

УДК 621.7.016.2-412:669.715

Скрябин С. А.
Гулько И. В.
Чайка Д. С.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРА ФАКТИЧЕСКОГО ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Применение процесса вальцовки заготовок в условиях изотермического и приближенного к нему деформирования необходима, как подготовительная операция объемной штамповки, служащая для перераспределения металла исходной заготовки, с целью: устранения чрезмерной неравномерности деформации, которая приводит к появлению на сложно оребренных штампованных поковках дефектов в виде складок, прострелов, зажимов, трещин, обрыва волокна и др. нарушений сплошности; одновременного заполнения металлом полости штампа, которое вызывает излишние высокие усилия доштамповки; для устранения дефектов по не заполнению ручья штампа при штамповке крупно габаритных поковок; применение высоких степеней деформации и оборудования меньшего усилия по сравнению с традиционной вальцовкой; потребления меньших энергозатрат; изготовления качественных штампованных поковок с высоким коэффициентом использования заготовок (КИЗ) и низкой трудоемкостью; уменьшения трудоемкости изготовления вальцовочных штампов и расхода штамповой стали; изготовления некоторых видов профилей симметричного и ассиметричного сечения, а также заготовок с криволинейной осью. Кроме того, нагрев вальцовочных штампов до температур деформирования (или близко к ним) позволит снизить усилие 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 [1].

Развитие научно-технического прогресса не позволяет ограничиться имеющимися в литературе опытными данными о применении процесса вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов в условиях изотермического деформирования, вследствие того, что информации для оптимизации основных технологических параметров и предотвращения дефектов в виде переполнения калибров, складкообразования и др. недостаточно [2–4]. Поэтому проведение исследований по влиянию температур нагрева заготовок и вальцовочных штампов, степени деформации на размеры фактического очага деформации и технологические параметры вальцовки заготовок в гладких валках и калибрах различных систем, в условиях изометрического и приближенных к нему деформирования, является актуальной задачей, решение которой приведет к улучшению пластичности, снижению усилий деформирования, уменьшению себестоимости изготовления вальцовочных штампов, некоторых видов профилей и штампованных поковок.

В работе [1] указывается, что протяженность фактической зоны деформации в 1,2–1,7 раза больше геометрического ОД. В предыдущих работах было показано, что при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках отношения фактического и геометрического ОД для разных форм ВЗ и степеней деформации составляют 1,2–2,5.

Целью работы является исследование влияния изотермического деформирования на параметры, определяющие качество вальцованных заготовок, поэтому необходимо рассмотреть зависимость размеров фактического очага деформации (ОД) [5] от условий изотермического и приближенных к нему деформирования. Кроме того, необходимо исследовать отношение фактического и геометрического ОД при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках, имеющих температуру 20 °С.

В работе [5] приведена методика определения размеров фактического ОД с помощью программы QForm, а также методика проведения сравнительного анализа размеров фактического и геометрического ОД [6]. Для расчета, в программу вводились данные для моделирования процесса прокатки алюминиевого сплава АК6 с размерами $\varnothing 20, 30, 40 \times 150$ мм в гладких валках $\varnothing 260$ мм, с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева заготовки составляла $450 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициент трения $\mu = 0,35$. Размеры ОД определялись при прокатке заготовок со степенями деформации $\varepsilon = 10 \div 80 \%$. При расчете вертикального и горизонтального фактического ОД ($F_{\text{ф.в.}}^{350}$ и $F_{\text{ф.г.}}^{350}$) условия изотермического и приближенных к нему деформирования задавались при температурах нагрева валков $350 \text{ }^\circ\text{C}$ и заготовок $450 \text{ }^\circ\text{C}$ [1].

Размеры фактического ОД заготовок прокатанных в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования ($F_{\text{ф.в.}}^{350}$ и $F_{\text{ф.г.}}^{350}$), сравнивались с данными замеров фактического ОД при прокатке заготовок в валках, имеющих температуру $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($F_{\text{ф.в.}}^{20}$ и $F_{\text{ф.г.}}^{20}$).

