

ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТВЕРСТИЙ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Л.Р. Милованова, Я.И. Барац

В статье анализируется эффективность отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин методом поверхностно-пластического деформирования (ППД) с образованием регулярного микрорельефа как финишной операции, выполняемой с целью улучшения эксплуатационных свойств деталей, работающих в условиях трения-скольжения. Предложена конструкция инструмента, позволяющая высокопроизводительно наносить регулярный микрорельеф на поверхность отверстия. Приводятся данные экспериментального исследования эффективности данного метода обработки.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, регулярный микрорельеф, износ, пластическая деформация

TOOL AND TECHNOLOGY TO IMPROVE OPERATIONAL PROPERTIES OF HOLES BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION

L.R. Milovanova, Ya.I. Baratz

The article analyzes the effectiveness of finishing and strengthening treatment by surface plastic deformation method to form a regular micro-relief as a finishing operation performed in order to improve the performance properties of components operating under friction-slip conditions. The design of a tool that allows applying a regular micro-relief on the hole surface with high-performance is proposed. The data of experimental research on the effectiveness of this method of treatment are presented.

Keywords: surface plastic deformation, regular micro-relief, wear, plastic deformation.

Введение

Регулярные микрорельефы (РМР), образованные методом поверхностного пластического деформирования (ППД) как с системой канавок, так и полностью новые, отличаются от традиционных, образуемых при других способах обработки, однородностью всех геометрических параметров, строго функционально связанных с параметрами режима [1].

Многочисленные исследования показали эффективность способа регуляризации микрорельефа поверхности, который позволяет не

только улучшать эксплуатационные характеристики пар, работающих в условиях трения-скольжения, за счет увеличения маслосъемности поверхностей и упрочнения поверхностного слоя, но и снижать требования к шероховатости поверхности, исключая из технологического процесса такие трудоемкие и дорогостоящие операции как доводка, шабрение, хонингование, полирование, нанесение покрытий, термическая обработка. Следовательно, сокращается цикл изготовления деталей и снижается стоимость обработки [2].

Однако кинематика процесса ППД с образованием РМР зачастую является очень сложной, характеризуется низкой производительностью, малой глубиной получаемых канавок, отсутствием возможности регулировать геометрические параметры рельефа, такие как угол наклона, глубина канавок, относительная площадь контакта и другие. Анализ имеющихся научных данных [3, 4] показал необходимость разработки такого инструмента и технологии, которые бы позволили повысить производительность процесса обработки поверхностей отверстий методом ППД с образованием регулярного микрорельефа. Соответственно целью данного исследования стала разработка конструкции инструмента для образования частичного регулярного микрорельефа в отверстиях, применение которого позволяет повысить производительность и эффективность процесса ППД [5].

Конструкция инструмента для РМР

Инструмент представляет собой цилиндрическую втулку 4 (рис. 1), в радиальных отверстиях которой, расположенных равномерно по окружности, закреплены деформирующие элементы – шарики 6. Внутри втулки вставляется и закрепляется винтом 5 сменный стержень 2, диаметр оправки по шарикам зависит от диаметра стержня и характеризует натяг (превышение диаметра оправки над соответствующим диаметром обрабатываемого отверстия). С другого конца во втулку вставляется хвостовик 1 с конусом Морзе 2, с помощью которого инструмент закрепляется в бабке металлорежущего станка. Инструменту сообщается продольная подача в прямом и обратном направлениях.

При такой кинематике за один двойной ход инструмента на внутренней поверхности втулки образуется сетка винтовых канавок левого и правого направлений. Число канавок каждого направления равно числу деформирующих элементов.

