

УДК 621.7.016.2: 669. 715

Бубновская И. А.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УШИРЕНИЯ И ОПЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ТРАДИЦИОННОЙ И ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВАЛЬЦОВКАХ

Одним из актуальных направлений в развитии машиностроения является разработка и совершенствование технологических процессов изготовления заготовок. Его основная задача состоит в том, чтобы максимально приблизить форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых деталей, обеспечивая при этом необходимые физико-механические свойства [1].

Процесс вальцовки заготовок в условиях изотермического и приближенного к нему деформирования необходим, как подготовительная операция объемной штамповки. Он служит для перераспределения металла исходной заготовки, с целью: устранения чрезмерной неравномерности деформации [2]; а также одновременного заполнения металлом полости штампа, которое вызывает излишние высокие усилия доштамповки. Применение изотермической вальцовки служит для устранения дефектов по не заполнению ручья штампа при штамповке крупно габаритных поковок; позволяет применение высоких степеней деформации и оборудования меньшего усилия по сравнению с традиционной вальцовкой; требует потребления меньших энергозатрат. А также используется для изготовления качественных штампованных поковок с высоким коэффициентом использования заготовки (КИЗ) и низкой трудоемкостью; уменьшения трудоемкости изготовления вальцовочных штампов и расхода штамповой стали [3]; изготовления некоторых видов профилей симметричного, ассиметричного сечения и заготовок с криволинейной осью [4]. Кроме того, нагрев вальцовочных штампов до температур деформирования (или близко к ним) позволит снизить деформирования 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.

Целью работы является анализ и сравнение двух родственных технологий вальцовки заготовок традиционным и изотермическим деформированием, с последующим обоснованием применения способа вальцовки. При этом должно обеспечиваться снижение расхода остродефицитных дорогостоящих металлов и трудоемкости изготовления штампованных поковок, повышение их качества и производительности труда за счет разработки технологии вальцовки заготовок с вытянутой осью из алюминиевых сплавов.

В процессе вальцовки наряду с уменьшением высоты заготовки и ее удлинением (вытяжкой), происходит перемещение металла и в поперечном направлении – уширение  $\Delta b$ , которое вызывает в боковых кромках вальцуемой заготовки значительные растягивающие напряжения и снижает общую вытяжку [5].

Параллельно с экспериментальными исследованиями уширения проводились, при этих же условиях, эксперименты по исследованию опережения, которое является скоростной характеристикой процесса вальцовки [6].

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.

В работе [7] приводятся данные экспериментальных исследований, проведенных автором по определению зависимости уширения и опережения при традиционной вальцовке

заготовок из алюминиевых сплавов различного диаметра в гладких валках  $\varnothing 260$  мм, с частотой вращения валков  $26 \text{ мин}^{-1}$  соответственно. Вальцовка проводилась при различных степенях обжатия и температурах заготовки.

Для сравнения технологических параметров вальцовки заготовок в условиях изотермического деформирования и традиционной вальцовкой, были взяты экспериментальные данные (рис. 1–4), полученные при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов и описанные в работе [7].

Вальцовка заготовок из сплава АК6 проводилась в гладких валках при температуре  $420^\circ\text{C}$  и различных степенях обжатия на прокатном стане валками  $\varnothing 260$  мм и частотой вращения  $26 \text{ мин}^{-1}$ . На основе анализа экспериментальных данных, представленных на рис. 1–2 можно сделать вывод, что с повышением степени деформации, при прочих равных условиях, показатель уширения и относительное уширение увеличивается. С уменьшением диаметра прутка, значения уширения возрастают. Снижение значений уширения с увеличением диаметра заготовок можно объяснить ростом сил трения в поперечном направлении, так как отношение ширины очага деформации к его длине увеличивается.

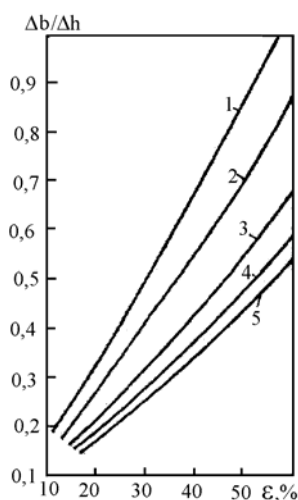


Рис. 1. Зависимость показателя уширения  $\Delta b/\Delta h$  от степени обжатия при вальцовке заготовок различного диаметра в гладких валках:  
1 –  $\varnothing 20$  мм; 2 –  $\varnothing 30$  мм; 3 –  $\varnothing 50$  мм;  
4 –  $\varnothing 60$  мм; 5 –  $\varnothing 65$  мм

