

УДК 621.762.4

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

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ПРЕССОВАНИЯ**

В статье предложены схемы обратного прессования с целью получения заготовок-труб различного диаметра и длины для изготовления оболочек и листовых полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Установлена последовательность определения размеров исходной заготовки, конструкции заготовки-трубы, параметров прессы, схемы прессования и конструкции пуансона в зависимости от конструкции оболочек либо размеров листовых полуфабрикатов, для изготовления которых предназначена заготовка-труба. Разработаны конструктивные решения,

---

© О.В. Бондаренко, А.Ф. Леднянский, М.В. Приходько, А.Ф. Санин, 2014

обеспечивающие получение оболочки заданной толщины. Эти решения состоят в использовании центрирующего кольца на пуансоне и креплении пуансона к поперечине прессы, обеспечивающем установку такого кольца.

*Ключевые слова:* алюминиевые сплавы, труба-заготовка, оболочка, листовой полуфабрикат, гидравлический пресс.

У статті запропоновано схеми зворотного пресування з метою отримання заготовок-труб різного діаметру і довжини для виготовлення оболонок і листових напівфабрикатів з алюмінієвих сплавів. Встановлено послідовність визначення розмірів вихідної заготовки, конструкції заготовки - труби, параметрів преса, схеми пресування і конструкції пуансона в залежності від конструкції оболонок або розмірів листових напівфабрикатів, для виготовлення яких призначена заготовка-труба. Розроблено конструктивні рішення, що забезпечують отримання оболонки заданої товщини. Ці рішення полягають у використанні центруючого кільця на пуансоні і кріпленні пуансона до поперечки преса, яке забезпечує установку такого кільця.

*Ключові слова:* алюмінієві сплави, труба-заготовка, оболонка. Листовий напівфабрикат, гідрравлічний прес

The paper proposes a reverse compression scheme to obtain billet - pipes of various diameters and lengths for the manufacture of shells and sheet semis of aluminum alloys. The sequence of determining the size of the original billet-pipe parameters press, compression schemes and designs punch depending on the design of shells or sheet semis size, which is intended for the manufacture of the blank - pipe. The constructive solutions to ensure receipt of the shell of a given thickness. These solutions include the use of a centering ring on the punch and the punch to mount feedback pressing, providing the installation of such a ring.

*Keywords:* aluminum alloys, billet – pipe, shell, sheet semis, hydraulic press.

**Введение.**

Значительное количество деталей современной техники имеет форму оболочек различной формы и размеров. Для их изготовления необходимы листовые полуфабрикаты широкой номенклатуры из различных материалов. Физико-механические свойства современных алюминиевых сплавов позволяют в ряде случаев заменить ими стали и титановые сплавы. Это дает возможность значительно уменьшить массу различных конструкций, а в некоторых случаях и удешевить их. Основным методом для изготовления листовых полуфабрикатов в настоящее время является горячая прокатка. Вместе с тем многие алюминиевые сплавы, в том числе высокопрочные, трудно поддаются либо вообще не поддаются горячей прокатке. Эти сплавы достаточно хорошо поддаются прессованию. Известен технологический процесс, применяемый для изготовления оребренных панелей и состоящий в следующем [1]:

- прессование цилиндрической заготовки-трубы (оболочки);
- обрезка фланца (пресс-остатка);
- разрезка трубы;
- разгибание трубы;
- правка заготовки различными способами в горячем либо в холодном состоянии;
- при необходимости – термическая обработка.

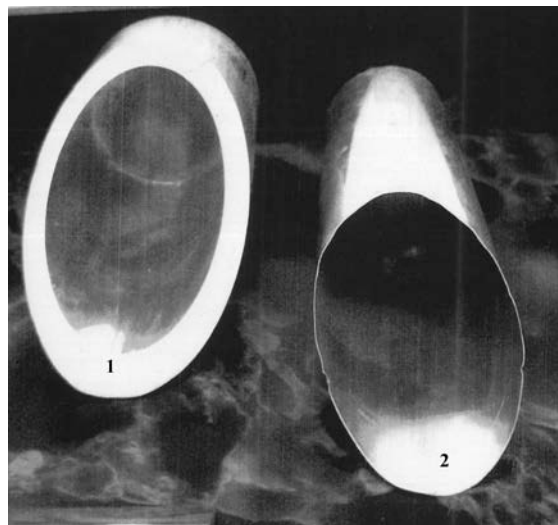
С некоторыми изменениями этот технологический процесс может быть использован и для получения листовых полуфабрикатов.

