



Геодезические координаты визируемой точки – широта ϕ и долгота λ вычисляются по координатам x, y, z визируемой точки в ГСК по формулам

$$\phi = \arctg \frac{z}{p(1-e^2)},$$

$$\lambda = \text{sign}(y) \arctg |y/x|,$$

$$\text{где } p = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}.$$

Выводы

В ходе проведенных исследований были изучены недостатки существующих моделей управления КА ДЗЗ при съемке, а также выполнен анализ влияния упрощений и погрешностей существующих моделей съемки на эффективность решения целевой задачи в части оперативности съемки, площади покрытия и достоверности данных ДЗЗ.

Особенности планирования спутниковой съемки высокой разрешающей способности и обработки полученных данных ДЗЗ требуют учета большего числа дополнительных влияющих факторов, которые не учитывались при разработке предыдущих КА («Сич-1», «Океан-О», «Egyptsat-1»).

Методика программного управления ориентацией КА ДЗЗ высокого пространственного разрешения в процессе перенацеливания (т. е. с ненулевыми угловыми скоростями ориентации) позволяет выбирать оптимальное направление сканирования и снимать произвольно расположенные протяженные участки за один виток, т. е. более оперативно.

Кроме того, съемка с ненулевыми угловыми скоростями позволяет увеличить время экспозиции и снимать малоcontrastные или слабоосвещенные объекты (т. н. режим «съемка с накоплением»).

Литература

- 1 Мозговой Д. К. Волошин В.И. Спутниковая съемка протяженных объектов // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Ракетно-космічна техніка. Вип. 10, т. 2. № 9/2, 2006 г. – С. 239-241.
- 2 Мозговой Д. К. Технология съемки протяженных объектов // IX Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос»: Зб. тез. – Д., 2007. – С. 439.
- 3 Мозговой Д. К. Волошин В. И. Технология съемки прибрежных зон // Современные проблемы рационального природопользования в прибрежных морских акваториях Украины. Тезисы докладов Международной конференции молодых ученых (г. Севастополь – п. Кацивели, 12–14 июня 2007). – Севастополь, 2007. – С. 21–22.
- 4 Мозговой Д.К., Волошин В.И., Бушуев Е.И., Салтыков Ю.Д. Использование новых технологий съемки для повышения эффективности КА МС-2-8 // VII Українська конференція по космічеським дослідженням. Сб. тезисов. 3–8 сентября 2007 г., НЦУИКС, Евпатория. – С. 182–183.
- 5 Ю.С. Долинец, Д.К. Мозговой. Технология спутниковой съемки с ненулевыми угловыми скоростями // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос»: Збірник тез. – Д., 2008. – С. 495.
- 6 Кравець О.В., Корчинський В.М., Мозговий Д.К. Підвищення інформативності даних ДЗЗ. XI Міжнародна науково-практична конференція «Людина і космос». 8-10 квітня 2009 р., Дніпропетровськ, НЦАОМ: Збірник тез. – Дніпропетровськ; 2009. – С. 283.
- 7 Мозговой Д.К. Управление ориентацией КА ДЗЗ высокой разрешающей способности // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Ракетно-космічна техніка. Вип. 13, т. 1. № 17/4, 2009 г. – С. 59-65.

УДК 621.7.016.2:669.715

Скрябин С. А., Гунько И.В., Бубновская И. А.

Винницкий национальный аграрный университет. Украина, г. Винница

МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ПОД ШТАМПОВКУ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ВСЕСТОРОННИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ НИХ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

Анотація

У статті представлена класифікація типових представників заготовок під штампування, що вальцюються на кувальних вальцях.

Процес вальцювання на підприємствах машинобудівної промисловості впроваджувався

замість: підготовки заготовок під штампування на кувальних молотах (операція протягування); операцій, що виконуються набором стовищень на ГKM; використання мірних заготовок з більшою витратою металу в облої при штампуванні кувань подовженої форми. Описані результати всебічного аналізу (-мікро,

-макро, механічні властивості), який показав відповідність якості вальцьованих заготовок і штампованих кувань, виготовлених з них, вимогам технічної документації.

