глубоких пазов. В настоящее время обработка глубоких пазов включает следующие операции: фрезерование, долбление, шлифование, ручное шабрение. Общая трудоёмкость процесса составляет более 30 часов. При этом не всегда удается получить требуемую шероховатость $Ra \leq 0,63$ мкм и точность по отклонению от плоскостности до 0,008 мм при ручной доводке. Ручное шабрение процесс достаточно трудоёмкий и требует высокую квалификацию рабочего. Поэтому задача обработки прецизионных плоских боковых поверхностей глубоких пазов является актуальной и требует глубокого изучения и научного подхода.

Классические методы фрезерной обработки не обеспечивают требуемых параметров качества поверхности. Была выдвинута гипотеза о влиянии траектории перемещения инструмента на параметры формы и шероховатости поверхности. На основании этой гипотезы предложен новый метод обработки – растровое фрезерование.

Растровое фрезерование предназначено для обработки прецизионных плоских поверхностей корпусных деталей. Траектория перемещения инструмента представляет собой сложение двух ортогональных гармонических колебаний (1) (фигуру Лиссажу).

$$\begin{cases} y = A \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \varphi) \\ z = B \cdot \sin(\omega_2) \end{cases} \quad (1)$$

Если периоды обоих колебаний неточно совпадают, то разность фаз всё время меняется, вследствие чего эллипс всё время деформируется. При существенно различных периодах фигуры Лиссажу не наблюдаются. Однако, если периоды относятся как целые числа, то через промежуток времени,

равный наименьшему кратному обоим периодам, движущаяся точка снова возвращается в то же положение — получаются фигуры Лиссажу более сложной формы. Фигуры Лиссажу вписываются в прямоугольник, центр которого совпадает с началом координат, а стороны параллельны осям координат и расположены по обе стороны от них на расстояниях, равных амплитудам колебаний.

Траектория названа растровой по аналогии с названием сложных сеток в электрооптических устройствах [1]. Растровые траектории подробно изучил и описал в своих работах В. П. Некрасов [2]. До сегодняшнего дня растровая кинематика применялась исключительно для абразивной обработки материалов [3]. Это связано со сложностью реализации бесступенчатого регулирования параметров траектории. Но с применением современного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) стала возможна реализация любых траекторий перемещения инструмента.

В настоящее время написание управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ осуществляется преимущественно с применением САМ систем. Однако при таком подходе появляется большое количество управляющих программ (УП) для всех типоразмеров плоскостей и соотношений частот колебаний по осям. Унификацию УП можно произвести при использовании методов гибкого программирования [4]. Таким образом, используя математические и логические функции станка можно при помощи одной программы, изменяя значения пользовательских переменных, получить весь спектр траекторий.

Практическое опробование данного метода проводилось на фрезерном станке Emco concept Mill с ЧПУ (рисунок 1).



Рисунок 1 - Фрезерный станок Emco concept Mill

Данный станок предназначен для обучения программированию и наладке станков с ЧПУ и позволяет менять съёмные панели и тем самым работать с разными системами ЧПУ (СЧПУ). Это позволяет посмотреть особенности

применения растрового метода фрезерования для различных СЧПУ. На этапе исследования возможностей метода была выбрана система Sinumerik 840d (рисунок 2)



Рисунок 2 - Общий вид процесса отладки управляющей программы на экране дисплея

Эксперимент проходил согласно схеме, представленной на рисунке 3.

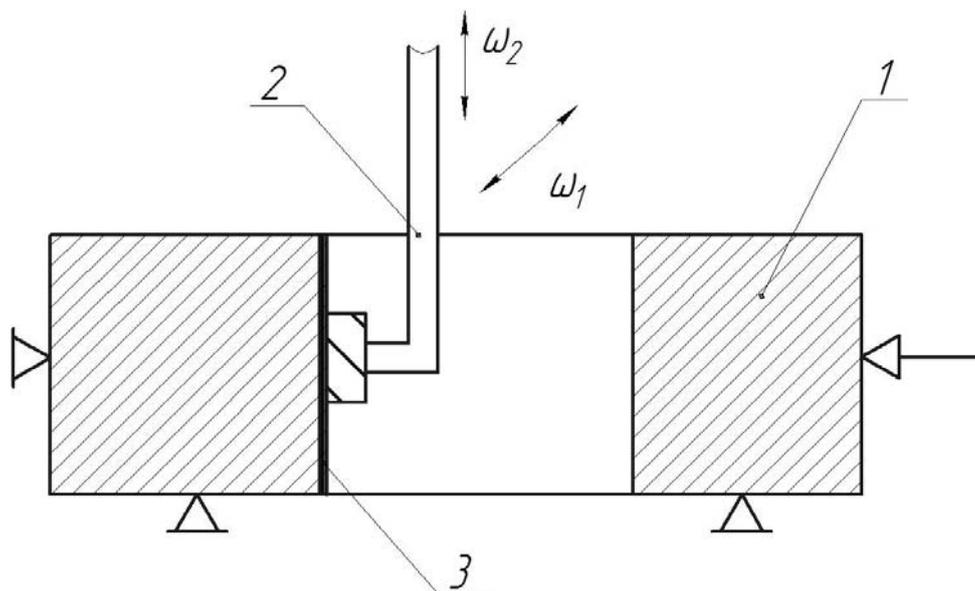


Рисунок 3 - Схема обработки. 1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – обрабатываемая поверхность

Заготовка 1 зажимается в тисы. По осям y и z инструмент 2 совершает гармонические колебания, таким образом, что ось инструмента описывает фигуру Лиссажу на обрабатываемой поверхности 3. Многократное самопересечение траектории позволяет получить поверхность с меньшим отклонением от плоскостности, чем при традиционных методах обработки.

Растровое фрезерование является перспективным направлением в обработке материалов резанием и позволяет улучшить параметры качества поверхности за счет использования сложной траектории движения рабочих органов станка. Применение принципов гибкого программирования привело к значительному уменьшению объема управляющей программы и позволило без применения САМ-систем вести обработку всех типоразмеров плоскостей и видов растров. Экспериментально доказано обеспечение требуемых параметров шероховатости и отклонения от плоскостности при использовании данного метода по сравнению с классическими методами обработки. Применение растрового метода для фрезерования плоских боковых поверхностей глубоких пазов позволило сократить трудоёмкость обработки в 2,5-3 раза, за счет исключения операций шлифования и ручного шабрения.

Библиографический список

1. Биберман Л.М. Растры в электрооптических устройствах. – М.:Энергия. 1969.
2. Некрасов В.П. Закономерности образования растровых траекторий // Сб. «Алмазно-абразивная доводка». – № 149. – Пермь, 1974. – с. 12-15.
3. Анциферов В. Н, Муратов К. Р., Муратов Р. А., Пепельшев А. В. Растровый метод обработки прецизионных поверхностей / Известия самарского научного центра Российской академии наук / Издательство Самарского научного центра РАН – Самара, 2011. – с. 512-519.
4. Расширенное программирование: руководство по программированию / Siemens – 2006. – 692 с.

RASTER METHOD OF MILLING ON MACHINE TOOLS WITH CNC

V.F. Makarov, A.V. Pepelyshev

Developed a new method for precision machining - raster milling. This method provides accurate flat surfaces on CNC machine-tools. Experimental approbation of raster milling is spent. Projected increases productivity by 2.5-3 times to handle the lateral surfaces of deep grooves.

Key words: CNC, raster milling, raster trajectory, precision machining, accuracy of geometrical form.

ОСОБЕННОСТИ СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ В ДЕТАЛЯХ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ С КЕРАМИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ

В.Ф. Макаров¹, д.т.н., профессор, **А.В. Владыкин**², к.т.н, зав. лабораторией,
О.А. Сибирева¹, магистрант

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
²ОАО «Пермский моторный завод», г. Пермь

Представлены материалы по решению проблемы электроэрозионной обработки деталей с теплозащитным керамическим покрытием, не проводящим электрический ток. Предложено предварительно применить местную обработку лазером для удаления слоя керамики. Предлагается оборудование и технология совмещенной обработки.

Ключевые слова: Электроэрозия, электрод-инструмент, отверстия малых диаметров, керамическое покрытие.

Введение

В современном авиадвигателестроении при производстве деталей газотурбинных двигателей длительное время существует проблема повышения эффективности обработки многочисленных разнонаправленных охлаждающих отверстий малых диаметров (0, 5 - 2 мм) в жаропрочных сплавах на никелевой основе. Данные отверстия малого диаметра получают различными способами резанием (сверление сверлами малого диаметра), лазерным и электронным лучом, электроэрозионной обработкой, электрохимической и ультразвуковой обработкой, струйно-абразивной обработкой и др. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки. В последнее время изготовление таких отверстий осложняется применением дополнительного термобарьерного керамического теплозащитного покрытия. Это покрытие толщиной до 0,1- 0,3 мм является диэлектриком и не позволяет применять чистую электроэрозионную прошивку.

Совмещенная лазерно-электроэрозионная обработка

Для решения проблемы предложено предварительно прожигать тонкий слой керамического покрытия лучом лазера на небольшую глубину, а затем включать электроэрозионную прошивку.

Лазерная прошивка применяется и для глубокой обработки отверстий малого диаметра и имеет широкие перспективы в авиадвигателестроении. Это обусловлено возможностью получения отверстий диаметром от десятков микрометров до нескольких миллиметров, значительной глубины (до 50 диаметров), с высокой производительностью и точностью, в любых металлах, сплавах и керамиках. Обработка производится с подачей под давлением кислорода, воздуха или инертного газа для окисления и выдувания продуктов разрушения из отверстия. Основные показатели лазерной прошивки отверстий зависят от применяемого оборудования и обрабатываемого материала и могут изменяться в широких пределах. Лазерное «сверление» отверстий основано на расплавлении, испарении и выбросе металла при воздействии сфокусированного лазерного луча с большой плотностью потока энергии.

Диаметры отверстий, просверленных лазером, в нижней части больше, чем в верхней, но круглые и хорошего качества независимо от мощности используемого лазера. Наиболее часто обработка выполняется «пачкой» лазерных импульсов. Для повышения качества отверстий применяется продувка газом в процессе формирования канала. Для получения отверстий используются два основных метода - вырезка и прошивка

Современное оборудование и инструменты

Выпускаются специальные станки для лазерного сверления, отличающиеся назначением и мощностью лазера. Например, установка JK704 мощностью 400 Вт имеет систему автофокуса и обрабатывает отверстия с точностью $\pm 0,025$ мм. Отверстие $\varnothing 0,5$ мм в стали толщиной 24,5 мм она прошивает за 90 с, а такое же отверстие в никелевом сплаве толщиной 1 мм - за одну секунду.

Для нужд аэрокосмической промышленности разработаны лазерные установки с многокоординатными устройствами ЧПУ. Например, установка HD-205 фирмы Huffman имеет пятикоординатное устройство ЧПУ (с тремя линейными координатами X , Y и Z и двумя вращательными B и C). Она оснащена неодимовым лазером P50L мощностью 500 Вт и предназначена для обработки отверстий в охлаждаемых лопатках турбин и других деталях.

Кроме того в последнее время нашли применение такие лазерные установки, как LASERDYNE 795 / 450 с лазером CL50k (фирма PRIMA, США); LaserTec 80 Power Drill (фирма DMG, Германия); LaseDrill-800 (фирма Winbro group, Англия); LASERTEC 80 PowerShape (фирма DMG, Германия); SX-200 (фирма «SARIX», Швейцария).

Основные недостатки этого метода: появление значительной конусности отверстий, большая глубина измененного слоя, невозможность обработки глухих отверстий или отверстий с «закрытым» выходом. Это делает нецелесообразным применение лазерной прошивки на всю глубину отверстий в лопатках турбин.

Поэтому предусматривается дальнейшая электроэрозионная обработка отверстий на всю глубину методом электроэрозионного сверления. Станки, специализированные на такую обработку, называют супердрелями. Супердрели способны производительно прошивать отверстия в твердых металлах с отношением глубины к диаметру до 200 : 1. В качестве рабочих жидкостей используются дистиллированная вода и специальные составы на водной основе. Рабочая жидкость под давлением подается через отверстия в ЭИ и оптимально удаляет из отверстия частички шлама и образующиеся газы.

Трубчатые капиллярные электроды из латуни или меди направляются через кондукторные втулки, изготавливаемые из алмаза, сапфира и других сверхтвердых материалов. Супердрели оснащены генераторами импульсного тока, обеспечивающими обработку отверстий с конусностью $1,5^\circ$ на 100 мм и с шероховатостью $R_{\max} = 15$ мкм. Генератор и особая рабочая жидкость на водной основе значительно снижают износ электрода.

Благодаря оборудованию класса «Супердрель» появилась возможность выполнять в охлаждаемых лопатках турбины отверстия диаметром 0,2 ... 0,3 мм на глубину до 10 мм. Изготовление таких отверстий традиционными методами сопряжено с большими трудностями, а иногда вообще невозможно.

В настоящее время для перфорации лопаток электроэрозионным способом используются электроды-инструменты двух типов - трубчатые и стержневые с диэлектрической оболочкой. Ряд фирм выпускает трубчатые электроды диаметром до 0,3 мм.

Станки компании Winbro Group Technologies Ltd модели HSD6-III (рис.3) представляют собой уникальное оборудование, способное выполнять операции скоростного электроэрозионного сверления отверстий диаметром до 3 мм, в лопатках, секторах лопаток СА. Кроме этого имеется возможность выполнения обработки рядов отверстий мультиэлектродом. Наличие магазина инструментов, а также инструментов с возможностью автоматической замены электродов в процессе обработки позволяет сократить вспомогательное время выполнения операции и значительно повысить качество обработки. Использование мультиэлектродов при электроэрозионной обработке перфорационных отверстий на пера и полках сопловых и рабочих лопаток, возможность использования различных материалов электродов (графит, медь, вольфрам, латунь и др.), что позволяет выбрать оптимальный материал инструмента и режимы обработки для повышения производительности и качества поверхности;

Экспериментальные исследования

С целью подтверждения теоретических предположений об высокой эффективности электроэрозионного сверления отверстий малых диаметров трубчатым вращающимся ЭИ в жаропрочных сплавах на ОАО «Пермский моторный завод» проведены экспериментальные исследования на сопловых лопатках из жаропрочного сплава на никелевой основе на специальном электроэрозионном станке с ЧПУ типа «супердрель» модели TSH-600V.

Прошивание систем отверстий производится по нормали и под углом к поверхности пера лопатки. В результате производственных испытаний и исследований качества поверхностного слоя отверстий установлено:

- межкристаллическая коррозия менее 40 мкм;
- микротрещины в поверхностном слое менее 40 мкм;
- глубина измененного поверхностного слоя до 40 мкм;
- локальные дефекты поверхностного слоя до 50 мкм;

Расчетное время на отверстие - $T_{\text{РАСЧ}} \approx 40$ с.

Выводы

Таким образом установлено, что применение электроэрозионного сверления трубчатым вращающимся ЭИ отверстий малых диаметров в жаропрочных сплавах позволяет получить существенный эффект при обработке деталей современных конструкций с большим количеством разнонаправленных отверстий глубиной более 5 диаметров. Современный парк высокоточного и производительного оборудования позволит использовать прогрессивные

технологии механической обработки, применить современные методы контроля продукции и, таким образом, выйти на более высокий уровень по производству турбинных лопаток.

(Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор №02.G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства").

Библиографический список

1. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей : учеб. пособие / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, А.А. Митрофанов и др.; под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Дрофа, 2002. – 656 с.

2. Макаров В.Ф., Владыкин А.В. Эффективность электроэрозионного сверления отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных сплавов // Технология машиностроения. – 2011. – № 5. – с.13-17.

FEATURES OF HIGH-SPEED ELECTROEROSIVE DRILLING OF APERTURES OF SMALL DIAMETERS IN DETAILS FROM HEAT RESISTING ALLOYS WITH A CERAMIC COVERING

V.F. Makarov, A.V. Vladykin, O.A. Sibireva

The comparative analysis of methods of processing of apertures of small diameters - electroerosive with use of the tubular rotating electrode-tool and the subsequent drawing of a protective ceramic covering on a shovel and a method of the combined processing - laser electroerosive with preliminary drawing of a ceramic covering is resulted.

Keywords: electroerosive electrode-tool apertures of small diameters ceramic covering.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.Ф. Макаров, д.т.н., профессор, **С.П. Никитин**, к.т.н., доцент
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

В докладе приведены результаты научно исследовательских работ, проведенных совместно с ОАО «Пермский моторный завод» и ОАО «Авиадвигатель» по исследованию, разработке и внедрению наукоемких технологических процессов изготовления ответственных деталей ГТД с целью повышения производительности, качества и долговечности их работы.

Ключевые слова: диски, лопатки ГТД, скоростное протягивание, глубинное шлифование; полирование, сборка, балансировка, качество, усталостная прочность.

Введение

Задачи, стоящие перед авиационным двигателестроением по разработке и созданию новых типов и конструкций газотурбинных двигателей (ГТД), конкурентноспособных на мировом рынке, сегодня невозможно решить без разработки и внедрения современных наукоемких технологий механообработки с применением многофункциональных многокоординатных обрабатывающих центров и современных конструкций режущих инструментов. Это особенно наглядно проявилось, например, при разработке и производстве на ОАО «Пермский моторный завод» и ОАО «Авиадвигатель» таких чрезвычайно сложных наукоемких и ответственных машин, как газотурбинные двигатели ПС90А, ПС902А, ПД14 для современной авиации и наземных газоперекачивающих установок, не уступающих по своим техническим параметрам зарубежным аналогам.

Более высокие эксплуатационные показатели новых газотурбинных двигателей по сравнению с ранее выпускаемыми изделиями достигнуты за счет применения новых жаропрочных материалов, еще более труднообрабатываемых резанием, а также за счет значительного усложнения конструкции деталей. Трудоемкость обработки таких деталей существенно увеличилась. Для решения задач по снижению трудоемкости и обеспечению требуемого качества, надежности и долговечности их работы совместно с кафедрой «Инновационные технологии машиностроения» ПНИПУ проводились и сегодня проводятся работы по исследованию, разработке и внедрению таких высокопроизводительных технологических процессов, как скоростное протягивание, многоосевое глубинное шлифование, тонкое прецизионное ленточное полирование, автоматизированное размерное скругление острых кромок, высокоскоростная совмещенная лазерно-электроэрозионная прошивка отверстий малых диаметров, по совершенствованию процессов сборки и балансировки высокоскоростных роторов газотурбинных двигателей и других технологических процессов.

Совершенствование методов лезвийной обработки деталей ГТД традиционно проводится по методике проф. Макарова А.Д. [1] на базе оптимизации режимов резания по минимуму относительно установившегося износа при соответствующей оптимальной температуре контакта (резания). Эта методика позволяет быстро и достоверно определять оптимальные режимы практически для любого вида лезвийной обработки новых труднообрабатываемых материалов с применением новых видов режущих инструмента.

Скоростное протягивание. Одна из острых проблем повышения производительности и качества процесса протягивания сложнофасонных замковых поверхностей дисков и лопаток газотурбинных двигателей решается путем применения метода скоростного протягивания твердосплавными протяжками на горизонтально-протяжных станках с ЧПУ с большой длиной хода, типа RAWM16/8500 фирмы Hoffmann (Германия) [1].

Известно, что на большинстве предприятий моторостроения в стране и за рубежом при протягивании этих поверхностей применяются крайне неблагоприятные режимы резания 1,5-4 м/мин и протяжки из быстрорежущих сталей. В тоже время обработка этих же деталей методами точения, фрезерования, сверления проводится на скоростях резания 25-50 м/мин с применением твердосплавного инструмента.

Теоретической основой применения скоростного протягивания твердосплавными протяжками явилось установление оптимальных температурных зон в процессе резания, при которых наблюдалось существенное снижение износа протяжек, сил резания и усадки стружки [1, 3]. Физическая природа этого явления выяснилась при проведении высокотемпературных механических испытаний образцов обрабатываемых материалов на растяжение. Установлено (рис.1а), что при определенной температуре испытаний (например, 700°С для жаропрочного деформируемого сплава на железо-никелевой основе ЭИ787ВД) наблюдается снижение пластических свойств сплава - явление провала пластичности материала (минимум относительного сужения ψ и удлинения δ) при значительном снижении его прочностных свойств σ_b . Оптимальными условиями в процессе резания принято считать такие, при которых наблюдается минимальная интенсивность износа инструмента. Для определения этих оптимальных условий проведены стойкостные и температурные эксперименты с различными подачами на зуб S_z от 0,02 до 0,1 мм/зуб при протягивании сплава ЭИ787ВД протяжками из твердого сплава ВК8 в диапазоне скоростей резания от 1 до 60 м/мин на скоростной протяжной установке УСП-1. В результате установлено, что минимальная интенсивность износа протяжек наблюдалась при различных оптимальных скоростях резания V_0 для различных подач на зуб S_z , но при одной и той же оптимальной температуре резания $T_0 = 700^\circ \text{C}$ (рис. 1б,в), совпадающей с температурой провала пластичности $T_{\text{пп}}$. Аналогичные результаты экспериментальных исследований получены и для других жаропрочных сплавов.

