

УДК 621.771

Жбанков Я. Г.  
Грачев И. А.  
Чикота Я. М.  
Самоглазов А. Д.

### КОВКА КРУПНЫХ СЛИТКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПЕРАЦИИ ОСАДКИ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЗАГОТОВКИ

Операция осадки является одной из основных операцийковки [1–3], которая применяется с целью увеличения уровня деформационной проработки конечного изделия и как формоизменяющая операция для получения поковок дисков. Как известно, осадка обладает несколькими недостатками [4], основным из которых являются высокая неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки, что ведет к формированию зон затрудненных деформаций и неравномерности распределения размеров зерна и механических свойств в поковке. Последнее, ярко выражено для сталей легированных такими элементами как Cr, V, W, Ti и Ni. Для устранения данного недостатка применяется ряд приемов: профилирование заготовки на различную форму (цилиндр с коническими уступами, четырехлучевая заготовка) [5, 6], осадка инструментом специальной формы (коническими плитами) [7], осадка по сложному кинематическому режиму (разгонка узким бойком) [8] и осадка заготовки с неравномерным температурным полем [9].

В основном применяемые схемыковки, обеспечивающие снижение неравномерности распределения деформаций в осажённой заготовке требуют применения специализированного инструмента либо не позволяют увеличить уровень деформационной проработки изделия.

Целью данной работы является разработка режимаковки с применением операции осадки, который позволит уменьшить неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки, увеличить общий уровень деформационной проработки и не будет требовать применения специализированного инструмента.

В изменении формы заготовки перед осадкой скрыты большие возможности в плане управления напряженно-деформированным состоянием конечного изделия. С учетом заявленной цели и применения традиционных слитков и инструмента перспективным видится профилирование заготовки перед осадкой плоскими бойками. При этом профилирование должно быть выполнено на прямоугольную форму поперечного сечения (рис. 1). Само по себе профилирование протяжкой через пластину позволит существенно проработать металл слитка.

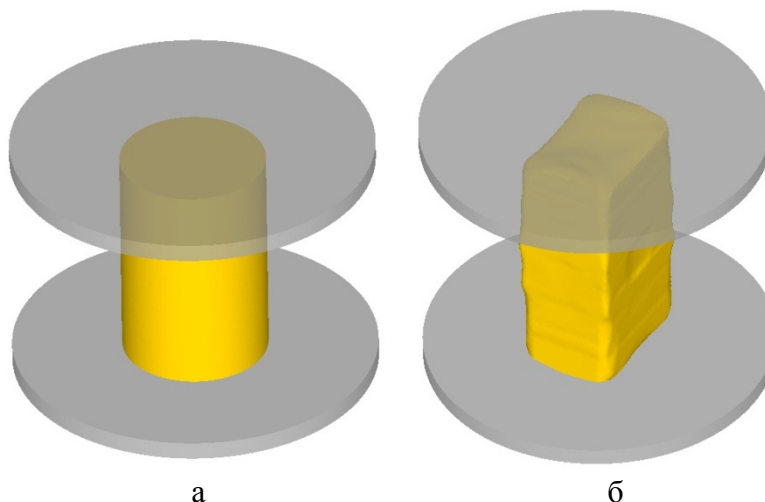


Рис. 1. Схема осадки цилиндрической (а) и профилированной (б) заготовки

В работе проведено исследование процесса профилирования цилиндрической заготовки плоскими бойками на прямоугольное поперечное сечение с соотношением высоты к ширине равным 0,5, 0,75 и 1,0. Исследование выполнено методом конечных элементов. В процессе исследования также установлено влияние уклова при профилировании заготовки на параметры НДС. Уков варьировался в пределах 1...1,3. Граничные условия для моделирования следующие: материал заготовки AISI – 1035, исходная температура заготовки 1100 °С, температура инструмента 300 °С, коэффициент теплопередачи – 5 N/sec/mm<sup>0</sup>С, скорость перемещения инструмента 20 мм/с и коэффициент трения между заготовкой и инструментом по закону Зибеля 0,35. Исходная заготовка имела форму цилиндра диаметром 1600 мм и высотой 2400 мм.

