

## РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НОВОГО СПОСОБА ПРОТЯЖКИ ЛИТЫХ СЛИТКОВ

**А.А. Богатов, Д.Ш. Нухов**

*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

Рассмотрена идея реализации знакопеременной деформации при ковке литых слитков и определена рациональная форма ковочного инструмента. Представлены результаты анализа деформированного состояния металла при осадке в бойках с рельефной поверхностью, а также в гладких бойках (на втором этапе деформирования). Использование нового инструмента обеспечивает в первых проходах проработку структуры металла путем дополнительной знакопеременной деформации без существенного изменения формы поперечного сечения заготовки. Знакопеременная деформация способствует увеличению накопленной деформации без изменения формы поперечного сечения заготовки, стимулирует образование полигонизованной субзеренной структуры и повышение дисперсности зеренной структуры. Представлены результаты анализа деформированного состояния металла при ковке рельефными и плоскими бойками. Для оценки неравномерности деформации по высоте слитка выполнен расчет накопленной степени деформации частицами в очаге деформации для шести точек по высоте в сечении углубления на бойке. Накопленная степень деформации для конкретной частицы определяется из решения задачи с помощью программы Defogm для плоско-деформированного состояния в изотермических условиях. В приконтактных слоях деформация минимальна, так как имеются зоны затрудненной деформации (зоны прилипания), протяженность которых по мере продвижения вглубь металла уменьшаются; в начале пластической деформации возникает свободная поверхность – поверхность, не находящаяся под рабочим инструментом. Найдены способы управления технологическим процессомковки с целью повышения однородности деформированного состояния по сечению слитка, стимулирование образования полигонизованной субструктуры во время обжатия и ультрадисперсной структуры после метадинамической рекристаллизации во время паузы.

*Ключевые слова:* литая структура; знакопеременная деформация; дисперсность структуры; математическое моделирование; напряженное и деформированное состояние; показатели напряженного состояния; степень деформации сдвига.

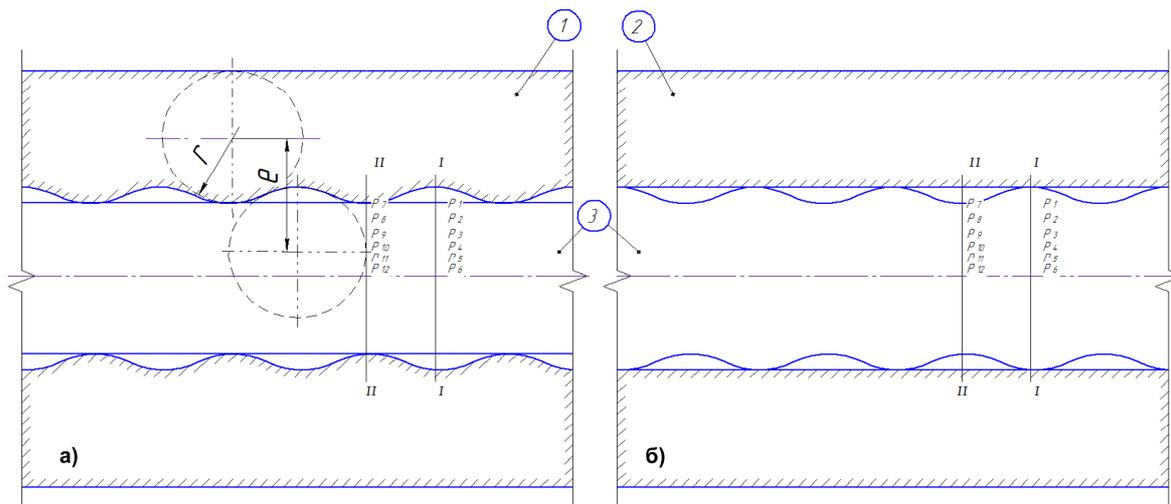
### **Введение**

Важнейшей проблемой, стоящей перед отечественным машиностроением, является улучшение макро- и микроструктуры, повышение уровня механических свойств и эксплуатационной надежности металлопродукции. Применение непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) по сравнению с горячекатаной заготовкой снижает себестоимость продукции, однако слитки, получаемые на МНЛЗ, имеют грубую литую структуру и внутренние дефекты (трещины и пористость) [1]. Одним из способов получения мелкозернистой структуры считают деформацию слитка без изменения формы поперечного сечения способом равноканального прессования [2]. Этот способ был разработан В.М. Сегалом [2] и заключался в многократном продавливании заготовки в специальной оснастке через два канала, пересекающихся обычно под углом 90°. Возможность получения ультразернистой структуры сталей и сплавов этим способом была установлена в работах [2–3]. Тем не менее, реализация идеи РКУ-прессования в промышленности до сих пор не получила широкого распространения, что объясняется сложностью изготовления оснастки и технологическими проблемами прессования. Известны способы интенсификации знакоперемен-

