

УДК 621.787

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАЦИОНАРНОСТИ ПРОЦЕССА ОБКАТЫВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ДВУХОСЕВОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Учайкин С.Е., аспирант

Научный руководитель: Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.

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

В современном машиностроении широкое распространение получили детали, имеющие сложную геометрию поверхности. К ним можно отнести валы и оси, которые образованы цилиндрическими и коническими поверхностями, с галтелями, проточками под выход шлифовального круга, шпоночными и шлицевыми пазами, и другие элементы, которые зачастую являются концентраторами напряжений. При эксплуатации подобных деталей в условиях приложения усталостных нагрузок в концентраторах зарождаются трещины, приводящие в итоге к разрушению и выходу из строя всей машины. Минимизировать влияние концентраторов на эксплуатационные свойства деталей позволяет метод поверхностного пластического деформирования (ППД) обкатыванием роликом. В результате такой обработки возникает напряженно-деформированное состояние (НДС), которое обеспечивает высокое качество поверхностного слоя (ПС), компенсирует усталостные нагрузки и продлевает срок службы детали.

Так в работах [1-4] достаточно подробно исследован процесс обработки цилиндрических поверхностей. В результате обкатывания поверхности торовым роликом [5] спустя несколько оборотов детали возникает асимметричный стационарный очаг деформации (ОД) (рис. 1), который в дальнейшем не меняет своей геометрической формы и размеров. Такой процесс приводит к образованию равномерного НДС по всему ПС.

Однако, при обработке переходных поверхностей, например галтелей, такой картины формирования ОД добиться не удается. Поэтому для обработки таких участков поверхности применяются разные схемы обкатывания (рис. 2).

При обкатывании наклонными роликами (рис. 2, *a*) не требуется больших усилий, так как деформация на обрабатываемом участке происходит постепенно при весьма малой площади контакта. Однако такие ролики сложны в изготовлении. Обкатывание с подачами по хорде и вдоль оси вала (рис. 2, *б*, *в*) происходит при неодинаковых условиях нагружения по длине рабочего хода. Поэтому обработку следует проводить так, чтобы наибольшее упрочнение металла происходило в зоне концентрации эксплуатационных напряжений [6].

