



УДК 621.762.4.043: 546.07: 536.46.002

С.М. Вайцехович, Ю.В. Власов
АО «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева»
г. Москва, Россия
E-mail: ask-mlad@mail.ru
Дата поступления 01.11.2022

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СВС-БАРОТЕРМИИ

Аннотация

Предложено оборудование для горячего прессования синтетических заготовок в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для проведения технологического процесса, объединяющего силовое и температурное воздействие на синтетический продукт, образованный в результате автоволнового режима горения твёрдых тонкодисперсных порошков, жидкостей и газов, получивший название «СВС–баротермия».

Ключевые слова: СВС-баротермия, пресс-форма, стартовое уплотнение.

Введение

В работе предложен подход к изготовлению тугоплавких, труднодеформируемых материалов и изделий на их основе инновационным методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза-баротермии.

Основная часть

Недостатком устройств, используемых в СВС-технологии, является низкое качество прессовки в связи с недостаточной герметизацией матричной полости и большого теплоотвода в окружающую среду, неравномерного физико-механического состояния отдельных частей и продукта синтеза в процессе деформирования, так как процесс синтеза растянут во времени и образование синтетического продукта происходит послойно. На поверхности изделия, контактирующего с «холодными» стенками штампового инструмента, появляется слой непрореагировавшего исходного реагента с различной степенью неполноты превращения. Поэтому отходы прессования составляют 50÷65%, а примесные газы, например, оксид углерода (СО), оксид азота (NOx), углеводороды (CxHy), образованные в результате термосинтеза, загрязняют окружающую среду [1].

Время горения (образование синтетического продукта) на порядок и более превышает время прохождения волны горения (синтеза). Послойное прохождение волны горения определяет послойное химическое превращение исходных реагентов в конечный продукт, поэтому в момент окончания процесса синтеза, в месте начала инициирования синтеза, синтетический продукт затвердевает в виде арочных конструкций, что оказывает существенное неоднородное сопротивление деформированию и влияет на качество продукта [2].

Техническая новизна предлагаемого устройства заключается в получении деталей из изотермической порошковой смеси и повышении качества синтетической заготовки путём совмещения скорости синтеза горения со скоростью его уплотнения. При этом, реализуется послойная подпрессовка синтезирующегося продукта в зоне химического превращения, расширяется номенклатура деталей путём регулирования пористости конечного продукта и утилизируются примесные газовые выбросы продуктов синтеза [3].

Подбор исходных реагентов способных к экзотермическим реакциям горения основан на явлении распространения фронта горения в смесях порошков тугоплавких химических элементов, приводящих к образованию тугоплавких соединений. В работе [4] проведена систематизация

продуктов горения как после проведения теплового взрыва или послойного горения твёрдых химических соединений, так и после нанесения покрытий в результате газотранспортных реакций. Построены сводные таблицы возможных комбинаций продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и реагентов (металлов и смесей) из металлов со II по VIII групп периодической системы химических элементов (таблица Д.И. Менделеева) в соответствии с третьим принципом физико-химического анализа – принципом совме-

стимости, и с учётом их фазовых превращений при высоких давлениях, что позволяет, в первом приближении составлять пропорции состава исходных реагентов с последующей доводкой с учётом заданных конечных параметров синтетического изделия.

Для реализации технологии СВС-баротермия разрабатывается соответствующее оборудование, в том числе устройство, представленное на рисунке 1.

Устройство для СВС-баротермии состоит из контейнера 1, верхнего 2 и нижнего пневмоцилиндра 3 и гидроцилиндра 4.

