

**Выводы**

Выполнен анализ условий прогиба валков при одновременном влиянии неравномерности распределения по длине бочек валков погонных сил и погонных сил на контакте рабочего валка с полосой. Установлено теоретически и экспериментально, что неравномерность погонных сил в контакте с полосой существенно зависит от различия обжатий по ширине полосы, а следовательно, и от отношения В/Л. Получены формулы для расчета коэффициента неравномерности  $n_1$  в зависимости от различия обжатий по ширине полосы и отношения В/Л. Показано, что при  $n_1 \neq 1,0$  и  $V/L \geq 0,7$  величина профилировки рабочего валка мало зависит от ширины полосы. На величину профилировки рабочего валка заметное влияние оказывает диаметр рабочих валков, используемых на стане, особенно на узких полосах.

**Библиографический список**

1. Николаев В. А. Профилирование и износостойкость листовых валков. – К.: Техніка, 1992. – 160 с.
2. Николаев В. А., Путноки А. Ю. Прокатка широкополосной стали. – К.: Освіта України, 2009. – 268 с.
3. Николаев В. А. Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2007. – № 2. – С. 34-37.
4. Боровик Л. И. Эксплуатация валков станов холодной прокатки. – М.: Металлургия, 1968. – 323 с.

5. Будава А. А. Профилирование валков листовых станов / А. А. Будава, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич и др. – К.: Техніка, 1986. – 190 с.
6. Николаев В. А. Прогиб опорного валка четырехвалковой клетки с учетом опорного момента // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 2001. – № 9. – С.18-19.
7. Полухин В. П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. – М.: Металлургия, 1972. – 512 с.
8. Полухин П. И. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П. И. Полухин, В. А. Николаев, В. П. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.
9. Николаев В. А., Жученко С. В. Оценка неравномерности распределения погонных сил по ширине прокатываемой полосы // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2013. – № 5. – С. 34-37.
10. Николаев В. А., Жученко С. В. Коэффициент неравномерности распределения погонных сил по ширине прокатываемой полосы // *Производство проката.* – 2013. – № 10. – С. 2-5.
11. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос. – М.: Металлургия, 1971. – 200 с.
12. Николаев В. А. Неравномерность деформации по ширине полосы // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 1989. – № 3. – С. 56-61.
13. Николаев В. А., Зотов О. Н., Задко Б. М. Распределение удельных натяжений в полосе при холодной прокатке // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 1977. – № 3. – С. 88-89.

Поступила 01.08.2014



УДК 621.735.3  
**Жбанков Я. Г. /к. т. н./**  
 ДГМА

Наука

**Исследование процесса осадки узким бойком**

*В работе предложен новый способ осадки крупных заготовок, позволяющий повысить точность изготовления поковок типа дисков за счет снижения величины бочкообразности. Способ заключается в профилировании исходной заготовки путем локальной осадки узким бойком. В работе освещены результаты исследований процесса профилирования цилиндрической заготовки разгонкой плоским бойком. Исследования проведены на основе метода конечных элементов с экспериментальным подтверждением. Установлено влияние основных параметров процесса профилирования на форму и размеры заготовки. Дана методика расчета параметров процесса профилирования, локальным деформированием плоским бойком, дляковки поковок типа дисков. Ил. 8. Библиогр.: 9 назв.*

**Ключевые слова:** осадка, ковка, метод конечных элементов, моделирование, интенсивность деформаций

*The new method of upsetting of large billets allowing to increase the accuracy of forgings of disk type due to decrease of the value of barreling is suggested. The method consists in profiling of initial billet by local upsetting with the usage of narrow anvil. The results of research of new method of profiling of cylindrical billet by narrow flat anvil distillation are shown. The research was made on the base of finite element method usage with experimental confirmation. The influence of basic parameters of new method of profiling on the shape and dimensions of billet was determined. Calculation methodology of profiling process parameters by local deformation by flat anvil for forging of disks was given.*

**Keywords:** upsetting, forging, finite element method, modeling, strain intensity

Одной из наиболее часто применяемых операцийковки крупных слитков является осадка [1, 2]. Применение данной операции связано с необходимостьюувеличения укова в поковке, с увеличением диаметра исходной заготовки и для получения нужной формы изделия, в основном для поковок типа дисков. Работы, посвященные исследованию процесса осадки, ведутся на протяжении многих десятилетий и в последнее время проводится множество исследований [3] по определению эффективных параметров реализации процесса осадки. Наиболее простой и распространенной при изготовлении крупных поковок является осадка плоскими плитами. Существенными недостатками процесса осадки плоскими плитами являются большая сила деформирования, значительная величина бочкообразности и высокая неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки. Неравномерность распределения деформаций в заготовке и, как следствие, значительная величина бочкообразности вызваны наличием сил трения на контакте заготовки с инструментом. Кроме того, заготовка в процессе осадки интенсивно охлаждается у торцов от взаимодействия с холодным инструментом, что также повышает неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки и величину бочкообразности.