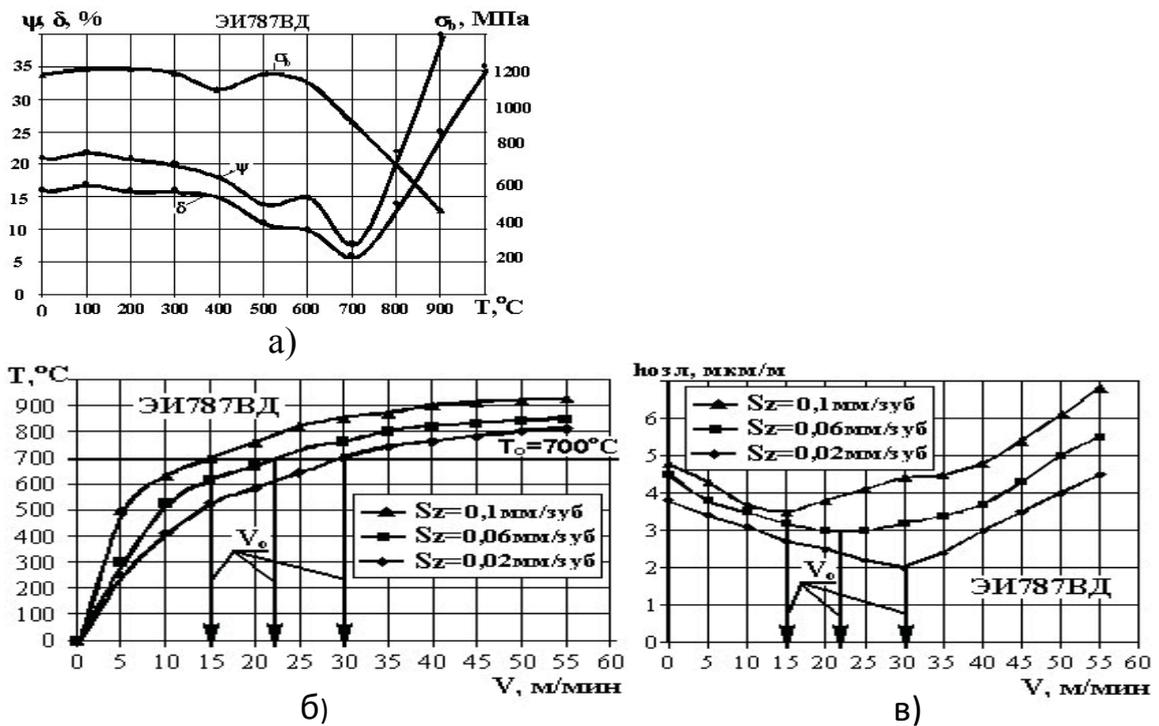


Рисунок 1 – Влияние температуры механических испытаний на прочностные $\sigma_{в}$ и пластические (δ, ψ) свойства жаропрочного сплава ЭИ787ВД (а) и влияние скорости резания V на изменение температуры резания T (б) и интенсивность износа протяжек $h_{озл}$ (в) при протягивании этого сплава с различными подачами на зуб Sz

Проведено математическое моделирование и расчет методом МКЭ тепловых полей при протягивании многозубыми протяжками. Характерная картина распределения температуры резания в зоне резания каждого режущего зуба многозубой протяжки представлена на рис. 2.

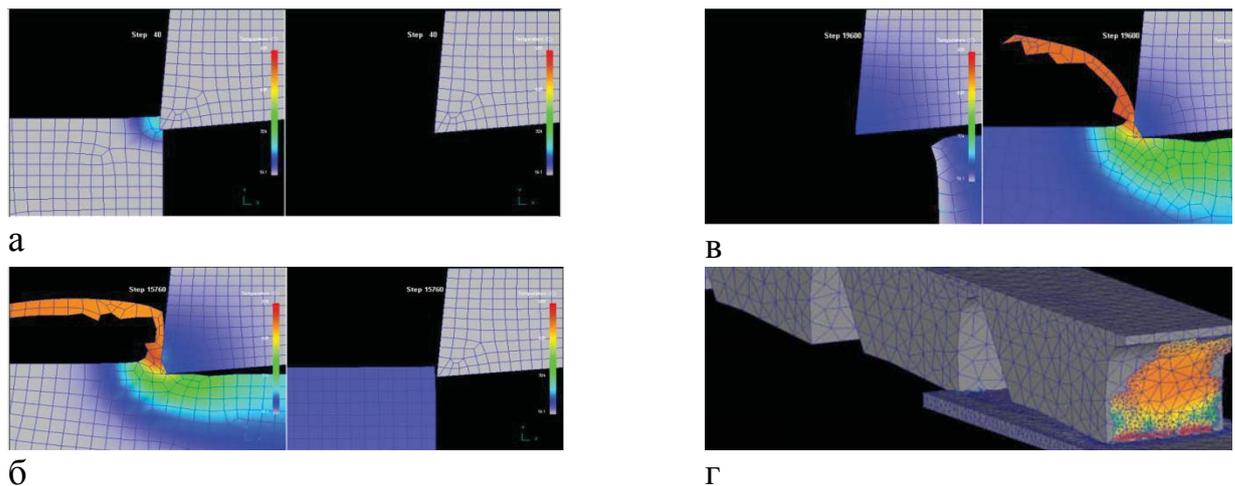


Рисунок 2 - Изменение характера полей температуры резания протяжкой при врезании первого зуба (а); - резании 1-го зуба и врезании 2-го зуба (б); - выходе 1-го зуба и резании 2-го зуба (в); – трехмерное представление распределение полей температур при резании 1-го зуба и врезании 2-го зуба (г)

Установлено, что изменение подачи на зубьях протяжки S_z должно сопровождаться соответствующим изменением величины оптимальной скорости резания V_0 , с тем, чтобы на каждом режущем зубе многозубой протяжки обеспечивалась постоянная оптимальная температура контакта (резания) для данной пары обрабатываемого и инструментального материалов.

Предложен новый метод скоростного протягивания на станке с ЧПУ с переключением скорости резания до оптимального значения на каждой секции протяжек по ходу движения многосекционного блока протяжек (рис. 3).

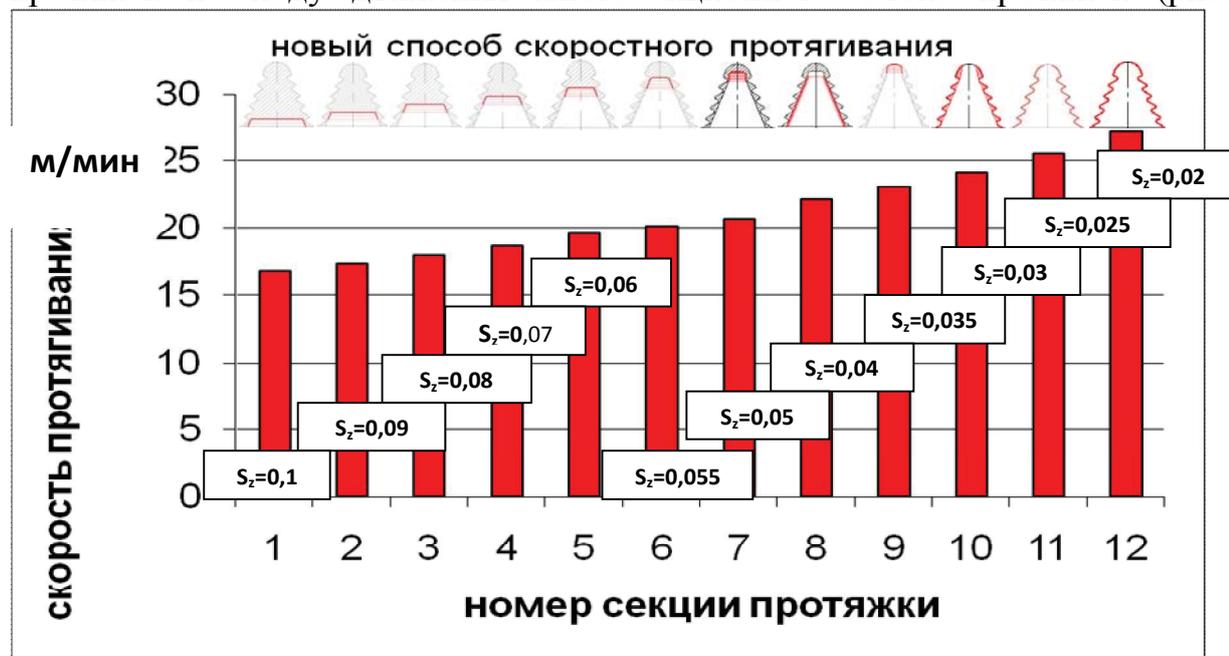


Рисунок 3 - Изменение скорости резания в процессе протягивания елочных пазов в дисках турбины из сплава ЭИ787ВД многосекционными твердосплавными протяжками

В результате в процессе протягивания елочного паза диска турбины по мере передвижения блока протяжек и соответствующем снижении подачи на зубьях с 0,1 до 0,02 мм/зуб скорость резания не снижается, как обычно при традиционном протягивании, а, наоборот, повышается с 17 до 27 м/мин, обеспечивая повышение производительности в 9 раз, улучшение параметров качества поверхностного слоя и более высокую усталостную прочность дисков.

Глубинное шлифование. Одним из новых прогрессивных процессов абразивной обработки является процесс глубинного шлифования. В ОАО “Пермский моторный завод” проведен широкий комплекс научно-исследовательских работ по внедрению вместо фрезерования процесса глубинного шлифования “елочных” замков лопаток турбин различных авиационных двигателей и наземных установок из жаропрочных литейных сплавов ЖС26, ЖС32, ЧС70, ЖС6К, ЖС6УВИ и деформируемых сплавов ЭИ437БУВД и ЭИ787ВД. Глубинное шлифование обеспечивает большую глубину резания и малую продольную подачу детали. По скорости съема металла этот метод часто превосходит другие методы абразивной и лезвийной обработки, но сохраняет при этом все преимущества шлифования, - высокую

геометрическую точность, малую шероховатость и т.д. Величина слоя металла, удаляемого при глубинном шлифовании за один проход, достигает 5 - 10мм, а величина продольной подачи детали изменяется от 50 до 2000мм/мин. и более и зависит от типа обрабатываемого материала, глубины резания, характеристики абразивного инструмента, вида СОЖ и способа ее подачи, требований к качеству обрабатываемых поверхностей. При оптимизации процесса глубинного шлифования, в отличие от работ ученых РГАТУ, НПО «Сатурн» и НИИД, в качестве основного критерия принято обеспечение установленного предела выносливости обработанных деталей σ_{-1} при проведении усталостных испытаний. Предварительные исследования показали существенную зависимость σ_{-1} от основных параметров шлифования. Различные параметры глубинного шлифования влияют на шероховатость, наклеп и величину градиента остаточных напряжений в тонком поверхностном слое замков лопаток, которые, в свою очередь, влияют на величину σ_{-1} . Установлено, что при замене процесса фрезерования на глубинное шлифование предел выносливости замковых поверхностей лопаток турбин снизился на 20-30%. Причиной снижения предела выносливости в данном случае является изменение топографии шероховатости обработанной поверхности с наличием большой ристочности от следов абразивного инструмента, что является своеобразным концентратором напряжений. Исследование поверхности первого паза елочного замка лопатки на растровом микроскопе РЭМА-202 выявило продольные риски различной ширины и глубины вдоль паза, оставленные зернами высокопористого шлифовального круга (рис. 4). Трещины в пазу местами совпадают с этими острыми глубокими рисками, а местами идут под углом 45 - 60° к ним.

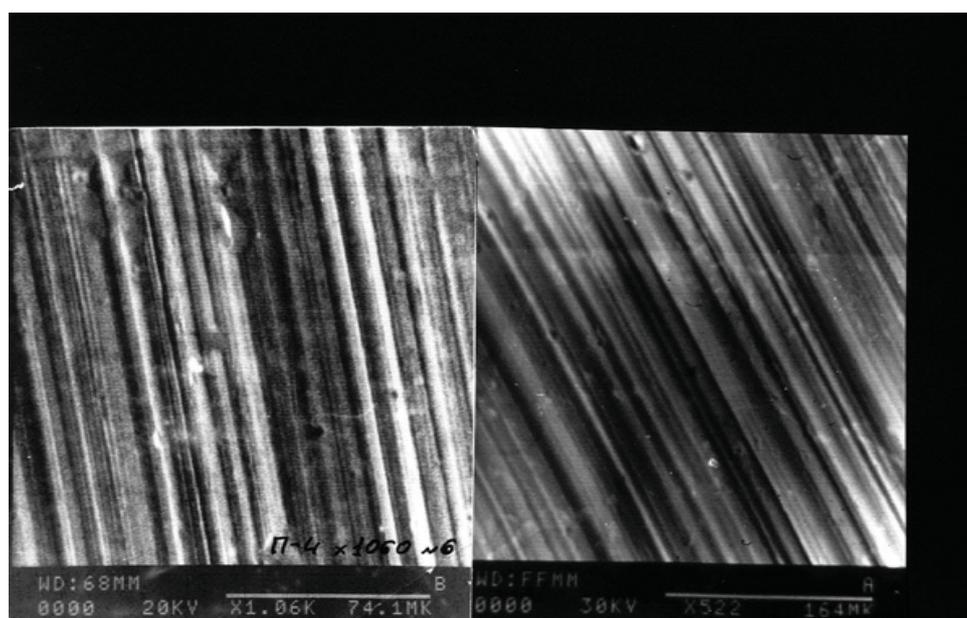


Рисунок 4 - Фотографии шероховатости поверхности хвостовиков лопаток турбин с характерной ристочностью после глубинного шлифования

При фрезеровании ристочность намного меньше. Она определяется в основном шероховатостью режущих кромок зубьев фрезы.

Известно, что величина концентрации напряжений при наличии глубоких рисок оценивается коэффициентом α_T [2]

$$\alpha_T = 1 + 2 \sqrt{\gamma \frac{t}{r}}, \quad (1)$$

где t – глубина риски, мкм, r – радиус на дне впадины, мкм; γ – относительный коэффициент неровностей (отношение шага неровностей к их высоте).

Снижение глубины рисок t можно добиться уменьшением глубины резания и увеличением числа проходов. Статистический анализ и математическая обработка результатов усталостных испытаний лопаток методом планирования экспериментов позволили вывести следующую зависимость предела выносливости σ_{-1} от режимов глубинного шлифования сплавов ЖС6К и ЖС6УВИ кругами фирмы “Тиролит” (Австрия):

$$\sigma_{-1} = \frac{V_d^{0,22} V_{кр}^{0,3}}{t_{ср}}, \quad (2)$$

где V_d – скорость детали (мм/мин); $V_{кр}$ – скорость круга (м/с); $t_{ср}$ – средняя глубина шлифования; $t_{ср} = \Delta t/n$; Δt – общий припуск (мм); n – число проходов. Условия шлифования “елочного” профиля: $V_{кр} = 15...25$ м/с, $V_d = 100...500$ мм/мин, $t_{ср} = 0.6...0.8$ мм.

Из зависимости (2) видно, что с увеличением скорости детали V_d , скорости круга $V_{кр}$, числа проходов n и уменьшением глубины шлифования $t_{ср}$ предел выносливости σ_{-1} увеличивается. Так, с увеличением числа проходов от 3 до 14 предел выносливости σ_{-1} удалось увеличить практически в 1.5 - 2 раза (рис. 5). Установлено, также, что величина предела выносливости σ_{-1} в значительной степени зависит от величины градиента сжимающих напряжений в весьма тонком поверхностном слое (2 - 10 мкм). Чем больше величина градиента $\Delta\sigma_{сж}$, тем меньше предел выносливости σ_{-1} . С увеличением скорости детали (подачи стола) с 250 до 290 мм/мин $\Delta\sigma_{сж}$ уменьшается с 750 МПа до 270 МПа при одинаковых других условиях шлифования.

Увеличение концентрации СОЖ с 1 до 7% приводит к снижению $\Delta\sigma_{сж}$ с 450 до 150 МПа. Установлено существенное влияние на градиент остаточных сжимающих напряжений основных параметров и качества высокопористых кругов. С увеличением твердости кругов с ЗИ31 до ЗИ41 градиент остаточных напряжений резко возрастает - с 200 до 800 МПа. С учетом выполненных исследований уф станках мод. SS13L фирмы Элб-Шлифф (Германия) внедрен процесс шестипроходного глубинного шлифования “елочных” профилей хвостовиков лопаток из сплавов ЖС6УВИ и ЖС6К импортными кругами. Цикл обработки составил 14 минут (на 4 лопатки), что привело к снижению трудоемкости в 4 раза по сравнению с фрезерованием, позволило высвободить 16 фрезерных станков, 22 фрезеровщика. При глубинном шлифовании елочных замков лопаток турбин из более труднообрабатываемых сплавов ЖС26 и ЖС32

для обеспечения требуемого предела выносливости потребовалось увеличить число проходов до 14 и 20 соответственно.

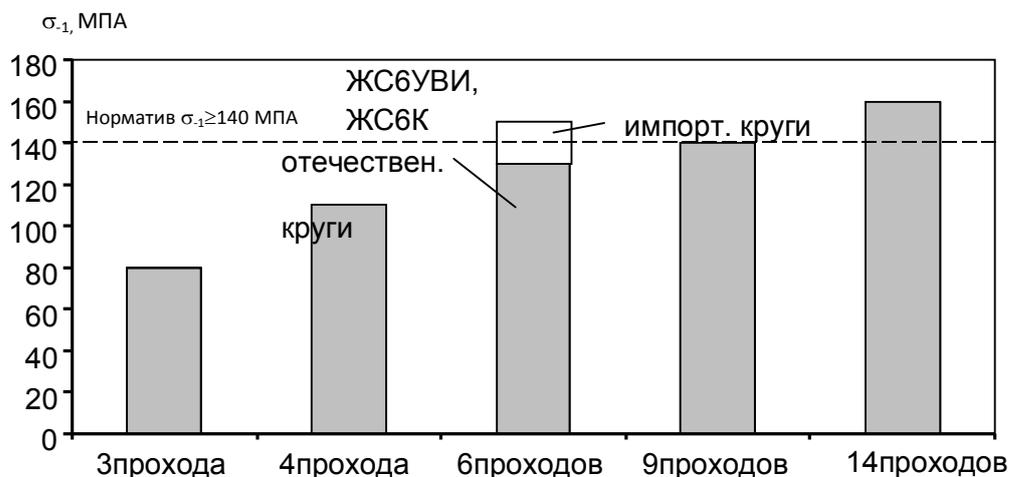


Рисунок 5 - Гистограмма измерения предела выносливости σ_1 замков лопаток турбины, обработанных за различное число проходов при глубинном шлифовании

Ленточное полирование лопаток. При механической обработке лопаток компрессора газотурбинных двигателей наиболее трудоемкими и сложными являются операции ручной размерной подгонки и полирования профиля пера лопатки и сопряжений. Лопатки ГТД, характеризуются сложной геометрией профиля пера, шероховатость которого должна находиться в пределах $Ra = 0.32\text{мкм} - 0.63\text{ мкм}$. Требуемая высокая аэродинамическая точность профиля в пределах 0,02-0,05 мм по нескольким фасонным сечениям и низкая шероховатость обеспечиваются у нас в стране и за рубежом только ручным полированием. Попытки автоматизировать процесс окончательного полирования профиля пера с помощью системы ЧПУ, различных роботов оказались непроизводительными. Процесс полирования состоит из переходов предварительного размерного полирования и собственно чистового полирования (глянцевания). Ручное полирование имеет низкую производительность труда, для его выполнения требуются высококвалифицированные рабочие, работать им приходится в антисанитарных условиях. Положение усугубляется низким качеством накатных полировальных кругов из-за недостаточной клеящей способности мездрового клея и некачественной подготовки абразивного зерна перед накаткой. В накатанных полировальных кругах только 30 % абразивных зерен являются режущими и 70% - давящими, раздробленными, свободно расположенными в рабочей зоне зернами (рис. 6а).

Применение шлифовальных лент для полирования лопаток является наиболее эффективным решением этих проблем. Нанесение на основу бесконечной ленты абразивного зерна осуществляется в электростатическом

поле, выстраивая их острым краем вверх, после фиксации на основе, это обеспечивает 100% режущую способность зерна ленты (рис. 6б), более равномерное распределение шероховатости и снижает возможность появления единичных рисок, повышая стабильность обработки. Кроме того, подобная установка зерна на бесконечной ленте выравнивает силовую нагрузку зерен в зоне резания, увеличивает площадь зоны контакта ленты с деталью, снижает теплоту, которая быстро рассеивается и устраняет опасность появления деформаций, прижогов и возникновения внутренних напряжений в полируемой лопатке.

