

Скрябин С. А.

Научно-  
производственный  
центр «Ухналь»  
г. Киев

Швец Л. В.

Винницкий  
государственный  
аграрный  
университет

УДК 621.982: 669.295

## ВАЛЬЦОВКА ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО И ПРИБЛИЖЕННЫХ К НЕМУ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

У статті приведені коефіцієнти витяжки експериментально встановлені при вальцюванні заготовок з алюмінієвих сплавів, класифікація типових заготовок і деяких видів профілів складного поперечного перерізу, що вальцюються в умовах ізотермічного і наближених до нього деформування, результати всебічних (-макро, -мікро, механічні властивості) досліджень.

The experimentally determined reduction ratio when rolling the storage from aluminum alloy, classification of standard storages and some type of the profiles of the complex cross-section rolling in in isothermal and drawn near to it warping condition, overall results (-macro, -micro, mechanical characteristic) of the researches are given in article.

На современном этапе развития машиностроения, одним из важнейших резервов повышения эффективности производства является совершенствование технологических процессов изготовления заготовок, т.к. на этой стадии осуществляется первичное формообразование деталей. Основная задача этих процессов состоит в максимальном приближении формы и размеров заготовок к форме и размерам готовых деталей, при обеспечении необходимых физико-механических свойств.

К технологическим процессам, отвечающим этим требованиям, относится процесс изотермического деформирования. Создание условий изотермического деформирования позволяет проводить штамповку в оптимальном термомеханическом режиме, использовать явление сверхпластичности и дает возможность изготавливать штампованные поковки сложной конфигурации (фланцы, кронштейны, фитинги, рычаги, качалки и др.), с минимальными допусками на механическую обработку, минимальным облоем, штамповочным уклоном 30'... 1° 30', обеспечить КИМ 0,8...0, 85, рис. 1 а, б, в.

Процесс изотермического деформирования заготовки осуществляется за

один ход гидравлического пресса и процесс ориентирован на изготовление типовых штампованных поковок, представленных на рис. 1. Применение подготовительно – заготовительных ручьев на оборудовании для изотермической штамповки не предусмотрено.

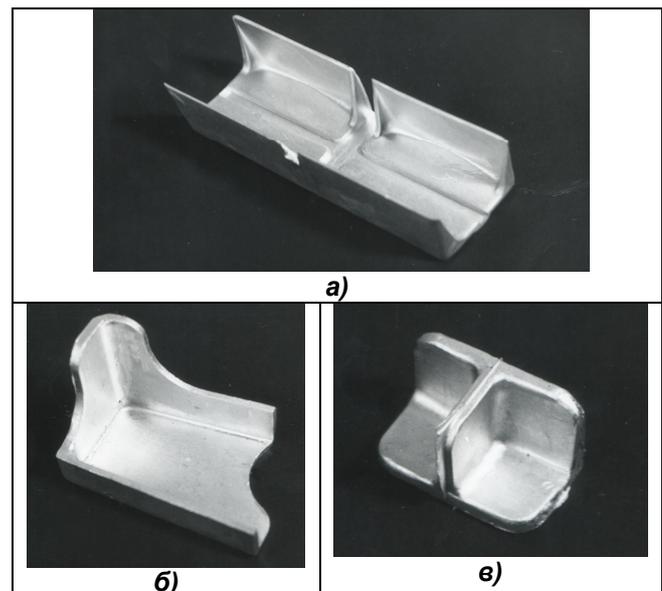
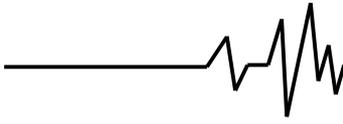


Рис. 1. Типовые поковки, изготавливаемые изотермической штамповкой



В номенклатуре штампуемых поковок значительный объем занимают поковки с вытянутой осью и переменным сечением вдоль оси (рычаги, кулисы, качалки и др.). Существующие технологические процессы изготовления штампованных поковок из алюминиевых сплавов с вытянутой осью, из неподготовленных заготовок, характеризуются низкой производительностью, высокой трудоемкостью и повышенным расходом металла.

Актуальность разработки и внедрения малоотходных технологических процессов штамповки поковок из алюминиевых сплавов на предприятиях авиационной промышленности, обусловлена значительным применением в изделиях отрасли этих сплавов, повышенным расходом металла (КИМ 0,15 – 0,3), высокой трудоемкостью, длительным циклом изготовления качественных штампованных поковок (как правило, 2 – 3 штамповки с промежуточными операциями нагрева, обрезки облоя, травления, зачистки) и задачами по совершенствованию металлосберегающих технологий [1 - 3].