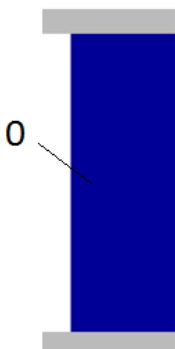
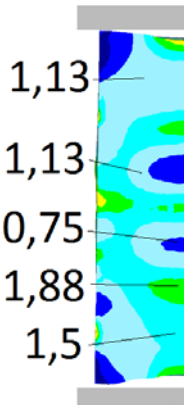
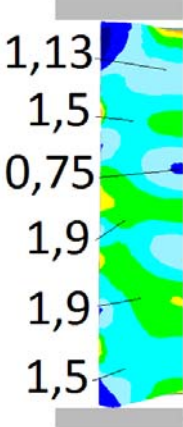
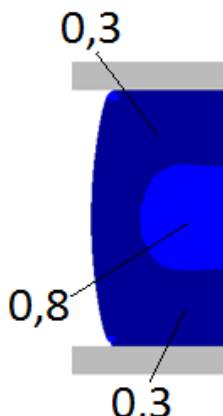
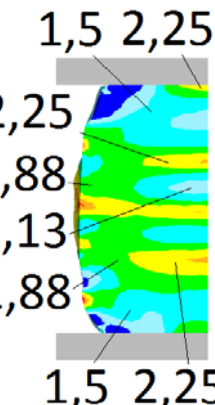
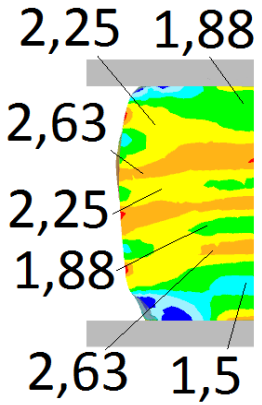
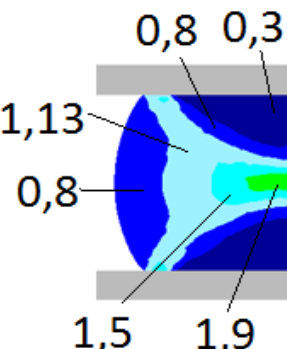
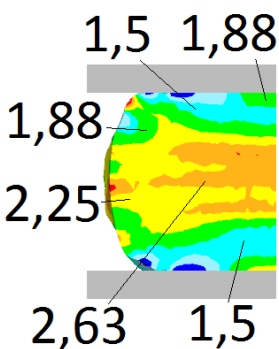
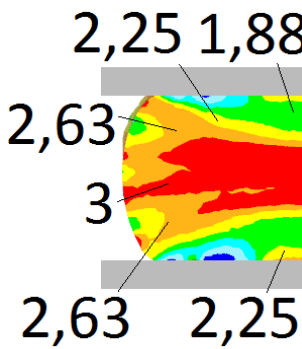
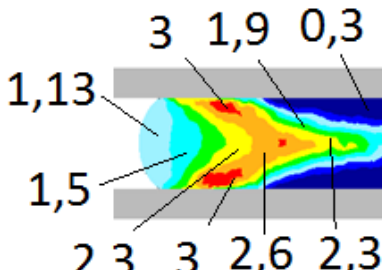
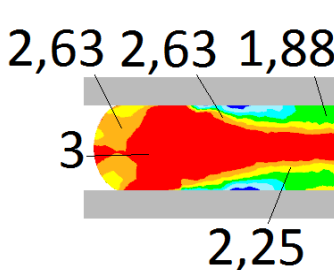
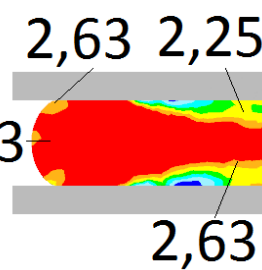
В табл. 1 приведены результаты моделирования процесса осадки профилированной заготовки ( $h/b = 0,75$ ) и заготовки цилиндрической формы. Анализ картин распределения деформаций в продольном сечении заготовки позволяет сделать следующие выводы. Как и утверждалось ранее, традиционной осадке характерны такие недостатки как высокая неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки и наличие застойных зон существенных размеров. Заготовка, подвергнутая предварительному профилированию на прямоугольное сечение с отношением высоты к ширине 0,75, уже перед осадкой имеет определенное деформационное поле, кроме того торцы заготовки имеют более интенсивную деформационную проработку. Уже на первом этапе осадки (25% от первоначальной высоты заготовки), видно, что никаких застойных зон не формируется, и деформации распределяются достаточно равномерно. Также видно, что заготовка с укловом, равным 1,3, имеет больший уровень интенсивности логарифмических деформаций в объеме, однако характер их распределения идентичен заготовке с укловом 1,15. Осадка на 50% и 75% приводит к увеличению общего уровня деформаций и к росту неравномерности их распределения. Наибольшие деформации сосредоточены в центральной части заготовки, что объясняется трением на поверхности между инструментом и заготовкой и охлаждением ее торцов в процессе осадки.

