

## **ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Белорусский национальный технический университет  
ЗАО «АТЛАНТ»  
Минск, Беларусь*

Современное машиностроение требует создания и внедрения перспективных технологических процессов изготовления деталей машин с высокими эксплуатационными показателями их рабочих поверхностей

В последнее время все большее распространение в промышленности находят антифрикционные порошковые материалы. Использование этих материалов позволяет экономить дефицитные литые сплавы из цветных металлов, антифрикционных сталей и чугунов, снизить стоимость изготовления и потерь металла в стружку, повысить производительность труда. Технологический процесс изготовления деталей машин методами порошковой металлургии позволяет получать изделия с заданными эксплуатационными свойствами. Порошковая металлургия - одно из наиболее эффективных направлений создания новых перспективных материалов и производства изделий на их основе. Практически нет такой отрасли в народном хозяйстве республики, где не находили бы применение изделия, полученные методами порошковой металлургии: в машино- и приборостроении, автомобильном и железнодорожном транспорте, сельскохозяйственной технике - это конструкционные, триботехнические, электротехнические изделия; в здравоохранении - имплантаты; в экологии - диспергаторы озона и воздуха в системах очистки питьевой и сточной вод; в электронике и бытовой технике - магниты; в строительстве и камнеобработке - алмазный инструмент и т.д.

Выпуск изделий порошковой металлургии в республике организован в основном в Белорусском государственном научно-производственном концерне порошковой металлургии - около 60 % общего объема выпуска, а также на специализированных участках в ряде организаций: РУП «Минский завод шестерен»; ОАО «Минский подшипниковый завод»; ОАО «БАТЭ»; ПО «БелАЗ»; НПП «Эртекс»; НПП «Элком»; РУП «БелВАР»; ПРУП «Феррит» [1].

Базовый вариант технологии включает получение порошков, формование заготовок, их спекание и окончательную обработку (калибровка, доуплотнение, термообработка и т.п.), что позволяет получать готовые изделия необходимой прочности, точных размеров и сложной формы, как правило, без дополнительной механической обработки [1]. Одним из недостатков применения порошковой металлургии является то, что свойства сталей, полученных из порошков после термической обработки, часто уступают свойствам сталей, полученных литьем. Поэтому рекомендовать порошковую технологию для стальных высоконагружаемых деталей нельзя. Вследствие этого, а также по причине высокой стоимости порошкового конструкционного материала, порошковая сталь используется для малонагружаемых изделий, или для улучшения эксплуатационных показателей требуется дополнительная упрочняющая обработка. [2]

В ряде случаев для деталей, полученных порошковой металлургией, необходима обработка для обеспечения требуемого качества поверхности.

Одним из прогрессивных методов обработки деталей является поверхностное пластическое деформирование (ППД), которое обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик деталей. Наибольшее практическое использование методов ППД имеет место в Германии, где традиционно уделяется серьезное внимание повышению надежности деталей с помощью внедрения новых технологий. Например, хорошо известны разработки фирмы Hegensheidt, которая выпускает широкую гамму инструмента и оборудования для обработки ППД в автомобильной промышленности. Инструмент для комбинированной обработки резанием и ППД производит фирма Voehringer, а в США - фирма Madison. В то же время можно твердо утверждать, что возможности по управлению качеством поверхностного слоя при ППД использованы далеко не полностью. Технологические способы ППД характеризуются безотходностью. Помимо значительного экономического эффекта они повышают износостойкость изделий. Проблеме формирования качества поверхности деталей машин поверхностным пластическим деформированием посвящена обширная научно-техническая литература [3-5].

Обработка деталей из порошковых материалов ППД также, как и монокристаллических, основана на силовом воздействии деформирующего элемента на поверхность детали. Возникающие при этом деформации локализуются в зоне, непосредственно примыкающей к рабочему профилю деформирующего элемента (ролика) и имеющей определенные геометрические характеристики [6].