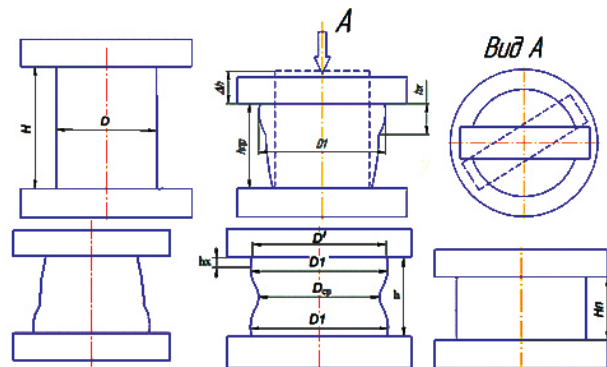
Неравномерность распределения деформаций в процессе осадки плоскими плитами выражается в зонах затрудненной деформации в торцах заготовки. В этих зонах наименьшая величина деформаций в заготовке. Зачастую она принимает критические значения, что при дальнейшей термической обработке поковки приводит к появлению крупнозернистой структуры и, как следствие, анизотропии механических свойств готового изделия. Кроме того, большая величина бочкообразности обуславливает назначение повышенных припусков на боковую поверхность при ковке поковок типа дисков, особенно в тех случаях, когда имеющееся оборудование не позволяет провести операцию правки боковой поверхности.

К способам, позволяющим снизить неравномерность распределения деформаций в поперечном сечении заготовки и уменьшить величину бочкообразности относятся осадка с предварительным деформированием торцов заготовки выпуклой плитой [4], осадка со смазкой торцов заготовки или с применением специальных прокладок [4, 5], предварительное профилирование заготовки на вогнутую бочку [6].

С точки зрения уменьшения бочкообразности наиболее эффективным в производственных условиях способом является профилирование заготовки на вогнутую бочку и осадка плоскими плитами [5]. Осадка заготовки с вогнутой боковой поверхностью сопровождается напряжениями сжатия, возникающими на боковой поверхности и в осевой зоне заготовки, которые повышают пластичность металла и способствуют заживлению внутренних дефектов. Однако данный способ не позволяет снизить неравномерность распределения деформаций, а наоборот повышает ее за счет накопления деформаций в средней части заготовки при биллетировке и локализации деформаций в центральной части вогнутой заготовки при осадке. Величина зон затрудненных деформаций здесь наибольшая.

Уменьшение неравномерности распределения деформаций в заготовке, полученной осадкой, возможно дополнительной проработкой торцов такой заготовки. В работе [7] показано, что такой проработки можно достичь благодаря предварительной, перед осадкой, протяжке торцов исходной заготовки. Несмотря на то, что неравномерность деформаций уменьшается и заметно некоторое уменьшается бочкообразности, все же наиболее эффективным способом получения заготовки, приближенной к правильной цилиндрической форме, является осадка заготовки с вогнутой боковой поверхностью. Таким образом, создание способа осадки, позволяющего снизить и неравномерность деформации в заготовке, и величину бочкообразности, является актуальным.

В процессе осадки проработка торцов возможна вследствие локализации очага деформации в их зоне. Кроме того, если очаг деформации будет локализован у торцов заготовки, то в процессе осадки боковая поверхность будет иметь вогнутую форму. Анализ работ [4, 8] позволил заключить, что такая локализация очага деформации возможна только в процессе осадки узким бойком (разгонки). Таким образом, был предложен способковки поковок типа дисков осадкой, который заключается в последовательной разгонке обоих торцов заготовки и последующей осадке плоскими плитами (рис. 1).



**Рис. 1. Схема осадки цилиндрической заготовки с предварительным профилированием разгонкой узким бойком**

Разгонка в основном применяется на производстве с целью уменьшения силы осадки заготовки больших размеров из-за недостаточной мощности оборудования. Уменьшение силы происходит за счет уменьшения активной площади контакта инструмента и заготовки. Это уменьшение площади контакта инструмента и заготовки приводит и к локализации очага деформации у поверхности контакта.