На рис. 1, а представлены расчетные зависимости вертикального фактического ОД в обычных условиях $F_{\text{ф.в.}}^{20}$ и в изотермических условиях $F_{\text{ф.в.}}^{350}$ от степени обжатия при прокатке цилиндрических заготовок $\varnothing 20, 30$ и 40 мм. Из анализа рис. 1 видно, что рост фактического вертикального ОД как при температуре валков $20 \text{ }^\circ\text{C}$, так и в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования происходит до $\varepsilon = 30\text{--}40 \%$, затем его размер начинает снижаться. В условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, величина ОД больше, чем при прокатке в валках, имеющих температуру $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

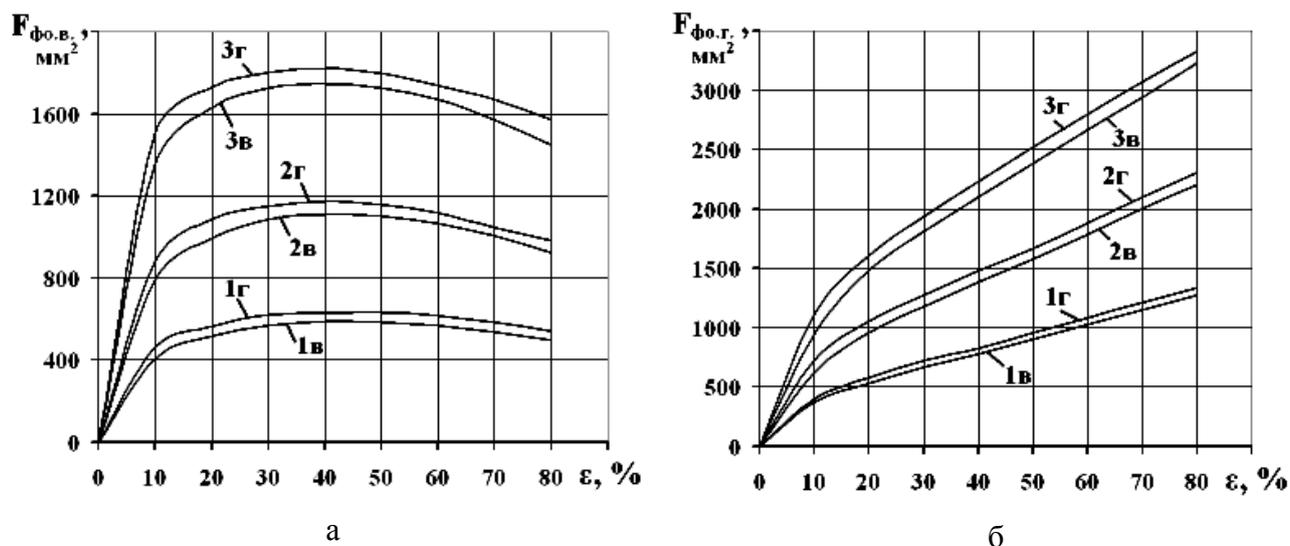


Рис. 1. Расчетные зависимости площадей вертикального (а) и горизонтального (б) фактических ОД при прокатке в валках, имеющих температуру $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (в) и в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования (г), от степени обжатия при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках. Температура нагрева заготовок $450 \text{ }^\circ\text{C}$. Диаметр заготовок: 1 – 20 мм; 2 – 30 мм; 3 – 40 мм

На рис. 1, б представлена расчетная зависимость горизонтального фактического ОД от степени обжатия при прокатке цилиндрических заготовок диаметром 20–40 мм в валках, имеющих температуру $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ($F_{\text{ф.г.}}^{20}$) и в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, ($F_{\text{ф.г.}}^{350}$). Анализ рис. 2 показывает, что при деформации цилиндрических заготовок, наблюдается интенсивный рост площади горизонтального ОД до $\varepsilon = 15 \%$, затем интенсивность роста площадей замедляется.