Abstract

Categorization of the standard representatives of the billets under stamping rolling on roll-forging machine is presented in article

The process of the rolling on machine-building industry enterprises was introduced instead of: preparing the billets under stamping on forging hammers (the broaching operation); the operation executed by set of the bulges on horizontally forging machine (HFM); use the measured billets with high metal cost in flash at stamping elongated forgings. The results of comprehensive analysis (-micro, -macro, mechanical characteristic), which has shown the correspondence of the rolling billets and made of them die forgings quality to the technical documentation requirements is described.

Одним из актуальных направлений в развитии машиностроения является разработка и совершенствование технологических процессов изготовления заготовок, основная задача которого состоит в максимальном приближении их формы и размеров к форме и размерам готовых деталей, при обеспечении необходимых физико – механических свойств [1]. Кроме этого, внедрение малоотходных технологических процессов штамповки поковок из алюминиевых сплавов на предприятиях машиностроения, особенно в авиационной промышленности, обусловлено 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 [1–5].

Анализ существующих технологий изготовления штампованных поковок из мерных заготовок алюминиевых сплавов, подготовленных операцией протяжки на ковочных молотах, высадкой утолщений на ГКМ (горизонтальные ковочные машины), имеют высокую трудоемкость, повышенный расход металла, низкое качество поверхности, длительный цикл изготовления штампованных поковок и соответственно высокую стоимость детали.

Цель данной работы состоит в разработке, совершенствовании и внедрении на предприятиях машиностроения технологических процессов вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов под

последующую штамповку, основная задача которых состоит в максимальном приближении их формы и размеров к форме и размерам готовых деталей, при обеспечении необходимых физико – механических свойств.

Процесс вальцовки на предприятиях машиностроительной промышленности, особенно в авиационной промышленности, внедрялся взамен: подготовки заготовок под штамповку на ковочных молотах (операции протяжки, рис. (1, 2); операций, выполняемых набором утолщений, (рис. 3) на ГКМ, использования мерных заготовок с большим расходом металла в облой при штамповке поковок удлиненной формы (рис. 4).

Качество поверхности после подготовки заготовок ковкой не позволяет непосредственно штамповать из-за следов бойка на поверхности заготовок и ступенек неправильной формы в местах переходов от большего сечения к меньшему (рис.1 а, б, в). Перед штамповкой таких заготовок необходимо перечисленные дефекты удалить зачисткой на наждачном камне и шарошками.

При ковке, деформация локализуется в периферийных зонах, что ведет к образованию разнотекстурной структуры с явно выраженной неравномерностью (рис. 2), снижающей механические свойства изделия. Кроме того, разнотекстурная структура способствует образованию микро- и

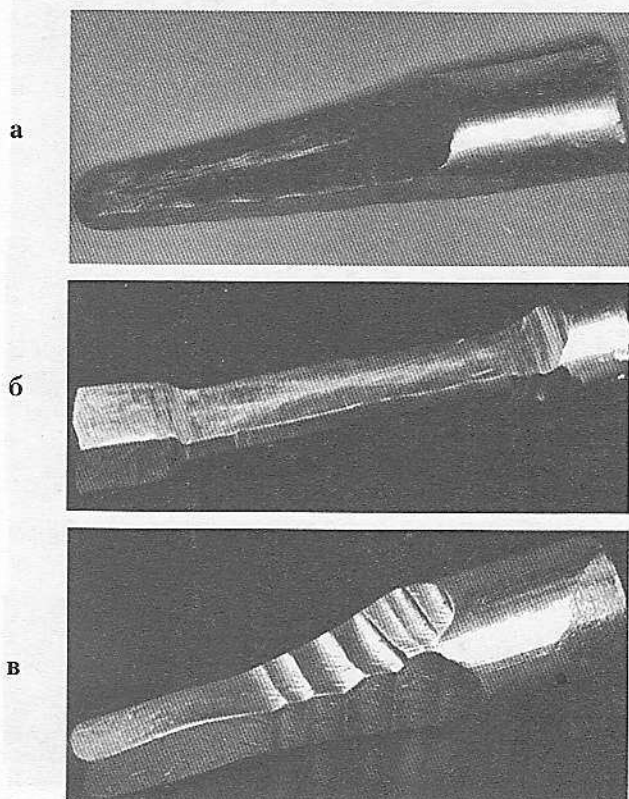


Рис. 1. Заготовки под штамповку после протяжки на ковочном молоте

макротрещин при больших обжатиях и в сочетании с высокими скоростями деформирования, ускорению процесса разрушения.