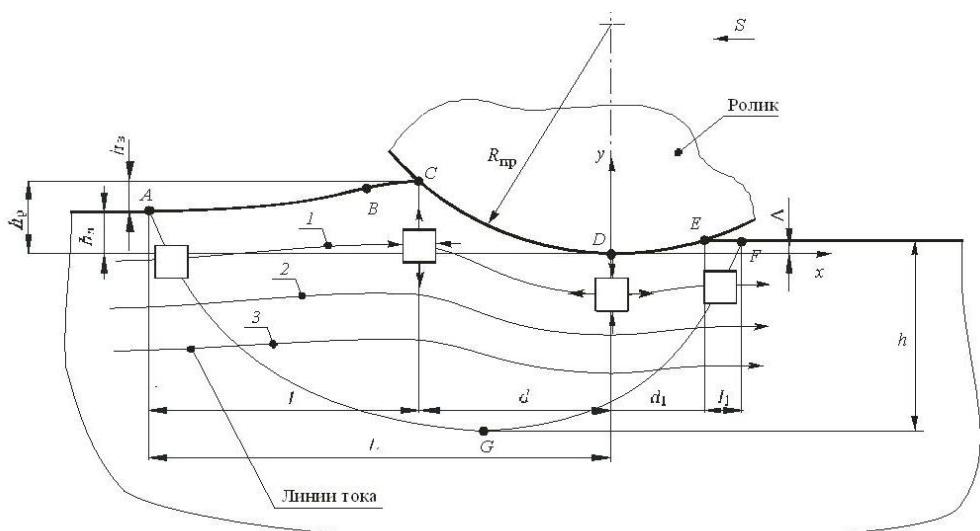


Рисунок 1 – Схема очага деформации при обработке ППД

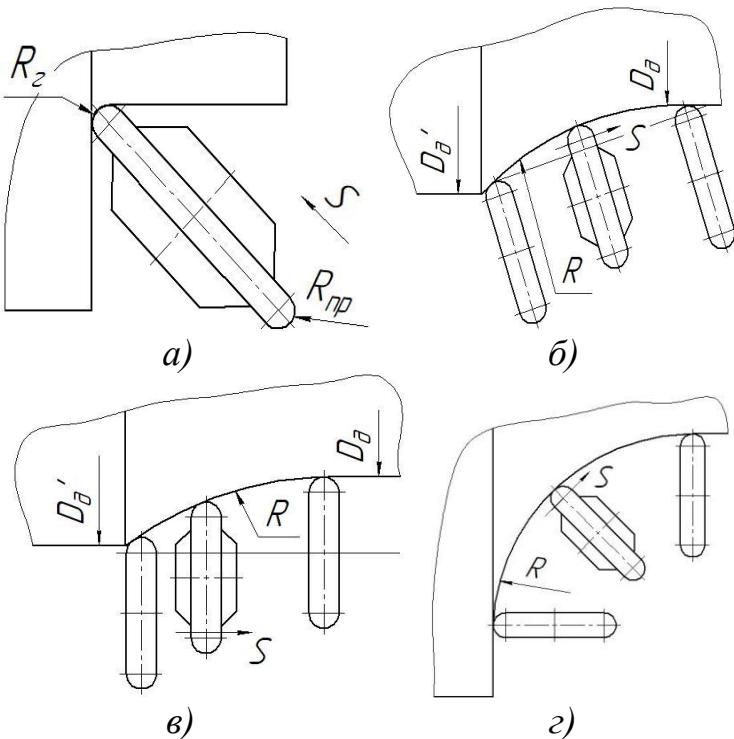


Рисунок 2 – Схемы обкатывания галтелей:

a – роликом с радиусом, равным радиусу галтели ($R_r = R_{\text{пр}}$, до 25 мм); *б* – роликом с подачей по хорде ($R > 2.5(D_d - D_d')$); *в* – роликом с подачей по оси вала ($R > 4(D_d - D_d')$); *г* – роликом с подачей по дуге образующей переходной поверхности ($R > 50$ мм)

Известно, что при обкатывании цилиндрических поверхностей ролик, расположенный перпендикулярно к поверхности образца, либо с некоторым наклоном, но с постоянным положением на протяжении всей обработки, дает наибольшую стабильность обработки. Отсюда следует, что наиболее предпочтительной схемой обкатывания галтелей и различных криволинейных по-

верхностей будет являться схема, при которой ролик будет находиться перпендикулярно касательной к профилю обработки в каждый момент времени (рис. 1, ε).

Для такой обработки необходимо использование дополнительной третьей оси на токарной станке в виде поворотного устройства суппорта. В данной работе планируется применение токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3. В заводском исполнении на станке используются только две оси: продольное и поперечное перемещение суппорта.

Выдвинута гипотеза, согласно которой при обработке ППД обкатыванием поверхности, отличной от цилиндрической, а также сочетания ее с цилиндрической, на станке 16К20Ф3 по жесткой схеме с постоянным натягом по всей поверхности, используя модифицированный ролик (рис. 3), можно получить квазистационарное НДС по всей обрабатываемой поверхности. Для этого необходимо выполнение станочного эксперимента, цель которого заключается в определении возможности использования токарного станка с ЧПУ модели 16К20Ф3 для обкатывания поверхностей со сложной геометрией.