Наиболее сложной, требующей мощного оборудования операцией является прессование цилиндрической заготовки-трубы. Прессование цилиндрической заготовки-трубы может быть использовано и для производства оболочек, которые в дальнейшем применяются как самостоятельные детали, а не заготовки для изготовления листовых полуфабрикатов. Изменения касаются, в основном, применяемого оборудования и схемы прессования. Исходные заготовки могут быть получены методами литья,ковки и порошковой металлургии.

В работе [1] указано, что прямое прессование цилиндрических заготовок-труб для панелей производится из цилиндрического контейнера на горизонтальных прессах. Такие прессы с усилием 50...200 МН и диаметром контейнера 800 мм и более мало распространены, а имеющиеся на металлургических, авиационных и судостроительных заводах в разных странах загружены производством панелей. Наладка и переналадка таких прессов сложна и трудоёмка.

Альтернативой прямому прессованию на горизонтальном прессе может быть обратное прессование на вертикальных ковочных либо штамповочных прессах. Преимуществом обратного прессования являются меньшие усилия и возможность использования широко распространенного оборудования. На многих машиностроительных и металлургических заводах имеются ковочные и штамповочные вертикальные прессы с усилием 25...150 МН. Технологический процесс обратного прессования оболочек из алюминиевых сплавов был успешно опробован в лабораторных условиях в Днепропетровском

національному університеті імені Олеся Гончара. Образці оболонок приведені на рисунку 1.



1 – оболочка с толщиной стенки – 4,0 мм ;  
2 – оболочка с толщиной стенки 0,2 мм.

**Рис. 1. Образцы оболочек из алюминиевого сплава АК6, полученные методом обратного прессования**

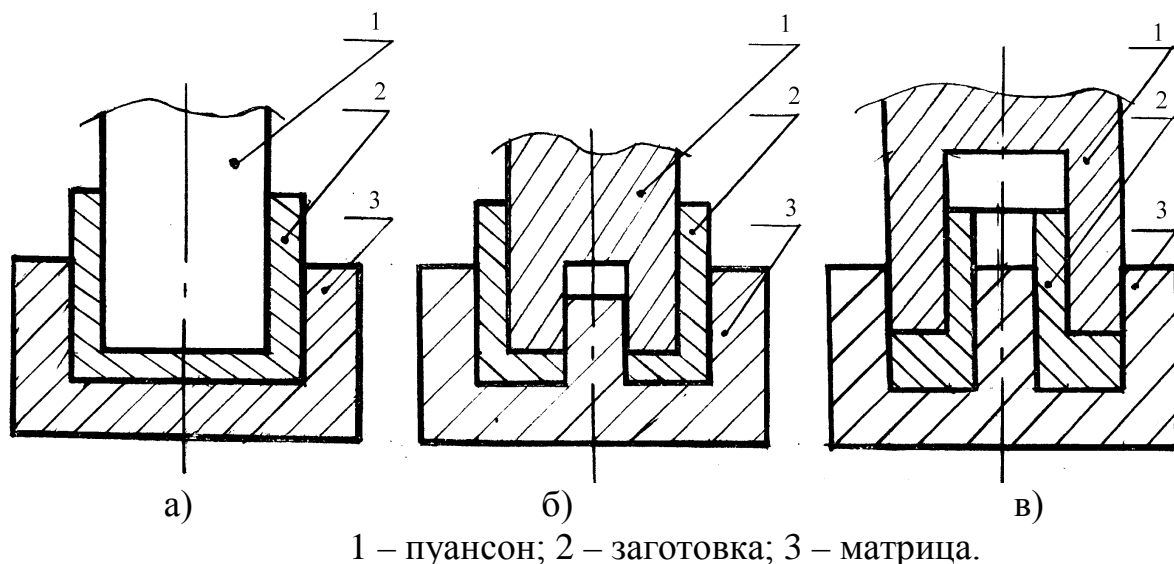
#### **Постановка задачи.**

Необходимо определить, какие схемы обратного прессования могут быть использованы для получения заготовок-труб различного диаметра и длины. Также необходимо определить последовательность расчета размеров исходных заготовок, параметров прессов, конструкций заготовок-труб и конструкций пуансонов. Кроме того, необходимо разработать конструктивные решения, обеспечивающие получение тонкостенных заготовок-труб с заданной толщиной стенки.