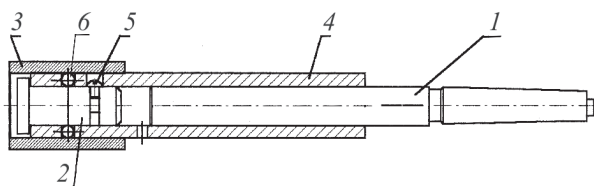


Рис. 1. Оправка для ППД отверстий с образованием РМР

Экспериментальное исследование

Проводимые испытания посвящены исследованию оптимальной геометрии получаемого микрорельефа (угол наклона, глубина канавок, относительная площадь контакта и т.д.), режимов и условий механической обработки деталей.

Данным инструментом на внутренние поверхности втулок был нанесен РМР с различными геометрическими параметрами (угол наклона и глубина канавок), после чего поверхности притирались, чтобы избежать нежелательного влияния образующихся по краям канавок наплывов, являющихся следствием пластической деформации металла, и исследовался относительный износ поверхностей отверстий в условиях трения-скольжения в паре с пальцем (HRC 56...62).

Рабочие поверхности отверстий были обработаны ППД с РМР при глубине канавок 0,086 мм и 0,13 мм, углы наклона канавок – 6°, 11°, 21°, 44°, 52°, 90°. На рисунке 2 представлена профилограмма поверхности с РМР после притирки.

Степень износа втулок с различным углом наклона канавок оценивалась относительно контрольной втулки с хонингованной рабочей поверхностью. Для проведения исследований по определению износостойкости втулок был сконструирован и изготовлен специальный стенд (рис. 3 а, б).

Стенд представляет собой основание 1, на котором закреплен электродвигатель 2 и масляная ванна 3. В ванну на опору 4 с каналами для смазки устанавливается изучаемая деталь 5. На ось электродвигателя устанавливается втулка с эксцентричным отверстием 7, на наружную поверхность которой напрессовывается подшипник 8. Возвратно-поступательное движение поршня 9 задается эксцентриситетом втулки 7 и пружиной 10, прижимающей поршень 9 к подшипнику 8. Эксцентриситет $e = 5$ мм, частота вращения двигателя $n = 1370$ об/мин, скорость возвратно-поступательного движения поршня $V = 0,5$ м/сек. Втулки (HRC 43) работали в условиях трения-скольжения в паре с пальцем (HRC 62).

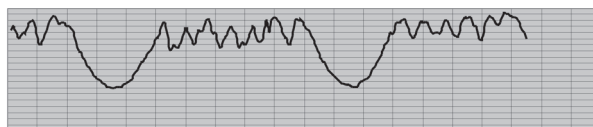


Рис. 2. Профилограмма поверхности с РМР после притирки

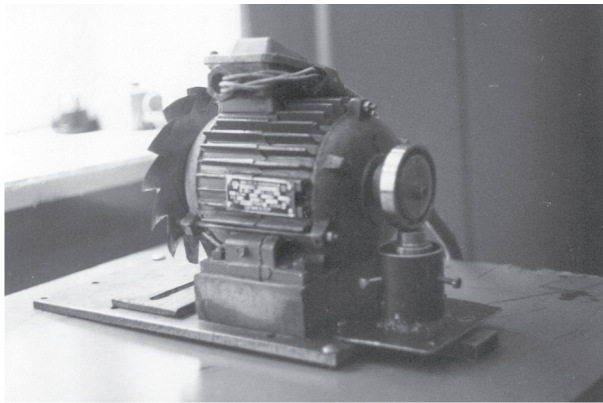
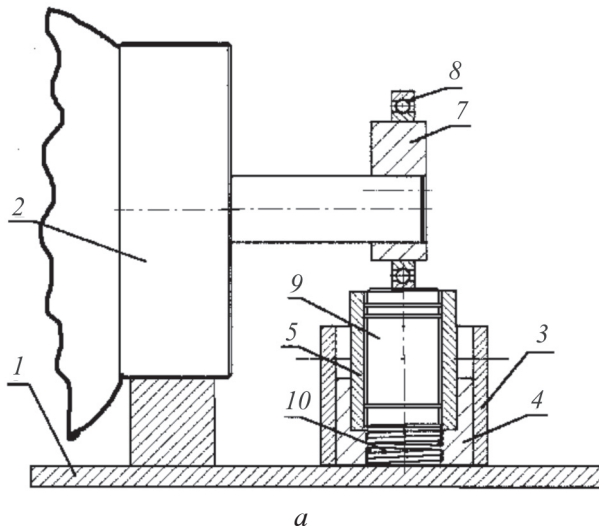


