

УДК 621.7.01

Бейгельзимер Я. Е.  
Сынков А. С.

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ СВОЙСТВ МЕТОДОМ ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ

В порошковой металлургии процесс формования должен обеспечить решение двух основных задач. Первая задача это необходимость обеспечения высокой плотности и равномерного ее распределения по длине и сечению заготовки подвергающейся последующему спеканию. В противном случае при спекании форма и размеры заготовок будут искажаться. Вторая задача – обеспечение необходимой прочности в случаях, когда процесс спекания не предусмотрен.

Первая задача является основной в порошковой металлургии и хорошо известна. Существует ряд материалов, для которых необходимо решение второй задачи.

Металлические порошки и стружки, образующиеся на металлургических и машиностроительных предприятиях в виде отходов, нецелесообразно подвергать спеканию, так как сформованный брикет должен иметь прочность достаточную лишь для его транспортировки и загрузки в печь или в ковш с расплавом.

Расходуемые электроды из титановой губки, применяемые для электрошлакового переплава, не подвергаются спеканию, т. к. это экономически нецелесообразно. Однако к ним предъявляется ряд требований: конструкционная прочность (для избегания разрушения электрода в процессе плавки), высокая плотность, а также ее равномерное распределение по длине и сечению электрода (для обеспечения условий стабильного горения дуги во время плавки), отношение длины электрода к его поперечному размеру должно быть не меньше 10, для исключения процесса сварки отдельных коротких брикетов.

Композиционные гетерогенные материалы, используемые для перфорации нефтяных и газовых скважин, по своим эксплуатационным требованиям предусматривают малую площадь межчастичного контакта, что исключает процесс спекания, и в то же время прочность сформованного материала должна быть достаточной для его последующей обработки резанием.

В аморфных и наноструктурных материалах при спекании протекают процессы рекристаллизации, что негативно влияет на физико-механические свойства данного класса материалов.

Существует многообразие методов формования порошков позволяющих в той или иной степени решать эту задачу. Авторами данной работы предложено применить метод винтовой экструзии (ВЭ) для консолидации порошковых материалов и получения заготовок с теоретической плотностью (относительная плотность – 97–99,6 %) и необходимой эксплуатационной прочностью. Следует отметить, что метод ВЭ пока не применяется в промышленных масштабах и не способен получать крупнотоннажные заготовки и изделия. Но для решения отдельных задач, где требуются повышенные свойства изделий и заготовок, метод показывает хорошие результаты. В работе [1] впервые были получены объемные образцы из аморфного сплава  $Al_{86}Ni_6Co_2Gd_6$  с нанокompозитной структурой. Здесь метод ВЭ позволил управлять термомеханическими процессами с целью создания уникального конструкционного материала. Авторы [2] применили метод ВЭ для консолидации гетерогенных композиционных порошковых смесей с целью изготовления заготовок для облицовок кумулятивных зарядов. Были получены опытные образцы с необходимыми эксплуатационными свойствами. В работе [3] проведены исследования устойчивости процесса полунепрерывной винтовой экструзии. Исследования позволили сделать вывод о возможности применения данного метода для получения длинномерных порошковых заготовок и изделий и разработки технологии позволяющей реализовать этот процесс.

Целью данной работы является описание оборудования для реализации винтовой экструзии порошков, типовые схемы получения заготовок из порошковых материалов, а также примеры реализации технологии.

Оборудование для консолидации порошковых материалов методом ВЭ.

На рис. 1 представлена схема установки винтовой экструзии для получения коротких порошковых заготовок.

