

УДК 621.73

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПО СИСТЕМЕ КРУГ – ОВАЛ – РОМБ, В УСЛОВИЯХ ПРИБЛИЖЕННЫХ К ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ

Анотація

У статті описані експериментальні дослідження залежності випередження від ступені деформації, температур нагріву штампів і заготовок при вальцюванні по системі круг-овал-ромб.

Abstract

In article it is described experimental research of dependencies of the leading from degree of the deformation, temperature of the heating of the rolling stamps and storages when rolling on system circle-oval-rhomb.

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 [1–5].

В изотермических условиях можно получать детали повышенной точности, сложных конфигураций, получение которых обычными методами сложно или не осуществимо. Точность деталей полученных в изотермических условиях значительно повышается из-за:

- уменьшения упругих деформаций системы оборудование–инструмент, так как снижается сопротивление деформированию металла и усилие обработки;

- уменьшение колебаний температуры деформации и следовательно, большей стабильности геометрических размеров обработанных деталей;

- снижения остаточных напряжений в объеме штампуемой стали, что уменьшает ее поковки при остывании и термообработке и улучшает качество.

Применяемые в изделиях авиационной промышленности детали из алюминиевых сплавов отличаются конструктивной сложностью (наличие тонких высоких ребер, малых радиусов сопряжения, тонких полотен, открытых и закрытых сечений с глубокими ребрами и т.д.). Среди этой номенклатуры значительный объем занимают детали удлиненной формы с большим перепадом площадей поперечных сечений вдоль оси, для подготовки под штамповку которых применяется процесс вальцовки. Применение процесса вальцовки заготовок в условиях приближенных к изотермическим, даст возможность максимально использовать эффект сверхпластичности, снизить усилия деформирования за счет повышения пластичности обрабатываемого металла, которое происходит из-за полного протекания разупрочняющих процессов. 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 приведет к

улучшению пластичности и снижению усилий деформирования, повышению качества полуфабрикатов.

При расчете длины деформируемого участка, имеющего переменное сечение вдоль оси, точность определения опережения крайне необходима, так как кроме определения размеров поперечных сечений требуется рассчитывать и длину его отдельных участков. В случае неправильного определения опережения, длина заготовки после вальцовки в предыдущем участке может быть больше или меньше расчетной и не соответствовать длине последующего участка, что может привести к браку вальцуемой заготовки.

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 ремонт авіаційної техніки".

В работе получили дальнейшее развитие исследования проведенные д.т.н. С.А. Скрыбыным и опубликованные в работе [6]. Дальнейшее развитие заключается в проведении дополнительных экспериментальных исследований по влиянию степеней деформации, температур нагрева вальцовочных штампов и использования для проведения экспериментов, кроме сплава АК6, сплавов АК4, АК4-1, АК8, АМг1, АМг2, АМг6, АМЦ.

Эксперименты проводились по методике описанной в работе [6] на опытной установке [2].

Для определения влияния степени деформации, температур нагрева заготовок и вальцовочных штампов на опережение, заготовки из выше названных сплавов с размерами $\varnothing 14 \times 150$ мм нагретые до температуры 450°C [7] вальцевали в овальных калибрах (табл. 1) со степенями деформации 30, 40 и 50%. Вальцовочные штампы нагревались последовательно до температуры 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450°C . Температуру замеряли хромель-алюмелевой термопарой и регулировали с помощью самопишущего прибора КСП. Частота вращения валков составляла $0,2^{-1}$. В экспериментальных исследованиях использовались методы оптической и электронной микроскопии, рентгеновского микроанализа, математической статистики.

На рис. 1 представлены зависимости изменения опережения от степени деформации и температуры нагрева вальцовочных штампов. Анализ экспериментальных данных представлен-

ных в табл. 2 и на рис. 1 показывает, что с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов до 250°C , значения опережения возрастают по сравнению со значениями опережения при деформации в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20°C на 51,3; 71,0 и 76,9% при степенях деформации 30, 40 и 50% соответственно.