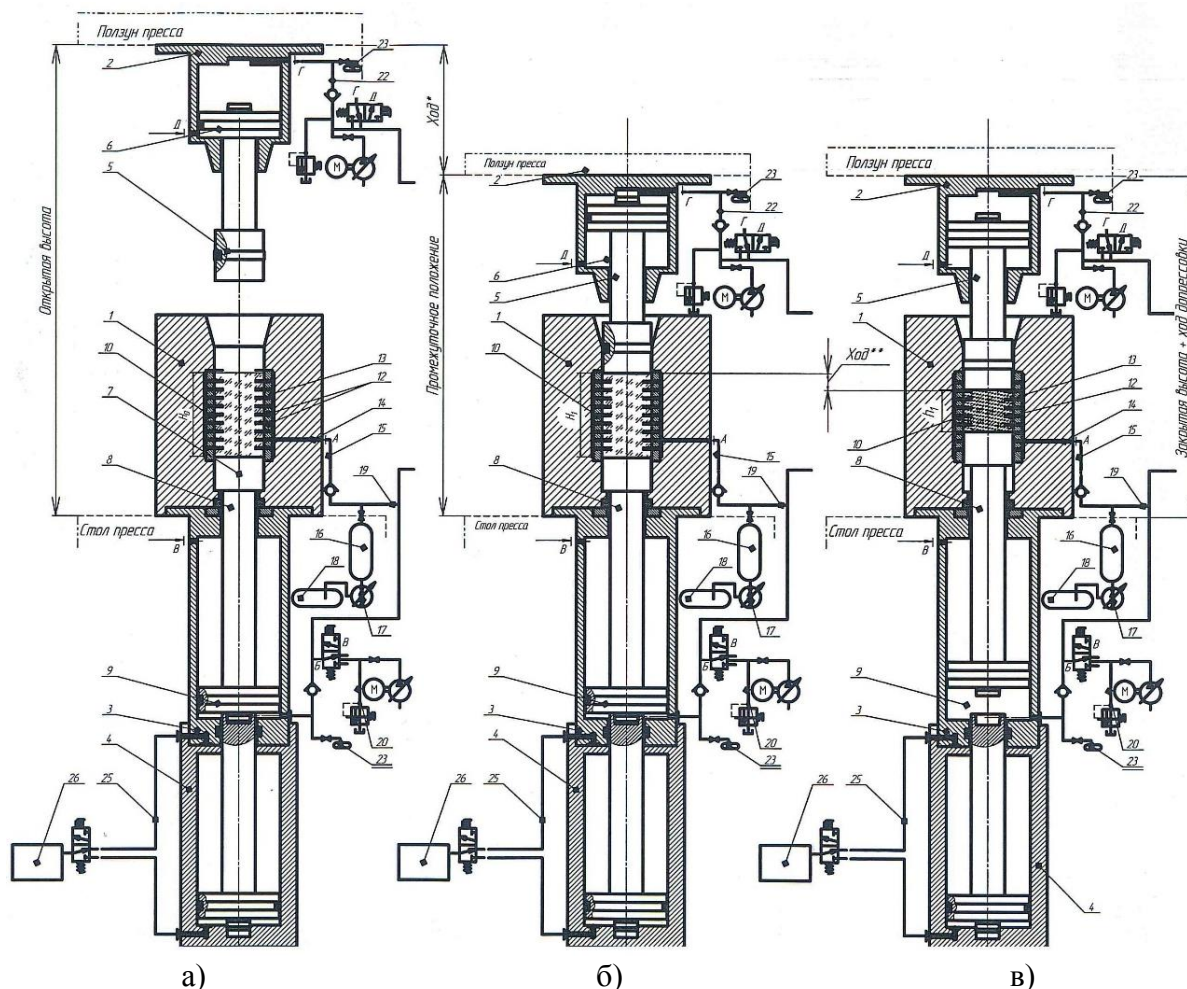


Рисунок 1. Схема работы устройства СВС-баротермии - размещение брикета, инициирование горения, стартовое уплотнение синтетической заготовки
 а – размещение брикета, исходное положение; б – инициирование режима горения;
 в – стартовое уплотнение по высоте h_1 в процессе горения, уплотнение продуктов синтеза адсорбированными газами, образующимися в результате термосинтеза, а также примесными летучими продуктами; ход* – перемещение верхнего пуансона до контакта его с брикетом; ход** – перемещение верхнего пуансона при стартовом уплотнении.

К верхнему пневмоцилиндру 2 прикреплён верхний пуансон 5, опирающийся на шток плунжера 6. К нижнему пневмоцилиндру 3 прикреплён нижний пуансон 7, опирающийся на шток 8 плунжера 9. Верхний 5 и нижний 7 пуансоны расположены внутри матрицы 10, перфорированной отверстиями. В матрицу 10 размещают брикет порошковой заготовки из реакционной смеси 11, горение которой сопровождается выделением летучих продуктов синтеза (примесных газов).

Матрица 10 имеет радиальные каналы 12 для фильтрации газов, а контейнер 1 – газосборник 13 и канал 14, сообщающий эту полость посредством газовой магистрали 15 с пневмобаком 16, в котором постоянно поддерживается остаточное давление, ниже атмосферного за счёт регулируемого вакуумного насоса 17, сборника давления 18, соединённого, в свою очередь, через пневмомагистраль 19 с системой нагнетания 20 пневмоцилиндра 3, на который опирается нижний пуансон 7. Верхний пуансон 5, через шток плунжера 6, приводится в движение системой нагнетания 21, которая через пневмомагистраль 22 поддерживает в пневмоцилиндре 3 постоянное давление, превышающее атмосферное.

Нижний гидроцилиндр 4 соединён с гидравлической магистралью 24 с гидравлической станцией 25.

После извлечения отпрессованной детали 27 (рисунок 2 б) нижний пуансон 7 возвращается в исходное положение, при этом примесные газы, скопившиеся в полости пневмоцилиндров, утилизируются в специальные вакуумные баки 23.

Устройство оснащено манометрами, датчиками давления для регистрации работы пневмосистем, реагирующих на перепад давления при термосинтезе заготовки при прессовании детали (рисунки 1 в, и 2 а) и удалении её из матрицы 10 (рисунок 2 б).

