



МЕТОДИ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А. К. Кралін¹, Р. І. Рибалко²

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: ¹ ak.kralin@gmail.com, ² r_rybalko@rambler.ru

Отримана 12 жовтня 2015; прийнята 27 листопада 2015.

Анотація. Наведено класифікацію методів поверхневого пластичного деформування (ППД). Зроблена оцінка досвіду застосування поверхневого пластичного деформування як способу підвищення якості поверхні і збільшення довговічності виробу. Розглянуто особливості методів ППД, які реалізуються без зняття стружки шляхом деформування мікронерівностей і глибинних прилеглих до поверхні шарів матеріалу. У результаті відбувається значне зниження шорсткості, зміцнення поверхневого шару. У поверхневому шарі виникають залишкові напруження стиску. Наведено результати останніх досліджень у сфері застосування ППД і оцінено перспективи впровадження даних способів оброблення в промислове виробництво.

Ключові слова: технологія, машинобудування, експлуатаційні характеристики, надійність, довговічність, пластична деформація, поверхневий шар, деталь, зміцнення, шорсткість.

МЕТОДЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А. К. Кралин¹, Р. И. Рыбалко²

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: ¹ ak.kralin@gmail.com, ² r_rybalko@rambler.ru

Получена 12 октября 2015; принята 27 ноября 2015.

Аннотация. Приведена классификация методов поверхностного пластического деформирования (ППД). Произведена оценка опыта применения поверхностного пластического деформирования как способа повышения качества поверхности и увеличения долговечности изделия. Рассмотрены особенности методов ППД, которые реализуются без снятия стружки путем деформирования микронеровностей и глубинных прилегающих к поверхности слоев материала. В результате происходит значительное снижение шероховатости, упрочнение поверхностного слоя. В поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия. Приведены результаты последних исследований в области применения ППД и оценены перспективы внедрения данных способов обработки в промышленное производство.

Ключевые слова: технология, машиностроение, эксплуатационные характеристики, надежность, долговечность, пластическая деформация, поверхностный слой, деталь, упрочнение, шероховатость.

METHODS FOR THE PLASTIC DEFORMATION OF THE SURFACE LAYER MACHINE PARTS

Andrey Kralin, Roman Rybalko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

E-mail: ¹ ak.kralin@gmail.com, ² r_rybalko@rambler.ru

Received 12 October 2015; accepted 27 November 2015.

Abstract. A classification of methods of surface plastic deformation (SPD) has been given. An assessment of experience in the application of surface plastic deformation, as a way of improving the quality of the surface and increase of the longevity of the product, has been done. It has been considered the features methods of SPD, which are realized without chip removal by the deformation of asperities and deep adjacent to the surface layers of the material. The result is a significant reduction in roughness of the surface hardening layer. The surface layer having residual compressive stresses. The results of the latest research in the use of SPD and assessed the prospects for the introduction of data processing techniques in manufacturing, has been given.

Keywords: technology, engineering, performance, reliability, durability, plastic deformation of the surface layer, item, hardening, roughness.

Введение

Тенденции развития современных технологий машиностроения неразрывно связаны с традиционными требованиями постоянного повышения производительности изготовления, точности и качества обработки деталей, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики машины в целом.

Одним из важных направлений повышения эксплуатационных характеристик деталей является разработка новых и совершенствование уже существующих прогрессивных технологических процессов их изготовления, в частности процессов, применяемых в заключительных фазах (финишных операциях) изготовления деталей. Данные процессы оказывают значительное влияние на эксплуатационные характеристики поверхностного слоя [1].

Актуальность

Достаточно высокий интерес представляют способы, обеспечивающие высокое качество поверхности в сочетании с высокой производительностью, надежностью и простотой их реализацией. Методы поверхностного пластического деформирования (ППД) находят все большее распространение и непрерывно расширяющееся применение практически во всех отраслях промышлен-

ности с высокими технико-экономическими показателями [2].

Следовательно, повышение эффективности методов пластического деформирования поверхностного слоя деталей машин является актуальной и достаточно важной задачей, что предопределило необходимость сравнительного анализа вышеуказанных методов.

Основная часть

Методы, улучшающие эксплуатационные свойства машин, получившие в последнее время широкое распространение – это упрочняюще-отделочные методы поверхностного пластического деформирования. Обработка методами поверхностного пластического деформирования состоит в силовом контактом воздействии деформирующего инструмента на поверхность заготовки в условиях их относительного движения. Процесс ППД осуществляется без снятия стружки путем деформирования микронеровностей и глубоких прилегающих к поверхности слоев материала (рисунок 1).