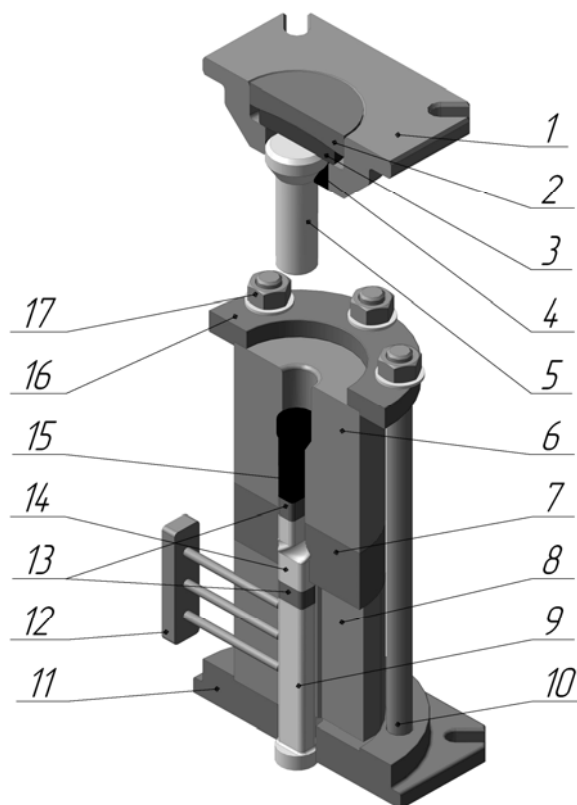


Рис. 1. Установка винтовой экструзии

Конструктивно установка состоит из следующих элементов. Верхняя плита (1) крепящаяся болтами к верхней подвижной поперечине пресса. Подпятник (2) и пята (3) предназначенные для компенсации перекосов верхней поперечины пресса. Гайка (4) предназначена для фиксации деформирующего пуансона (5) в верхней плите (1). Бандажированный контейнер (6), отверстие внутреннего контейнера состоит цилиндрической и профильной части. Профильная часть предназначена для размещения заготовки обрабатываемого материала, в то время как цилиндрическая часть соответствует диаметру пуансона (5). Винтовая матрица (7), предназначена непосредственно для деформации обрабатываемого материала и имеет заходной, винтовой и калибрующий участок. Подставка (8), обеспечивает прием материала прошедшего деформационную обработку. Пуансон противодействия (9). Шпильки (10) с помощью фланца (16) и гаек (17) служат элементами, обеспечивающими крепление контейнера (6), матрицы (7) и подставки (8) на нижней плите пресса (11), которая в свою очередь крепится болтами к нижней неподвижной поперечине пресса. Выталкиватель (12) используется для извлечения обработанной заготовки находящейся в пазу подставки (9). Для деформирования в режиме теплой экструзии установка может быть оснащена нагревателем.

Схемы получения коротких заготовок.

Деформацию порошковых материалов осуществляли как в оболочках из цветных металлов, так и без них. Оболочки применяли для герметизации порошкового материала с целью предотвращения контакта со смазочными веществами. Методика упаковки и деформации порошка в оболочки описана в работе [4].

Перед началом процесса деформации в винтовую матрицу 7 запрессовывают нижнюю фальш-заготовку 13 для создания противодействия в начале процесса. Затем порошок, упакованный в цилиндрический герметичный стакан, помещают в цилиндрический канал контейнера 6 (рис. 1.) и воздействием пуансона 5 запрессовывают ее в профильный канал. После этого на верхний торец обрабатываемой заготовки устанавливается верхняя фальш-заготовка 13, которая в процессе деформации препятствует воздействию графита 15 (среда передающая давление от пуансона к деформируемой заготовке) на обрабатываемую заготовку и тем самым предотвращает ее смятие. Противодействие в процессе деформации передается от гидростойки через пуансон 9 к нижней фальш-заготовке 13. После первого деформационного прохода порошковая заготовка уже имеет профильное сечение и ее можно деформировать снова, поместив в профильную часть канала контейнера. Таким образом, реализуется схема деформации порошкового материала в металлических оболочках.

Применение упаковки порошка в оболочку в некоторых случаях является обязательным, так как существует ряд материалов, для которых перед процессом консолидации необходимо проведение операций вакуумирования и дегазации. Еще одним преимуществом применения оболочки является защита от проникновений в консолидируемый порошок смазочных материалов. Однако после деформации зачастую возникают трудности отделения материала оболочки от консолидированного порошкового материала. Поэтому в некоторых случаях принимается решение о деформации порошка без защитных оболочек.

Деформацию порошка без оболочки осуществляют следующим образом. Сначала в винтовую матрицу 7 запрессовывают нижнюю фальш-заготовку 13 (рис. 1). Затем в профильный канал контейнера 6 засыпают консолидируемый порошок, который запечатывают верхней фальш-заготовкой 13, после чего с помощью пуансона 5 производят набор давления. Давление не должно превысить уровень, который приводит к началу деформации. Затем, не снимая нагрузки, установку нагревают до необходимой температуры. В процессе набора температуры происходит некоторое уплотнение порошка за счет реализации режима ползучести. Это приводит к некоторому падению давления. В процессе нагрева установки необходимо несколько раз проводить дополнительный набор давления в контейнере. Когда температура установки выходит на необходимый режим в канал контейнера засыпают графит и начинают процесс деформации. После деформации заготовка имеет профильное сечение, размеры которого совпадают с профильным каналом контейнера. Поэтому заготовку можно повторно деформировать винтовой экструзией требуемое количество проходов.