Последовательность технологических шагов:

- шихтовую заготовку 11 из экзотермических реагентов, способных химически реагировать между собой с выделением

тепла, в виде порошковой смеси или брикета насыпают (устанавливают) на нижний пуансон 7 матрицы 10;

- ползуном пресса опускают верхний пневмоцилиндр 2 вместе с верхним пуансоном 5, который входит в матрицу 10, создавая при этом герметичный замкнутый объём для полости газосборника 13;

- настраивают в газовой магистрали, в газосборнике 13 и в пневмобаке 16 давление на 10-20% ниже атмосферного и посредством вакуумного насоса 17 поддерживают остаточное давление;

- инициируют реакцию горения [5, 6]. Газы, образующиеся в процессе синтеза, нагреваются до температур $\square 300^{\circ}\text{K}$ и через радиальные каналы скапливаются в газосборнике 13 и по каналу 14 через газовую магистраль 15 поступают в пневмобак 16;

- по мере прохождения волны горения по высоте и объёму исходной заготовки давление газов увеличивается на порядок, при этом синтезированный материал в узком интервале времени имеет низкую прочность и легко смыкается под давлением торцов верхнего и нижнего пуансонов, образуя твёрдый раствор синтезированного продукта составом (карбиды, бориды, силициды) в зависимости от исходных компонентов, которые, остывая, образуют монолит;

- образующиеся газы под действием создающегося ими давления, поступают в вакуумированную зону под поршни пневмоцилиндров и начинают их перемещать, уплотняя синтезирующийся продукт;

- перемещение пуансонов способствует послойному уплотнению синтетического продукта горения, постоянно смещает образующиеся в процессе горения конгломераты тугоплавких соединений вдоль боковых стенок пресс-инструмента, что позволяет исключить «сваривание» заготовки с инструментом, сократить теплоотвод и уменьшить силовой режим прессования. Для заготовок средних размеров массой до 1 кг, высота которых по отношению к условному диаметру составляет единицу или более, снижение осевой нагрузки прессования уменьшает вероятность обра-

зования дефектов и повышает производственную стойкость деформирующего инструмента.

Если не проводить послынную подпрессовку, то в конце стадии горения увеличивается локальная пористость, устранить которую средствами механического воздействия не представляется возможным.

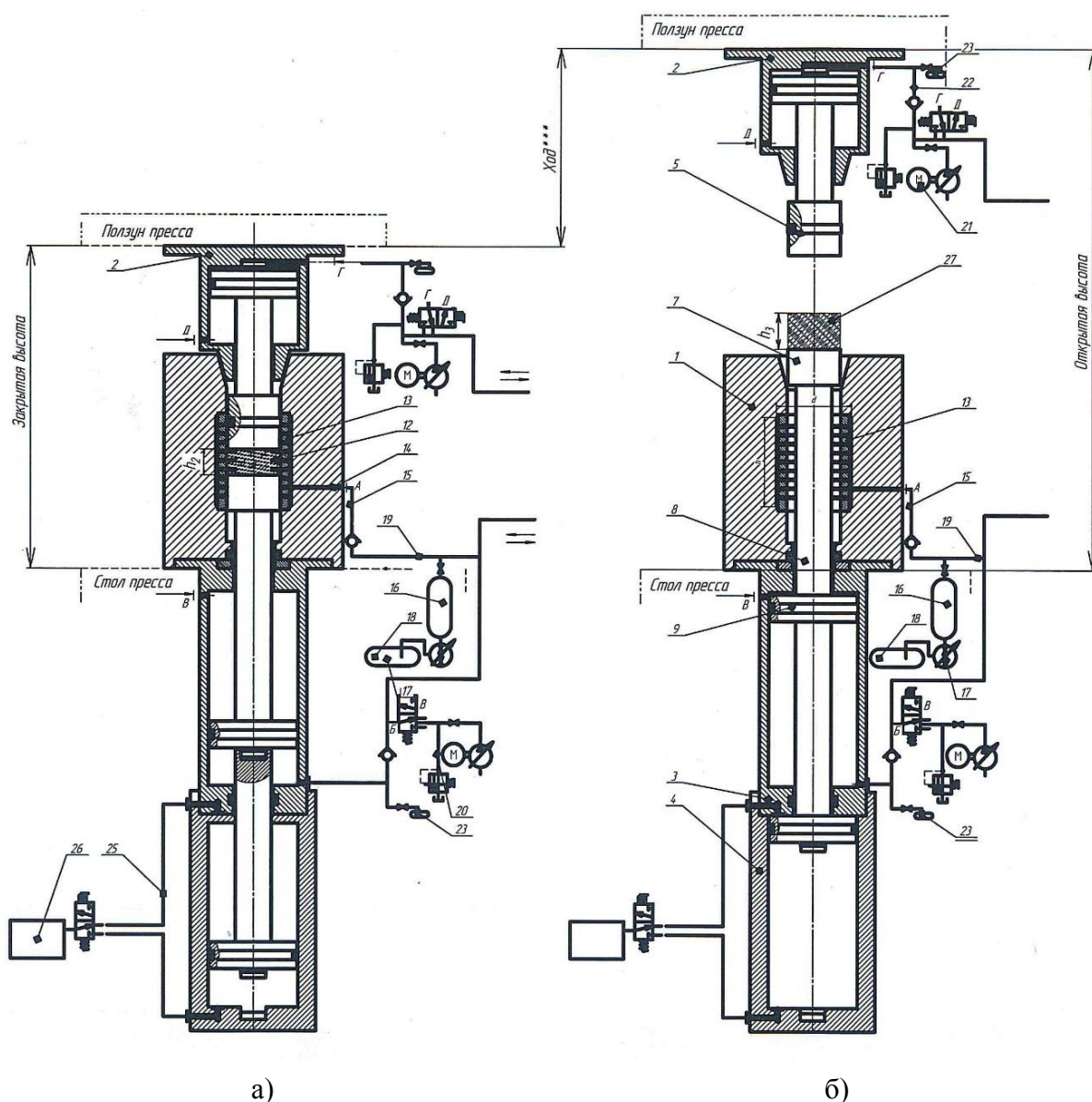


Рисунок 2. Схема работы устройства СВС-баротермии – допрессовка и удаление синтетической заготовки