#### **Основной материал исследований.**

Из литературных [2,3] и опытных данных известно, что давление прессования  $P_{\text{ПРЕС}}$  для алюминиевых сплавов определяется из соотношения  $P_{\text{ПРЕС}} = 4 \dots 6 \sigma_T$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести прессуемого материала. С учетом физико-механических характеристик алюминиевых сплавов при холодной деформации  $P_{\text{ПРЕС}} \approx 1200 \dots 1500$  МПа, а при горячей  $P_{\text{ПРЕС}} \approx 200 \dots 250$  МПа [2,3].

Возможны три схемы обратного прессования, приведенные на рисунке 2.



**Рис.2** Схемы обратного прессования: а) прессование сплошным пуансоном; б) прессование полым пуансоном с течением металла снаружи пуансона; в) прессование полым пуансоном с течением металла внутри пуансона.

Площадь поперечного сечения и максимальный диаметр сплошного пуансона (рис.2а) приведены в таблице 1. Использование полых исходных заготовок позволяет увеличить максимальный диаметр получаемой заготовки-трубы, получаемой на одном и том же прессе, но может приводить к снижению устойчивости пуансона.

Данные, приведенные в таблице 1, соответствуют случаю, когда толщина стенки заготовки-трубы намного меньше диаметра сплошного пуансона либо внутреннего диаметра полого пуансона. Значения площади поперечного сечения и диаметра сплошного пуансона, указанные в таблице, получены для самого благоприятного случая, когда пресс развивает усилие, соответствующее паспортным данным. В некоторых случаях на усилие пресса необходимо вводить коэффициент, учитывающий снижение усилия по сравнению с номинальным. Наиболее часто этот коэффициент равен 0,9.

Анализ приведенных в таблице 1 данных показывает, что заготовки наибольших размеров могут быть использованы при горячей деформации и давлении прессования 200...250 МПа. Увеличения давления до 400 МПа при горячей деформации приводит к ощутимому уменьшению максимально достижимых размеров заготовки-трубы при использовании одного и того же пресса. Еще значительно уменьшатся размеры заготовок в случае холодного прессования даже при давлении 1200...1500 МПа.

**Таблица 1.**

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

№	Усилие пресса, МН	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$	$S, \text{мм}^2$	$d, \text{мм}$
		$P_{\text{ПРЕС}} =$ $= 200 \text{ МПа}$		$P_{\text{ПРЕС}} =$ $= 250 \text{ МПа}$		$P_{\text{ПРЕС}} =$ $= 400 \text{ МПа}$		$P_{\text{ПРЕС}} =$ $= 1200 \text{ МПа}$	
1	4	20000	159	16000	142	10000	112	3330	65
2	10	50000	252	40000	225	25000	178	8330	102
3	25	125000	398	100000	318	62500	282	20830	162
4	31,5	157500	447	126000	399	78750	316	26250	182
5	50	250000	564	200000	504	125000	398	41670	230
6	63	315000	633	252000	566	157500	447	52500	258
7	100	500000	797	400000	712	250000	564	83330	325
8	120	600000	874	480000	781	300000	618	100000	356
9	150	750000	977	600000	873	375000	690	125000	398
10	200	1000000	1128	800000	1008	500000	797	166670	460
11	300	1500000	1381	1200000	1235	750000	977	250000	564
12	650	3250000	2034	2600000	1819	1625000	1438	541670	830
13	750	3750000	2185	3000000	1954	1875000	1545	625000	892
14	1000	5000000	2523	4000000	2256	2500000	1784	833330	1030

Наиболее просты в изготовлении цилиндрические заготовки-трубы (оболочки), которые имеют наиболее широкую сферу применения, так как могут быть заготовками для изготовления листовых полуфабрикатов, труб и сильфонов. Возможно получение непосредственно прессованием заготовок-труб (оболочек) и с некруглой формой поперечного сечения, например, эллиптической или ромбовидной со скругленными углами, а также деталей коробчатой формы. Оболочки конической и оживальной форм могут быть получены обжатием либо раздачей цилиндрической заготовки-трубы (оболочки) с нагревом до температуры горячей деформации либо без нагрева. В дальнейшем будет рассматриваться получение именно цилиндрических заготовок-труб.