Рекомендации по размерам заготовки с вогнутой боковой поверхностью перед осадкой для получения минимальной бочкообразности приведены в работе В. А. Тюрина [5]. Необходимо определить режимы процесса разгонки для получения заготовок соответствующих размеров.

Целью данной работы является исследование процесса разгонки цилиндрической заготовки узким бойком и определение оптимальных геометрических параметров и режима деформирования позволяющих получать заготовку с вогнутой боковой поверхностью.

Для определения параметров НДС заготовки в процессе осадки использован метод конечных элементов (МКЭ). Моделировали осадку цилиндрической заготовки узким бойком, причем осадка производилась в несколько этапов вращением бойка относительно оси заготовки на определенный угол, обеспечивающий перекрытие бойком недеформированной части торца заготовки. Диаметр исходной заготовки  $D = 500$  мм, высота  $H = 250, 500, 750$  мм. Материал заготовки – сталь 45, начальная температура заготовки  $1100$  °С, температура инструмента  $20$  °С, количество конечных элементов 100 000. Коэффициент пластического трения Зибеля на контакте между инструментом и заготовкой 0,35, скорость движения инструмента 20 мм/с. В процессе профилирования заготовки использовался плоский узкий боек шириной  $X = 100, 150, 200$  мм.

В качестве основных факторов, которые влияют на формоизменение в процессе разгонки, для исследования, были выбраны относительная высота заготовки  $H/D$ , ширина бойка  $X$  и относительная степень внедрения бойка в заготовку  $\varepsilon_h = \Delta h/H$ . С целью получения математической модели в параметрическом виде проведен регрессионный анализ данных полученных в результате численного моделирования методом конечных элементов. Моделирование проводилось по разработанному плану экспериментов. В табл. 1, 2 приведены факторы варьирования их уровни и матрица планирования [9].

Откликом были приняты четыре параметра:  $D'/D_1, D_1/D_{cp}, \bar{hx} = hx/h, a = (D_1 - D_{cp}) / 2h$ . Общий вид уравнения регрессии следующий:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2$$

Таблица 1. Уровни варьирования факторов

Интервал варьирования и уровни факторов	$H/D$	$\bar{X} = X/D$	$\varepsilon_h$
Основной уровень $X_{i0} = 0$	1,0	0,3	0,1
Интервал варьирования $D$	0,5	0,1	0,05
Верхний уровень $x_i = +1$	1,5	0,4	0,15
Нижний уровень $x_i = -1$	0,5	0,2	0,05
Кодовое обозначение	$X_1$	$X_2$	$X_3$

Таблица 2. Расширенная матрица планирования эксперимента

N	Код			$y_{уг}$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
1	+1	+1	0	1,081
2	+1	-1	0	1,023
3	-1	+1	0	1,231
4	-1	-1	0	1,04
5	+1	0	+1	1,055
6	+1	0	-1	1,053
7	-1	0	+1	1,189
8	-1	0	-1	1,071
9	0	+1	+1	1,167
10	0	+1	-1	1,083
11	0	-1	+1	1,023
12	0	-1	-1	1,015
13	0	0	0	1,079
14	0	0	0	1,079
15	0	0	0	1,079

Переход от условных параметров к натуральным производится по следующим зависимостям:

$$x_1 = \frac{\bar{X} - 0,3}{0,1}, \quad x_2 = \frac{H/D - 1}{0,5}, \quad x_3 = \frac{\varepsilon_h - 0,1}{0,05}$$

В результате обработки полученных данных получены коэффициенты уравнения регрессии. В табл. 3 приведены коэффициенты для уравнения регрессии, описывающего зависимость параметра  $D_1/D_{cp}$  от факторов варьирования.

Коэффициенты регрессии определялись по следующим формулам:

$$b_i = O_2 \cdot \sum_{k=1}^N (x_{k,i} \cdot y_k), \quad b_{i,j} = O_4 \cdot \sum_{k=1}^N (x_{k,i} \cdot x_{k,j} \cdot y_k),$$

$$b_{i,i} = O_3 \cdot \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ (x_{k,i})^2 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_{k,i})^2 \right] \cdot y_k \right\},$$

$$b_0 = O_1 \cdot \sum_{k=1}^N y_k - \frac{O_1}{O_2} \sum_{k=1}^m b_{k,k} \cdot \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_{k,i})^2,$$

где  $N$  – количество экспериментов,  $m$  – количество факторов,  $O_1 = 0,06667, O_2 = 0,09141, O_3 = 0,23041, O_4 = 0,125$ .