Увеличение опережения с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов происходит за счет уменьшения коэффициента трения,

Таблица 1
Размеры овальных калибров для вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов, $\varnothing 14 \times 150$ мм

| Соотношение 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 | 19,9 | 11,95 | 1,55 |
| 2,8 | 7,1 | 20,1 | 12,00 | 1,65 |

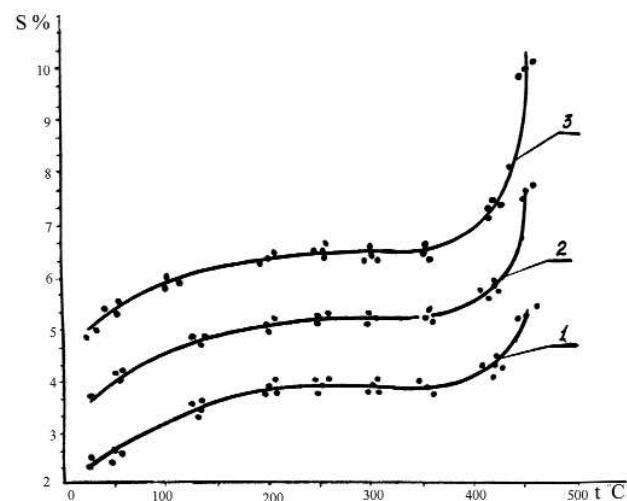


Рис. 1. Зависимость опережения от температуры нагрева вальцовочных штампов (степень деформации: 1 — 30%; 2 — 40%; 3 — 50%) при вальцовке заготовок круглого сечения в овальных калибрах

Таблица 2
Значения опережения S в зависимости от степени деформации ϵ и температуры нагрева вальцовочных штампов t_b

| Опережение, $S, \%$ | Температура, t_b | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|
| | 20 °C | 250 °C | 450 °C |
| | $\epsilon = 30\%$ | | |
| | 2,0 | 3,9 | 5,15 |
| $\epsilon = 40\%$ | | | |
| 3,66 | 5,15 | 7,66 | |
| $\epsilon = 50\%$ | | | |
| 5,0 | 6,5 | 10,0 | |

повышения пластичности обрабатываемого металла и протекания разупрочняющих процессов.

В интервале температур нагрева вальцовочных штампов 220–350°C и постоянной степени деформации, опережение практически не меняется, а изменение степеней деформации увеличивают абсолютные значения опережения. Так, повышение степени деформации до 40% приводит к увеличению опережения относительно 30% на 24,3%. Повышение степени деформации до 50% приводит к увеличению опережения относительно 30% на 40%, а относительно 40% на 20,77%.

Характер поведения зависимостей опережения от степени деформации и температур нагрева вальцовочных штампов в интервале 220–350°C объясняется достижением равенства осевых сжимающих напряжений направленных вдоль и поперек очага деформации, а также равенства смещенных объемов металла в этих направлениях и протекания разупрочняющих процессов.

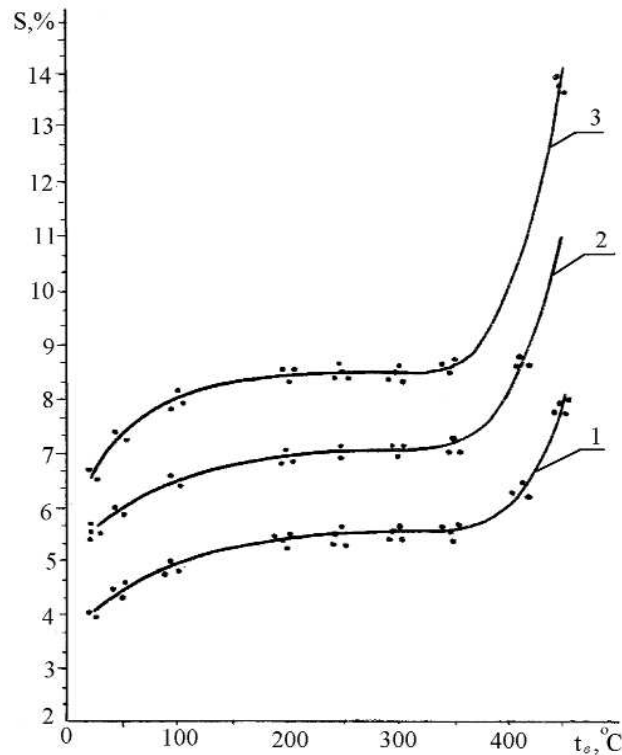


Рис. 2. Зависимость опережения от температуры нагрева вальцовочных штампов (степень деформации: 1 — 30%; 2 — 40%; 3 — 50%) при вальцовке заготовок овального сечения в ромбических калибрах

