

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СИЛОВОГО СВС-КОМПАКТИРОВАНИЯ

В.Л. КВАНИН, канд. техн. наук; Н.Т. БАЛИХИНА; С.Г. ВАДЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук

Оригинальный метод получения композиционных материалов и изделий из них сочетает в себе самораспространяющийся высокотемпературный синтез материала и его последующее уплотнение и формообразование. Этот метод получил название силового СВС-компактирование. Наиболее простая схема его осуществления состоит из следующих операций: приготовление из порошков металлов и неметаллов многокомпонентной реакционной шихты; предварительное прессование шихтового брикета; помещение его в пресс-форму с инертной порошковой средой, хорошо передающей давление и играющей роль теплоизолятора; инициирование СВС; уплотнение заготовки после окончания синтеза; извлечение полученного изделия из пресс-формы и его охлаждение. По этой технологической схеме получают в основном мелко- и среднегабаритные изделия (до 150 мм) из композиционных материалов на основе карбидов и боридов переходных металлов с различными связками.

Получение крупногабаритных изделий (КГИ) массой более одного килограмма требует особых технологических решений в связи с выделением при горении большого количества энергии и горячих примесных газов, а также возникновением существенных температурных градиентов в заготовке после синтеза. В работе\* были предложены многоточечный поджог и устройство кольцевого зазора между стенками матрицы пресс-формы и поверхностью шихтового брикета. Схема пресс-формы для получения КГИ представлена на рис. 1. Многоточечный поджог с торцевой поверхности шихтового брикета уменьшает время сгорания экзотермической шихты в матрице, а кольцевой зазор улучшает условия выхода газа из пресс-формы. Благодаря этому были получены различные КГИ диаметром до 600 мм и массой до 80 кг – валки для прокатки горячей меди, износостойкие кольца для бисерных мельниц, подкладные плиты для синтеза алмазов, мишени для магнетронного напыления, элементы штампов и ряд других изделий различного назначения (рис. 2).

Однако применение такой схемы получения КГИ не всегда обеспечивает их высокое качество. Так, например, исследование свойств КГИ показало в ряде случаев наличие в них анизотропии механических свойств, проявляющейся в различии прочности образ-

цов, вырезанных вдоль оси прессования и перпендикулярно к ней (рис. 3). Кроме того, при прессовании массивных сплошных дисков из материалов с большим содержанием металлической связки происходило их вспучивание после снятия давления (рис. 4, а), а в полученных изделиях имелись высокие остаточные термические напряжения. Таким образом, предложенные приемы не смогли решить все проблемы получения однородных КГИ с высокими эксплуатационными свойствами.

Для устранения этих негативных явлений необходимо было установить причину их возникновения и по-другому организовать процесс синтеза и компактирования. В результате исследований было установлено, что одной из наиболее важных причин возникновения анизотропии является расслоение брикета в процессе горения. Это расслоение наследуется в полученном изделии в виде неоднородности материала и, очевидно, связано с окислением поверхности слоев, выжиманием жидкой связки в полости между ними и проскальзыванием (перемещением) слоев при прессовании относительно друг друга.

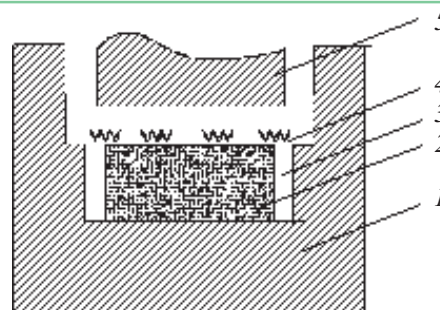
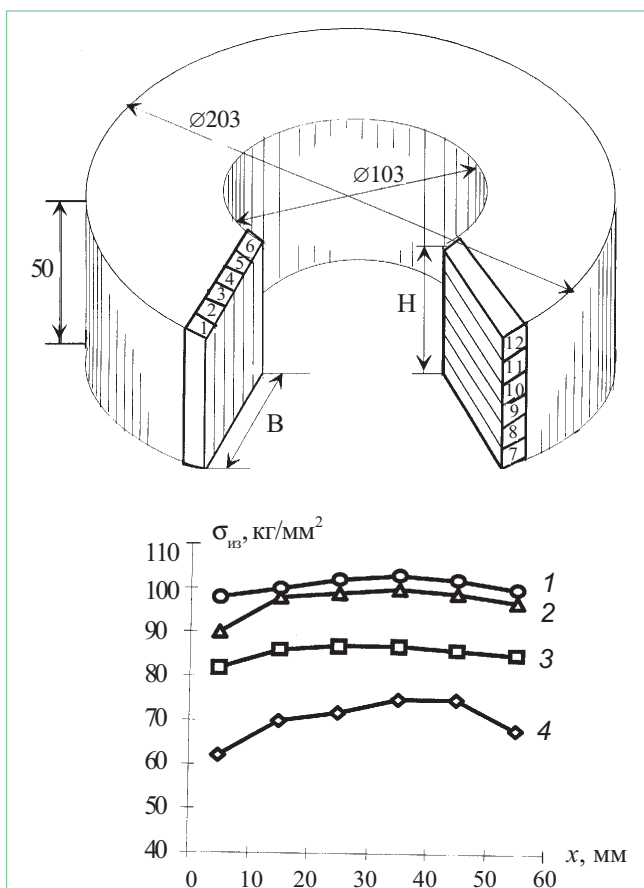


