

Таблица 1. Параметры качества поверхности деталей до и после обкатывания

Состояние поверхности	Параметры качества поверхности			
	$R_a$ , мк	$\gamma$ , %	$H_v$ , МПа	$h_v$ , мк
<i>Материал ЖГр2</i>				
До ППД	2,3—2,8	11—20	2100—3300	0,07—0,08
После ППД	0,16—0,17	1,2—7,7	3300—3400	48—57
<i>Материал ЖГр1Д3</i>				
До ППД	2,5—3,3	15—23	1300—1400	0,08—0,09
После ППД	0,36—1,55	0,74—3,65	2000—2200	55—57

чества поверхности по сравнению с другими значениями профильного радиуса при одинаковых параметрах режима обкатывания.

Параметры качества поверхности деталей из исследуемых антифрикционных порошковых материалов до и после обкатывания приведены в табл. 1, где

$$U_n = \frac{H_{n, \max} - H_{n, \text{исх}}}{H_{n, \text{исх}}} \cdot 100\%.$$

После ППД наблюдалось уменьшение пористости поверхностного слоя, что характеризует его уплотнение. Для материала ЖГр2 средняя пористость уплотненного слоя составила  $\gamma = 1,2 \dots 7,7\%$ , для материала ЖГр1Д3 —  $\gamma = 0,74 \dots 3,65\%$ . Наряду с уменьшением поверхностной пористости отмечено достаточно компактное распределение геометрических параметров пор (рис. 1). При исследованиях использовали прибор Mini Magiscan.

Полученные результаты состояния поверхностного слоя порошковых материалов после ППД позволили сделать предположение о повышении износостойкости деталей, основываясь на закономерностях, присущих компактным материалам [4, 5].

Исследования износостойкости проводились в условиях трения с ограниченной подачей смазки по схеме вкладыш (сталь 40Х с твердостью

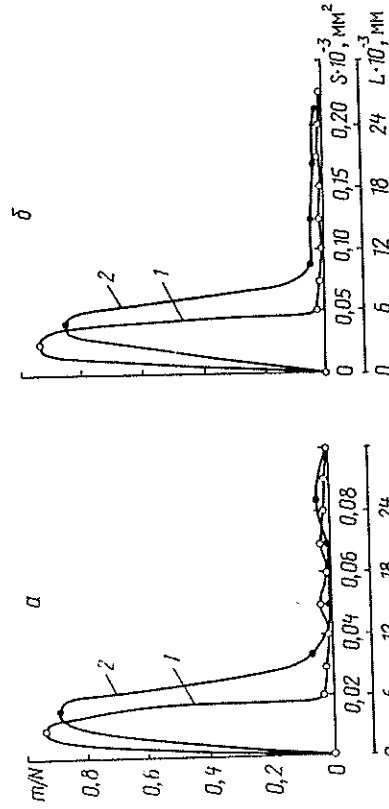


Рис. 1. Кривые распределения значений площади пор  $S$  (1) и длины пор  $L$  (2): а — ЖГр2 ( $S=0,1$  мм/об,  $\gamma=15,7$  м/мин,  $P=0,8$  кН); б — ЖГр1Д3 ( $S=0,075$  мм/об,  $\gamma=40$  м/мин,  $P=0,8$  кН)

УДК 621.787.4

АБУГОВ А. Л., БАРШАЙ И. Л., БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М. А.,  
ТУЛЕМАТ М.

### ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

В настоящее время широко применяются антифрикционные порошковые материалы на основе систем железо—графит и железо—графит—медь. Хорошие антифрикционные свойства материалам придает перлитоферритная и перлитоцементитная структуры с включением свободного графита [1]. Для перлитоферритных структур более твердая составляющая — перлит, равномерно распределенный по объему материала, способствует высокой износостойкости материала. Пластичная ферритная фаза (при содержании ее не более 50%) обуславливает лучшую приработку. В перлитоцементитных структурах присутствие 20—25% цемента оказывает положительное влияние на износостойкость [2]. Кроме того, наличие в структуре включений свободного графита (до 3%) весьма эффективно, особенно для деталей, работающих в условиях самосмазывания или при ограниченной подаче смазки, поскольку графит, обладая смазочными свойствами, обеспечивает хороший антифрикционный эффект и повышает предельное давление схватывания.

Введение меди (3—10%) в порошок железо—графит позволяет получить антифрикционные материалы более высокого качества. Медь, не ухудшая антифрикционных свойств железографита, способствует повышению его прочностных характеристик [3]. Являясь графитизирующим элементом, медь препятствует диффузии углерода в железо, предохраняя таким образом структуру от образования избыточного количества цементита.

