

УДК 621.73

Скрябин С.А.¹, Швец Л.В.²¹ НПЦ "Ухналь". Украина, Киев.² Винницкий Государственный аграрный университет. Украина, Винница

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ СПЛАВОВ АК6 И Д16, АРМИРОВАННОГО НИТЕВИДНЫМИ КРИСТАЛЛАМИ ИЗ МАТЕРИАЛА SiC, В УСЛОВИЯХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Анотація

У статті описані експериментальні дослідження пластичності алюмінієвих сплавів АК6 і Д16, армованого нитковидними кристалами Si, в умовах ізотермічного деформування при вальцюванні заготовок в овальних калібрах при температурах 450°C (АК6) і 460°C (Д16) зі ступенями деформації 30, 40 й 50%. Температура вальцювальних штампів була 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500°C.

Abstract

This article describes experimental research of plasticity of AK6 and D16 aluminum alloys armed with Si filamentary crystals, under conditions of isothermal deformation at bumping of blanks in oval calibers at temperatures 450°C (AK6) and 460°C (D16) with grades of deformation equal to 30, 40 and 50%. The temperature of punches bumping was 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500°C.

Актуальность разработки и внедрения малоотходных технологических процессов штамповки поковок из алюминиевых, титановых, магниевых сплавов, высоколегированных коррозионноустойчивых, жаростойких, жаропрочных и др. сталей с применением процесса вальцовки, 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 [1–5]. Широкое использование перечисленных выше сплавов определяется их техническими, физическими и механическими свойствами. Они должны обладать высокими статическими прочностными характеристиками (пределом прочности, пределом текучести, сопротивлением срезу), удовлетворительной пластичностью и термомеханическими характеристиками, что необходимо учитывать при разработке технологических процессов их горячего деформирования.

Данная работа выполнялась в соответствии с научно-технической программой Министерства промышленной политики Украины "Державна комплексна програма розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року". Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 12.12.2001 р., №1665-25.

В обычных условиях деформирования холодным или подогретым до невысокой температуры инструментом, возможности соблюдения оптимального термомеханического режима ограничены из-за неизбежного остывания заготовки при транспортных переходах и при последующей деформации.

Как следствие при этом возрастает сопротивление деформации металла, снижается его пластичность и из-за неоднородности температурного поля становятся неравномерными прочностные свойства в объеме деформированного тела. При этом интенсивность охлаждения заготовки тем больше, чем больше отношение ее поверхности к объему. Поэтому, при назначении температурного интервала деформирования предусматривают неизбежные потери тепла заготовкой при транспортных переходах и в процессе деформирования.

Технологический процесс деформирования определяется в основном пластичностью материала в зависимости от температуры, скорости и степени деформации. От традиционных горячих методов обработки металлов давлением (ОМД) изотермический отличается тем, что в процессе обработки металла температура деформируемого тела и деформирующего инструмента выдерживается постоянной, близкой к верхнему пределу ковочных температур, в течении всего процесса.

Основным из преимуществ метода является снижение сопротивления металла деформированию, из-за отсутствия потерь тепла в системе "деформируемое тело—деформирующий инструмент", что способствует образованию однородного температурного поля и стабильного термомеханического режима.

Создание изотермических условий позволяет производить процесс ОМД в оптимальном термомеханическом режиме, использовать явление сверхпластичности и расширяет возможности изготовления сложных по конфигурации деталей повышенного качества с минимальными припус-

ками под механическую обработку. Благодаря отмеченным преимуществам процесс ОМД в изотермических условиях в ряде случаев более экономичен по сравнению с обычным деформированием.

В последнее время широко развернулись работы по изучению и внедрению в производство изотермического метода прокатки металлов и сплавов. Предлагались способы электроконтактного нагрева валков [6], индукционного метода нагрева валков [7] и различные конструкции и устройства для осуществления способа изотермической прокатки. Например, устройство позволяющее осуществлять точное регулирование температуры в очаге деформации и производить прокатку тонкостенных профилей сложной формы из трудно деформируемых материалов [8].

В Баттелеровском институте (США) исследовалась горячая прокатка бериллия и вольфрама с подогретыми валками [9]. Эксперименты показали, что такие материалы как вольфрам и бериллий, плохо поддающиеся прокатке, заготовки из которых предварительно нагреты до температуры 760°C , могут прокатываться с обжатием 43% за один проход при применении стеклообмазки (фосфатное стекло) и нагреве валков до 540°C .