Рис. 3. Установка для изучения износостойкости рабочих поверхностей образцов-втулок:
а – конструктивная схема; б – внешний вид

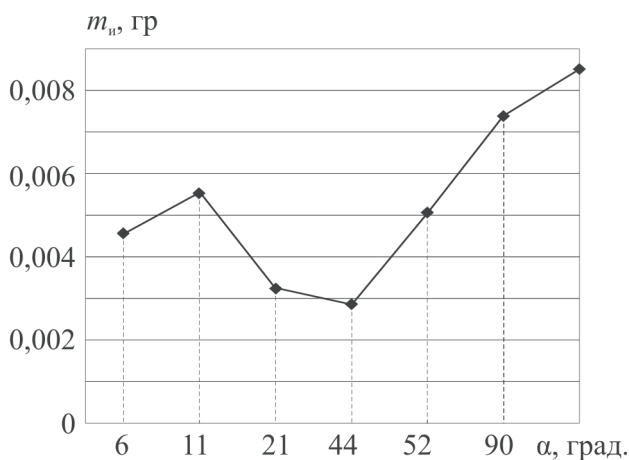


Рис. 4. Динамика изменений массового износа образцов-втулок в зависимости от угла наклона канавок РМР

Величина износа определялась взвешиванием образцов-втулок, которые промывались в керосине, сушились и протирались ацетоном. Взвешивание втулок проводилось на весах аналитических 2 кл. типа АДВ-200 п/н 200 г. с точностью 0,1 мг. Каждое взвешивание проводилось 5 раз, обработка результатов измерений и оценка доверительного интервала выполнялась в соответствии с ГОСТ 8.207-76 [7].

Для исключения случайной погрешности, которая могла возникнуть за счет возможных изменений условий проведения эксперимента, характера смазки и физико-механических свойств исследуемых образцов, каждый эксперимент с заданными параметрами регулярного микрорельефа проводился три раза и результат определялся как среднее арифметическое значений величин износа. Рассчитывались среднеквадратическое отклонение и доверительная граница с учетом критерия Стьюдента $t(P, f) = 2,78$ [7] с надежностью $P = 0,95$.

Анализ экспериментальных результатов показал, что зависимости массового износа m_u поверхностей от угла наклона канавок (рис. 4), и от относительной площади канавок (рис. 5) имеют явно выраженные минимумы.

Соответствующие значения угла наклона канавок и относительной площади канавок были приняты в качестве оптимальных.

Относительная площадь канавок рассчитывалась по формуле:

$$\bar{F}_k = \frac{F_{\text{кф}}}{F_{\text{отв}}} \cdot 100\% = \frac{F_{\text{кф}}}{\pi D_{\text{отв}} L} \cdot 100\% =$$

$$= \left(\frac{2zb}{\pi D_{\text{отв}} \sin \alpha} - \frac{zb^2}{\pi D_{\text{отв}} S \sin 2\alpha} \right) \cdot 100\%;$$

