

УДК 621.762.4

О. В. Бондаренко, А. Ф. Леднянский, М. В. Приходько, А. Ф. Санин

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕССОВАННЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ВОДОРАСПЫЛЕННЫХ ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

У статті встановлений зв'язок між способами і режимами одержання компактних заготовок з водорозпошених порошків алюмінієвих сплавів, їхніми розмірами і технічними характеристиками необхідного для цього обладнання. Показано можливість виготовлення досить великогабаритних заготовок із водорозпошених порошків алюмінієвих сплавів. Отримано розрахункові залежності для визначення максимальної висоти компактної заготовки при заданій висоті робочого простору преса. Отримано залежності геометричних розмірів пресового оснащення і висоти робочого простору використовуваних пресів від властивостей порошків, значень пористості і розмірів заготовок, тиску пресування.

Ключові слова: порошки алюмінієвих сплавів, одержання пресовок з відкритою пористістю, дегазація, компактування пористої заготовки, гідравлічний прес, прес-оснащення.

В статье установлена связь между способами и режимами получения компактных заготовок из водораспыленных порошков алюминиевых сплавов, их размерами и техническими характеристиками необходимого для этого оборудования. Показана возможность изготовления достаточно крупногабаритных заготовок из водораспыленных порошков алюминиевых сплавов. Получены расчетные зависимости для определения максимальной высоты компактной заготовки при заданной высоте рабочего пространства преса. Получены зависимости геометрических размеров прессовой оснастки и высоты рабочего пространства используемых прессов от свойств порошков, значений пористости и размеров заготовок, давления прессования.

Ключевые слова: порошки алюминиевых сплавов, получение пресовок с открытой пористостью, дегазация, компактирование пористой заготовки, гидравлический прес, прес-оснастка.

In the article the connection between the means and modes of the compact pieces of water spray powders of aluminum alloys, their size and technical characteristics required for this equipment. The possibility of a rather large pieces of aluminum alloy powders, water spray. The calculated dependence to determine the maximum height of a compact billet at a given height workspace press. The dependences of the geometric dimensions of press tooling and height of the workspace used presses on the properties of powders, porosity and size of pieces, pressing pressure.

Keywords: aluminum alloy powders, obtaining compacts with open porosity, degassing, compaction of a porous body, hydraulic press, press tooling.

Полуфабрикаты, заготовки и детали, полученные из водораспыленных порошков деформируемых алюминиевых сплавов, обладают рядом преимуществ по сравнению с полученными по традиционной технологии. К этим преимуществам следует отнести, в первую очередь, сочетание высокой прочности и пластичности сплавов, повышенная коррозионная стойкость, возможность использования сырья с повышенным содержанием железа и кремния, в том числе вторичного, однородность химического состава в объеме, возможность получения дисперсно-упрочненных материалов. Именно эти преимущества делают указанные полуфабрикаты, заготовки и детали привлекательными для ракетно-космической и авиационной промышленности. Технологическая схема изготовления компактной порошковой заготовки из порошков алюминиевых сплавов аналогична применяемой для заготовок из дисперсно-упрочненных материалов и состоит из основных этапов [1]:

- получение прессовок с открытой пористостью;
- дегазация;
- компактирование пористой заготовки до относительной плотности 100%;
- термическая обработка.

Использование данной технологической схемы при производстве изделий позволило достичь уровня механических свойств порошковых сплавов АК6 и АД33, не уступающего горячедеформированным полуфабрикатам из этих сплавов.

В зависимости от назначения получаемых заготовок на каждом из этапов могут осуществляться различные технологические процессы, с использованием различных режимов и оборудования. Получение прессовок с открытой пористостью обычно осуществляется прямым прессованием. Компактирование пористой заготовки до относительной плотности 100% может производиться прямым и обратным прессованием, экструзией, прессованием в гидро- и газостатах. Термическая обработка в зависимости от химического состава сплава может представлять собой отжиг либо закалку со старением.