Детали из порошковых материалов наряду с положительными особенностями имеют и недостатки: значительная шероховатость поверхности ( $R_a = 2,3 \dots 3,5$  мкм), относительно низкая микротвердость поверхности. Наличие поверхностной пористости обеспечивает задержание смазки на поверхности изнашиваемой детали, но увеличивает линейный износ в период приработки. Последнее обстоятельство определяется тем, что детали из порошковых материалов могут изменять линейные размеры не только вследствие образования частиц износа, но и в результате уплотнения поверхностного слоя (уменьшения размера пор на поверхности).

Уменьшение указанных недостатков возможно в результате обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД).

Обработке ППД подвергалась наружная цилиндрическая поверхность деталей типа втулок диаметром 25 мм из антифрикционных порошковых материалов ЖГр2 (С—2%, Fe—98%) и ЖГр1Д3 (С—1%, Fe—96%, Си—3%).

Обкатывание осуществлялось однокоричковым обкатником с профильным радиусом деформирующего элемента 8 мм. В результате предварительных экспериментов установлено, что указанный профильный радиус деформирующего элемента обеспечивает лучшие параметры ка-

40—45 HRC<sub>1</sub>) — диск (втулка из исследуемого порошкового материала). Скорость скольжения диска относительно вкладыша изменялась в диапазоне  $v_{ск} = 0,25 \dots 4,0$  м/с, что соответствует условиям эксплуатации деталей из железграфитовых порошков.

Изучение износостойкости проводилось на двух этапах фрикционного

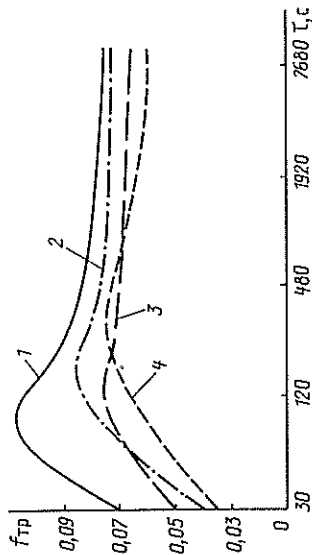


Рис. 2. Изменение коэффициента трения в процессе приработки деталей из ЖГр2: 1, 2, 3 — обработанные ППД ( $P = 1,4$  кН,  $S = 0,1$  мм/об); 4 — необработанные ( $f = p = 6$  МПа,  $2 - p = 3$  МПа, 3, 4 —  $p = 2$  МПа,  $v_{ск} = 0,75$  м/с)

ного взаимодействия диска с вкладышем: приработки и нормального износа.

Прирабатываемость является важной эксплуатационной характеристикой материала [6], так как от нее зависит продолжительность вхождения ула трения в режим нормальной эксплуатации. Микрорельеф поверхности детали в начале периода приработки характеризуется значительными радиусами вершин микронеровностей. Последние, взаимодействуя с поверхностью контртела, в основном пластически деформируются [6], что приводит к их быстрому разрушению. При этом радиусы вершин увеличиваются, высота микронеровностей уменьшается, коэффициент трения возрастает (рис. 2). Полное разрушение исходных микронеровностей и создание равновесной шероховатости поверхности сопровождается некоторым снижением коэффициента трения и стабилизацией его значений.

Установлено, что с ростом начальной удельной нагрузки процесс приработки происходит более интенсивно. Повышение начальной удельной нагрузки до 7 МПа сразу же приводит к катастрофическому износу.

Приработка образцов из материала ЖГр2, не подвергшихся обработке ППД, длилась значительно дольше, чем обкатанных (рис. 2, кривая 4). Кроме того, износ за время приработки составил около 30 мкм, что в 1,5—2 раза выше, чем у обкатанных. Обработка ППД способствует значительному (на 2,5 км) сокращению пути приработки.

Анализ результатов, представленных на рис. 3, свидетельствует о том, что продолжительность приработки возрастает с увеличением усилия предшествующего деформирования при обкатывании. Это объясняется тем, что с ростом усилия деформирования увеличиваются высотные параметры шероховатости поверхности, оказывающие влияние на процесс приработки.

После завершения процесса приработки на поверхности тел, находящихся во фрикционном взаимодействии, образуется равновесная шероховатость, независящая от исходной и определяемая режимом работы пары трения и физико-механическими свойствами контактирующих ма-

териалов. При неизменности рабочих параметров фрикционного взаимодействия интенсивность изнашивания и коэффициент трения в определенной степени характеризуют качество поверхностного слоя деталей [7].

