

УДК 621.787.4

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**Ежелев А.В., Бобровский И.Н., Лукьянов А.А.***Тольяттинский государственный университет, Тольятти, e-mail: bobri@yandex.ru*

Рассмотрены основные направления технологической модернизации. Приведены основные тенденции развития технологии машиностроения. Дана классификация способов поверхностного пластического деформирования. Выполнена оценка опыта применения поверхностно-пластического деформирования (ППД), как способа повышения качества поверхности. Процесс ППД осуществляется без снятия стружки путем деформирования микронеровностей и глубоких прилегающих к поверхности слоев материала. В результате происходит значительное снижение шероховатости, упрочнение поверхностного слоя, в нем возникают остаточные напряжения сжатия. Приведены результаты последних исследований в области применения ППД и оценены перспективы внедрения данных способов обработки в промышленное производство. Методы ППД заменяют финишные процессы шлифования и полирования с охлаждением. Работа выполняется при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование; выглаживание; смазочно-охлаждающее технологическое средство; инструмент; износ; энергия

ANALYSIS OF PROCESSING WAYS BY SUPERFICIAL AND PLASTIC DEFORMATION**Ezhelev A.V., Bobrowski, I.N., Lukyanov A.A.***Togliatti State University, Togliatti, e-mail: bobri@yandex.ru*

The main directions of technological modernization are considered. The main tendencies of mechanical engineering technology development are given. Classification of superficial plastic deformation ways is given. The assessment of superficial and plastic deformation (PPD) application experience, as way of surface quality improvement is completed. Process of PPD is carried out without shaving removal by deformation of microroughnesses and deep material layers which adjoin to a surface. As a result there is a considerable decrease in a roughness, blanket hardening, in it there is residual tension of compression. Results of the last researches are given in a scope of superficial plastic deformation and prospects of these processing ways introduction are estimated at industrial production. PPD methods replace finishing processes of grinding and polishing with cooling. Work is carried out with support of the federal target program «Scientific and scientific and pedagogical shots of innovative Russia» for 2009–2013.

Keywords: superficial plastic deformation; burnishing; lubricant-cooling agent; the tool; deterioration; energy

В отечественном машиностроении происходит технологическая модернизация, направленная на повышение эффективности производства и конкурентоспособности выпускаемой продукции. Освоение прогрессивных технологий обеспечивается преимущественно за счет приобретения импортного оборудования и инструмента и, в меньшей степени, путем внедрения новых технологических процессов, созданных в нашей стране.

Можно отметить еще одну особенность современного развития отечественного машиностроения: его акценты смещены в сторону совершенствования высокотехнологичных отраслей, ориентированных на мелкосерийное производство. Не менее важной и актуальной задачей для экономики страны и ее престижа является внимание к производству продукции, выпускаемой в больших объемах, и качество которой затрагивает интересы большого числа потребителей.

И, наконец, еще об одной тенденции развития технологии машиностроения, в которой, наряду с уже традиционными требованиями постоянного повышения произво-

дительности, точности и качества обработки деталей, все более активно выдвигается условие экологичности их изготовления. При этом требование экологичности производства в расширенной трактовке затрагивает не только комфортность условий труда, но и уменьшение материал- и энергоемкости выпускаемых изделий, что напрямую влияет на их экономичность и конкурентоспособность.

Применительно к финишным операциям обработки, например, с использованием абразивного инструмента и принудительного охлаждения зоны резания более предпочтительным с точки зрения экологии представляются процессы поверхностного пластического деформирования (ППД) и особенно те, в которых не применяются смазывающе-охлаждающие технологические среды (СОТС).

Для указанных условий производства, в частности, для автомобилестроения, ключевой проблемой внедрения новой технологии становится ее повышенная надежность и стабильность, то есть уверенность в безусловном выполнении всех необходимых

требований к точности, качеству чрезвычайно быстрой обработки огромного – до 600 000 и более деталей в год только одного типа при их непрерывном изготовлении в течение нескольких лет. При отсутствии влияния оператора на ход технологического процесса выполнение даже относительно несложных требований по точности формы и размеров обрабатываемой поверхности, ее шероховатости и других регулируемых характеристик качества поверхностного

слоя требует тщательной его научно-исследовательской подготовки.

Процессы упрочняющей обработки непрерывно развиваются в качестве метода финишной обработки поверхностей деталей машин. Обработка методами поверхностного пластического деформирования (ППД) состоит в силовом контактно-воздействии деформирующего инструмента на поверхность заготовки в условиях их относительного движения (рис. 1).