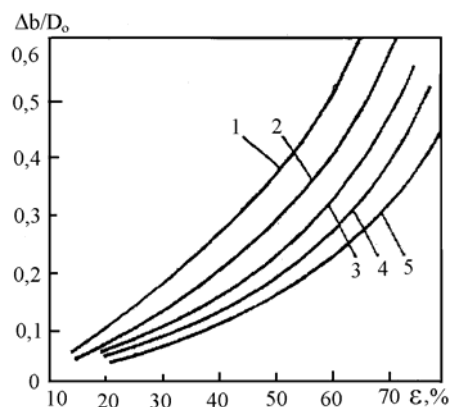


Рис. 2. Зависимость относительного уширения  $\Delta b/D_0$  от степени обжатия при вальцовке заготовок различного диаметра в гладких валках:  
1 –  $\varnothing 20$  мм; 2 –  $\varnothing 30$  мм; 3 –  $\varnothing 50$  мм;  
4 –  $\varnothing 60$  мм; 5 –  $\varnothing 65$  мм

Представленные на рис. 3 результаты экспериментальных данных подтверждают, что с ростом диаметра валков, при прочих равных условиях, увеличивается длина очага деформации и, как следствие этого, повышаются силы трения на контактных поверхностях, направленные к нейтральному сечению. В результате сопротивление перемещению металла вдоль оси заготовки возрастает и увеличивается уширение.

В другой серии экспериментов по определению уширения, заготовки из сплава АК6 различного диаметра (20, 25, 30, 35, 40 мм) и длиной 250 мм, вальцевали при температуре  $430^\circ\text{C}$  в гладких стальных валках при различных степенях обжатия на прокатном стане, имеющем диаметр валков 103 мм и частоту вращения  $37 \text{ мин}^{-1}$ .

Цель эксперимента состояла в том, чтобы подобрать формулу, которая давала бы значения, близкие к экспериментальным. На рис. 4 показана зависимость относительного уширения от степени обжатия при вальцовке в гладких валках заготовок из сплава АК 6,  $\varnothing 25$  мм (одного из пяти типоразмеров, взятых для экспериментов).

При разработке технологического процесса, необходимо учитывать проведенные автором работы [7] экспериментальные исследования, (рис. 1–4).

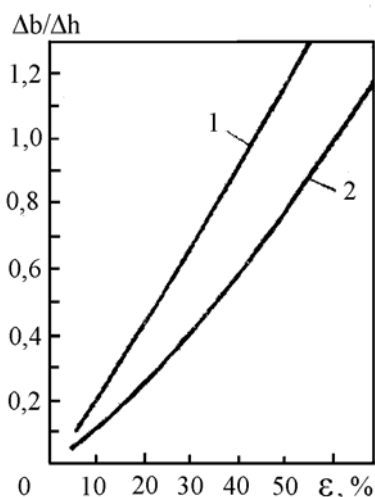


Рис. 3. Влияние диаметра валков на показатель уширения  $\Delta b/\Delta h$  при вальцовке заготовок в гладких валках:

1 – диаметр валков 260 мм, частота вращения валков  $26 \text{ мин}^{-1}$ ;

2 – диаметр валков 103 мм, частота вращения валков  $37 \text{ мин}^{-1}$

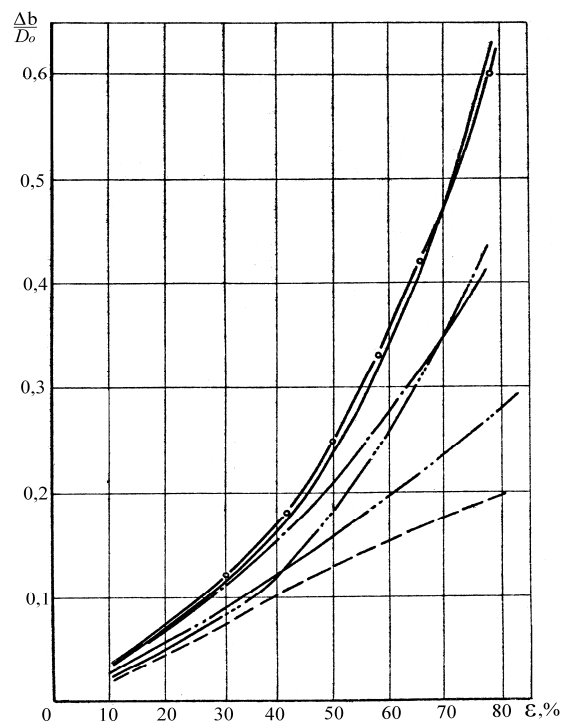


Рис. 4. Зависимость относительного уширения от степени обжатия при вальцовке в гладких валках заготовок из сплава АК6,  $\text{Ø} 25 \text{ мм}$ :