После высадки утолщений на ГКМ также появляются дефекты: облой по торцу и по линии разреза матрицы, гофры на участках перехода от высаженной головки к исходному сечению прутка (рис. 3). Наличие в технологическом процессе операции зачистки после подготовки заготовок

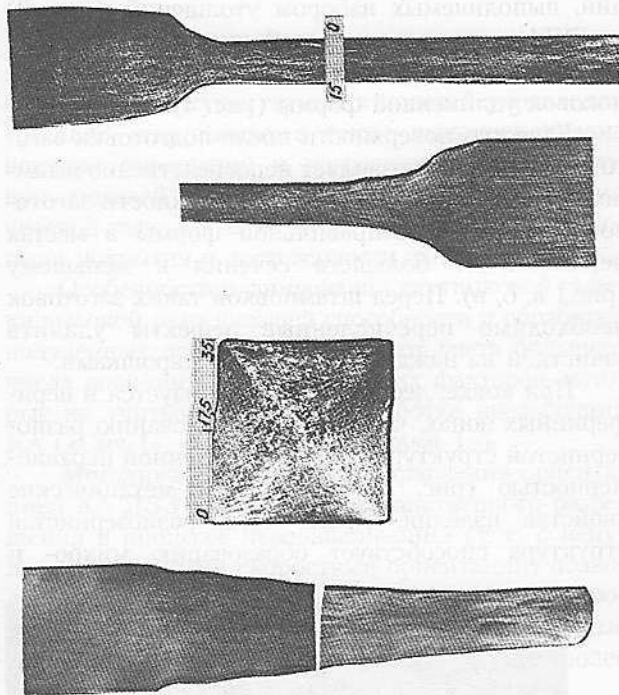


Рис. 2. Макроструктура заготовок, подготовленных на ковочных молотах

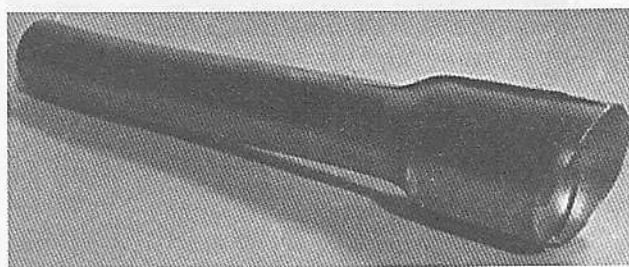


Рис. 3. Заготовки под штамповку после высадки утолщений на ГКМ

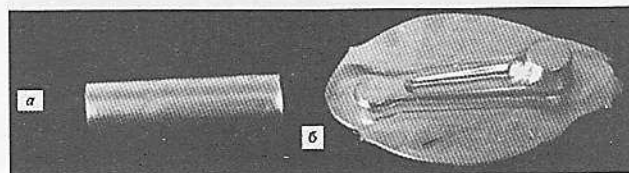


Рис. 4: а — мерная заготовка; б — штампованная поковка «Качалка», изготовленная за две штамповки с промежуточными операциями обрезки облоя, травления, зачистки, нагрева. Сплав АК8.

под штамповку ковкой и высадкой утолщений на ГКМ, значительно удлиняет цикл изготовления штампованных поковок и соответственно увеличивает стоимость детали.

Детали с удлиненной осью и большим перепадом поперечных сечений вдоль оси, изготавливаемые штамповкой из мерных заготовок, имеют высокий по толщине мостик и большой по ширине облой, что влечет повышенный расход металла (рис. 4).

На рис. 5 представлена классификация типовых представителей заготовок под штамповку, вальцуемых на ковочных вальцах. Возможны и другие сочетания элементов (головка, стержень) групп друг с другом. В основу классификации типовых заготовок положены конфигурация штампуемых поковок, а также технологические возможности получения заготовок на ковочных вальцах.

