

УДК 679.7.025.7

д.т.н. Рябичева Л. А.  
(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, ryabic@gmail.com),  
к.т.н. Коробко Т. Б.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, korobko.tamara@rambler.ru),  
Дядичев А. В.  
(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ ПРИ ВЫДАВЛИВАНИИ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВОЙ ПОРИСТОЙ ЗАГОТОВКИ

*Исследовано влияние противодействия на распределение деформаций и плотности при прямом выдавливании пористой заготовки. Показано, что увеличение величины деформаций и уменьшение неравномерности по объему детали наблюдаются при росте противодействия при выдавливании. Равномерность плотности увеличивается с ростом противодействия. При росте противодействия наблюдается более равномерная твердость по сечению детали, что обеспечивает повышение качества детали. Результаты исследований внедрены при разработке технологии изготовления полых деталей прямым выдавливанием пористой заготовки.*

**Ключевые слова:** противодействие, накопленная деформация, относительная плотность, прямое выдавливание, пористая заглушка, технология.

Развитие машиностроения неразрывно связано с применением прогрессивных методов производства деталей различными видами обработки металлов давлением. Расширяется использование процессов, основанных на холодной пластической деформации заготовок, в том числе полученных методами порошковой металлургии. Такие процессы обеспечивают изготовление деталей с точными размерами и высоким качеством поверхности и, следовательно, позволяют сократить, а чаще — полностью исключить операции обработки резанием. Холодная пластическая деформация в сочетании с термической обработкой обеспечивает стабильное получение заданных физико-механических свойств и структуры металла, необходимых для повышения надежности и долговечности как деталей, так и узлов машины в целом.

Холодная объемная штамповка порошковых пористых заготовок является одним из перспективных методов изготовления таких деталей, как гильзы, колпачки, стаканы, которые широко применяются в различных узлах машин, имеют внутренние глухие или

сквозные полости, переходы по высоте по наружному и внутреннему диаметрам. Получение таких деталей механической обработкой заготовок из проката связано с высокой трудоемкостью, большими отходами металла в стружку, использованием сложного и дорогостоящего инструмента. Штамповка из компактных материалов сопряжена с низкой стойкостью пресс-оснастки и большим числом переходов в процессе формоизменения [1]. Наиболее перспективным технологическим процессом получения такого рода деталей является выдавливание из порошковых пористых заготовок [2].

В связи с этим целью настоящей работы является разработка технологии прямого выдавливания порошковой пористой заготовки с использованием противодействия на основе механики процесса пластической деформации.

Объект исследования — технологический процесс изготовления порошковых полых деталей.

Предмет исследования — влияние противодействия на качество порошковых полых деталей.

Задачи исследования:

- разработка схемы прямого выдавливания;
- исследование изменения координатной сетки после прямого выдавливания;
- определение компонент тензора деформаций при различном противодавлении;
- определение относительной плотности и твердости образца после прямого выдавливания с различным противодавлением;
- оценка качества образцов после прямого выдавливания;
- выбор оптимального противодействия, обеспечивающего качество детали.

При обработке давлением порошковых заготовок одновременно или последовательно протекают два процесса — уплотнение и деформация уплотненного материала с истечением его в свободные полости штампа [3]. Чем большая плотность заготовки достигается на стадии уплотнения и чем позже начнется стадия формообразования, тем больше плотность и меньше неравномерность ее распределения по объему изделия.

При прямом выдавливании силы трения заготовки о стенки матрицы на стадии уплотнения препятствуют вытеканию материала в стенку изделия и началу второй стадии деформирования. В результате достигается высокая плотность изделия. Процесс можно рассматривать состоящим из двух стадий: осадка до пористости 6 % и дальнейшее выдавливание [4].

Для выполнения исследований образцы изготавливали из медного порошка марки ПМС-1 (табл. 1).

Технология изготовления представлена ниже:

- прессование на гидравлическом прессе модели ПД 476 силой 1600 кН цилиндри-

ческих заготовок пористостью 20 % с размером частиц — 100 % менее 0,08 мм; масса порошка — 120 г; диаметр матрицы пресс-формы — 32,0 мм;

- спекание в среде синтез-газа с нагревом по ступенчатому режиму: нагрев до температуры 200, 300, 400 °С и выдержка при каждой температуре по 0,5 ч;

- подъем до 500 °С и выдержка 15 мин, нагрев до 920 °С и выдержка 1 ч;

- прямое выдавливание с противодавлением 50 и 95 МПа образцов для исследования (рис. 1, а) по схеме (рис. 1, б).