В работе [10] описано применение изотермической прокатки в США. Молибденовые валки (рис. 1), формирующие изделия, одновременно служат и электродами для нагрева заготовки. Электрический ток, проходя от одного валка к другому через заготовку, нагревает последнюю и определенную часть валков, подвижную горячую зону. Прокатка происходит при совместном действии усилия сжатия F и усилия подачи $F-F$. Степень сжатия за проход достигает 95%.

В работе [11] исследовали возможность вальцовки заготовок лопаток компрессора из сталей и титановых сплавов в изотермических условиях, которые создавались путем пропускания электрического тока через валки и заготовку в процессе вальцовки.

Проведенные исследования температурного режима процесса по системе валок—валок позволили разработать технологический процесс изотермической вальцовки заготовок из сплава ВТЗ-1 и стали ЭИ787ВД. Особенность изотермической вальцовки лопаток заключается в том, что она осуществляется при сравнительно малом сопротивлении деформированию.

Сопротивление деформированию сплава ВТЗ-1 при изотермической вальцовке лопаток описано в работе [12]. Исследования проводились при условиях соответствующих процессам изотермического деформирования методом осадки цилиндрических образцов диаметром и высотой 15 мм без смазки, с разными скоростями и степенями дефор-

мации на универсальной испытательной машине УИМ-10ТМ усилием 100 кН, оборудованной высокотемпературной муфельной печью с автоматической регулировкой температуры. Испытательная машина снабжена электронным силоизмерительным устройством для записи кривой "усилие—деформация". В работе авторы использовали вальцовочный инструмент, который выполнял не только функцию формообразующей оснастки, но и использовался как электрод для подвода тока.

В работе [13] авторы проводили экспериментальные исследования прокатки титановых сплавов с одновременным электромагнитным нагревом. В процессе экспериментальных исследований измеряли давление металла на валки с помощью магнитоупругих мездоз, обороты валка с помощью кулачкового устройства, ток и напряжение нагрева, температуру в различных точках валка и заготовки с помощью хромель-алюмелевых термопар. По системе "валок—валок" прокатывали заготовки из сплава ВТЗ-1 сечением 3×5 мм и длиной 200 мм, а по системе "контакт—контакт" заготовки из сплава ВТ9 с размерами $\varnothing 18 \times 1200$ мм и заготовки из сплава ОТ4 с размерами $6 \times 20 \times 400$ мм. Приводятся данные по результатам полученных экспериментальных исследований по системе "валок—валок" по распределению температурного поля в теле валка и заготовки. Так, при нагреве заготовки до температуры прокатки 950°C , температура в бандаже валка достигает значительных величин даже на глубине 15 мм. Анализ зависимостей изменения температуры во времени для системы электро-контактного нагрева "контакт—контакт" показывает, что для малых величин плотностей тока нагрева, температура теплового баланса

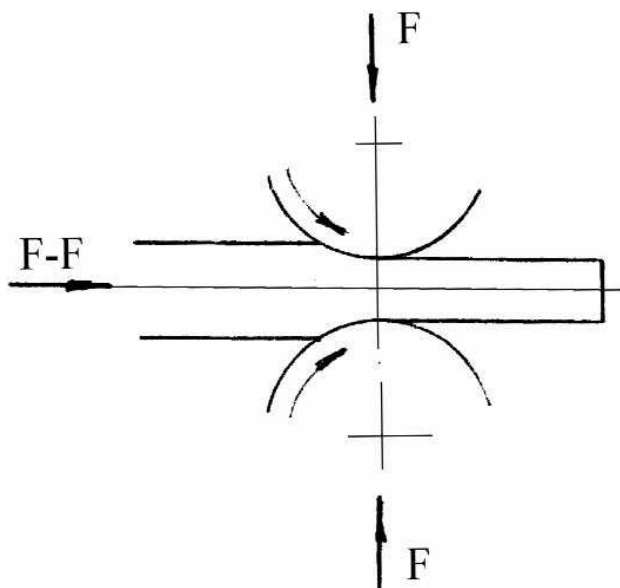


Рис. 1. Принципиальная схема изотермической прокатки

достигается за сравнительно большее время. С увеличением площади поперечного сечения возрастает температура теплового баланса при одинаковых плотностях тока нагрева. Различные формы заготовок, при одинаковых величинах температуры теплового баланса, требуют различные величины плотностей тока нагрева.