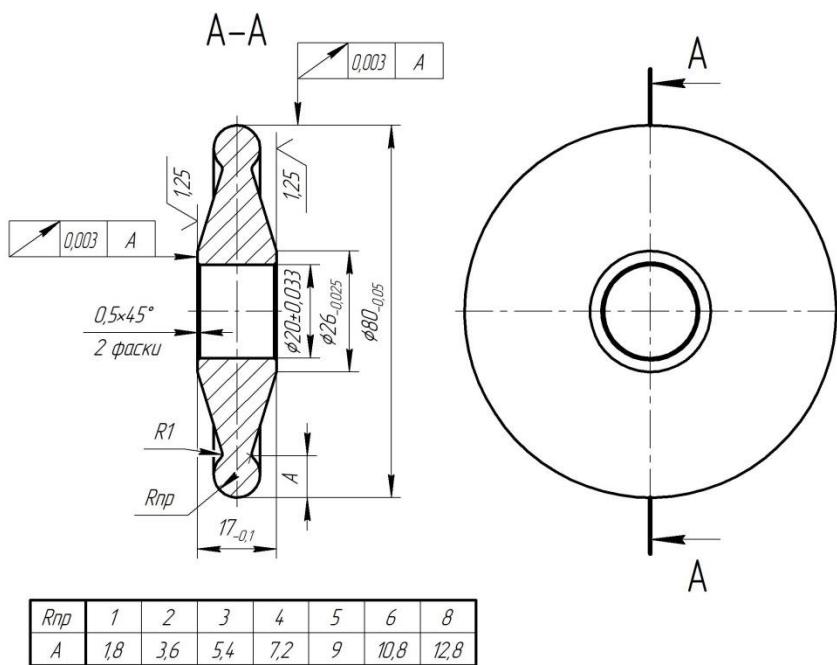


Рисунок 3 – Чертеж однорадиусного ролика

Модификация предлагаемого ролика относительно торового [5], заключается в изменении рабочего профиля в виде продления его радиусной части. Данная форма позволит выполнить обработку наклонных участков поверхности с постоянным профильным радиусом в зоне контакта ролика с поверхностью детали при определенном угле наклона профиля поверхности и не касаться конструкцией обкатывающего устройства поверхности образца.

При этом, используя токарный станок 16К20Ф3 для обкатывания наклонных поверхностей, можно использовать только жесткую схему. При упругой схеме сила внедрения ролика будет действовать в другом направлении.

нии, что даст другое формирование НДС в поверхностном слое на наклонных поверхностях (рис. 4). Для корректного приложения усилия при обкатывании сила должна прикладываться перпендикулярно поверхности.

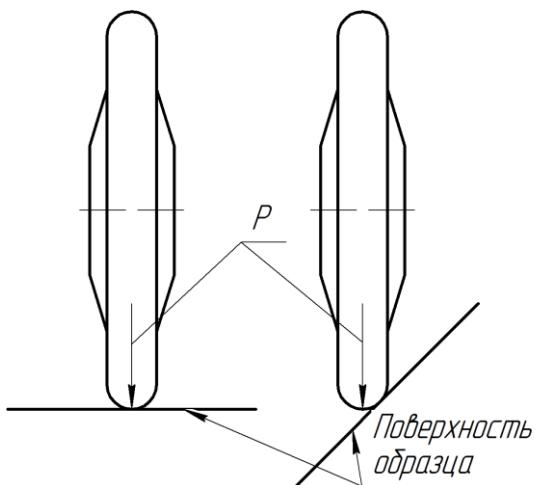


Рисунок 4 – Сравнение схем обкатывания по упругой схеме цилиндрической и наклонной поверхностей

Из-за наклона ролика в плоскости подачи относительно поверхности в зоне контакта внешний диаметр ролика будет тем больше, чем больше угол его наклона. Так, например, при наклоне ролика диаметром 80 мм с профильным радиусом 5 мм относительно образца диаметром 50 мм на угол в 45° диаметр изменится в 1,35 раз (рис. 5). При этом, профильный радиус остается без изменений (рис. 6).

