

УДК 621.793.092

## ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МЕТАЛЛОПОРОШКА ПРИ ПРЕССОВАНИИ И ВЫТЯЖКЕ ПОЛЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Н. И. СТРИКЕЛЬ\*, Ю. Л. БОБАРИКИН, М. И. ЛИСКОВИЧ, Д. А. ПАРХОМЕНКО

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, пр-т Октября, 48, г. Гомель, Беларусь

*Исследован характер изменения плотности металлопорошка при совместной вытяжке покрытия и основы, выявлены ее зависимости от величины обжатия порошкового слоя и от величины давления в порошковом слое. Показана возможность использовать данные, полученные при двухстороннем прессовании порошка, для оценки плотности покрытия при вытяжке без утонения стенок основы.*

### Введение

Технологические возможности нового способа изготовления полых композиционных изделий вытяжкой [1] еще недостаточно изучены, что сдерживает его широкое промышленное применение. Способ позволяет получать цельные многослойные втулки подшипников скольжения без стыка согнутых краев полосы. Дефекты, неизбежно возникающие в антифрикционном покрытии при резке и гибке полос, концентрируются как правило в области стыка краев и при эксплуатации неизбежно приводят к образованию микро- и макротрещин и выкрашиванию покрытия в области стыка, увеличению зазора в подшипнике, биению и преждевременному выходу подшипника из строя. Изготовление цельных многослойных втулок вытяжкой позволяет избежать отрицательного влияния стыка на работу подшипника скольжения.

### Постановка задачи

Целью работы является определение закономерностей изменения плотности и пористости антифрикционного покрытия, получаемого совместной вытяжкой с металлической основой.

### Схема вытяжки композиционного изделия

Рассмотрим схему процесса совместной вытяжки металлической заготовки 4 и порошка 5 с помощью матрицы 1, пуансона 2 с выталкивателем 3 (рис. 1). Полученная предварительной вытяжкой полая металлическая заготовка 4 устанавливается на матрицу 1. Между боковыми стенками заготовки 4 и пуансоном 2 засыпается порошок 5 и перемещением пуансона 2 осуществляют совместную вытяжку металлической основы и материала покрытия, получая композиционное изделие 6, снимаемое с пуансона съемником 3 при обратном ходе пуансона. Технологическими параметрами процесса совместной вытяжки являются: диаметр отверстия в матрице, определяющий диаметр композиционного изделия  $d_k$ ; диаметр пуансона  $d_n$ ; толщина стенок основы перед совместной вытяжкой  $s_0$ ; диаметр полый металлической заготовки  $d_0$ ; масса засыпки порошка  $m_n$ .

Плотность и пористость металлопорошковых изделий и покрытий существенно зависит от силовых параметров технологического процесса, в основном от величины давления, оказываемого на порошок в процессе его деформирования. В рассматриваемом технологическом процессе, между силовыми параметрами, в том числе давлением деформирования материала покрытия, и изменением толщины порошкового слоя покрытия  $h_n$  существует однозначная зависимость [2]. В связи с этим в качестве основного технологического параметра принимаем величину относительного обжатия  $\varepsilon$ , определяемую по формуле:

$$\varepsilon = \frac{h_n}{h_n}, \quad (1)$$

где  $h_n$  – начальная толщина слоя порошкового материала;  $h_n$  – толщина покрытия после совместной вытяжки.

\* Автор, с которым следует вести переписку

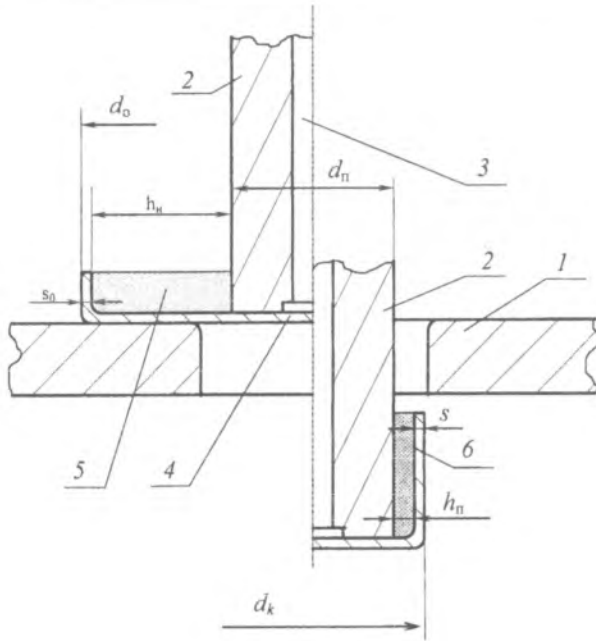


Рис. 1. Схема процесса совместной вытяжки покрытия и основы: 1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – съемник; 4 – металлическая заготовка; 5 – порошок; 6 – композиционное изделие

Для экспериментального исследования процесса совместной вытяжки материала основы и покрытия был использован штамп с набором сменных пуансонов диаметром 17; 18,2; 19; 19,5 мм и матрицей диаметром 22 мм.