Таблица 3. Коэффициенты уравнения регрессии

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$
1,082	-0,029	0,042	0,019	-0,017
$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
-0,015	0,0095	0,015	$-3,057 \cdot 10^{-3}$	$-4,67 \cdot 10^{-3}$

Проведено исследование полученных регрессионных моделей, на основе которых построены графические зависимости отражающие параметры формоизменение заготовки от исходных размеров заготовки и режима деформирования (рис. 2).

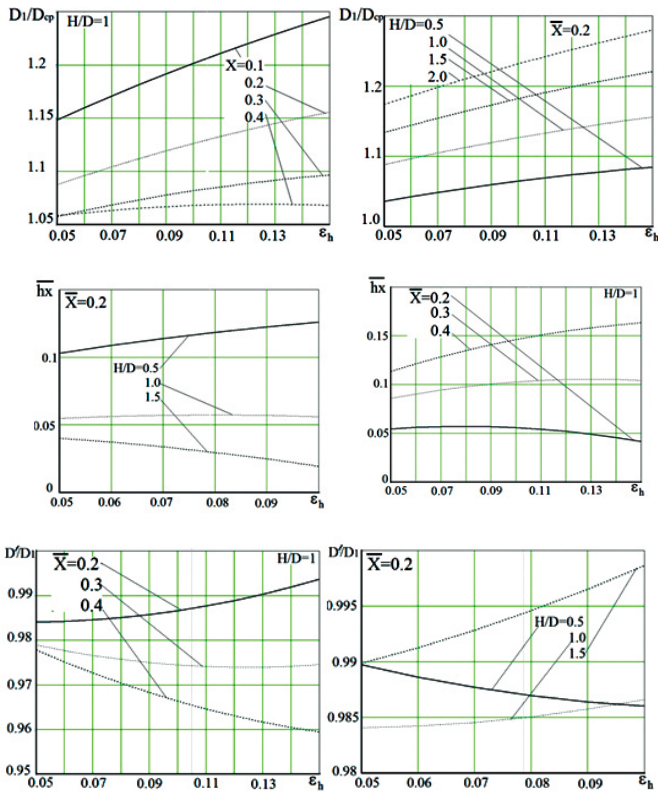


Рис. 2. Графики зависимости параметров формоизменения заготовки от исходных параметров заготовки и режима деформирования

Установлено, что в процессе разгонки цилиндрической заготовки плоским узким бойком ее боковая поверхность принимает вогнутую форму. При этом видно, что часть заготовки с наибольшим диаметром равным  $D_1$  находится на расстоянии  $h_x$  от торца заготовки, который имеет диаметр  $D'$ . Параметром, который имеет наибольшее влияние на величину бочкообразности в процессе последующей осадки плоскими плитами, является отношение  $D_1/D_{cp}$ . Чем больше данное отношение, тем на большую величину можно осадить заготовку без образования бочки.

Анализ полученных графиков позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на формоизменение оказывает ширина узкого бойка  $X$ . Установлено, что при разгонке заготовки с  $H/D = 1$  бойком относительной шириной  $\bar{X}$  равной 0,1 можно получить заготовку с относительным параметром  $D_1/D_{cp}$  равным 1,25 при степени внедрения бойка в заготовку  $\epsilon_h = 0,15$ . Использование бойка относительной шириной  $\bar{X}$  равной 0,4 при тех же условиях позволяет получить заготовку с  $D_1/D_{cp} = 1,06$ . Это объясняется тем, что при использовании менее широкого бойка наблюдается большая локализация очага деформации у торца заготовки, что приводит к более интенсивному его увеличению.

Несмотря на то, что с уменьшением ширины бойка увеличивается величина прогиба боковой поверхности получаемой заготовки, это ведет к увеличению трудоемкости процесса, т. к. малая ширина бойка предполагает большее количество обжатий заготовки, которое вычисляется по формуле  $n = \pi D / 2X$ . Т. е. ширина бойка не должна быть слишком малой.

Также установлено, что с увеличением степени деформации  $\epsilon_h$  от 0,05 до 0,15 происходит существенное увеличение параметра  $D_1/D_{cp}$  при разгонке заготовки бойком с  $\bar{X} = 0,1-0,3$ . При использовании бойка с  $\bar{X} \geq 0,4$  степень внедрения не оказывает существенного влияния на получаемую разность диаметров торцевой и средней части заготовки. Это связано со значительным размером пятна контакта инструмента и заготовки и, как следствие, низкой локализации очага деформации у торца заготовки.