Выбор способа и технологических факторов ППД определяется материалом, конфигурацией и условиями работы детали, требованиями к качеству поверхности. Наиболее простыми и эффективными способами формирования качества поверхности ППД являются обкатывание (раскатывание) и алмазное выглаживание.

Сочетание преимуществ порошковой металлургии и ППД позволит перейти к практическим безотходным технологиям изготовления долговечных по износостойкости деталей из антифрикционных порошковых материалов. Качественная картина деформации поверхностного слоя деталей из порошковых материалов иная, чем при обработке монокристаллических [6]. Специфичность упрочнения ППД деталей из порошковых материалов определяется иным характером распределения дислокаций и вакансий в их атомной решетке. Величина пластической деформации материала в продольном сечении детали и зоны пластической деформации в процессе обкатывания определяются суммарным углом охвата ролика материалом детали. Установлено [6], что зона пластической деформации порошковых материалов при обкатывании изменяется в значительно меньшей степени, чем у монокристаллических.

Опыт использования ППД [6] в качестве отделочно-упрочняющей обработки антифрикционных порошковых материалов показал перспективность использования этого метода для повышения качества деталей. Однако недостаточно изучены вопросы формирования поверхностного слоя при ППД внутренних поверхностей заготовок из порошковых материалов.

Анализ данных [7-9] свидетельствует о том, что большую часть применяемых порошковых материалов составляют композиции: железо – графит и железо – графит – медь. В связи с этим в качестве объекта исследования влияния ППД на формирование характеристик качества поверхности заготовок из ПМ были приняты материалы марки ПА-ЖГр2 (C=2%, Fe = 98%) и марки ПА-ЖГр1Д3 (C = 1%, Fe = 96%, Cu = 3%). Данные порошковые композиции по свойствам являются характерными представителями в своих группах и получили широкое применение в промышленности для изготовления деталей машин.

Экспериментальные исследования проводились на заготовках со следующими размерами: наружный диаметр  $D = 25$  мм, внутренний диаметр  $d = 15$  мм и длина  $L = 22$  мм, изготовленных по серийной технологии прессованием с давлением 600 МПа и последующим спеканием при температуре 1130 °С.

ППД раскатыванием выполняли с помощью многороликовой регулируемой раскатки диаметром 15 мм на вертикально-сверлильном станке мод. 2С132. В соответствии с ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики», а также учитывая рекомендации [10] определению и анализу подлежат следующие характеристики шероховатости, оказывающие влияние на эксплуатационные характеристики деталей машин:  $R_{max}$  - наибольшая высота неровностей профиля, мкм;  $R_a$  - среднее арифметическое отклонение неровностей профиля, мкм;  $t_p$  - относительная опорная длина профиля (где  $p$  - значение уровня сечения профиля равный 50 %). Указанные параметры шероховатости поверхности измеряли с помощью профилографа-профилометра мод. 252.

Результаты предварительного анализа влияния ППД на формирование геометрических характеристик поверхности заготовок из ПМ представлены в табл. 1

Таблица 1. Параметры качества поверхности заготовок из ПМ до и после ППД

Характеристика	Материал			
	ПА-ЖГр2		ПА-ЖГр1Д3	
	Состояние поверхности			
	до ППД	после ППД	до ППД	после ППД
$R_a$ , мкм	2,3...2,8	0,14...1,95	2,5...3,3	0,14...2,10
$R_{max}$ , мкм	17...19	1,12...7,88	18...21	1,68...7,96
$t_{50}$ , %	10...35	20...60	12...40	21...61

Зафиксировано снижение высотных характеристик шероховатости ( $R_a$ ,  $R_{max}$ ) в 1,6...8,0 раз и рост опорной длины профиля ( $t_{50}$ ) в 1,4...3,0 раза после ППД, что обеспечивает повышение износостойкости деталей из ПМ.

Методом полного факторного эксперимента [11] были разработаны математические модели, связывающие микрогеометрические характеристики поверхности заготовок из порошковых материалов ( $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $t_{50}$ ) с режимами ППД: величиной натяга  $i$ , подачей  $S$ , скоростью вращения инструмента  $v$ .