### Результаты опытов

В табл. 1 приведены, при меняющемся относительном обжатии  $\epsilon$ , значения плотности покрытия  $\rho_n$ , относительной пористости, полученного при втором переходе вытяжки, отношение толщины стенки основы до вытяжки  $s_0$  к толщине после вытяжки  $s$ , отношение величины усилия совместной вытяжки  $P$  к усилию вытяжки основы  $P_0$  полых листовых заготовок из стали 08кпВГ совместно с порошком, содержащем 0,4 мас. % стеарата цинка, 3 мас. % омедненного графита и 96,6 мас. % порошкового железа и последующего спекания при температуре 950 °С в течение 30 минут в защитной среде.

Таблица 1. Плотность и пористость покрытия

Относительное обжатие $h_u/h_n$	Плотность покрытия $\rho_n$ , г/см <sup>3</sup>	Относительная пористость покрытия, %	Изменение толщины стенок основы $s_0/s$	Относительное усилие совместной вытяжки $P/P_0$
2,59	4,45	46,4	1,0	1,04
2,99	4,61	39	1,0	1,08
4,97	5,96	20	1,0	1,20
9,83	6,64	12,4	1,0	1,35
15,67	5,34	30	1,08	1,37
18	4,85	36	1,24	1,52

Зависимость имеет нелинейный характер. Максимальные значения плотности покрытия достигаются при относительном обжатии  $h_u/h_n = 8 \dots 10$ . При дальнейшем увеличении величины обжатия плотность покрытия уменьшается. Это может быть объяснено тем обстоятельством, что в интервалах относительного обжатия от 3 до 10 толщина стенок основы менялась незначительно. В этом случае можно утверждать, что вытяжка основы шла без утонения стенок, а в интервалах 5 и 6 имело место заметное утонение стенок основы. Переход от вытяжки без утонения стенок к вытяжке с утонением стенок существенно меняет напряженное состояние в материале основы: из плоского напряженного оно переходит к объемному с двумя главными напряжениями сжатия и одним – растяжения. Меняется и характер деформации материала основы, так как уменьшение толщины стенок приводит к интенсивному удлинению волокон металла в направлении главного напряжения растяжения. Можно предположить, что при вытяжке без утонения стенок основы обжатие материала покрытия происходит постепенно до его входа в зазор между пуансоном и матрицей, причем в сам момент входа в зазор существенного скачка давлений или относительного смещения материала основы не происходит. Решающее значение играют сжимающие напряжения, действующие на материал покрытия со стороны основы и со стороны пуансона, а сдвигающие напряжения на границах «основа–покрытие» и «покрытие–пуансон» не играют большой роли.

Условия при вытяжке с утонением стенок основы до момента входа материала основы и материала покрытия в зазор между пуансоном и матрицей можно считать практически такими же, как и при вытяжке без утонения стенок основы, а появление существенных отличий – только начиная с момента входа материалов в зазор.

Значительное увеличение нормальных напряжений сжатия и касательных напряжений сдвига на границе между основой и материалом покрытия при входе в зазор, в особенности рост сдвигающих напряжений, может объяснить полученный экспериментально характер изменения относительной плотности с увеличением величины обжатия порошка.

В результате расчета корреляционной зависимости плотности покрытия  $\rho_n$  от величины  $\epsilon$  в интервале 2–10 получено следующее уравнение эмпирической линии регрессии:

$$\rho_n = 4,485 + 0,242 \frac{h_u}{h_n}, \quad (2)$$

Если рассматривать весь диапазон изменения величины относительного обжатия, то здесь для описания процесса требуется более сложная аналитическая зависимость, чем прямолинейная.

Таблица 2. Давление в порошковом слое и относительная плотность порошка

Давление в порошковом слое $p$ , МПа	6,67	21,45	37,3	61,8	165,62	245	388	658
Относительная плотность порошка при прессовании	0,482	0,575	0,624	0,727	0,843	0,858	0,872	-
Относительная плотность покрытия при вытяжке	0,429	0,578	0,640	0,782	0,850	0,876	0,702	0,640