Расчетные зависимости отношения площадей вертикального фактического ОД в валках, имеющих температуру 20 °С и в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования $F_{\text{ф.в.}}^{20} / F_{\text{ф.в.}}^{350}$ от степени деформации $\varepsilon = 10\text{--}80\%$ при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках представлены на рис. 2.

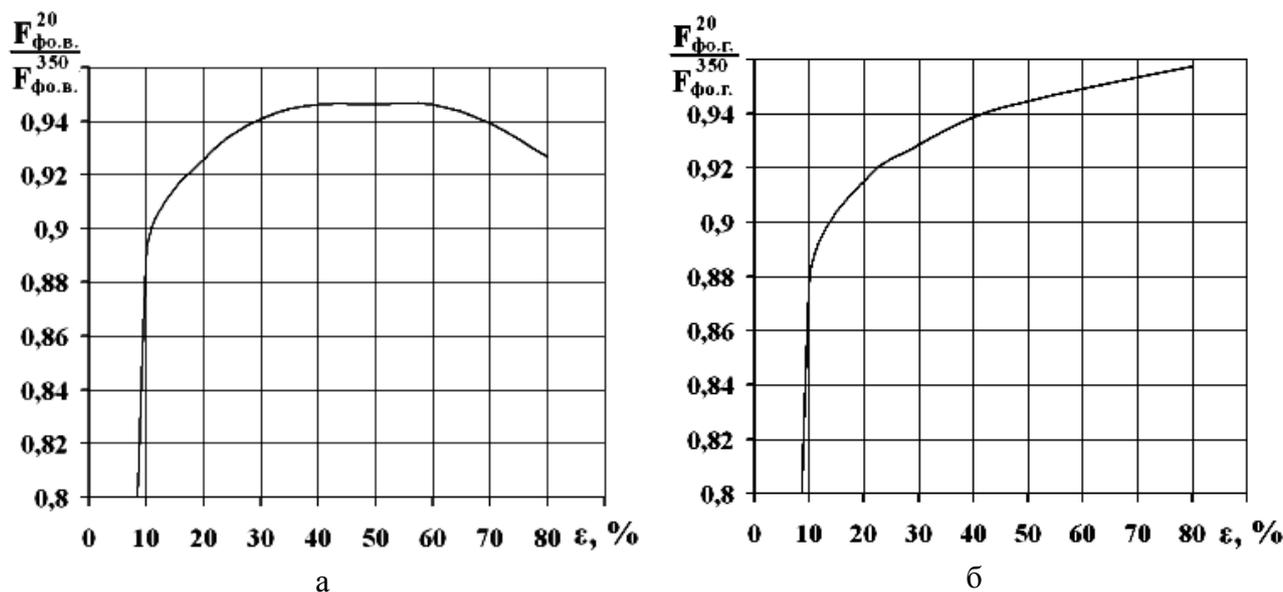


Рис. 2. Расчетные зависимости отношения площадей вертикального (а) и горизонтального (б) фактического очага деформации в валках, имеющих температуру 20 °С и в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, от степени обжатия при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках

Анализ рис. 2 показывает, что для прокатки цилиндрических заготовок в гладких валках, отношения площадей вертикального и горизонтального фактического ОД в валках, имеющих температуру 20 °С и в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования остаются одинаковыми при любых диаметрах заготовок. Рис. 2, а показывает интенсивность роста отношения $F_{\text{ф.в.}}^{20} / F_{\text{ф.в.}}^{350}$ до $\varepsilon = 40\%$. Затем до $\varepsilon = 60\%$ рост отношения прекращается и при $\varepsilon > 60\%$ отношение $F_{\text{ф.в.}}^{20} / F_{\text{ф.в.}}^{350}$ уменьшается. После $\varepsilon = 40\%$ площадь ОД уменьшается. Затем площадь вертикального ОД в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования начинает расти быстрее, чем при деформации в валках, имеющих температуру 20 °С.