Основной проблемой при обратном прессовании заготовок-труб (оболочек) является устойчивость пуансона. При использовании сплошного пуансона решается задача об устойчивости стержня, полого – цилиндрической оболочки [4]. Для расчета устойчивости пуансона необходимо определить его размеры (наружный и внутренний диаметры, длину). Размеры пуансона определяются конструкцией трубы-заготовки (оболочки), исходной заготовки и размерами рабочего пространства пресса. Высота рабочего пространства пресса должна быть как минимум в два раза больше длины заготовки-трубы. Следовательно, длина пуансона не превышает половины высоты рабочего пространства пресса. Размеры рабочего пространства пресса в плане должны позволять разместить в нем заготовку в пресс-оснастке. В самом первом приближении толщина стенок матрицы равняется диаметру сплошной заготовки.

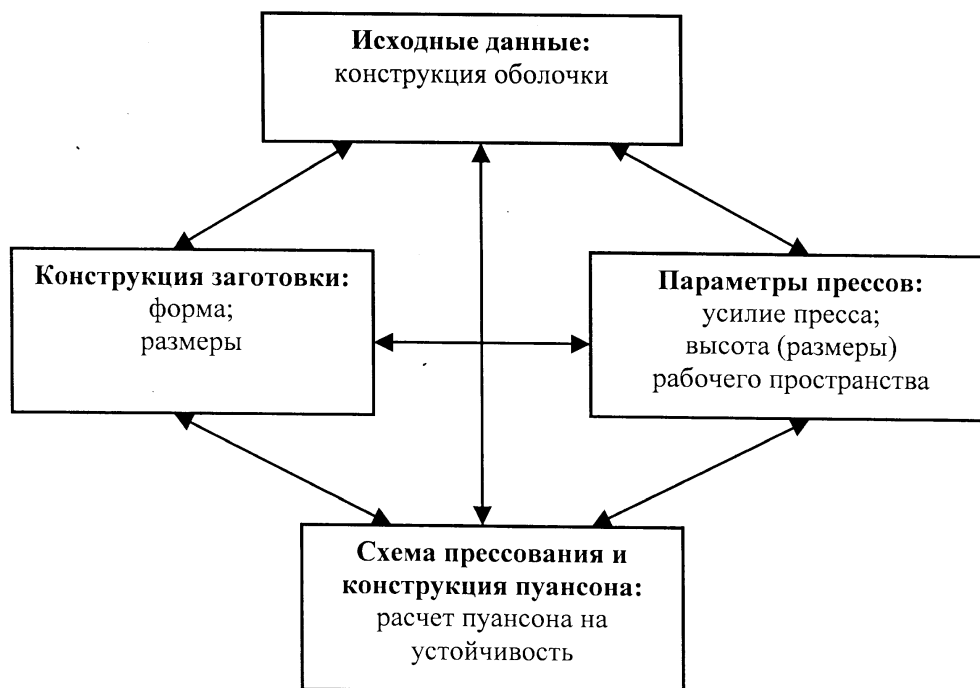
Для прессования оболочек из алюминиевых сплавов могут быть использованы как штамповочные, так и ковочные прессы. Жесткая связь между усилием прессы и высотой его рабочего пространства отсутствует. Эти параметры определяются, исходя из назначения прессы в каждом конкретном случае. По данным сайта одного из крупнейших в мире производителей прессового оборудования ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» [5], высота рабочего пространства штамповочных прессов производства этого предприятия составляет: 50 МН – 650 мм, 100 МН – 2300 мм, 150 МН – 2300, 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.

Следовательно, длина трубы-заготовки (оболочки) и, соответственно, ширина листа, величина которых не должна превышать половины высоты рабочего пространства прессы, может составлять в среднем от 1800 до 4000 мм с учетом пространства, необходимого для закрепления пуансона. Для получения листа длиной 4800 мм, диаметр цилиндрической оболочки должен быть около 1600 мм с учетом припуска на обрезку кромок. Таким образом, длина заготовки-трубы для получения листовых полуфабрикатов может составлять 1800...4000 мм, а средний диаметр – около 1600. Отличием такого листа от полученного прокаткой является образование волокон вдоль короткой, а не длинной стороны. Наиболее вероятно использование полого пуансона с течением материала снаружи пуансона (рис.2б). В этом случае длина пуансона составит 1800...4000 мм, наружный диаметр около 1600 мм, толщина стенки – 100-150 мм. Такой полый пуансон может рассматриваться как короткая оболочка, обладающая высокой устойчивостью даже в условиях нагрева до температуры 200-300°C, возможном при горячем прессовании алюминиевых сплавов.