Также установлено, что большое влияние на формоизменение оказывает относительная высота исходной заготовки. Так при разгонки заготовки с  $H/D = 2$  бойком относительной шириной  $\bar{X} = 0,2$  со степенью деформации 0,15 получили заготовку с  $D_1/D_{cp}$  равным 1,28. Для заготовки с  $H/D = 0,5$  параметр  $D_1/D_{cp}$  равен 1,09 при прочих равных условиях деформирования.

На рис. 3 приведены графики зависимости стрелы прогиба боковой поверхности заготовки от геометрических параметров процесса разгонки.

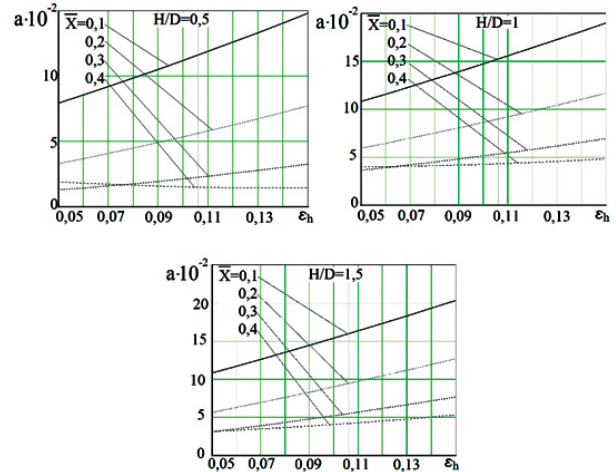


Рис. 3. Графики зависимости стрелы прогиба бочки от параметров процесса разгонки

Влияние геометрических параметров исходной заготовки и режима деформирования на параметр «а» аналогично описанному выше для параметра  $D_1/D_{cp}$ . На основании полученной регрессионным анализом математической модели можно определить стрелу прогиба боковой поверхности заготовки. Зная это значение и значения размеров заготовки, используя графическую зависимость, полученную Тюриным В. А. (рис. 4), можно определить степень осадки профилированной заготовки, при которой бочкообразность будет минимальной.

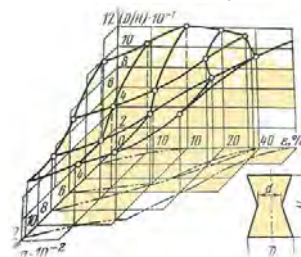


Рис. 4. Изменение стрелы прогиба боковой поверхности заготовки «а» при осадке [4]

На формоизменение полученной разгонкой заготовки в процессе последующей осадки плоскими плитами окажет влияние форма ее торцов, а именно такие параметры как  $h_x$  и  $D'/D$ . Проведено исследование влияния параметров разгонки на величины  $h_x$  и  $D'/D$ . Установлено, что при разгонке заготовки узким бойком относительной шириной  $\bar{X}$  до 0,3 разница диаметра торца и наибольшего диаметра заготовки находится в пределах 2 % при  $\bar{\epsilon}_x$  от 0,05 до 0,15. Резкое уменьшение  $D'/D$ , т. е. увеличение разности диаметра торца и максимального диаметра заготовки наблюдается при разгонки бойком шириной  $\bar{X}$  свыше 0,4. Относительная высота заготовки не оказывает существенного влияния на параметр  $D'/D$ .

Установлено, что величина  $h_x$  также зависит от ширины бойка  $X$  и относительной высоты заготовки. Этот параметр возрастает в три раза с увеличением  $\bar{X}$  от 0,2 до 0,4 и в два раза с уменьшением  $H/D$  от 1,5 до 0,5. Степень деформации оказывает незначительное влияние на данный параметр.

Для качественного формоизменения необходимо, чтобы параметр  $h_x$  был минимальный и параметр  $D'/D$  был равен 1.

Проведено исследование деформированного состояния заготовки в процессе разгонки узким бойком и последующей осадки плоскими плитами.

Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций приведены на рис. 5-7.