Данная работа выполнялась в соответствии с «Державною комплексною програмою розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року». Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 12.12.2001 р., № 1665 – 25 , п.6.1.3. „Нові технології та матеріали, стандартизація, системи якості, нормативне забезпечення, виробництво та ремонту авіаційної техніки”.

Широкое использование алюминиевых сплавов определяется их техническими, физическими и механическими свойствами. Применение процесса вальцовки заготовок в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, позволит снизить усилия деформирования за счет нагрева инструмента до температур деформирования (или близко к ним), проводить деформацию с высокими степенями и коэффициентами вытяжки за счет повышения пластичности обрабатываемого металла, которое происходит из – за полного протекания разупрочняющих процессов. Равномерная деформация заготовки, при отсутствии зон затрудненной деформации и локального перегрева, обеспечивает хорошую и всестороннюю проработку структуры, и, как следствие, уменьшает разброс свойств в объеме заготовки.

В настоящее время опубликовано мало работ по исследованию возможностей вальцовки заготовок в условиях изотермического и приближенных к нему

деформирования. Поэтому проведение исследований по влиянию температур нагрева заготовок и вальцовочных штампов, степени деформации на технологические параметры вальцовки заготовок в условиях изотермического деформирования и приближенных к нему, является актуальной задачей, решение которой приведет к улучшению пластичности и снижению усилий деформирования, повышению качества полуфабрикатов.

Для решения поставленных задач были проведены аналитические и экспериментальные исследования процесса вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования. Исследования проводились на алюминиевых сплавах АК6, АК4, АК4 – 1, АК8, АМг1, АМг2, АМг6, АМЦ с размерами  $\varnothing$  14, 18, 20, 25 мм и длиной 150 мм в гладких валках и калибрах различных систем на установке для изотермической вальцовки заготовок, описанной в работе [2].

Экспериментальными исследованиями установлены коэффициенты вытяжки для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов в гладких валках и калибрах различных систем в условиях изотермического и приближенного к нему деформирования.

Так, при общем коэффициенте вытяжки:

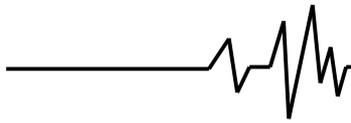
-  $\lambda \leq 2,0$  заготовка вальцуется в один переход в гладких валках или по системе круг—овал, а в зависимости от конфигурации и поперечного сечения штампованной поковки овальный калибр принимается плоский или однорадиусный;

-  $2,2 < \lambda \leq 3,5$  и постоянном поперечном сечении, а также при  $2,2 < \lambda \leq 4,7$  и переменном вдоль стержня сечении, заготовка вальцуется по системе круг—овал—квадрат;

-  $2,2 < \lambda \leq 3,3$  и постоянном поперечном сечении, а также при  $2,2 < \lambda \leq 4,5$  и переменном вдоль стержня сечении, заготовка вальцуется по системе круг – овал – ромб;

-  $3,7 < \lambda \leq 4,5$  и постоянном поперечном сечении, а также при  $3,7 < \lambda \leq 6,2$  и переменном сечении вдоль стержня сечении, заготовка вальцуется по системе круг – овал – ромб – квадрат.

При необходимости получения круглого профиля постоянного сечения и общих коэффициентов вытяжки  $1,8 < \lambda \leq 2,5$ ,  $1,8 < \lambda \leq 3,8$ , а также переменного вдоль стержня сечения и общих коэффициентов вытяжки  $2,5 < \lambda \leq 3,9$ ;  $2,5 < \lambda \leq 4,3$ , вальцовка заготовок проводится по системам круг—овал—круг и круг—овал—ромб—круг, соответственно.



Разработана классификация типовых представителей заготовок и некоторых видов профилей сложного поперечного сечения, изготавливаемых на оборудовании для изотермического деформирования, представлена на рис. 2 – 4.

Технология вальцовки заготовок под штамповку включает: конструирование чертежа вальцованной заготовки; определение размера исходной заготовки; определение числа переходов и выбор системы калибров; расчет поперечных и продольных размеров калибров вальцовочных штампов по переходам; проектирование вальцовочных штампов; выбор термомеханических режимов для вальцовки заготовок конкретного сплава; вопросы техники безопасности.