Для получения труб и заготовок под сильфоны диаметр труб-заготовок будет в несколько раз меньше (обычно до 300...400 мм, намного реже до 500...800мм) при той же или соизмеримой длине. В этом случае при использовании сплошного пуансона либо полого пуансона (рис.2а) с течением металла снаружи (рис.2б) их устойчивость может оказаться недостаточной из-за большого отношения между длиной и диаметром. Для повышения устойчивости возможно использование полого пуансона с течением металла внутри него и соответствующим увеличением диаметра заготовки (рис.2а), но при этом увеличится сила, необходимая для прессования и может понадобиться более мощное прессовое оборудование.

Последовательность определения формы и размеров исходной заготовки, выбора схемы прессования и конструкции пуансона, определения необходимых характеристик прессов приведена на рисунке 3. Двусторонние стрелки означают, что исходными данными, кроме конструкции трубы-заготовки, могут

быть, например, и параметры прессов, имеющихся на предприятии либо на предприятиях, с которыми возможна кооперация.



**Рис. 3. Последовательность определения формы и размеров исходной заготовки, выбора схемы прессования и конструкции пуансона, определения необходимых характеристик прессов**

Исходными данными является конструкция оболочки либо размеры листового полуфабриката. На их основе определяются размеры заготовки-трубы. Если по каким-либо причинам заготовку-трубу требуемых размеров изготовить невозможно (отсутствие необходимого оборудования и возможности его приобрести), возникает необходимость изменения конструкции исходной заготовки. Например, в случае недостаточной длины заготовки-трубы, оболочка может быть выполнена сварной из нескольких частей, соединенных кольцевыми швами. В случае недостаточности размеров одного листа для изготовления, например, днища какой-либо емкости, конструкция этого днища может предусматривать приварку к основному листу косынок. На основании конструкции заготовки-трубы определяется конструкция исходной заготовки и способ ее изготовления.

На этапе получения исходной заготовки возможны две схемы: слиток либо порошковая заготовка – прессованная труба-заготовка или слиток либо порошковая заготовка – поковка – прессованная оболочка. Порошковую заготовку целесообразно получать максимальных размеров, какие обеспечиваются доступным технологическим оборудованием и далее проковывать, штамповать либо прессовать и механически обрабатывать, в том числе с разделением на части, до нужных размеров, а затем прессовать

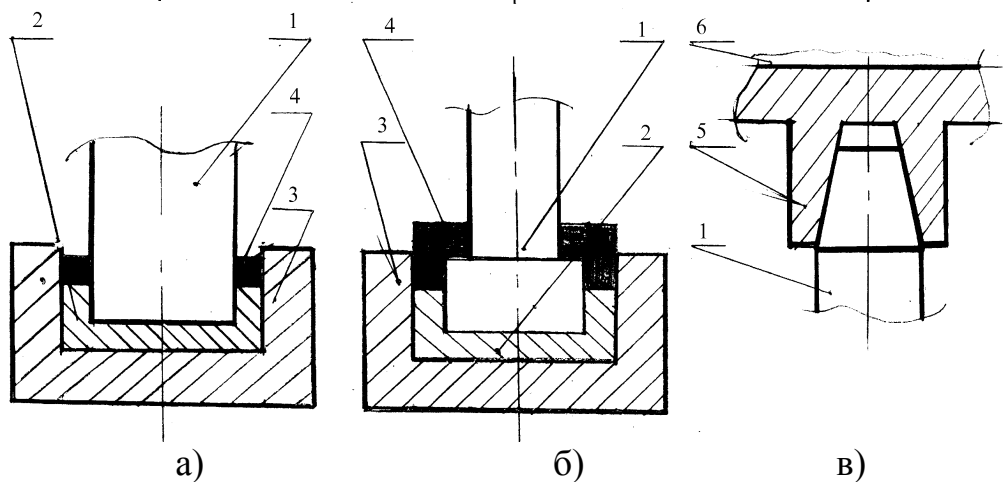
заготовку-трубу. Проковка слитков из различных алюминиевых сплавов приводит к снижению прочности получаемых последующим прессованием полуфабрикатов в продольном направлении [1], что считается недостатком, но к повышению физико-механических характеристик, особенно пластичности, в направлении ширины и толщины [6]. Поэтому в зависимости от назначения оболочки либо конструкции, для изготовления которой предназначен листовой полуфабрикат, целесообразным является изготовление отливок различных размеров. Для этого необходим комплект металлических литейных форм, например, кокилей. В любом случае для обеспечения необходимых для ответственных изделий физико-механических свойств материала требуется, чтобы коэффициент формоизменения составлял от 18 до 25. Исходя из этого, а также с учетом возможностей доступного оборудования, определяется форма исходной заготовки (сплошная или полая), а также ее высота. В соответствии с формой и размерами исходной заготовки выбирается схема прессования и проектируется пресс-оснастка (пуансон и матрица). Если пуансон оказывается неустойчивым, то корректируется сначала схема прессования, затем форма и размеры заготовки и характеристики прессов.