— расчетная по формуле;

— о — экспериментальная;

— · — расчетная по С. И. Губкину;

— · · — расчетная по Б. П. Бахтинову;

— · · · — расчетная по А. И. Целикову;

— · · · · · — расчетная по В. И. Зюзину

Для определения влияния степени деформации, температур нагрева вальцовочных штампов на уширение и опережение, заготовки из алюминиевых сплавов АК6, АК4, АК8, АМг2, АМг6, АМЦ с размерами  $\text{Ø}16, 22 \times 150 \text{ мм}$  нагретые до температуры  $450 \text{ °C}$  вальцевали в гладких валках со степенями деформации 30, 40 и 50 %. Вальцовку проводили в штампах нагретых последовательно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400,  $450 \text{ °C}$ , при которых проводились эксперименты. Температуру замеряли хромель-алюмелевой термопарой и регулировали с помощью самопишущего прибора КСП. Оптимальная частота вращения валков составляла  $12 \text{ мин}^{-1}$ , которая была принята для дальнейших исследований. В экспериментальных исследованиях использованы методы оптической микроскопии, математической статистики.

Коэффициент трения  $\mu$  определен из условий максимального угла захвата. Установлено, что при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов без применения смазочного материала и классе шероховатости валков  $\Delta 5$ ,  $Ra = 0,85 \text{ мкр}$ ,  $\mu = 0,32$ . При  $\Delta 7$ ,  $Ra = 0,8 \text{ мкр}$ ,  $\mu = 0,3$ .

Для наглядного анализа построены совмещенные графики зависимости уширения и опережения от степени обжатия, температуры нагрева валков и др. факторов (рис. 5–7).

Анализ экспериментальных данных представленных на рис. 5 показывает, рост значений уширения и опережения относительно исходного поперечного сечения заготовки при вальцовке в штампах, имеющих температуру  $20 \text{ °C}$  и степенях деформации 30, 40, 50 %. Объясняется это тем, что с увеличением степени деформации объем металла по ширине и, следовательно, уширение при прочих равных условиях возрастают.

Характер поведения зависимостей уширения от температуры нагрева вальцовочных штампов в интервале 20–250 °С (рис. 5) объясняется следующим. При температуре штампов 20 °С и степенях деформации 30, 40, 50 %, контактная площадь соприкосновения металла с вальцовочными штампами небольшая, учитывая прокатку круглой заготовки. При этом осевые сжимающие напряжения направленные вдоль очага деформации незначительны по сравнению с сжимающими напряжениями действующими в поперечном направлении, поэтому наблюдается рост уширения. Снижение уширения с увеличением температуры нагрева вальцовочных штампов происходит за счет протекания разупрочняющих процессов и повышения пластичности обрабатываемого металла.

В интервале температур нагрева вальцовочных штампов 250–350 °С при постоянной степени деформации, уширение практически не меняется, а изменение степеней деформации меняет абсолютные значения уширения на 15, 26, 37 % относительно исходного поперечного сечения заготовок деформируемых, соответственно, со степенями деформации 30, 40 и 50 %. Это происходит вследствие достижения равенства осевых сжимающих напряжений, направленных вдоль и поперек очага деформации, а также равенства смещаемых объемов в этих направлениях.

С повышением температуры нагрева вальцовочных штампов до 450 °С, значения уширения относительно исходного поперечного сечения заготовки уменьшаются. Снижение уширения происходит за счет увеличения осевых сжимающих напряжений, направленных вдоль очага деформации, более полного протекания разупрочняющих процессов, отсутствия зон затрудненной деформации.

