

УДК 621.787

АНАЛИЗ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ОБКАТЫВАНИЕМ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫМИ РОЛИКАМИ

Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.

Учайкин С.Е., аспирант

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

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

В области упрочняющей чистовой обработки валов и осей возможны различные варианты технологий. Наиболее распространенный вид упрочняющей обработки – поверхностное пластическое деформирование (ППД) – простой и эффективный способ повышения несущей способности и долговечности деталей машин, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Кроме того, ППД значительно улучшает шероховатость поверхности, повышает износостойкость деталей, и, в целом, улучшает их внешний вид.

ППД – обработка деталей давлением, при котором пластически деформируется только их поверхностный слой. Такое деформирование осуществляется инструментом, деформирующие элементы которого (шарики, ролики или тела иной конфигурации) действуют на обрабатываемую поверхность путем качения, скольжения или внедрения.

ППД наилучшим образом проявило себя в условиях приложения усталостных нагрузок. Накопленные остаточные напряжения в поверхностном слое (ПС) в процессе работы при знакопеременных нагрузках релаксируют, за счет чего отдалается момент образования трещин [1].

Одними из наиболее распространенных деталей машин, работающих в условиях усталости, являются валы. Чаще всего они имеют сложную геометрическую форму поверхности с различными концентраторами в виде галтелей, шпоночных пазов, резьб, канавок для выхода шлифовального круга и т.п.

Ярким примером сложнопрофильных валов являются вагонные оси, которые подвержены усталостным разрушениям (рис. 1).

В настоящее время стремление экономить при производстве деталей машин является актуальной задачей. Ресурсов становится меньше, они дороже, и прочие затраты на изготовление деталей тоже дороже. Поэтому есть необходимость в увеличении срока службы деталей на этапе их изготовления.

Существуют традиционные способы поверхностного пластического деформирования в виде обработки инструментом, деформирующие элементы которого (шарики, ролики или тела иной конфигурации) действуют на обрабатываемую поверхность путем качения, скольжения или внедрения.



Рисунок 1 – Фото вагонных осей

Традиционные методы выглаживания и обкатывания во многих случаях позволяют повысить запасы прочности деталей, работающих при знакопеременных нагрузках, в 1,5-3 раза и увеличить срок службы деталей в десятки раз [2].

Однако у данных методов есть и обратная сторона. При использовании натягов или усилия выше некоторого максимального, происходит разрушение поверхностного слоя.

Для предотвращения разрушения ПС разработаны и использовались сложнопрофильные деформирующие ролики [3-5]. Это гидро-ролик, комбо-ролик и мультирадиусный ролик. При этом все ролики использовались для обработки цилиндрических поверхностей. Также в материалах [6-11] представлены положительные результаты применения данных роликов.

Благодаря установлению закономерностей протекания пластической деформации в очаге деформации появилась возможность создания таких схем обработки, которые создают различное НДС в разных зонах контакта инструмента с деталью, в т.ч. зон с высокой гидростатикой [2].

Выполним анализ геометрии данных роликов.

Гидро-ролик (комбинированный ролик) представляет собой комбинацию деформирующего элемента профильного радиуса $R_{np} = 3$ мм и цилиндрической части, расположенной относительно вершины деформирующего элемента с зазором 0,15 мм. Деформирующий элемент внедряется в поверхностный слой детали с действительным натягом $h_0 = 0,05$ мм. Таким образом, зазор между цилиндрической частью и исходной (необработанной) поверхностью составляет 0,1 мм. При ППД гидро-роликом с превышением допустимых значений натяга цилиндрическая часть ролика входит в контакт с вершиной пластической волны и дополнительно пластически деформирует ее, создавая дополнительное гидростатическое сжатие (рис. 2). При этом, в отли-

чие от обработки торовым роликом, не происходит разрушения ПС в вершине волны.

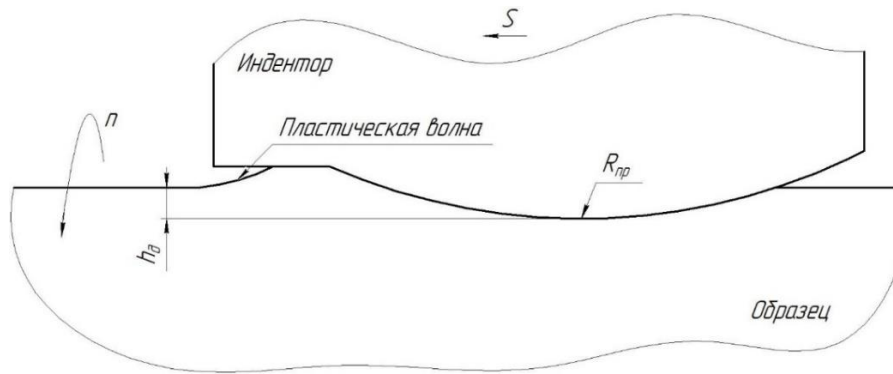


Рисунок 2 – Схема обработки поверхности гидро-роликом

Проведенные исследования показывают, что данный ролик за счет дополнительного воздействия на пластическую волну при обработке ППД, позволяет накапливать большие, чем при традиционном ППД, деформации без разрушения ПС и увеличить максимально достижимые значения параметров механического состояния металла ПС при обработке [3].