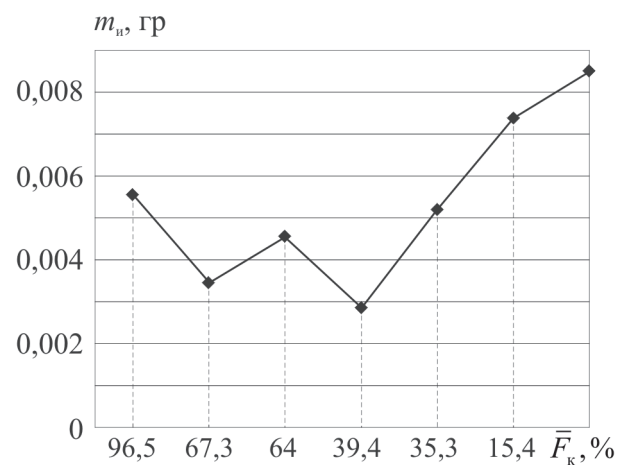


Рис. 5. Динамика изменения массового износа образцов-втулок в зависимости от относительной площади канавок

$$F_{\text{кф}} = F'_\text{к} - F''_\text{к}; \quad F'_\text{к} = \frac{2zbL}{\sin \alpha}; \quad F''_\text{к} = \frac{Lzb^2}{S \sin 2\alpha};$$

$$b = 2\sqrt{r_\text{ш}^2 - (r_\text{ш} - h)^2}; \quad \alpha = \arctg\left(\frac{S}{\pi D_\text{отв}}\right),$$

где $F_{\text{кф}}$ – фактическая площадь канавок, мм²; $F'_\text{к}$ – площадь всех канавок, мм²; $F''_\text{к}$ – площадь всех пересечений канавок, мм²; L – длина обрабатываемого отверстия, мм; z – число шариков в оправке; b – ширина канавки, мм; $r_\text{ш}$ – радиус деформирующего элемента, мм; $h = D_\text{шар} - D_\text{отв}$ – глубина канавки, мм; $D_\text{шар}$ – диаметр оправки по шарикам, мм; $D_\text{отв}$ – диаметр обрабатываемого отверстия, мм; α – угол наклона канавок; S – подача инструмента, мм/об.

В результате проведенного эксперимента оптимальным был признан РМР с относительной площадью канавок $\bar{F}_\text{к} = 39,4\%$, углом наклона $\alpha = 44^\circ$, диаметром раскатных шариков $d_\text{ш} = 5,6$ мм, шириной $b = 1,69$ мм и глубиной $h = 0,13$ мм канавок. Фотография поверхности отверстия с регулярным микрорельефом, который был признан оптимальным, представлена на рис. 6.

У образца с минимальным износом ($\alpha = 44^\circ$, $\bar{F}_\text{к} = 39,4\%$) минимален и период приработки, через 30 минут работы наблюдался период равномерного износа (рис. 7).

Выводы из результатов эксперимента

Проведенные исследования показали, что производительность процесса обработки поверхностей отверстий методом ППД с образованием РМР может быть повышена за счет

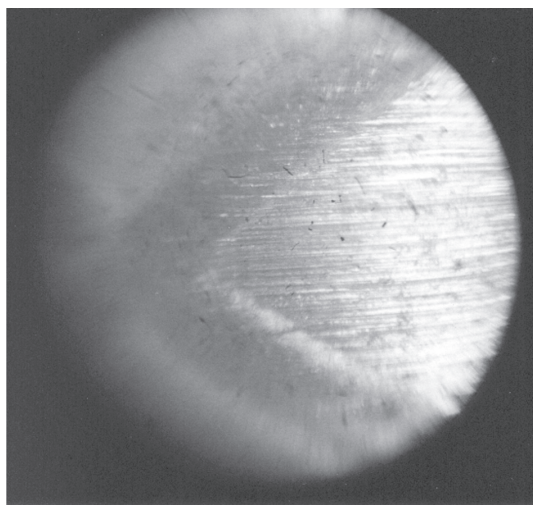


Рис. 6. Фотография микрорельефа при $S = 84,6$ мм/об.

применения предложенного инструмента, так как система канавок на поверхности отверстия образуется за один двойной ход инструмента.

Экспериментальная оценка износа рабочих поверхностей образцов-втулок обработанных ППД с образованием РМР, работающих в условиях трения-скольжения в паре с поршнем, была проведена в сравнении с износом образца, имеющего хонингованную поверхность, и выявлено, что массовый износ образцов, рабочие поверхности которых были обработаны ППД с образованием РМР, в 1,5–2 раза меньше по сравнению с образцом с хонингованной поверхностью.