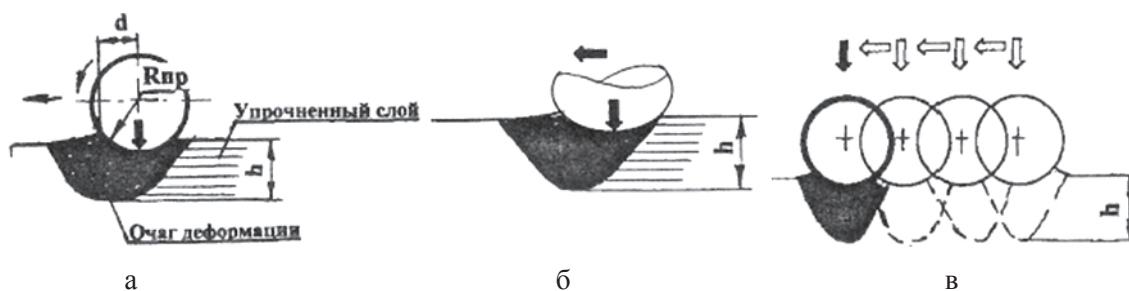


Рис. 1. Основные схемы взаимодействия деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью: а – качение; б – скольжение; в – внедрение

Процесс ППД осуществляется без снятия стружки путем деформирования микронеровностей и глубинных прилегающих к поверхности слоев материала. В результате происходит значительное снижение шероховатости, упрочнение поверхностного слоя, в нем возникают остаточные напряжения сжатия. При этом происходит интенсивное выглаживание поверхностных неровностей заготовки, сопровождающееся значительным упрочнением поверхностных слоев (повышением микротвердости и созданием благоприятных сжимающих напряжений); исключается шаржирование обработанной поверхности абразивными и другими частицами; становится возможным образование частично и полностью регулярных микрорельефов. Эти достоинства в сочетании с высокой производительностью, надежностью и простотой осуществления предопределили широкое и непрерывно расширяющееся применение различных способов финишной обработки давлением практически во всех отраслях промышленности с высокими технико-экономическими показателями.

Исследования, приведенные в литературе, направляются главным образом на выявление общих и частных закономерностей ППД при большом разнообразии средств реализации этого вида обработки.

В зависимости от схемы силового воздействия деформирующего элемента на поверхность обрабатываемой детали, в соответствии с ГОСТ 18296–72, можно вы-

делить восемь основных групп процессов ППД (рис. 2).

Наибольшее распространение получили статические методы ППД, включающие дорнование, выглаживание и обкатывание, при которых осуществляют непрерывное контактное взаимодействие инструмента с заготовкой в процессе их взаимного перемещения. Статические методы ППД получили наиболее широкое распространение вследствие относительной простоты их реализации и стабильности протекания процесса обработки.

Выглаживание является одним из наиболее простых способов поверхностного пластического деформирования. Его отличает высокая производительность и стойкость инструмента [4] (рис. 3). Выглаживанием достигается шероховатость $R_a = 0,32 \dots 0,1$ мкм, при обработке возрастает микротвердость, и в поверхностном слое создаются сжимающие остаточные напряжения. Процесс алмазного выглаживания кинематически аналогичен точению, только вместо резца применяется алмазный выглаживатель, который, пластически деформируя поверхностный слой, выравнивает и упрочняет его.

Долговечность и надежность машин и конструкций определяется эксплуатационными характеристиками наиболее нагруженных деталей. Известно, что на долговечность деталей машин влияют множество факторов таких, как износостойкость, поверхностная прочность, макро-геометрия, микронеровности поверхности и др.



Рис. 2. Классификация способов поверхностного пластического деформирования

Однако, независимо от вида нагружений, наибольшие нагрузки испытывают поверхностные слои деталей – слои, наиболее интенсивно подвергающиеся воздействию внешней среды. Эксплуатационные характеристики поверхностных слоев определяются в основном технологией их обработки. Поверхностно-пластическое деформирование является наиболее выигрышным методом упрочнения поверхностных слоев деталей машин.

При проведении исследований в работе Одинцова Л.Г. [7] оказалось, что после 43000 км пробега износ поршневых пальцев, обработанных алмазным выглажива-

нием, был на 60–93 % меньше необработанных образцов.