Предварительный анализ результатов эксперимента свидетельствует о том, что минимальные значения исследуемых высотных характеристик шероховатости поверхности для ПА-ЖГр2 после раскатывания получены в седьмом опыте при следующих параметрах режима обработки:  $i = 0,05$  мм,  $S = 0,1$  мм/об,  $v = 12,6$  м/мин; максимальные во втором – при  $i = 0,01$  мм,  $S = 0,28$  мм/об,  $v = 35,7$  м/мин. Минимум значения опорной длины профиля  $t_p$  на уровне 50 % был получен во втором опыте ( $i=0,01$  мм,  $S = 0,28$  мм/об,  $v = 35,7$  м/мин); максимум – в седьмом ( $i=0,05$  мм,  $S = 0,1$  мм/об,  $v = 12,6$ ). Для материала ПА-ЖГр1Д3 получены аналогичные результаты.

Натуральные модели с использованием нормализованных факторов имеют вид: материал ПА-ЖГр2

$$R_a = Y_1 = 1,02 - 28,35 \cdot i + 3,97 \cdot S + 0,001 \cdot v + 28,47 \cdot i \cdot S; \quad (1)$$

$$R_{max} = Y_2 = 3,84 - 92,11 \cdot i + 16,7 \cdot S + 0,0042 \cdot v + 36 \cdot i \cdot S; \quad (2)$$

$$t_{50} = Y_3 = 46,437 + 81,25 \cdot i - 87,5 \cdot S - 0,12 \cdot v; \quad (3)$$

материал ПА-ЖГр1Д3

$$R_a = Y_1 = 1,342 - 36,03 \cdot i + 2,8 \cdot S + 0,0023 \cdot v + 59 \cdot i \cdot S; \quad (4)$$

$$R_{max} = Y_2 = 4,076 - 80,95 \cdot i + 15,28 \cdot S + 0,015 \cdot v + 9,35 \cdot i \cdot S - 0,015 \cdot i \cdot v + 9,35 \cdot i \cdot S + 0,165 \cdot i \cdot v + 0,036 \cdot v \cdot S - 1,19 \cdot i \cdot S \cdot v; \quad (5)$$

$$t_{50} = Y_3 = 44,735 + 443,75 \cdot i - 81,94 \cdot S - 0,097 \cdot v. \quad (6)$$

Анализ математических моделей свидетельствует о том, что в процессе обработки ППД отверстий раскатыванием наибольшее влияние на микрогеометрические параметры поверхности оказывает величина натяга, а наименьшее – скорость раскатывания. Одномерные сечения функции отклика для исследуемых характеристик шероховатости и материалов представлены на рис. 1-3.

