

Поверхностное пластическое деформирование заготовок из антифрикционных порошковых материалов

А. Л. Абугов

Все более широкое применение деталей из антифрикционных порошковых материалов обуславливает необходимость разработки технологий, улучшающих качественные характеристики поверхностного слоя. В связи с этим было изучено формирование параметров качества (шероховатости, микротвердости и пористости), а также эксплуатационных характеристик (износостойкости и коррозионной стойкости) деталей из указанных материалов при поверхностном пластическом деформировании (ППД).

ППД подвергали втулки из антифрикционных порошковых материалов ЖГр2 (исходные высота микронеровностей $R_{a\text{исх}} = 2,3+2,8$ мкм; микротвердость поверхности $H_{\text{исх}} = 2100+2300$ МПа; пористость $\Pi_{\text{исх}} = 10+30$ %) и ЖГр1Д3 ($R_{a\text{исх}} = 2,5+3,3$ мкм; $H_{\text{исх}} = 1300+1400$ МПа; $\Pi_{\text{исх}} = 5+23$ %).

Износостойкость определяли по изменению (относительно исходных значений) времени $t_{\text{пр}}$ приработки и интенсивности I изнашивания в установившемся режиме: для материала ЖГр2 $t_{\text{пр.исх}} = 300+350$ с и $I_{\text{исх}} = 0,18+0,20$ мкм/км, а для материала ЖГр1Д3 $t_{\text{пр.исх}} = 290+320$ с и $I_{\text{исх}} = 0,19+0,22$ мкм/км (при давлении 2 МПа и скорости скольжения 1 м/с).

Коррозионную стойкость оценивали по средней скорости v_m увеличения массы обрабатываемого материала в тумане 3%-ного водного раствора NaCl в течение 52 ч. Следует отметить, что особенностью коррозионного окисления порошковых материалов является рост массы [1] (в отличие от компактных материалов, для которых характерна убыль массы). Это обусловлено увеличением активной поверхности, в результате чего агрессивная среда проникает в поры и окисление происходит как на наружной поверхности материала, так и на определенной глубине. С течением времени поры порошкового материала закупориваются продуктами коррозии и интенсивность коррозионных процессов на глубине снижается. При испытаниях для материала ЖГр2

$v_{m\text{исх}} = 2,97$ г/(м²ч), а для материала ЖГр1Д3 $v_{m\text{исх}} = 5,21$ г/(м²ч).

Предварительно было установлено [2], что наибольшая степень деформирования обеспечивается при использовании ролика с радиусом профиля 8 мм.

После ППД заготовок шероховатость поверхности материала ЖГр2 снизилась до $R_a = 0,16+1,7$ мкм, а материала ЖГр1Д3 — до $R_a = 0,36+1,55$ мкм. Отмечено влияние параметров режима ППД (подачи s ; скорости v и усилия P деформирования; угла φ разворота ролика) на шероховатость R_a поверхности материала ЖГр1Д3 (рис. 1). Так, с увеличением подачи s значение R_a растет (кривая 1), что объясняется снижением частоты приложения нагрузки.

Однако при обработке менее пластичного материала ЖГр2 при малых значениях усилия $P = 0,4+0,6$ кН характер зависимости $R_a = f(s)$

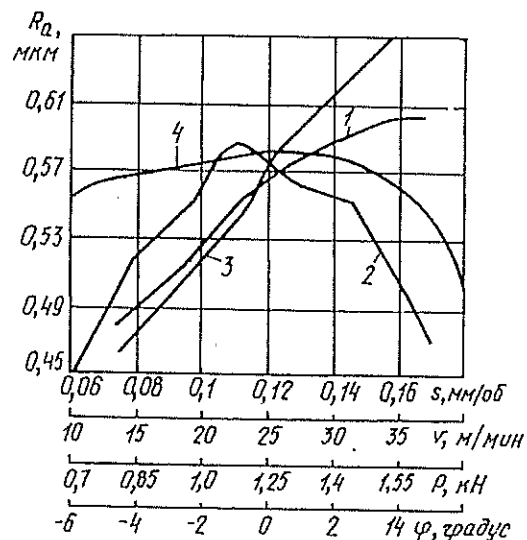


Рис. 1. Зависимости изменения шероховатости R_a от подачи s (кривая 1), скорости v деформирования (кривая 2), усилия P (кривая 3) и угла φ разворота ролика (кривая 4) при ППД заготовок из материала ЖГр1Д3 (в каждом случае неизменные параметры имели следующие значения: $v = 25$ м/мин; $P = 1,2$ кН; $\varphi = 0$; $s = 0,125$ мм/об)

становится убывающим. Это объясняется тем, что при малых значениях P и s материал выступов микронеровностей, заполнив впадины, начинает повторно вытесняться из последних, а с увеличением подачи s интенсивность процесса вытеснения материала из впадин микронеровностей снижается и шероховатость уменьшается.

