

Висновок. Запропонована нами схема кінетики ущільнення при припиканні роликовим електродом із фасонною поверхнею дозволяє усунути градієнт температур по ширині електрода.

#### Список літератури

1. Лопата Л.А. Разработка технологии нанесения износостойких порошковых покрытий электроконтактным припеканием с силовым активированием сдвигом. Автореф. диссерт. канд. техн. наук. – Минск: 214 с., 1987.
2. Пат. № 37465А МКИ В22F1/00. Электрод для электроконтактного припекания порошков/ Л.А.Лопата, Ф.Й. Златопольський, М.В.Красота. Заявл. 14.01.99; опубл. 15.05.2001. Бюл. № 4.
3. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электроконтактное упрочнение. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 256 с.
4. Бобоюдо Л.М. Расчет температурного поля процесса индукционной наплавки твердого сплава. – Сварочное производство, 1976, № 3, с. 1-3.
5. Гагапов Ф.Л. Выбор режима и схемы электроконтактного припекания коленчатых валов. – Труды ЧИМЭСХ, 1975, вып. 86. – 74-80 с.
6. Дорожкин Н.Н., Абрамович Т.М., Жорник В.И. Получение покрытий методом припекания. – Мн.: Наука и техника, 1980. – 176 с.
7. Шмалько В.П. К теории процесса электроконтактного напекания фасок J.of Thermal Spray Technology, 1997.V.6.№4.p.509-522
8. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
9. Шумаков Н.В. Метод последовательных интервалов в теплотрии нестационарных процессов. – М.: Автоматиздат, 1976. – 216 с.
10. Дорожкин Н.Н. и др. Авт. свид. № 582908. Бюл. изобр., № 45, 1977.
11. Жорник А.И. Карташов Э.М. Изв. Вузов, Авиационная техника, № 3, 1973.

#### УДК

С.А.Скрябин<sup>1</sup>, д-р.техн.наук, Л.В.Швец<sup>2</sup>, инж.

1 - научно – производственный центр «Ухналь», г. Киев, Украина

2 - Винницкий Государственный аграрный технический университет, г.Винница, Украина

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УШИРЕНИЯ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

---

*У статті приведено формули для визначення розширення, отримані на підставі проведених експериментальних досліджень при вальцюванні заготовок з алюмінієвих сплавів у калібрах різних систем і умовах наближених до ізотермічних.*

*Formulas for broadening determination, got on the grounds of carryed out experimental studies when rolling storages from aluminum alloy in different systems calibers and in conditions drawn near to isothermal, are brought In article.*

---

*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].

Применение процесса вальцовки заготовок в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, даст возможность максимально использовать его преимущества, поскольку деформирование нагретых заготовок будет производиться инструментом, нагретым до температур деформирования, что позволит снизить усилия деформирования за счет повышения пластичности обрабатываемого металла, которое происходит из – за более полного протекания разупрочняющих процессов. Равномерная деформация заготовки, при отсутствии зон затрудненной деформации и локального перегрева, обеспечивает хорошую проработку структуры, и, как следствие, уменьшает разброс свойств в объеме заготовки. При этом, для каждого сплава необходимо избирать термомеханические параметры деформирования, обеспечивающие получение качественного изделия, как по геометрической форме, так и по механическим свойствам и макроструктуре. Постоянные температурные условия вальцовки, отсутствие колебания температуры инструмента, пониженные усилия деформации обеспечивают возможность изготовления заготовок под штамповку с большими коэффициентами вытяжки и фасонных профилей с меньшим количеством переходов, значительное снижение расхода металла.

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”.

В работе получили дальнейшее развитие исследования проведенные д.т.н. С.А.Скрябиным [4], которое заключается в проведении дополнительных экспериментальных исследований по влиянию степеней деформации, диаметра заготовок, температур нагрева вальцовочных штампов и заготовок, использования для проведения экспериментов кроме сплава АК6, алюминиевых сплавов АК4, АК4 – 1, АК8, АМг1, АМг2, АМг6, АМЦ с размерами Ø 14, 18, 20, 25 x 150 мм.

Эксперименты проводились на опытной установке описанной в работе [5].

Проведенные экспериментальные исследования по определению уширения при вальцовке заготовок в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования показали, что характер изменения этого параметра в зависимости от температур нагрева вальцовочных штампов и заготовок, а также степени деформации при вальцовке в гладких валках и калибрах различных систем аналогичен. Изменяются лишь их количественные отношения, зависящие от степени деформации и геометрических соотношений калибра и вальцуемой заготовки.