ной деформации по всему объему деформируемого металла [4–13]. Знакопеременная деформация способствует увеличению накопленной деформации без изменения формы поперечного сечения заготовки, стимулирует образование полигонизованной субзеренной структуры и повышению дисперсности зеренной структуры. Авторами работы поставлена задача изучить деформированное состояние при ковке непрерывно-литой заготовки в условиях знакопеременной деформации, поочередно обжимая заготовку в рельефных и гладких бойках таким образом, чтобы сохранилась первоначальная форма поперечного сечения.

### **МКЭ-моделирование процессаковки заготовок в рельефных и гладких бойках в условиях плоской деформации**

В работе представлены результаты анализа деформированного состояния металла при осадке в бойках с рельефной поверхностью, (рис. 1, а), а также в гладких бойках – на втором этапе деформирования (рис. 1, б). Длина поковки и бойков принята неограниченно большой, поэтому деформация заготовки в направлении длины отсутствует и выполняется условие плоской деформации. Для определения рациональной геометрии бойка варьи-



**Рис. 1.** Деформирование заготовки в бойках с рельефной поверхностью на первом этапе обжатия (а) и плоскими бойками на втором этапе (б): 1 и 2 – рельефный и плоский боек; 3 – заготовка;  $r$  – радиус окружности гравюры бойка;  $e$  – расстояние между центрами окружностей соседних гравюр (углубление и выступ) бойка; P1–P12 – траектории частиц металла в сечениях (I) и (II)

ровали параметрами очага деформации –  $e/r$ ,  $r/h$ ,  $\Delta h/h$  на трех уровнях, здесь  $r$  – радиус окружности гравюры бойка;  $e$  – расстояние между центрами окружностей соседних элементов гравюры (углубление и выступ);  $h$  – высота заготовки;  $\Delta h$  – обжатие по высоте заготовки. Заполнение металлом элементов гравюры бойка количественно оценивали через коэффициент заполнения  $\delta = \frac{h_{\text{ме}}}{h_{\text{угл}}} \cdot 100\%$ ,

где  $h_{\text{ме}}$  – высота элемента поковки, заполнившего гравюру бойка;  $h_{\text{угл}} = r - 0,5e$  – высота углубления бойка. Матрица планирования вычислительного эксперимента представлена в таблице. С целью упрощения процедуры твердотельного моделирования инструмента варьирование параметра  $r/h$  осуществлялось изменением высоты заготовки: 250, 300, 350 мм, а значение радиуса осталось неизменным ( $r = 50$  мм). Обжатие заготовки по высоте ( $\Delta h/h$ )·100 % было принято равным 10, 14 и 20 %. Для оценки неравномерности деформации по высоте слитка выполнен расчет накопленной степени деформации частицами  $\varepsilon_i$  в очаге деформации для шести точек по высоте в сечении углубления на бойке (сечение I): P1 – частица на наружной поверхности заготовки ( $y = h/2$ ); P6 – частица на плоскости симметрии ( $y = 0$ ). На втором этапе деформации также по шести точкам в сечении выступа бойка (сечение II): P7 – частица на наружной поверхности заготовки ( $y = h/2$ ); P12 – частица на по плоскости симметрии ( $y = 0$ ) (см. рис. 1).

Среднее значение накопленной степени деформации по высоте определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i, \text{ где } i - \text{ номер частицы, } n = 5,5. \text{ Нерав-}$$

номерность деформации по высоте слитка оценивается с помощью коэффициента вариации  $S/\varepsilon_{\text{ср}}$ ,

$$\text{где } S = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{\text{ср}})^2 \right]^{1/2} - \text{среднеквадратичное}$$

отклонение. Накопленная степень деформации для конкретной частицы  $\varepsilon_i$  определяется из решения задачи с помощью программы Deform для плоско-деформированного состояния в изотермических условиях. Показатель трения (по Зибелю) между бойками и заготовкой принят равным  $\psi = 0,6$ . Для достоверности результатов расчетов минимальный размер элемента был принят равным 3 мм при высоте заготовки от 250 до 350 мм.

