

УДК 621.762.4

## **ПРОБЛЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ ПОРОШКОВОЙ НАСЫПКИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ В ПРЕСС-ФОРМАХ С ЖЕСТКИМИ СТЕНКАМИ**

*В.А. Иванов, Б.А. Яров, А.В. Лепихов, К.Г. Мовчан*

В статье рассмотрены вопросы дегазации порошковой насыпки при прессовании. На примере пресс-формы для прессования цилиндрических образцов проведен анализ газодинамических характеристик. Выявлено, что с повышением скорости движения пуансона, существенно изменяется характер истечения газа из формовочной полости пресс-формы. Представлены результаты экспериментального исследования влияния повышенного давления газовой фазы в формовочной полости пресс-формы на качество образцов, получаемых при прессовании со скоростями 3...6 м/с.

Ключевые слова: порошки, графит, адсорбированные газы, газодинамические характеристики, высокоскоростное прессование, давление газа, расслойные трещины.

### **Введение**

Хорошо известно, что порошковые материалы в исходном состоянии содержат значительное количество адсорбированных газов. Показателем газонасыщенности порошкового материала можно считать относительную насыпную плотность, которая, например, для тонкодисперсных порошков вольфрама составляет величину всего 0,06 (при среднем размере частиц порошка 3 мкм), а для порошка графита – величину 0,3 (при среднем размере частиц порошка 300 мкм). Уменьшение среднего размера частиц приводит к увеличению удельной поверхности порошка и к соответствующему увеличению объема адсорбированных в насыпке порошка газов. Вместе с тем, одним из перспективных путей улучшения механических свойств и уменьшения пористости материалов на основе графита [1] является увеличение дисперсности исходного порошка. Это требует детального рассмотрения влияния адсорбированных газов на качество прессованных заготовок и готовых изделий.

Неотъемлемой операцией технологического цикла получения изделий из порошков является операция формования [2]. При формовании порошков в закрытых пресс-формах удаление адсорбированных газов возможно только через зазоры между матрицей и пуансонами. При повышении скорости формования в массе порошка формируется характерная картина поперечных расслойных трещин, количество которых обычно не меньше двух [3].

Проблема нарушения сплошности прессованных заготовок известна давно. Особенно отчетливо эта проблема проявляется для порошков из труднодеформируемых металлов, твердых сплавов, оксидной керамики, графита. Для повышения их качества был предложен ряд конструкторских и технологических решений.

Дж. Куллидж [4], известный своими работами по компактированию штабиков из порошков вольфрама и молибдена, рекомендовал величину зазора между матрицей и пуансоном принимать равной 155 мкм.

В работах Баркова Л.А., Мырина С.А. [5] по компактированию порошков молибдена и вольфрама, возникновение расслойных трещин у штабиков предотвращалось ограничением скорости перемещения пуансона до 2,5 мм/с, а так же применением предварительного бокового обжатия порошковой насыпки в пресс-формах специальной конструкции, на специализированных прессах [6].

При прессовании керамических материалов [7], удаление газов из порошка осуществлялось вакууммированием формовочной полости пресс-формы перед началом компактирования. Авторы [7] также отмечают, что сведения о влиянии вакууммирования на качество получаемых полуфабрикатов в различных источниках носят противоречивый характер, что связано с недостаточной изученностью механизмов дегазации порошков в процессе компактирования, а так же различием в условиях проведения экспериментов. Применение вакууммирования при формовании коксо-пековой порошковой композиции [2], позволяет значительно (до 6 раз) снизить упругое увеличение размеров «зеленой заготовки» после снятия формующего усилия.

В патенте Кромского Е.И. [8], предложена конструкция пресс-формы для прессования керамической массы, формующая полость которой имеет продольные щели, ширина которых выбирается равной утроенному среднему диаметру частиц компактируемого порошка. Данная конструкция опробована на практике и позволила повысить плотность полуфабрикатов после компактирования на 5 %, а так же снизить количество брака по расслойным трещинам.