Комбо-ролик (двухрадиусный ролик) представляет собой комбинацию 2-х близкорасположенных инденторов, имеющих относительно друг друга некоторое смещение в радиальном направлении. Деформирующий элемент первым входящий в контакт с поверхностным слоем имеет профильный радиус $R_{np} = 1$ мм с действительным натягом $h_0 = 0,02$ мм. Второй деформирующий элемент также имеет профильный радиус $R_{np} = 1$ мм и смещен относительно 1-ого элемента в направлении от оси ролика на величину 0,03 мм. Действительный натяг 2-го элемента относительно поверхности составляет $h_0 = 0,05$ мм. Вследствие данной геометрии, волна деформированного металла, возникающая от воздействия второго деформирующего элемента, располагается в задней зоне очага пластической деформации, созданного первым деформирующим элементом (рис. 3).

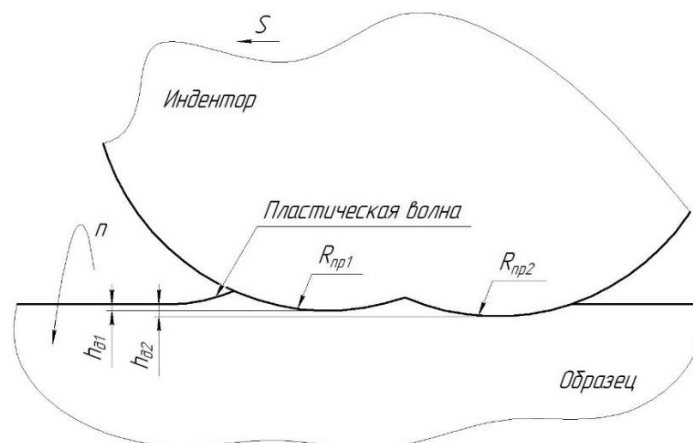


Рисунок 3 – Схема обработки поверхности комбо-роликом

В результате металл поверхностного слоя детали при обработке, находясь в условиях сложного напряженного состояния, испытывает пластическую деформацию с неоднократной сменой знака, что приводит к частичному восстановлению запаса пластичности металла в зонах смены знака деформации. Проведенные исследования показывают, что такая конструкция комбо-ролика позволяет накапливать большие значения деформаций без разрушения ПС и увеличить максимально достижимые значения параметров механического состояния металла ПС при обработке [4].

Мультирадиусный ролик представляет собой комбинацию 4-х последовательно расположенных инденторов, расположенных относительно друг друга с некоторым смещением в радиальном направлении. Первый индентор, входящий в контакт с поверхностным слоем, имеет профильный радиус $R_{np} = 1$ мм и действительный натяг $h_o = 0,05$ мм. Второй индентор также имеет профильный радиус $R_{np} = 1$ мм. Он смещен относительно 1-ого индентора в направлении от оси ролика на величину 0,05 мм. Действительный натяг 2-го индентора составляет $h_o = 0,10$ мм. Третий индентор, как и предыдущие, имеет профильный радиус $R_{np} = 1$ мм и радиальное смещение относительно 2-ого элемента в направлении от оси ролика на величину 0,05 мм. Действительный натяг 3-го индентора составляет $h_o = 0,15$ мм. Четвертый индентор имеет профильный радиус $R_{np} = 3$ мм и радиальное смещение относительно 3-ого индентора в направлении к оси ролика на величину 0,1 мм. Действительный натяг 4-го, также, как и 1-ого индентора, составляет $h_o = 0,05$ мм.

В результате такой геометрии металл поверхностного слоя детали при обработке, находясь в условиях сложного напряженного состояния, испытывает пластическую деформацию с неоднократной сменой знака, что приводит к частичному залечиванию дефектов и восстановлению запаса пластичности металла в зонах смены знака деформации (рис. 4).