В результате происходит значительное снижение шероховатости, упрочнение поверхностного слоя [3]. Преимущества ППД показаны в исследованиях Е. Г. Коновалова [4], И. В. Кудрявцева [5, 6], А. М. Кузнецова [7], И. И. Муханова [8],

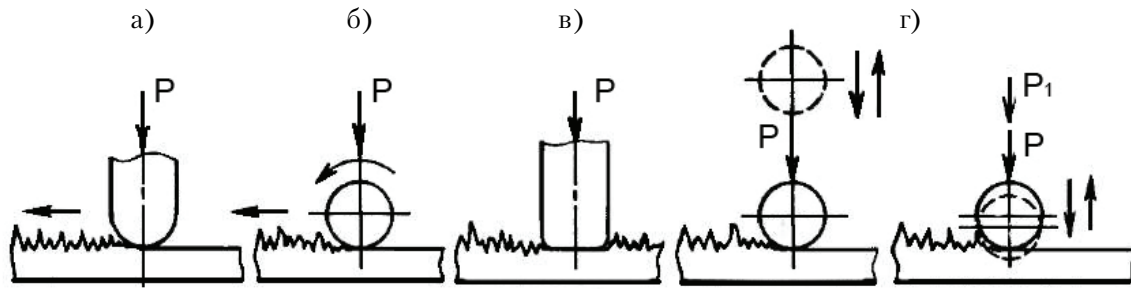


Рисунок 1. Характер контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью при различных методах ППД: а) выглаживание; б) накатывание; в) однократное обжатию обрабатываемой поверхности; г) ударный метод.

Л. Г. Одинцова [9, 10], Д. Д. Папшева [11] и других отечественных и зарубежных ученых.

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 выделить восемь основных групп процессов ППД (таблица 1).

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 [3].

Выглаживание является одним из наиболее простых способов поверхностного пластического деформирования. Его отличает высокая производительность и стойкость инструмента [3].

Выглаживанием достигается шероховатость $R_a = 0,32 \dots 0,10$ 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. Алмазное выгла-

живание по сравнению с накатыванием имеет существенно меньшую производительность, однако обладает большей универсальностью и позволяет обрабатывать маложесткие и неравножесткие детали, так как давление при алмазном выглаживании 100...200 Н, в то время как при накатывании оно составляет 10...100 кН [10].

Для осуществления накатывания и алмазного выглаживания сложных поверхностей по сравнению с обработкой простых поверхностей необходимо дополнительно решить ряд технологических и конструкторских задач, связанных с созданием деформирующего инструмента специального профиля, с необходимостью огибать обрабатываемую поверхность по криволинейной образующей и ориентировать инструмент определенным образом, с необходимостью изменять во время обработки диаметр и некоторые другие размеры устройств для накатывания и алмазного выглаживания и т. д.

В работе [12] было предложено применить ППД с нанесением регулярного микрорельефа и при опытно-промышленной проверке процесса проводились исследования влияния параметров и режимов обработки на герметичность сопряжения, прирабатываемость и износостойкость контактируемых поверхностей, что позволило повысить эксплуатационные свойства трущихся пар «поршень – корпус».

В работе [13] приводились исследования, которые были направлены на прирабатываемость образцов из технического титана и их износа после обработки обкатыванием, виброобкатыванием, точением и шлифованием, в результате чего было выявлено, что на поверхностях,

Таблица 1. Классификация методов поверхностного пластического деформирования

Методы упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД)	Статическое ППД	Накатывание (раскатывание шариком, дисковым роликом)	Выглаживание	Калибрование	Накатывание с проскальзыванием
	Формообразующее накатывание	Накатывание фасонных поверхностей, калибрующее накатывание			
	Ударная обработка полужесткими элементами	Чеканка шариком, роликом или бойком	Центробежная обработка шариками и роликами	Обработка щетками	
	Статическое ППД с наложением колебаний, вибраций	Ультразвуковое ППД, вибрационное накатывание и выглаживание			
	Комбинированное поверхностное упрочнение	Совмещение методов ППД	Совмещение ППД с химико-термической, термической или гальванической обработкой, другими методами поверхностного упрочнения		
	Ударная обработка элементами с направленной траекторией	Обработка микрошариками и гидроабразивная. Упрочнение дробью			
	Ударная обработка свободными элементами	Виброгалтовка, галтовка и гидрогалтовка абразивом, металлическими или стеклянными шариками			
	Совмещение ППД с резанием	Сочетание ППД с резанием	Опережающее ППД и резание		

обработанных ППД, износ приработки меньше в 2 раза. Таким образом, можно считать, что повышение износостойкости титановых сплавов увеличивается вследствие оптимизации геометрических и физических параметров обрабатываемых методами ППД поверхностей.