При прессовании с нагревом изделий из дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов на основе термореактивных фенолоформальдегидных связующих рекомендуется выполнять две, три подпрессовки с выводом верхнего пуансона из полости матрицы, для удаления газов, выделяющихся в процессе нагрева и отверждения [9].

### **Постановка задачи**

В рамках данной работы последовательно решалось две задачи. Первая: путем компьютерного моделирования исследовать газодинамические характеристики пресс-формы заданной конструкции. Вторая: экспериментально установить влияние избыточного давления в полости матрицы на плотность и наличие дефектов сплошности образцов после высокоскоростного компактирования порошков на основе графита.

Конструкция пресс-формы показана на рисунке 1. Диаметр формующей полости матрицы  $30H7(^{+0,021})$  мм, диаметры верхнего и нижнего пуансо-

на  $30f7(-0.020_{0.041})$  мм, гарантированный зазор между матрицей и пуансонами 20 мкм, максимальный зазор 62 мкм. Ширина направляющей части верхнего пуансона 30 мм, ширина направляющей части нижнего пуансона 6 мм.

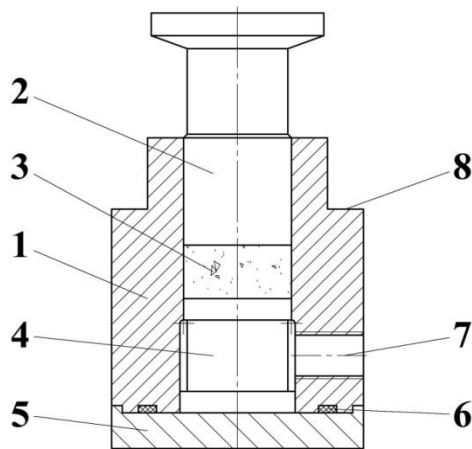


Рис. 1. Пресс-форма: 1 – матрица; 2 – верхний пуансон; 3 – порошок; 4 – нижний пуансон; 5 – крышка; 6 – прокладка; 7 – отверстие для подвода / отвода воздуха; 8 – заплечики для фиксации матрицы на столе копра

### Исследование газодинамических характеристик пресс-формы

Исследование газодинамических свойств пресс-формы проводилось методом конечных элементов в пакете ANSYSFluent<sup>1</sup>. Пакет предназначен для решения широкого класса задач гидрогазодинамики.

Задача решалась в двухмерной осесимметричной постановке. В качестве рабочей среды использовался воздух, без порошка. В начальный момент времени воздух в полости матрицы находился при нормальных условиях: температура 300 К, давление 1 атм. Расстояние от между верхним и нижним пуансонами составляло 15 мм. Расчеты проводились для ряда скоростей движения верхнего пуансона: 2,5; 25; 250; 3000 мм/с. Полное перемещение верхнего пуансона составляло 12 мм. Схема расчетной области представлена на рисунке 2. На выходе 1 давление принималось равным атмосферному в течение всего времени расчёта. Выход 2 полагался закрытым.

В качестве контролируемых параметров были выбраны давление  $P$ , температура  $T$  в контрольных точках, расходы газа  $S$  на входе в зазоры между пуансонами и матрицей. Расположение контрольных точек и мест контроля расхода показано на рисунке 3.

Результаты расчетов представлены на рисунках 4 и 5.

<sup>1</sup> Моделирование процесса истечения воздуха из формовочной полости выполнено Лепиховым А.В.