В условиях мелкосерийного производства не экономично на каждое наименование поковки делать отдельный комплект оснастки. Поэтому, одним из основных направлений совершенствования технологии в этих условиях является использование группового метода изготовления вальцованных заготовок. Этот метод заключается в комплектации однотипных по форме штампованных поковок, близких друг к другу по площадям поперечных сечений. Близкие по сечению заготовки вальцуются в одном калибре. Если перепад поперечных сечений по стержню невелик, то заготовки вальцуются в калибрах с постоянным поперечным сечением. В одном комплекте оснастки можно вальцевать неограниченное количество заготовок под штамповку, длина которых зависит от размеров вальцовочных штампов и исходных заготовок. Для поковок с большим перепадом поперечных сечений вдоль стержня изготавливается специальный комплект оснастки, но в частных случаях применяется групповой метод. Применение этого метода позволяет расширить серийность производства вальцованных заготовок, повысить производительность труда, уменьшить расход металла на изготовление оснастки и, в конечном счете, снизить себестоимость изготовления штампованных поковок. Заготовки под штамповку поковок третьей группы, рис. 5, типопредставителей вальцуются в калибрах первой группы с поворотом заготовки на 180°. Для заготовок второй, четвертой и пятой групп, рис. 5, изготавливаются специальные комплекты оснастки для каждого наименования.

Впервые в нашей стране процесс вальцовки был широко внедрен на Киевском авиационном промышленном объединении (в настоящее время ГП КиАЗ «Авиант») для подготовки под штамповку



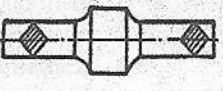
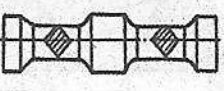

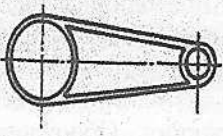
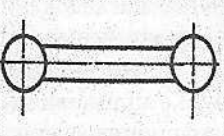
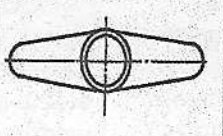
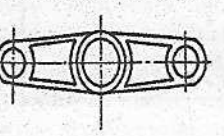
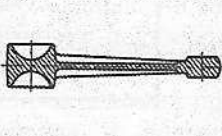
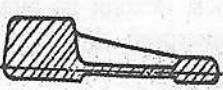
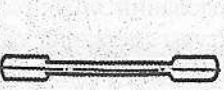
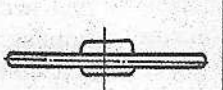
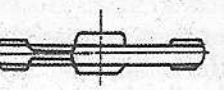

I группа	II группа	III группа	IV группа	V группа
Заготовки с одним утолщением на конце	Заготовки с двумя утолщениями на концах	Заготовки с одним утолщением посередине	Заготовки с тремя утолщениями	Заготовки с криволинейной осью
				
Характерные штамповки				
				
				

Рис. 5. Классификация типовых представителей заготовок, валыуемых на ковочных вальцах

ку заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах модели С162А, усилием 50 тс, диаметром валков 320 мм, частотой вращения 26 мин⁻¹.

Калибры рассчитывали по методикам, описанным в работах (6–13), предназначенных в основном для вальцовки стальных заготовок. Полученные заготовки после вальцовки в калибрах, рассчитанные по названным методикам, отличались от расчетных: наблюдалось переполнение калибров и несоответствие длин продольных размеров; площадь поперечного сечения была больше расчетной; по линии разъема очень часто появлялся облой после вальцовки круглых заготовок в овальных и заготовок овального сечения в квадратных калибрах, вследствие отличия значений технологических параметров вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов от стальных, рис. 6.

В работе [13], вышедшей в качестве учебного пособия для студентов металлургических вузов, в описании вальцовки заготовок на ковочных вальцах и рекомендаций по расчету калибров отмечается, что технологические параметры, входящие в расчеты, полученные на опыте вальцовки стальных заготовок и применительно к вальцовке заготовок из цветных сплавов следует рассматривать как ориентировочные.

В работе [2], автор, основываясь на особенностях горячего деформирования и термомеханических свойствах алюминиевых сплавов, введя понятие «коэффициент технологической пластичности», дает обоснование того, что алюминиевые сплавы менее технологичны для горячего деформирования, чем стали, поэтому методики расчета калибров, разработанные для вальцовки стальных