Из рис. 2, б видно, что до $\varepsilon = 15\%$ размер горизонтального ОД в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования значительно превышает размер горизонтального ОД при прокатке в валках, имеющих температуру 20 °С. Затем разница в размерах площадей горизонтального ОД становится незначительной (отношение $F_{\text{ф.г.}}^{20} / F_{\text{ф.г.}}^{350}$ более 0,9). До $\varepsilon = 80\%$ отношения площадей горизонтального ОД в обычных и изотермических условиях с низкой интенсивностью приближаются к единице.

Расчетные зависимости отношения вертикального геометрического и фактического ОД $F_{\text{ф.в.}}^{20} / F_{\text{г.в.}}^{20}$, отношения горизонтального геометрического и фактического ОД $F_{\text{ф.г.}}^{20} / F_{\text{г.г.}}^{20}$, от степени обжатия $\varepsilon = 10\text{--}80\%$ при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках, имеющих температуру 20 °С, представлены на рис. 3, 4.

На рис. 5, 6 вертикальный и горизонтальный очаг деформации представлен в виде изолиний, где белым фоном показан геометрический ОД, а серым фоном – фактический ОД.

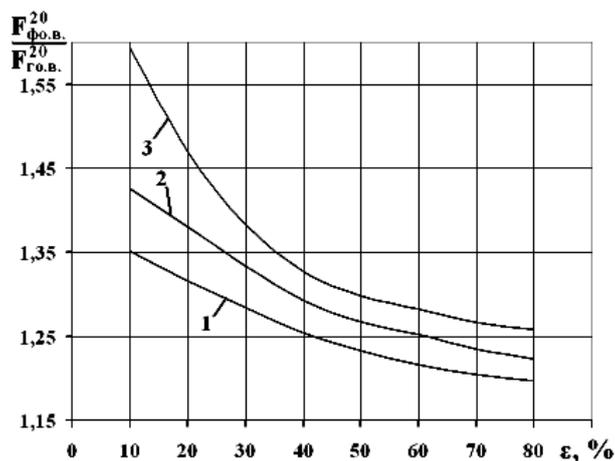


Рис. 3. Расчетные зависимости отношения площадей вертикального геометрического и фактического очага деформации $F_{фo,в} / F_{гo,в}$ от степени обжатия при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках $\text{Ø}260$ мм, с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева: заготовок 450°C , валков 20°C . Диаметр заготовок: 1 – 20 мм; 2 – 30 мм; 3 – 40 мм

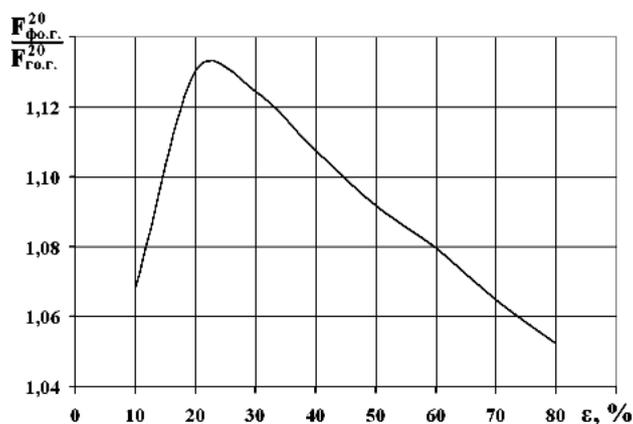


Рис. 4. Расчетные зависимости отношения площадей горизонтального геометрического и фактического ОД $F_{фo,г} / F_{гo,г}$ от степени обжатия при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках $\text{Ø}260$ мм, с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева: заготовок 450°C , валков 20°C . Диаметр заготовок: 1 – 20 мм; 2 – 30 мм; 3 – 40 мм

Анализ рис. 4 показывает, что при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках, отношение площадей горизонтального геометрического и фактического ОД $F_{фo,г} / F_{гo,г}$ составляет $1,05 - 1,13$, а при $\varepsilon = 23\%$ это отношение достигает максимального значения.