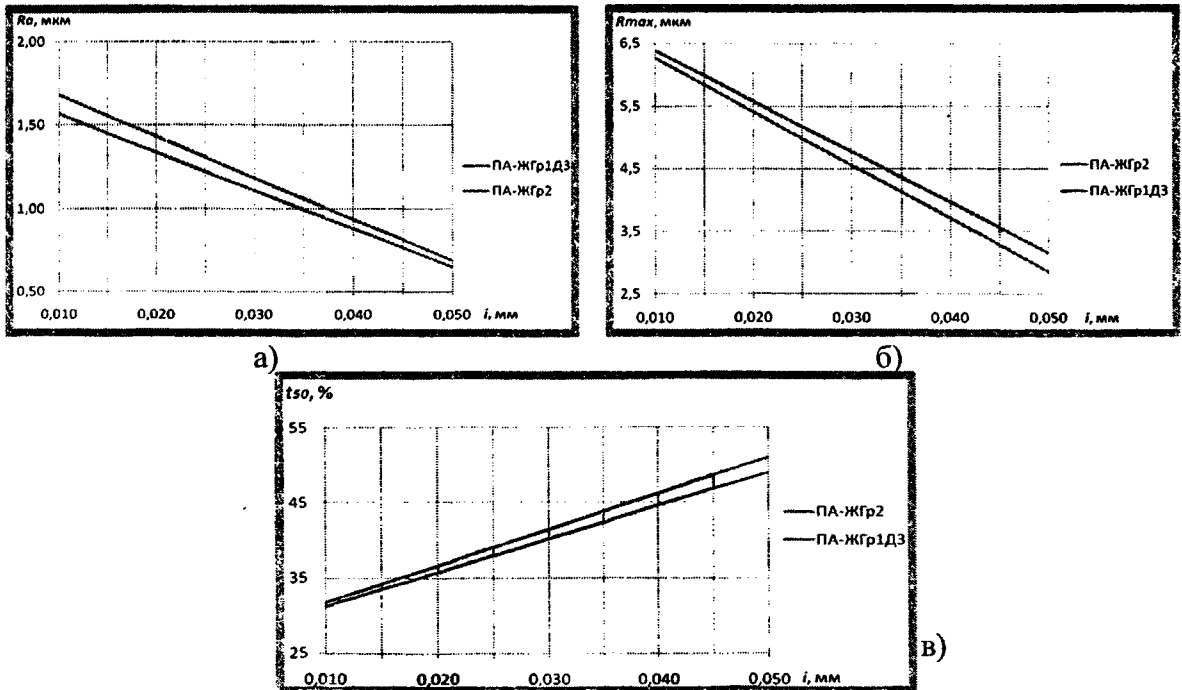


Рисунок 1 - Влияние величины натяга  $i$  при ППД на изменение геометрических характеристик шероховатости поверхности: а)  $R_a$ , б)  $R_{max}$ , в)  $t_{50}$  ( $v = 24,15$  м/мин;  $S = 0,19$  мм/об)