Параллельно с исследованиями основных технологических параметров

вальцовки заготовок изалюминиевых сплавов в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, проводились всесторонние исследования (-макро, -микро, механические свойства) образцов вырезанных из вальцованных заготовок. Так, заготовки из сплава АК6 с размерами  $\varnothing 14 \times 150$  мм вальцевались в овальных калибрах, размеры которых приведены в табл. 1. Отвальцованные заготовки термически обрабатывались и подвергались всестороннему анализу. Для механических испытаний из вальцованных заготовок вырезали образцы с размерами по ОСТ 1.90011 – 70. Испытания проводили на разрывной машине с номинальным усилием 20000 Н. Результаты испытаний приведены в табл.2

I группа	II группа	III группа	IV группа	V группа
Заготовки с одним утолщением на конце	Заготовки с двумя утолщениями на концах	Заготовки с одним утолщением посередине	Заготовки с тремя утолщениями	Заготовки с криволинейной осью
Характерные штамповки				

Рис. 2. Типовые представители заготовок вальцуемых под штамповку

$R_1 = R_2 \quad R_3 = R_4$	$d_1 = d_2 = \dots = d_n$	$R_1 = R_2 \quad R_3 \neq R_4$	$R_1 \neq R_2 \quad R_3 \neq R_4$
а		б	

Рис. 3. Типовые профили сложного поперечного сечения:  
а - имеющие ось симметрии; б - не имеющие ось симметрии

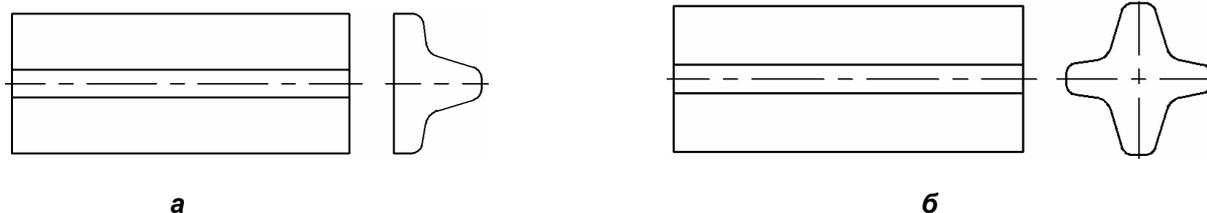
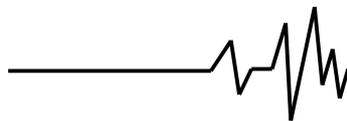


Рис. 4. Профили: а - с односторонним ребром ; б - двусторонними ребрами

Таблица 1

Размеры овальных калибров для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов с размерами Ø14 x 150 мм

Отношение осей, $a$	Высота калибра $h$ , мм	Ширина калибра $b$ , мм	Радиус калибра $R$ , мм	Коэффициент вытяжки, $\lambda$
2,0	9,3	18,65	11,70	1,45
2,4	8,3	19,9	11,95	1,55
2,8	7,1	20,1	12,00	1,65

Таблица 2

Результаты механических испытаний образцов после вальцовки

Вид полуфабриката	$\sigma_v$ , МПа	$\delta$ , %
Исходный пруток	380	16,0
То же	380	16,0
Образцы посл вальцовки	405	22,0
-//-	415	22,0
-//-	415	18,0
-//-	425	24,0
-//-	427	22,0
-//-	420	22,0
-//-	420	18,0
-//-	430	18,0
-//-	420	20,0
-//-	430	20,0
-//-	420	20,0

Из табл. 2 видно, что вальцовка заготовок повышает прочность на 7...14 % и пластичность на 14...33 % в сравнении с исходным прутком.

По мере освоения процесса вальцовки заготовок в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования подтвердилась закономерность: заготовки после вальцовки имели прочность выше, чем прессованный пруток. Улучшение структуры металла и повышение механических свойств заготовок после вальцовки можно объяснить следующим: вальцовка проводится в вальцовочных штампах с калибрами, по форме

близкими к форме поперечного сечения штампуемой поковки. Перепады сечений вдоль калибра выбираются плавными радиусами. Такая форма инструмента обеспечивает достаточно равномерную деформацию металла, создает обжатие заготовки, приближающееся к всестороннему в результате возникновения бокового давления. Это повышает пластичность металла и позволяет проводить деформацию с большими разовыми обжатиями. Высокие степени обжатия при вальцовке обеспечивают проникновение деформации в центральные зоны вальцуемой заготовки, вызывая измельчение, уплотнение и ориентировку зерен в направлении движения металла при обработке.