Результаты расчета формоизменения и накопленной степени деформации при обжатии в рельефных бойках (см. рис. 1, а) с отношением  $e/r = 0$  ( $e = 0$ ,  $r = 50$  мм) показали, что заполнение металла в полость впадины штампа во всем диапазоне значений  $r/h$ ,  $\Delta h/h$  не обеспечивается (коэффициент заполнения  $\delta$  изменяется в пределах 28,7÷60,6 % (см. таблицу). Кроме того, при всех вариантах обжатия (10, 14 и 20 %) для всех значений толщины заготовки  $h$  (250, 300 и 350 мм) деформация практически не проникает в осевую зону заготовки, а значение накопленной степени деформации в центральной зоне очага деформации составляло  $\varepsilon_6 = 0,001 \div 0,05$  (сечение I) и  $\varepsilon_{12} = 0,084 \div 0,181$  (сечение II). После обжатия плоскими бойками на втором этапе суммарная деформация  $\varepsilon_{\Sigma}^6$  и  $\varepsilon_{\Sigma}^{12}$  не превышают 0,24 и 0,37 соответственно. Результаты решения задач при обжатии заготовки в бойках с отношением  $e/r = 1$  ( $e = 50$  мм,  $r = 50$  мм) показали, что коэффициент заполнения увеличивается и находится в пределах 44,5÷94,6 % (см. таблицу), а накопленная в осевой зоне деформация составляет

Матрица полного факторного эксперимента 3<sup>3</sup>

Расчетные параметры	Параметры очага деформации																																									
	e/r = 0						e/r = 1						e/r = 1,75																													
	r/h = 1/5			r/h = 1/6			r/h = 1/7			r/h = 1/5			r/h = 1/6			r/h = 1/7			r/h = 1/5			r/h = 1/6			r/h = 1/7																	
	Δh/h			Δh/h			Δh/h			Δh/h			Δh/h			Δh/h			Δh/h			Δh/h			Δh/h			Δh/h														
δ	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2	0,1	0,14	0,2						
ε <sub>3</sub>	28,7	43,4	48,6	31	44,4	51,6	32,3	45,5	60,6	33,6	48,6	66,6	35,1	50,1	68,1	36,6	51,6	72,6	38,1	53,1	76,1	39,6	54,6	80,6	41,1	56,1	84,6	42,6	57,6	89,6	44,1	59,1	94,6	45,6	60,6	99,6	47,1	62,1	104,6	48,6	63,6	109,6
ε <sub>6</sub>	0,001	0,002	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005			
ε <sub>Σ</sub> <sup>6</sup>	0,162	0,222	0,23	0,235	0,214	0,22	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24	0,18	0,21	0,24
ε <sub>12</sub>	0,084	0,0127	0,16	0,091	0,102	0,181	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17
ε <sub>Σ</sub> <sup>12</sup>	0,208	0,283	0,37	0,311	0,255	0,299	0,100	0,103	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10	0,17

## Обработка металлов давлением

$\varepsilon_6 = 0,001 \div 0,055$  и  $\varepsilon_{12} = 0,071 \div 0,256$ . Суммарные деформации после обжатия рельефными и плоскими бойками –  $\varepsilon_{\Sigma}^6$  и  $\varepsilon_{\Sigma}^{12}$  увеличиваются по сравнению с предыдущим вариантом и составляют 0,375 и 0,479 соответственно.

Иная картина наблюдается при деформировании заготовки в рельефных бойках с отношением  $e/r = 1,75$  ( $e = 87,5$  мм,  $r = 50$  мм). Полное заполнение гравюры бойка происходит при минимальном обжатии по толщине – 10%. На рис. 2 и 3 представлены графики, полученные по результатам исследованияковки заготовки в рельефных бойках с отношением  $e/r = 1,75$  при обжатии  $\Delta h/h \cdot 100\% = 10\%$ . На рис. 2, а, б показан характер распределения накопленной степени деформации после обжатия рельефными (на первом этапе – рис. 2, а) и плоскими бойками (на втором этапе – рис. 2, б) в сечении I, а на рис. 2, в, г – в сечении II. Из рис. 2 видно, что в точках P1 и P7 деформация незначительна ( $\varepsilon = 0,03 \div 0,12$ ). В приконтактных слоях деформация минимальна, так как имеются