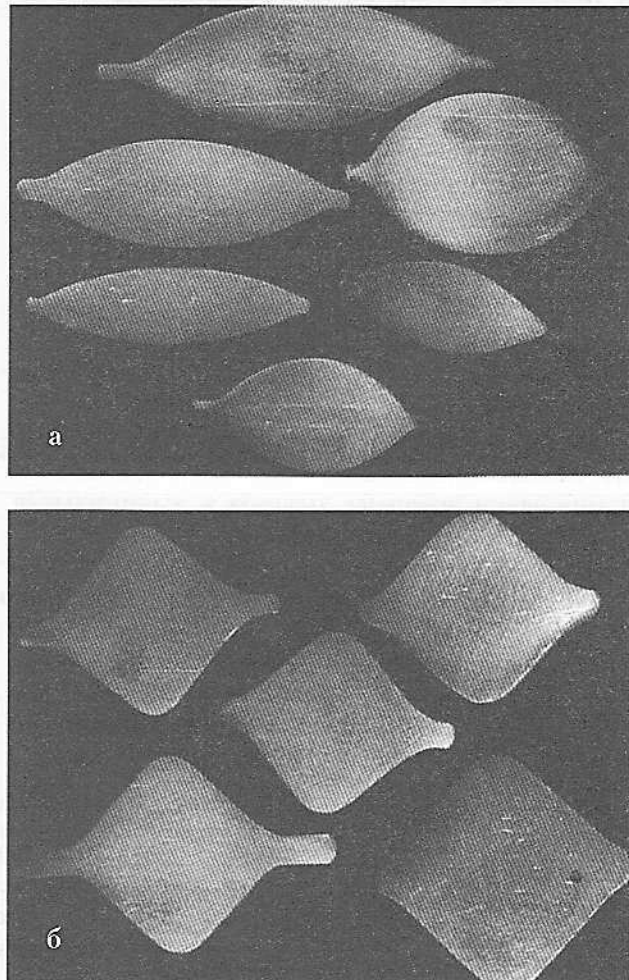


Рис. 6. Заусенец по линии разъема после вальцовки: а — заготовок круглого сечения в овальных калибрах; б — овальных заготовок в квадратных калибрах.

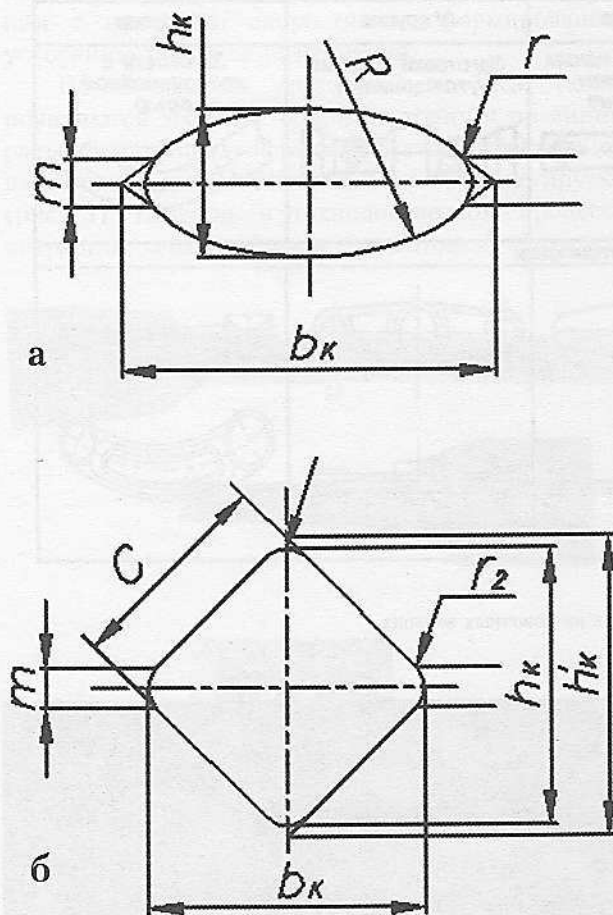


Рис. 7. Калибры для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов с размерами $\varnothing 25 \times 150$ мм

заготовок, не пригодны для расчета калибров под вальцовку заготовок из алюминиевых сплавов.

В связи с тем, что технологические параметры вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов отличаются по своим значениям от стальных, были проведены исследования по определению основных параметров вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов, с целью получения качественных заготовок под штамповку.

Основные исследования проводились на заготовках из алюминиевых сплавов АК4, АК4-1, АК6, АК8, АМГ - 1, АМГ - 2, АМГ - 6, АМЦ, АД31, АД33, 01420, широко применяемые для изготовления элементов авиационных конструкций. Оборудование для исследований подбиралось, исходя из анализа номенклатуры деталей удлиненной формы. При освоении вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов под последующую штамповку использовались вальцовочные штампы с калибрами, представленными на рис. 7 и размерами в табл. 1.