В другой серии экспериментов, заготовки из сплава АК6 с размерами Ø25 x 150 мм вальцевались по системе круг – овал – квадрат в калибрах, размеры которых приведены в табл. 3, рис. 5. Температура нагрева заготовок и вальцовочных штампов была 450°C.

Отвальцованные заготовки термически обрабатывались по технологии, приведенной в табл. 4.

В результате визуального осмотра и анализа макроструктуры вальцованных заготовок установлено, что зажимов, трещин, пережимов волокна и других нарушений сплошности структуры не обнаружено.

Результаты механических испытаний образцов, вырезанных из вальцованных заготовок, приведены в табл. 5.

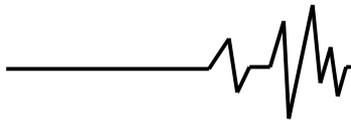


Таблица 3

Размеры калибров для вальцовки заготовок из сплава АК6, Ø25 x 150 мм

Овальный калибр						Квадратный калибр								
h <sub>к</sub> , мм	b <sub>к</sub> , мм	R, мм	m, мм	r, мм	F, мм	m, мм	h <sub>к</sub> , мм	b <sub>к</sub> , мм	c, мм	h' <sub>к</sub> , мм	r, мм	r, мм	F, мм	
7,9	41,8	57,5	1,0	3,0	214	1,0	15,2	16,7	11,8	16,7	1,8	1,2	137	

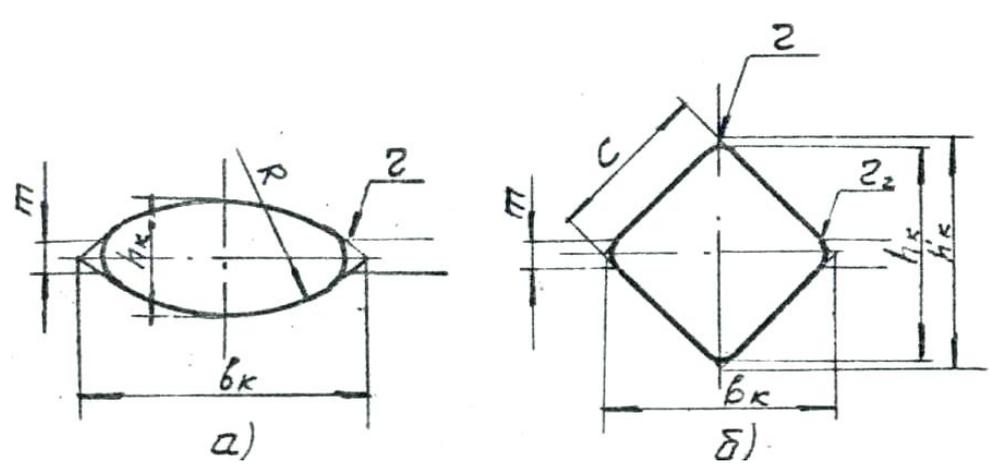


Рис. 5. Размеры калибров:  
а – овального; б – квадратного

Таблица 4

Технология термической обработки вальцованных заготовок из сплава АК6, Ø25

Тип нагревательной печи	Вид термообработки	Сплав	Температура начального отсчета времени, °С	Температура термообработки, °С	Время выдержки	Среда охлаждения
ПН-32	Закалка	АК6	500	505-252	50 мин	Вода
ПН-32	Старение			160-175	3,4-4 ч	Воздух