В данной работе авторы проводили экспериментальные исследования при нагреве банджа до 350°C. Не приведены данные поведения указанных зависимостей при нагреве температуры банджа выше 350°C. Исследования технологических параметров прокатки (уширение, опережение и др.) не проводились.

Анализ приведенных работ показал, что при рекомендуемых расчетах не учитываются соотношения геометрических форм калибра и вальцовой заготовки. Данные по определению сопротивления деформированию получены при осадке и растяжении, а не в условиях прокатки, где очаг деформации имеет совершенно другую форму и естественно другие условия деформации. Нет данных, которые показывали бы зависимость сопротивления деформации от температуры нагрева инструмента.

В настоящее время опубликовано недостаточно работ по исследованию возможностей вальцовки заготовок в изотермических условиях и близко к ним. Поэтому проведение исследований по влиянию температуры, скорости деформирования, степени деформации на технологические параметры вальцовки заготовок в условиях, приближенных к изотермическим, является актуальной задачей, решение которой может привести к улучшению пластичности и снижению усилий

деформирования, повышению качества полуфабрикатов.

В работе [2] описан способ нагрева рабочего инструмента, установленного на валках (рис. 2, а), а для поддержания температуры вальцуемых заготовок, использован метод нагрева электросопротивлением. Печь электросопротивления (рис. 2, б) представляет собой блок 1 с пазами 2 для нихромовой спирали и нишей (рабочим пространством) 3, в котором находится объем заготовки, подлежащей деформации. Огнеупорный блок заключен в теплоизоляционный кожух 4.

Опытная установка предназначена для определения оптимальных параметров и термомеханических характеристик при вальцовке заготовок в условиях, приближенных по температурному фактору к изотермическим.

В целях обеспечения жесткости валков и сохранения постоянного межцентрового расстояния в процессе деформирования, установка выполнена по типу двухпорных ковочных валцов. Для поддержания температуры заготовки и нагрева рабочего инструмента (вальцовочных штампов, непосредственно установленных на валках) установка снабжена нагревательным устройством, установленным с тыльной стороны.

Во избежание заклинивания от нагрева подшипниковых узлов рабочих валков, корпуса наружных пар выполнены с отверстиями — каналами для обеспечения циркуляции проточной воды. Привод установки позволяет регулировать частоту вращения валков, что обеспечивает снятие характеристик при разных скоростных режимах. Техническая характеристика установки приведена ниже:

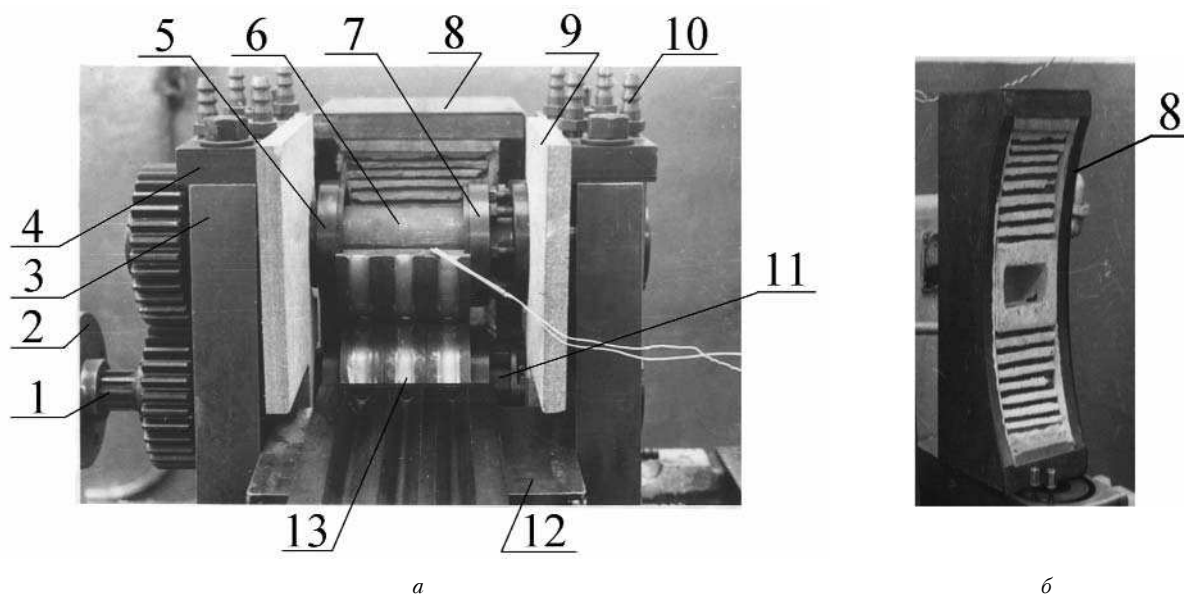


Рис. 2. Установка для вальцовки в условиях изотермического деформирования (а); фрагмент печи (б) [2]

Номинальное усилие, кН	20
Межосевое расстояние валков, мм	160
Частота вращения валков, мин ⁻¹	12–60
Диаметр исходной заготовки, мм	30
Размеры посадочного места, мм:	
диаметр	80
длина	135
Мощность привода, кВт	10
Температура нагрева деформирующего инструмента, °С	до 500
Тип нагревательного устройства	электро-сопротивление
Напряжение, В	220
Мощность нагревателя, кВт	4
Диаметр проволоки (нихром)	0,6

В данной работе описаны экспериментальные исследования пластичности сплавов АК6 и Д16, армированного нитевидными кристаллами из материала SiC при вальцовке заготовок в условиях, приближенных к изотермическим на описанной выше установке (рис. 2, а) в овальных калибрах с размерами указанными в табл. 1.

Вальцовка заготовок из сплава АК6 проводилась при температурах вальцовочных штампов 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 °С и степенями деформации 30, 40, 50%.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 3, показывает, что с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов до 250 °С уширение заготовок уменьшается относительно значений уширения полученных при

Таблица 1

Размеры овальных калибров для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов с размерами $\varnothing 14 \times 150$ мм

Отношение осей, a	Высота калибра – h , мм	Ширина калибра – b , мм	Радиус калибра – R , мм	Коэффициент вытяжки, λ
2,0	9,3	18,65	11,70	1,45
2,4	8,3	19,90	11,95	1,55
2,8	7,1	20,10	12,00	1,65

Установка для вальцовки заготовок в условиях приближенных к изотермическим (рис. 2, а) состоит из сварного корпуса 7 включающего основание и две вертикальные стойки. Вертикальные стойки имеют пазы для установки четырех корпусов подшипников скольжения, которые крепятся стяжными планками. В подшипниках, как в опорах, установлены верхний 8 и нижний приводной 9 валки. Шлицевой муфтой 2 нижний валок соединен с приводом, а через зубчатую передачу 1 с отношением 1:1 связан с верхним валком, что обеспечивает их синхронное вращение. Межосевое расстояние валков при настройке регулируется в пределах 0,5–2,0 мм за счет установки между корпусами подшипников верхнего и нижнего валков калиброванных прокладок. На обоих валках между неподвижной 4 и подвижной 5 шайбами укреплен рабочий инструмент (сектора–штампы) 11. Для ввода заготовки в рабочую зону секторов–штампов строго по оси ручья и кантовки заготовок на 90° при переходах из ручья в ручей в передней части установка снабжена проводкой 12, а с тыльной стороны корпуса установки закреплено нагревательное устройство 3. Чтобы предотвратить нагрев корпусов подшипников за счет излучения используются асбоцементные плиты 10. Штуцера 6 служат для подачи и слива охлаждающей проточной воды. Для контроля, регулировки и регистрации температуры нагрева заготовки и секторов–штампов установка оборудована самопишущим прибором типа КСП-4.