Заготовки нагревались в электрической печи сопротивления с выдержкой 35 мин после повышения температуры в печи до 470°C и вальцевались по системе «круг - овал - квадрат» на ковочных вальцах модели С162А.

Вальцованные заготовки термически обрабатывались по технологии, приведенной в табл. 2.

В результате визуального осмотра и анализа макроструктуры вальцованных заготовок установлено, что зажимов, трещин, пережимов волокна и других нарушений сплошности структуры не имеется. Для механических испытаний из вальцованных заготовок вырезали образцы с размерами по ОСТ 1.90011-70 из исходного прутка, овала и

Таблица 1

Размеры калибров для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов $\varnothing 25 \times 150$ мм

Овальный калибр						Квадратный калибр							
h_k , мм	b_k , мм	R, мм	m, мм	r, мм	F, мм ²	m, мм	h_k , мм	b_k , мм	C, мм	h_k , мм	r_1 , мм	r_2 , мм	h_k , мм
7,9	41,8	57,5	1,0	3	214	1,0	15,2	16,7	11,8	16,7	1,8	1,2	137

Таблица 2

Технология термической обработки вальцованных заготовок из сплава АК6

Тип нагревательной печи	Вид термообработки	Сплав	Температура начального отсчета времени, $^\circ\text{C}$	Температура термообработки, $^\circ\text{C}$	Время выдержки	Среда охлаждения
ПН-32	Закалка	АК6	500	505-525	50 мин.	Вода
ПН-32	Старение			160-175	3,4-4 ч.	Воздух

квадрата, а также из участков перехода от исходного прутка к овалу и квадрату.

Испытания проводили на разрывной машине номинальным усилием 20000Н. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, вальцовка повышает прочность заготовок на 9,7–11,8 % и пластичность на 12,5–37,5%.

Перед запуском технологии в серийное производство, от каждого наименования отбирались несколько экземпляров вальцованных заготовок и штамповок изготовленных из них для всесторонних испытаний. Исследовалось качество структуры (макро-микро), механические свойства, химический состав.

Качество структуры исследовали на оптических металлографических микроскопах при различных увеличениях с травлением образцов по общепринятой методике. Исследование механических свойств выполняли при статическом нагру-

жении образцов, вырезанных с различным направлением волокна.

Результаты исследований показали соответствие качества штамповок, изготовленных из вальцованных заготовок, требованиям действующей технической документации [6].

Результаты механических испытаний образцов, вырезанных из штамповок, изготовленных из вальцованных заготовок, приведены в табл. 4.

По мере освоения процесса вальцовки заготовок под последующую штамповку подтвердилась закономерность: заготовки после вальцовки имеют прочность выше, чем прессованный прутки. 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 детали. 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, чем при ковке.

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. Отштампованные из вальцованных заготовок штампованные поковки термически обрабатывались и проходили лабораторные испытания.

Результаты механических испытаний образцов, вырезанных с размерами по ОСТ 1.90011–70 из штампованных поволоков, изготовленных из вальцованных и кованных заготовок приведены в табл. 5.

На рис. 8 приведена макроструктура переходного участка от исходного сечения заготовки к овалу, полученная с применением метода рекристаллизованного зерна. Анализ структуры показывает, что увеличение степени обжатия обеспечивает проникновение деформации в центральные зоны вальцуе-

Таблица 3

Результаты механических испытаний образцов после вальцовки

Вид полуфабриката	δ_b , МПа	δ , %
Исходный прутки	380	16,0
То же	380	16,0
Образцы после вальцовки	415	22,0
То же	415	22,0
То же	415	21,0
То же	425	24,0
То же	417	19,0
То же	420	22,0
То же	420	18,0
То же	420	18,0
То же	420	20,0
То же	420	20,0
То же	420	20,0

Таблица 4

Механические свойства вальцованных заготовок и штамповок из сплава АК6

Вальцованные заготовки			Штамповки из вальцованных заготовок ^а		
ϵ , %	δ_b , МПа	δ , %	ϵ , %	δ_b , МПа	δ , %
40–57	400–430	17–22	25–29	430–450	16–19
60–69	400–435	16–20	20–27	430–470	14–17
70–75	420–460	14–18	-	-	-



Механические свойства штампованных поковок из заготовок сплава АК6

Испытываемые образцы	ϵ , % при вальцовке или ковке	ϵ , % при штамповке	σ_B , МПа	δ , %
Поковки, штампованные из кованых заготовок	40–55	25–29	390–430	14–16
Поковки, штампованные из вальцованных заготовок	40–55	25–29	410–450	14–18

мой заготовки, измельчает и ориентирует зерна в направлении движения металла при обработке.