Таблица 5

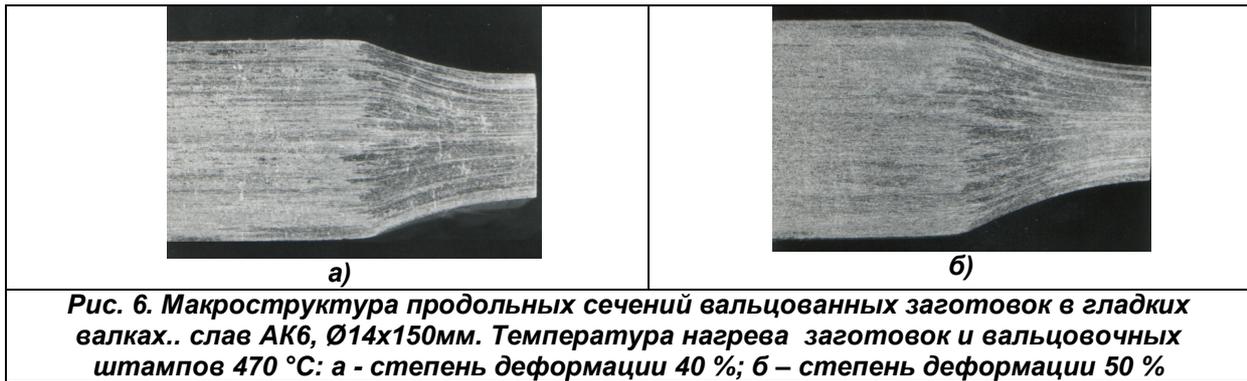
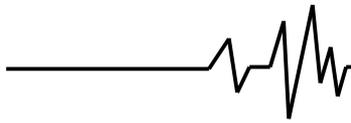
Механические свойства вальцованных заготовок, сплав АК6

ε, %	σ <sub>в</sub> , %	δ, %
40-57	400-430	17- 22
60 – 69	400 – 435	16 – 20
70 – 75	420 – 460	14 - 18

На рис.6 представлена макроструктура продольного сечения вальцованных заготовок из

сплава АК6 в гладких вальцовочных штампах за один переход при температуре заготовок и вальцовочных штампов 470 °С, степенях деформации 40 и 50%.

Проведенные всесторонние исследования ( - макро, - микро, механические свойства) качества вальцованных заготовок, в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, соответствовали требованиям технической документации.