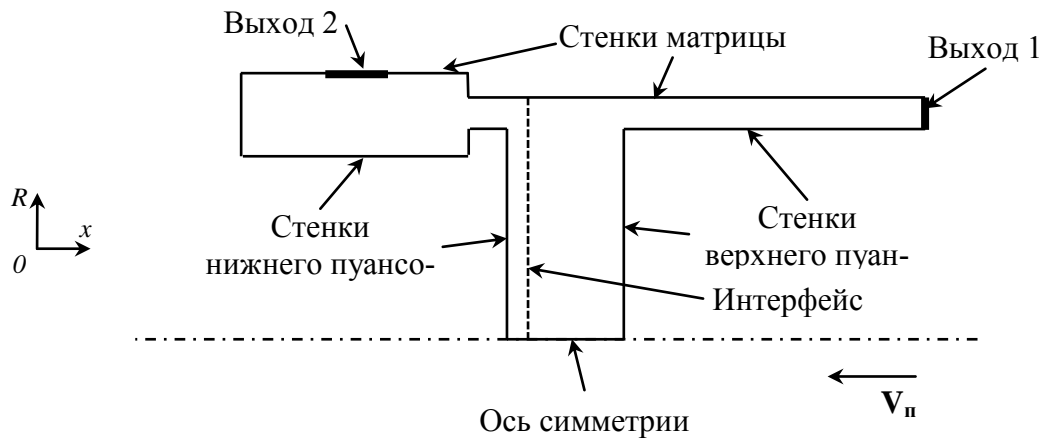


Рис. 2. Схема расчетной области:  $V_{п}$  – направление движения верхнего пуансона