На рис. 8 показана микроструктура поперечного сечения исходной заготовки, в зоне крупно кристаллического ободка, а на рис. 9 микроструктура в зоне центральной части вальцованной заготовки. Микроструктура вальцованной заготовки

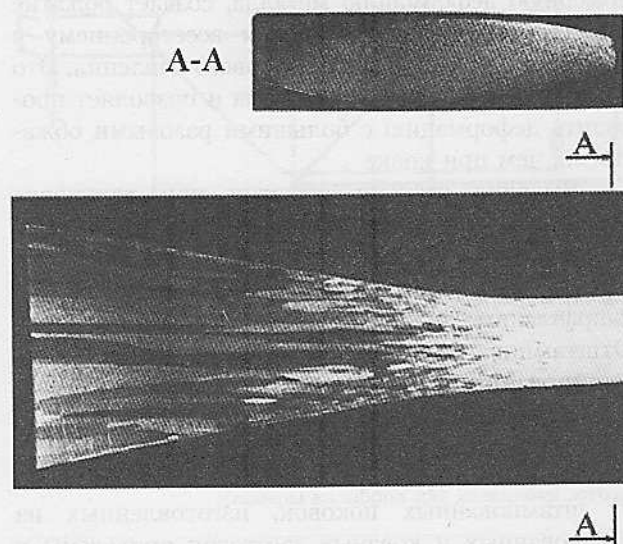


Рис. 8. Макроструктура переходного участка от исходного сечения заготовки к овалу. Сплав АК6 [1]



также соответствует требованиям технической документации.

Всесторонний анализ (-макро, -микро) и механические свойства описанных выше вальцованных заготовок и штампованных поковок, изготовленных из них, показал соответствие качества требованиям технической документации [14].

Применение технологии вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов обеспечивает следующие технико-экономические показатели:

1. Снижение нормы расхода исходной заготовки вследствие максимального приближения формы и размеров вальцованной заготовки к форме и размерам штампованной поковки в зависимости от конфигурации на 10–25 %;

2. Снижение трудоемкости изготовления штампованных поковок на 15–35 % за счет снятия весьма трудоемкой, имеющей недостаточную производительность, операции протяжки, зачистки заготовок перед штамповкой после подготовки их на ковочных молотах и набора утолщений на ГКМ, и, как правило, дополнительной штамповки с промежуточными операциями;

3. Повышение точности вальцованных заготовок и максимальное приближение их формы и размеров к форме и размерам штампуемой поковки увеличивает стойкость штампов на 20–35 %;

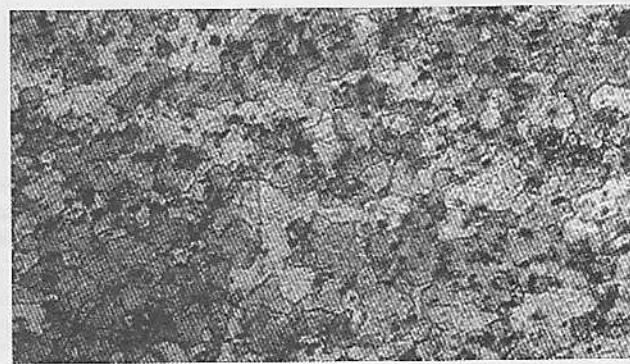


Рис. 9. Микроструктура образцов из сплава АК6. Закаленное и искусственно состаренное состояние. Поперечный шлиф, $\times 200$:
а – в зоне крупно кристаллического ободка исходной заготовки;
б – в центральной части вальцованной заготовки.

4. Снижение себестоимости изготовления штампованных поковок на 25–35 % за счет уменьшения расхода металла, повышения норм выработки, снижения расходов на штамповую сталь, на энергию;

5. Схема напряженно — деформированного состояния при вальцовке заготовок позволяет деформировать металл с высокими степенями обжатия и обеспечивает проникновение деформации в центральные зоны вальцуемой заготовки, вызывая измельчение и ориентировку зерен в направлении движения металла. Вследствие этого хорошо прорабатывается и улучшается структура исходного металла.