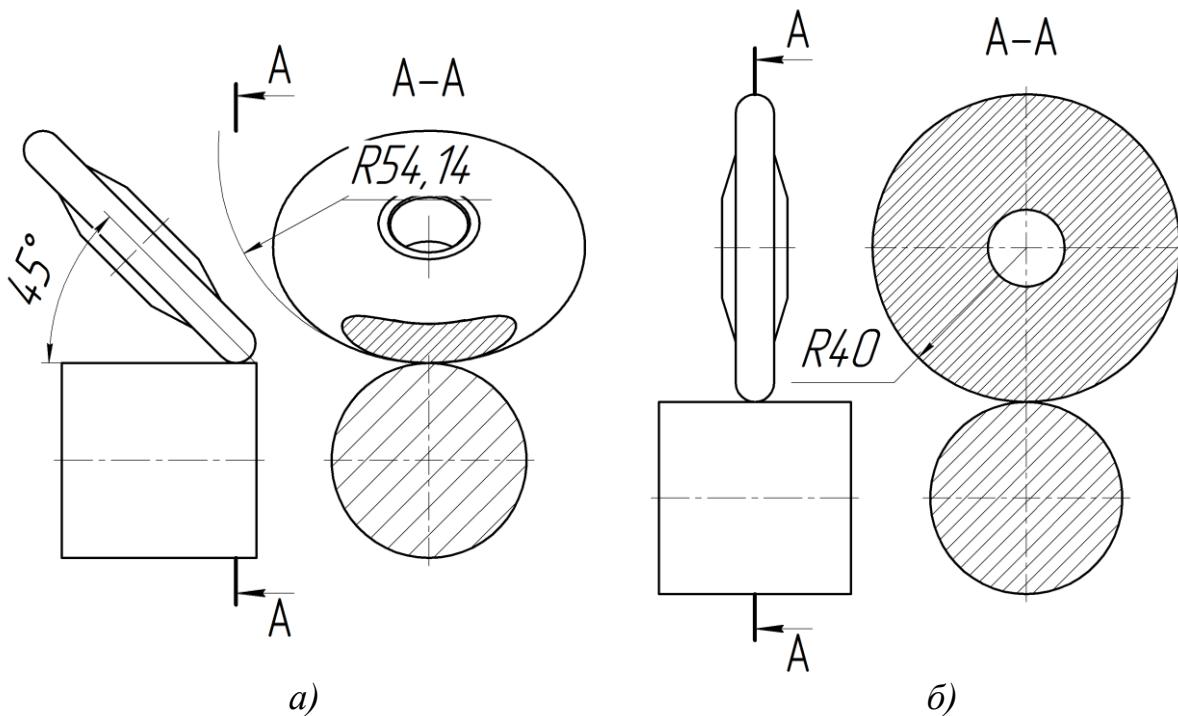


Рисунок 5 – Изменение диаметра ролика в зависимости от его наклона

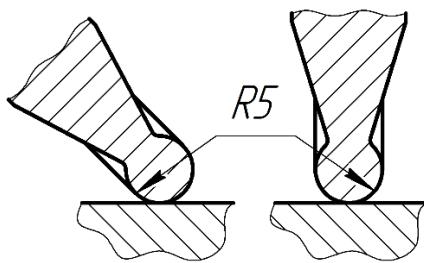


Рисунок 6 – Изменение профильного радиуса ролика в зависимости от его наклона

Отметим, что в работах Смелянского В.М. и Блюменштейна В.Ю. [1-2] установлено, что при постоянном усилии обкатывания изменение внешнего диаметра ролика в большую сторону скажется на уменьшении внедрения инструмента и площадки контакта, а, следовательно, снижению размеров волны впереди деформирующего инструмента. Однако вследствие того, что при проведении экспериментов будет использоваться жесткая схема, то величина внедрения будет постоянной. Следовательно, данным изменением внешнего диаметра ролика можно пренебречь.

Для станочного эксперимента изготовлены два образца: цилиндрический и с наклонной поверхностью под углом 45° (в виде конуса). Эскизы образцов представлены на рис. 7. Данная геометрия выбрана исходя из имеющегося круглого проката стали 45 ГОСТ 1050-88 (160-180 HV) и примерно равной длины рабочей поверхности.

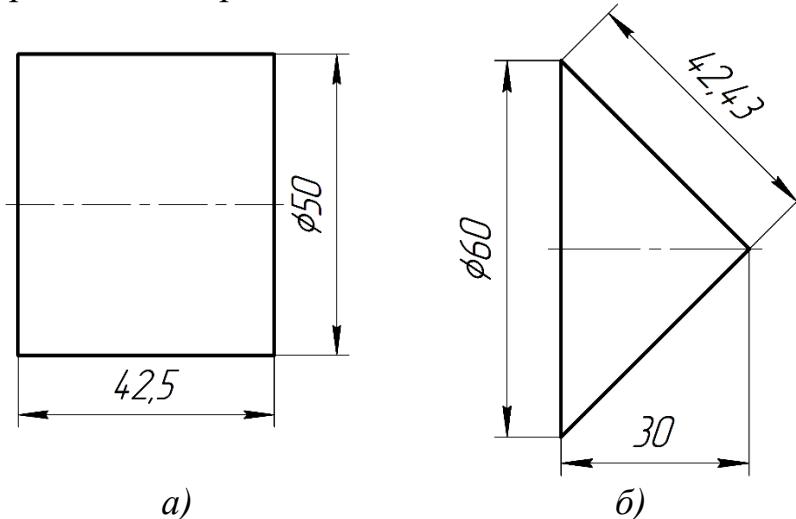


Рисунок 7 – Эскизы образцов для обкатывания:

a – цилиндрический образец, *б* – образец с наклонной поверхностью под углом 45° (конический образец).

Обкатывание проводилось новым обкатывающим устройством (рис. 8) роликом с профильным радиусом 5 мм по жесткой схеме с внедрением 0,1 мм. Это позволило сравнить полученные результаты с результатами других авторов и с результатами моделирования методом конечных элементов (МКЭ).