Анализ экспериментальных данных приведенных на рис. 1 показал, что разница в значениях уширения полученная при вальцовке заготовок в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20°C и нагретыми до температур 250 – 350°C (интервал,

характеризующийся постоянством значений уширения) составляет для любой степени деформации заготовки в исследуемой области (30 – 50%) величину, определяемую по формуле

$$\frac{\Delta b_{20}}{b_0} - \frac{\Delta b_{350}}{b_0} = \frac{\Delta h}{h_0} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_1), \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – абсолютное обжатие, мм;  $h_0, b_0$  – высота и ширина исходной заготовки, мм;

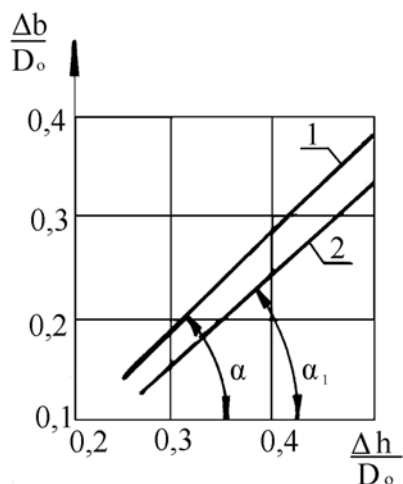


Рис. 1. Зависимость уширения от степени деформации при вальцовке заготовок круглого сечения в гладких валках, имеющих температуру: 1 - 20°C; 2 - 250 – 350 °C

$\Delta b_{20}, \Delta b_{350}$  – уширение, получаемое при вальцовке заготовок в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20 °C и 250 – 350 °C;  $\operatorname{tg} \alpha, \operatorname{tg} \alpha_1$  – углы наклона, определяющие зависимость уширения от степени деформации при вальцовке в штампах, имеющих температуру 20 °C и 250 – 350 °C.

Для круглой заготовки  $b_0 = h_0$ , тогда  $\Delta b_{20} - \Delta b_{350} = \Delta h (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_1) = \Delta h \cdot K_{yш}^u$ , (2) где  $K_{yш}^u$  – температурный коэффициент уширения, зависящий от температуры нагрева вальцовочных штампов;  $\Delta h \cdot K_{yш}^u$  – значение, определяющее разницу между уширением полученным изотермической

и традиционной вальцовками.

При вальцовке заготовок с кантовкой на 90° в системах калибров овал – ромб, овал – квадрат, овал – ромб – круг и др. абсолютное обжатие выражается как разность ширины заготовки  $b_3$ , полученной после вальцовки в предыдущем калибре и высоты последующего  $h_k$ . Поэтому значения уширения при вальцовке в штампах нагретых до 250 – 350 °C будут определяться аналогично, но с учетом соотношений геометрических форм калибра и вальцуемой заготовки

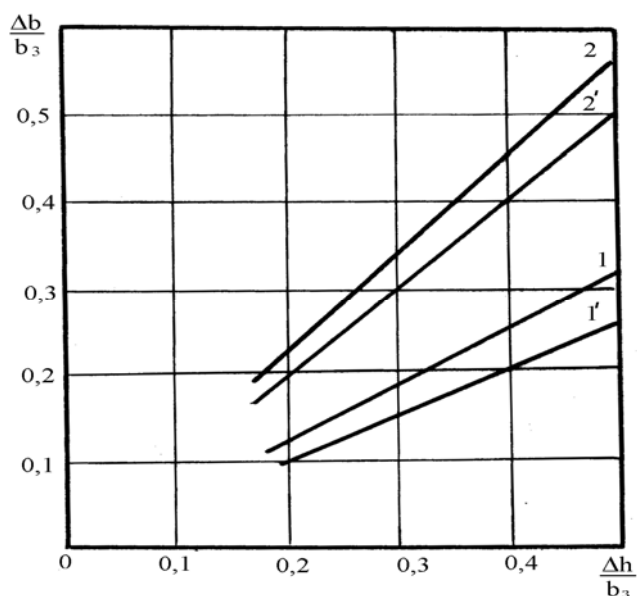


Рис. 2. Зависимость уширения от степени деформации при вальцовке заготовок в вальцовочных штампах, имеющих температуру: 1, 1' - 20 °C (вальцовка круглой заготовки в овальном калибре); 2, 2' - 250 – 350 °C (вальцовка овальной заготовки в ромбическом калибре)

$$\Delta b_{20} - \Delta b_{350} = (b_3 - h_k) K_{y_{\text{ши}}}^u = \Delta h \cdot K_{y_{\text{ши}}}^u \quad (3)$$

В условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, значения уширения, определяемые по формулам применяемым при традиционной вальцовке подлежат корректировке, с учетом значений полученных при расчете по выше описанной методике. Это означает, что при вальцовке заготовок в гладких валках и калибрах, их ширина должна быть уменьшена соответственно на значения величин определяемых по формулам (1) - (3).