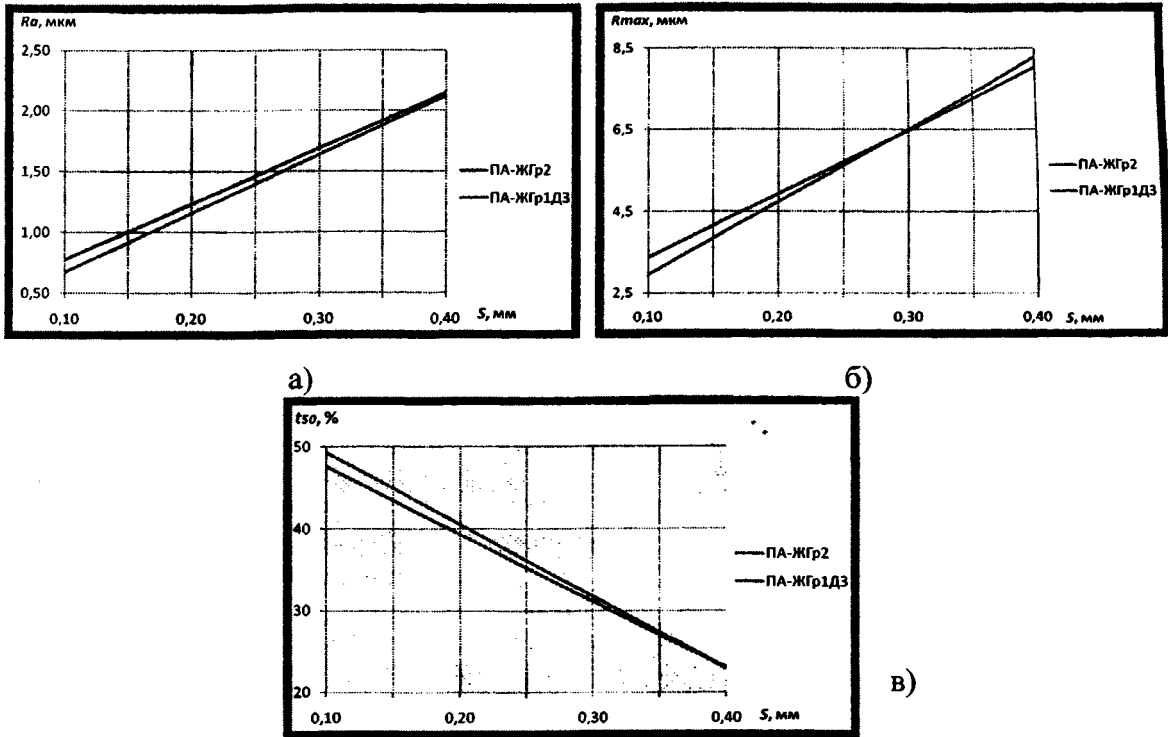


Рисунок 2 - Влияние подачи  $S$  при ППД на изменение геометрических характеристик шероховатости поверхности: а)  $Ra$ , б)  $R_{max}$ , в)  $t_{50}$  ( $v = 24,15$  м/мин;  $i = 0,03$  мм)

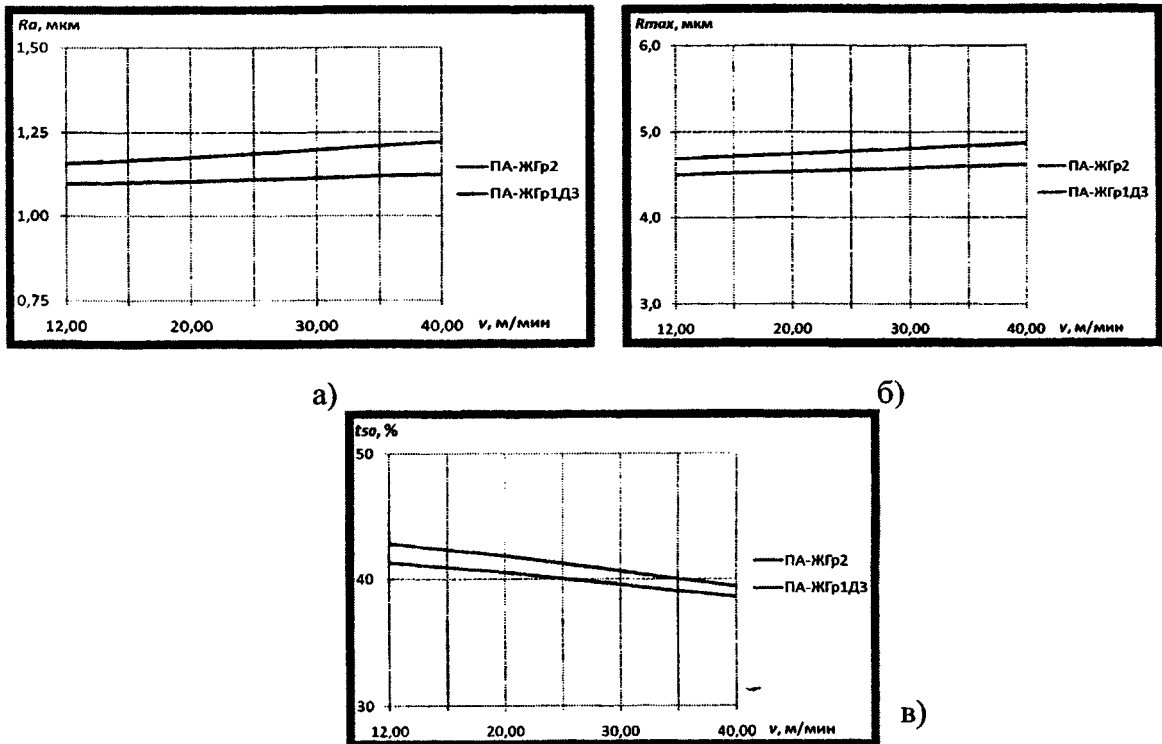


Рисунок 3 - Влияние скорости  $v$  при ППД на изменение геометрических характеристик шероховатости поверхности: а)  $Ra$ , б)  $R_{max}$ , в)  $t_{50}$  ( $i = 0,03$  мм;  $S = 0,19$  мм/об)