Рис. 1. Схема пресс-формы для получения крупногабаритных изделий: 1 – матрица пресс-формы; 2 – шихтовый брикет; 3 – кольцевой зазор; 4 – иницирующие спирали; 5 – верхний пуансон

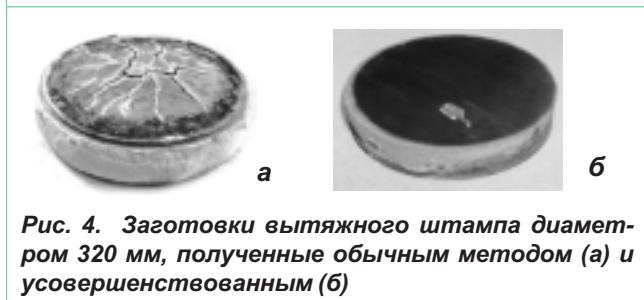


Рис. 2. Крупногабаритные твердосплавные изделия, полученные методом силового СВС-компактирования

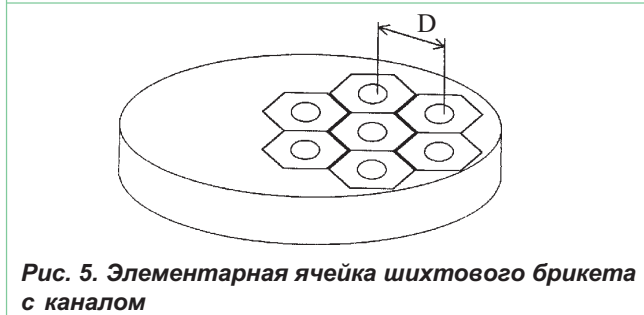
\* Кванин В.Л., Балихина Н.Т., Боровинская И.П. Пресс-форма и установка для получения крупногабаритных твердосплавных изделий методом силового СВС-компактирования // Кузнечно-штамповое производство. 1995. № 5. С. 23–25.



**Рис. 3.** Схема отбора образцов для исследования прочности по сечению валка из СТИМ-4 (а); распределение значений предела прочности на изгиб (б) перпендикулярно (2) и вдоль (4) оси прессования при использовании обычной технологии СВС-компактирования (без каналов), 1 и 3 – соответственно при наличии каналов



**Рис. 4.** Заготовки вытяжного штампа диаметром 320 мм, полученные обычным методом (а) и усовершенствованным (б)



**Рис. 5.** Элементарная ячейка шихтового брикета с каналом

Вспучивание прессованных образцов происходит из-за неполного выхода газа из центральных областей заготовки, несмотря на наличие кольцевого зазора вокруг нее. Это особенно характерно для материалов с большим содержанием жидкой фазы, препятствующей выходу газа и снижающей прочность изделия при температуре выпрессовки.

Возникновение термических напряжений в изделии объясняется температурными градиентами в горячей заготовке до начала прессования. Величина этих градиентов тем выше, чем медленнее скорость горения шихтового брикета, вследствие чего сгоревшие части заготовки к началу прессования успевают остыть до неприемлемых температур. Многоточечный поджог лишь частично решил проблему уменьшения температурных градиентов, так как точки поджога конструктивно могли быть расположены только в одной плоскости.

Авторами предложено усовершенствование метода получения КГИ путем создания специальных каналов в шихтовом брикете, которое позволяет практически устранить расслоение, улучшить выход газа из центральных зон заготовки, увеличить скорость горения и таким образом существенно повысить физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики изделий.

Для исследования влияния каналов в шихтовом брикете на процесс получения КГИ была предложена модель процесса горения элементарной ячейки шихтового брикета с каналом (рис. 5). С некоторым приближением имитировать такую ячейку может трубка. Исследование горения трубок проводили на шихтах, близких по составу к шихтам, используемым для получения КГИ (см. таблицу). В таблице также приведены расчетные данные по адиабатическим температурам горения, относительному количеству образующейся при горении жидкой фазы и экспериментально определенному количеству газообразных продуктов.

Для изучения процесса горения и структур образующихся продуктов из шихт прессовали образцы в виде сплошных цилиндров и трубок с наружным диаметром 7 мм. Внутренние диаметры трубок составляли 1,8; 3 и 4 мм. Длину образцов варьировали в пределах 15 - 30 мм. Образцы вертикально устанавливали в реактор, имеющий окно для наблюдения и видеозаписи процесса. Горение (в среде аргона при атмосферном давлении) инициировали на нижнем торце образца. В экспериментах определяли относительное удлинение образцов и скорость их горения.