Зависимость $R_a = f(v)$ (см. рис. 1, кривая 2) носит экстремальный характер с максимумом. Первоначальный рост шероховатости R_a объясняется уменьшением времени приложения деформирующей нагрузки, в результате чего снижается интенсивность деформирования микронеровностей. Однако с дальнейшим увеличением скорости v существенно повышается температура в тонком поверхностном слое, что облегчает процесс деформирования.

С увеличением усилия P в пределах 0,8–1,5 кН (см. рис. 1, кривая 3) шероховатость R_a растет. Это объясняется тем, что при малых значениях P деформируются только выступы микронеровностей и, следовательно, сглаживается исходный микро рельеф (т.е. первичная шероховатость), а с увеличением P деформируется слой, толщина которого больше, чем высота выступов. В результате после сглаживания первичной шероховатости и частичного заполнения пор в зоне действия пластических деформаций материал начинает вытесняться из пор, образуя вторичную шероховатость.

С изменением угла φ разворота деформирующего ролика от отрицательных до положительных значений (угол разворота в направлении подачи считался положительным и наоборот) зависимость для шероховатости R_a имеет либо убывающий, либо экстремальный характер со слабо выраженным максимумом. Последнее присуще более пластичному материалу ЖГр1Д3 (см. рис. 1, кривая 4). Первоначальное незначительное увеличение шероховатости определяется тем, что при отрицательных углах φ увеличиваются осевые деформации сдвига, приводящие к росту вторичной шероховатости. При ППД менее пластичного материала ЖГр2 вторичная шероховатость почти не увеличивается. При дальнейшем развороте ролика до $\varphi > 0$ шероховатость снижается в результате увеличения окружных деформаций сдвига. Такой же характер имеет зависимость $R_a = f(\varphi)$ в случае ППД заготовок из материала ЖГр2 при $P = 0,4-0,6$ кН.

Ниже приведены значения максимальной микротвердости $H_{\mu \max}$, достигаемой на глубине h ,

степени упрочнения u_{\max} , микротвердости H_{μ} поверхности заготовки, глубины h_y упрочненного слоя, пористости P , времени $t_{\text{пр}}$ приработки и интенсивности I изнашивания, полученные после ППД заготовок из порошковых материалов [3].

Материал	ЖГр1Д3	ЖГр2
$H_{\mu \max}$, МПа	2000–2200	3300–3400
h , мм	0,02–0,03	0,02–0,025
u_{\max} , %	55–57	48–57
H_{μ} , МПа	1700–1900	2600–3000
h_y , мм	0,08–0,09	0,07–0,08
P , %	0,74–3,65	1,2–7,7
$t_{\text{пр}}$, с	80–110	100–120
I , мкм/км	0,17–0,18	0,09–0,1

Как видно из представленных данных, время $t_{\text{пр}}$ существенно сократилось по сравнению с временем $t_{\text{пр нех}}$. Это позволяет узлу трения, в состав которого входят детали из порошковых материалов, быстрее перейти в режим нормального изнашивания (установившийся режим).

Усилие P оказывает влияние на время приработки и интенсивность изнашивания, что определяется зависимостями шероховатости и микротвердости от указанного усилия. При этом в период приработки на интенсивность изнашивания, в первую очередь, оказывает влияние шероховатость поверхности, а в период нормального изнашивания — микротвердость поверхностного слоя. В результате заготовки, обработанные с большими усилиями деформирования (т.е., как отмечалось выше, имеющие большую шероховатость R_a), характеризуются большим временем приработки.

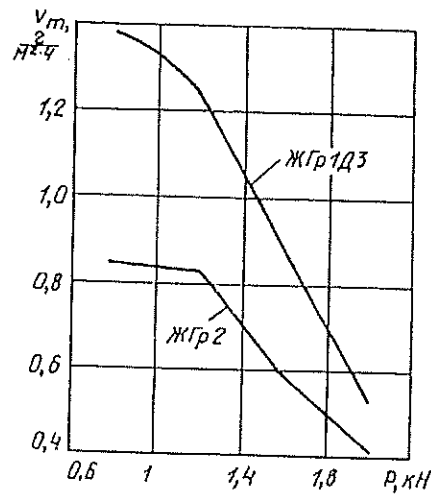


Рис. 2. Зависимости скорости v_m увеличения массы от усилия P деформирования при ППД из материалов ЖГр2 [$v_{\text{нех}} = 2,97$ г/(м²ч)] и ЖГр1Д3 [$v_{\text{нех}} = 5,21$ г/(м²ч)] при $s = 0,1$ мм/об; $v = 19,6$ м/мин и $\varphi = 0$