а – момент допрессовки синтетической заготовки h_2 прессовым оборудованием;
 б – момент извлечения синтетической заготовки, h_3 ; ход *** – величина хода гидравлического пресса при извлечении синтетической заготовки

Работа устройства:

Матрица 10, газосборник 13 и рабочие области пневмоцилиндров 2 и 3 вакуумируются, посредством вакуумного насоса 17, за счёт пневмобака 16 поддерживается остаточное давление, которое меньше атмосферного.

1. Откачиваем насосом 17 воздух из газосборника 13.

Так как поверхность матрицы перфорирована отверстиями 12, происходит вакуумирование матрицы 10, удаляется воздух из рабочих зон поршней пневмоцилиндров 2 и 3.

2. Перекрываем вентиль у пневмобака 16.

Остаточное давление внутри пневмобака 16, газовой магистрали, матрицы 10 и газосборника 13 выравнивается.

3. Иницилируем горение шихтовой заготовки.

Образующиеся в процессе синтеза адсорбированные газы, а также примесные летучие продукты термосинтеза перетекают по газовой магистрали 19 в рабочие зоны пневмоцилиндров 2 и 3 и оказывают давление на их плунжеры, которые начинают перемещать нижний 7 и верхний 5 пуансоны, послойно уплотняя синтетический продукт.

По окончании горения устанавливается равновесие между давлением газа внутри синтезируемой заготовки и внешним воздействием пуансонов. Равновесие давлений способствует установлению баланса, обеспечивающего образование заданных геометрических размеров пор внутри синтезируемой заготовки. В предварительно скомпактированном синтетическом продукте не происходит скопления газовых пузырей, разрывающих заготовку изнутри.

4. Открываем вентиль у пневмобака 16.

Газы, скопившиеся в газосборнике, свободно перемещаются по газовым магистралям 15, 19, 22 в пневмобак 16 для сброса давления в газосборнике 18.

5. Включаем гидроцилиндр 24 и механизм перемещения ползуна пресса.

6. Допрессовываем синтетический продукт синтеза (рис. 2 а).

По окончании формирования синтетической заготовки ползун пресса поднимают, при этом верхний пуансон занимает исходное верхнее положение, а нижний пуансон выталкивает синтезированную деталь наверх, при этом освобождается место для удаления детали из устройства СВС-баротермии.

Примеры реализации технологии СВС-баротермии

Пример №1

Получение изделия диаметром 80 мм и высотой 120 мм из синтетического твёрдосплавного инструментального материала

марки СТИМ, содержащего 70% твёрдой карбидной фазы TiC .

Изделие предназначено для деформирующего инструмента, в частности ступенчатого пуансона, работающего в экзотермических условиях при обработке никелевых сплавов. Исходный материал следующего состава, мас. %: титан 56, никель 20, молибден 10, углерод - остальное.

Технология изготовления синтетического силового деформирующего инструментах.

Исходную порошковую заготовку уплотняют давлением 392 МПа.

В стенке матрицы выполнены отверстия диаметром 1,2 мм. Перед поджогом на торец заготовки укладывают подпружиненный диск (пуансон) массой 25 кг., осуществляющий давление на спрессованную в брикет шихтовую заготовку равно $\rho = 0,1 \div 0,05$ МПа. Иницирование реакции горения осуществляют через токопроводящую металлическую проволоку, установленную на торце заготовки. Одновременно с образованием волны горения и каналом её перемещения, вдоль высоты брикета, начинают перемещать пуансон со скоростью 3 мм/с. Скорость волны горения составляет 6,3 мм/с. Время горения брикета составляет 35 с. За это время пуансон, перемещаясь, уменьшил высоту брикета на 23%. В момент окончания горения пуансон начинают перемещать со скоростью 5 м/с, при этом давление составляет порядка 0,08 МПа, а высота продукта горения уменьшилась ещё на 12%. Затем, по мере возрастания сопротивления синтетического материала, усилие деформирования, а скорость приложения деформирующей нагрузки уменьшаться.

На конечной стадии деформирования скорость перемещения ползуна пресса составляла 0,01 м/с, а передаваемое им давление достигло 400 МПа, при этом высота синтетического продукта горения уменьшилась ещё на 25%.

После термообработки образцы, вырезанные из изделия, имели следующие физико-механические свойства: плотность 6,3 г/см³; предел прочности на сжатие 500 кгс/мм²; предел прочности на изгиб 160 ÷ 170 кгс/мм².

В таблице 1 приведены другие варианты технологии получения силового деформирующего инструмента из синтетического твёрдосплавного инструментального материала марки СТИМ, содержащего 70% твёрдой карбидной фазы TiC с варьированием параметров 1 и 2 стадий деформирования.