На основании обработки данных, полученных в результате моделирования, построены графики распределения интенсивности логарифмических деформаций по определенным сечениям заготовки (рис. 2–4). Анализ полученных графиков позволяет сделать вывод, что наибольшая неравномерность распределения деформаций во всех трех случаях наблюдается у торцов заготовки. Так из рис. 2 видно, что для цилиндрической заготовки величина зоны затрудненных деформаций (деформации, близкие к критическим), при осадке на 25%, равна 60% от диаметра, при дальнейшей осадке абсолютный размер зоны затрудненных деформаций не изменяется. Для вариантов осадки профилированной заготовки видно, что у ее оси деформации значительно больше критических (вызывающих интенсивный рост зерна при термообработке) [10], хотя неравномерность деформаций выше, чем при осадке цилиндрической заготовки. Кроме того, величина деформаций для уклова 1,15 и 1,3 практически не отличается. По мере осадки заготовки характер распределения деформаций для профилированных заготовок на поверхности изменяется, и наибольшие деформации при осадке на 75% находятся в периферийных слоях. Это объясняется перемещением проработанного металла из центральных слоев заготовки на ее поверхность.

Характер распределения деформаций на расстоянии 1/4 высоты заготовки от торца отличается от поверхностного распределения. Здесь не наблюдается значительной неравномерности для вариантов осадки профилированных заготовок. Кривые, описывающие распределение деформаций, для них отличаются только уровнем. Для осадки цилиндрической заготовки существенная неравномерность наблюдается только при степени деформации 50%. Разница между центральной частью заготовки и периферией равна 1,5 единицы, в то время как для профилированных заготовок она не превышает 0,5. Кроме того, уровень деформаций до 3 раз выше в профилированных заготовках. Различие же между кривыми, описывающими два варианта профилирования (уков 1,15 и 1,3), минимальное и находится в пределах 15%.

Таблица 1

Поля распределения интенсивности деформаций в продольном сечении заготовки в процессе осадки до и после предварительной протяжки

H	Y = 1	Y = 1,15	Y = 1,3
			
1800			
1200			
600			

Распределение деформаций в центральной части заготовки, описываемое кривыми (рис. 4), мало отличается от распределения на расстоянии 1/4 высоты заготовки от торца. Здесь также наибольшая неравномерность у варианта осадки цилиндрической заготовки, при этом уровень деформаций в цилиндрической заготовке существенно ниже.

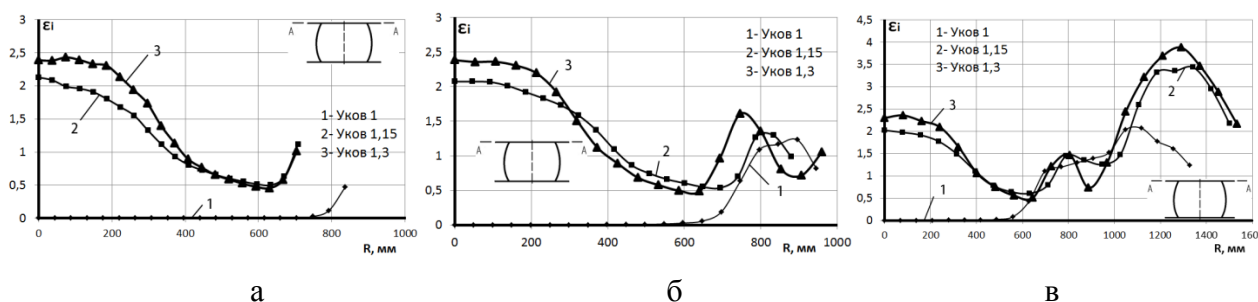


Рис. 2. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (у поверхности) в процессе осадки профилированной заготовки: а –  $\varepsilon_h = 75\%$ , б –  $\varepsilon_h = 50\%$ , в –  $\varepsilon_h = 25\%$