зоны затрудненной деформации (зоны прилипания), протяженность которых по мере продвижения вглубь металла уменьшается; в начале пластической деформации возникает свободная поверхность – поверхность не находящейся под рабочим инструментом. По графикам можно заметить, что распределения  $\varepsilon$  как в сечении I, так и в сечении II неравномерно, но при этом деформация проникает в центральную зону заготовки. Результаты расчета  $\varepsilon$ , представленные на графиках (см. рис. 2), позволяют определить оптимальные размеры очага деформации (параметр  $r/h$ ) с точки зрения проникновения деформации при минимальном обжатии по высоте 10%. Относительная степень деформации  $\varepsilon$  наибольшая при  $r/h = 1/5$  и достигает значений в центральной зоне заготовки: 0,204 (сечение I) и 0,214 (сечение II), после обжатия рельефными и плоскими бойками. На рис. 3 показано распределение коэффициента вариации  $S/\varepsilon_{cp}$  в сечениях I (рис. 3, а) и II (рис. 3, б) в зависимости от параметра очага деформации  $r/h$  после обжатия на первом и втором этапах рельеф-

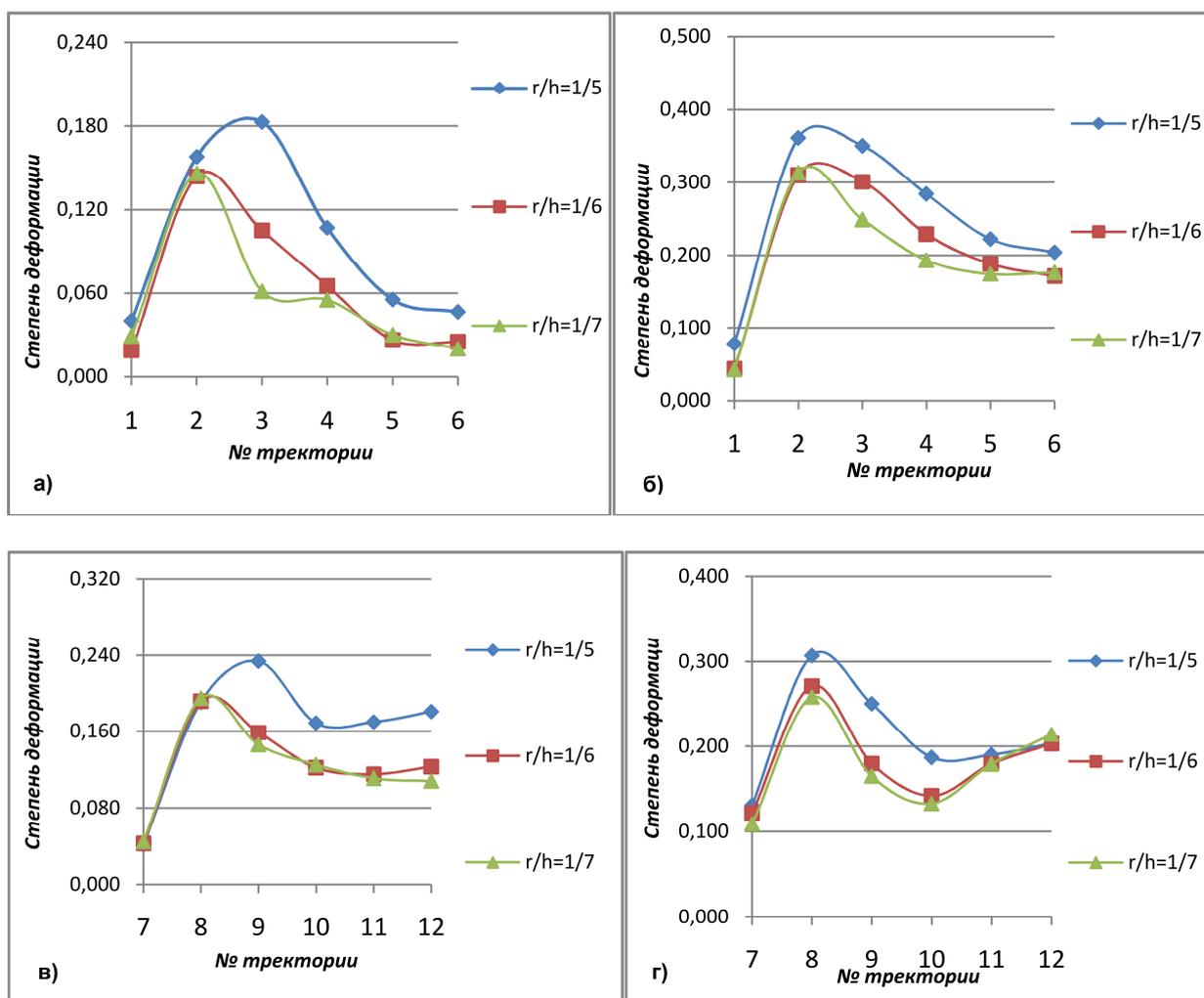


Рис. 2. Распределение степени деформации  $\varepsilon$ ; после первого (а) и второго этапа (б) деформации в сечении I (углубления бойка) и после первого (в) и второго этапа (г) деформации в сечении II (выступа бойка)

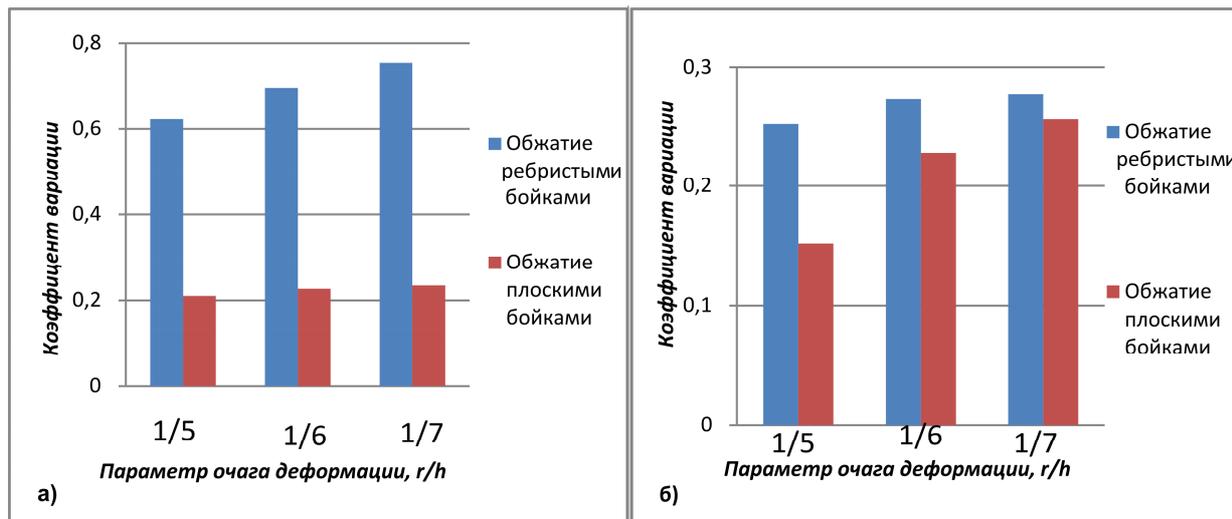


Рис. 3. Коэффициенты вариации  $S/\varepsilon_{cp}$  в зависимости от параметра очага деформации  $r/h$  в сечениях I (а) и II (б)

ными и плоскими бойками. Наименьшее значение  $S/\varepsilon_{cp}$  в очаге деформации с параметром  $r/h = 1/5 - S/\varepsilon_{cp} = 0,62$  и  $0,20$  – в сечении I после обжатия рельефными и плоскими бойками соответственно, и  $S/\varepsilon_{cp} = 0,25$  и  $0,15$  – в сечении II.