С целью определения предельного давления до схватывания проведены исследования при различных скоростях скольжения (рис. 4). Уста-

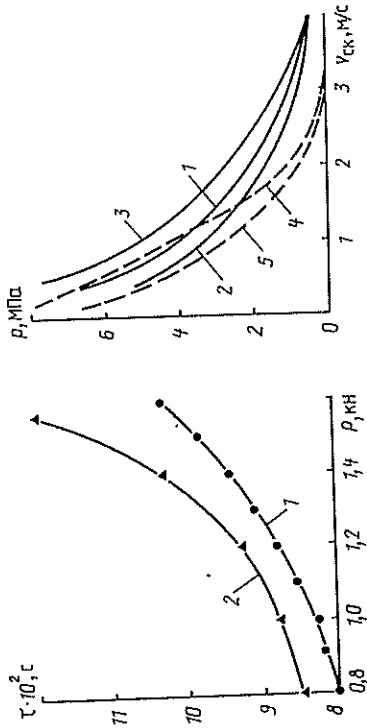


Рис. 3. Влияние усилия деформирования на время приработки: 1 — ЖГр1Д3; 2 — ЖГр2 ( $p = 5$  МПа,  $v_{ск} = 1,5$  м/с)

Рис. 4. Зависимость величины предельной нагрузки «до схватывания»  $p$  от скорости скольжения  $v_{ск}$ : 1 — ЖГр2 ( $P = 1,2$  кН,  $S = 0,15$  мм/об); 2 — ЖГр2 необработанный; 3 — чугун АЧС-2; 4 — ЖГр1Д3 ( $P = 1,2$  кН,  $S = 0,15$  мм/об); 5 — ЖГр1Д3 необработанный

новлено, что обработанные ППД образцы сопротивляются изнашиванию при схватывании в области малых скоростей скольжения (до 1,5 м/с). Необходимо отметить, что эффект обработки тем больше, чем меньше скорость скольжения. При скоростях скольжения более 3 м/с температурно-скоростной фактор сводит к минимуму влияние упрочнения поверхностных слоев на предельное давление схватывания. По параметру  $pv$  обкатанный материал ЖГр2 приближается по своим свойствам к антифрикционному чугуну (рис. 4, кривая 3), но обладает лучшей прирабатываемостью.

Увеличение удельного давления до 0,5—1,5 МПа незначительно изменяет интенсивность изнашивания (в пределах от 0,045 до 0,065 мкм/км) и не влияет на коэффициент трения ( $f = 0,064$ ) [6]. Износ необработанного образца из материала ЖГр2 в указанном диапазоне нагрузок в 1,5—1,8 раза больше, чем у обработанного ППД. В области удельных нагрузок 2—3 МПа интенсивность изнашивания резко увеличивается и зависимость имеет прямо пропорциональный характер. При удельных нагрузках свыше 3 МПа зависимость приобретает вид параболы, что свидетельствует о переходе к критическому режиму нагружения, что свидетельствует о переходе к катастрофическому износу, ведущему к катастрофическому изнашиванию в области удельной нагрузки около 4 МПа (рис. 5).

Результаты испытаний при скорости скольжения  $v_{ск} = 0,75$  м/с показали, что общие закономерности изменения параметров процесса изнашивания сохраняются. Однако интенсивность изнашивания для соответствующих нагрузок меньше на 20—25%, чем при скорости скольжения 1,05 м/с.

С увеличением усилия деформирования при обкатывании интенсивность изнашивания первоначально снижается, а затем, несмотря на

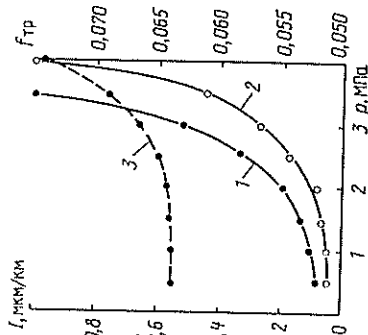


Рис. 5. Влияние удельной нагрузки на интенсивность изнашивания ( $f$ , 2) и коэффициент трения (3) деталей из ЖГр2: 1 — необработанные; 2, 3 — обработанные ППД ( $P = 1,2$  кН,  $S = 0,15$  мм/об);  $v_{\text{ск}} = 1,05$  м/с

повышение микротвердости, растет. Это объясняется тем, что после превышения некоторого усилия деформирования наступает перенаклеп, который интенсифицирует процесс изнашивания материала.

Таким образом, с одной стороны, для уменьшения времени приработки необходимо обкатывание с небольшими усилиями (0,8—0,9 кН), с другой — для снижения износа деталей после окончания периода приработки следует смещать усилие деформирования в область средних и больших значений (1,2—1,6 кН). На выбор усилия рельефа и упрочнение поверхности приходится под действием других параметров режима ППД (скорости обкатывания  $v$ , продольной подачи  $S$  и угла разворота ролика относительно оси детали  $\varphi$ ) и их взаимодействия.