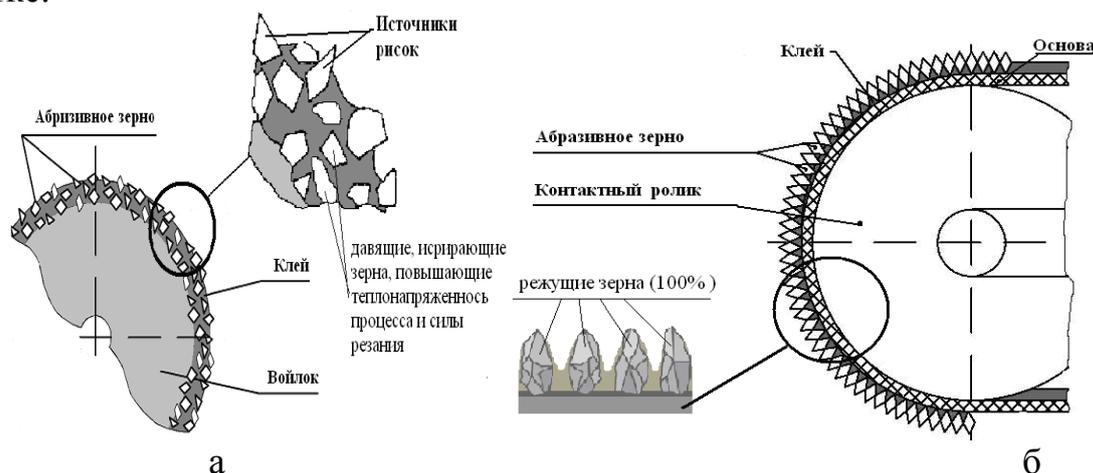


Рисунок 6 - Схема расположения абразивных зерен в полировальном круге на войлочной основе (а) и шлифовальной ленте (б)

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований и статистической обработки полученных данных доказано существенное преимущество обработки профиля пера лопаток методом ленточного размерного полирования и выполнено внедрение ленточного полирования лопаток на предприятии.

Скоростное лазерно- электроэрозионное сверление отверстий. Одной из острых проблем при производстве деталей газотурбинных двигателей является проблема обработки охлаждающих отверстий малых диаметров (0,5 - 2 мм) в жаропрочных сплавах. В последнее время изготовление таких отверстий осложняется применением дополнительного керамического теплозащитного покрытия поверхности пера и полок лопаток турбины (рис. 7). Это покрытие толщиной 0,1- 0,3 мм является диэлектриком и не позволяет применять чистую электроэрозионную прошивку. В связи с этим предложено предварительно распылять керамическое покрытие лучом лазера на небольшую глубину, а затем включать электроэрозионную прошивку.

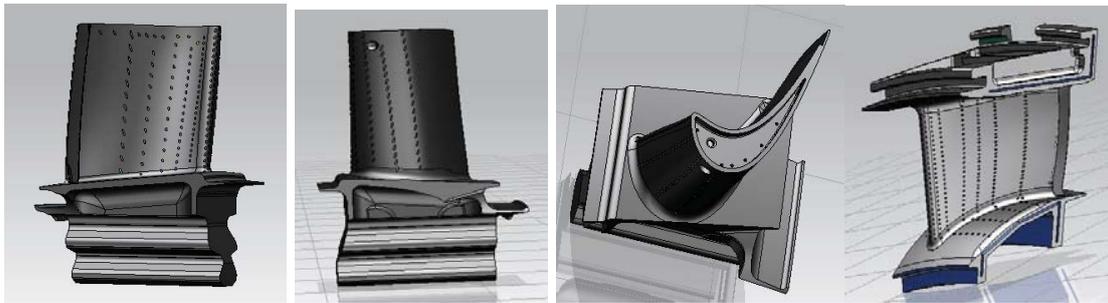


Рисунок 7 - Общий вид рабочей и сопловой лопаток турбины из жаропрочного сплава с охлаждающими отверстиями малых диаметров в пере

В предложенной технологии лазерный луч не прожигает отверстие, а только локально испаряет керамическое покрытие в нужной точке лопатки. Дальнейшая обработка отверстий проводится методом скоростного электроэрозионного сверления вращающимся полым электродом с прокачкой рабочей жидкости на многокоординатных (до 6 осей) станках с ЧПУ. С целью подтверждения теоретических предположений об высокой эффективности электроэрозионного сверления отверстий малых диаметров трубчатым вращающимся ЭИ в жаропрочных сплавах проведены экспериментальные исследования на сопловых лопатках из жаропрочного сплава на никелевой основе на специальном электроэрозионном станке с ЧПУ типа «супердрель» модели TSH-600V. В результате производственных испытаний и исследований качества поверхностного слоя отверстий установлено: межкристаллическая коррозия менее 40 мкм ; микротрещины в поверхностном слое менее 40 мкм; локальные дефекты поверхностного слоя до 50 мкм; расчетное время на отверстие ≈ 40 с. Таким образом установлено, что применение совмещенного лазерно-электроэрозионного сверления трубчатым вращающимся ЭИ отверстий малых диаметров в жаропрочных сплавах позволяет получить существенный эффект при обработке деталей современных конструкций с большим количеством разнонаправленных отверстий глубиной более 5 диаметров.

Заключение

Таким образом, разработка и внедрение новых прогрессивных методов лезвийной и абразивной обработки позволили существенно сократить трудоемкость изготовления новых двигателей при обеспечении требуемого высокого качества и надежности работы его в эксплуатации.

(Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор №02.G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства").

Библиографический список

1. Макаров В.Ф. Оптимизация протягивания труднообрабатываемых материалов: монография / В.Ф. Макаров. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 440 с.
2. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами [Текст] / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.
3. Полетаев В. А. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога [Текст] / Д. И. Волков, В. А. Полетаев. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.
4. Макаров В.Ф., Сакаев А.Х. Научно-техническая технология глубинного шлифования профильных поверхностей лопаток турбин. – М.: Машиностроение // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2012. – №3(9). – с.15-22.

THE THEORY AND PRACTICE OF WORKING OUT AND APPLICATION OF HIGHLY EFFECTIVE HIGH TECHNOLOGIES OF MANUFACTURE GAS TURBINE ENGINES

V.F. Makarov, S.P. Nikitin

In the report results of scientifically research works spent together with Open Society «Perm motor factory» and Open Society "Aircraft engine" on research, working out and introduction of the high technology technological processes of manufacturing of responsible details of gas turbine engines for the purpose of increase of productivity, quality and durability of their work are resulted.

Keywords: disks, shovels, high-speed broaching, deep grinding; polishing, assemblage, balancing, quality, fatigue durability.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА И ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЛОПАТОК ТУРБИН

В.Ф. Макаров, д.т.н., профессор, **С.П. Никитин**, к.т.н., доцент
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

Представлены результаты теоретического исследования устойчивости процесса при глубинном шлифовании лопаток турбины газотурбинных двигателей. Для исследования использована теплодинамическая модель плоскошлифовального станка. Рассмотрено влияние параметров динамической системы станка и процесса шлифования на устойчивость и предел выносливости лопаток турбины газотурбинных двигателей.

Ключевые слова: технология обработки, глубинное шлифование, динамическая система станка, устойчивость динамической системы, термодинамика процесса резания, динамические характеристики.

Для изготовления рабочих и сопловых лопаток турбины газотурбинных двигателей (ГТД) используют жаропрочные литейные никелевые сплавы. Основными технологическими процессами обработки базовых поверхностей лопаток ГТД являются процессы глубинного шлифования. Под руководством проф. Макарова В.Ф. были проведены работы по интенсификации процесса глубинного шлифования лопаток турбин на различных станках с ЧПУ на ОАО «ПМЗ» [1]. В работах показано, что одним из основных критериев оптимальности глубинного шлифования лопаток газотурбинных авиадвигателей является предел выносливости σ_{-1} . Предварительные исследования на ОАО «ПМЗ» показали существенную зависимость предела выносливости σ_{-1} от основных параметров шлифования. На основе этого на ОАО «ПМЗ» для обеспечения заданного предела выносливости σ_{-1} был внедрен процесс многопроходного глубинного шлифования «елочных» профилей хвостовиков лопаток из сплавов ЖС6УВИ и ЖС6К на станках SS13L. Но увеличение числа проходов ведет к значительному снижению производительности обработки и эффективности глубинного шлифования.

Для повышения производительности и эффективности глубинного шлифования при заданных параметрах качества необходимо прогнозирование качества деталей при обработке лопаток газотурбинных авиадвигателей, выявление взаимосвязи эксплуатационных показателей качества лопаток с параметрами поверхностного слоя и технологическими показателями процесса глубинного шлифования [1]. Значительное внимание должно быть уделено исследованию динамики и устойчивости процесса, термодинамическим явлениям при профильном глубинном шлифовании [2,3].

Качество поверхностного слоя заготовки определяется одновременным воздействием геометрического, силового и теплового факторов, являющихся функциями процесса шлифования и имеющих непосредственную связь с относительными колебаниями формообразующих узлов станка [4]. Колебания

при шлифовании являются вынужденными, но их уровень зависит от степени устойчивости динамической системы. Колебания динамической системы станка при шлифовании вызывает изменение фактического срезаемого слоя, фактической силы резания, а в силу взаимосвязанности процессов вызывают изменения в тепловой системе станка при шлифовании. Это приводит к колебаниям температур в зоне шлифования.

Задача заключается в поиске путей снижения колебаний шлифовальных станков за счет повышения степени устойчивости системы. Это позволит управлять тепловыми и упругими явлениями при шлифовании так, чтобы обеспечить заданное качество поверхностного слоя лопатки и предел выносливости. Поэтому при исследовании определяют способы исключения колебаний или понижения их уровня. В рамках решения задачи были проведены теоретические исследования влияния конструктивных параметров и режимов резания на устойчивость и уровень температур при глубинном шлифовании.

До настоящего времени, тепловые и динамические процессы при шлифовальной обработке исследовались отдельно. Но при использовании предельных режимов шлифования и повышении требований к точности обработки постоянные времени этих процессов в зоне резания становятся сравнимыми. Поэтому динамическое поведение технологического оборудования можно предсказать только с учетом комплексного воздействия тепловых и упругих процессов.

Для исследований в данной работе использована математическая модель теплодинамической системы шлифовального станка [4], учитывающая взаимодействие упругих, тепловых явлений и процесса резания. Для построения математической модели использован метод электрической аналогии, который позволяет отразить как тепловые, механические, так и процессы другой физической природы. На рис. 1 приведена расчетная схема динамической системы шлифовального станка.

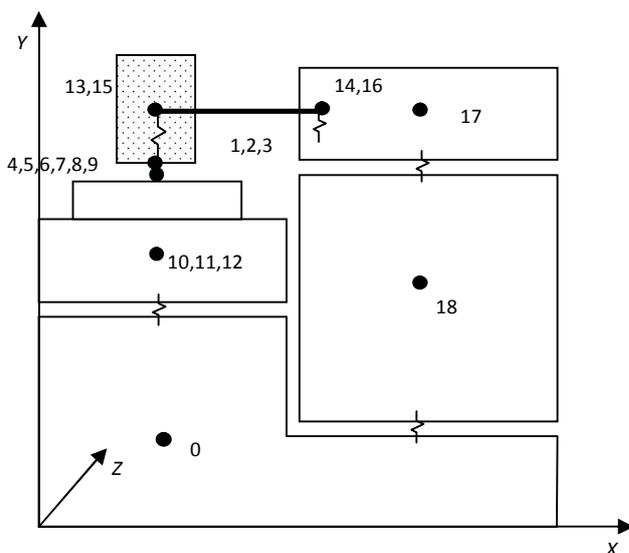


Рисунок 1 - Расчетная схема плоскошлифовального станка

В модели упругая система станка представлена в виде отдельных сосредоточенных масс, соединенных жесткостями и обладающих определенным демпфированием колебаний. Для сокращения числа степеней свободы и упрощения модели некоторые связи между соседними элементами принимаются абсолютно жесткими, если ожидаемое перемещение по соответствующим координатам мало влияет на относительные смещения шлифовального круга и стола. В качестве сосредоточенных масс выделены: станина и основание станка (точка 0); стол (точки 10,11,12); колонна со шлифовальной бабкой (точка 18); гильза шлифовального шпинделя (точка 17); шлифовальный круг (точки 1,2,3). Шпиндель шлифовального круга представлен как стержень, закрепленный в гильзе шпинделя и испытывающий изгибные деформации (точки 13,15,14,16).

Шлифование, как процесс пластического деформирования и разрушения материалов детали и круга, занимает промежуточное положение между резанием резцом [3,4] (инструментом с определенной режущей кромкой) и трением. Поэтому при моделировании динамики процесса при шлифовании необходимо учесть особенности этого процесса. Математические модели должны учитывать, что изменения условий обработки (режимы резания, геометрия и характеристика круга, и др.) влияют на силы резания через изменение фактического, а не номинального сечения срезаемого слоя.

Используя метод прямой аналогии и сделанные допущения, получаем следующую эквивалентную схему, которая отражает динамику тепловых процессов при шлифовании (рис. 2).

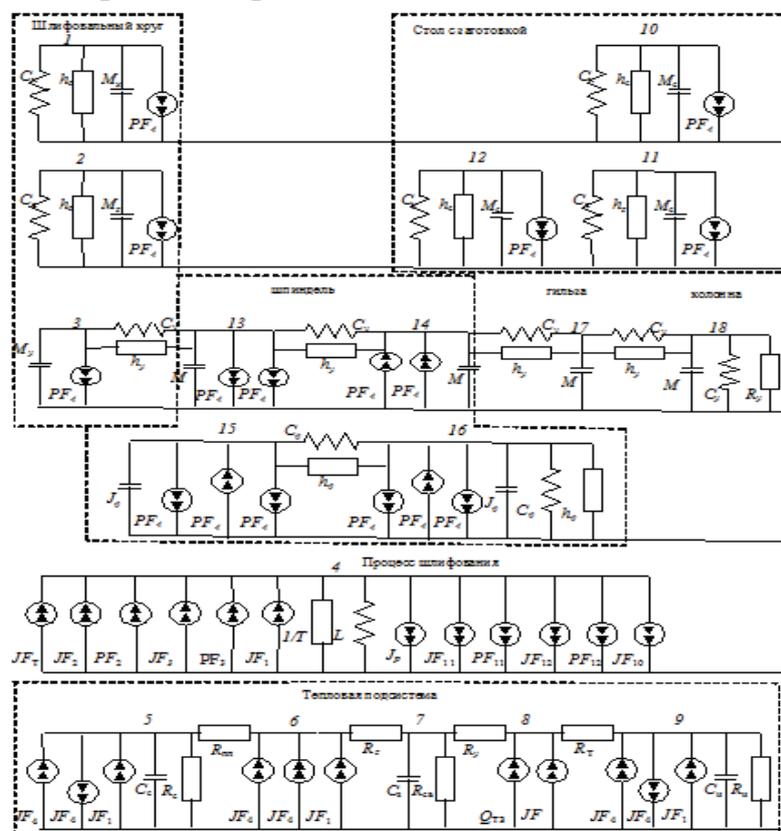


Рисунок 2 - Эквивалентная схема теплодинамической системы шлифовального станка при учете резания в виде полной линейной модели: C_z ,

C_y, C_x, C_φ – приведенные жесткости соответствующих подсистем; h_z, h_y, h_x – приведенные коэффициенты демпфирования механических подсистем; $R_c, R_{пп}, R_z, R_y, R_{св}, R_{ТЗ}, R_{и}$ – коэффициенты сопротивления тепловому потоку в зоне шлифования; M_z, M_y, M_x, J_φ – приведенные инерционные параметры подсистем; L – условная податливость процесса резания единичной величины; T_p – постоянная времени стружкообразования; J_p – номинальная сила резания, определяемая припуском; $Q_{ТЗ}$ – источник тепла от трения по задней поверхности зерен; PF, JF – фиктивные источники, отражающие взаимодействие подсистем.

Представленная математическая модель описывает основные теплодинамические процессы при шлифовании. Она обладает достаточной гибкостью и универсальностью, позволяет отображать нюансы тепловых и механических упругих процессов при различных условиях обработки. Использование для анализа полученной математической модели позволило получить основные зависимости и характеристики взаимодействия упругой и тепловой систем при врезном шлифовании.

На рис. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика для температуры резания при периодическом изменении силы резания.

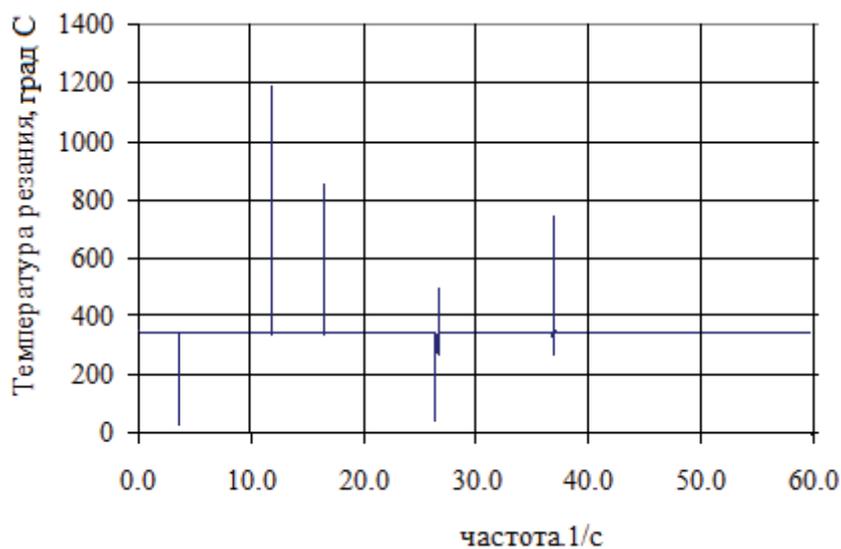


Рисунок 3 - Колебания температуры резания при периодическом изменении силы резания

Амплитудно-частотные характеристики показывают, что внешние воздействия на собственных частотах вызывают резонансное увеличение колебаний температуры резания. При низкой устойчивости динамической системы станка при шлифовании амплитуда колебаний может значительно возрастать и приводить к периодическим дефектам поверхности в виде прижогов, изменения физико-механических свойств шлифованной поверхности, а также снижению предела выносливости лопатки. Эти же явления могут

происходить при врезании шлифовального круга в заготовку, когда возникают переходные процессы в динамической системе.

Устойчивость системы при глубинном шлифовании определяется замкнутостью системы, которая включает в себя упругую систему шлифовального станка, процесс шлифования и тепловые процессы в зоне резания. Она может быть исследована с помощью критерия Найквиста [2,3].

Динамическая характеристика резания вызывает фазовое смещение, что выражается в повороте амплитудно-фазовой характеристики разомкнутой системы (годографа), что может приводить к пересечению отрицательной ветви вещественной оси. Таким образом, система станка при резании становится потенциально неустойчивой. При шлифовании изменение условий обработки (продольной и поперечной подачи, ширины круга, зернистости и т.п.) влияет на силы резания, а значит и на устойчивость, через изменение фактического сечения срезаемого слоя. Этим объясняется влияние на устойчивость системы продольной и поперечной подач. С возрастанием поперечной подачи фазовое смещение годографа разомкнутой системы увеличивается, а значит, устойчивость системы в замкнутом состоянии уменьшается. Продольная подача при шлифовании оказывает также значительное влияние на устойчивость. Устойчивость технологической системы при глубинном шлифовании снижается также с увеличением глубины фрезерования. Изменение скорости резания практически не оказывает влияния на устойчивость замкнутой системы станка при глубинном шлифовании.

На устойчивость при последующих проходах влияют также вибрационные следы предыдущей обработки. Это явление иногда называют регенеративным эффектом. Наличие следов создает в динамической системе станка при резании дополнительную обратную связь с запаздыванием. Обратные связи с запаздыванием вызывают дополнительное фазовое смещение, что может приводить к пересечению отрицательной ветви вещественной оси (рис. 4).

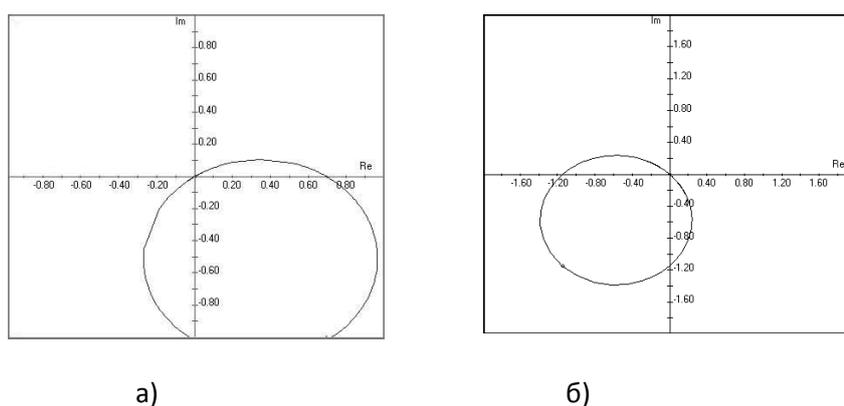


Рисунок 4 - АФЧХ разомкнутой системы при глубинном шлифовании:

а) без учета запаздывания; б) с учетом запаздывания

Исследование показывает, что величина запаздывания воздействия от следов предыдущей обработки оказывает сильное воздействие на устойчивость при шлифовании. Наиболее эффективным способом стабилизации системы, повышения устойчивости, является изменение передаточной характеристики процесса шлифования. Этого можно достигнуть изменением технических характеристик круга (зернистости, твердости и т.д.). Однако при этом требуется проверка результатов изменений с помощью моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор №02.G25.310016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки развития российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологического производства» от 12.02.13.

Общие выводы

1. Критерием оптимальности глубинного шлифования лопаток газотурбинных авиадвигателей может служить предел выносливости σ_{-1} , который определяется качеством поверхностного слоя лопаток.

2. Качество поверхностного слоя определяется динамикой и устойчивостью процесса шлифования, термодинамическими явлениями при профильном глубинном шлифовании.