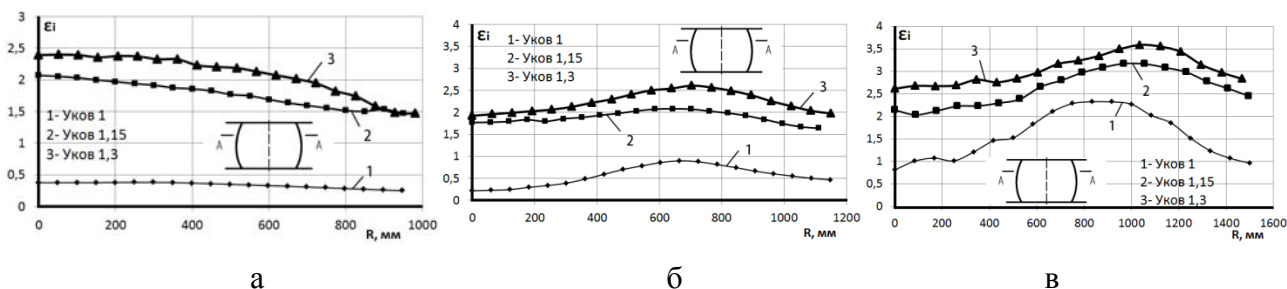


Рис. 3. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (на расстоянии 1/4 от высоты) в процессе осадки профилированной заготовки: а –  $\varepsilon_h = 75\%$ , б –  $\varepsilon_h = 50\%$ , в –  $\varepsilon_h = 25\%$

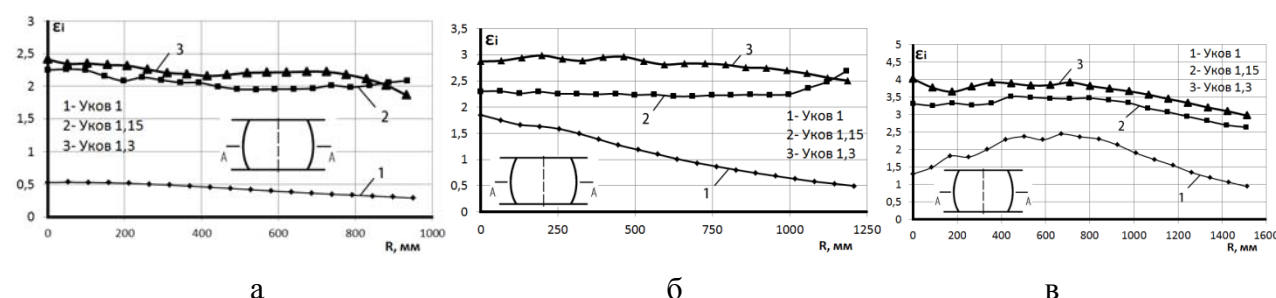


Рис. 4. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (в центре) в процессе осадки профилированной заготовки: а –  $\varepsilon_h = 75\%$ , б –  $\varepsilon_h = 50\%$ , в –  $\varepsilon_h = 25\%$

Аналогичные исследования проведены для варианта профилирования заготовки на квадратное сечение. Результаты обработки полученных данных представлены в виде графиков распределения интенсивности логарифмических деформаций в объеме заготовки (рис. 5, 6). Анализ полученных зависимостей позволяет заключать, что профилирование заготовки на квадратное сечение также позволяет повысить уровень деформационной проработки слитка. Уровень деформаций выше, чем в базовом варианте осадки цилиндрической заготовки. Здесь также наблюдается достаточно большая неравномерность распределения деформаций у торца заготовки, хотя минимальная величина деформаций намного выше критической. Влияние укова на уровень деформаций профилированных заготовок незначительный.

В центральной части осаженой заготовки характер распределения деформаций полностью совпадает для базового варианта и варианта профилирования на квадратное сечение. Наблюдается повышенная неравномерность распределения деформаций, хотя для профилированной заготовки деформации больше на 30% для степени осадки 50% и на 15–20% – для осадки на 75%.

На рис. 7–8 приведены графики распределения деформаций в объеме заготовки при осадке заготовок профилированных на прямоугольное сечение с соотношением  $h/b = 0,5$ . Данный вариант профилирования имеет явные преимущества перед базовым.