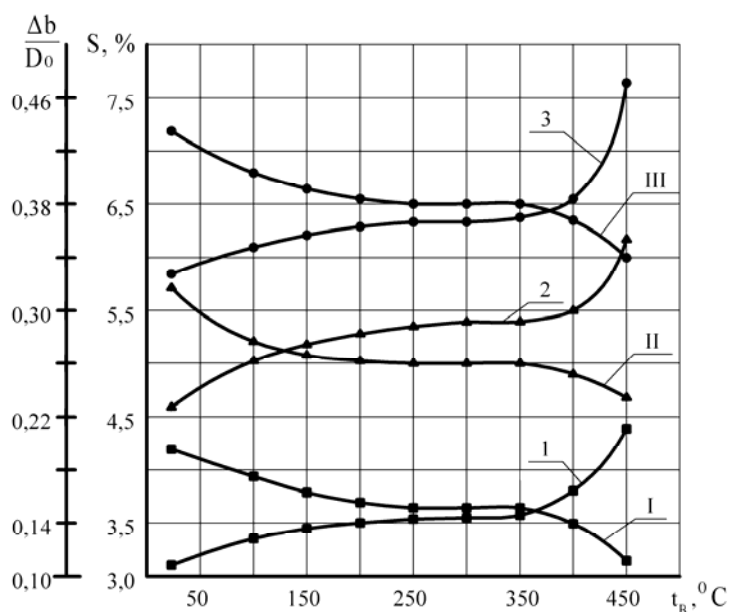


Рис. 5. Зависимости уширения, опережения от степени обжатия: 1 (I) – 30 %; 2 (II) – 40 %; 3 (III) – 50 % и температуры нагрева вальцовочных штампов  $t_B, ^\circ\text{C}$

Из анализа рис. 5 видно, что изменение степени деформации от 30 до 50 % увеличивает значение уширения, не изменяя характера зависимостей их от температуры нагрева вальцовочных штампов.

Анализ экспериментальных данных представленных на рис. 5 показывает, что с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов до 250 °С, значения опережения возрастают по сравнению со значениями опережения при деформации в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20 °С.

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

В интервале температур нагрева вальцовочных штампов 250–350 °С и постоянной степени обжатия, опережение практически не меняется, а изменение степеней деформации меняет абсолютные значения опережения. Характер поведения зависимостей опережения от степени деформации и температур нагрева вальцовочных штампов в интервале 250–350 °С объясняется достижением равенства осевых сжимающих напряжений направленных вдоль и поперек очага деформации, а также равенства смещенных объемов металла в этих направлениях.

Уточнены значения опережения, (рис. 7), при степени обжатия 40 %, температуре нагрева вальцовочных штампов 350 °С и температурах нагрева заготовок 400 °С и 450 °С.

Дальнейшее повышение температуры нагрева вальцовочных штампов до 450 °С ведет к увеличению значений опережения по сравнению со значениями опережения при деформации в вальцовочных штампах имеющих: температуру 20 °С на 46,8; 36,26 и 28,8 %, температуру 250 °С на 28,53; 17 и 14,47 % соответственно при степенях деформации 30, 40 и 50 %.

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

В другой серии экспериментов, заготовки из выше названных сплавов с размерами  $\varnothing 16, 22 \times 150$  мм, нагретые в электрической камерной печи до температур 350, 400, 450 °С вальцевали в гладких вальцовочных штампах, которые нагревали последовательно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 470 °С. Вальцовка заготовок проводилась со степенями обжатия 30 и 40 %. Результаты экспериментальных данных представлены на рис. 6, 7.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 6–7, показывает, что с увеличением температуры нагрева заготовок и вальцовочных штампов уширение уменьшается в связи с протеканием разупрочняющих процессов. Кроме этого, необходимо отметить, что в интервале температур нагрева вальцовочных штампов 250–350 °С, уширение при постоянной степени обжатия практически не меняется, а изменение степеней деформации ведет к изменению его абсолютных значений.