Ракетно-космическая и авиационная промышленность нуждаются в широкой номенклатуре полуфабрикатов, заготовок и деталей различных размеров из алюминиевых сплавов. Сложность состоит в том, что данные отрасли машиностроения работают в условиях единичного и мелкосерийного, значительно реже среднесерийного производства, и нуждаются в малых партиях материалов и полуфабрикатов. В таких условиях основное внимание целесообразно сосредоточить на технологических процессах и оборудовании для получения крупных заготовок с использованием максимально простой технологической оснастки и универсального инструмента. Это позволяет достаточно полно загрузить наиболее сложное и дорогостоящее оборудование, в первую очередь, гидравлические прессы, и обеспечить выпуск хотя бы исходных заготовок достаточно большими партиями. Дальнейшее получение из

них деталей либо полуфабрикатов может осуществляться обычными методами обработки металлов давлением и резанием. Однако в настоящее время получение крупногабаритных компактных порошковых заготовок прямым прессованием на гидравлических прессах в промышленных технологиях используется недостаточно, что связано, главным образом, с проблемами выбора наиболее эффективного оборудования и оснастки.

Целью данной работы является установление связи между способами и режимами получения компактных заготовок, их размерами и техническими характеристиками необходимого для этого оборудования.

Основной материал исследования. Проведенные в работе исследования ориентированы на использование гаммы прессов, используемых на машиностроительных заводах. Получение прессовок с открытой пористостью из водораспыленных порошков алюминиевых сплавов осуществляется при давлении около 200 МПа и комнатной температуре. При этом достигается относительная плотность 75–80% и обеспечивается прочность прессованных заготовок, достаточная для их транспортировки и складирования промышленными средствами. Учитывая значение давления прессования, необходимого для получения заготовки с заданной пористостью, а также усилия прессов можно определить площадь поперечного сечения заготовки. Наиболее просто осуществлять прессование цилиндрических заготовок, так как радиус кривизны по всему периметру одинаков и, следовательно, в каждом поперечном сечении в максимально возможной степени уравниваются условия перемещения частиц порошка друг относительно друга и относительно стенок матрицы. Кроме того, пресс-оснастка для изготовления цилиндрических заготовок наиболее проста в изготовлении. В работе рассматривается в основном получение именно цилиндрических заготовок, хотя при необходимости могут быть получены и заготовки другой формы, например, прямоугольные в плане с закругленными углами, эллиптические, многоугольные и другие. Площадь поперечного сечения заготовок в зависимости от усилия прессования приведена в таблице.

Важнейшим этапом технологического процесса является дегазация, которую необходимо осуществлять в вакуумной печи для удаления паров воды, которые выделяются из поверхностных слоев частиц порошка, и предотвращения окисления поверхности частиц порошка. Удалить воду с поверхности частиц порошка через поровые каналы необходимо, так как при последующих нагревах компактной заготовки возможно ее разрушение из-за того, что объем водяных паров может в несколько раз превышать объем металла. Хранить дегазированную заготовку необходимо в плотно закрытом контейнере с насыпанным на дно слоем поглотителя паров воды, например, силикагеля.

Компактирование пористой заготовки до относительной плотности 100% может быть проведено при различном давлении и температуре. Результаты проведенных авторами экспериментов показали, что значения давления прессования $P_{\text{ПРЕС}}$ при компактировании пористой заготовки до относительной

Площадь поперечного сечения заготовок и их диаметр при различных усилиях прессов и давлениях прессования (величина диаметра округлена до ближайшего целого меньшего значения)