3. При глубинном шлифовании за счет регенеративного эффекта со стороны шлифовального круга и режимов резания может значительно снижаться устойчивость системы станка. Это вызывает повышенные колебания в системе, которые влияют на точность и тепловые процессы

4. Для обеспечения качества обработки лопаток и повышения эффективности глубинного шлифования целесообразно внедрить методику, включающую прогноз устойчивости динамической системы шлифовального станка на основе математического моделирования и корректировку режимов резания и технических характеристик круга.

Библиографический список

1. Макаров В.Ф. Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов: учебное пособие. – СПб.: Издательство “Лань”, 2013. – 320 с.

2. Полетаев В. А., Волков Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.

3. Никитин С.П. Теоретическое исследование устойчивости при обработке шлифованием // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17, №8(61). – с. 38-44.

4. Никитин С.П. Моделирование процесса резания при шлифовании с учетом взаимодействия упругой и тепловой систем // Вестник УГАТУ. – 2009. – Т.12, №4(33). – с. 61-65.

RESEARCH REGARDING INFLUENCE OF MACHINE DYNAMIC SYSTEM CHARACTERISTICS AND DEEP GRINDING ON CUTTING PROCESS STABILITY AND TURBINE BLADE QUALITY

V. Makarov, S. Nikitin

This article provides theoretical research results regarding stability in case of gas turbine engine blades deep grinding. The surface grinding machine thermodynamic model is used. It takes into account how machine dynamic system characteristics impact on stability and endurance limit of gas turbine engine blades.

Keywords: tooling method, deep grinding, machine dynamic system, dynamic system stability, cutting process thermodynamics, dynamic performance.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СПИРАЛЬНОКОНИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН ПУТЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДНА ВПАДИНЫ МЕЖДУ ЗУБЬЯМИ

В.Ф. Макаров, д.т.н., профессор, **А.С. Горбунов**, аспирант
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

Приведены результаты исследования влияния последовательности выполнения технологических операций обработки зубьев шестерен на параметры качества поверхностного слоя - шероховатость, остаточные напряжения и наклеп. Установлено, что наиболее благоприятная картина распределения остаточных напряжений в поверхностном слое дна впадины зубчатого венца наблюдается после операции закалки с последующим упрочнением микрошариками – (метод ППД). При этом микротвердость поверхностного слоя увеличивается в 2-2,5 раза.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, спирально-коническая шестерня, зубья, надежность, ресурс, зубообработка, качество поверхностного слоя, впадина, микротвердость, остаточные напряжения.

Введение

Одна из актуальных проблем на ОАО «Пермский Моторный Завод» – это проблема повышения надежности и ресурса работы спирально-конических зубьев шестерен коробки приводов ГДТ. Решение проблемы может быть как конструкторское, так и технологическое. Конструкторские методы связаны с увеличением усталостной прочности за счет увеличения габаритов и веса деталей. В связи с тем, что увеличение габаритов и веса основного производимого газотурбинного двигателя ПС-90А ограничено, наиболее эффективными являются технологические методы повышения надежности и ресурса работы конических зубчатых шестерен (КЗК). Эти методы сводятся к созданию такой цепочки операций и видов операций при которых создаются геометрические, физико-механические и химические свойства обеспечивающие надежную эксплуатацию и ресурс конических шестерен и газотурбинного двигателя в целом.

От надежности и долговечности зубчатых передач зависит надежность и долговечность газотурбинного двигателя в целом. Зубчатые колеса работают в условиях агрессивных сред, высоких температур, действия знакопеременных нагрузок. Воздействие этих факторов может привести к появлению и накоплению различных дефектов в структуре материала, чаще всего в виде развития усталостных трещин, изменения структуры и физико-механических свойств, коррозии металла. Обычно эти дефекты образуются в тонком поверхностном слое деталей и развиваются в глубь детали с последующим их разрушением. Качество поверхностного слоя таких деталей определяется последовательностью технологических операций механической обработки зубьев шестерен. И именно поверхностному слою следует уделять особое внимание в процессе изготовления деталей.

Один из основных показателей качества и конкурентоспособности изделий – надежность (безотказность и долговечность) определяется эксплуатационными свойствами их деталей и соединений: прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, герметичность и т.д. [1]. В процессе изготовления изделий их свойства непрерывно изменяются в результате двух взаимодействующих процессов: трансформирования и сохранения свойств изделий. Трансформирование свойств происходит в основном вследствие прямого технологического воздействия на предмет производства. Сохранение же этих свойств связано с явлениями технологической наследственности. При этом неизменно приходится обращаться к фактору времени. Для того чтобы использовать явления технологической наследственности для практики изготовления прецизионных изделий необходим грамотный проведенный анализ. Такой анализ позволяет принять соответствующие технологические меры, которые могут, в первую очередь быть сведены к изменению условий формообразования на заготовительной операции или при термообработке [2].

Известно, что различные виды (как механическая, так и химико-термическая) обработки поверхностей деталей формирует определенный, свойственный каждому методу обработки свой макро-, микро-, субмикрорельеф обработанной поверхности со своими физико-химическими свойствами. Каждому виду обработки соответствуют свои характерные свойства поверхности, которые с точки зрения эксплуатационных свойств детали могут быть как положительные (т.е. желаемые, например остаточные напряжения сжатия), так и отрицательные (т.е. не желаемые, например остаточные напряжения растяжения).

В связи с этим, ставится задача сформировать, за счет подбора последовательности выполнения операций зубообработки, такие свойства поверхностного слоя детали, которые обеспечивали бы надежную эксплуатацию изделия современных авиационных двигателей, т.е. создание положительной технологической наследственности.

Постановка задачи. Для научно-обоснованного определения этой последовательности проведен анализ возможного влияния технологических факторов на формирование основных параметров качество поверхностного слоя на примере изготовления конических шестерен коробки приводов двигателя ПС-90А. В свою очередь сформированное качество поверхностного слоя влияет усталостную прочность и возможное разрушение зубчатых колес в процессе эксплуатации. Конические шестерни работают в тяжелых условиях знакопеременных нагрузок и имеют два режима работы: стартовый (пусковой) и рабочий режимы. На рабочем режиме шестерня передает мощность от КВД двигателя к агрегатам коробки двигательных агрегатов (КДА). На стартерном режиме шестерня служит для передачи мощности от стартера к ротору высокого давления (КВД) при запуске двигателя. Этот режим характерен малой протяженностью по времени и высокими нагрузками на шестерню, т.к. двигатель имеет большую инерционную массу составных частей, которые необходимо раскрутить для его запуска. Поэтому к спирально-коническим

шестерням предъявляются особые требования по точности изготовления, контактной, изгибной прочности и износостойкости поверхности зуба. Зубчатый венец имеет впадины, которые, как известно, являются концентраторами напряжений при определенных эксплуатационных нагрузках.

Под действием контактных нагрузок образуются изгибающие силы в зацеплении и во впадине у основания зуба концентрируются знакопеременные сжимающие и растягивающие напряжения. Проведено математическое моделирование возникающих напряжений от действия изгибающих сил P в зацеплении. В результате расчета установлено, что наибольшее значение растягивающих напряжений наблюдается в радиусе перехода от впадины к боковой поверхности зуба. Именно в этих переходных зонах и были обнаружены трещины [2].

Проведенный факторный анализ возможных причин образования усталостных трещин и возможного разрушения шестерен показал, что факторы, которые могут привести к образованию усталостных трещин можно разделить на 3 основные группы:

1) Конструктивные: Кинематическая схема коробки приводов; конструкции шестерен.

- Технологические: параметры качества поверхности впадины:

- большая величина шероховатости впадины;

- наличие рисок на торцевых фасках шестерни и в радиусе сопряжения;

- наличие концентраторов напряжений на дне впадины в виде выступов и впадин от следов режущего инструмента;

- наличие концентраторов напряжений (уступы) на торцевых фасках малого модуля зубчатого венца.

- параметры качества поверхностного слоя:

- наличие растягивающих остаточных напряжений;

- Большая степень наклепа и его глубина.

3) Производственные: Нарушения технологического процесса и нерациональные режимы резания (повышенное торцевое биение режущих кромок резовых головок, повышенный износ разрушение резов, наличие глубоких рисок на фасках, повышенные вибрации станка;

Конструкторские мероприятия решаются обычно путем увеличения габаритов детали, радиусов сопряжений, коэффициентов запаса прочности, что не всегда допустимо в авиационной технике. Производственные факторы устраняются административными методами. Поэтому рассмотрены технологические факторы, как наиболее вероятные причины образования трещин. Для этого подробно рассмотрен техпроцесс производства шестерен с позиции влияния фактора технологической наследственности на качество поверхностного слоя в зоне дна впадины между зубьями [4].

Экспериментальные исследования. Для установления взаимосвязи между последовательностью и типами операций обработки зубьев и параметрами качества поверхности дна впадины проведены экспериментальные исследования по следующей методике:

1) Проведена обработка заготовок конических шестерен из стали 20Х3МВФ-Ш по серийному технологическому процессу: *штамповка* → *подготовка базовых поверхностей* → *зубонарезание* → *нитроцементация* → *закалка*;

2) Выполнена операция поверхностно-пластического деформирования ППД дна впадин конических шестерен (дробеструйная обработка);

3) Для исследования остаточных напряжений, для определения микротвердости поверхности дна впадины спроектированы и вырезаны с помощью прецизионного электроэрозионного проволочного станка фирмы Sodick (Япония) специальные образцы согласно схеме вырезки из конического зубчатого колеса;

Образцы вырезались последовательно после выполнения каждой из следующей операций:

1. Зуборезная (ст-к: мод. 528, INSTR.: 9 дюймовая резцовая головка с резцами из материала Р6М5, скорость резания $V_{рез.} = 29$ м/мин, подача $S=120$ с/зуб);

2. Газовая нитроцементация (печь Ц-60, нагрев $T=925^{\circ}\text{C}$, время выдержки $t=4-7$ ч, охлаждение-воздух);

3. Закалка (установка FL-2000, нагрев $T=910^{\circ}\text{C}$, время выдержки $t=30$ мин., охлаждение-масло,) + обработка холодом (охлаждение $T= -130^{\circ}\text{C}$, время выдержки $t=2$ ч) + отпуск (печь ПН-34, нагрев $T=300^{\circ}\text{C}$, время выдержки $t=2$ ч, охлаждение-воздух);

4. Обдувка песком (ручная камера А-6-1650, электрокорунд 24А F180...F220, давление воздуха $P=2$ кгс/см²);

5. Дробеструйная обработка (упрочнение) (установка Blast, микрошарики WS-70 /Франция/, фракция 180...420 мкм, давление воздуха $P=4,6$ кгс/см²).

Остаточные напряжения определялись на установке АПООН методом Н.Н. Давиденкова. Микротвердость измерялась на микротвердомере LM-700 фирмы ЛЕСО при нагрузке 25 г.

Результаты и обсуждение. В результате анализа измерений остаточных напряжений установлено:

После выполнения операции зубонарезания на поверхности дна впадины залегают незначительные сжимающие остаточные напряжения до -31 МПа, при этом наклеп на поверхности также минимален, что свидетельствует о преобладании температурного фактора над силовым в процессе нарезания зубьев шестерни.

В процессе химико-термической обработки (нитроцементации без обдувки) образуются незначительные растягивающие напряжения у поверхности дна впадины до величины 79 МПа.

Применение операции закалки без обдувки песком приводит к появлению растягивающих напряжений до величины 126 МПа. Последующая обдувка песком приводит к появлению сжимающих напряжений до -900 МПа, переходящие на глубине 15 мкм в растягивающие до 315 МПа.

Выполнение операции закалки с последующим упрочнением дна впадины микрошариками также приводит к появлению сжимающих напряжений до -530 МПа на глубине 100 мкм.

Применение операции закалки с последующей обдувки песком и микрошариками наводит наибольшие сжимающие напряжения до -1017 МПа, переходящие на глубине 35 мкм в растягивающие до 15 кгс/мм². При этом микротвердость поверхности возрастает до 809...834 HV 0,025.

Для проведения сравнительных усталостных испытаний вырезались образцы из конкретных деталей после механической обработки по нескольким вариантам с упрочняющей обработкой микрошариками и без упрочнения. Усталостные испытания проводились на электродинамическом стенде ВЭДС-200А с частотой ≈ 690 Гц с увеличением нагрузки начиная с 28 кг через 2 кг (28, 30, 32, 34 ...до разрушения (рис.8).

Выводы

1. Из анализа результатов исследований можно сделать вывод, что наиболее благоприятная картина распределения остаточных напряжений в поверхностном слое дна впадины зубчатого венца наблюдается после операции закалки с последующим упрочнением микрошариками – (метод ППД). При этом микротвердость поверхностного слоя увеличивается в 2-2,5 раза.

2. В результате усталостных испытаний установлено повышение усталостной прочности шестерен после упрочняющей обработки на 30-35 %. Шестерни разрушались без упрочнения при нагрузке 32-34 кгс, а после упрочнения – при 40-42 кгс.

3. Новая технология упрочняющей обработки внедрена на производстве.

Библиографический список

1. Дальский А.М. Основные положения теории технологической наследственности в машиностроении. Научные основы технологии и прогрессивные технологические процессы в машиностроении и приборостроении. – М., 1971.

2. Васильев А.С. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А.С. Васильев, А.М. Дальский, Ю.М. Золоторевский, А.И. Кондаков. – М.: Машиностроение, 2005. – 352 с.

3. Горбунов А.С., Макаров В.Ф. Влияние последовательности обработки спирально-конических шестерен на распределение остаточных напряжений и величину наклепа поверхностного слоя зубьев // Технология машиностроения. – 2012. – №3. – с. 9-12.

4. Макаров В.Ф., Горбунов А.С. Применение методов ППД при обработке деталей ГТД. Материалы Всеросс. Научно-практической конференции «Наукоемкие технологии в машиностроении». 10-12 июня 2012. – Ишимбай, 2012. – с. 12-13.

INCREASE OF THE RESOURCE AND RELIABILITY OF WORK OF SPIRALNOKONICHESKY GEAR WHEELS BY APPLICATION OF STRENGTHENING PROCESSING TAKING INTO ACCOUNT INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL HEREDITY

V.F. Makarov, A.S. Gorbynov

The results of research of influence of sequence of performance of technological operations of processing of teeths of gear wheels on parametres of quality of a blanket - a roughness, residual pressure and raise of hardnees Are resulted. It is established, that the optimum picture of distribution of residual pressure in superficial a layer of a bottom of a hollow of a gear wreath is observed after operation of training with the subsequent hardening by microballs - (method PPD). Thus microhardness of a blanket increases in 2-2,5 times.

Keywords: Gas turbine engine, a spirally-conic gear wheel, teeths, reliability, a resource, quality of a blanket, a hollow, microhardness, residual pressure.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

А.М. Марков¹, д.т.н., профессор, **Д.А. Габец¹**, аспирант,
А.В. Габец², директор по развитию, **В.Н. Некрасов¹**, к.т.н., доцент,
В.В. Каргин¹, аспирант

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

²ООО «СибТрансМаш», г. Барнаул

В данной работе представлена методика испытания деталей тележки грузового вагона на износостойкость по средством сравнительной оценки триботехнических характеристик материалов.

Ключевые слова: износостойкость, износостойкий чугун, модернизация тележки грузового вагона, неисправности грузовых вагонов.

Одной из главных задач машиностроения является повышение надежности и долговечности машин, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Для многих машин и механизмов долговечность и надежность тесно связаны с износостойкостью деталей. Особенно велико значение долговечности для быстро изнашивающихся деталей тележки грузового вагона, так как они работают в условиях наиболее интенсивного динамического воздействия. Воздействие динамических сил вызывает интенсивный износ и повреждение трущихся деталей и узлов тележки.

Как видно из диаграммы распределения причин выхода из строя деталей вагона в 2010 году (рис.1) наибольшее их количество занимают неисправности деталей подверженных износу в процессе эксплуатации.

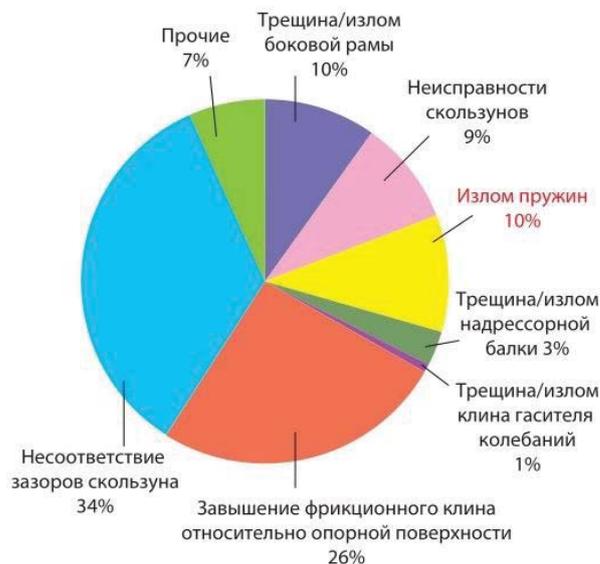


Рисунок 1 - Диаграмма выхода из строя грузовых вагонов по неисправностям тележки за 2010 год. [1]

Типичные виды износа представлены на (рис. 2).



Рисунок 2 - Износ колпака скользуна, фрикционного клина, диска подпятника

Один из наиболее перспективных вариантов модернизации тележки является использование износостойкого чугуна ЧМН-35М (ТУ 0812-001-10036140-2013) в качестве материала для деталей, подверженных интенсивному износу. Химический состав и механические свойства представлены в таблицах 1 и 2.

Износостойкий чугун ЧМН-35М обладают улучшенным комплексом основных физико-механических и служебных свойств, меньшей склонностью к разрушению, а также более высоким уровнем сопротивления ударному и длительному циклическому воздействию. По результатам ранее проведенных авторами исследования образцов чугуна, полученного при легировании синтетического серого чугуна марки СЧ35 никелем и молибденом, с последующей обработкой расплава модификатором «Z-GRAPH®Т», установлено, что чугун марки ЧМН-35М обеспечивает заданные параметры по химическому составу, механическим свойствам и структуре.

Однако примеров применения данного чугуна для деталей тележки грузового вагона недостаточно. Это вызывает необходимость проведения цикла исследований, влияния химического состава чугуна на износостойкость.

Таблица 1 - Химический состав чугуна марки ЧМН-35М

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu	P	S
						не более			
ЧМН-35М	2,5	1,3	0,7	0,6	0,5	≤0,3	≤0,3	≤0,2	≤0,1
	÷	÷	÷	÷	÷				
	2,8	1,5	1,0	0,9	0,8				

Таблица 2 - Механические свойства чугуна марки ЧМН-35М

Марка чугуна	Временное сопротивление при растяжении, МПа, (кгс/мм ²), не менее	Твердость по Бринеллю	
		не менее	не более
ЧМН-35М	350 (35)	250	300

Таким образом целью исследования является установление износостойких свойств материалов применяемых при изготовлении узлов тележки грузового вагона. Задачами исследования является выявление

зависимости весового износа, от усилия и длины пути в результате взаимодействия трущихся поверхностей. А так же проведение сравнительных испытаний материалов на основе сравнительной оценки триботехнических характеристик посредством весового износа.

В соответствии с ГОСТ 27674-88. Износостойкость – это способность материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания. Испытывались восемь видов материалов возможных в применении для изготовления деталей тележки грузового вагона (таблица 3).

Таблица 3 - Испытуемые материалы

Элемент тележки грузового вагона	Надрессорная балка	Фрикционный клин	Фрикционная планка	Опора кузова вагона	Колпак скользуна	Пятник	Диск подпятника
Материал	20ГЛ	20ГЛ	30ХГСА	20ГЛ	20ГЛ	Сталь 40	20ГЛ
	20ГЛ (t)	СЧ35	25Х	09Г2С	ЧМН-35М		ЧМН-35М
		ЧМН-35М					30ХГСА
							20ГЛ(t)

Исследуемые пары трения приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Пары трения

№	Пара трения	
	Колодка	Вал
1	Сталь 20ГЛ	Сталь 20ГЛ
2	Сталь 20ГЛ	СЧ35
3	Сталь 20ГЛ	ЧМН-35М
4	Сталь 20ГЛ (t)	Сталь 20ГЛ
5	Сталь 20ГЛ (t)	СЧ36
6	Сталь 20ГЛ (t)	ЧМН-35М
7	30ХГСА	Сталь 20ГЛ
8	30ХГСА	СЧ36
9	30ХГСА	ЧМН-35М
10	25Х	Сталь 20ГЛ
11	25Х	СЧ36
12	25Х	ЧМН-35М
13	09Г2С	Сталь 20ГЛ
14	09Г2С	ЧМН-35М
15	Сталь 20ГЛ	Сталь 40
16	ЧМН-35М	Сталь 40
17	30ХГСА	Сталь 40
18	Сталь 20ГЛ (t)	Сталь 40

Выбор оборудования осуществлялся согласно точностным и динамическим характеристикам, удовлетворяющим всем необходимым условиям проведения эксперимента. В качестве испытательного оборудования используется машина трения модели 2168 УМТ. (Общий вид машины приведен на рис. 3). Машина для испытаний материалов на трение 2168 УМТ предназначена для испытаний различных фрикционных и смазочных материалов на трение и износ с максимальным моментом трения 40 Нм и максимальной частотой вращения шпинделя 3000 мин⁻¹. Процесс трения выполняется в камере трения рис. 4.