**Выводы**

Показано, что актуальной проблемой развития процессов обработки металлов давлением непрерывно-литых слитков является разработка нового способа ковки, обеспечивающего деформационную проработку без изменения формы поперечного сечения и знакопеременный характер деформации. Полученные результаты анализа формоизменения и деформированного состояния металла при обжатии в два этапа (в рельефных, а затем в гладких бойках) позволили найти оптимальную форму ковочного инструмента с точки зрения заполнения металла гравюры штампа, а также проникновения деформации по всему сечению литой заготовки. При обжатии заготовки бойками с  $e/r = 1,75$  ( $e = 175$  мм,  $r = 100$  мм) металл полностью заполняет гравюру бойка (коэффициент заполнения  $\delta = 100\%$ ) при минимальном обжатии по толщине заготовки 10%. Обеспечивается проникновение деформации к осевой зоне металла в очаге деформации при обжатии 10% – накопленная степень деформации в осевой зоне заготовке в сечении углубления бойка  $\varepsilon_{i6} = 0,02 \div 0,047$  – на первом этапе обжатия рельефными бойками и  $0,171 \div 0,204$  – на втором этапе обжатия плоскими бойками, а в сечении выступа бойка  $\varepsilon_{i12} = 0,123 \div 0,181$  – на первом этапе обжатия рельефными бойками и  $0,203 \div 0,214$  – на втором этапе обжатия плоскими бойками. При выравнивании заготовки плоскими бойками на втором этапе обжатия минимальные коэффициенты вариации  $S/\varepsilon_{cp} = 0,2$  и  $0,15$  для сечения I и II соответственно были получены при использовании заготовки отношением  $r/h = 1/5$  ( $r = 50$  мм,

$h = 250$  мм), обжатой на 10% рельефными бойками на предыдущем этапе деформирования.

**Литература**

1. Логунова, А.С. Определение областей непрерывно-литой заготовки с наибольшей вероятностью нарушения сплошности металла / А.С. Логунова, Б.Н. Парсункин // Вестник Уральского государственного технического университета – УПИ. – 2004. – Т. 1. – С. 95–98.
2. Пластическая обработка металлов простым сдвигом / В.М. Сегал, В.И. Резников, А.Е. Дробышевский, В.И. Копылов // Известия АН СССР. Металлы. – 1981. – № 1. – С. 115–123.
3. Процессы пластического структурообразования / В.М. Сегал, В.И. Резников, В.И. Копылов и др. – Минск: Наука и техника, 1994. – 232 с.
4. Богатов, А.А. Механические свойства и модели разрушения металла: учеб. пособие / А.А. Богатов. Екатеринбург: УГТУ–УПИ. – 2002. – 328 с.
5. Богатов, А.А. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением / А.А. Богатов, И.О. Мижирицкий, С.В. Смирнов. – М.: Металлургия. – 1984. – 144 с.
6. Колмогоров, В.Л. Механика обработки металлов давлением: учеб. / В.Л. Колмогоров. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 835 с.
7. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др. – М.: Металлургия, 1976. – 416 с.
8. Потапов, И.Н. Технология винтовой прокатки / И.Н. Потапов, П.И. Полухин. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.
9. Панов, Е.И. Влияние поперечно-винтовой прокатки на структуру и свойства заэвтектических силуминов / Е.И. Панов, Г.И. Эскин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2004. – № 9. – С. 7–13.

10. Овчинников, Д.В. Разработка и внедрение технологии производства высококачественных насосно-компрессорных труб из непрерывнолитой заготовки / Д.В. Овчинников, А.А. Богатов, М.В. Ерналов // *Черные металлы*. – 2012. – № 3. – С. 18–21.

11. Валиев, Р.З. Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации / Р.З. Валиев // *Российские нанотехнологии*. – 2006. – Т. 1–2. – С. 208.

12. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

13. Исследование процесса деформирования заготовки равноканальной ступенчатой матрицы / А.Б. Найзабеков, Ж.А. Ашкеев, С.Н. Лежнев, А.Р. Толлеуова // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 2005. – № 2. – С. 16–18.

**Богатов Александр Александрович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; omd@urfu.ru.

**Нухов Данис Шамильевич**, аспирант кафедры обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; danis\_nuchov@mail.ru.

*Поступила в редакцию 6 апреля 2015 г.*

---

DOI: 10.14529/met160214

## DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC BASES AND OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF A NEW METHOD OF DRAWING CAST INGOTS

*A.A. Bogatov, omd@urfu.ru,*

*D.Sh. Nukhov, danis\_nuchov@mail.ru*

*Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation*

The paper considers an idea of realization of alternating deformation in forging cast ingots and determines a rational shape of forging tools. The results of the analysis of the strained state of metal during compression in heads with a profiled surface and in smooth heads (at the second stage of deformation) are presented. The use of new tools provides the formation the metal structure in first passes by means of additional alternating deformation without a significant change of the cross-section shape of the billet. Alternating deformation increases the accumulated strain without changing the cross-section shape of the billet, stimulates the formation of the polygonized subgranular structure and refines the grain structure. Results of the strained state analysis of metal during forging in profiled and flat heads are presented. The degree of the accumulated strain in particles in the deformation zone is calculated for six points along the height of the section of the head hollow in order to estimate strain inhomogeneity in the ingot height. The accumulated strain for a specific particle is determined from the problem solution for a flat deformed state under isothermal conditions by means of Deform software. In layers adjacent to the contact zone the strain is minimal since there are areas of hindered deformation (sticking areas), the size of these areas decreases towards the depth of the metal; at the beginning of plastic deformation a free surface appears which is not under the working tool. Ways to control the technological process of forging are found for increasing homogeneity of strained state in the ingot section and stimulating the formation of the polygonized substructure during compression and the ultradisperse structure after metadynamic recrystallization during a pause.