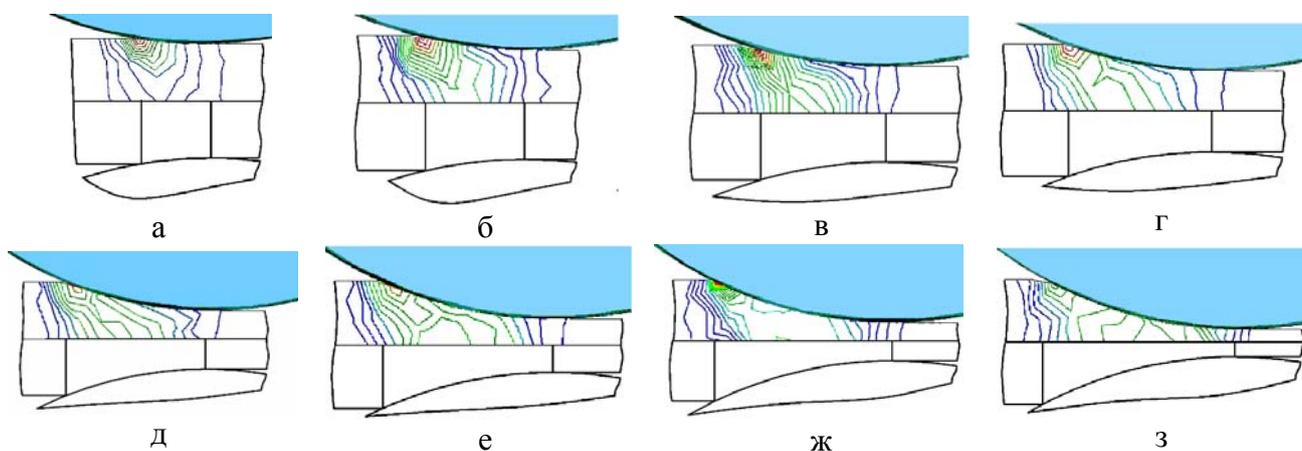


Рис. 5. Вертикальный очаг деформации при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках при степени деформации: 10 % (а), 20 % (б), 30 % (в), 40 % (г), 50 % (д), 70 % (ж), 80 % (з)

На рис. 7 представлены расчетные зависимости длины ОД деформации $L_{\phi o}$ при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках, имеющих температуру 20°C , от степени обжатия. Анализ рис. 7 показывает интенсивность роста длины фактического очага деформации до $\varepsilon = 15\%$, затем интенсивность роста снижается. Расчетные зависимости отношения длины фактического и геометрического ОД L_{ϕ}/L_{z_0} представлены на рис. 8.

Анализ рис. 3 и рис. 8 показывает, что отношения площадей вертикального геометрического и фактического очагов деформации составляет 1,2–1,6, а отношение длин составляет 1,15–1,65. Это подтверждает данные, что протяженность фактической зоны деформации в 2–1,7 раза больше геометрической зоны деформации [1].