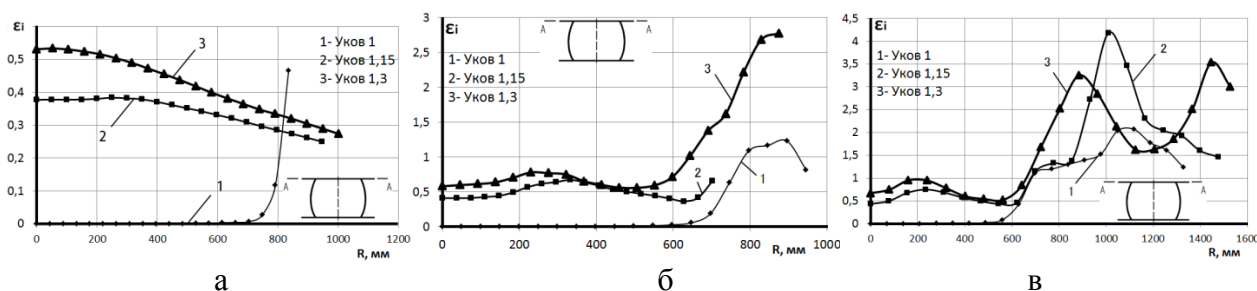


Рис. 5. Графики распределения интенсивности логарифмических деформаций в продольном сечении заготовки (линия А–А) после предварительного профилирования (квадратное сечение) и осадки: а –  $\varepsilon_h = 75\%$ , б –  $\varepsilon_h = 50\%$ , в –  $\varepsilon_h = 25\%$

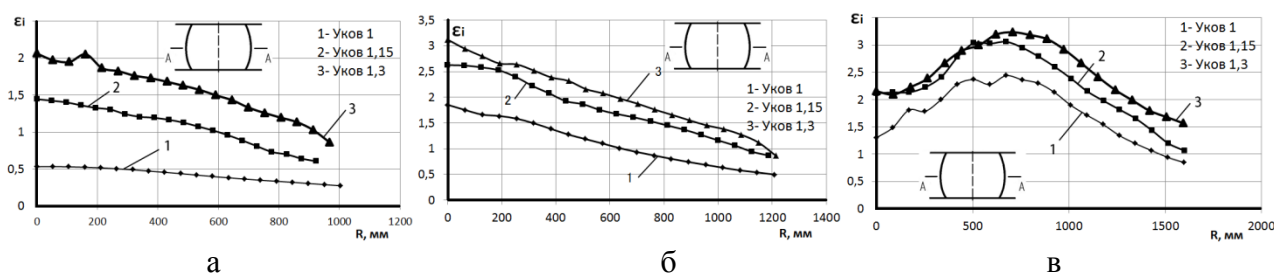


Рис. 6. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (в центре) в процессе осадки профилированной заготовки (квадратное сечение): а –  $\varepsilon_h = 75\%$ , б –  $\varepsilon_h = 50\%$ , в –  $\varepsilon_h = 25\%$

Из графиков видно, что уровень деформаций в заготовке в разы выше, при этом неравномерность распределения деформаций для центральных слоев ниже. Для поверхностных слоев неравномерность распределения деформаций ниже у цилиндрической заготовки только при осадке на 25%.

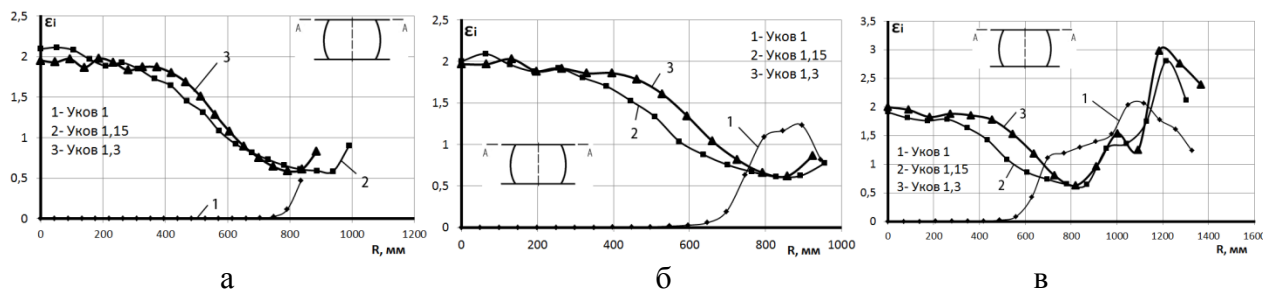


Рис. 7. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (на поверхности) в процессе осадки профилированной заготовки (прямоугольное сечение): а –  $\varepsilon_h = 75\%$ , б –  $\varepsilon_h = 50\%$ , в –  $\varepsilon_h = 25\%$