№ П/П	Усилие прессы, МН	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$
		$P = 200 \text{ МПа}$		$P = 400 \text{ МПа}$		$P = 800 \text{ МПа}$		$P = 1200 \text{ МПа}$	
1	4	20000	159	10000	112	5000	79	3330	65
2	10	50000	252	25000	178	12500	126	8330	102
3	25	125000	398	62500	282	31250	199	20830	162
4	31,5	157500	447	78750	316	39375	223	26250	182
5	50	250000	564	125000	398	62500	282	41670	230
6	63	315000	633	157500	447	78750	316	52500	258
7	100	500000	797	250000	564	125000	398	83330	325
8	120	600000	874	300000	618	150000	437	100000	356
9	150	750000	977	375000	690	187500	488	125000	398
10	200	1000000	1128	500000	797	250000	564	166670	460
11	300	1500000	1381	750000	977	375000	690	250000	564
12	650	3250000	2034	1625000	1438	812500	1017	541670	830
13	750	3750000	2185	1875000	1545	937500	1092	625000	892
14	1000	5000000	2523	2500000	1784	1250000	1261	833330	1030

плотности 100% связано с пределом текучести σ_T соотношением $P_{\text{ПРЕС}} \approx 6\sigma_T$. В холодном состоянии при комнатной температуре давление прессования должно составлять 1100–1300 МПа. С увеличением отношения объема заготовки к площади ее боковых (соприкасающихся с матрицей) поверхностей возможно уменьшение давления на 25–50%. С повышением температуры до значений, соответствующих диапазону горячей деформации алюминиевых сплавов, то есть до 350–450 °С [2], можно уменьшить давление прессования до 400–500 МПа и даже до 200 МПа. Температура нагрева может изменяться в зависимости от марки сплава, дополнительно введенных в него легирующих элементов, а также наполнителей.

Если сравнить максимально возможную площадь заготовки при различном давлении прессования, как это показано в таблице 1, то можно сделать вывод, что для наиболее полного использования силовых характеристик прессов получение заготовок с открытой пористостью и их компактирование необходимо осуществлять при одинаковом давлении, то есть 200 МПа. Компактирование пористых заготовок необходимо вести в подогреваемой оснастке, чтобы избежать охлаждения поверхностных слоев заготовки.

Термическая обработка компактной заготовки, как было отмечено выше, может быть различной. Обычно это закалка и старение либо отжиг, в зависимости от марки сплава и назначения заготовки.

Кроме площади поперечного сечения и его характерного размера, например, диаметра, прессованная заготовка характеризуется высотой. Определить, как связана высота компактной заготовки с высотой рабочего пространства пресса можно следующим образом. Насыпная плотность водораспыленных порошков алюминиевых сплавов составляет около 25–30% от теоретической плотности компактного металла. Плотность прессовки с открытой пористостью составляет уже 75–80% от теоретической. Следовательно, высота прессовки с открытой пористостью $h_{\text{П}} \approx 1,33h$, где h – высота заготовки, имеющей 100%-ную плотность. С учетом того, что плотность прессовки в среднем в три раза больше насыпной плотности порошка, высота пресс-формы h_1 , в которую засыпается порошок, определяется следующим образом:

$$h_1 \approx 3 \cdot 1,33h \approx 4,00h .$$

Высота нижнего пуансона h_2 должна быть такой же, как и пресс-формы, следовательно, $h_2=h_1 \approx 4,0h$. Так как высота прессовки составляет 0,33 от высоты засыпки, то высота верхнего пуансона h_3 определяется из соотношения:

$$h_3 \approx 2 \cdot 1,33h \approx 2,67h .$$

Таким образом, высота $H_{\text{ПК}}$ рабочего пространства пресса для получения прессовок с открытой пористостью определяется по формуле:

$$H_{\text{ПК}} = h_1 + h_2 + h_3 \approx 4,00h + 4,00h + 2,67h \approx 10,67h .$$

С учетом того, что пресс-форма и нижний пуансон должны перекрываться на 50–300 мм в зависимости от диаметра, наличия присоединительных деталей пуансонов, устройства для подъема и опускания пресс-формы, зазоров между верхним пуансоном и пресс-формой в первом приближении высота рабочего пространства пресса H и высота компактной заготовки могут быть связаны соотношением:

$$H_{\text{ПК}} \approx 12h .$$

В условиях, когда получение прессовок с открытой пористостью и их компактирование до 100%-ной плотности приходится осуществлять на одном и том же прессе, то есть $H_{\text{ПК}} = H$, с помощью данного соотношения можно определить высоту заготовки, которая может быть изготовлена. Если же имеется возможность осуществлять получение прессовок с открытой пористостью и их компактирование на разных прессах, то высота рабочего