На рис. 2 представлены зависимости уширения от степени деформации при вальцовке заготовок вальцовочными штампами, имеющими температуру 20 °С и 250 – 350°С.

Значения величин  $\text{tg } \alpha$ ,  $\text{tg } \alpha_1$  находятся из графиков, представленных на рис. 1, 2.

При вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов круглого сечения в гладких валках, уширение рекомендуется определять по формуле [5]

$$\Delta b / \Delta h = C_{\text{вн}} \sqrt{R / \Delta h} - 1 / f \left[ 5,64 (\Delta h / h_0)^2 - 3,31 (\Delta h / h) + 0,7 \right],$$

де

$$C_{\text{вн}} = 1,34 \left( \frac{b_0}{\sqrt{R \Delta h}} - 0,15 \right) \ell^{0,15 - \frac{b_0}{\sqrt{R \Delta h}}} \quad (4)$$

Исходя из выше изложенного, формулы для определения уширения при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов, в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования будут иметь вид:

- заготовок круглого сечения в овальных калибрах

$$\Delta b_{\text{ов}} = K_{y_{\text{ши}}}^{\text{ов}} \sqrt{(d - h_{\text{ов}}) 0,5 D_{\text{к}}^{\text{ов}}} \cdot \frac{d - h_{\text{ов}}}{d} - \Delta h \cdot K_{y_{\text{ши}}}^u, \quad (5)$$

где  $K_{y_{\text{ши}}}^{\text{ов}}$  - коэффициент, учитывающий влияние на уширение неравномерности деформации по ширине и высоте заготовки в зависимости от кривизны овального калибра, рис. 3,а.

В результате обработки опытных и расчетных данных получена следующая формула для определения  $K_{y_{\text{ши}}}^{\text{ов}}$ :

$$K_{y_{\text{ши}}}^{\text{ов}} = -\sqrt{0,0582t^2 - 0,02123t^2 + 0,2015} + 0,2265t - 0,049, \quad (6)$$

$h_{\text{ов}}$  - высота овального калибра, мм,  $d$  - диаметр деформируемой заготовки, мм;  
 $D_{\text{к}}^{\text{ов}}$  — катающий диаметр овального калибра, мм;

$$D_{\text{к}}^{\text{ов}} = A - (2/3)h_{\text{ов}}, \quad (7)$$

где  $A$  — межцентровое расстояние валков, мм.

- овальных заготовок в ромбических калибрах

$$\Delta b_p^{\text{ов}} = K_{y_{\text{ши}p}}^{\text{ов}} \sqrt{(b_{\text{ов}3} - h_p) \frac{D_{\text{к}}^p}{2} \frac{b_{\text{ов}3} - h_p}{b_{\text{ов}3}}} - \Delta h \cdot K_{y_{\text{ши}p}}^u, \quad (8)$$

где  $K_{уш\ p}^{ov}$  - коэффициент, учитывающий влияние на уширение неравномерности деформации по ширине калибра при вальцовке в нем овальной заготовки, рис.3, б;  $b_{ов\ з}$  - ширина овальной заготовки, мм;  $h_p$  - высота ромбического калибра, мм;  $D_{\kappa}^p$  - катающий диаметр ромбического калибра, мм

$$D_{\kappa}^p = A - 0,5h_p. \quad (9)$$

В результате обработки опытных и расчетных данных получена формула для определения  $K_{уш\ p}^{ov}$

$$K_{уш\ p}^{ov} = \sqrt{2 - 0,000633\psi^2 + 0,00626\psi - 0,00336 + 0,00553\psi + 0,0437}, \quad (10)$$