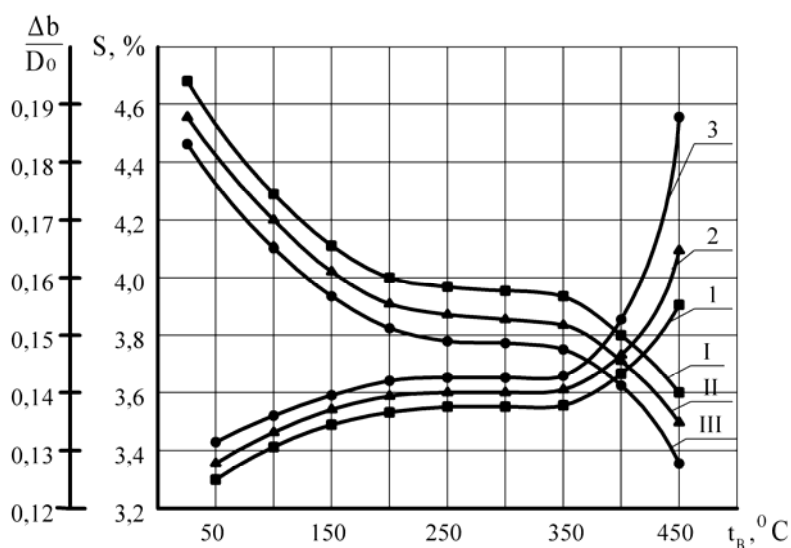


Рис. 6. Зависимость уширения (опережения) от температуры нагрева заготовок и вальцовочных штампов при степени обжатия 30 % (температура нагрева заготовок: I (1) – 350 °С; II (2) – 400 °С; III (3) – 450 °С)

Анализ экспериментальных данных представленных на рис. 6–7 показывает, что с увеличением степени обжатия, температур нагрева заготовок и вальцовочных штампов опережение увеличивается вследствие: роста объема заготовки, смещаемого в направлении вальцовки; уменьшения коэффициента трения; повышения пластичности обрабатываемого

металла и протекания разупрочняющих процессов. В интервале температур нагрева вальцовочных штампов 250–350 °С, опережение при постоянной степени обжатия практически не меняется, а изменение степеней обжатия меняет его абсолютные значения.

Дальнейшее повышение температуры нагрева вальцовочных штампов до 450 °С ведет к увеличению значений опережения аналогично пояснению этого фактора на рис. 5.

Характер поведения зависимостей уширения и опережения от степени обжатия, температуры и диаметра заготовок, диаметра валков и др. (рис. 1–4) при традиционной вальцовке резко отличаются от характера поведения зависимостей от названных выше параметров при изотермическом деформировании (рис. 5–7).

Отличие результатов изотермического деформирования от традиционного заключается в характере поведения зависимостей уширения и опережения при вальцовке заготовок в интервале нагрева вальцовочных штампов 20–450 °С (выше описана разбивка зависимостей уширения и опережения от температуры нагрева вальцовочных штампов на интервалы: 20–250 °С; 250–350 °С; 350–450 °С), температуры нагрева заготовок и степени обжатия.

Анализ проведенных экспериментов показал, что течение металла, степень заполнения гравюры вальцовочного штампа, сопротивление деформации и трение существенно зависят от температуры нагрева вальцовочных штампов, которая существенно меняет характер поведения зависимости уширения и опережения от степени обжатия, температуры и др. факторов.

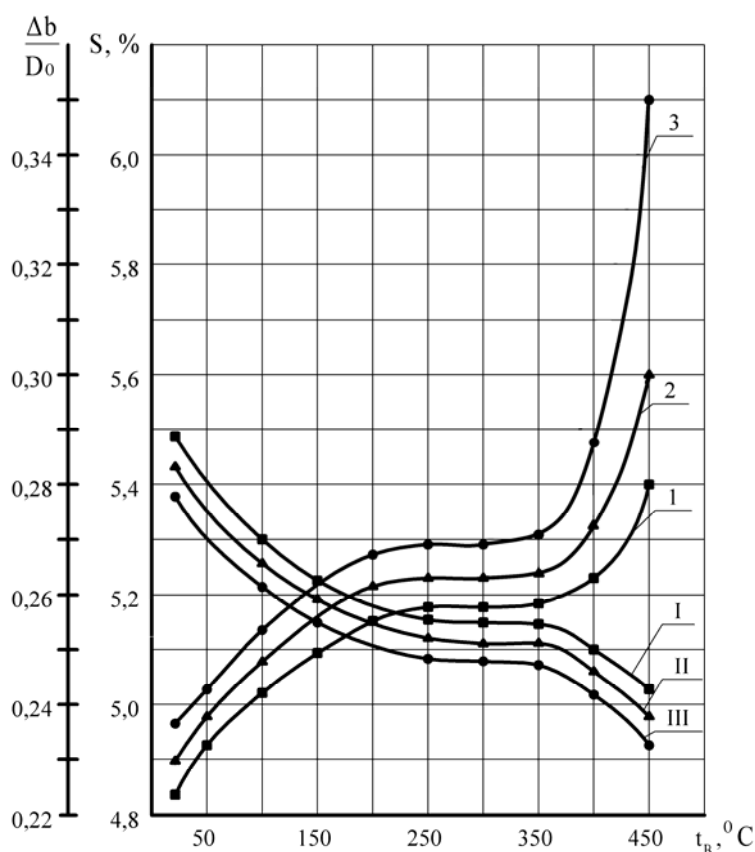


Рис. 7. Зависимость уширения (опережения) от температуры нагрева заготовок и вальцовочных штампов при степени обжатия 40 % (температура нагрева заготовок: I (1) – 350 °С; II (2) – 400 °С; III (3) – 450 °С)

## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ зависимости уширения и опережения от степени обжатия, температуры и диаметра заготовок, диаметра валков и др. при традиционной вальцовке и изотермической вальцовках, позволяет сделать следующие выводы.

С повышением степени обжатия и уменьшением диаметра прутка значения относительного уширения увеличиваются. Снижение значений уширения с увеличением диаметра заготовок объясняется ростом сил трения в поперечном направлении, так как отношение ширины очага деформации к его длине увеличивается. С увеличением степени обжатия опережение растет, а с увеличением температуры заготовки – уменьшается. Объясняется это тем, что с увеличением деформации возрастает объем металла смещаемый в направлении вальцовки в зоне опережения, в результате чего растет опережение.

Особенность отличия результатов изотермического деформирования от традиционно заключается в характере поведения зависимостей уширения и опережения при вальцовке заготовок в интервале нагрева вальцовочных штампов 20–450 °С (выше представлена разбивка зависимостей уширения и опережения от температуры нагрева вальцовочных штампов на интервалы: 20–250 °С; 250–350 °С; 350–450 °С), температуры нагрева заготовок и степени обжатия.

Течение металла, степень заполнения гравюры вальцовочного штампа, сопротивление деформации, трение существенно зависят от температуры нагрева вальцовочных штампов, которая существенно меняет характер поведения зависимости уширения и опережения от степени обжатия, температуры и др. факторов.

Установлено, что в интервале температур нагрева вальцовочных штампов 250–350 °С и постоянной степени обжатия, значения уширения, опережения при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов в условиях изотермического деформирования не меняются, а изменение степеней обжатия меняет их значения. Поэтому вальцовку заготовок из алюминиевых сплавов рекомендуется проводить в штампах, нагретых до температур 250–350 °С, при которых значения величин уширения и опережения постоянны.

Данная работа выполнялась в соответствии с «Державною комплексною програмою розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року», яка затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 12.12.2001 р., № 1665 – 25, п. 6.1.13. «Нові технології та матеріали, стандартизація, системи якості, нормативне забезпечення, виробництво та ремонт авіаційної техніки».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скрыбин С. А. *Машиностроение. Энциклопедия. Раздел III. Технология производства машин. Том III–2. Технология заготовительных производств. Глава 4. Специальные штамповочные прессы. 4.1.1. Вальцовка.* / С. А. Скрыбин. – М. : Машиностроение, 1996. – С. 181–192.
2. Скрыбин С. А. *Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием* / С. А. Скрыбин. – К. : Квіц, 2004. – 346 с.
3. Скрыбин С. А. *Вальцовка заготовок из алюминиевых сплавов в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования* / С. А. Скрыбин, Л. В. Швец // *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вісник ДДМА : зб. наук. праць»*. – Вінниця, 2008. – № 3 (52). – С. 62–68.
4. Скрыбин С. А. *Изготовление профилей сложного поперечного сечения в условиях изотермического деформирования* / С. А. Скрыбин, И. В. Гунько, И. А. Бубновская // *Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»*. – *Машиностроение*, 2010. – № 59. – С. 233–237.
5. Скрыбин С. А. *Исследование уширения при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов по системе круг–овал–ромб, в условиях, приближенных к изотермическим* / С. А. Скрыбин, В. И. Музычук, Л. В. Швец // *Вісник ДДМА : зб. наук. праць*. – Краматорськ, 2007. – № 1(7). – С. 164–169.
6. Скрыбин С. А. *Исследование опережения при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов в гладких валках и условиях, приближенных к изотермическим* / С. А. Скрыбин, Л. В. Швец, В. И. Музычук // *Технологические системы*. – 2007. – № 2. – С. 46–50.
7. Скрыбин С. А. *Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах* / С. А. Скрыбин. – Винниця, 2007. – 284 с.

Бубновская И. А. – аспирант ВНАУ.

ВНАУ – Винницкий национальный аграрный университет, г. Винниця.

E-mail: bubnovska@mail.ru