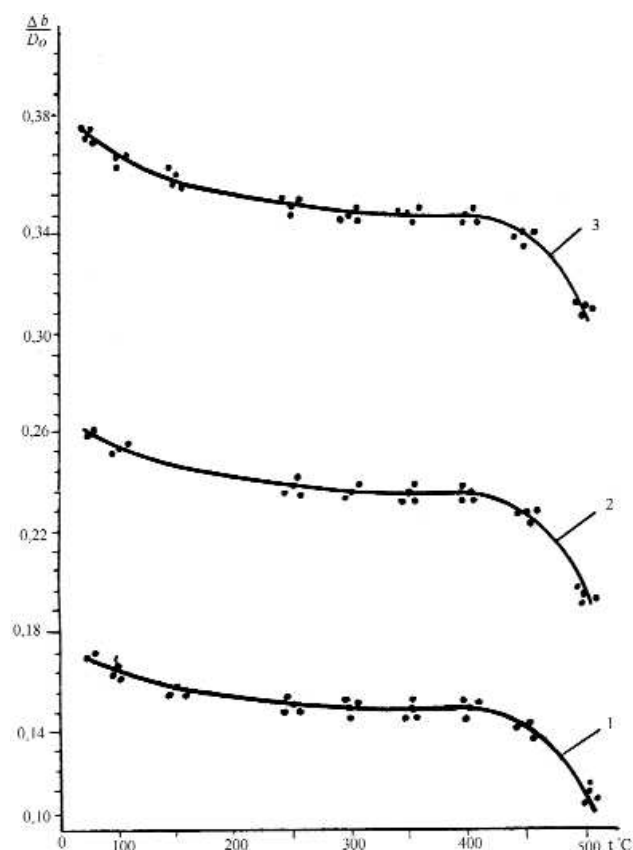


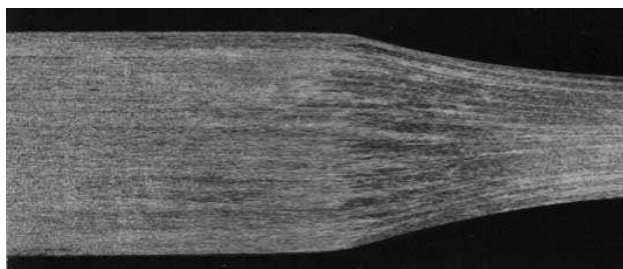
Рис. 3. Зависимость уширения от температуры нагрева вальцовочных штампов в интервале 20–500 °С (степень деформации: 1 – 30%; 2 – 40%; 3 – 50%) при вальцовке заготовок (сплав АК6) круглого сечения в овальных калибрах

деформации в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20°C на 11,47%; 11,01%; 10,9% при степенях деформации 30, 40, 50% соответственно.

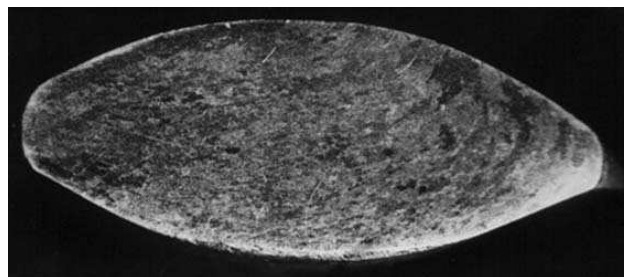
В интервале температур 250–400°C при постоянной степени деформации, уширение практически не меняется, а изменение степеней деформации от 30 до 50% увеличивают абсолютные значения уширения на 15, 23 и 35% относительно исходного поперечного сечения для заготовок деформируемых, соответственно, со степенями деформаций 30, 40 и 50%.

Дальнейшее повышение температуры нагрева вальцовочных штампов до 500°C ведет к уменьшению уширения вальцованных заготовок по сравнению с уширением заготовок, имеющих температуру 20°C на 59%; 37,4% и 24,35% при степенях деформации 30, 40 и 50% соответственно.

На рис. 4 представлена макроструктура продольного и поперечного сечений вальцованных заготовок из сплава АК6 с размерами $\varnothing 14 \times 150$ мм, соответствующая требованиям технической документации. Вальцовка проводилась при температурах заготовок и вальцовочных штампов равной 450°C со степенью деформации 50%.