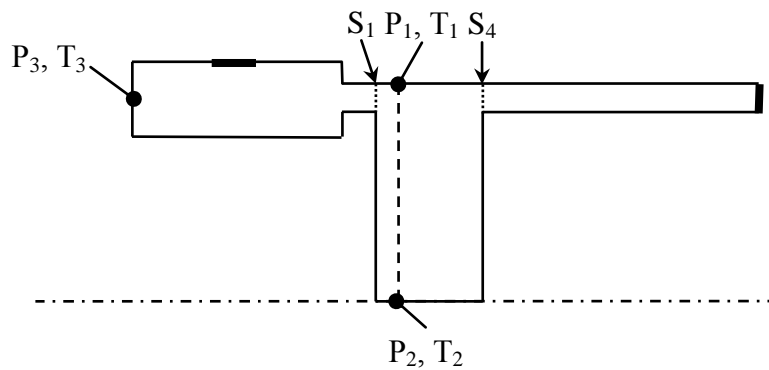


Рис. 3. Схема расположения контрольных точек и сечений

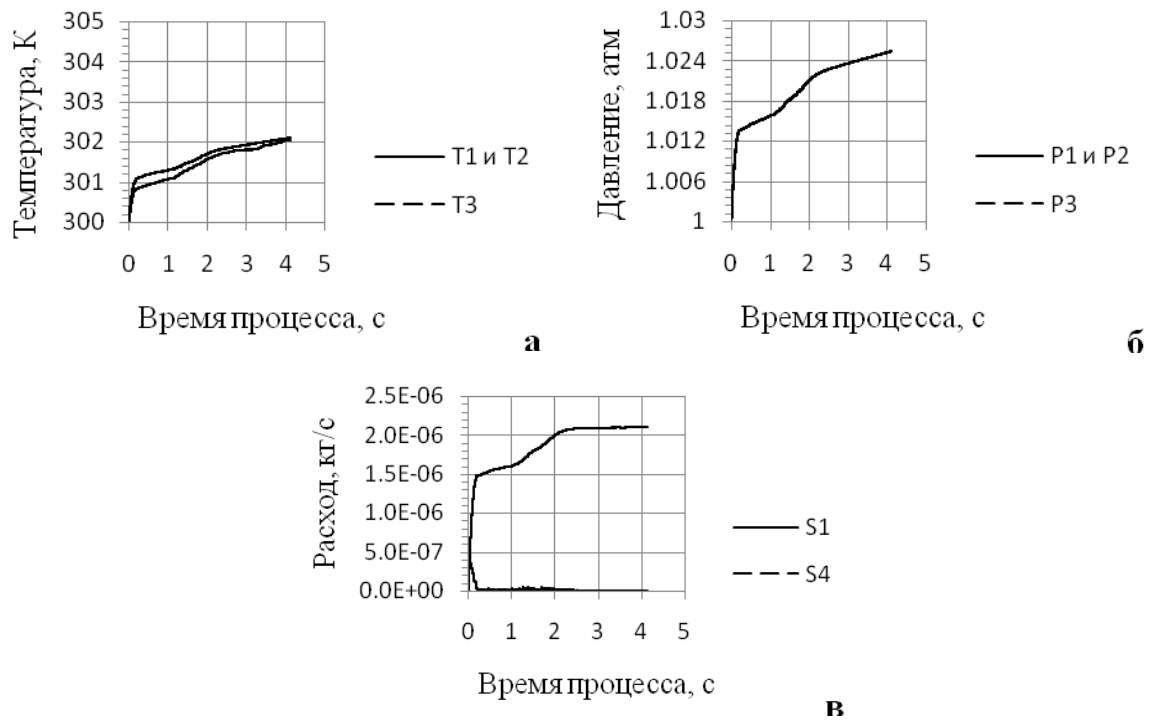


Рис. 4. Параметры в контрольных точках и сечениях при скорости движения верхнего пуансона 2,5 мм/с: а – температура; б – давление; в – расход

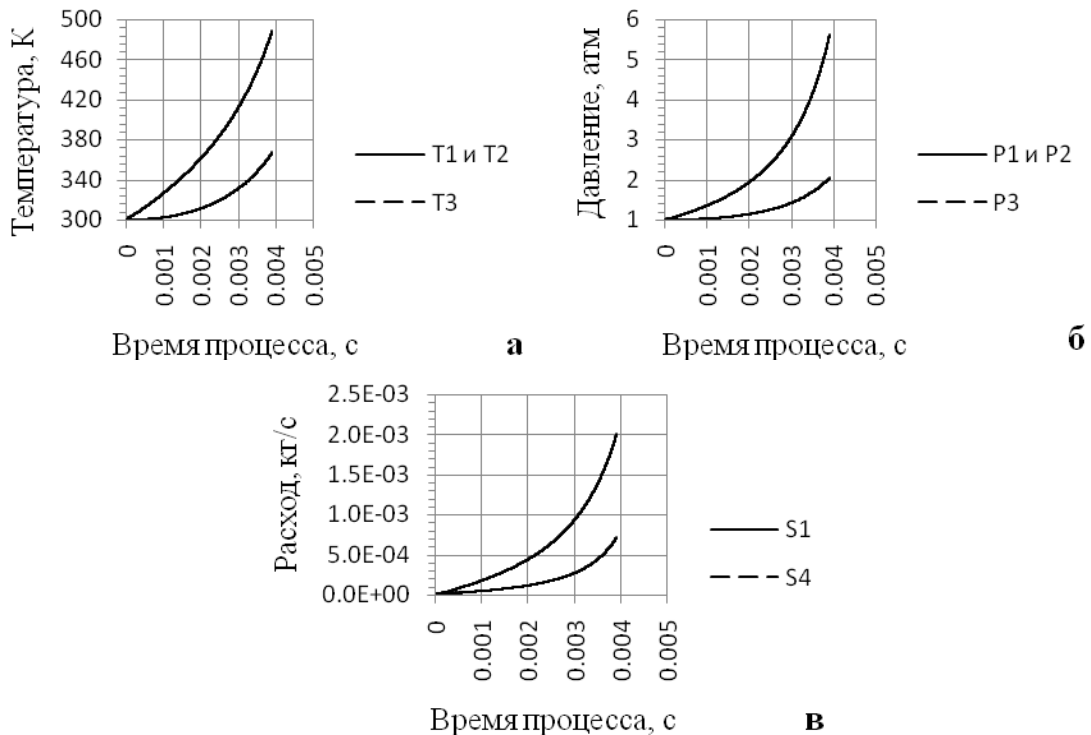


Рис. 5. Параметры в контрольных точках и сечениях при скорости движения верхнего пуансона 3000 мм/с: а – температура; б – давление; в – расход

### Исследование влияния избыточного давления воздуха на качество образцов

Экспериментальные исследования влияния избыточного давления воздуха в полости матрицы на плотность и наличие дефектов в компактируемых образцах проводилось на копре конструкции кафедры МиТОМД, с использованием пресс-формы показанной на рисунке 1.