Разработанные модели позволяют осуществить прогнозирование и оптимизацию процесса ППД, а также управление процессом обработки для обеспечения требуемой шероховатости поверхности деталей из ПМ в зависимости от их эксплуатационного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 13 декабря 2005 г. № 1439 «О Государственной программе развития порошковой металлургии и сварки в Беларуси на 2003 - 2007 годы» / Под общей редакцией В. Левоневского - <http://www.pravoby.info/index.htm>/ 2. Конструкционные порошковые материалы/ Под общей редакцией Е. Быкова. - [http://eugene980.narod.ru/new\\_mat/7.htm/](http://eugene980.narod.ru/new_mat/7.htm/) 3. Одинцов Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с. 4. Папшев Д.Д. Упрочняющая технология в машиностроении. - М.: Машиностроение. 1978. - 152 с. 5. Каледин Б.А., Чепя П.А. Повышение долговечности деталей поверхностным пластическим деформированием. - Мн.: Наука и техника, 1974. - 232 с. 6. Баршай И.Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом. - Мн., УП «Технопринт», 2003. - 246с. 7. Горячева Э.В. Спеченные материалы, их свойства и применение.-М.: Металлургия, 1979.-72 с. 8. Федорченко И.М. и др. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения // Справочник. - Киев: Наукова думка, 1985. - 624 с. 9. Федорченко И.М., Пугин Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. - Киев, Наукова думка. 1980. - 404 с. 10. Алексеев П.П. Формирование шероховатости поверхности при обработке поверхностей пластической деформацией. Технология машиностроения. - Тула, 1977. - С. 13-17. 11. Ящерицын, П.И. Планирование эксперимента в машиностроении / П.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский. - Минск: Высшая школа, 1985. - 286 с.

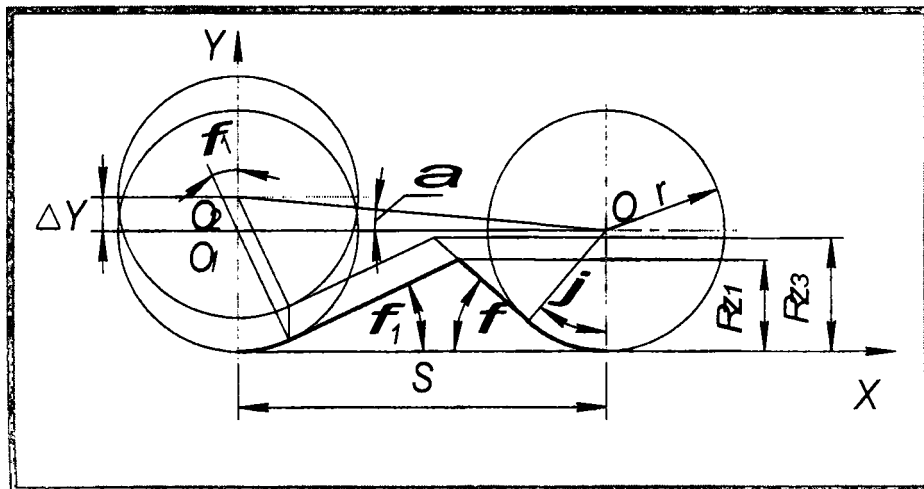
УДК 621.97

*Шатуров Д. Г., Мрочек Ж. А., Жолобов А. А.*

### ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Эксплуатационные характеристики материала поверхностных слоев деталей машин в основном определяются технологией их формообразования. Предварительная обработка рабочих поверхностей валов типа штоков гидроцилиндров преимущественно осуществляется точением, в том числе на токарных станках с ЧПУ, с последующим шлифованием и (или) обкатыванием. Правильный выбор не только финишных, но и предшествующих предварительных операций обработки позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики рабочих поверхностей валов. Практически погрешности формы и параметры качества поверхности, полученные при предшествующей обработке точением, с учетом наследственности частично сохраняются и при последующей обработке накатыванием или шлифованием.



Одним из существенных параметров качества обработанной поверхности является величина шероховатости, которая при точении зависит от геометрии рабочей части инструмента, величины нарастания износа лезвия резца во время его работы, жесткости элементов технологической