На рисунке 3 представлена работа пресс-формы для получения ступенчатого пуансона.

В качестве исходного материала использовали реакционноспособную смесь диборида титана (TiB_2) состава: боридно-

карбидной керамики ($80\% TiB_2 + 20\% MoC$).

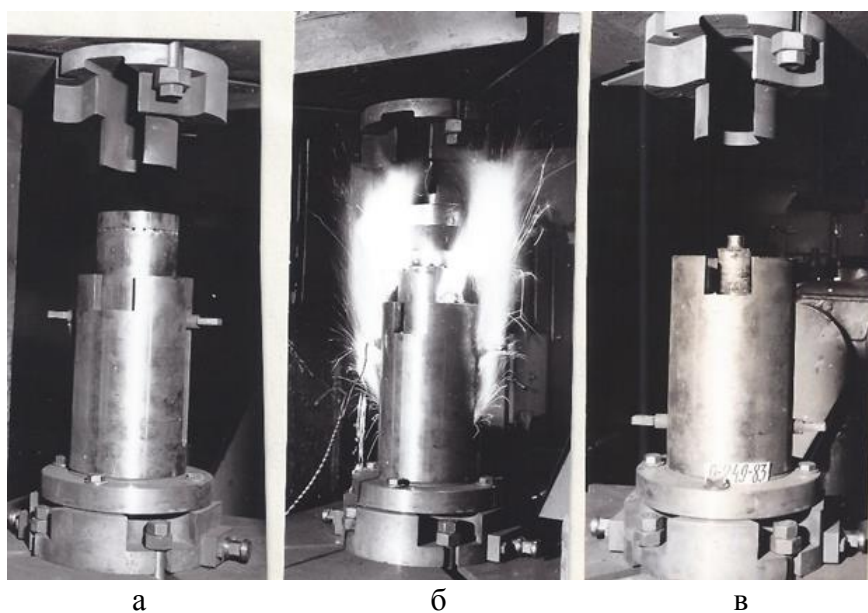
Порошковую смесь перемешивали в смесителе и сушили в вакуумном шкафу. Приготовленную смесь помещали в матричную полость устройства для прессования. Насыпная плотность смеси составляла $1,3 \div 1,4 \text{ г/см}^3$, высота засыпки 100 мм, наружный диаметр 281 мм, внутренний – 210 мм.

Порошковую смесь уплотняли пуансоном для получения компактного брикета. Исходная плотность брикета $3,3 \div 3,5 \text{ г/см}^3$.

Таблица 1

Примеры получения изделий из экзотермической шихтовой заготовки заявленным способом для граничных и промежуточных значений параметров.

№ п/п	Состав шихты, %	1 стадия деформирования Давление, МПа	2 стадия деформирования Давление, МПа	Физико-механические свойства изделий				
				плотность, г/см ³	прочность, $\sigma_{из}$, кгс/мм ²	прочность, $\sigma_{сжк}$, кгс/мм ²	твёрдость, HRA	ударная вязкость, кгс·м/см ²
1	Ti – 56,0; Ni – 20,0; Mo – 10,0; C – 14.	1,0	100	6,3	160÷170	450÷500	91÷93	0,1÷0,15
		0,5	150					
		0,1	300					
		0,05	400					
2	Ti – 57,6 (ПТМ); Cr – 13,4 (хром ПХ1С) ПХ20Н80)– 12,4 (Нихром); C – 16,6	31,0	100	5,37	78÷80	450÷500	91÷92,5	0,15÷0,2
		0,5	150					
		0,1	300					
		0,05	400					



а – исходное положение,
б – момент реакции горения,
в – извлечение синтетической заготовки.

Рисунок 3. Этапы работы устройства СВС-баротермии:

Пример №2

Получение твёрдосплавной заготовки для бандажа вала холодной прокатки медной проволоки. Диаметр валков чистовых клетей 280÷300 мм, скорость прокатки до 9 м/с, температура медной катанки 300÷400°C, прокатываемый материал – медь марки М1, температура валков 100÷150°C, температура смазочно-охлаждаемой жидкости (СОЖ) 60÷70°C.

Не раскрывая матричной полости устройства, проводили инициирование реакции горения. Пуансон был подпружинен и создавал давление в пределах 0,05÷1,0 МПа. Скорость прохождения волны горения составляла 10÷11 мм/с, время горения брикета заготовки - 12÷13 с. При синтезе смеси наблюдалась высокая интенсивность реакции СВС, градиенты температуры составляли 1500град/мм, а скорость изменения 25000 град/с. За период горения температура начальных участков понизилась на 580÷780°C.

После периода выдержки длительностью 3,3 с и начала перемещения пуансона, по толщине заготовки образовался перепад температуры порядка 610÷870°C. Через 15 с после инициирования режима горения произвели деформацию продукта синтеза, высота синтетической заготовки уменьшилась на 10% по отношению к исходной высоте.