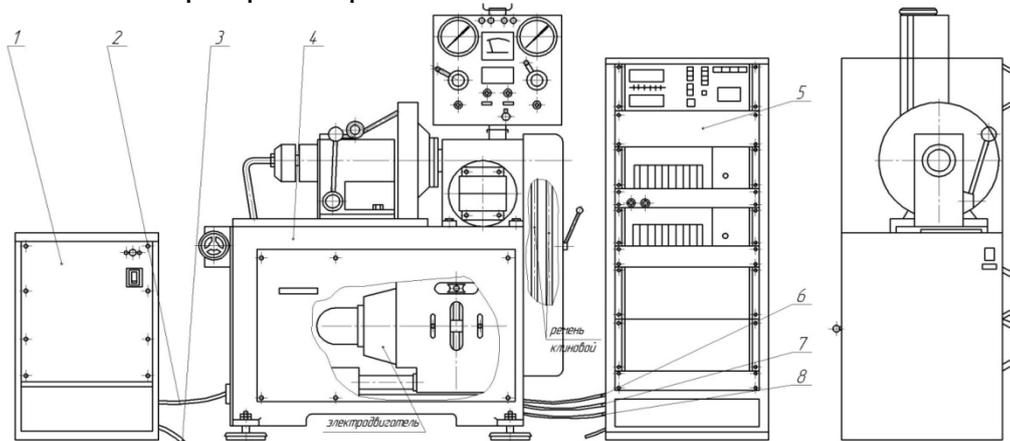


Рисунок 3 - Машина трения 2168 УМТ. 4 - установка испытательная с пультом оперативным, 5 - пульт управления с записывающим устройством, 1 - пульт с силовым оборудованием и 2,3,6,7,8 - устройства соединительные



Рисунок 4 - Камера трения

Исследования проводятся с использованием специально изготовленных образцов представляющих собой пару «вал – колодка».

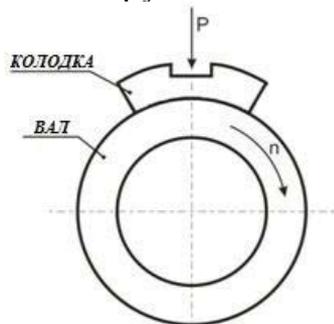


Рисунок 5 - Схема испытания

Колодка и вал изготавливается из материала, выбранного для исследования. На нерабочей поверхности колодка имеет паз для базирования в приспособлении машины трения. (Конструктивно-геометрические параметры колодки и вала представлены на рисунке 5). Для проведения испытаний колодка устанавливалась в корпус, вал устанавливается на оправку. Перед каждым циклом испытаний выполняется промывка и просушка образца для удаления пыли и продуктов износа. Рабочие условия проведения эксперимента достигаются на машине трения, путем сообщения втулке вращательного движения вокруг собственной оси, а колодке давления на вал соответствующего удельному давлению согласно программе испытаний.

Порядок проведения эксперимента

1. Промыть и высушить вал и колодку;
2. Взвесить колодку, занести показания весов в таблицу;
3. Взвесить вал, занести показания весов в таблицу;
4. Установить и закрепить вал на оправку машины трения;
5. Установить и закрепить колодку в приспособлении машины трения;
6. Задать на панели управления машины трения требуемые параметры работы;
7. Провести цикл испытаний;
8. Снять колодку;
9. Снять вал;
10. Промыть и высушить колодку;
11. Промыть и высушить вал;
12. Взвесить колодку, занести показания весов в таблицу результатов;
13. Взвесить вал, занести показания весов в таблицу результатов;
14. Повторить пункты с 6 по 13 необходимое количество раз, согласно программе испытаний.

В качестве изменяемых параметров при испытаниях выступают:

- усилие прижима колодки к валу (P), МПа;
- длина пути пройденного валом относительно поверхности колодки (L), м.

Параметры испытаний для определения зависимостей износа материала от нагрузки. Путь для каждой пары трения составляет 1200 м.

Нагрузка создаваемая на колодке: 20, 50 и 100 Кг/см²

Скорость создаваемая на валу: 500 об/мин

Контрольные точки измерения весового износа: 400, 800 и 1200 метров.

Результаты испытаний

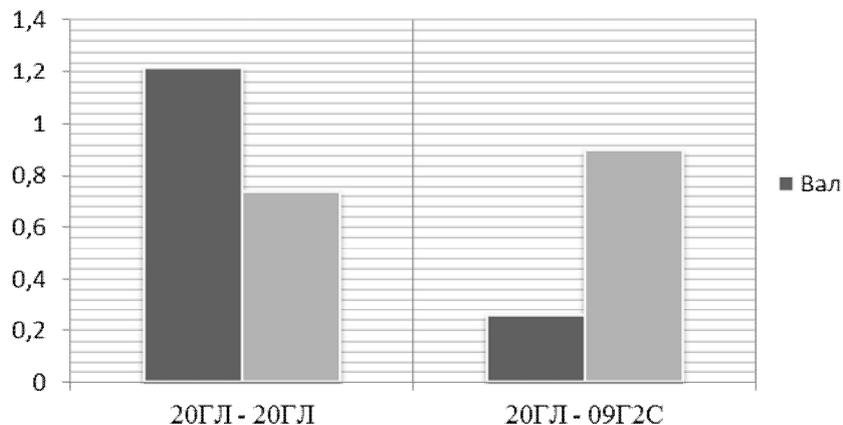
Нагрузка создаваемая на колодке: 50 Кг/см².

Скорость создаваемая на вале: 500 об/мин.

Контрольная точка измерения весового износа: 400м.

Таблица 5 - Весовой износ пар трения: 20ГЛ - 20ГЛ и 20ГЛ - 09Г2С

№ Испытания	Образец	Материал	Масса, весового износа, грамм			
			1	2	3	среднее
1	Вал	20ГЛ	1,2	1,25	1,21	1,22
	Колодка	20ГЛ	0,75	0,73	0,74	0,74
2	Вал	20ГЛ	0,25	0,28	0,26	0,26
	Колодка	09Г2С	0,91	0,9	0,89	0,90



Целью данных исследований является установление зависимости весового износа, от усилия и длины пути в результате взаимодействия трущихся поверхностей. Кроме того необходимо провести сравнительные испытания материалов на основе сравнительной оценки триботехнических характеристик посредством весового износа. Это позволит выявить износостойкие свойства материалов применяемых при изготовлении узлов тележки грузового вагона.

Библиографический список

1. Шпади Д. В. Новым грузовым вагонам - инновационные узлы и детали. // Техника Железнодорожных дорог. – №1 от 17 февраля 2012 года. – С. 46.

THE MATERIAL RESISTANT TESTS

A. M. Markov, D. A. Gabets, A. V. Gabets, V. N. Nekrasov, V. V. Kargin

In this paper we present freight-cars truck resistant tests by comparative valuation of tribotechnical characteristics.

Key words: resistant, abrasion-resistant cast iron, rebuilding of freight-car truck, freight-car faults.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

А.М. Марков¹, д.т.н., профессор, **А.Н. Ромашев²**, к.т.н., доцент,
П.В. Перепелкин², инженер, **А.В. Дубаносов²**, студент,
А.С. Кудрявцев², студент

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, ²Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Бийск

В статье представлены конструкция и некоторые результаты исследования поведения пьезокерамических многоэлектродных датчиков для регистрации силовых параметров процесса резания, встроенных в модульную инструментальную оснастку. Исследования проводились и в статических условиях, но при динамическом изменении силовых параметров, и при механической обработке резанием с использованием модели инструментальной оснастки.

Ключевые слова: модульная инструментальная оснастка, пьезокерамический многоэлектродный датчик, силовые параметры процесса резания

Одна из главных причин снижения точности обработки деталей на металлорежущих станках заключается в изменении размеров режущего инструмента вследствие его износа. Проблема обостряется при обработке труднообрабатываемых материалов, поскольку трудоемкость обработки заготовки в этом случае соизмерима с ресурсом инструмента. Остановка процесса по причине износа инструмента часто вызывает брак дорогостоящей детали.

Контроль состояния и замена инструмента в реальных производственных условиях осуществляются на основе расчетной стойкости. Однако в зависимости от качества инструмента его ресурс по стойкости в одной партии колеблется от 15 до 35%. Если время работы инструмента определяется наихудшим образцом в партии, то наиболее стойкие образцы при фиксированной наработке используют свой ресурс лишь на 65%. Без информации об интенсивности изнашивания инструмента невозможна оптимизация процессов резания, процедура выбора оптимальных технологических условий обработки и т.д. Несмотря на продолжительные исследования, проводимые в указанном направлении зарубежными и отечественными специалистами, проблема создания системы оперативной диагностики режущего инструмента (РИ) остается нерешенной.

Известно, что себестоимость и качество изделий, выпускаемых предприятиями машиностроительного комплекса, в значительной степени определяется формой организации технологического процесса и используемого для обработки изделий режущего инструмента.

В настоящее время наиболее перспективным направлением в использовании режущего инструмента считается применение модульной инструментальной оснастки (МИО) с автоматическими системами диагностики инструмента.

Технологическая гибкость инструментальной оснастки, обеспечивая возможность частой и быстрой переналадки оборудования на обработку партий различных деталей, ярко проявляется при замене инструмента, когда требуется определенное время не только на установку нового инструмента, но и на его «привязку» для формирования разнообразных наладок, чтобы достичь наибольшей производительности.

Немаловажное значение для повышения эффективности производства приобретает дальнейшее совершенствование существующих конструкций режущего инструмента, имеющихся на машиностроительных предприятиях.

Одним из способов решения этих задач является использование модульных и многофункциональных конструкций инструмента и систем на их основе. Важным в разработке модульного инструмента является выбор конструкции соединительного элемента. При этом должны обеспечиваться достаточные жесткость, точность и повторяемость размеров инструмента. По данным фирмы SandvikCoromant (Швеция) немногим более 35% времени работы оборудования можно использовать непосредственно для резания, применяя традиционную инструментальную оснастку. Модульная же быстросменная оснастка дает возможность увеличить это время, что позволяет окупить затраты на быстросменную оснастку всего за несколько месяцев.

Разработанная и запатентованная конструкция МИО [1] включает: корпус 1, предназначенный для размещения в гнездо револьверной головки и для базирования в нем других конструктивных элементов оснастки; центрирующую втулку 2 для центрирования сменного модуля относительно корпуса; инструментальный модуль 3, установленный в коническом отверстии центрирующей втулки; тягу 4, имеющую наклонные прорези для закрепления инструментального модуля. Зажимной узел включает в себя пазы на хвостовике сменного инструментального модуля 3 и в корпусе 1, тягу 4, пакет тарельчатых пружин 5 и шарики 6 (рисунок 1).



Рисунок 1 - Элементы конструкция модульной инструментальной оснастки

Форма корпуса не требует никаких доработок для револьверной головки, и нет необходимости в специальных адаптерах. Поэтому традиционные станки с ЧПУ могут быть легко переоснащены на быстросменную оснастку и при этом оснащенную датчиком силы при использовании стандартных базовых блоков.

Рассмотрев конструкцию модульной инструментальной оснастки с целью установки в нее многокомпонентного датчика силы резания. Было определено, что наиболее удобным местом расположения датчика является плоскость разъёма оснастки, так как оно находится в непосредственной близости к зоне резания, на что указывает минимальное число кинематических звеньев, расположенных между плоскостью разъёма и зоной резания. В этой плоскости сменный блок контактирует с корпусом по его торцевой поверхности кольцевой формы. Очевидным является использование чувствительного элемента датчика кольцевой формы, который будет воспринимать нагрузку, действующую от сменного модуля на корпус МИО, посредством которой будет определяться величина силы резания и её составляющие.

В предлагаемом многокомпонентном датчике силы резания чувствительный элемент выполнен в виде кольца из пьезокерамики. Электрод на одной его стороне пьезокольца разделен на четыре равных сектора, это позволяет организовать такое восприятие деформации от действия составляющих силы резания, что на полученных электродах, при их соответствующем соединении, будут возникать сигналы пропорциональные определенной составляющей силы резания. Кроме того, чувствительный элемент устанавливается в плоскости разъёма модульной инструментальной оснастки, позволяющей использовать различные по форме и геометрическим параметрам режущие элементы.

Многокомпонентный датчик силы резания содержит чувствительный элемент 1, установленный в плоскости разъёма модульной инструментальной оснастки (рисунок 2). Находящийся в пазе корпуса 2, и представляющий собой кольцо, верхний электрод которого разделен на четыре равных сектора выполненных в плоскости перпендикулярной вертикальной оси кольца и соединенные мостовой схемой через гетинаксовую пластину. Нижний электрод кольца опирается на пластину из гетинакса, служащую для присоединения контактов, которые передают сигнал с кольца на сетевую плату АЦП. Корпус 2 модульной инструментальной оснастки, закрепляемый в гнезде револьверной головки токарного станка, с выполненным на торце пазом, для размещения датчика; инструментальный модуль 3, осуществляющий процесс резания; зажимной узел 4, обеспечивающий закрепление инструментального модуля относительно корпуса 2.

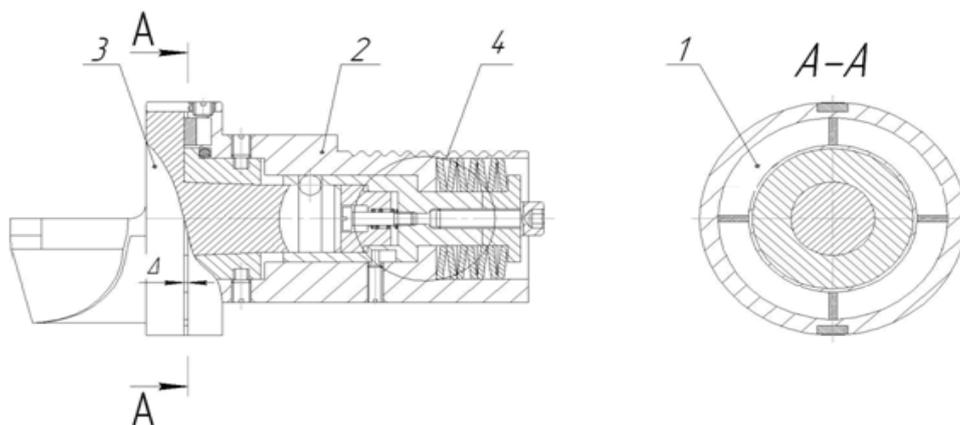


Рисунок 2 - Модульная инструментальная оснастка со встроенным датчиком

Кольцо разделено на четыре равных сектора, чтобы поперечное сечение узла крепления блоков по чувствительным элементам, было центрально симметрично относительно центра поперечного сечения. Симметрия сечения необходима для того, чтобы возникающие механические напряжения σ_i в чувствительных элементах от измеряемой нагрузки имели одинаковую величину. В этом случае будет иметь место минимальное взаимное влияние измеряемых составляющих силы резания, так как одинаковые по величине механические напряжения на элементах для измерения соответствующей составляющей силы резания от других составляющих будут компенсироваться при определенной схеме соединения электродов, и, следовательно, чем симметричнее будет конструкция, тем более она скомпенсирована.

Конструкция работает следующим образом, при закреплении сменного инструментального модуля 3 происходит начальное деформирование чувствительного элемента 1 за счет того, что толщина чувствительного элемента больше глубины паза, в котором он находится, при этом деформирование чувствительного элемента 1 ограничивается усилием закрепления инструментального модуля 3. Таким образом, происходит требуемая первоначальная деформация чувствительного элемента 1 и обеспечивается необходимая жесткость модульной инструментальной оснастки. При точении на режущий элемент инструментального модуля 3 действует сила резания. При этом деформация инструментального модуля 3 через узлы ввода чувствительного элемента 1, соприкасающиеся с торцом инструментального модуля 3, передается на сектора чувствительного элемента 1 за счет имеющегося зазора Δ между торцами корпуса 2 и инструментального модуля 3. Возникает разность потенциалов между секторами кольца, вследствие чего на выходах мостовых цепей появляются электрические сигналы, пропорциональные составляющим силы резания.

Предлагаемый многокомпонентный датчик силы резания, по сравнению с известными вариантами, имеет простую конструкцию и меньшие габариты, что способствует его применению в различных автоматизированных системах технологического оборудования и дает возможность использования чувствительного элемента для различных режущих инструментов в виде

сменных инструментальных модулей с разной формой и геометрией их режущей части.

Сигнал с датчика, поступает на сетевую плату АЦП и оцифровывается. В персональный компьютер информация поступает через порт ввода и может быть занесена как в оперативную память, так и на внешнее запоминающее устройство. Далее сигнал преобразуется и обрабатывается виртуальными приборами, разработанными в программной среде LabView.

Для проведения экспериментов, и выявления информативных параметров, позволяющих контролировать процесс резания, необходима не только запись сигнала о составляющих силы резания, но и последующая обработка полученных данных. Для этого в среде LabView было создано два виртуальных прибора (рисунок 3). Один из приборов использовался для непосредственного получения сигнала с датчика силы, его визуализации и последующей записи в память компьютера. Второй прибор был создан для анализа полученного сигнала, его визуализации, фильтрации и подавления шумов, а так же для получения непосредственно информативных данных, выделения нужного участка из всего записанного сигнала и других манипуляций. Интерфейс приборов содержит регуляторы настроек отображения и обработки сигналов (число каналов, порядок функции интерполяции, порядок усреднения данных и др.), а также окна визуализации сигнала, элементы управления курсорами, элементы выбора типа фильтров и др.

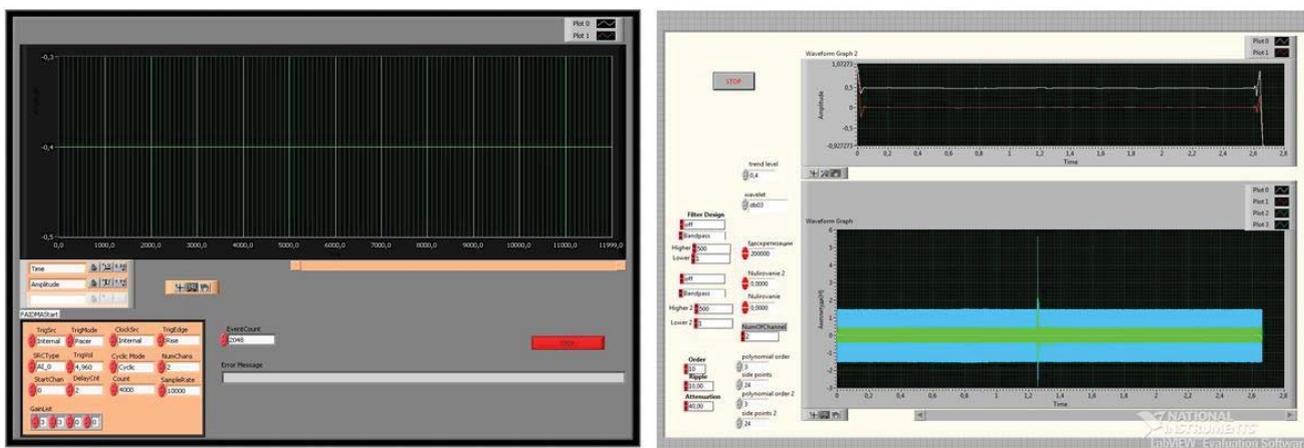


Рисунок 3 – Интерфейс виртуальных приборов

Разработка оригинальных виртуальных приборов была обусловлена необходимостью формирования нестандартных параметров, совмещенных критериев, а также обеспечением возможности корректировки функций прибора для получения наглядного представления об общих тенденциях изменений выходных сигналов при варьировании исследуемых технологических параметров обработки.

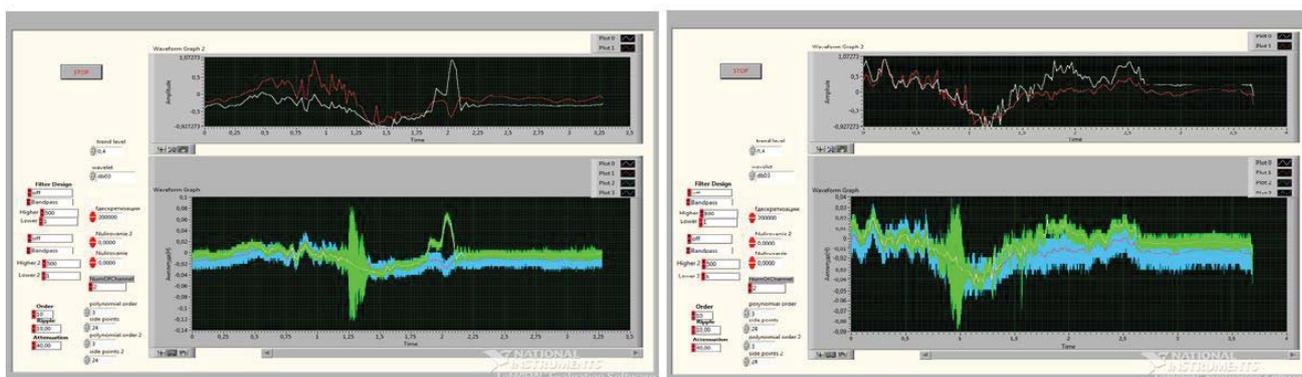


Рисунок 4 - Виртуальный прибор для обработки сигнала

На рисунке 4 представлены показания приборов во время проведения эксперимента, в данном случае проводилось изменение угла приложения нагрузки. Угол приложения силы изменялся от 0 до 90 градусов (или один сектор кольца). Анализируя результаты эксперимента можно сделать вывод о качественной оценке получаемого сигнала от многокомпонентного датчика силы. При приложении определенной нагрузки в середину сектора сигналы с обоих каналов получаются примерно одинаковыми, как только мы начинаем изменять угол приложения силы, т.е. смещать прикладываемую нагрузку от центра сектора, один из сигналов, в зависимости от того в какую сторону мы смещаем нагрузку начинает увеличиваться, а второй соответственно начинает уменьшаться.