6. Применение группового метода изготовления вальцованных заготовок позволяет увеличить серийность производства вальцованных заготовок, повысить производительность труда, уменьшить расход металла на изготовление оснастки и, в конечном счете, снизить себестоимость изготовления штампованных поковок.

Выводы

1. В статье отмечено, что цель данной работы состоит в совершенствовании и внедрении технологических процессов вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов под последующую штамповку на предприятиях машиностроения.

2. Представлена классификация типовых представителей заготовок под штамповку, вальцуемых на ковочных вальцах.

3. Процесс вальцовки на предприятиях машиностроительной промышленности внедрялся взамен: подготовки заготовок под штамповку на ковочных молотах (операция протяжки); операций, выполняемых набором утолщений на ГКМ; использования мерных заготовок с большим расходом металла в облой при штамповке поковок удлиненной формы.

4. Описаны результаты всестороннего анализа (- микро, - макро, механические свойства) ряда штампованных поковок первой группы классификатора типовых представителей вальцованных заготовок на ковочных вальцах. Всесторонний анализ показал соответствие качества вальцованных заготовок и штампованных поковок, изготовленных из них требованиям технической документации.

5. Внедрение высокопроизводительного технологического процесса вальцовки заготовок под последующую штамповку на предприятиях машиностроения показало, что вальцовка является прогрессивным направлением в развитии кузнечно — штамповочного производства.

Литература

1. *Скрябин С.А.* Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах. / Скрябин С.А. // — Винница: А.Власюк. — 2007. — 284 с.

2. *Скрябин С.А.* Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием. / Скрябин С.А. // — Киев: КВЦ. 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 с вытянутой криволинейной осью и закрытыми сечениями. — Киев: Технологические системы, 2003, № 4, с. 32 - 37.

4. *Скрябин С.А.* Исследование пластичности сплавов АК6 и Д16, армированного нитевидными кристаллами из материала SiC, в условиях изотермического деформирования. / Скрябин С.А., Швец Л.В.// — Киев: Технологические системы. — 2007. — № 1(37). С. 56 - 62.

5. *Скрябин С.А.* Определение возможности появления дефектов при штамповке поковок из алюминиевых сплавов с применением процесса вальцовки и подготовительных ручьев. /Скрябин С.А., Гунько И.В., Чайка Д.С., Бубновская И.А.//. Обработка металлов давлением, № 3 (24). 2010 — С. 76–81.

6. *Смирнов В.С.* Калибровка прокатных валков. / Смирнов В.С., Богоявленский К.Н., Павлов Н.Н. // — М.: Металлургиздат. — 1987. — 366 с.

7. *Диомидов Б.Б.* Калибровка прокатных валков. / Диомидов Б.Б., Литовченко Н.В.// — М.: Металлургия. — 1970. — 312 с.

8. *Смирнов В.К.* Калибровка прокатных валков. / Смирнов В.К., Шилов В.А., Игнатович Ю.В. // — М.: Металлургия. — 1987. — 368 с.

9. *Бахтинов Б.П.* Калибровка прокатных валков / Бахтинов Б.П., Штернов М.М. // — М.: Металлургиздат. — 1973. — 480 с.

10. *Смирнов В.С.* Деформация металла в ромбических и овальных калибрах. /Смирнов В.С., Григорьев А.К., Давильбеков И.Х.// — М.: Металлургия. — 1987. — 118 с.

11. *Смирнов В.С.* Продольная периодическая прокатка. /Смирнов В.С., Дурнев В.Д., Кашевский Н.П. // — М.: Машгиз. — 1981. — 255 с.

12. *Цоухар Г.* Силовые воздействия при прокатке в вытяжных калибрах. / Цоухар Г. // — (пер. с нем. — М.: Металлургиздат. — 1973. — 128 с.

13. *Сторожев М.В.* Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов. / Сторожев М.В., Середин П.И., Кирсанова С.Б. // . М.: Высшая школа. — 1978. — 350 с.

14. ОСТ 1. 90073 — 85. Отраслевой стандарт по штамповкам и поковкам из алюминиевых сплавов. Технические условия. Введ. 01.11.85. / Корнев Н.И., Аржаков В.М., Бормашенко Б.Г. и др. // — М.: Изд-во стандартов, 1989. — 39 с.