а



б

Рис. 4. Макроструктура продольного (а) и поперечного (б) сечений вальцованной заготовки в овальном калибре. Сплав АК6, $\varnothing 14 \times 150$. Температура вальцовочных штампов и заготовки 450°C. Степень деформации 50%

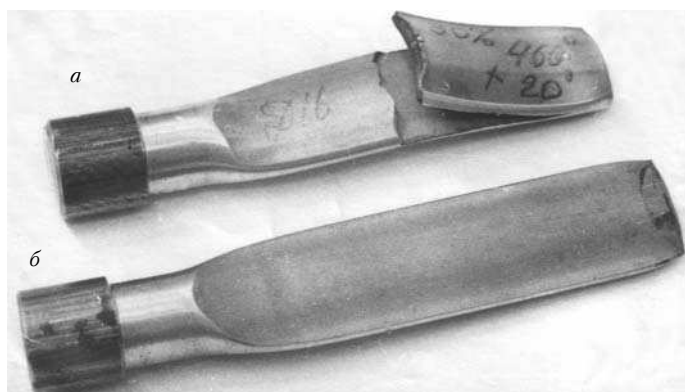


Рис. 5. Вальцованные заготовки из сплава Д16, армированного нитевидными кристаллами SiC:

- а – при температуре вальцовочного штампа 20°C и степени деформации 30%;
б – при температуре вальцовочного штампа 250°C и степени деформации 50%

В другой серии экспериментов по выше описанной методике были проведены исследования пластичности трудно деформируемого алюминиевого сплава Д16, армированного нитевидными кристаллами из материала SiC.

Вальцовка заготовок с размерами $\varnothing 14 \times 150$ мм проводилась в овальных калибрах при температуре 460°C и степенях деформации 30, 40 и 50%. При этом температура вальцовочных штампов была 20, 200, 250, 300, 350, 400, 450°C. Заготовки нагревались в камерной печи электросопротивления до температуры 460°C и вальцевались в овальном калибре при степени деформации 30%. При температуре вальцовочных штампов равной 20°C и коэффициенте вытяжки 1,45, заготовки при деформации расслаивались в продольном и поперечном направлениях, рис. 5, а.

Металлографические исследования показали, что разрушение не связано с исходной структурой, которая не имела отклонений от технических требований и заготовки для экспериментов брались из прутка одной плавки. Увеличение температуры нагрева вальцовочных штампов до 200°C позволило избежать появления расслоений представленных на рис. 5, а. Однако появилось

много трещин на различных участках вальцованных заготовок длиной 3–17 мм, глубиной 0,4–2,6 мм и переполнение калибра по линии разъема до 3,6 мм на сторону. При температуре вальцовочного штампа 250°C количество трещин, а также их размеры значительно уменьшились по длине до 2–9 мм и наблюдались в основном на участке конца вальцованных заготовок длиной до 32 мм. Переполнение калибра по линии разъема осталось прежним, т.е. до 3,6 мм на сторону. Увеличение температуры вальцовочных штампов до 300°C привело к ликвидации трещин по всему стержню вальцованных заготовок, за исключением торца вальцованных заготовок на участке длиной до 10–17 мм от конца. Переполнение калибра составляло до 3–3,2 мм на сторону. При температуре вальцовочных

штампов 350–400°C дефектов не наблюдалось, за исключением переполнения калибров до 2,2–2,6 мм. При увеличении температуры вальцовочных штампов до 450°C наблюдалось переполнение калибров до 1,6–2 мм на сторону, но дефектов в виде трещин не было.

По аналогичной методике была проведена вальцовка заготовок при температуре вальцовочных штампов в интервале 350–450°C и степени деформации 40% (коэффициент вытяжки 1,55). Дефектов в виде трещин не наблюдалось, но было переполнение калибра до 1,7–2,2 мм на сторону, что не позволяет проводить вальцовку в следующем переходе. Вальцовка заготовок при температуре вальцовочных штампов в интервале 350–450°C и степени деформации 50% (коэффициент вытяжки 1,65) показала, что дефектов поверхностных и в макроструктуре не обнаружено, но было переполнение калибра до 1,8–2,3 мм на сторону.

Проведенные эксперименты показали хорошую пластичность алюминиевого сплава АК6 в условиях изотермического деформирования, что нельзя сказать о сплаве Д16, армированного нитевидными кристаллами из материала SiC. Установлено, что температура нагрева вальцовочных штампов, степень деформации и соотношение геометрических форм калибра и вальцуемой заготовки играют существенную роль в изготовлении качественных вальцованных заготовок при изотермическом деформировании.

Эксперименты показали, что расчеты калибров выполненные по методике разработанной для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов, требуют ее корректировки для изготовления качественных вальцованных заготовок из сплава Д16, армированного нитевидными кристаллами из материала SiC.