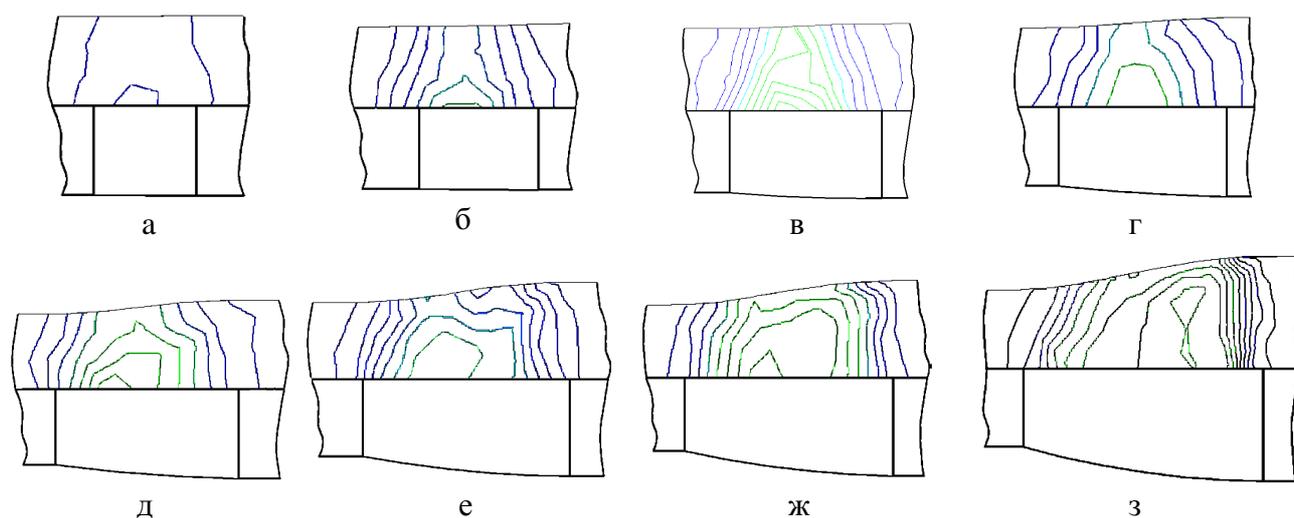


Рис. 6. Горизонтальный очаг деформации при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках при степени деформации: 10 % (а), 20 % (б), 30 % (в), 40 % (г), 50 % (д), 70 % (ж), 80 % (з)

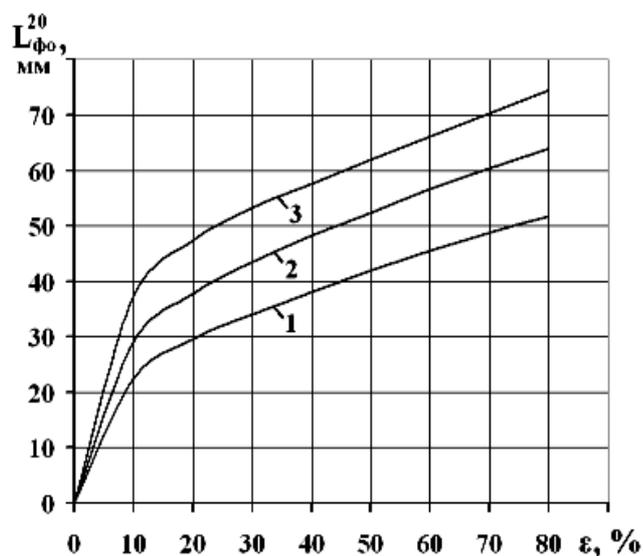


Рис. 7. Расчетные зависимости длины фактического ОД $L_{\phi o}$ от степени деформации при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках $\text{Ø}260$ мм с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева заготовок 450°C , валков 20°C . Диаметр заготовок: 1 – 20 мм; 2 – 30 мм; 3 – 40 мм