В связи с этим при выборе режима обработки ППД необходимо учитывать особенности frictionного взаимодействия триботехнической пары. В результате возможно компромиссное решение, при котором сочетание параметров режима обработки ППД обеспечит максимальную микротвердость (повышение износостойкости в период нормального износа) при заданном уровне шероховатости (снижение износа в период приработки). Максимальная микротвердость поверхности после обработки ППД должна быть сопоставлена с критической для данных условий эксплуатации. Это позволит избежать образования перенаклепа, а следовательно, frictionной усталости материала поверхности слоя.

Определение параметров режима обработки, обеспечивающих максимальную микротвердость поверхности при заданной высоте микронеровностей, осуществлялось на основе решения компромиссной зада-

Таблица 2. Результаты решения компромиссной задачи для материала марки ЖГр2

Высота микронеровностей $R_a$ , мкм	Параметры режима обработки			Угол разворота ролика $\varphi$ , град
	Максимальная микротвердость $H_v$ , МПа	Скорость деформирования $v$ , м/мин	Усилие деформирования $P$ , кН	
0,5	2570	0,14	35,3	1,60
0,6	2750	0,20	35,3	1,28
0,7	3170	0,25	35,3	0,80

\* Угол разворота ролика измерялся относительно оси детали и определялся по отношению к направлению подачи; наклон ролика в направлении подачи считался положительным.

чи [8] с применением методов Лагранжа, Гаусса, Ньютона [9]. Расчет проводился по специально разработанной программе на ПЭВМ.

В табл. 2 приведены результаты решения компромиссной задачи для материала марки ЖГр2. Исходная высота микронеровностей поверхности деталей из этого материала находилась в пределах  $R_a = 2,3 \dots 2,8$  мкм, а микротвердость —  $H_v = 2100 \dots 2300$  МПа.

Исследование триботехнических свойств деталей из антифрикционных порошковых материалов, обработанных ППД, начато сравнительно недавно. Это обусловило необходимость разработки методов определения поверхности пористости деталей из указанных материалов [11, 12], а также конструкции устройств для обработки поверхностным пластическим деформированием [13].

Дальнейшее исследование в указанном направлении позволяет создать практически безотходные технологии изготовления деталей триботехнических пар из указанных материалов, а также устройства для их реализации с высокой производительностью.

### Обозначения

$R_a$  — среднее арифметическое отклонение профиля;  $\gamma$  — пористость поверхностного слоя материала детали;  $H_v$  — микротвердость поверхностного слоя;  $U_s$  — степень наклепа;  $H_m$  — глубина упрочненного слоя;  $v$  — скорость обкатывания;  $S$  — продольная подача;  $\varphi$  — угол разворота ролика;  $v_{\text{ск}}$  — скорость скольжения;  $p$  — усилие деформирования.

### Summary

Wear resistance of parts made from anti-frictional powder materials Types ЖГр2 and ЖГрДЗ conditioned by surface plastic deformation is investigated at running-in steady-state stages. Effects of pressure and sliding velocity on running-in period friction coefficient and wear rate are described. Dependences of running-in period and wear rate on slip deformation force are found. Surface roughness, microhardness and porosity parameters before and after conditioning are evaluated. Optimisation problem of conditioning regime parameters required to reach maximum microhardness with given roughness is solved.

### Литература

1. Пумпянская Т. А., Буланов В. Я., Змырянов В. Г. Атлас структур порошковых материалов на основе железа. М., 1986.
2. Федорченко И. М. и др. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справ. Киев, 1985.
3. Радомысльский И. Д., Щербань Н. И. Порошковые конструкционные материалы. Киев, 1983.
4. Каледин Б. А., Чапа П. А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием. Минск, 1974.
5. Чапа П. А., Андрияшин В. А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей. Минск, 1988.
6. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М., 1977.
7. Комбалов В. С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей. М., 1983.
8. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М., 1981.
9. Шул Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. М., 1982.
10. Абугов А. Л., Баршай И. Л. // Изв. вузов. Машиностроение. 1989. № 3. С. 97—102.
11. Присевков А. Ф., Очичников Л. С., Могилев В. И. // Механизация и автоматизация производства. 1988. № 9. С. 13—14.
12. А. с. 1250915 СССР. Способ определения поверхности пористости твердых тел.
13. А. с. 1286393 СССР. Устройство для упрочняюще-чистового обкатывания.

Белорусская государственная политехническая академия.

г. Минск.

Институт проблем надежности  
и долговечности машин АНБ, г. Минск,  
Мотоциклетный и велосипедный завод,  
г. Минск

10.06.93.