Анализ полученных данных позволил установить, что существенное влияние на величину очага деформации и распределение деформаций оказывают геометрические параметры инструмента (относительная ширина бойка) и режим деформирования (относительная степень внедрения бойка в заготовку  $\bar{\epsilon}_x$ ). Из рис. 5 видно, что при внедрении в заготовку бойка относительной шириной  $\bar{X} = 0,4$  очаг деформации имеет значительные размеры, высота его равна практически половине высоты заготовки, т. е. наблюдается низкая степень локализации. Это приводит к тому, что при ковке заготовки таким инструментом вогнутость боковой поверхности будет минимальной или же вообще отсутствовать. При уменьшении ширины бойка наблюдается уменьшение высоты очага деформации и его ширины. Из рис. 5 видно, что непосредственно в зоне контакта бойка и заготовки наблюдается зона затрудненных деформаций, вызванная наличием сил трения и охлаждением торца заготовки. Величина этой зоны тем больше, чем шире деформирующий инструмент. Кроме того, видно, что наибольшие деформации находятся у кромок бойка.

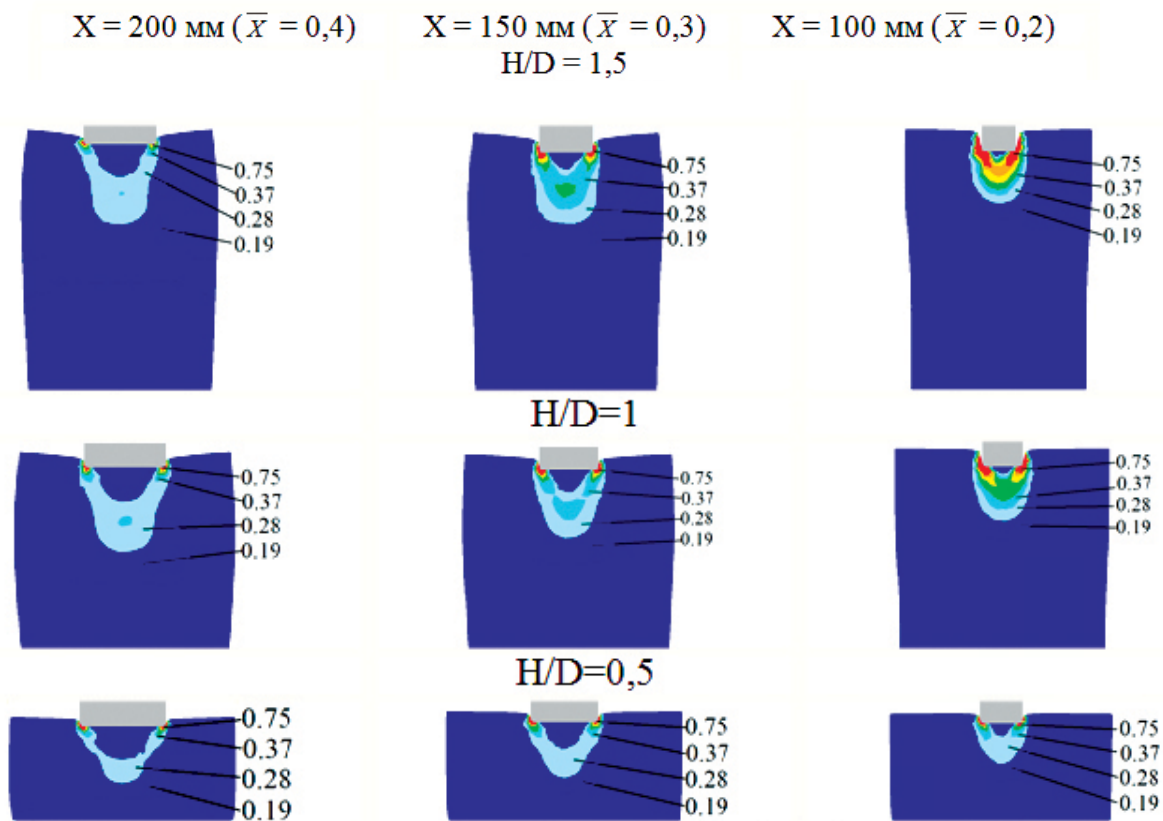
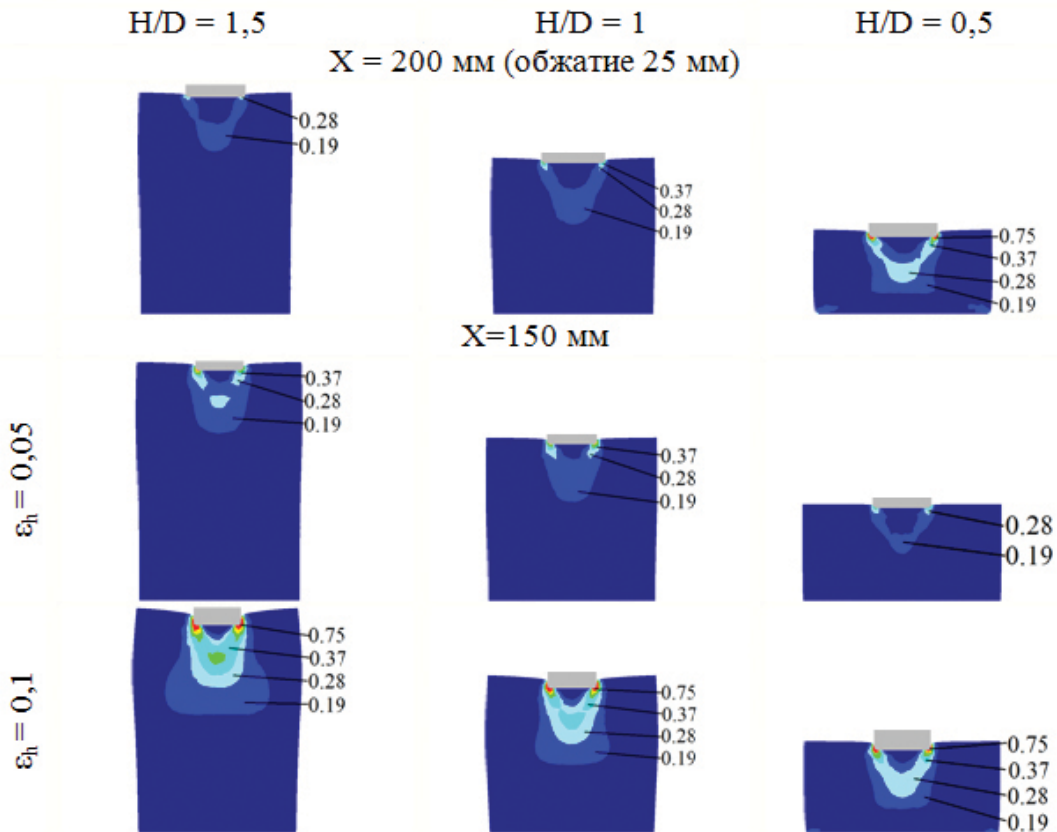