Для отслеживания отличия сигналов между двумя каналами датчика, во время приложения кратковременной нагрузки в различных частях чувствительного элемента производилось поочередное сбрасывание пяти шариков различной массы и разного диаметра, для каждого из шариков были просчитаны импульсы силы, которые передает шарик в момент удара после сброса его с определенной высоты. На рисунке 5 показаны показания приборов в момент сброса одного и того же шарика в разные части чувствительного элемента. Шарик массой 2,035 г и диаметром 7,43 мм, сбрасывался с высоты 200 мм на левый сектор, между секторами, и на правый сектор.

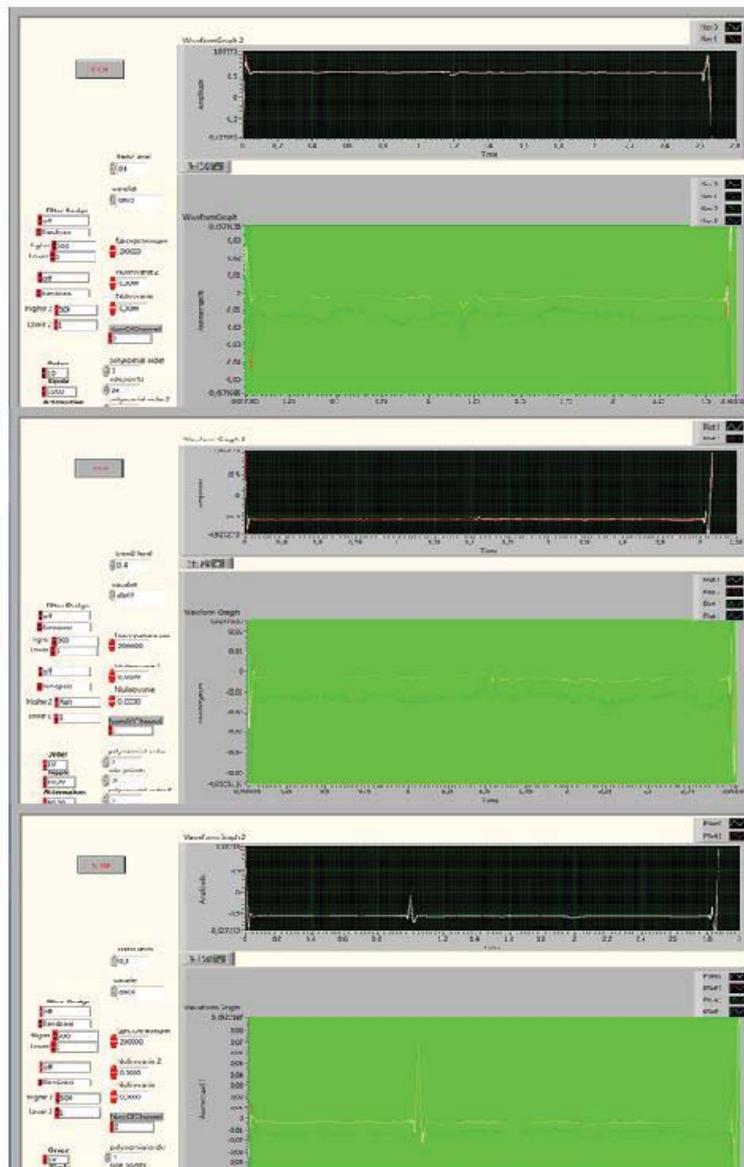


Рисунок 5 – Показания приборов при сбросе шарика на левый сектор, между секторами и на правый сектор соответственно

На рисунке 6 представлен опытный образец модели МИО со встроенным датчиком, позволяющим моделировать измерение составляющих силы резания. Конструкция содержит державку 1, служащую для установки модели МИО на станке; металлические шайбы 2 и 6, предназначенные для того чтобы кольцо 5 из пьезокерамики не раздавило резцом во время работы; две пластины 3 изготовленные из гетинакса, одна из которых разделена на 4 сектора, к каждому из которых припаян контакт; кольцо 5 устанавливается между пластинами, верхний электрод которого разделен на 4 равных сектора, каждой из которых совпадает с секторами одной из пластин; втулку 4 из фторопласта, предназначена для центрирования кольца в резце; режущую головку 7, которая служит рабочей частью инструмента. Сигнал с датчика поступает в приборы тем же способом что и в предыдущем случае.

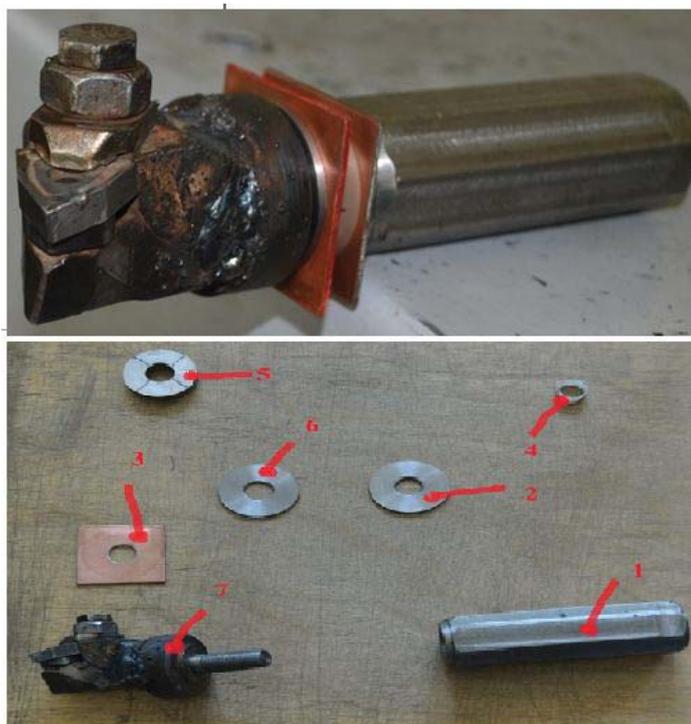


Рисунок 6 – Опытный образец модели МИО со встроенным датчиком

Данную модель МИО применяли для точения цилиндра диаметром 40мм из дюралюминия ГОСТ 4784-97 с пределом прочности $\sigma_B = 450\text{МПа}$ в стадии поставки. Обработка проводилась с различными режимами, на рисунке 7а представлены, например, показания приборов при торцовке цилиндра, а на рисунке 7б - при продольном точении.

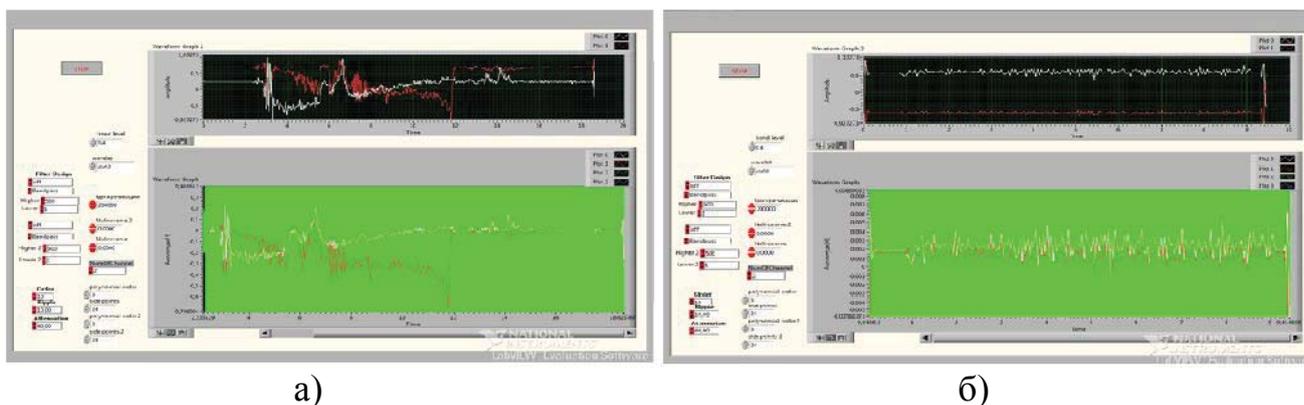


Рисунок 7 – Показания приборов при точении

а) - $n=1000$ об/мин, $t=0,5$ мм; $s=0,05$ мм/об, б) - $n=1500$ об/мин; $t=0,03$; $s=0,05$ мм/об.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о качественных изменения выходных сигналов, встроенного в МИО, пьезокерамического датчика. Характер указанных изменений зависит от условий приложения силовых параметров, что также проявляется в характере поведения выходных сигналов. При этом указанные изменения имеют очень высокую

чувствительность, т.к. для проведения измерений потребность усилителя не наблюдалась. К сожалению количественные характеристики на данном этапе оценить не получилось, для этого требуются дополнительные исследования.

Библиографический список

1. Ромашев А.Н., Беломыцев В.В. Модульная инструментальная оснастка Патент на полезную модель RU № 97662 от 20.09.2010 г. Бюл. №26.

DESIGNING AND RESEARCH OF BEHAVIOUR OF PYEZOKERAMIC MULTIELECTRODE SENSORS FOR REGISTRATION OF POWER PARAMETERS OF PROCESS OF CUTTING

**A.M. Markov, A.N. Romashev, P.V. Perepelkin, A.V. Dubanosov,
A.S. Kudryavtsev**

The design and some results of research of behavior are presented in article the pyezokeramic of multielectrode sensors for registration of power parameters of process of the cutting, built in modular tool equipment. Researches were conducted and in static conditions, but at dynamic change of power parameters, and when machining by cutting with use of model of tool equipment.

Keywords: modular tool equipment, pyezokeramic multielectrode sensor, power parameters of process of cutting.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

М.И. Маркова, к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова
г. Барнаул

Представлены результаты практического использования разработанного пакета программ для автоматизации технологической подготовки производства.

Ключевые слова: Автоматизация технологической подготовки производства, состав изделия, нормы времени, затраты, материал, незавершенное производство, оперативное планирование, производственный процесс, расчет цены.

Технологическая подготовка, являясь основой машиностроительного производства, может быть эффективно реализована на основе использования систем программного обеспечения. Разработанные к настоящему времени пакеты программ позволяют автоматизировать процесс принятия управленческих технологических решений как на этапах разработки технологических процессов, так и на этапах их реализации.

Ниже рассмотрен состав и описаны особенности применения пакета программ [1, 2], разработанных коллективом ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова» и ОАО «Алтайгеомаш» для автоматизации технологической подготовки производства буровых станков и установок для геологоразведочного бурения.

Лежащие в основе пакета программные модули реализованы в среде FoxPro. Вся информация по выпускаемым изделиям хранится в связанных между собой базах данных. Работа с программным модулем ведется в диалоговом режиме.

Для удобства работы пользователей программный модуль разбит на несколько подмодулей, которые решают следующие задачи:

- обеспечение состава изделия;
- внесение данных по материалу;
- незавершенное производство;
- оперативное планирование;
- расчет стоимости выпускаемой продукции.

Модуль «Ведение состава изделия» позволяет вносить в базу данных детали и узлы изделия с уникальным кодом, наименованием, входимостью и применяемостью. Для каждой детали указывается маршрут обработки и операции, которые она проходит (рисунок 1).

Код узла: 150.01.006

Наименование ШЕСТЕРНЯ

Входит в: 150.01.000 Применяемость: 1.000 ЗИП: 0

Ед. изм.

Стандартное

Резина

Цеха

КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫЙ УЧАСТОК
ТЕРМОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ
МЕХАНИЧЕСКИЙ 1
ЗАГОТОВИТЕЛЬНОСБОРОЧНЫЙ

< Ok > <Отказаться>

Рисунок 1 – Ввод данных на деталь или узел

Для операции заносятся нормы времени с расценкой на выполнение. Это позволяет проводить расчет изготовления изделия.

Выходными документами являются:

- входимость узлов на изделие либо узел;
- расцеховка (рисунок 2);
- ведомость норм времени по изделию (рисунок 3);
- трудоемкость по цехам либо по видам работ.

РАСЦЕХОВКА
Узел: 150.00.000 -150.00.000 МЕХ-ЗМ СВИНЧИВАНИЯ И РАЗВИНЧИ

Код	Название	К-во	ЗИП	Вес	Норма расхода	Цеха
03.707	ПРОКЛАДКА	1.00	0	0.0050	0.0400 шт	ЗСЦ
05М-305	ШАЙБА	1.00	0	0.0450	0.0900 шт	ЗСЦ
05М-306	ПРОВОЛОКА	1.00	0	0.0010	0.0020 шт	ЗСЦ
150.00.001	ТАБЛИЧКА	1.00	0	0.0180	0.0210 шт	ЗСЦ, ИИ1
150.01.000	ВРАЩАТЕЛЬ	1.00	0	190.0000	0.0000 шт	ЗСЦ
150.01.001	ШЕСТЕРНЯ	1.00	0	0.3000	57.3000 шт	ЗСЦ, КПУ, ТГУ, М1, ИИ1
150.01.002	КРЫШКА	1.00	0	1.2900	64.1000 шт	ЗСЦ, М1, ТГУ
150.01.003	ЦЕНТРАТОР	1.00	0	6.4500	23.5000 шт	ЗСЦ, КПУ, ТГУ, М1

Рисунок 2 – Расцеховка

ВЕДОМОСТЬ НОРМ ВРЕМЕНИ Цех: МЕХАНИЧЕСКИЙ 1
Изделие: 150.00.000 -150.00.000 МЕХ-ЗМ СВИНЧИВАНИЯ

Операция	Н тар сетки	Раз ряд	Норма времени на един.	Расценка	Вред ность	Итого расценка
150.01.001 - ШЕСТЕРНЯ			1.000шт φ170×310 40х к	0.000 ЗИП		
ТОКАРНАЯ	1	3	301.87	290-98.469	0%	290-98.4
ЗУБОФРЕЗЕРНАЯ	1	3	88.40	85-21.318	0%	85-21.3
ПРОТЯЖНАЯ	1	2	10.07	7-46.757	0%	7-46.7
СЛЕСАРНАЯ	2	2	14.05	9-73.334	0%	9-73.3
НАЛАДКА	2	4	50.25	51-14.194	0%	51-14.1
Всего:			464.64			444-54.0

Рисунок 3 – Ведомость норм времени

После внесения состава изделия возможна работа с модулем “Материал”. Все материалы разграничиваются на металлы, неметаллы, покупные. При внесении указывается марка материала, его сортамент, норма расхода и стоимость (рисунок 4).

Материалы:			
Марка	Сортамент	Норма расх.	Масса дет.
СТ 3 КП	ЛИСТ=30	64.1000	1.2900

Группы			
**** Металлы ****			
ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ			
ПРОКАТ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ			
СТАЛЬ ТОЛСТОЛИСТОВАЯ			

Рисунок 4 – Внесение данных по материалу

Выходными документами являются:

- попрофильные нормы на узел, по цехам, на программу;
- суммарные попрофильные нормы на изделие;
- материальные затраты с нормами расхода по цехам;
- нормы расхода материала на изделие (рисунок 5).

НОРМА РАСХОДА С ЦЕНОЙ НА МАТЕРИАЛ ПО ИЗДЕЛИЯМ на 02.09.14					
Кооперированные поставки+хромирование					1
Марка	Сортамент	Ед. изм.	ВСЕГО	Цена	Сумма
***** МЕТАЛЛЫ *****					
БОЛТ	3М 8-6J*20.58.06	кг	0.1040	67.00	6.97
БОЛТ	M16-6J* 30.58.06	кг	0.6300	67.00	42.21
ГАЙКИ	2M12- 6H.6.06	кг	0.1280	60.00	7.68
ГАЙКИ	2M16- 6H.6.06	кг	0.4560	60.00	27.36
Д 16 АТ	ЛИСТ=1.0	кг	0.0420	110.00	4.62
МЕДЬ МЗ	ЛИСТ=1.5	кг	0.0800	381.30	30.50
ПРОВОЛОКА	1.6-0-С	кг	0.0006	8.20	0.005
СТ 20	КРУГ 220	кг	301.0000	29.67	8930.67
СТ 3 КП-2	ШВЕЛЛЕР N 10	кг	32.2400	32.34	1042.64
СТ 3 КП	КРУГ 180	кг	190.0000	31.50	5985.00
***** НЕМЕТАЛЛЫ *****					
ВОЙЛОК	ПС- 8	кг	0.0080	305.00	2.44
ГРУНТОВКА ГФ-21		кг	1.6000	62.50	100.00
ДВУОКИСЬ УГЛЕР.	ЖИДКАЯ	кг	2.2260	10.00	22.26
КАРБИД КАЛЬЦИЯ	25/80-I	кг	2.9600	60.60	179.38

Рисунок 5 – Нормы расхода материала

Модуль “Незавершенное производство” позволяет отслеживать детали, находящиеся в производстве по цехам с указанием операций, которые они еще не прошли. Кроме этого можно просчитать общую стоимость незавершенного производства по цехам (рисунок 6).

НЕЗАВЕРШЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПО ИЗДЕЛИЮ				
150.00.000 МЕХ-ЗМ СВИНЧИВАНИЯ				
ЦЕХ: МЕХАНИЧЕСКИЙ 1				
Цех	Операция	Партия	Стоимость	
150.01.002	-КРЫШКА			- 1шт

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОСБОРОЧНЫЙ	ГАЗОРЕЗКА	20	1428-49.4	
ЗАГОТОВИТЕЛЬНОСБОРОЧНЫЙ	СЛЕСАРНАЯ	20	19-18.2	
И Т О Г О :			1447-67.5	
150.01.003	-ЦЕНТРАТОР			- 1шт

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОСБОРОЧНЫЙ	РЕЗАТЬ	25	387-43.4	
КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫЙ УЧАСТОК	РУБИТЬ-КЦЦ	25	83-76.6	
КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫЙ УЧАСТОК	КОВАТЬ	25	423-95.6	
И Т О Г О :			895-15.5	

Рисунок 6 – Незавершенное производство по цеху

Важной составляющей производственного процесса является оперативное планирование. С помощью модуля “Оперативное планирование” можно вести межцеховое движение деталей (рисунок 7), получать документы по остаткам деталей, находящихся в производстве в цехах на конец месяца (рисунок 8), отслеживать по цехам сдачу деталей на склад готовых деталей (СГД).

Деталь: 05-47		ШЕСТЕРНЯ			
Цех	Кол-во	Дата пост.	Заготовка	Откуда(цех)	Откуда(дата)
M1	6.000	01.03.13	L=75		
КПУ	5.000	30.01.13	L=75	ЗСЦ	30.01.13

Рисунок 7 – Движение детали по цехам

ОСТАТКИ ПО СКЛАДУ СГД											
ИЗДЕЛИЕ: 150.00.000 Мех-3М СВИЧИВАНИЯ											
№	Код	Наименование	Прим	СГД нач. мес.	СГД врем енно	Поступление				Выдача	
						M1	PMY	M3	ЗСЦ	ОРГ	Сборка
	150.00.000	-150.00.000	Мех-3М								
1	150.06.000	РАМА	1	4	10						
	150.01.000	-ВРАЩАТЕЛЬ									
2	150.01.010-2	ОСНОВАНИЕ	1	6							
3	150.01.020	ВОДИЛО	1	8	5	5					
4	150.01.040	КОРПУС	1	4	10						
5	150.01.003	ЦЕНТРАТОР	1	2	8						

Рисунок 8 – Остатки склада СГД

Ведение склада СГД позволяет делать проверку на собираемость узлов и изделий, показывать дефицит деталей по изделию (рисунок 9), формировать производственные графики и задания на выполнение по цехам с учетом дефицита деталей (рисунок 10).

Дефицит по изделию/узлу				
Код	Деталь (узел)	План	На склад	Дефиц
150.00.000	150.00.000 Мех-3М СВ	2.00		-2.00
150.01.000	ВРАЩАТЕЛЬ	2.00		-2.00
150.01.010-2	ОСНОВАНИЕ	2.00	6	
150.01.031-2	ФЛАНЕЦ	2.00		0.00
150.01.032-2	СТАКАН	2.00		0.00
150.01.020	ВОДИЛО	2.00	8	
150.01.034	ПОВОДОК	2.00	1	0.00
150.01.035	СТАКАН	2.00		0.00
150.01.040	КОРПУС	2.00	4	
150.01.051-1	ОБЕЧАЙКА	4.00		0.00
150.01.052	ФЛАНЕЦ	2.00		0.00
150.01.053	ФЛАНЕЦ	2.00		0.00
150.01.054	ПЛАСТИНА	2.00		0.00

Рисунок 9 – Дефицит деталей

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ЦЕХА ЗСЦ										
ДЕФИЦИТ ЗАГОТОВОК ПО ИЗДЕЛИЮ:										
150.00.000 -150.00.000 Мех-3М СВИЧИВАНИЯ										
Код	Наименование	Марка	Сортамент	Размер заготовки	Пл ан	СГД	Деф иц.	Заготов		
								M1	ЗСЦ	КП
150.01.007	МАХОВИК	СТ 45	КРУГ 130	L=200	2	1	-1			
150.01.001	ШЕСТЕРНЯ	СТ 40X	КРУГ 180	L=330	2		-7	9		

Рисунок 10 – Задание для цеха

В модуле “Калькуляция” можно проводить расчет цены на изделие по статьям калькуляции с учетом общецеховых и общезаводских расходов (рисунок 11), вести расчет заработной платы на изделие, расчет затрат на изделие по узлам с указанием затрат на материал, нормативной заработной платой и оптовой ценой.