Таблица 3

Размеры поперечного сечения заготовок, полученных после вальцовки в овальных калибрах

| Температура, $t_{в}$, °C | Степень деформации, ϵ | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 30% | | 40% | | Ширина, мм | Высота, мм |
| | Ширина, мм | Высота, мм | Ширина, мм | Высота, мм | | |
| 20 | 16,36 | 9,8 | 17,50 | 8,7 | 19,0 | 7,4 |
| 50 | 16,31 | 9,8 | 17,45 | 8,7 | 18,9 | 7,4 |
| 100 | 16,23 | 9,8 | 17,35 | 8,7 | 18,8 | 7,4 |
| 200 | 16,15 | 9,8 | 17,23 | 8,7 | 18,65 | 7,4 |
| 250 | 16,13 | 9,8 | 17,20 | 8,7 | 18,60 | 7,4 |
| 300 | 16,13 | 9,8 | 17,20 | 8,7 | 18,60 | 7,4 |
| 350 | 16,13 | 9,8 | 17,20 | 8,7 | 18,60 | 7,4 |
| 400 | 16,03 | 9,8 | 17,10 | 8,7 | 18,50 | 7,4 |
| 450 | 15,70 | 9,8 | 16,70 | 8,7 | 18,00 | 7,4 |

Дальнейшее повышение температуры нагрева вальцовочных штампов до 450°C ведет к увеличению значений опережения по сравнению со значениями опережения при деформации в вальцовочных штампах имеющих температуру 20°C на 38,8; 47,8 и 50,0%, температуру 250°C на 24,3; 32,76 и 35,0% соответственно при степенях деформации 30, 40 и 50%.

Изменение степени деформации от 30 до 50% увеличивает значение опережения, не изменяя характера зависимостей их от температуры нагрева вальцовочных штампов.

В следующей серии экспериментов, для определения опережения, заготовки после вальцовки в овальных калибрах (табл. 1), с размерами указанными в табл. 3, вальцевали в ромбическом калибре, имеющем угол при вершине $\beta = 110^\circ$, высоту $h_p = 8,4$ мм и зазор между штампами 1,0 мм.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2 и табл. 4. Из анализа этого рисунка видно, что характер зависимостей опережения от степени деформации и температуры нагрева вальцовочных штампов аналогичен описанным ранее. С повыше-

Таблица 4

Значения опережения S в зависимости от степени деформации ϵ и температуры нагрева вальцовочных штампов $t_{в}$

| Опережение, S , % | Температура, $t_{в}$ | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------|
| | 20°C | 250°C | 450°C |
| | $\epsilon = 30\%$ | | |
| | 4,0 | 5,5 | 8,0 |
| $\epsilon = 40\%$ | | | |
| 5,5 | 7,0 | 11,0 | |
| $\epsilon = 50\%$ | | | |
| 6,5 | 8,5 | 14,2 | |

нием температуры нагрева вальцовочных штампов до 250°C опережение заготовок увеличивается относительно опережения при деформации в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20°C на 27,5; 21,4 и 23,5% при степенях деформации 30, 40 и 50% соответственно, рис. 2.

Увеличение опережения с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов происходит за счет уменьшения коэффициента трения, повышения пластичности обрабатываемого металла и протекания разупрочняющих процессов.

В интервале температур нагрева вальцовочных штампов 220–350°C и постоянной степени деформации, опережение практически не меняется, а изменение степеней деформации увеличивают абсолютные значения опережения. Так, повышение степени деформации до 40% приводит к увеличению опережения относительно 30% на 21,4%. Повышение степени деформации до 50% приводит к увеличению опережения относительно 30% на 35,3%, а относительно 40% на 17,65%.

Характер поведения зависимостей опережения от степени деформации и температур нагрева вальцовочных штампов в интервале 220–350°C объясняется достижением равенства осевых сжимающих напряжений направленных вдоль и поперек очага деформации, а также равенства смещенных объемов металла в этих направлениях и протекания разупрочняющих процессов.

Дальнейшее повышение температуры нагрева вальцовочных штампов до 450°C ведет к увеличению значений опережения по сравнению со значениями опережения при деформации в вальцовочных штампах имеющих температуру 20°C на 31,25; 36,4 и 54,2%, температуру 220–350°C на 31,25; 36,4 и 40,1% соответственно при степенях деформации 30, 40 и 50%.

Изменение степени деформации от 30 до 50% увеличивает значение опережения, не изменяя характера зависимостей их от температуры нагрева вальцовочных штампов.

Выполненные эксперименты по выше описанной методике на заготовках из алюминиевых сплавов АК4, АК8, АМг6, АМЦ с размерами $\varnothing 18$ и $\varnothing 20 \times 150$ мм показали, что характер поведения зависимостей опережения от степени деформации и температуры нагрева вальцовочных штампов, при прочих равных условиях, аналогичен представленным на рис. 1, 2.