Скорость перемещения пуансона была постоянна и составляла порядка 0,1

м/с, давление на рабочем торце пуансона на всём пути деформирования изменялось от 0,005 до 1,0 МПа. После того, как давление на пуансоне достигло 1,0 МПа, высота уплотнённого продукта синтеза составила 36 мм. В дальнейшем скорость перемещения пуансона уменьшилась на порядок и составила 0,01 м/с. При указанной скорости произошла допрессовка продукта синтеза усилием прессового оборудования давлением 50÷400 МПа.

По окончании прессования синтетического продукта горения полученная заготовка имела следующие размеры: наружный диаметр 283 мм; внутренний диаметр 208 мм; высота 30 мм.

После остывания заготовки в термостате, последующей шлифовки и термообработки изделие имело следующие размеры: наружный диаметр 280 мм; внутренний диаметр 212 мм; высота 28 мм.

Образцы, вырезанные из изделия, имели следующие физико-механические характеристики: плотность 4,38 кг/м³; модуль Юнга 54000 кг/мм²; коэффициент линейного расширения 4,6·10⁻⁶ град⁻¹; предел прочности на сжатие 3,5÷3,7 ГПа; твёрдость по шкале А. Роквелла 86÷87 ед; предел прочности на изгиб 60÷70 кгс/мм².

В таблице 2 приведены примеры получения изделий из экзотермической шихтовой заготовки заявленным способом для граничных и промежуточных значений параметров.

Таблица 2

Примеры получения изделий из экзотермической шихтовой заготовки заявленным способом для граничных и промежуточных значений параметров.

№ п/п	Состав шихты, %	1 стадия деформирования Давление, МПа	2 стадия деформирования Давление, МПа	Физико-механические свойства изделий				
				плотность, г/см ³	прочность, $\sigma_{сж}$, кгс/мм ²	прочность, $\sigma_{из}$, кгс/мм ²	твёрдость, HRA	ударная вязкость, кгс·м/см ²
1	TiB ₂ – 80; MoC – 20.	1,0	50	4,38÷	356-377	60-70	86-87	÷
		0,5	150					
		0,1	400					
2	Ti – 57,6; Ni – 10; Cr – 15,6; C – 16,8.	1,0	50	5,37÷	-	90-100	92,5-93,0	0,09÷0,1
		0,5	150					
		0,1	300					
		0,05	400					

Пример №3

Получение ступенчатого пуансона рабочим диаметром 80 мм, высотой 120 мм. В качестве исходного материала (шихты) использовали титан 56%, никель 20%, молибден 10%, бор – остальное. Пресс-форма содержала контейнер, матрицу и два направленных навстречу друг другу пуансона.

Пресс-форму установили на гидравлический пресс усилием 980 кН. Прессование провели в пресс-форме двустороннего обжатия, верхний пуансон жёстко закрепили к ползуну пресса, нижний – установили на шток плунжера и дополнительно подпружинили нагрузкой усилием порядка 0,05 МПа, при этом опорная торцевая поверхность нижнего пуансона опиралась на шток плунжера и имела возможность перемещаться под действием пружины. Рабочий объём нижнего пневмоцилиндра соединили газовой магистралью с рабочим объёмом матрицы. При окончании горения экзотермической смеси допрессовку продукта синтеза осуществили ползуном пресса.

Перед началом инициирования процесса горения рабочий объём плунжера вакуумировали. После инициирования реакции горения нижний шток начали перемещать со скоростью $v_b = 3,5$ мм/с при скорости горения шихты $v_r = 6,3$ мм/с.

Соотношение скоростей $\frac{v_b}{v_r} \approx 0,56$, составило величину скорости перемещения

нижнего пуансона входит в диапазон скоростей, указанных в формуле изобретения.

Время горения брикета составил $\square 35$ с. За это время нижний пуансон уменьшил высоту шихтовой заготовки на 23%.

В момент окончания горения нижний пуансон остановили и надёжно зафиксировали. Затем начали перемещать верхний пуансон вниз со скоростью 5 м/с, при этом на верхнем пуансоне давление составило не более 0,5 МПа.

После того, как давление, деформирующее синтетический продукт, превысило указанное давление, включают прессовое оборудование, которое доуплотняет изделие.

Скорости перемещения пуансонов изменяли в диапазонах $0,5 \div 0,95$ скоростей относительно скорости горения шихтовых материалов. При выходе из указанных диапазонов давления $0,05 \div 1,0$ МПа изделия получают некачественные с расслоёнными трещинами и макропорами.

Физико-механические свойства образцов, вырезанных из изделия: плотность $4,38$ г/см³; предел прочности на сжатие $350 \div 370$ кгс/мм²; предел прочности на изгиб $60 \div 70$ кгс/мм²; твёрдость $86 \div 87$ HRA.

В таблице 3 приведены примеры получения изделий из порошковых материалов заявленным способом для граничных и промежуточных значений параметров.

Таблица 3

Примеры получения изделий из экзотермической шихтовой заготовки заявленным способом для граничных и промежуточных значений параметров.