В работе [1] Барацем Я.И. предложено применить ППД с нанесением регулярного микрорельефа, с целью повышения эксплуатационных свойств трущейся пары поршень-корпус. При опытно-промышленной проверке процесса проводились исследования влияния параметров и режимов обработки на герметичность сопряжения, прирабатываемость и износостойкость контактируемых поверхностей. В свою очередь Шнейдером Ю.Г. было установлено, что наиболее рациональным регулярным микрорельефом для данной детали является

частичный регулярный микрорельеф с соприкасающимися канавками.

В работе Горохова В.А. [3] приводится исследование износа и прирабатываемости образцов из технического титана ВТ1-1, после обработки их виброобкатыванием, обкатыванием, точением и шлифованием. Результаты исследования показали, что на поверхностях, обработанных ППД, износ приработки меньше в 2 раза. Таким образом, можно считать, что повышение износостойкости титановых сплавов увеличивается на 55 % вследствие оптимизации геометрических, и на 45 % вследствие оптимизации физических параметров обрабатываемых методами ППД поверхностей.

Большое место среди деталей, работающих на трение, занимают резинотеталлические пары, среди них наиболее характерными являются шейки валов, контактирующие с манжетными уплотнениями. Для оценки износостойкости при различных методах обработки металлических поверхностей (шлифование, полирование, алмазное выглаживание) произведено испытание образцов из стали 40Х на машине трения. Результаты показали, что поверхности, обработанные алмазным выглаживанием, в 1,5–2 раза меньше изнашиваются, чем после полирования, и в 5 раз меньше, чем после шлифовальной обработки [7]. Повышение долговечности опор буровых долот и резьбовых соединений буровых труб достигается применением деформационно-электрохимической обработки поверхностей трения, совмещенного с осаждением твердосмазочного композиционного электрохимического покрытия с ППД наносимого слоя. При обработке микротвердость повышается в 1,5–2 раза, уменьшается интенсивность изнашивания на 33–53 %, увеличивается контактная выносливость на 54 %. Также предложен новый способ повышения долговечности пар трения. Суть процесса заключается в нанесении на предварительно обработанную, с заданным микрорельефом, поверхность, методом фрикционного переноса, антифрикционного композита. Термостойкость такого покрытия сохраняется до температуры 870 К. Исследования на износостойкость, в работе [1] Бараца Я.И., на образцах из сталей 40, 20Х, 40Х, 12ХН3А, 38ХН3МА показали, что оптимальным вариантом стал – отделочно-упрочняющая обработка незакаленного вала методом обкатки шариком, для втулки – растачивание с последующей обработкой ППД роликовой раскаткой (или растачивание с последующим образованием РМР). Д.Д. Папшевым в работе [8]

были проанализированы полученные положительные результаты по повышению износостойкости при обработке шариком, ультразвуковым упрочнением и обработке вращающимися механическими щетками с оптимальными режимами и соответствующими условиями на закаленных, легированных сталях и титановых сплавах.

При упрочнении щетками титановых сплавов, например сплава ПТЗВ ($\sigma_B = 650 \dots 900$ МПа), прирост твердости составляет 15–30 % при толщине упрочненного слоя 0,1–0,3 мм. Исследования показали, что обработка щетками приводит к снижению в 1,2–1,4 раза среднего арифметического отклонения микропрофиля шлифованных поверхностей. Микротвердость поверхности исследованных закаленных сталей возрастает на 10–30 %. Снижается износ на 30–40 % по сравнению со шлифованными поверхностями, при этом в 1,5–2,2 раза уменьшается время приработки, что благоприятно отражается на увеличении износостойкости.

Повышение долговечности и выносливости изделий достигается созданием оптимальных полей остаточных напряжений в теле деталей. Одним из таких методов является метод термопластического упрочнения. Задача создания полей остаточных напряжений решается в два этапа: сначала определяется температурное поле, а затем рассчитываются остаточные напряжения и пластические деформации.

В ЦНИИТМАШе была исследована усталостная прочность крупных валов и ступенчатых валов, изготовленных из сталей 40Х, 40ХН, 40. По результатам испытаний видно, что наклеп привел к значительному увеличению усталостной прочности. В Санкт-Петербургском инженерно-экономическом институте были проведены исследования качества поверхностного слоя на усталостную прочность предварительно обработанных точением образцов из титанового сплава ВК3-1, подвергнутых пластической деформации обкатыванием. При обработке шариками с увеличением усилия усталостная прочность увеличивается. При обкатке роликами с усилием 50 и 100 кГ она составляет 50–51 кГ/мм, а с увеличением усилия до 150–200 кГ снижается до 35–40 кГ/мм. Исследованием микроструктуры обкатанных образцов установлено, что в результате пластической деформации в поверхностном слое возникает значительная неоднородность структуры, которая влияет на усталостную прочность.