где  $\psi = a_{ов\ з} / a_{p\ з}$ . Здесь  $a_{ов\ з}$  и  $a_{p\ з}$  - отношение осей овальной и ромбической заготовок. - овальных заготовок в квадратном калибре

$$\Delta b_{\kappa\ в}^{ov} = K_{уш\ \kappa\ в}^{ov} \sqrt{(b_{ов\ з} - h_{\kappa\ в}) \frac{D_{\kappa}^{ov}}{2} \cdot \frac{b_{ов\ з} - h_{\kappa\ в}}{b_{ов\ з}} - \Delta h \cdot K_{уш\ \kappa\ в}^u}, \quad (11)$$

где  $K_{уш\ \kappa\ в}^{ov}$  — коэффициент, учитывающий влияние на уширение неравномерности деформации по ширине калибра при вальцовке в нем овальной заготовки, определяется по формуле (12) или по рис. 3,в;  $h_{\kappa\ в}$ — высота квадратного калибра, мм;  $D_{\kappa}^{ov}$  - катающий диаметр квадратного калибра, мм;

$$K_{уш\ \kappa\ в}^{ov} = \sqrt{0,751a_{ов}^2 - 2,627a_{ов} + 2,327 + 0,945a_{ов} - 1,187}; \quad (12)$$

$$D_{\kappa}^{ov} = A - (c^2 - 0,86r)/(1,41c - 0,83r), \quad (13)$$

где  $r$  - радиус скругления углов при вершине, мм;  
- ромбических заготовок в квадратном калибре, мм:

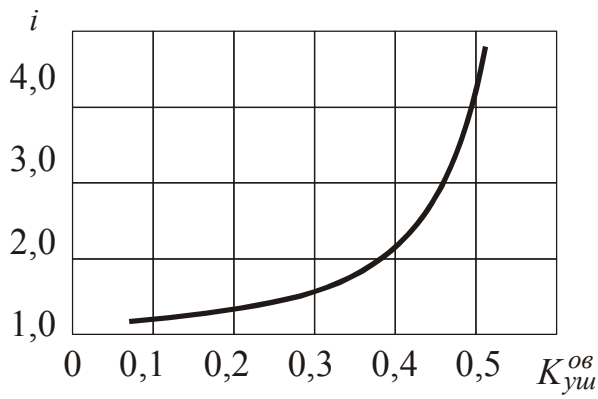
$$\Delta b_{\kappa\ в}^p = K_{уш\ \kappa\ в}^p \sqrt{(b_{p\ з} - h_{\kappa\ в}) \frac{D_{\kappa}^{ov}}{2} \cdot \frac{b_{p\ з} - h_{\kappa\ в}}{b_{p\ з}} - \Delta h \cdot K_{уш\ \kappa\ в}^u}, \quad (14)$$

где  $K_{уш\ \kappa\ в}^p$  - коэффициент, учитывающий влияние на уширение неравномерности деформации по ширине калибра при вальцовке в нем ромбической заготовки, определяется по формуле (15) или по рис. 3, г;  $b_{p\ з}$  - ширина ромбической заготовки, мм;

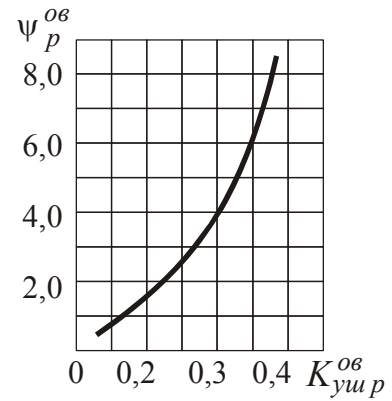
$$K_{уш\ \kappa\ в}^p = \sqrt{0,0000551a_p^2 - 0,000136a_p + 0,000119 + 0,207a_p - 0,177} \quad (15)$$

где  $K_{кр}^{ov}$  — коэффициент, учитывающий влияние на уширение неравномерности деформации по ширине калибра при вальцовке в нем ромбической заготовки, рис. 3, д;  $d_0$  — размер калибра, мм;  
- овальной заготовки в круглом калибре, мм:

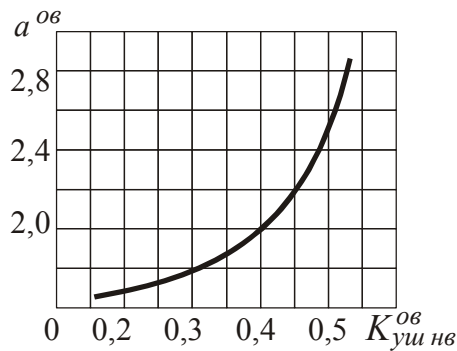
$$\Delta b_{кр}^{ov} = K_{кр}^{ov} \sqrt{(b_{ов\ з} - d_0) \frac{D_{\kappa}^{kp}}{2} \cdot \frac{b_{ов\ з} - d_0}{b_{ов\ з}} - \Delta h \cdot K_{уш\ кр}^u}, \quad (16)$$