Еще одним важным вопросом является обеспечение необходимой точности такого размера, как толщина стенки заготовки-трубы. Чем меньше толщина стенки, тем точнее должны быть выдержаны зазоры между пуансоном и стенками матрицы. В зависимости от температуры деформации величина зазора между пуансоном и стенками матрицы изменяется: при холодной деформации зазор составляет около 0,05 мм; при горячей деформации зазор может быть равен нескольким десятым долям миллиметра. Эффективной мерой по стабилизации величины зазора и толщины стенки заготовки-трубы является использование накладного центрирующего кольца различной формы. Такое кольцо ограничивает отклонение оси пуансона от оси матрицы. В результате разнотолщинность заготовки-трубы оказывается в пределах величины зазора между накладным кольцом и стенкой матрицы. На рисунке 4 приведены варианты размещения центрирующего кольца на пуансоне и соответствующее им крепление пуансона к поперечине пресса.

#### **Выводы.**

Предложены схемы обратного прессования с целью получения заготовок-труб различного диаметра и длины для изготовления оболочек и листовых полуфабрикатов из алюминиевых сплавов.





1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица; 4 – центрирующее кольцо; 5 – держатель пуансона; 6 – поперечина пресса.

**Рис. 4. Схемы размещения накладного центрирующего кольца на пуансоне:**

- а) размещение центрирующего кольца на гладком пуансоне;**  
**б) размещение центрирующего кольца для прессования тонкостенных оболочек;**  
**в) крепление пуансона к поперечине пресса при прессовании тонкостенных заготовок-труб.**

Установлена последовательность определения размеров исходной заготовки, конструкции заготовки-трубы, параметров пресса, схемы и конструкции пуансона в зависимости от конструкции оболочек либо размеров листовых полуфабрикатов, для изготовления которых предназначена заготовка-труба.

Разработаны конструктивные решения, обеспечивающие получение оболочки заданной толщины. Эти решения состоят в использовании центрирующего кольца на пуансоне и креплении пуансона к поперечине пресса, обеспечивающем установку такого кольца.

### Библиографические ссылки

1. Ерманок М.З. Прессование панелей из алюминиевых сплавов. 2 –е изд. М., «Металлургия», 1974, 232 с.
2. Бондаренко О.В., Леднянский А.Ф., Приходько М.В., Санин А.Ф. Определение размеров технологической оснастки и технических характеристик оборудования для изготовления прессованных заготовок из водораспыленных порошков алюминиевых сплавов. // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Зб. наук.пр. /Д.: Пороги, 2013. – С. 8-14. Т. XVI.
3. Скрябин С.А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием. – Киев: КВЦ, 2004. – 346 с.: ил.
4. И.А. Биргер Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с., ил.
5. [www.nkmz.com/index.php](http://www.nkmz.com/index.php)

6. Применение алюминиевых сплавов: Справ. Изд./ Альтман М.Б., Андреев Г.Н., Арбузов Ю.П. и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1985. 344 с.

*Надійшла до редколегії 26.05.2014*