Для повышения долговечности деталей, подвергаемых изнашиванию, а также схватыванию металла, на их поверхности создают регулярный микрорельеф путем вибрационного накатывания (вибрационного выглаживания).

Существует достаточно большое количество сопрягаемых деталей, которые работают на трение, это резинометаллические пары. Среди них наиболее характерными являются элементы валов, которые контактируют с манжетными уплотнениями и для оценки износостойкости при различных методах обработки металлических по-

верхностей (шлифование, полирование, алмазное выглаживание) произведено испытание образцов из стали 40Х на машине трения. Результатами данных исследований является тот факт, что поверхности, обработанные алмазным выглаживанием, в 1,5...2,0 раза меньше изнашиваются, чем после полирования, и в 5 раз меньше, чем после шлифовальной обработки [9].

В работе [11] 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 был отмечен прирост твердости, который соста-

вил 15...30 % при толщине упрочненного слоя от 0,1 до 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 возросла 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.

В работе [14] полученные данные показывают, что ультразвуковая обработка создает или значительно увеличивает остаточные напряжения как в продольном, так и поперечном направлении обрабатываемых деталей. Это является благоприятным фактором, так как препятствует зарождению и развитию трещин. Проведенные экспериментальные исследования позволили наглядно доказать преимущества ультразвукового способа перед традиционными видами упрочнения.

Повысить долговечность и выносливость изделий возможно 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.

Работоспособность деталей повышают применением комбинированной обработки различ-

ными методами ППД, а также обработки методами ППД в сочетании с другими методами упрочнения.

Например, обработка поверхности методами ППД под хромирование обеспечивает наиболее высокое качество и прочность хромового покрытия. Цилиндрические поверхности трения деталей из титана можно упрочнять комбинированным способом: вначале электроискровое микролегирование, т. е. насыщение и покрытие поверхности сверхтвердыми материалами, а затем жесткое обкатывание, которое обеспечивает получение необходимой точности и шероховатости поверхности, а также снижает вредное влияние микролегирования на сопротивление усталости.

Выводы

Проведенный анализ методов поверхностного пластического деформирования позволяет сделать вывод об их перспективности. Однако, несмотря на все преимущества, методы ППД не лишены недостатков. В большинстве своем все они наиболее эффективны в мелкосерийном производстве при обработке ответственных деталей. Возможно заменять финишные процессы, например 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.

Литература

1. Кабатов, А. А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием [Текст] / А. А. Кабатов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2013. № 58. С. 49–54.
2. Шнейдер, Ю. Г. Технология финишной обработки давлением [Текст] : справ. / Ю. Г. Шнейдер. – СПб. : Политехника, 1998. – 416 с.
3. Ежелев, А. В. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием [Текст] / А. В. Ежелев, И. Н. Бобровский, А. А. Лукьянов // *Fundamental Research*. 2012. № 6. С. 642–646.
4. Коновалов, Е. Г. Чистовая упрочняющая ротационная обработка поверхностей [Текст] / Е. Г. Ко-

References

1. Kabatov, A. A. Evaluation of finishing processing technique by surface plastic deformation. In: *Free information and computer-integrated technology*, 2013, No. 58, pp. 49–54. (in Russian)
2. Shneider, Yu. G. Technology of final polishing by pressure: reference book. St. Petersburg: Politehnica, 1998. 416 p. (in Russian)
3. Ezhelev, A. V.; Bobrovskii, I. N.; Lukianov, A. A. Evaluation of processing technique of surface plastic deformation. In: *Fundamental Research*, 2012, No. 6, pp. 642–646. (in Russian)
4. Konovalov, E. G.; Sidorenko, V. A. Finishing strengthen swaging of surface. Minsk: Vysheishaia shkola, 1968. 363 p. (in Russian)