В качестве примера на рис. 6 показаны результаты измерений скорости горения и относительного удлинения в зависимости от исходной плотности для состава № 4 (см. таблицу). При наличии отверстий скорость горения значительно больше, а относительное удлинение меньше, чем на сплошных образцах. Характер горения и макроструктура образцов также существенно различаются (рис. 7). Сплошные образцы

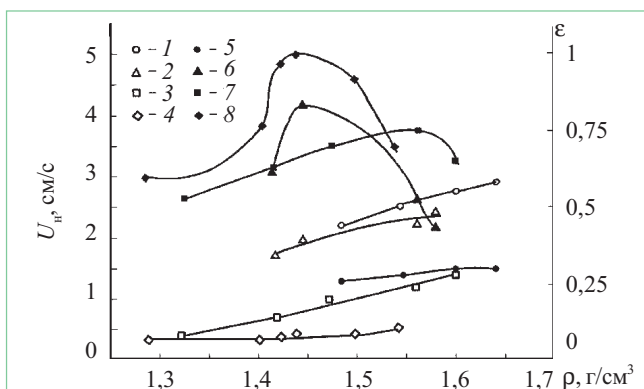


Рис. 6. Зависимость относительного удлинения 1-4 и скорости горения образцов (5-8) от исходной плотности: 1, 5 – сплошной образец; 2, 6 –  $d = 1,8$  мм; 3, 7 –  $d = 3$  мм; 4, 8 –  $d = 4$  мм



Рис. 7. Макроструктура модельных образцов из состава № 4

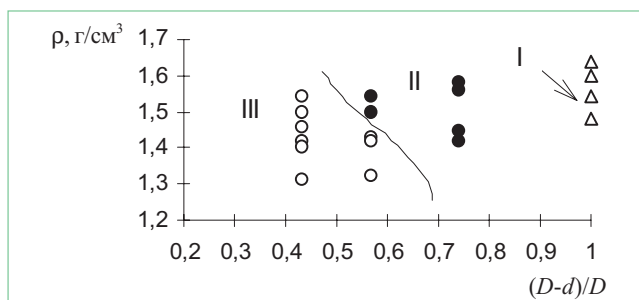


Рис. 8. Параметрическая диаграмма реализации различных режимов горения: I – автоколебательный; II – послойный с разрушением образца; III – то же с сохранением формы образца

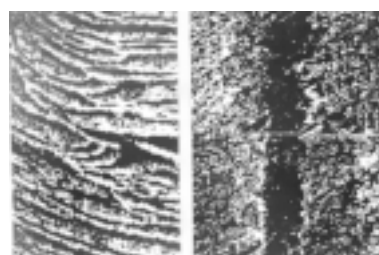


Рис. 9. Макроструктура заготовок после синтеза: а – без каналов; б – с каналами

**Состав шихты и сохранение (+) или нарушение (-) целостности и формы модельных образцов в зависимости от параметров горения**

Тип	I		II	
№ состава	1	2	3	4
Состав	(Ti+2B) 50% Cu 50%	(Ti+B) 60% Ti 40%	(Ti+2B) 85% (4B+C) 15%	(Ti+2B) 82% (4B+C) 15% добавка 3%
$T_{ад}, K$	2890	2033	2700	2650
$L/M_{пр}$	0,18	0,49	0,22	0,12
$v, cm^3/g$	42	77	71	106
Сохранение формы образца	+	+/-	+/-	+/-

горят в автоколебательном режиме, а образцы с отверстиями – в послойном. При малых диаметрах отверстия образец после горения разрушается на крупные фрагменты, с увеличением диаметра отверстия образец сохраняет свою форму. Для других составов наблюдаемые закономерности аналогичны приведенным на рис. 6. Отличие состоит в том, что при использовании шихт с относительно малым газовыделением и большим содержанием жидкой фазы горение сплошных образцов происходит послойно, а при увеличении диаметра отверстий их удлинение сменяется сжатием. По полученным данным, в координатах «относительная толщина стенки – исходная плотность» были построены параметрические области реализации различных режимов горения и сохранения формы образца (рис. 8). Предварительное построение таких областей позволяет оценить необходимые параметры шихто-

вой заготовки (ее исходную плотность, диаметр каналов и расстояние между ними) без проведения дорогостоящих экспериментов с большими объемами шихты.

На рис. 9 показаны макроструктура реальных КГИ-заготовок после синтеза без каналов (а) и с каналами (б). В первом случае происходит расслоение, во втором – расслоения нет, а структура заготовки более однородна. При последующем компактировании горячей заготовки происходит «залечивание» каналов. С использованием этого приема анизотропия прочности существенно уменьшилась (см. рис. 3), и были получены годные бездефектные изделия (рис. 4, б).

Таким образом, усовершенствование уже известных технических решений получения КГИ путем создания системы специальных каналов в шихтовом брикете позволило повысить физико-механические свойства изделий.