Наименьший износ имеет образец с РМР с относительной площадью канавок 39,4% и углом наклона 44° . Образцы с близкой по значению относительной площадью канавок, но различными углами наклона, имеют близкие значения износа рабочих поверхностей. В зависимости от объема канавок износ меньше у образцов, на поверхностях которых были накатаны более глубокие канавки. Однако глубина канавок ограничивается возможностью заклинивания инструмента.

Заключение

В рамках проведенных исследований предложен высокопроизводительный метод образования регулярного микрорельефа на поверхностях отверстий методом поверхностного пластического деформирования с помощью осевого инструмента с целью повышения их износостойкости и улучшения эксплуатационных характеристик.

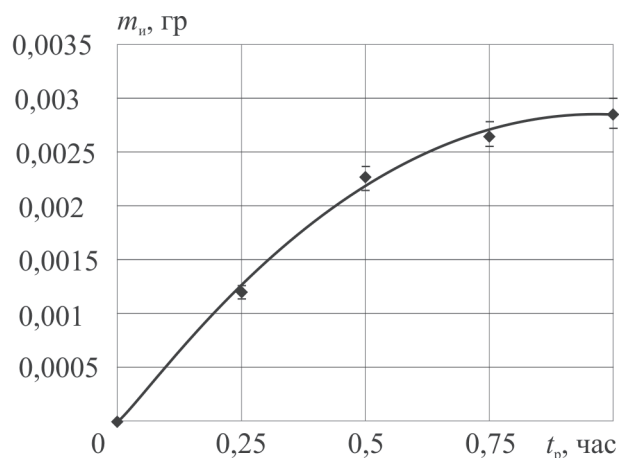


Рис. 7. Характер интенсивности износа образцов ($\alpha = 44^\circ$, $\bar{F}_\text{к} = 39,4\%$) в зависимости от времени работы t_p

Список литературы

1. ГОСТ 24773-81. Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1981. – 13 с.
2. Шнейдер Ю.Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением Л.: Машиностроение, 1971. – 134 с.
3. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.
4. Барац Я.И., Шапошник Р.К., Варчев В.М. Оптимизация сочетания регулярных микрорельефов сопрягаемых поверхностей трения // Вестник машиностроения. 1992. № 5. С. 18–20.
5. Пат. 2200080 РФ. Инструмент для образования частичного регулярного микрорельефа в отверстиях / Я.И. Барац, Л.Р. Лешкенова. – Заявл. 25.10.2001; опубл. 10.03.2003. Бюл. № 7.
6. Барац Я.И., Милованова Л.Р. Улучшение эксплуатационных свойств поверхностей отверстий методом поверхностно-пластического деформирования с образованием регулярного микрорельефа // Вестник СГТУ. 2007. № 2 (25). С. 60–64.
7. Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента. М.: Пищевая промышленность, 1979. – 200 с.

Материал поступил в редакцию 18.02.15

**МИЛОВАНОВА
Людмила Руслановна**

E-mail: sarmilovanova@mail.ru
Тел.: 8 (927) 157 84 17

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии обработки материалов», декан механико-машиностроительного факультета Энгельсского технологического института (филиал) ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». Сфера научных интересов: обработка металлов давлением, процессы упрочнения поверхностей, теплофизические исследования. Автор более 50 научных статей, одного изобретения.

**БАРАЦ
Яков Ильич**

E-mail:
Тел.: 8 (905) 325 18 39

Доктор технических наук, профессор. Сфера научных интересов: технологии обработки материалов, улучшение эксплуатационных свойств деталей машин, улучшение конструкций металлообрабатывающих инструментов, теплофизика процессов механической обработки материалов. Автор четырех монографий, двух учебных пособий, 12 изобретений, более 100 научных публикаций.