Рис.5. Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки при обжатии узким бойком ( $\bar{\epsilon}_x = 0,1$ )

Наибольшая степень локализации очага деформации у торца заготовки наблюдается при использовании бойка шириной  $\bar{X} = 0,2$ , что соответствует получению заготовки с большим значением параметра «а». Видно, что на высоту очага деформации также оказывает влияние высота заготовки. С уменьшением высоты заготовки относительная высота очага деформации увеличивается. Это говорит о том, что такое профилирование не позволит получить заготовку с относительно большим значением величины прогиба боковой поверхности заготовки при малом соотношении высоты исходной заготовки к ее диаметру.

Анализ полученных данных позволил установить, что профилирование разгонкой лучше проводить на заготовке с  $H/D > 1$ . Влияние размеров заготовки на относительную величину очага деформации подтверждается и данными приведенными на рис. 6. Из рисунка видно, что при одинаковом обжатии заготовки с различной высотой, бойком одинаковой ширины, относительные параметры очага деформации существенно отличаются. Так при внедрении узкого бойка в заготовку с  $H/D = 1,5$ , высота очага деформации равна 25 % от высоты заготовки. При деформировании заготовки с  $H/D = 0,5$ , высота очага деформации равна 75 % от высоты заготовки.

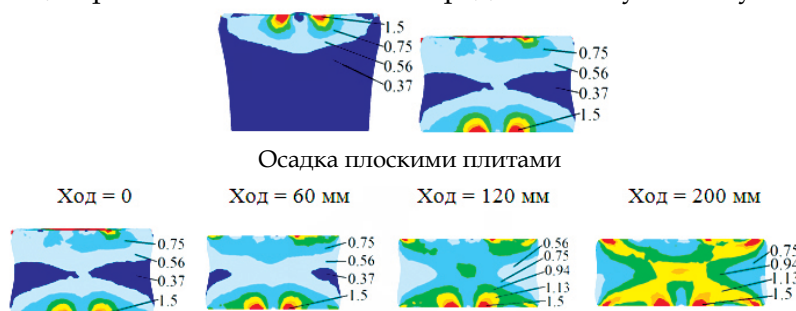


**Рис. 6. Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки при обжатии узким бойком на различных стадиях**

Кроме того установлено влияние режима деформирования на размеры очага деформации и особенности его формирования. Установлено, что с увеличением степени внедрения бойка в заготовку высота очага деформации увеличивается, также возрастает и величина интенсивности деформаций. Так, если при относительном внедрении бойка в заготовку ( $H/D = 1,5$ ) равном 0,05 высота очага деформации равна 25 % от высоты