КАЛЬКУЛЯЦИЯ НА ПРОДУКЦИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ		650М С БИ
1.	Материалы	133994.92
2.	Покупные комплектующие изделия	137101.73
3.	Услуги кооперированных предприятий	115351.30
4.	Транспортно заготовительные расходы	7728.96
5.	Возвратные расходы	114.40
6.	Итого затрат на материалы	394062.50
7.	Основная з/плата производственных рабочих	159236.00
8.	Дополнительная з/плата производственных рабочих	23885.40
9.	Отчисления на ЕСН и Н/С с з/платы производственных рабочих	67388.68
10.	Возмещение износа инструментов	
11.	Общецеховые расходы	315287.28
12.	Общезаводские расходы	328344.63
13.	Итого заводская себестоимость	1288204.49
14.	Внепроизводственные расходы	15458.45
15.	Всего полная себестоимость	1303662.94
16.	Прибыль	130337.06
17.	Оптовая цена	1434000.00
18.	НДС	258120.00

Рисунок 11 – Расчет цены изделия по статьям калькуляции

Представленное программное обеспечение успешно применяется в течение десяти лет на ОАО «Алтайгеомаш», а так же при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» ФГБОУ ВПО «Алтайский государственных технических университет им. И.И.Ползунова»

Библиографический список

1. Свидетельство №2002610066 Российская Федерация. Технологическая себестоимость (MATERIAL): свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Ю.Г.Власов, Р.М.Дмуха, Л.М.Красильникова, А.М.Леонов, С.Л.Леонов, М.И.Маркова; заявитель и правообладатель Открытое акционерное общество геологоразведочных машин (ОАО «Алтайгеомаш») - № 2001611670; заявл. 03.12.2001; зарегистр. 22.01.2002. - 1 с.

2. Свидетельство №2002610067 Российская Федерация. Расчет трудозатрат (NORMA): свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Ю.Г.Власов, Р.М.Дмуха, В.Ф.Койнова, С.Л.Леонов, М.И.Маркова; заявитель и правообладатель Открытое акционерное общество геологоразведочных машин (ОАО «Алтайгеомаш») - № 2001611671; заявл. 03.12.2001; зарегистр. 22.01.2002. - 1 с.

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION

M.I. Markova

The results of the practical use of the software package for automation of technological preparation of production.

Keywords: automation of technological preparation of production, the composition of the product, norm of time, costs of materials, work-in-process, operational planning, process technology, pricing

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ

И.В. Мирошин, к. т. н., **К.П. Петренко**, к. т. н.

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово

В статье приведены исследования влияния режимов выглаживания на формирование поверхности с целью получения тонкого наноструктурированного слоя.

Ключевые слова: пластическое деформирование, алмазное выглаживание, микроструктура, наноструктурированный слой.

Приоритетным направлением повышения эффективности машиностроительного производства является развитие инновационных технологий изготовления деталей, обеспечивающих уникальные эксплуатационные свойства и позволяющих создавать высоконадежные и конкурентоспособные машины и оборудование. При этом первостепенная проблема состоит в разработке методов финишной обработки поверхностных слоев деталей. Согласно современным знаниям о природе прочности и износе конструкционных материалов, определяющее влияние на ресурс изделий оказывает структурно-фазовое состояние тонкого поверхностного слоя. В связи с этим перспективным направлением развития инженерии поверхности является разработка методов и технологий формирования наноструктурного состояния в поверхностном слое. Одним из наиболее эффективных методов формирования такого рода состояний является алмазное выглаживание.

Известно, что многократное повторение фрикционно-силового нагружения и базового цикла деформаций поверхностного слоя за счет управления подачей и количеством рабочих ходов инструмента позволяет создать высокий уровень накопленных деформаций и обеспечить условия формирования наноструктурного состояния [1, 2]. Кратность нагружения поверхностного слоя определяет эффективность пластического структурообразования.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования процесса выглаживания с использованием упругой державки (рис. 1) и инденторов (рис. 2), имеющих профильные радиусы в диапазоне 1,5 – 8 мм.

Эксперимент проводится как на сталях с пониженным содержанием углерода (до 0,2 %), так и на стали 45. Образцы в виде колец устанавливаются на специальную державку (рис. 3).

Целью экспериментальных исследований является установление режимов и технологии выглаживания, обеспечивающих получение наноструктурированного поверхностного слоя, что, в свою очередь, позволит увеличить износостойкость, контактную выносливость и усталостную прочность деталей машин.



Рисунок 1 - Упругая державка



Рисунок 2 - Инденторы



Рисунок 3 - Оправка специальная цилиндрическая с образцами-кольцами

Библиографический список

1. Кузнецов В.П., Макаров А.В., Поздеева Н.А., Саврай Р.А., Юровских А.С., Малыгина И.Ю., Киряков А.Е. Повышение прочности, теплостойкости и износостойкости деталей из цементированной стали 20Х наноструктурирующим фрикционным выглаживанием на токарно-фрезерных центрах // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – №9. – С. 3–13.

2. Пат. 2460628 Российская Федерация, С2 МПК В24В 39/00 и В82В3/00. Способ наноструктурирующего упрочнения поверхностного слоя прецизионных деталей выглаживанием / Кузнецов В.П.; заявл. 09.02.2011; опубл.10.09.2012, Бюл. №25.

RESEARCHES OF SURFACE LAYER MICROSTRUCTURE WHILE DIAMOND BURNISHING

I. V. Miroshin, K. P. Petrenko

This paper considers the effect of burnishing conditions on surface forming for the purpose of obtaining the nanostructured layer.

Keywords: plastic deformation, diamond burnishing, microstructure, nanostructured layer.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ТОКАРНЫХ ПЛАСТИН С РАСШИРЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

С.В. Михайлов¹, д.т.н., профессор, **Н.Ю. Ковеленов**², к.т.н., главный технолог,
А.С. Михайлов¹, аспирант

¹Костромской государственной технологической университет, г. Кострома,
²ООО «Вириал», г. Санкт-Петербург

Предложена методика проектирования сложнопрофильных металлорежущих токарных пластин, основанная на теории пространственного формообразования стружки. Представлены разработки сменных пластин для наружного и внутреннего точения, обладающие повышенными технологическими свойствами.

Ключевые слова: металлорежущий инструмент, сложнопрофильные режущие пластины, стружкообразование, классификатор сливных стружек

Введение

В основе проектирования сложнопрофильных режущих пластин лежат физические и математические модели, связывающие режимы резания и геометрию инструмента с выходными характеристиками процесса резания, в том числе с размерами и формой образующейся стружки. Исследование физической сущности процесса стружкообразования свидетельствует о неоднородном характере пластических деформаций по толщине и ширине срезаемого слоя материала. Степень неоднородности деформаций по сечению срезаемого слоя определяет интенсивность завивания стружки в трех взаимно перпендикулярных плоскостях.

Особенности проектирования сложнопрофильных токарных пластин

На основе изучения причинно-следственных связей процессов формирования, завивания и дробления спиральной стружки выявлены новые возможности получения благоприятной формы стружки путем целенаправленного воздействия на пластическую область ее зарождения через оптимизацию условий схода с инструмента. При создании переменных вдоль режущей кромки параметров схода стружки появляются дополнительные возможности управления процессом пространственного стружкообразования.

Управление пространственным завиванием стружки позволяет расширить круг задач, решаемых за счет конструирования сложнопрофильных режущих инструментов [1]. Об эффективности практического применения теории пространственного стружкообразования дает представление теоретический классификатор возможных форм стружек [2] (рис. 1).

Физическое представление о резании материалов инструментом со сложной формой передней поверхности использовано при разработке математической модели процессов стружкообразования, завивания и дробления винтовой сливной стружки.

На основе моделирования процесса резания инструментом с криволинейной передней поверхностью предложена новая концепция и методика проектирования сложнопрофильных сменных многогранных режущих пластин с учетом пространственного завивания стружки.

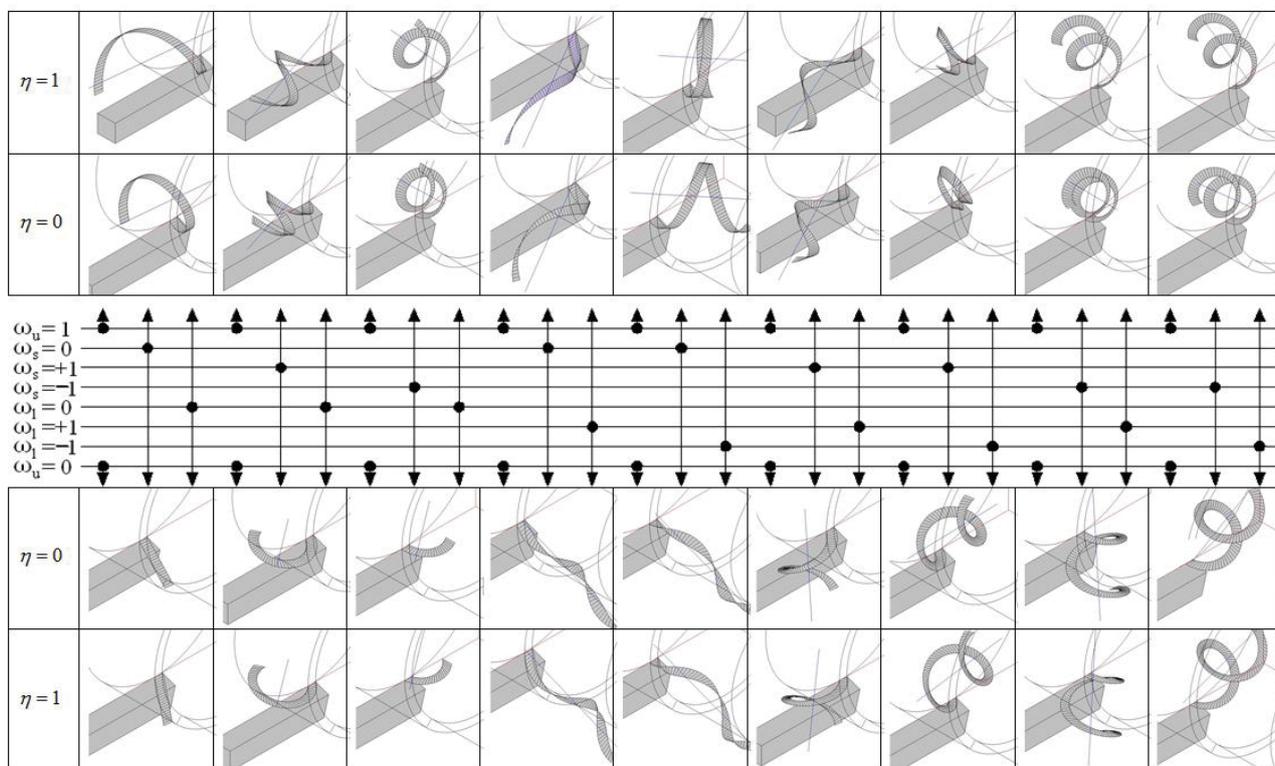


Рисунок 1 - Морфологический классификатор сливных стружек : η – угол схода стружки; ω_u , ω_s , ω_l – вращение стружки в вертикальной плоскости, в плоскости передней поверхности и плоскости поперечного сечения стружки; знак «0» означает отсутствие, а «1» - наличие параметра; знаки «+», «-» - соответствуют принятым направлениям вращения стружки

Результаты

С использованием предложенной методики проектирования СРП разработана гамма оригинальных конструкций твердосплавных режущих пластин для полустачных и черновых токарных операций (рис. 2).

Разработаны новые конструкции режущих пластин для операций расточки отверстий, отличающиеся улучшенным отводом стружки из зоны резания (рис. 3).

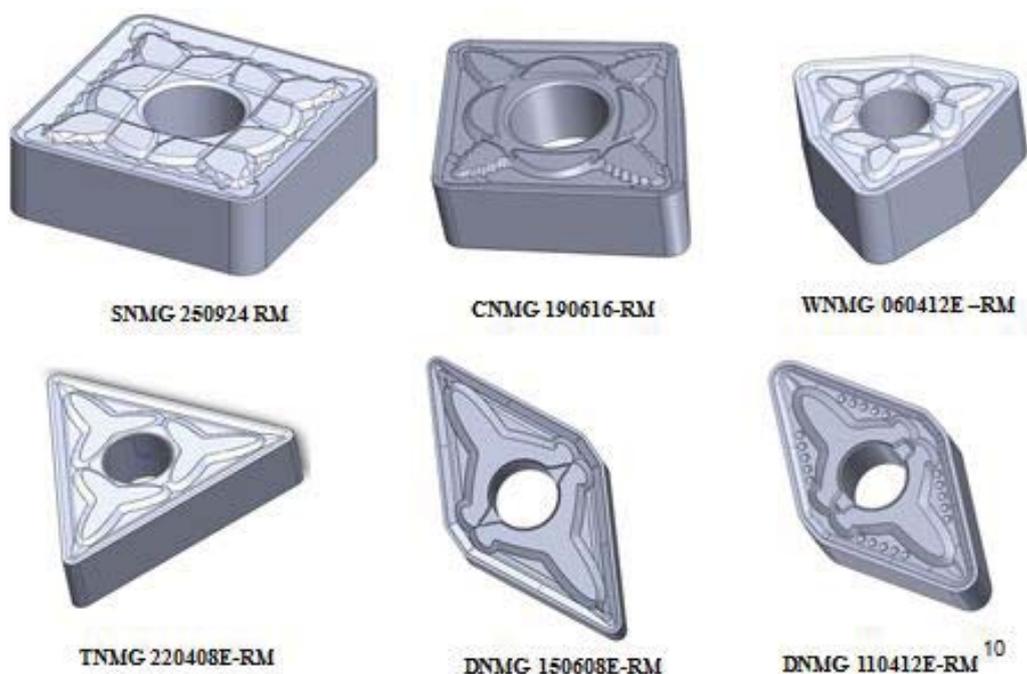


Рисунок 2 - Токарные режущие пластины для получистовых и черновых операций

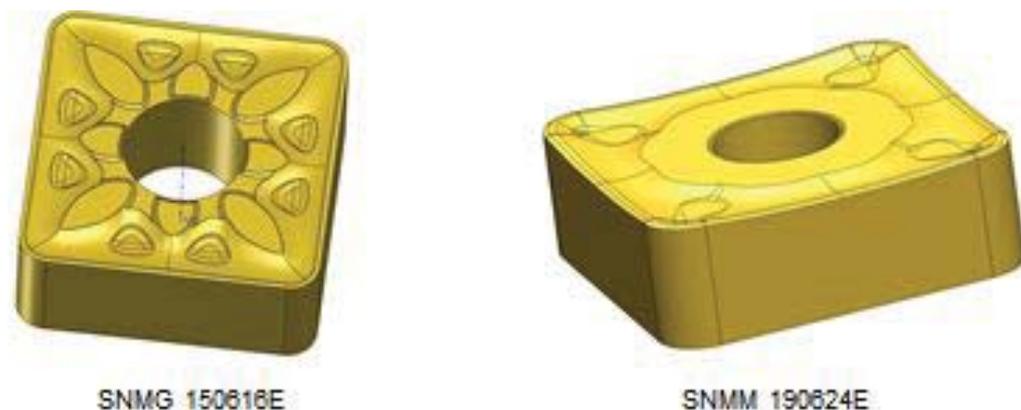


Рисунок 3 - Расточные режущие пластины с улучшенным отводом стружки из зоны обработки

Освоено производство новых пластин для профильного точения железнодорожных колесных пар.

Отличительной особенностью разработанных инструментов является их повышенные функциональные свойства. За счет специальной геометрии пластин уменьшается степень пластической деформации срезаемого слоя, силы и мощность резания, а образующаяся при резании стружка приобретает форму, наиболее благоприятную для ее дробления и эвакуации из зоны обработки деталей. Диапазон стружкодробления увеличивается как в сторону малых, так и больших значений глубин и подач. При повышенных технических характеристиках стоимость разработанных пластин выгодно отличается от зарубежных аналогов.

Выводы

Управление пространственным завиванием стружки позволяет расширить круг задач, решаемых за счет конструирования сложнопрофильных режущих инструментов. На основе оптимизации условий схода стружки с инструмента получены новые конструкции токарных пластин, обладающие повышенными функциональными свойствами.

Библиографический список

1. Михайлов С. В. Компьютерное прогнозирование и системный анализ причинно-следственных связей процессов образования, завивания и дробления сливной стружки. – Кострома: Изд-во Костром.гос. технол. ун-та, 2009. – 159 с.
2. Михайлов С.В. Морфологический анализ передних поверхностей металлорежущих пластин на основе моделирования и классификации форм сливных стружек / С. В. Михайлов., А. П. Олейник // СТИН. – 2010. – №8.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF PRODUCTION OF COMPLEX-SHAPED CUTTING INSERTS FOR TURNING APPLICATIONS WITH IMPROVED PROCESSING CAPABILITIES

S. V. Mikhaylov, N. Yu. Kovelonov, A. S. Mikhaylov

The paper proposes a design procedure for complex-shaped metal-cutting inserts for turning applications. The described procedure is based on the spatial chip formation theory. The said procedure was used to develop the indexable cutting inserts for internal and external turning operations, offering improved processing capabilities.

Keywords: metal-cutting tools, complex-shaped cutting inserts, chip formation, continuous chip classifier.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ АГЕНТОВ СОЦИАЛЬНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА (НА ПРИМЕРЕ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ)

А.В. Морозова¹, к.с.н., **А.В. Киричек**¹, д.т.н., профессор, **Д.Е. Тарасов**², к.т.н., инженер, **М.В. Алисова**¹, методист

¹Юго-Западный государственный университет, г. Курск

²ОАО «ГМС Насосы», г. Ливны

Проведен анализ последствий дисфункционального развития института профессионального образования и института производства. Выявлено наличие проблемы несоответствия при оценивании компетентности выпускника как субъекта научно-образовательной среды вуза и молодого специалиста как субъекта социотехнической среды промышленного предприятия. С теоретической точки зрения эту проблему можно охарактеризовать как противоречие между двумя субъектно-ориентированными идентификационными системами различных агентов социально-профессионального пространства, наличие которой влияет на уровень удовлетворенности специалистов результатами своей профессиональной деятельности, на качество продукции, выпускаемой промышленностью, и, как следствие, на качество жизни населения страны.

Ключевые слова: качество жизни, качество трудовых ресурсов, институциональный подход, профессиональный стандарт, социально-профессиональное пространство.

Введение

Стратегической целью развития социальных институтов в современной России является приоритет качества жизни и национального богатства. Качество жизни отдельной личности как части общества, являющегося по отношению к ней внешней средой, определяют условия и результаты его коллективной деятельности, в первую очередь профессиональной. Индивид в процессе взаимодействия в научно-образовательной средой вуза приобретает определенную систему знаний, умений и навыков, интеграция которых формирует совокупность его социально-профессиональных компетенций. В рамках социально-профессионального пространства вуза она позволяет идентифицировать выпускника по дихотомической шкале «компетентный - некомпетентный».

Современное производство требует иного подхода к оценке компетенций специалиста. На основании вводимых в России с 2015 года отраслевых профессиональных стандартов молодой специалист может быть идентифицирован с одним или несколькими выявленными типами инженерно-технического работника (ИТР), например, инженер-технолог, инженер-конструктор, инженер-исследователь и т.д. Эта процедура реализуется на основе сопоставления индивидуальной системы компетенций специалиста с системой компетенций различных типов ИТР, представленных в профессиональных стандартах и устанавливающих новую форму

институциональных норм (требований) к субъектам различных типов социально-профессиональных групп профессиональной среды. Такой подход позволит минимизировать расхождение между требованиями производства и компетентностными возможностями специалистов, и, как следствие, преодолеть последствия дисфункционального развития института профессионального образования и института экономики и производства России.

Теория исследования

Социальный институт как исторически сложившаяся или созданная целенаправленными усилиями форма организации совместной жизнедеятельности людей, существование которой диктуется необходимостью удовлетворения социальных, экономических, политических, культурных или иных потребностей общества в целом или его части предполагает наличие чётко выраженной структуры и кодифицированных правил поведения его членов института. Социальный институт формирует механизм, обеспечивающий набор постоянно повторяющихся и воспроизводимых социальных отношений и социальных практик людей, опирающийся как на кодифицированные своды законов, так и на нетематизированные правила (неформализованные «скрытые», обнаруживающиеся при их нарушении), социальные нормы, ценности и идеалы, исторически присущие определенному типу общества. В целом совокупность социальных институтов образует «институциональную матрицу» данного общества, задающую в нём основной ход всей социальной жизни, а сам процесс упорядочения, формализации и стандартизации характеризуется термином «институционализация», завершающим этапом которого является создание в соответствии с установленными нормами и правилами четкой статусно-ролевой структуры, социально одобренной большинством участников этого социального процесса [1].