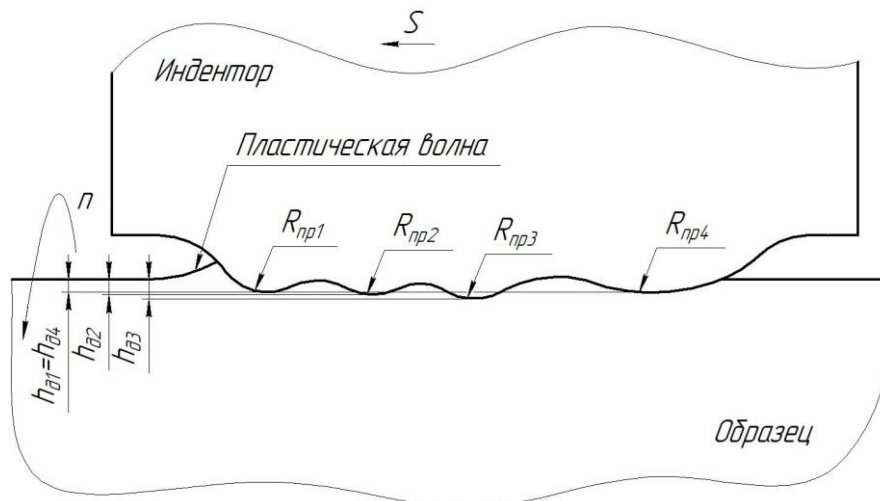


Рисунок 4 – Схема обработки поверхности мультирадиусным роликом

Проведенные исследования показывают, что такая геометрия рабочей части обкатного ролика позволяет накапливать большие значения деформаций без разрушения ПС и увеличить максимально достижимые значения параметров механического состояния металла ПС при обработке [5].

Заключение

Процесс поверхностного пластического деформирования способом обкатывания деталей роликами или шариками позволяет достичь высоких эксплуатационных характеристик деталей.

Оптимизируя процесс обработки за счет модификации формы роликов, как это было выполнено ранее, основываясь на теории технологической наследственности, можно накапливать большие значения деформаций без разрушения ПС и увеличить максимально достижимые значения параметров механического состояния металла ПС при обработке.

В связи с тем, что большое количество деталей в машиностроении – это многоступенчатые и сложно профильные валы, требуется рассмотреть возможность применения роликов со сложной профильной геометрией для их обработки.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00587»

Список литературы:

1. Справочник по процессам поверхностного пластического деформирования / под ред. С.А. Зайдеса. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2021. – 504 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. Пат. 2529335 Российская федерация, МПК В24В 39/04. Ролик обкатной комбинированный / Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Махалов М.С., Останин О.А. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технологический университет имени Т.Ф. Горбчаева" (КузГТУ). – № 2013135796/02; заявл. 30.07.2013; опубл. 27.09.2014.
4. Пат. 2530600 Российская федерация, МПК В24В 39/04. Ролик обкатной двухрадиусный / Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Махалов М.С., Останин О.А. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технологический университет имени Т.Ф. Горбчаева" (КузГТУ). – № 2013135794/02; заявл. 30.07.2013; опубл. 10.10.2014.

5. Пат. 2557377 Российская федерация, МПК В24В 39/04. Ролик обкатной мультирадиусный / Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Махалов М.С., Останин О.А. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технологический университет имени Т.Ф. Горбчаева" (КузГТУ). – № 2013135795/02; заявл. 30.07.2013; опубл. 10.02.2015.

6. Mitrofanova K.S. Study of surface layer hardening after treatment complex tool / K.S. Mitrofanova // Solid State Phenomena. - 2020. - Т. 303. - С. 89-96.

7. Блюменштейн В.Ю., Митрофанова К.С. Рентгеноструктурные исследования поверхностного слоя армко-железа после обкатывания мультирадиусным роликом / В.Ю. Блюменштейн, К.С. Митрофанова // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2022. - Т. 18. - № 3 (207). - С. 110-115.

8. Blumenstein V.Yu., Mitrofanova K.S. Study on the effects of hydrostatic pressure on the structural state of pure-iron during hardening treatment with a multiradius roller / V.Yu. Blumenstein, K.S. Mitrofanova // Solid State Phenomena. - 2022. - Т. 328. - С. 17-25.

9. Блюменштейн В.Ю., Митрофанова К.С. Исследование влияния технологических факторов процесса поверхностного пластического деформирования сложно профильным инструментом на качество поверхностного слоя / В.Ю. Блюменштейн, К.С. Митрофанова // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2020. - Т. 16. - № 2 (182). - С. 68-74.

10. Krechetov A., Mitrofanova K. The study of multiradius roller running process / A. Krechetov, K. Mitrofanova // В сборнике: MATEC Web of Conferences. The conference proceedings (ISPCIME-2019). - 2019.- С. 05003.

11. Митрофанова К.С. Исследование патентной активности в области технологий отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием / К.С. Митрофанова // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2019. - Т. 15. - № 12 (180). - С. 572-576.