№ п/п	Состав шихты, %	1 стадия деформирования Давление, МПа	2 стадия деформирования Давление, МПа	Физико-механические свойства изделий				
				плотность, г/см ³	прочность, $\sigma_{из}$, кгс/мм ²	прочность, $\sigma_{сж}$, кгс/мм ²	твёрдость, HRA	ударная вязкость, кгс·м/см ²
1	Ti – 56; Ni – 20; Mo – 10; B – 14.	1,0	50	4,38	60÷70	350÷370	86÷87	0,15
		0,5	150					
		0,1	300					
		0,05	400					
2	Карбо-нитрид титана TiCN – 74; Ni – 19,5; Mo – 6,5.	1,0	50	6,18	170÷180		90÷92,5	0,15
		0,5	150					
		0,1	300					

Совершенствование метода СВС-баротермии обеспечивает повышение качества изделий: исключается образование расслоев, микротрещин и пор, а также повышается плотность.

Отмеченные в таблицах 1-3 исходные химические реагенты, участвующие в качестве примеров в создании синтетических материалов сгруппированы и представлены в таблице 4, где:

1. Непрерывные твёрдые растворы *.
2. Ограниченные твёрдые растворы *.
3. Соединение *.
4. Эвтектические смеси *.
5. Не взаимодействуют (могут быть

введены при СВС в состав связки).

6. Материалы, которые могут быть синтезированы в режиме СВС-баротермии.

7. Материалы, синтезированные в режиме СВС-баротермии.

8-9. Материалы для спецтехники, которые могут быть синтезированы в режиме СВС-баротермии или синтезированные и находящиеся в стадии идентификации свойств.

Материалы, обозначенные [6-8] могут быть покрытиями как для сталей, чугунов, сплавов, цветных металлов, керметов, так и для металлов, входящих в состав покрытия.

Таблица 4

Сводные таблицы возможных вариантов химических соединений для получения синтетических материалов методом СВС-баротермии

22. Титан (Ti)	2-8-10-2 [Ar] 3d ² 4s ²	24. Хром (Cr)	2-8-13-1 [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	28. Никель (Ni)	2-8-16-2 [Ar] 3d ⁸ 4s ²
<p>1. Sc(β), Zr(α, β), Hf(α, β), V(β), Nb(β), Ta(β), Cr(β), Mo(β), γ-U(β)</p> <p>2. Be, Mg, Ca, Sc(α), Y, La, V(α), Nb(α), Ta(α), Cr(α), Mo(α), W, U(α'), Mg, Re, Fe, Ru, Ir, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, B, Al, Ga, In, C, Si, Ge, Sn, Pb, N, Bi, O, H.</p> <p>3. Be, Cr, U, Mn, Tc, Re, Fe, Ru, Os, Ca, Ir, <u>Ni</u>, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Na, B, Al, Ga, In, <u>C, Si, Ge</u>, Sn, Pb, <u>N, P</u>, As, Sb, Bi, O, S, Se, Te, H</p> <p>4. Th</p> <p>[6]. Ti_xB₄</p> <p>[7]. Ti₃P, TiH₂</p> <p>[7.1]. TiC, TiC_x, TiN, TiH_x, TiB, TiB₂, TiAl, TiP,</p> <p>[7.2]. Твёрдые растворы TiC- (Cr₃C₂, Mo₂C, WC, WC-Mo₂C).</p> <p>[7.3]. Твёрдый раствор азота в титане TiN_x (x = 0,08÷0,32)</p> <p>[7.4]. Однофазные твёрдые растворы диборидов титана TiB₂-(CrB₂, MoB₂);</p> <p>[7.5]. Cr, NiTi</p> <p>9. TiAl, TiS₂, TiBi₂</p>	<p>1. βTi, V, Mo, W, αFe.</p> <p>2. Be, Y, La, <u>αTi</u>, Zr, Nb, Ta, U, Mn, Re, γFe, Ru, Os, Ca, Rh, Lr, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, B, Al, Si, <u>N, H</u></p> <p>3. <u>Be, Ti</u>, Zr, Hf, Ta, Nb, Tc, Mn, Re, Fe, Ru, Os, Ca, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Au, Zn, B, <u>Al, C, Ge, Si, N, P, As, Sb, O, S, Se, Te, H</u>,</p> <p>4. Th.</p> <p>5. Cd, Hg, Sn, Pb, Bi.</p> <p>6. Cr₂₃C₆, Cr_xN_y.</p> <p>[6.1]. См. эвтектику Cr_xTi_yCz</p> <p>9. CrB₆, CrB₂, CrSi₂, Cr₂S₃, CrAl, CrBe₁₂</p>	<p>1. Mn(γ), Fe(γ), Co, Rh, Rd, Pt, Cu, Au.</p> <p>2. Be, Mg, Y, Ti, Zr, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, U, Mn(), Tc, Re, Fe(α, β), Ru, Os, Zn, Cd, B, Al, Ga, In, C, Si, Ge, Sn, As, Sb, O, H.</p> <p>3. Be, Mg, Ca, Sc, Y, La, Ti, Zr, Hf, Th, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, U, Mn, Fe, Co, Pt, Cu, Zn, Cd, Hg, B, Al, Fa, In, C, Si, Ge, Sn, N, P, As, Sb, Bi, O, Se, Te, H.</p> <p>5. Li, Da, Ag, Tl, Pb.</p> <p>6. Ni_xP_y</p> <p>7. NiTi, NiAl.</p> <p>9. NiAl₃</p>			
42. Молибден (Mo)	2-8-18-12-1 [Kr] 4d ⁵ 5s ¹	6. Углерод (C)	2-4 1s ² 2s ² 2p ²	5. Бор (B)	2-3 2s ² 2s ¹
<p>1. βTi, V, Nb, Ta, Cr, W.</p> <p>2. Be, αTi, Zr, Hf, U, Mn, Tc, Re, Fe, Ru, Si, Os, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Au, B, Al, C.</p> <p>3. <u>Be, Zr, Hf, Mn, Tc, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, B, Al, C, Si</u>, Ge, N, P, As, O, S, Se, Te.</p> <p>5. Mg, Cu, Ag, Zn, Hg, H.</p> <p>[6]. См. эвтектику Mo_xC_yTi_z,</p> <p>7. MoAl₂, MoS₂, MoSe₂, MoS₂-NbSe₂, MoSC₂-NbSe₂, MoSi₂</p> <p>9. MoB₄, Mo₂S₃, MoAl₇, MoBe₂</p>		<p>7. Соединения, синтезированные из многокомпонентных реагентов (Ti, Zr, Nb, Ta) + (Bg)) + C; Ti+(Mo, Re, Cr, Sc)+(B, C).</p>		<p>2. Y, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, W, Fe, Co, Ni, Cu, Al, Si, C.</p> <p>3. Li, Na, Mg, Be, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, La, Ti, Zr, Hf, Th, V, Nb, Ta, Cr, Mo, Pu, W, U, Mn, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh, Ni, Pd, Pt, Cu, Al, <u>C, Si, N, P</u>, O, S, Se, H</p> <p>4. Ga</p> <p>5. Cd, Hg, In, Ge, Tl, Sn, Pb, Bi</p> <p>7. BuC, BN, см. «C»</p> <p>9. γ-BN(ρ1,8), BP, B₃Si</p>	