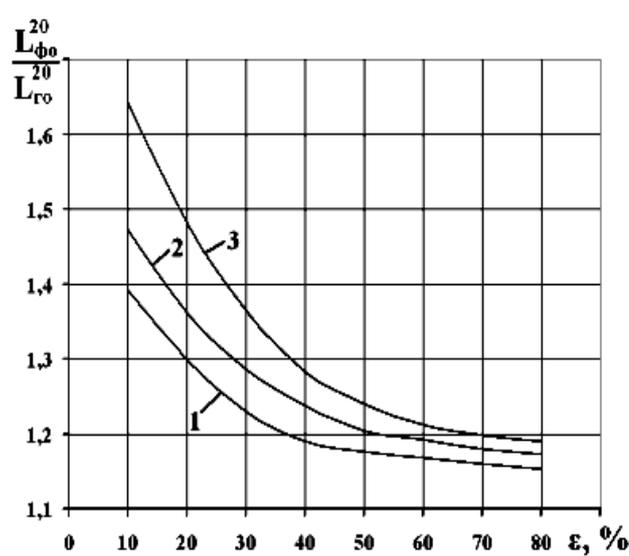


Рис. 8. Расчетные зависимости отношения длин $L_{\phi o}/L_{z_0}$ фактического и геометрического ОД при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках от степени деформации. Температура нагрева заготовок 450°C , валков 20°C . Диаметр заготовок: 1 – 20 мм; 2 – 30 мм; 3 – 40 мм

ВЫВОДЫ

1. Для теоретического исследования размеров фактического очага деформации в условиях изотермического деформирования проведено компьютерное моделирование процесса прокатки с применением конечно-элементной программы QForm. Исследования проводились на цилиндрических образцах при прокатке алюминиевого сплава АК6 в гладких валках со степенью обжатия 10–80 %.

2. Проведены экспериментальные исследования влияния условий изотермического и приближенных к нему деформирования на размеры фактического ОД при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках. Установлено, что условия изотермического и приближенных к нему деформирования способствуют увеличению размеров вертикального и горизонтального ОД и повышению пластичности в зоне активно деформируемого металла и улучшению условий протекания процесса вальцовки.

3. Экспериментально установлено, что при степени деформации $\varepsilon = 40\%$ площадь фактического вертикального ОД достигает максимального размера, а затем начинает уменьшаться. Это позволяет сделать вывод, что при $\varepsilon = 40\%$ наблюдается оптимальный режим деформирования цилиндрических заготовок в гладких валках.

4. Для наглядного представления влияния изотермического и приближенных к нему условий деформирования на размер ОД использовалась методика, позволяющая по изолиниям полей скоростей деформации определить площадь фактического и геометрического ОД [2].

5. Относительные отклонения размеров ОД в валках, имеющих температуру 20 °С и в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования при $\varepsilon > 20\%$ составляют менее 10 %.

6. Проведенные эксперименты по определению отношения площадей фактического и геометрического ОД показали, что при прокатке цилиндрических заготовок в гладких валках, эти отношения для диаметров заготовок 20–40 мм и степеней деформации $\varepsilon = 10\text{--}80\%$, составляют 1,15–1,65.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрябин С. А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием / С. А. Скрябин. – Киев : КВЦ, 2004. – 346 с. : ил.
2. Колпаишиков А. И. Течение металла при прокатке слитков алюминиевых сплавов / А. И. Колпаишиков // Цветные металлы. – 1954. – № 4. – С. 49–55.
3. Перетяцько В. Н. Опытное определение границ очага деформации / В. Н. Перетяцько // Теория прокатки : материалы научно-техн. конф. по теоретическим вопросам прокатки. – М. : Металлургиздат, 1962. – С. 546–548.
4. Моделирование температурных полей в очаге деформации при прокатке сортовых профилей / Дубинский Ф. С., Выдрин А. В., Соседкова М. А., Мальцев П. А. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия», 2006 г.
5. Скрябин С. А. Влияние внеконтактных зон вальцуемых заготовок на размеры фактического очага деформации / С. А. Скрябин, Д. С. Чайка // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – 2008. – № 2 (21). – С. 220–226.
6. QForm3D – конечно-элементная программа для расчета процессов пластической деформации металлов и сплавов, ©1991-2008, ООО «КванторФорм» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.qform3d.com.

Скрябин С. А. – д-р техн. наук, проф. ВНАУ;
Гунько И. В. – канд. техн. наук, доц. ВНАУ;
Чайка Д. С. – аспирант ВНАУ.

ВНАУ – Винницкий национальный аграрный университет, г. Винница.

E-mail: chaika_ds@mail.ru