В качестве смазки применяли дисульфид молибдена. После выдавливания размеры образцов составили: диаметр  $D=32,0$  мм, высота  $H=20,1$  мм, глубина полости  $h=14,7$  мм, диаметр полости  $d=14,7$  мм. При выдавливании пористую заготовку 3 устанавливали в матрицу 1 на упор 6 и подвижный пуансон 5 с противодавлением, создаваемым пружинами. Верхним пуансоном 2 выдавливали образец 4 (рис. 1, б).

Для анализа кинематики течения металла при прямом выдавливании на меридиональном сечении исходных заготовок наносили делительную сетку с шагом  $2\pm 0,002$  мм с помощью координатно-расточного станка. После выдавливания элементы сетки измеряли на инструментальном микроскопе и рассчитывали поле интенсивности деформаций по методике [5].

По искаженной сетке определяли компоненты линейных деформаций:

$$e_z = \ln a_0/a, e_\varphi = \ln b/b_0,$$

где  $a_0, a$  — размер делительной сетки после деформации по оси  $y$ ;  $b_0, b$  — размер делительной сетки после деформации по оси  $z$ .

Таблица 1

Химический состав медного порошка

Марка порошка	Массовая доля, %				Прокаленный остаток после обработки порошка азотной кислотой, %, не более
	Cu не менее	Fe	O	Si	
ПМС-1	99,7	Не более			0,05
		0,18	0,10	0,10	

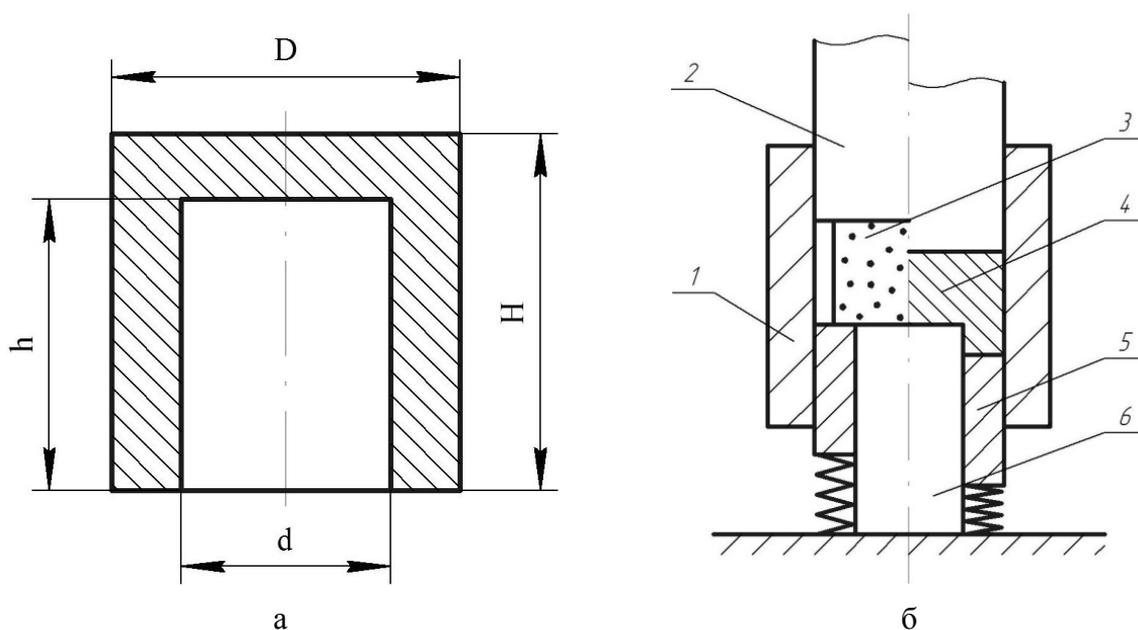


Рисунок 1 Образец для исследований (а) и схема прямого выдавливания (б)

Интенсивность деформации рассчитывали по формуле

$$e_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2},$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  — компоненты тензора деформаций.

После прямого выдавливания определяли плотность методом гидростатического взвешивания. Твердость измеряли на приборе Роквелла (ГОСТ 9013–59) шариком 1,587 мм при нагрузке 1000 Н по шкале HRB.