Выводы

1. Проведенные эксперименты показали хорошую пластичность алюминиевого сплава АК6, в условиях изотермического деформирования заготовок в овальных калибрах при различных степенях деформации (30–50%) и температурах вальцовочных штампов (20–500°C).

Определены зависимости уширения от степени деформации, температур нагрева вальцовочных штампов и коэффициентов вытяжки. Установлено, что в интервале температур нагрева вальцовочных штампов 250–400°C уширение практически не меняется, что объясняется отсутствием упрочнения металла при данных условиях деформирования. Это дает основание рекомендовать проведение вальцовки заготовок в этом интервале температур нагрева вальцовочных штампов.

Изменение степеней деформации от 30 до 50% увеличивают абсолютные значения уширения на

15, 23 и 35% относительно исходного поперечного сечения для заготовок деформируемых, соответственно, со степенями деформаций 30, 40 и 50%. Макроструктура продольных и поперечных сечений вальцованных заготовок соответствует требованиям технической документации.

2. Экспериментальные исследования вальцовки заготовок из сплава Д16, армированного нитевидными кристаллами SiC, в условиях аналогичных вальцовке заготовок из сплава АК6 определили ряд особенностей вальцовки этого трудно деформируемого сплава.

Вальцовка заготовок нагретых до 460°C в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20°C, при степени деформации 30% и коэффициенте вытяжки 1,45, заготовки расслаивались в продольном и поперечном направлениях.

Увеличение температуры вальцовочных штампов до 200°C позволило избежать появления расслоений, но появилось много трещин на поверхности различных участков вальцованных заготовок длиной 3–17 мм и глубиной 0,4–2,6 мм, а также было переполнение калибра до 3,6 на сторону. С увеличением температуры вальцовочных штампов до 350–450°C и степени деформации до 50% на вальцованных заготовках дефектов не обнаружено, но переполнение калибра до 1,7–2,2 осталось.

Эксперименты показали, что расчеты калибров выполненные по методике разработанной для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов, требует ее корректировки для изготовления качественных вальцованных заготовок из сплава Д16, армированного нитевидными кристаллами из материала SiC.

Литература

1. Скрыбин С.А., Полохов В.Н., Скрыбин 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. Скрыбин С.А./ Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием // К.: "Квіц". — 2004. — 346 с.
3. Скрыбин С.А., Полохов В.Н., Скрыбин К.С./ Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампованных поковок из алюминиевых сплавов, имеющих вытянутую ось с отрогками// Технологические системы. — 2004. — №3. — С. 29–32.
4. Скрыбин С.А., Полохов В.Н., Барабой Н.Н., Скрыбин К.С./ Штамповка поковок из алюминиевых сплавов с вытянутой осью, тонким полотном,



закрытыми сечениями и глубокой полостью.// Технологические системы. — 2006. — №1. — С. 30–35.

5. *Скрябин С.А., Барбой Н.Н.* Исследование пластичности титанового сплава ВТЗ-1 при деформировании в калибрах различных систем// Технологические системы. — 2006. — №2. — С. 45–49.

6. *А/с №1024130 СССР.* Валок с электроконтактным нагревом.//Б.И. — 1983. — №23.

7. *Патент Японии №51-15485.*

8. *Патент США № 3988914 (№ 607788).*

9. *Light Metal Age*, 1970, v. 28, № 1,2, p 8.

10. *Сергеева Г.И.* Новые исследования в области изотермической штамповки и прокатки титановых сплавов за рубежом (обзор). Технология получения, обработки и соединения материалов.

11. *Кошаев Ш.Д., Павлов И.А.* Изотермическая вальцовка заготовок лопаток компрессора из сталей и титановых сплавов //Авиационная промышленность. — 1986. — №5. — С. 11–13.

12. *Кошаев Ш.Д., Смирнов В.К., Харитонин С.В.* Исследование сопротивления деформированного сплава ВТЗ-1 при изотермической вальцовке лопаток //Авиационная промышленность. — 1987. — №5. — С. 22–24.

13. *Особенности* процесса штамповки при температурноскоростных условиях сверхпластичности титановых сплавов. Тулянкин Ф.В. и др. //Кузнечно-штамповочное производство. — 1983. — №1. — С. 8–9.