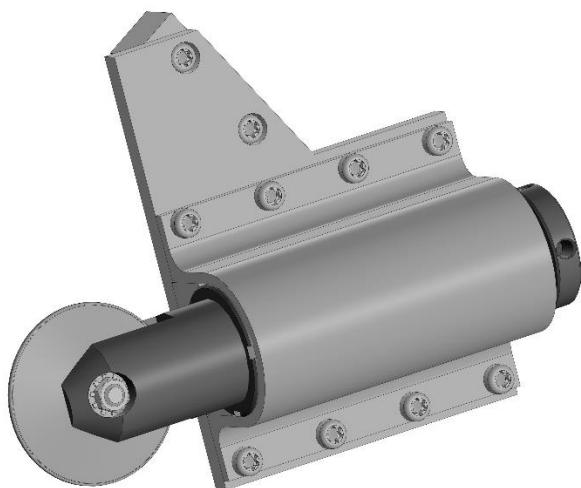


Рисунок 8 – Модель нового обкатывающего устройства для токарного станка с ЧПУ 16К20Ф3

Схема обкатывания предполагала: 1) включение шпинделя; 2) внедрение ролика перпендикулярно поверхности на 0,1 мм; 3) обкатывание на длину 30 мм параллельно поверхности; 4) быстрый отвод перпендикулярно от поверхности (рис. 9).

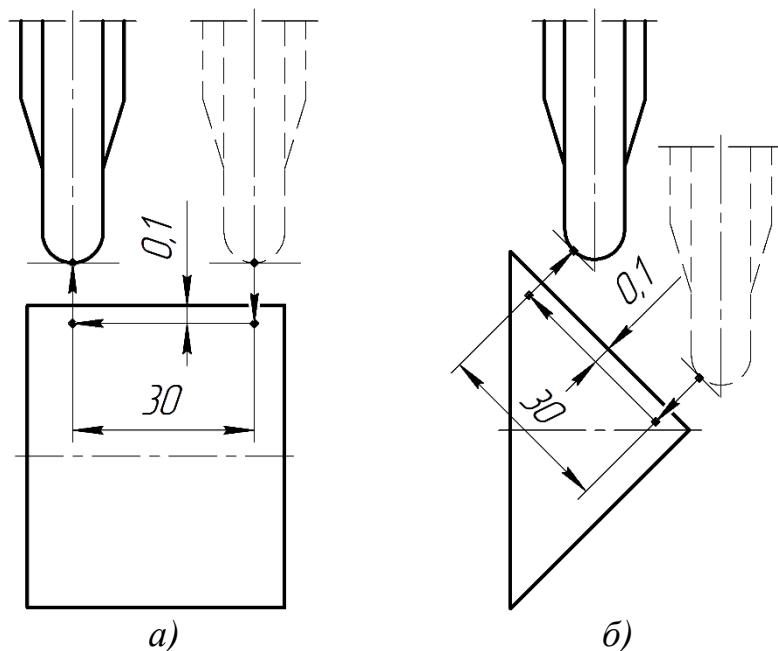


Рисунок 9 – Схема обкатывания:
а – цилиндрического образца, б – конического образца

После проведенного станочного эксперимента на токарном станке с ЧПУ 16К20Ф3 будет проводиться пробоподготовка образцов и дальнейшие исследования поверхностного слоя после ППД, таких как изучение микроструктуры, шероховатости, микротвердости и др. Цель: подтвердить состоятельность выдвинутой гипотезы о стационарности очагов деформации.

Список литературы:

1. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
2. Блюменштейн, В.Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
3. Справочник по процессам поверхностного пластического деформирования / Министерство науки и высшего образования РФ, Иркутский национальный исследовательский технический университет ; под ред. С. А. Зайдеса. - Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2021. Т. 1. - 504 с.
4. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] : в 2 т. / [А. Г. Суслов и др.] ; под общ. ред. А. Г. Суслова. - Москва: Машиностроение, 2014. Т. 1. - 2014. - 477 с.
5. ГОСТ 16344-70. Ролики обкатные. Конструкция и размеры: Государственный стандарт союза ССР: издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете министров СССР от 28 августа 1970 г. № 1351: введен впервые: дата введения 1971-07-01. 6, с.
6. Дальский, А.М. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах Т. 2 / А.М. Дальский [и др.] – М.: Машиностроение-1, 2001. - 944 с