Процесс прямого выдавливания происходит в две стадии. На первой стадии осуществляются осадка заготовки, радиальное течение металла и заполнение полости матрицы. По мере внедрения пуансона в заготовку материал над торцом уплотняется и после достижения некоторого значения плотности приобретает способность к пластическому течению в условиях неравномерного всестороннего сжатия. Прямое выдавливание заготовки с истечением металла наступает только тогда, когда плотность материала над пуансоном достигает некоторой критической величины, которая определяется свойствами порошкового материала и геометрическими

параметрами изделия. Эксперименты показали, что пористость такой заготовки после деформирования составляет 6%. Такое разделение процесса прямого выдавливания позволяет исследовать течение металла на второй стадии, когда происходит практически выдавливание компактного материала и течение металла можно охарактеризовать, применяя законы несжимаемого тела.

При визуальном осмотре образцов после прямого выдавливания с различным противодавлением обнаружено, что при противодавлении 50 МПа на торце образуется утяжина, при противодавлении 95 МПа дефекты отсутствуют.

Анализ делительной сетки после деформирования показывает существование двух кинематических модулей очага деформации: в центре образца и на участках закругления пуансона (рис. 2). Неравномерность деформации зависит от величины противодействия. С ростом противодействия наблюдается более равномерное распределение делительной сетки.

Построение изолиний распределения интенсивности деформаций по сечению образца позволяет выполнить анализ кинематического

тики течения металла (рис. 3). При обеих величинах противодействия наблюдаются две зоны торможения: над нижним пуансоном и под верхним пуансоном. В очаге деформации величина интенсивности деформации над пуансоном увеличивается, а на радиусе закругления пуансона незначительно уменьшается. На стенке образца также наблюдается увеличение интенсивности деформации, которое приводит к устранению дефекта в виде утяжины. С ростом противодействия уменьшается неравномерность деформированного состояния. Коэффициент неравномерности де-

формации уменьшается с 6,95 при противодействии 50 МПа до 5,90 при 95 МПа.

Увеличение равномерности деформации обеспечивает устранение дефекта в виде утяжины и увеличение равноплотности образца. Результаты изменения относительной плотности при различном противодействии показали, что при противодействии 50 МПа и глубине полости 14,7 мм относительная плотность образца достигает 0,978, равноплотность составляет 5 %. При противодействии 95 МПа общая относительная плотность образца повышается, а равноплотность составляет 2 %.

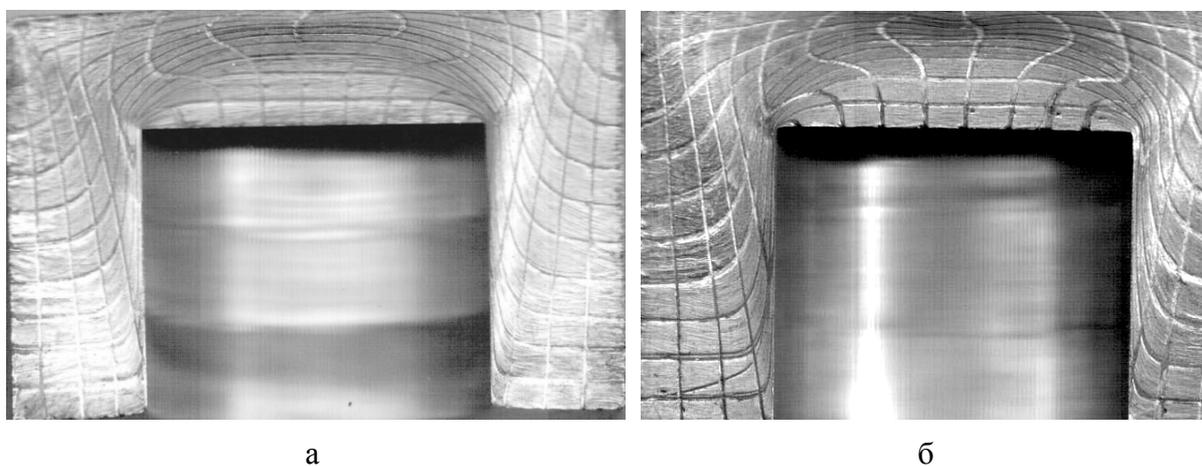


Рисунок 2 Фотографии образцов после выдавливания с противодействием: а — 50 МПа; б — 95 МПа