*Keywords: cast structure; alternating deformation; dispersion of structure; mathematical modeling; stressed and strained state; stressed state parameters; degree of shear strain.*

### References

1. Logunova A.S., Parsunkin B.N. [Determination of Regions of a Continuously Cast Billet with the Greatest Probability of Discontinuity]. *Bulletin of the Ural State Technical University – UPI*, 2004, vol. 1, pp. 95–98. (in Russ.)

2. Segal V.M., Reznikov V.I., Drobyshevskiy A.E., Kopylov V.I. [Plastic Working of Metals by Simple Shear]. *Izvestiya AN SSSR. Metallurgy*, 1981, no. 1, pp. 115–123. (in Russ.)

3. Segal V.M., Reznikov V.I., Kopylov V.I. et al. *Protsessy plasticheskogo strukturoobrazovaniya metallov* [Processes of Plastic Structure Formation of Metals]. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ., 1994. 232 p.
4. Bogatov A.A. *Mekhanicheskie svoystva i modeli razrusheniya metalla* [Mechanical Properties and Fracture Models of Metal]. Ekaterinburg, USTU-UPI Publ., 2002. 328 p.
5. Bogatov A.A., Mizhiritskiy I.O., Smirnov S.V. *Resurs plastichnosti metallov pri obrabotke davleniem* [Plasticity Resource of Metals in Plastic Working]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 144 p.
6. Kolmogorov V.L. *Mekhanika obrabotki metallov davleniem* [Mechanics of Plastic Working of Metals]. Ekaterinburg, USTU-UPI Publ., 2001. 835 p.
7. Levanov A.N., Kolmogorov V.L. Burkin S.P. et al. *Kontaktное trenie v protsessakh obrabotki metallov davleniem* [Contact Friction in the Processes of Plastic Working of Metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. 416 p.
8. Potapov I.N., Polukhin P.I. *Tekhnologiya vintovoy prokatki* [Technology of Screw Rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 344 p.
9. Panov E.I., Éskin G.I. Effect of Helical Rolling on the Structure and Properties of Hypereutectic Silumin. *Metal Science and Heat Treatment*, 2004, vol. 46, no. 9, pp. 365–370. DOI: 10.1023/B:MSAT.0000049808.85764.fb
10. Ovchinnikov D.V., Bogatov A.A., Erpalov M.V. [Development and Implementation of Production Technology of Oil-Well Tubing from Continuously Cast Billet]. *Chernye metally*, 2012, no. 3, pp. 18–21. (in Russ.)
11. Valiev R.Z. [Fabrication of Nanostructured Metals and Alloys with Unique Properties by Means of Severe Plastic Deformation Techniques]. *Rossiyskie nanotekhnologii*, 2006, vol. 1, no. 1–2, pp. 208–216. (in Russ.)
12. Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. *Nanostrukturnye materialy, poluchennye intensivnoy plasticheskoy deformatsiyey* [Nanostructured Materials Obtained by Severe Plastic Deformation]. Moscow, Logos Publ., 2000. 272 p.
13. Nayzabekov A.B., Ashkeev Zh.A., Lezhnev S.N., Toleuova A.R. [Study of the Process of Billet Deformation in an Equal-Channel Stepwise Die]. *Izvestiya VUZ. Chernaya metallurgiya*, 2005, no. 2, pp. 16–18. (in Russ.)

*Received 6 April 2015*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Богатов, А.А. Разработка научных основ и оптимизация технологических режимов нового способа протяжки литых слитков / А.А. Богатов, Д.Ш. Нухов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 91–97. DOI: 10.14529/met160214

#### FOR CITATION

Bogatov A.A., Nukhov D.Sh. Development of Scientific Bases and Optimization of Technological Modes of a New Method of Drawing Cast Ingots. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 91–97. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160214

---