В другой серии экспериментов, для определения опережения, заготовки из выше названных сплавов с размерами $\varnothing 14 \times 150$ мм, нагретые в камерной печи электросопротивления до температур 300, 350, 400, 450, 470⁺¹⁰°C вальцевали в гладких вальцовочных штампах, которые нагревали последовательно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 470°C. Вальцовка про-

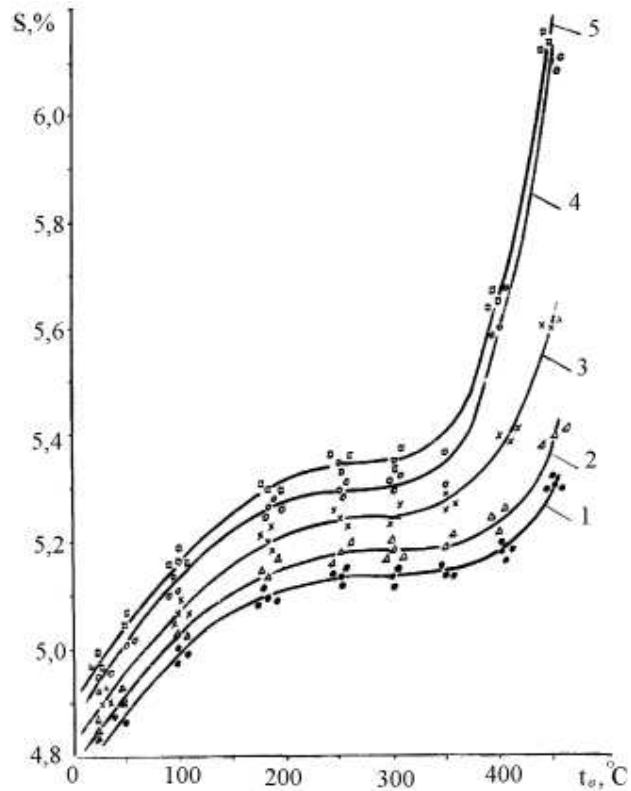


Рис. 3. Зависимость опережения от температуры нагрева заготовок и штампов при вальцовке в гладких валках (степень деформации 40%, температура нагрева заготовок: 1 – 300 °C; 2 – 350 °C; 3 – 400 °C; 4 – 450 °C; 5 – 470 °C)

дидась со степенями деформации 30 и 40%. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3.

Анализ рис. 1–3 показывает, что характер поведения зависимостей опережения от степени деформации, температур нагрева вальцовочных штампов и заготовок независимо от схемы вальцовки (круг – овал, круг – гладкие валки, круг – овал – ромб) аналогичен. Изменяются лишь количественные соотношения, зависящие от соотношения геометрических размеров калибра и вальцуемой заготовки.

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

Выводы

1. Анализируя преимущества изотермического деформирования, в сравнении с деформированием металла в обычных условиях, проведены экспериментальные исследования технологического параметра (опережения) процесса вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов, в условиях



приближенных к изотермическим. Определены зависимости опережения от степени деформации, температур нагрева заготовок и вальцовочных штампов при вальцовке по системам круг-овал, круг-овал-ромб и круг-гладкие валки.

2. Установлено, что в интервале температур нагрева вальцовочных штампов 220–350°C при постоянной степени деформации, опережение при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов практически не меняется, а изменение степеней деформации увеличивают абсолютные значения опережения.

3. Вальцовку заготовок из алюминиевых сплавов, в условиях приближенных к изотермическим, рекомендуется проводить в штампах нагретых до температур 220–350°C, при которых значения величин опережения постоянны.

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 отrostками// *Технологические системы*, 2004. — № 3. — С. 29–32.
4. *Скрябин С.А., Полохов В.Н., Барабой Н.Н., Скрябин 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., Барабой Н.Н./* Исследование пластичности титанового сплава ВТЗ-1 при деформировании в калибрах различных систем// *Технологические системы*, 2006. — № 2. — С. 45–49.
6. *Скрябин С.А.* Исследование термомеханических параметров вальцовки заготовок в изотермических условиях. — *К.: Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт"*. Машиностроение, 1998, вып. 33. — С. 311–317.
7. *ПИ 1.2. 085-78.* Ковка и штамповка деформируемых алюминиевых сплавов. — *М.: ВИАМ*, 1978.