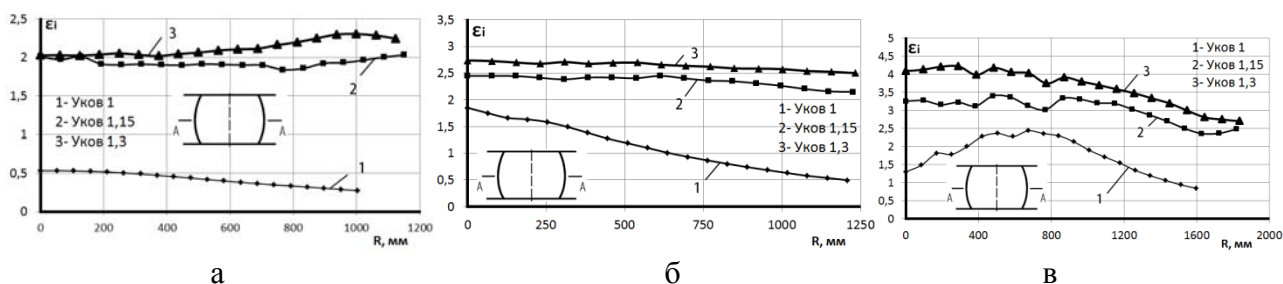


Рис. 8. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (в центре) в процессе осадки профилированной заготовки (прямоугольное сечение): а –  $\varepsilon_h = 75\%$ , б –  $\varepsilon_h = 50\%$ , в –  $\varepsilon_h = 25\%$

Таким образом, понятно, что в плане деформационной проработки заготовки и неравномерности распределения деформаций осадка профилированной заготовки явно выигрывает у базового варианта. Кроме того, видно, что уровень деформаций при укове 1,15 и 1,3 для всех рассматриваемых вариантов, отличается незначительно, в пределах 10%. Сопоставление трех вариантов осадки профилированных заготовок ( $h/b = 1; 0,75; 0,5$ ), показывает, что осадка квадратной заготовки проигрывает перед осадкой заготовки с прямоугольным поперечным сечением. Уровень деформаций в заготовках, профилированных на прямоугольное сечение выше, нежели у заготовок с квадратным сечением. Так, например, в центральной части заготовки (рис. 4, 6, 8) величина деформаций для вариантов прямоугольного сечения равна 2,5 единицы (степень осадки 50%). В случае квадратного сечения наблюдается высокая неравномерность распределения деформаций. Максимальная величина деформаций достигает значения 2,5 единицы, но при этом минимальное значение 1, в то время как у прямоугольной заготовки неравномерность практически отсутствует. Таким образом, профилирование на прямоугольное сечение является более предпочтительным. Из двух вариантов ( $h/b = 0,5; 0,75$ ) наиболее рациональным является наименее трудоемкий, т.к. они оба обеспечивают минимальную неравномерность распределения деформаций и максимальный уровень деформационной проработки. Таким вариантом является сечение с  $h/b = 0,75$ .

### ВЫВОДЫ

Установлено, что предварительное профилирование заготовки перед осадкой позволяет повысить уровень деформационной проработки слитка. Кроме того, возможно добиться снижения неравномерности распределения деформаций в объеме заготовки.

Рассмотрено несколько вариантов профилирования заготовки: профилирование плоскими бойками на квадратное и прямоугольное поперечное сечение, при этом прямоугольное сечение с различным соотношением сторон: 0,5 и 0,75. Кроме того, определили величину укова для предварительного профилирования, которая составила 1,15.