Схема получения длинномерных заготовок.

В работах [3, 5] были определены режимы стабильного протекания процесса полунепрерывной винтовой экструзии порошковых материалов. Ниже будет рассмотрена технологическая схема осуществления процесса получения длинномерных заготовок из порошковых материалов методом ВЭ.

Для того чтобы использовать установку, схема которой приведена на рис. 1, для ВЭ порошка в полунепрерывном режиме, необходимо установить коническую матрицу под винтовой. Здесь коническая матрица является инструментом создания противодействия для порошка, который находится в очаге деформации винтовой матрицы.

Вначале процесса в заходную часть винтовой матрицы запрессовывают нижнюю фальш-заготовку. Затем канал контейнера заполняют порошковым материалом и воздействием пуансона начинают процесс экструзии. Когда пуансон достигает профильной части контейнера, его извлекают и загружают новую порцию порошкового материала. В процессе экструзии порошок, деформирующийся в винтовой матрице, претерпевает влияние трех факторов, позитивно влияющих на процесс консолидации. Первое это давление воздействие, которого на материал в винтовой матрице оказывает материал, деформирующийся в конической матрице. Второе это интенсивная сдвиговая деформация, которая, как известно [6] приводит к интенсивному уплотнению порошка. Третье (не во всех случаях) это температура, которая активизирует диффузионные процессы, что может приводить, под действием остальных двух факторов, к возникновению между частицами порошка химических и другого рода связей.

Таким образом, в процессе полунепрерывной ВЭ из очка конической матрицы выходит непрерывная порошковая заготовка, которую режут на мерные длины абразивно-отрезным устройством.

Примеры реализации технологий.

Методом винтовой экструзии впервые были получены объемные образцы из аморфных лент сплава  $Al_{86}Ni_6Co_2Gd_6$  [1]. В проведенной серии экспериментов накопленная деформация варьировалась от 1 до 7, температура составляла от 458 до 573 К, давление 1,15–1,7 ГПа. Образцы имели структуру, состоящую из нанокристаллов практически чистого алюминия с размерами 10–13 нм и остаточной аморфной фазы. Максимальная микротвердость образцов составила 5,5 ГПа. Проведены механические испытания на сжатие образцов. Значения условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$ , предела прочности  $\sigma_B$  и деформации до разрушения  $\delta$  составляли: 490 МПа, 917 МПа и 24 %, соответственно. Проведенные эксперименты показали, что наилучшие свойства материал приобрел после деформации пять проходов винтовой экструзией при температуре 200–230 °С.

В работе [2] стояла задача получить объемные заготовки из гетерогенной смеси порошков меди и вольфрама различной фракции и в различных пропорциях. Для достижения этих целей использовали схемы винтовой экструзии в оболочках и без, после чего был сделан вывод о том, что для данной задачи целесообразно проводить деформацию материала без упаковки его в оболочку. Полученные образцы различных составов и разных фракций подвергали измерению твердости и плотности. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика образцов состава Cu + 50 % W после винтовой экструзии

№ образца	Содержание W по массе, % (остальное Cu)	Размер фракции, $\mu\text{m}$	Условия деформации	Относительная плотность после ВЭ, %	Твердость по Бринеллю, $\text{kg/mm}^2$
1	20	10	В оболочке	97	137–142
2	50	100		94	88–90
3	50	10	Без оболочки	99	135–138
4	20	100		97	110

Методом полунепрерывной ВЭ получены длинномерные заготовки из магниевой стружки и титановой губки [3, 7].

Полученные магниевые заготовки диаметром 16 мм и длиной 700 мм имели относительную плотность 99,4–99,6 %. Для оценки механических характеристик прутков были проведены механические испытания на трехточечный изгиб. Предел прочности при этом составил  $\sigma_{\text{изгиба}} = 125$  МПа.