Компактированию подвергалась смесь порошков искусственного графита по ТУ 1916-109-71-2000, который получен из отходов электродного производства ОАО «ЭНЕРГОПРОМ-ЧЭЗ», и фенолформальдегидной смолы новолачного типа марки СФП-011А по ТУ 6-05751768-35-94, в соотношении 86 % графита – 14 % смолы. Гранулометрический состав смеси, определенный методом ситового анализа, представлен на рисунке 6. Масса засыпки порошка составляла  $10 \pm 0,02$  г. Компактирование осуществлялось со скоростями удара 3, 4 и 6 м/с. Масса падающих частей копра 21,12 кг.

Перед проведением опыта к входному отверстию 7 (см. рисунок 1) подключали систему подачи воздуха (рисунок 7). Вакууммирование формочной полости матрицы, вместо компрессора в магистраль подключался форвакуумный насос с аккумулятором вакуума, вместо манометра М1 устанавливался вакуумметр.

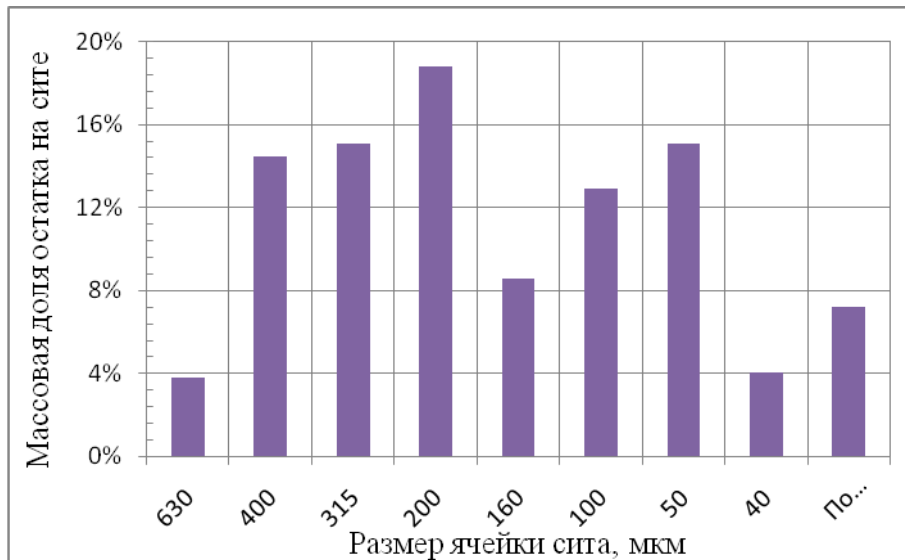


Рис. 6. Гранулометрический состав исследуемой смеси

Избыточное давление в полости матрицы устанавливалось по манометру М1. Изменение давления осуществлялось регулятором расхода Д1, при этом воздух через зазор между нижним пуансоном и матрицей попадал в формовочную полость, а затем через насыпку порошка и зазор между верхним пуансоном и матрицей выходил в атмосферу.

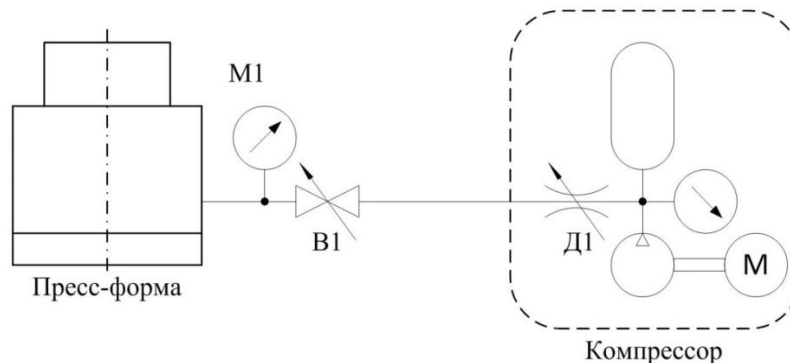


Рис. 7. Схема подачи воздуха в матрицу: М1 – манометр на входе в пресс-форму; В1 – запорный вентиль; Д1 – регулятор расхода воздуха в компрессоре

Результаты опытов приведены в таблице 1.