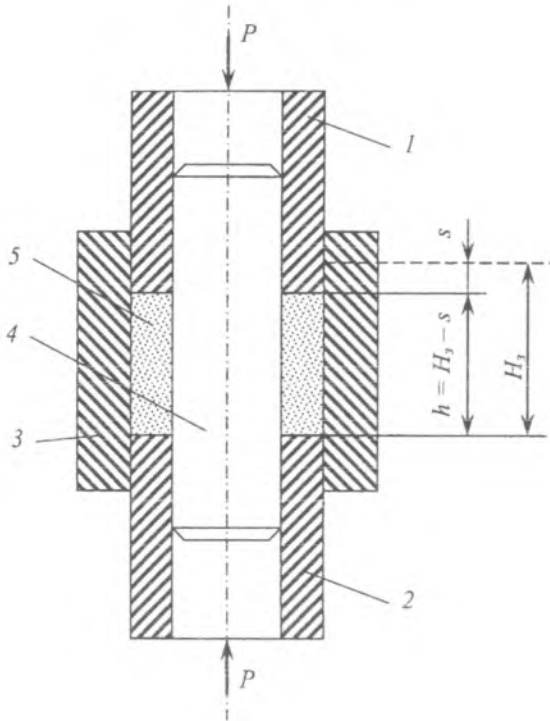


Рис. 2 Схема двухстороннего прессования металлопорошка. 1 и 2 – трубчатые пуансоны, 3 – матрица, 4 – оправка, 5 – металлический порошок

В результате расчетов, получена следующая эмпирическая зависимость плотности покрытия от величины обжатия:

$$\rho_n = 2,39 \left( \frac{h_n}{h_n} \right)^{0,92} e^{-0,11 \frac{h_n}{h_n}} \quad (3)$$

Для оценки прессуемости порошка проведены опыты по двухстороннему прессованию в цилиндрической прессформе на оправке (рис. 2). Изучали прессуемость железа, меди и смеси порошков железа и меди.

В табл. 2 представлены результаты сравнительных испытаний зависимости относительной плотности металлопорошка от величины приложенного давления при двухстороннем прессовании и при совместной вытяжке покрытия и основы.

Оценку величины давления в порошковом слое при совместной вытяжке произведена по следующей зависимости:

$$P = \frac{P - P_o}{f_n} \quad (4)$$

где  $P$  – усилие совместной вытяжки покрытия и основы,  $P_o$  – усилие вытяжки основы без покры-

тия,  $f_n$  – площадь поперечного сечения порошкового покрытия.

Как видно из таблицы 2 характер зависимости давления в порошковом слое величины относительной плотности порошка при совместной вытяжке без утонения стенок основы и при двухстороннем прессовании качественно и количественно схожи. Существенные различия возникают только тогда, когда вытяжка происходит с утонением стенок основы.

### Выводы

Установлено экспериментальным путем, что при совместной вытяжке без утонения стенок основы корреляционная зависимость плотности покрытия при изменении относительного обжатия  $h_n/h_n$  от 2 до 10 удовлетворительно описывается линейным уравнением регрессии.

Предложена эмпирическая зависимость плотности покрытия от величины обжатия в диапазоне от 2 до 18 имеющая экстремальный характер.

Дано объяснение снижения плотности покрытия при увеличивающемся давлении с момента начала утонения стенок основы возросшими сдвиговыми деформациями и напряжениями в материале основы.

Установлен близкий характер зависимости относительной плотности порошка от величины давления в порошковом слое при вытяжке без утонения стенок и двухстороннем прессовании.

### Обозначения

$d_k$  – диаметр отверстия в матрице, определяющий диаметр композиционного изделия;  $d_n$  – диаметр пуансона;  $s_0$  – толщина стенок основы перед совместной вытяжкой;  $d_o$  – диаметр полый металлической заготовки;  $m_n$  – масса засыпки порошка;  $h_n$  – начальная толщина слоя порошкового материала;  $h_n$  – толщина покрытия после совместной вытяжки;  $s$  – толщина стенок основы после вытяжки;  $\varepsilon$  – относительное обжатие,  $\rho_n$  – значение плотности покрытия;  $P$  – усилие совместной вытяжки покрытия и основы (кН);  $P_o$  – усилие вытяжки основы полых листовых заготовок без покрытия (кН);  $h_n/h_n$  – относительное обжатие;  $f_n$  – площадь поперечного сечения порошкового покрытия.

### Литература

1. Патент РФ №3933. Официальный бюллетень – 2001.06.30, № 2
2. Стрикель Н. И., Бобарикин Ю. Л., Лискович М. И.

Формирование металлопорошкового покрытия при глупокой вытяжке основы. // *Материалы, технологии, инст-*

*рументы.* – 1999 (4), № 4, 18–22

---

Strikel N.I., Bobarikin Yu.L., Liskovich M.I., Parkhomenko D.A.

**Variations in density of metal powder at molding and drawing of hollow composite articles.**

The character of changes in the density of metal powder at the joint drawing of the coating and base was studied. Dependencies of the density on the reduction of the powder layer and on pressure in it have been obtained. Data obtained at the bilateral molding of powder can be used to determine the density of the coating at drawing without thickening base walls.

*Поступила в редакцию 17.09.2004.*

© Н. И. Стрикель, Ю. Л. Бобарикин, М. И. Лискович, Д. А. Пархоменко, 2006.