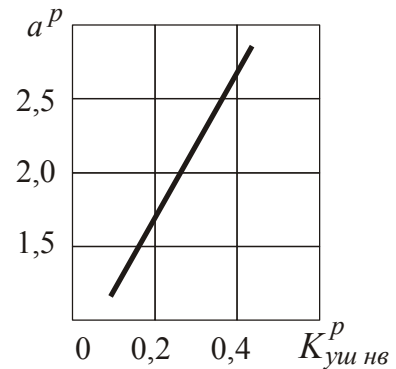
а)



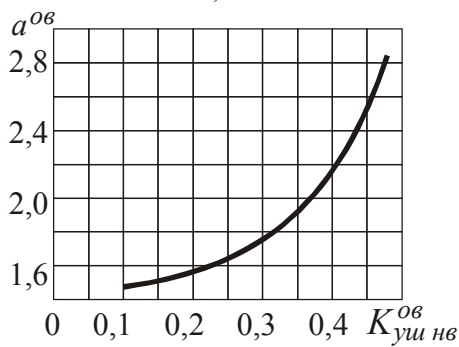
б)



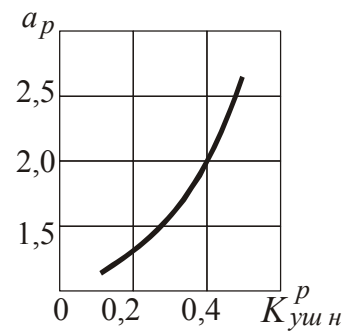
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Зависимость коэффициентов  $K_{уш}^{ов}$ ,  $K_{уш.кв}^{ов}$ ,  $K_{уш.p}^{ов}$ ,  $K_{уш.кв}^p$ ,  $K_{уш.кр}^{ов}$ ,  $K_{уш.кр}^p$  от соотношения геометрических форм калибра и вальцуемой заготовки для определения уширения при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов

где  $K_{кр}^{ов}$  — коэффициент, учитывающий влияние на уширение неравномерности деформации по ширине калибра при вальцовке в нем овальной заготовки, рис. 3, д;  $d_0$  — размер калибра, мм;

$D_{к}^{кр}$  — катающий диаметр круглого калибра, мм

$$D_{к}^{кр} = A - 0,785d_0 \quad (17)$$

- ромбической заготовки в круглом калибре, мм

$$\Delta b_{кр}^p = K_{кр}^p \sqrt{(b_{pз} - d_o) \frac{D_{кр}^{kp}}{2} \cdot \frac{b_{pз} - d_o}{b_{pз}}} - \Delta h \cdot K_{уш.кр}^u, \quad (18)$$

где  $K_{кр}^p$  — коэффициент, учитывающий влияние на уширение неравномерности деформации по ширине калибра при вальцовке в нем ромбической заготовки, рис. 3, е.

Формулы для определения уширения (5, 8, 11, 14, 16, 18) относятся ко второму этапу в развитии теории уширения по градации А. И. Целикова [6], т. е. уширение пропорционально не только обжатию, но и длине дуги захвата. Кроме этого, в полученных формулах учитываются соотношение геометрических форм калибра и вальцуемой в нем заготовки, а также неравномерность деформации по ширине калибра.

### Выводы

1. В статье приведены формулы для определения уширения, полученные на основании проведенных экспериментальных исследований при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов в гладких валках и калибрах различных систем в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования.

2. Установлено, что в интервале температур нагрева вальцовочных штампов 250 – 350 °С и постоянной степени деформации, уширение при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов практически не меняется, а изменение степеней деформации меняет его значения.

3. Вальцовку заготовок из алюминиевых сплавов, в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, рекомендуется проводить в штампах нагретых до температур 250 – 350 °С, при которых значения величины уширения постоянны.

4. Использование выше приведенных рекомендаций по определению уширения позволит достигнуть большей точности при изготовлении качественных вальцованных заготовок, штампованных поковок, профилей фасонного сечения на ковочных вальцах и др.

### Список литературы

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., 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 отростками// Технологические системы. – 2004. - № 3. – С. 29 - 32.

3. Скрябин С.А., Полохов В.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.

4. 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.

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

6. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 329 с.