* Гипотетически возможные в СВС. Неисследованные синтезы, а отмеченные снизу подчёркиванием, исследованы и приведены по п. 6-9.

Выводы

1. Разработано инновационное устройство стартового уплотнения продуктов горения для получения методом СВС-баротермии тугоплавких, труднодеформируемых материалов и изделий на их основе.

2. Показано, что стартовое уплотнение продукта синтеза повышает физико-механические свойства синтетических заготовок с возможностью регулировки их пористости.

3. Разработанный способ стартового уплотнения синтетической заготовки позволяет утилизировать спутные газы, образующиеся в результате СВС-процессов в вакуумные ёмкости, что исключает выбрасывание их в атмосферу.

4. Подобраны варианты соединений исходных химических элементов – реагентов для получения целевого продукта методом СВС-баротермии.

Библиографический список

1. Вайцехович С.М., Мишулин А.А. Исследование процессов уплотнения продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и разработка оборудования для его силового компактирования. // Кузнечно-штамповочное производство, 1993, №7, С. 5-8.
2. Вайцехович С. М. Теория и технология получения изделий методами СВС-баротермии на основе моделирования процессов

накопления повреждений / С. М. Вайцехович, В. М. Михалевич, В. А. Краевский // Порошковая металлургия. – №1/2, 2013. – С. 3–10. – ISSN 0032-4795.

3. Пат. 2 566 101 Российская Федерация. МПК В22F 3/23 (2006.01) Устройство для прессования экзотермической шихтовой заготовки. / Вайцехович С.М, Кужель А.С., Степанов Л.С. и др. – заявитель и патентообладатель Вайцехович С.М., Кужель А.С. (RU), заявка №2014126662/02 от 02.07.2014, опубл. 20.10.2015 Бюл. №29.
4. Вайцехович С.М., Власов Ю.В. Систематизация продуктов СВС-баротермии // Литейное производство, 2022, №12, С. 2-4.
5. Вайцехович С.М. Инициирование реакции горения в технологиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / С.М Вайцехович, Д.В. Панов, Г.Г. Кривенко / Технология машиностроения, Москва, ISSN: 1562-322X. 2018, №4. С 5-16.
6. Пат. № 2 577 641 Российской Федерации МПК⁷ В22F 3/14, С01В31/30; В01J19/08. Устройство для инициирования реакции термосинтеза и получения компактной заготовки. / Вайцехович С.М., Степанов Л.С., Кужель А.С. и др. (Россия) – заявитель и патентообладатель Вайцехович С.М. (RU), заявка № 2014 126 661 (043237) от 02.07.2014, опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8.

Information about the paper in English

S.M. Vaitsekhovich, Yu.V. Vlasov

JSC Afanasev Scientific Production Association Tekhnomash

Moscow, Russia

E-mail: ask-mlad@mail.ru

Receipt date: November 01, 2022

IMPROVING METALLURGICAL EQUIPMENT TO PRODUCE HIGH MELTING MATERIALS BY USING SHS BAROTHERMY METHODS

Abstract

The paper describes the suggested equipment for hot pressing of synthetic billets in the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) mode to carry out a process, combining force and temperature effect on synthetic products, resulting from the auto-wave process of burning of solid fine powders, liquids and gases known as SHS barothermy.

Keywords: SHS barothermy, die, starting compaction