Одним из факторов, обеспечивающих запуск механизма институционализации на различных этапах развития социального пространства является социальная потребность: институт профессионального образования осуществляет подготовку кадров и создает человеку возможность, развивая свои способности, обеспечить свое существование посредством профессиональной самореализации в сфере труда; институт экономики и производства обеспечивая выпуск материальной и нематериальной продукции, создает условия для удовлетворения физических и интеллектуальных потребностей людей, что является базовым фактором существования определенной цивилизации и т.д.

Кроме того, социальный институт формируется посредством реализации различных подсистем социальных связей, взаимодействия и отношений конкретных индивидов, социальных групп и общностей, в результате чего он приобретает собственное системное качество, логику развития, устойчивую структуру, в которую интегрируются его элементы, и обладает определённой

изменчивостью функций. При этом основным условием «включения» индивидов и социальных групп в социальный институт является их интернализация (процесс освоения внешних по отношению к индивиду или социальной группе институциональных норм, становящихся для них внутренними регуляторами поведения) посредством социализации, что реализуется в форме приобретаемых социальных ролей и статусов.

Деятельность каждого социального института обеспечивает выполнение его главной, явных и латентных функций. Главная функция связана с его главной социальной ролью по закреплению и воспроизводству определенных социальных практик и отношений; явные функции обеспечивают выполнение главной и свидетельствуют о том, чего хотели добиться люди в рамках того или иного института; латентные функции, как правило, характеризуют тот результат, который в реальной практике получился при реализации главной и явной функций. При этом нарушение нормативного взаимодействия с социальной средой, выражающееся, как правило, в недостаточном уровне реализации тех потребностей общества, на удовлетворение которых ориентирован данный институт, характеризуют наличием дисфункции в его развитии. С содержательной точки зрения, например, дисфункция современного института профессионального образования России выражается в падении его социального престижа и авторитета, вырождении его отдельных функций в «символическую» деятельность по организации научно-образовательного процесса, завершающегося массовой «выдачей» дипломов выпускникам, которые не содержат (как этого позиционирует ФГОС) при их найме на работу каких-либо компетентностных ориентиров для работодателей, а, в целом, - в высоком уровне неудовлетворенности качеством подготовки молодых специалистов и т.д. Кроме того, дисфункция этой социальной сферы характеризуется процессами его персонализации, так как он перестает действовать в соответствии с объективными потребностями и объективно установленными целями, меняя свои функции в зависимости от интересов отдельных лиц, их персональных качеств и свойств.

Неудовлетворенная общественная потребность может вызвать к жизни стихийное появление нормативно неурегулированных видов деятельности, стремящихся восполнить дисфункцию института. Так, например, в сфере производства в силу сложившегося дефицита квалифицированных рабочих кадров широко используют различные формы профессиональных «кастингов» молодых специалистов, имеющих высшее инженерно-техническое образование, с целью выявления их несоответствия требованиям к вакантным должностям ИТР на современном (особенно наукоемком) производстве и последующей переквалификацией претендентов в рабочих-станочников. Исправление дисфункции института может быть достигнуто комплексными многоэтапными преобразованиями самого института. Так для института профессионального образования - это, например, изменение соотношения бюджетных мест при формировании плана приема в учебные заведения в пользу образовательной уровней, формирующих социальную группу рабочих, повышение

практикоориентированной составляющей подготовки студентов не только в период производственной практики, но и в ходе реализации лекционно-практических курсов. А для сферы производства - разработка и внедрение методологии квалиметрико-компетентностного отбора молодых специалистов при их приеме на работу с целью минимизации последующих финансовых потерь на их переподготовку и «доучивание».

Для исправления сложившейся дисфункции как в сферах профессионального образования и производства, так и при реализации задач их межинституционального взаимодействия требуется сравнительный анализ субъектно-ориентированных идентификационных систем агентов, входящих в их структуру социальных пространств. Это позволит сформировать теоретическую базу для решения комплексной проблемы отбора субъектов (например, молодых специалистов) референтными социально-профессиональными группами (например, предприятиями оборонно-промышленного комплекса) посредством выявления соответствия индивидуальных систем свойств субъектов (например, социально-профессиональных характеристик претендентов на вакантные инженерно-технические должности) требованиям новых институциональных норм (ФГОС в системе профессионального образования и профессиональных стандартов в сфере производства). При этом новым методологическим подходом к анализу результативности деятельности социальных институтов с общей позиции качества жизни [2] является образовательная квалиметрия [3] и квалиметрия профессиональных кадров [4, 5].

Результаты и обсуждение

Пусть в рамках институтов I_1 и I_2 формируются автономные системы агентов M и L их социальных пространств. Для института профессионального образования I_1 - это совокупность M ($m \rightarrow \infty$) вузов, профессиональных колледжей, техникумов и профессиональных лицеев. Каждое учебное заведение с учетом специфики функционирования их научно-образовательной среды осуществляет подготовку выпускников, качество которых описывается в рамках определенного ФГОС перечнем компетенций, и отражается в дипломе выпускника в матричной форме как система оценок по учебным дисциплинам A_j , $j = \overline{1:m}$. Для института экономики и производства I_2 - это совокупность агентов L ($l \rightarrow \infty$), представленная промышленными предприятиями и производственными фирмами. Каждый агент производственной системы имеет индивидуальную социотехническую среду, содержащую совокупность социально-профессиональных групп специалистов определенных типов, характеризующихся определенным набором профессиональных компетенций B_k , $k = \overline{1:l}$.

В этой связи проблема заключается в поиске путей устранения несоответствия институциональной модели идентификации выпускника профессиональной школы, основанной на компетентностной базе ФГОС, и институциональной модели его идентификации, уже как молодого специалиста,

с определенным типом инженерно-технических работников предприятия в соответствии с должностными требованиями к их компетенциям, а также отсутствие методов и средств оценки и обеспечения такого соответствия (рис. 1). Решение такой проблемы позволит осуществлять на основе квалиметрии компетенций отбор профессиональных кадров (в частности, молодых специалистов) для замещения определенных типов вакантных инженерно-технических должностей с минимизацией затрат на ликвидацию несоответствия требуемой и наличествующей компетентности систем субъектов.

В настоящее время в связи с ориентацией производства на реализацию стратегических задач технико-технологической модернизации, призванной обеспечить развитие приоритетных направлений науки и техники, доминирующей стала проблема рассогласованности позиций системы профессионального образования и рынка труда в отношении оценки компетентности молодых специалистов как одного из главных компонентов ресурсного обеспечения промышленных предприятий и производственных фирм. Переход российской экономики с командно-административной формы управления, в которой качество продукции анализировалось с позиции производителя, на рыночную форму управления, где качество изделий анализируется с позиции потребителя, обусловил аналогичные изменения и в системе профессионального образования как главного поставщика своей «продукции», специалистов, на рынок труда. При этом в отсутствие четко сформированного работодателями на базе профессионального стандарта «технического задания» на систему компетенций выпускаемого специалиста системе профессионального образования сложно создавать аналитическую систему оценивания количественных показателей, характеризующих уровень их сформированности.

Отсутствие единства по вопросу оценивания компетенций выпускников вузов - молодых специалистов предприятий с одной стороны, институтом профессионального образования, а, с другой стороны - институтом экономики и производства привело в тупик систему кадрового обеспечения промышленных предприятий, особенно в ситуации их технологического перевооружения и перехода на выпуск наукоемкой продукции. ФГОС третьего поколения отражает позицию Министерства образования и науки РФ по вопросу структуры и методов оценивания системы социально-профессиональных компетенций специалистов: компетенции формируются по долевному принципу в рамках системы учебных дисциплин и не отражаются в документах о наличии профессионального образования выпускников вуза. Эта позиция не совпадает с мнением представителей сообщества работодателей, например, союза промышленников и предпринимателей, находящим свое отражение в разрабатываемых в настоящее время профессиональных стандартах [6], имеющих свою систему компетентностной идентификации специалистов с

ПРЕДПРИЯТИЕ

ВУЗ

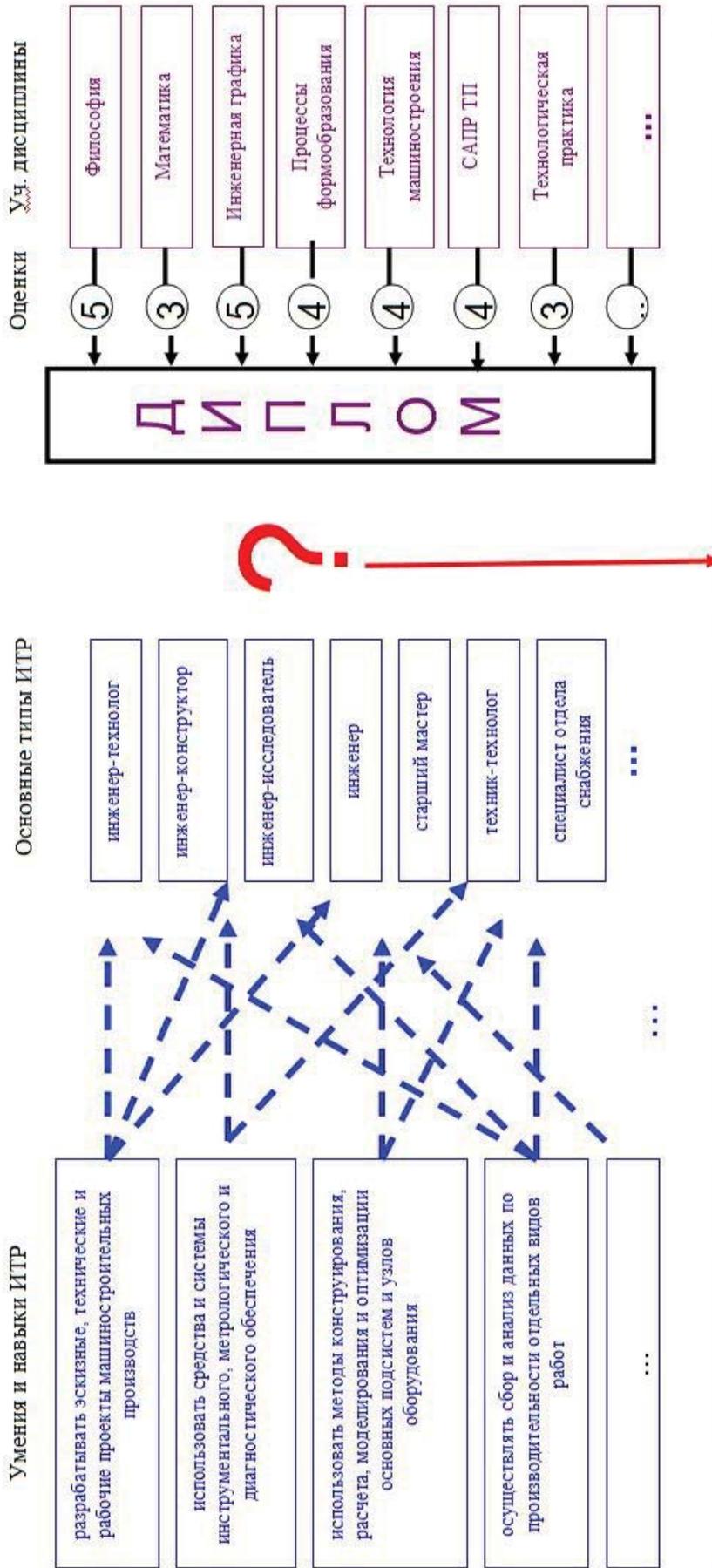


Рисунок 1 - Схема выявления проблемы выпускника вуза и молодого специалиста предприятия

определенным типом инженерно-технической должности, что создает дополнительные проблемы в вопросах разработки и внедрения процедур измерения результативности процессов СМК технических вузов.

Решение проблемы такого несоответствия возможно в соответствии со следующим алгоритмом:

- формирование матрицы соответствия систем компетенций и учебных дисциплин направления подготовки специалиста;
- определения степени влияния каждой учебной дисциплины на уровень сформированности каждой компетенции;
- вычисления уровня сформированности каждой компетенции выпускника;
- кластеризации компетенций выпускников в соответствии с перечнями компетенций, представленными в профессиональных стандартах для различных типов ИТР в рамках анализируемого направления подготовки специалистов;
- идентификация специалиста с определенным типом ИТР на основе системы профессиональных стандартов ИТР отрасли (рис. 2).

Так, например, сравнительный анализ содержания ФГОС и проектов профессиональных стандартов, разработанных МГТУ «Станкин» для молодых специалистов с образовательным уровнем ВПО и опытом работы по специальности, приобретенным в период обучения, проведенный в рамках специальности «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» показал, что:

- каждая должность ИТР, представленная в профессиональных стандартах, характеризуется определенными группами компетенций, что позволяет говорить о наличии подсистемы приоритетов в общей системе компетенций специалистов;
- представленные в профессиональных стандартах группы компетенций ИТР целесообразно рассматривать как компетентностные кластеры, позволяющие выявлять определенные типы ИТР;
- идентификацию молодых специалистов с определенной вакантной должностью ИТР целесообразно проводить с учетом приоритетов определенных кластеров компетенций, характеризующих эту должность;
- значительный объем компетенций, содержащихся в ФГОС, затрудняет не только работу по анализу динамики их формирования у студентов в научно-образовательной среде вузов/колледжей, но и не позволяет однозначно оценить приоритеты в уровне сформированности определенных кластеров профессиональных компетенций выпускников;
- одной из приоритетных целей межинституционального взаимодействия учреждений системы профессионального образования и агентов производственной среды должно стать преодоление несоответствия в между институциональными моделями оценивания компетентностных систем субъектов их социальных пространств с целью оптимизации отбора кадров (молодых специалистов) для замещения вакантных инженерно-технических должностей;

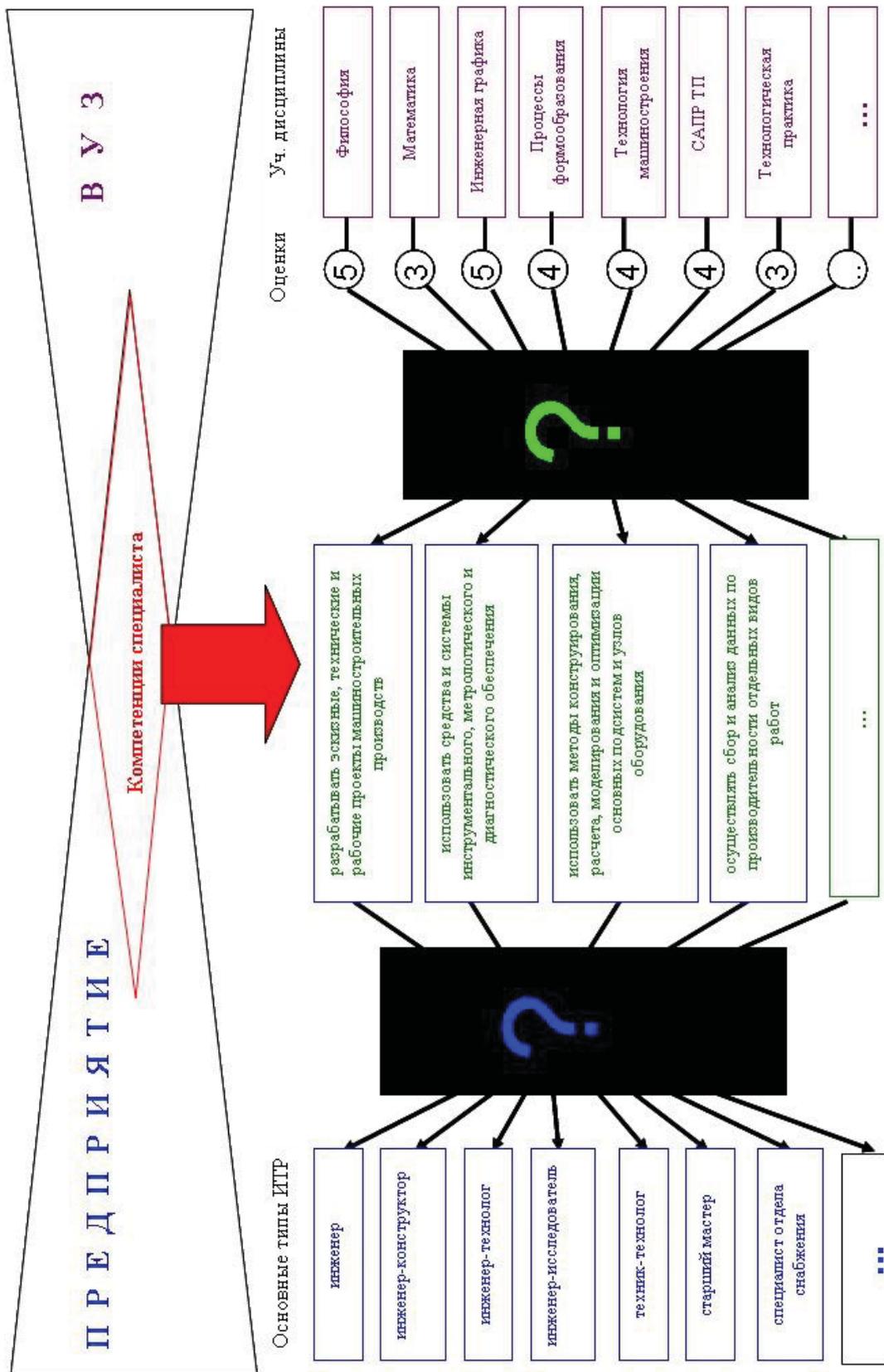


Рисунок 2 - Схема алгоритма идентификации выпускника вуза и молодого специалиста предприятия

– высокий уровень результативности профессиональной деятельности специалиста, занимающего должность, компетентностные требования к которой минимально расходятся с приоритетами в системе его компетенций, влияет на степень его удовлетворенности этими результатами, позволит ему оперативно управлять своей индивидуальной системой компетенций, сопрягая ее с требованиями инновационного развития производства, что, в конечном счете, влияет и на качество выпускаемой продукции, и на качество жизни специалиста.

Выводы

Проведенный сравнительный анализ субъектно-ориентированных идентификационных систем агентов социально-профессионального пространства показал, что в настоящее время отсутствует единый подход со стороны вузов и промышленных предприятий по проблеме оценки молодых специалистов в компетентностном формате. Вузы в рамках действующих ФГОС оценивают по-прежнему знания, умения и навыки выпускников по пятибалльной системе, систематизируя результаты в выпусках к дипломам. Предприятия осуществляют переход на отраслевые профессиональные стандарты, в которых представлены группы компетенций, не соответствующие ФГОС. Предложен алгоритм идентификации выпускника вуза и молодого специалиста предприятия, который позволит преодолеть существующее институциональное несоответствие подходов к компетентностной идентификации молодых специалистов вузами и промышленными предприятиями как агентами социально-профессионального пространства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-01-00147 а.

Библиографический список

1. Добренков В.И., Кравченко А.И. Социология: В 3 т. Т. 3: Социальные институты и процессы. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 520 с.
2. Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия жизни [Текст] / Г.Г. Азгальдов, В.Н. Бобков, В.Я. Ельмеев, Ю.С. Перовощиков, В.А. Беляков. – Ижевск: Издательство Института экономики и управления УдГУ, 2006. – 820 с.
3. Сафонцев С.А. Образовательная квалиметрия как фактор повышения эффективности контроля качества процесса обучения: дисс. ... докт. пед. наук: 13.00.01 / С.А. Сафонцев. – Ростов-на-Дону, 2004. – 395 с.
4. Караваева Е.В. Типовая модель интегрированной системы менеджмента качества учебно-научно-производственного комплекса подготовки кадрового потенциала для радиоэлектронного комплекса России: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Е.В. Караваева. – М., 2012. - 219 с.

5. Забегалина Т.В. и др. Квалиметрические методы оценки качества подготовки специалиста // Математические методы в технике и технологиях. – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2008. – С. 124-130.

6. Разработка профессиональных стандартов. Проекты, реализуемые собзом машиностроителей России [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.enaee.eu/enaee/presentation.htm> (дата обращения: 20.05.2014).

COMPARATIVE ANALYSIS OF SUBJECT-ORIENTED IDENTIFICATION SYSTEMS OF AGENTS IN SOCIAL PROFESSIONAL AREA (AFTER EXAMPLE OF YOUNG ENGINEERING SPECIALISTS)

A.V. Morozova, A.V. Kirichek, D.E. Tarasov, M.V. Alisova

The analysis of consequences at dysfunctional development of an institute of vocational education and production institute is carried out. The existence of a nonconformance problem at the competence estimate of a graduating student as a subject of a scientific educational environment in a higher education institution and a young specialist as a subject of a social engineering environment at an industrial enterprise is revealed. From the theoretical point of view this problem can be characterized as a contradiction between two subject-directed identification systems of various agents in social professional area, the existence of which impacts upon a satisfaction level of specialists with the results of their professional activities, upon products quality manufactured by industry, and as a consequence, upon life quality of the population in the country.

Keywords: life quality, manpower resources quality, institutional approach, professional standard, social professional area.

**Инновации в машиностроении –
основа технологического развития России**

Материалы VI международной научно-технической конференции
23 – 26 сентября 2014 года

Часть 1

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 26.09.2014. Формат 60x84 1/16.
Печать – цифровая. Усл. п. л. 16,86.
Тираж 500 экз. Заказ 2014 -

Издательство Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46,
<http://izdat.secna.ru>

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 020822 от 21.09.98 г.

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46,
тел.: (8-3852) 29-09-48

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД № 28-35 от 15.07.97 г.