Количество способов ППД обширно, все они хорошо изучены, каждый из них

имеет собственную технологическую нишу. Однако в основном все они внедрены преимущественно в мелкосерийное производство для ответственных деталей. Возможно заменять финишные процессы, например тонкого точения, шлифования или полирования с охлаждением на методы ППД без применения смазочно-охлаждающих средств, но среди известных методов ППД очень трудно найти технологический процесс, который бы удовлетворял требованиям массового производства. Когда за очень короткое время – до 20 с необходимо реализовать требования к процессу и качеству обработанной детали.

Работа выполняется при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Барац Я.И. Оптимальное сочетание методов ППД при финишной обработке сопрягаемых поверхностей, работающих в условиях трения скольжения // Надежность механических систем: науч. конференция. – 1995. – С. 19–20.
2. Бобровский Н.М. Повышение долговечности наружных поверхностей валов методом выглаживания широким самоустанавливающимся инструментом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – М., 1999. – 16 с.
3. Горохов В.А. Чистовая обработка титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1975. – 107 с.
4. Жарин А.Л., Шипица Н.А., Сарока Д.И. Определение характеристик усталостного разрушения материалов при трении скольжения // Трение и износ. – 2001. – № 4. – С. 410–414.
5. Макаров Д.П. Фононное трение // Трение и износ. – 2002. – № 6. – С. 597–606.
6. Мельников П.А., Селиванов А.С., Хамидуллова Л.Р. Повышение эксплуатационных свойств сальниковых шеек коленчатых валов путем оптимизации технологии изготовления // Объединенный научный журнал. – 2003. – № 29. – С. 15–17.
7. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.

8. Папшев Д.Д. Упрочнение деталей обкаткой шариком. – М.: Машиностроение, 1968. – 131 с.

References

1. Barac J.I. Optimal'noe sochetanie metodov PPD pri finishnoj obrabotke sopryagaemyh poverhnostej, rabotajuwih v uslovijah trenija skol'zhenija (Optimum combination of PPD methods at finishing processing of the interfaced surfaces working in the conditions of a sliding friction). – Scientific conference: Reliability of mechanical systems, 1995, pp. 19–20.
2. Bobrovskij N. M. Povyshenie dolgovechnosti naruzhnyh poverhnostej valov metodom vyglazhivaniya shirokim samoustavnivajuwimsja instrumentom (Increase of shaft external surfaces durability by a burnishing method by the wide being self-established tool). Moscow, 1999. 16 p.
3. Gorohov V.A. Chistovaja obrabotka titanovyh splavov (Fair processing of titanic alloys). Moscow, Mechanical engineering, 1975. 107 p.
4. Zharin A.L., Zharin A.L., Shipica N.A., Saroka D.I. Friction and wear – Definition of characteristics of fatigue materials failure at a sliding friction, 2001, no.4, pp. 410–414.
5. Makarov D.P. Friction and wear – Fononnoe trenie, 2002, no.6, pp. 597–606.
6. Mel'nikov P.A., Selivanov A.S., Hamidullova L.R. Incorporated scientific magazine – Povyshenie jekspluatacionnyh svojstv sal'nikovyh sheek kolenchatyh valov putem optimizacii tehnologii izgotovlenija (Increase of operational properties of omental cranked shaft necks by manufacturing techniques optimization), 2003 no.29, pp. 15–17.
7. Odincov L.G. Finishnaja obrabotka detalej almaznym vyglazhivaniem i vibrovyglazhivaniem (Finishing processing of details by a diamond burnishing and vibroburnishing). Moscow, Mechanical engineering, 1981. 160 p.
8. Papshev D.D. Uprochnenie detalej obkatkoj sharikom (Hardening of details by ball running). Moscow, Mechanical engineering, 1968. 131 p.

Рецензенты:

Васильев А.В., д.т.н., профессор, директор Института химии и инженерной экологии Тольяттинского государственного университета, г. Тольятти;

Горшков Б.М., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехнические комплексы и системы» ГОУ ВПО «Поволжский государственный университет сервиса», г. Тольятти.

Работа поступила в редакцию 14.05.2012.