заготовки, то при  $\epsilon_h = 0,1$  данная высота составляет 1/3 высоты заготовки. При этом максимальная величина интенсивности логарифмических деформаций возрастает с 0,37 до 0,75.

На рис. 7 приведены поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки на всех стадиях процессаковки цилиндрической заготовки по предлагаемому способу.



**Рис. 7. Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки в процессе разгонки узким бойком и последующей осадки плоскими плитами ( $H = 1000$  мм,  $D = 1000$  мм,  $X = 300$  мм)**

Для подтверждения полученных данных проведена экспериментальная апробация данного способа. Эксперименты проводились на свинцовых образцах диаметром 50 мм и высотой 75 мм. Результаты приведены на рис. 8, из которого видно, что профилирование боковой поверхности заготовки предлагаемым способом возможно.

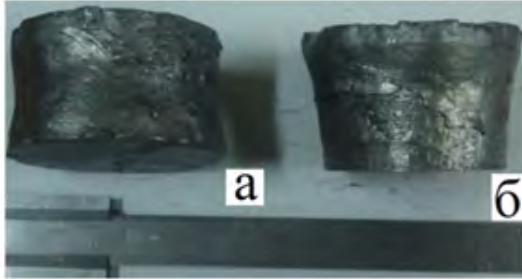


Рис. 8. Общий вид полуфабрикатов после деформирования разгонкой одного торца (б) и двух торцов (а) цилиндрической заготовки

#### Выводы

Установлено, что осадкой узким бойком цилиндрической заготовки можно профилировать боковую поверхность. Предложенный способ осадки заготовок позволяет существенно снизить бочкообразность.

Установлено, что разгонка осадкой, для наибольшей эффективности, должна проводится узким бойком с относительной шириной  $\bar{X} = 0,1-0,3$ , причем исходная цилиндрическая заготовка должна быть с относительной высотой  $H/D \geq 1,0$ .

Используя полученные математические, графические зависимости и приведенную методику можно точно определить параметры процесса осадки разгонкой узким бойком для получения поковок типа дисков с минимальной неоднородностью распределения деформаций по объему и минимальной величиной бочкообразности.

#### Библиографический список

1. Kun Chen Strain function analysis method for void closure in the forging process of large sized steel ingot / Kun Chen, Yitao Yang, Guangjie Shao, Kejia Liu // Computational Materials Science. – 2012. – № 51 – P. 72-77
2. Технологияковки: учебник для вузов / Л. Н. Соколов, И. С. Алиев, О. Е. Марков, Л. И. Алиева. – Краматорск: ДГМА, 2011. – 268 с.
3. Xiao-Xun Zhang A criterion for void closure in large ingot during hot forging / Xiao-Xun Zhang, Zhen-Shan Cui, Wen Chen, Yan Li // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – № 209. – P. 1950-1959
4. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов // М.: Металлургия, 1977. – 480 с.
5. Тюрин В. А. Теория и процессыковки слитков на прессах / В. А. Тюрин // М.: Металлургия, 1978. – 239 с.
6. Охрименко Я. М. Повышение эффективности и качества работ в кузнечном производстве / Я. М. Охрименко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1967. – № 5 – С. 2-7
7. Жбанков Я. Г. Уменьшение неравномерности распределения деформаций при осадке профилированных заготовок / Я. Г. Жбанков, В. В. Панов, О. Е. Марков // Тезисы докладов V научно-технической конференции молодых специалистов «Энергомашспецсталь-2013». Краматорск, 22-24 травня 2013. – С. 28-30.
8. Камнев П. В. Совершенствованиековки крупных поковок / П. В. Камнев // Л.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
9. Ковшов В. Н. Постановка инженерного эксперимента / В. Н. Ковшов // Донецк: Вища школа, 1982. – 120 с.

Поступила 23.05.2014

**ЗАКАЗ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ ЖУРНАЛА**

[www.metaljournal.com.ua](http://www.metaljournal.com.ua)

**контактный телефон, факс: 0562-46-12-95**