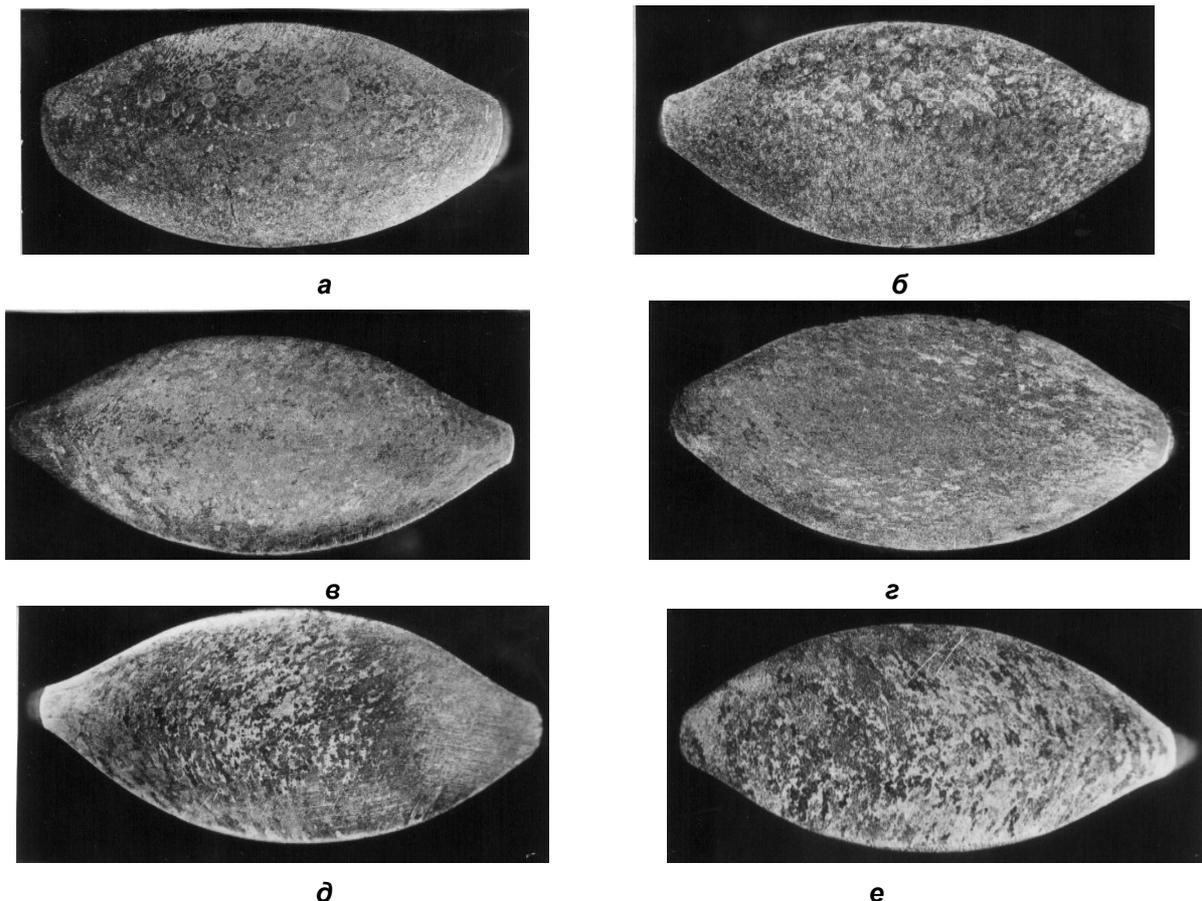


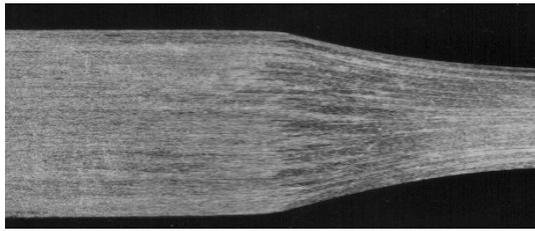
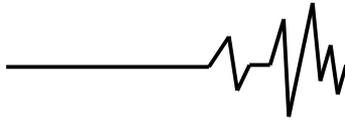
На рис. 7 представлена макроструктура поперечных сечений вальцованных заготовок (сплав АК6, степень деформации 50 %) при температуре 470 °С в овальных калибрах и различных температурах нагрева вальцовочных штампов.

На рис.8 представлена макроструктура продольного и поперечного сечений вальцованных заготовок из сплава АК6 с размерами Ø14 x 150 мм, соответствующая требованиям технической документации.

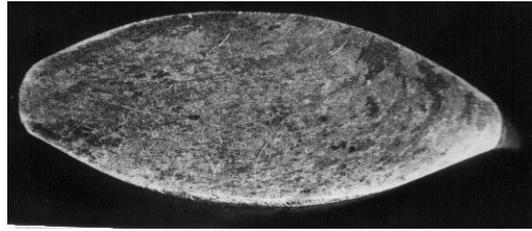
Вальцовка проводилась при температурах заготовок и вальцовочных штампов равной 450 °С со степенью деформации 50%.

Проведенные всесторонние исследования ( - макро, - микро, механические свойства) качества вальцованных заготовок, изготовленных в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, соответствовали требованиям технической документации





а



б

**Рис. 8. Макроструктура продольного (а) и поперечного (б) сечений вальцованной заготовки в овальном калибре: сплав АК6,  $\varnothing$  14x150; степень деформации 50%; температура заготовок и вальцовочных штампов 450 °С**

### **Выводы**

1. Экспериментальными исследованиями установлены коэффициенты вытяжки для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов в гладких валках и калибрах различных систем.

2. Разработана классификация типовых заготовок и некоторых видов профилей сложного поперечного сечения, изготавливаемых на оборудовании для условий изотермического и приближенных к нему деформирования.

3. Проведенные всесторонние исследования ( - макро, - микро, механические свойства) качества вальцованных заготовок, изготовленных в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, соответствовали требованиям технической документации.

4. Применение процесса вальцовки заготовок в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования (как составляющая технологии объемной штамповки) при штамповке поковок из алюминиевых сплавов дает возможность: снизить норму расхода исходной заготовки в зависимости от конфигурации штампуемой поковки на 10 - 30%; трудоемкость на 15 - 40%;

расход металла на изготовление штамповой оснастки на 40 – 50%, за счет применения оборудования меньшего усилия и соответственно габаритов; снизить себестоимость изготовления штампованных поковок на 25 - 40% .

### **Литература**

1. Скрябин С.А., Полохов В.Н., Скрябин К.С./ Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампованных поковок из алюминиевых сплавов с вытянутой осью и закрытыми сечениями// Технологические системы. – 2003. - №4. – С. 32-37.

2. Скрябин С.А./ Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием// К.: «Квіц». – 2004. – 346 с.

3. Скрябин С.А., Полохов В.Н., Скрябин К.С./ Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампованных поковок из алюминиевых сплавов, имеющих вытянутую ось с отрезками// Технологические системы. – 2004. - №3. – С. 29 -32.