пространства пресса для компактирования пористых заготовок H_{OK} может быть определена из следующих соотношений:

$$h_1 = h_{II} \approx 1,33h;$$

$$h_2 = h_1 \approx 1,33h;$$

$$h_3 \approx 0,33h;$$

$$H_{OK} \approx 1,33h + 1,33h + 0,33h \approx 3,00h.$$

С учетом ограниченного количества достаточно мощных прессов, которыми располагает не только отдельно взятое предприятие, но и промышленность любой, даже весьма развитой страны, в условиях единичного и мелкосерийного машиностроительного производства и, соответственно, малотоннажного производства конструкционных материалов и полуфабрикатов из них, вполне целесообразным может оказаться использование одного и того же пресса для получения пористых заготовок и их компактирования. При наращивании объемов производства целесообразно создать участок или цех, оснащенный, как минимум, двумя прессами с соответствующим нагревательным оборудованием.

Для компактирования порошков алюминиевых сплавов могут быть использованы как штамповочные, так и ковочные прессы. Жесткая связь между усилием пресса и высотой его рабочего пространства отсутствует. Эти параметры определяются, исходя из назначения пресса на каждом конкретном предприятии. По данным сайта ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» [3] высота рабочего пространства штамповочных прессов производства этого предприятия составляет: 50 МН – 650 мм, 100 МН – 2300 мм, 150 МН – 2300 мм, 300 МН – 1650 мм, 650 МН, 750 МН – 4500 мм. Имеются на предприятиях и предлагаются производителями штамповочные прессы с усилием 25–31,5 МН и высотой рабочего пространства до 3900 мм. У ковочных прессов с усилием 100–150 МН высота рабочего пространства может достигать 7000–8500 мм.

Данные таблицы 1, расчетных формул и технические характеристики имеющихся на машиностроительных предприятиях, а также строящихся прессов показывают возможность изготовления достаточно крупных заготовок из порошков алюминиевых сплавов, полученных распылением расплавов водой.

Выводы. Результаты исследований показали возможность изготовления достаточно крупногабаритных заготовок из водораспыленных порошков алюминиевых сплавов.

Получены расчетные зависимости для определения максимальной высоты компактной заготовки при заданной высоте рабочего пространства пресса.

Получены зависимости геометрических размеров прессовой оснастки и высоты рабочего пространства используемых прессов от свойств порошков, значений пористости и размеров заготовок, давления прессования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Портной К. И. Дисперсно-упрочненные материалы / К. И. Портной, Б. Н. Бабич. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.
2. Скрябин С. А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием / С. А. Скрябин. – Киев: КВІЦ, 2004. – 346 с.: *ил.*
3. Новокраматорский машиностроительный завод [*Электронный ресурс*]: сайт компании. – *Режим доступа:* www.nkmz.com/index.php. – Название с титул. экрана.

Надійшла до редколегії 19.09.2013

УДК 629.764

П. А. Гайдученко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ОПТИМИЗАЦИЯ ПО МАССЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТАЮЩЕГО НА СЖАТИЕ СФЕРИЧЕСКОГО ДНИЩА

У статті отримано аналітичне розв'язання задачі вибору параметрів сферичного гладкого днища мінімальної маси. Результат подано у вигляді простого алгоритму, адаптованого до практичних проектувальних розрахунків.

Ключові слова: оптимальне проектування несучих конструкцій, ракетно-космічні системи, мінімум маси.

В статье получено аналитическое решение задачи выбора параметров сферического гладкого днища минимальной массы. Результат представлен в виде простого алгоритма, адаптированного к практическим проектировочным расчетам.

Ключевые слова: оптимальное проектирование, несущая конструкция, ракетно-космические системы, минимум массы.