Типичным дефектом образцов, полученных при повышенном давлении в формовочной полости, являются расслойные трещины расположенные перпендикулярно направлению движения верхнего пуансона (рисунке 8). Для сравнения на рисунке 9 показан образец № 4, подвергнутый компактированию без подачи избыточного давления в формовочную полость.

Таблица 1

Результаты опытов по определению влияния воздуха  
на плотность и качество образцов из порошков на основе графита

№	Давление по манометру М1, атм.	Скорость удара, м/с	Масса образца, г	Диаметр образца, мм	Высота образца, мм	Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>
1	1·10 <sup>-3</sup>	3	9,96	30,41	9,75	1406
2		4	9,98	30,28	9,29	1493
3		6	10,0	30,17	9,06	1545
4	0	3	9,98	30,35	10,03	1375
5	1	3	9,84	30,51	10,98	1225
6		4	9,98	30,16	10,60	1317
7		6	9,98	30,07	10,18	1379
8	2	3	9,98	30,08	11,25	1248
9		4	9,98	30,03	10,77	1307
10		6	9,98	30,05	10,91	1289



Рис. 8. Образец № 9

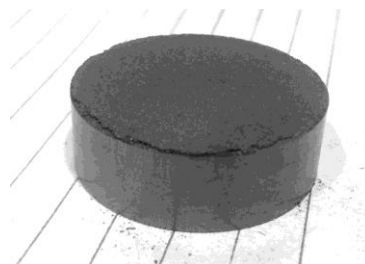


Рис. 9. Образец № 4

### Выводы

При исследовании газодинамических характеристик пресс-формы выявлено, что с ростом скорости прессования давление и температура газа в пресс-форме значительно возрастает, величины зазоров между матрицей и пуансонами оказывается не достаточно для эффективного удаления газов из полости матрицы.

При повышении давления газа в матрице над атмосферным наблюдается характерное нарушение сплошности образцов в виде расслойных трещин, уменьшается их относительная плотность.

Т.о. при проектировании пресс-форм для прессования порошков, а особенно для прессования с повышенными скоростями движения пуансона, следует проводить оценку газодинамических характеристик пресс-формы.

### Библиографический список

1. Самойлов, В.М. Получение тонкодисперсных углеродных наполнителей и разработка технологии производства тонкозёрнистых графитов на их основе: дис. ... докт. техн. наук / В.М. Самойлов. – М., 2006. – 357 с.
2. Фиалков, А.С. Процессы и аппараты производства порошковых углеграфитовых материалов / А.С. Фиалков. – М.: Аспект-Пресс, 2008. – 687 с.
3. Чурин, С.А. Образование газовых складок в процессе прессования порошка  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  / С.А. Чурин // Письма в ЖТФ. – 1999. – Т. 25. – № 15. – С. 74–78.
4. Смителлс, К.Дж. Вольфрам / К.Дж. Смителлс. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 414 с.
5. Оборудование для обработки давлением порошков и порошковых заготовок / под ред. Л.А. Баркова. – Челябинск: Металл, 1992. – 296 с.
6. Барков, Л.А. Теоретические и экспериментальные исследования процесса холодного формования порошков / Л.А. Барков, С.А. Мымрин, В.Э. Кузнецов // Сб. науч. трудов «Машины и технологии обработки материалов давлением». – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С. 79–92.
7. Попильский, Р.Я. Прессование порошковых керамических масс / Р.Я. Попильский, Ю.Е. Пивинский. – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
8. Пат. РФ2147520, МПК<sup>5</sup>В30В11/00, В28В3/00, В 22 F 3/02. Устройство для прессования порошкообразных материалов / Кромский Е.И., Агальцов А.И., Никитенков В.В. [и др.]. – № 98113887/02; заявл. 20.07.1998; опубл. 20.04.2000, Бюл. № 11. – 4 с.
9. Крыжановский, В.К. Производство изделий из полимерных материалов / В.К. Крыжановский, М.Л. Кребер, В.В. Бурлов [и др.]. – СПб.: Профессия, 2008. – 460 с.

[К содержанию](#)