Была поставлена задача исследования процесса изготовления длинномерных (отношение длины к поперечному сечению не менее 10) заготовок из титановой губки с целью применения их в качестве расходоуемых электродов при электрошлаковом переплаве. В настоящее время такие электроды изготавливают методом одноосного прессования. Этот метод не позволяет получать длинномерные заготовки с плотностью выше 80 % и равномерным ее распределением по длине.

При деформации титановой губки методом полунепрерывной винтовой экструзии давление в контейнере составляло 1500–1600 МПа. Полученные заготовки длиной 300 мм и диаметром 16 мм имели относительную плотность 97–98 %. Процесс экструзии проходил устойчиво, при этом, каждая новая порция материала, загруженного в контейнер экструдировалась

при постоянном давлении. Это говорит о том, что каждая порция скомпактированного в винтовой и конической матрице материала оказывает необходимый и достаточный уровень противодействия последующей порции материала для его компактирования, схватывания с предыдущей порцией и устойчивого истечения из матрицы.

### ВЫВОДЫ

1. При консолидации порошковых материалов методом винтовой экструзии выбор схемы деформации обусловлен различными факторами: свойства исходного материала, температура деформации, необходимость применения смазки, требуемые свойства конечного изделия или заготовки и т. д.

2. Полученные свойства прессовок состава медь-вольфрам после деформации ВЭ в оболочке и без нее позволяют рекомендовать для изготовления порошковых облицовок композит  $Cu + 50\% W$  ( $10 \mu m$ ). При сравнении показателей плотности и твердости порошковых заготовок после одного и четырех проходов ВЭ видно, что уже после первого прохода свойства заготовок данного материала достигают максимальных значений, и дальнейшая деформация практически не приводит к их увеличению.

3. Длинномерные заготовки из магниевой стружки, полученные методом полунепрерывной ВЭ, имеют плотность и прочность достаточную не только для того чтобы можно было подвергать их дальнейшему переплаву, но и для изготовления из них деталей ответственного назначения.

4. Метод полунепрерывной винтовой экструзии применен для получения длинномерных заготовок из титановой губки, его можно рекомендовать для разработки технологии производства расходоуемых электродов для электрошлакового переплава.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Varyukhin V. N. Consolidation of amorphous  $Al_{86}Ni_6Co_2Gd_6$  melt-spun ribbons by twist extrusion / V. N. Varyukhin, V. I. Tkach, V. V. Maslov [et al.] // *Materials science forum*. – 2006. – V. 503–504. – P. 699–704.
2. Получение неспеченных гетерогенных композиционных материалов методом винтовой экструзии / Я. Е. Бейгельзимер, М. Б. Штерн, Т. А. Епифанцева, А. С. Сынков // *Физика и техника высоких давлений*. – 2009. – Т 19. – № 3. – С. 120–124.
3. Бейгельзимер Я. Е. Анализ устойчивости полунепрерывной винтовой экструзии порошковых материалов / Я. Е. Бейгельзимер, А. С. Сынков // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 276–278.*
4. Консолидація аморфних лент  $Al_{86}Ni_6Co_2Gd_6$  методом винтової екструзії (ВЭ) / В. І. Ткач, Я. Е. Бейгельзимер, А. С. Сынков, С. Г. Рассолов, С. Г. Сынков, В. В. Маслов, В. К. Носенко // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – Краматорск : ДДМА, 2005. – С. 252–254.*
5. Бейгельзимер Я. Е. Исследование процесса получения длинномерных расходоуемых электродов для электрошлакового переплава из титановой губки методом полунепрерывной винтовой экструзии / Я. Е. Бейгельзимер, А. С. Сынков // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДДМА, 2009. – № 1 (20). – С. 186–188.*
6. Феноменологические теории прессования порошков / М. Б. Штерн, Г. Г. Сердюк, Л. А. Максименко и др. – Киев : Наук. думка, 1982. – 140 с.
7. Бейгельзимер Я. Е. Компактирование магниевой стружки методом комбинированной экструзии. / Я. Е. Бейгельзимер, А. С. Сынков // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – Краматорск : ДДМА, 2006. – С. 372–374.*

Бейгельзимер Я. Е. – д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник ДонФТИ;

Сынков А. С. – мл. науч. сотрудник ДонФТИ.

ДонФТИ – Донецкий физико-технический институт, г. Донецк.

E-mail: asynkov@mail.ru