- новалов, В. А. Сидоренко. – Минск : Вышэйшая школа, 1968. – 363 с.
5. Кудрявцев, И. В. Новые способы поверхностного пластического деформирования [Текст] / И. В. Кудрявцев, Р. Е. Грудская // *Машиностроитель*. 1984. № 7. С. 28–29.
 6. Кудрявцев, И. В. Повышение методом ППД сопротивления усталости стали 25ГС в крупных поковках [Текст] / И. В. Кудрявцев, Н. Е. Наумченко // *Вестник машиностроения*. 1977. № 4. С. 44–46.
 7. Кузнецов, А. М. Технологические и физические основы деформирующих методов обработки [Текст] / А. М. Кузнецов // *Автомобильная промышленность*. 1974. № 12. С. 36–37.
 8. Муханов, И. И. Упрочнение стальных деталей шариком, вибрирующим с ультразвуковой частотой [Текст] / И. И. Муханов, Ю. М. Голубев // *Вестник машиностроения*. 1966. № 11. С. 52–53.
 9. Одинцов, Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием [Текст] / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1981. – 160 с.
 10. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] : Справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
 11. Папшев, Д. Д. Упрочнение деталей обкаткой шариком [Текст] / Д. Д. Папшев. – М. : Машиностроение, 1968. – 131 с.
 12. Барац, Я. И. Оптимальное сочетание методов ППД при финишной обработке сопрягаемых поверхностей, работающих в условиях трения скольжения [Текст] / Я. И. Барац // *Надежность механических систем : Тез. докл. Всероссийский науч.-техн. конф., Самара, 24–26 окт. 1995 / Самар. гос. техн. ун-т. – Самара : СамГТУ, 1995. – С. 19–20.*
 13. Горохов, В. А. Чистовая обработка титановых сплавов [Текст] / В. А. Горохов. – М. : Машиностроение, 1975. – 107 с.
 14. Ультразвуковое поверхностное пластическое деформирование [Текст] / В. Ф. Казанцев, Б. А. Кудряшов, Р. И. Нигметзянов [и др.] // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2009. Вып. 46. С. 43–46.
 5. Kudriavtsev, I. V.; Grudskaja, R. E. Novel ways of surface plastic deformation. In: *Mechanic engineer*, 1984, No. 7, pp. 28–29. (in Russian)
 6. Kudriavtsev, I. V.; Naumchenkov, N. E. Rise by the pressure maintenance method of endurance strength of steel 25GS in large package. In: *Mercury of Mechanical engineering*, 1977, No. 4, pp. 44–46. (in Russian)
 7. Kuznetsov, A. M. Engineering and physical basis of deforming processing technique. In: *Automobile industry*, 1974, No. 12, pp. 36–37. (in Russian)
 8. Muhanov, I. I.; Golubev, Yu. M. Strengthening of steel parts by vibrant spherule, having non-destructive examination frequency. In: *Mercury of Mechanical engineering*, 1966, No. 11, pp. 52–53. (in Russian)
 9. Odintsov, L. G. Final polishing of details by diamond dragging and vibration smoothing. Moscow: Mechanical engineering, 1981. 160 p. (in Russian)
 10. Odintsov, L. G. Strengthening and finishing of details by surface plastic deformation: Reference book. Moscow: Mechanical engineering, 1987. 328 p. (in Russian)
 11. Papshev, D. D. Strengthening of details by breaking-in with the help of spherule. Moscow: Mechanical engineering, 1968. 131 p. (in Russian)
 12. Barats, Ya. I. Optimum configuration of pressure maintenance method at final polishing of inflective surface, being at work in gliding friction conditions. In: *Reliability of mechanical system: thesis, All-Russian Scientific and technical conference, Samara, October, 24–26, 1995*. Samara: Samara State Technical University, 1995, pp. 19–20. (in Russian)
 13. Gorohov, V. A. Final polishing of titanium alloy. Moscow: Mechanical engineering, 1975. 107 p. (in Russian)
 14. Kazantsev, V. F.; Kudriashov, B. A.; Nigmatzianov, R. I.; Prihodko, V. M.; Fatiuhin, D. S. Non-destructive examination surface plastic deformation. In: *Mercury of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 2009, Issue 46, pp. 43–46. (in Russian)

Кралин Андрій Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин та обладнання Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: основи модернізації, проектування, розрахунків та технічна діагностика будівельних машин.

Рыбалко Роман Иванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин та обладнання Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: модернізація, розрахунків машин для виробництва будівельних матеріалів.

Кралин Андрей Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортных, строительных, дорожных, машин и оборудования Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: основы модернизации, проектирование, расчет и техническая диагностика строительных машин.

Рыбалко Роман Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортных, строительных, дорожных, машин и оборудования Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: модернизация, расчет машин для производства строительных материалов.

Kralin Andrey – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Hoisting Transport, Building, Road Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: basis of modernization, designing, calculation and engineering diagnostics of building machines.

Rybalko Roman – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Hoisting Transport, Building, Road Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modernization, payment machines for the production of building materials.