Так, при увеличении P от 0,8 до 1,6 кН время $t_{\text{изп}}$ возрастает на 20–22 % для ЖГр2 и на 35–40 % для ЖГр1Д3. В период нормального изнашивания с увеличением усилия P (а значит, с ростом микротвердости поверхности) интенсивность изнашивания вначале снижается, но после некоторого значения P , несмотря на продолжающееся увеличение микротвердости поверхности, интенсивность изнашивания начинает расти. Это обусловлено тем, что после превышения усилием P некоторого значения наступает “перенаклеп”, который интенсифицирует процесс изнашивания материала.

Коррозионная стойкость заготовок из порошковых материалов после ППД повышается, причем увеличение усилия P приводит к повышению этого показателя, т.е. к снижению скорости $v_{\text{изп}}$ (рис. 2). Это связано с тем, что ППД порошковых

материалов обуславливает значительное уплотнение поверхностного слоя, но не вызывает структурных изменений, что препятствует проникновению агрессивной среды в поры.

Таким образом, при обработке деталей из антифрикционных порошковых материалов ППД является эффективным методом повышения качества поверхности и, соответственно, эксплуатационных характеристик деталей.

Список литературы

1. Ермаков С.С., Вязников И.Ф. Порошковые стали и изделия. — Л.: Машиностроение, 1990. — 319 с.
2. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Моделирование поверхностного пластического деформирования порошковых материалов // Машиностроитель. — 1993. — № 5. — С. 12–13.
3. Абугов А.Л., Баршай И.Л. Упрочнение деталей из порошковых материалов поверхностным пластическим деформированием // Автоматизация и современные технологии. — 1993. — № 5. — С. 24–26.

Расчет оптимальной нормальной силы при поверхностном пластическом деформировании

В.Я. Коршунов

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) — это наиболее простой и эффективный метод отделочно-упрочняющей обработки деталей, позволяющий повысить их износостойкость, усталостную долговечность и контактную жесткость. Твердость поверхности, обработанной ППД, зависит от режима обработки, физико-механических свойств материала детали и геометрии деформирующего инструмента [1]. Наибольшее влияние на упрочнение поверхностного слоя оказывает давление деформирующего инструмента, величина которого зависит от величины нормальной силы $P_{\text{н}}$ обкатывания. Поэтому определение оптимального значения силы $P_{\text{н}}$ при ППД является важной задачей.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать методику расчета силы $P_{\text{н}}$. Последовательность расчета приведена ниже.

1. Определение (из технической литературы) данных, характеризующих физико-механические свойства материала обрабатываемой детали ($\sigma_{\text{в}}$ — предел прочности при растяжении; $\sigma_{\text{т}}$ — предел текучести при растяжении; HV_0 — начальная твер-

дость поверхностного слоя по Виккерсу; E — модуль продольной упругости).

2. Расчет критической твердости (МПа) поверхностного слоя при его деформировании без структурных изменений

$$HV_{\text{к}} = 31,8 HV_0^{0,62}$$

и со структурными изменениями (т.е. с превращением остаточного аустенита в мартенсит)

$$HV_{\text{к}} = 1,07 HV_0^{1,03}, \quad (1)$$

а также оптимальной твердости, которая для обоих случаев определяется по формуле

$$HV_{\text{опт}} = 0,87 HV_{\text{к}}. \quad (2)$$

3. Расчет коэффициента пропорциональности

$$K = (HV_{\text{к}} - HV_0) / (\sigma_{\text{в}} - \sigma_{\text{т}}). \quad (3)$$

4. Определение оптимального напряжения (МПа) при деформировании

$$\sigma_{\text{опт}} = HV_{\text{опт}} / K = HV_{\text{опт}} (\sigma_{\text{в}} - \sigma_{\text{т}}) / (HV_{\text{к}} - HV_0). \quad (4)$$

5. Расчет оптимальной нормальной силы (Н) при обкатывании роликом

$$P_{\text{н. опт}} = 45 \sigma_{\text{опт}}^2 / r R_{\text{р}} K_{\text{в}} / [(r + R_{\text{р}}) E] \quad (5)$$

и шариком

$$P_{\text{н. опт}} = 45 \sigma_{\text{опт}}^2 / r_{\text{ш}} R_{\text{ш}} K_{\text{ш}} K_{\text{в}} / [(r + R_{\text{ш}}) E];$$