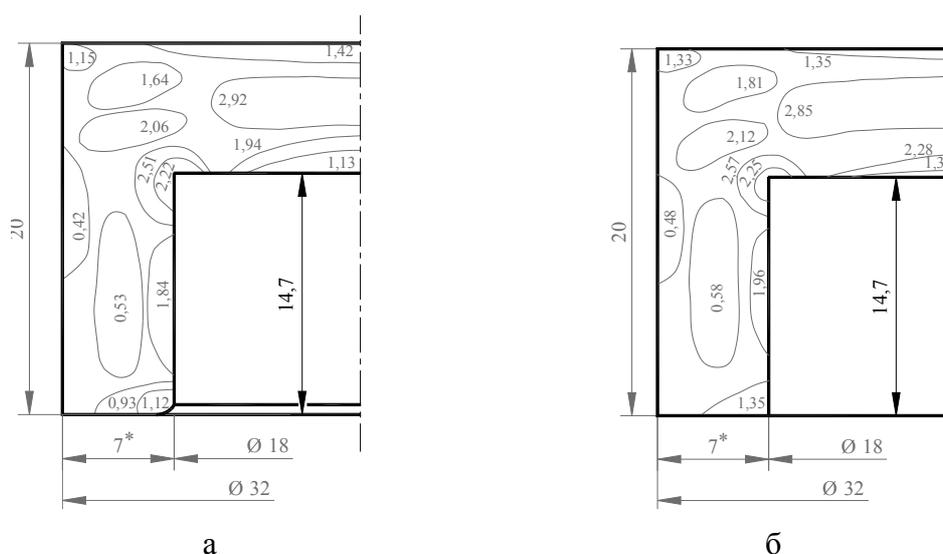


Рисунок 3 Картина изолиний накопленной деформации медных образцов после прямого выдавливания с разным противодействием: а — 50 МПа; б — 95 МПа

Различия в твердости по объему выдавленных образцов не наблюдаются. Средняя твердость при глубине полости 14,7 мм и противодавлении 95 МПа составила 68,3 HRB.

Увеличение противодавления приводит к росту давления прямого выдавливания. При глубине полости 14,7 мм при выдавливании с противодавлением 50 МПа давление составило 580 МПа, с противодавлением 95 МПа его величина равнялась 820 МПа.

Таким образом, с увеличением противодавления наблюдается рост накопленной деформации, при этом неравномерность деформации уменьшается по объему детали. Равноплотность детали и твердость увеличиваются. При большем противодавлении на образцах отсутствуют дефекты в виде утяжин. Выполнение прямого выдавливания порошковых полых деталей с противодавлением 95 МПа обеспечивает высокое качество деталей.

### Библиографический список

1. Головин, В. А. *Технология холодной штамповки выдавливанием [Текст]* / В. А. Головин, А. Н. Митькин, А. Г. Резников. — М. : Машиностроение, 1970. — 170 с.
2. *Прогрессивные технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудование [Текст]* / Г. М. Волкогон, А. М. Дмитриев, Е. П. Добряков. — М. : Машиностроение, 1991. — 320 с.
3. Роман, О. В. *Исследование процесса холодной штамповки выдавливанием спеченных пористых материалов [Текст]* / О. В. Роман, Е. А. Дорошкевич, Е. В. Звонарев // *Порошковая металлургия*. — 1980. — № 11. — С. 28–34.
4. *Объемная штамповка порошковых материалов [Текст]* / В. М. Горохов, Е. А. Дорошкевич, А. М. Ефимов, Е. В. Звонарев. — Минск : Наука и техника, 1993. — 272 с.
5. Рене, И. П. *Экспериментальные методы исследования пластического формоизменения в процессах обработки металлов давлением с помощью делительной сетки [Текст]* / И. П. Рене. — Тула : ТПИ, 1970. — 146 с.

© Рябичева Л. А.

© Коробко Т. Б.

© Дядичев А. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ЛГУ им. В. Даля Витренко В. А., к.т.н., доц., зав. каф. ОМДиМ ДонГТИ Денищенко П. Н.*

*Статья поступила в редакцию 27.10.2021.*

**Doctor of Technical Sciences Riabicheva L. A.** (LSU named after V. Dahl, LPR, ryabic@gmail.com),  
**PhD in Engineering Korobko T. B.** (DonSTI, Alchevsk, LPR, korobko.tamara@rambler.ru),  
**Diadichev A. V.** (LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR)

### EXPERIMENTAL STUDY OF BACK PRESSURE DURING EXTRUSION OF HOLLOW PARTS FROM A POWDERED POROUS BLANK

*The effect of back pressure on the distribution of deformations and density during direct extrusion of a porous blank is studied. It is shown that an increase in deformations and a decrease in unevenness in the volume of the part is observed with an increase in back pressure during extrusion. The uniformity of density increases with increasing back pressure. With an increase in back pressure, a more uniform hardness along the section of the part is obtained, which ensures an increase in its quality. The research results were implemented in the development of hollow parts manufacturing technology by direct extrusion of a porous blank.*

**Key words:** back pressure, accumulated deformation, relative density, direct extrusion, porous plug, technology.