Установлено, что наиболее рациональной схемой профилирования заготовки перед осадкой плоскими плитами из рассматриваемых, является профилирование заготовки на прямоугольное сечение с соотношением сторон, равным 0,75.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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. 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.
3. YoungDeak Kim Efficient forging process to improve the closing effect of the inner void on an ultra-large ingot / YoungDeak Kim, JongRae Cho, WonByung Bae // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2011. – №211. – P. 1005–1013.
4. Жбанков Я.Г. Определение рациональных параметров профилированных заготовок, подвергаемых осадке плоскими плитами / Я. Г. Жбанков, О. Е. Марков, Р. И. Сивак // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2013. – № 8. – С. 8–15.
5. Zhbankov I. G. Rational Parameters of Profiled Workpieces for Upsetting Process / I. G. Zhbankov, O.E. Markov, A. V. Perig // *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 2014. – Vol. 71. – № 5–8. – P. 808–810. – ISSN 0268–3768.
6. Марков О. Е. Закрытие осевых дефектов при осадке заготовок с вогнутым поперечным сечением / О. Е. Марков // *Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии: сборник научных трудов*. – 2013. – № 1. – С. 12–19. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma\\_2013\\_1\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma_2013_1_4)
7. Дзугутов М.Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М.Я. Дзугутов // *М. Металлургия*, 1977. – 480 с.
8. Zhbankov I. G. New schemes of forging plates, shafts, and discs / I.G. Zhbankov, A.V. Perig, L.I. Aliieva // *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 2015. ISSN 0268-3768 (Print). ISSN 1433-3015 (Online) – Access: DOI: 10.1007/s00170-015-7377-7.

9. Жбанков Я.Г. Ковка дисков с неоднородным температурным полем / Я.Г. Жбанков, И.С. Алиев, И.Г. Савчинский // *Перспективы развития отечественного кузнечно-прессового машиностроения и кузнечно-штамповочных производств в условиях импортозамещения: сборник докладов и научных статей XII Конгресса «Кузнец 2015»*. – 2015. – С. 298–309.

10. *Технология ковки : учебник для вузов / Л.Н. Соколов, И.С. Алиев. О.Е. Марков, Л.И. Алиева. – Краматорск : ДГМА, 2011. – 268 с.*

## REFERENCES

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. 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.

3. YoungDeak Kim Efficient forging process to improve the closing effect of the inner void on an ultra-large ingot / YoungDeak Kim, JongRae Cho, WonByung Bae // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2011. – №211. – P. 1005–1013.

4. Zhbankov Ja.G. *Opređenje racional'nyh parametrov profilirovannyh zagotovok, podvergaemyh osadke ploskimi plitami / Ja. G. Zhbankov, O. E. Markov, R. I. Sivak // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. – 2013. – № 8. – S. 8–15.*

5. Zhbankov I. G. Rational Parameters of Profiled Workpieces for Upsetting Process / I. G. Zhbankov, O.E. Markov, A. V. Perig // *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 2014. – Vol. 71. – № 5–8. – P. 808–810. – ISSN 0268–3768.

6. Markov O. E. Zakrytie osevyh defektov pri osadke zagotovok s vognutym poperechnym secheniem / O. E. Markov // *Nauchnyj vestnik Donbasskoj gosudarstvennoj mashinostroitel'noj akademii : sbornik nauchnyh trudov. – 2013. – № 1. – S. 12–19. – Rezhim dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma\\_2013\\_1\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma_2013_1_4)*

7. Dzugutov M.Ja. *Plasticheskaia deformacija vysokolegirovannyh stalej i splavov / M.Ja. Dzugutov // M. Metallurgija, 1977. – 480 s.*

8. Zhbankov I. G. New schemes of forging plates, shafts, and discs / I.G. Zhbankov, A.V. Perig, L.I. Aliieva // *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 2015. ISSN 0268-3768 (Print). ISSN 1433-3015 (Online) – Access: DOI: 10.1007/s00170-015-7377-7.

9. Zhbankov Ja.G. *Kovka diskov s neodnorodnym temperaturnym polem / Ja.G. Zhbankov, I.S. Aliev, I.G. Savchinskij // Perspektivy razvitija otechestvennogo kuznechno-pressovogo mashinostroenija i kuznechno-shtampovocnyh proizvodstv v uslovijah importozameshenija: sbornik dokladov i nauchnyh statej XII Kongressa «Kuznec 2015»*. – 2015. – S. 298–309.

10. *Tehnologija kovki : uchebnik dlja vuzov / L.N. Sokolov, I.S. Aliev. O.E. Markov, L.I. Alieva. – Kramatorsk: DGMA, 2011. – 268 s.*

Жбанков Я. Г. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД ДГМА

Грачев И. А. – канд. техн. наук, начальник бюро поковок ОГМет ПАО «НКМЗ»

Чикота Я. М. – ведущий инженер бюро поковок ОГМет ПАО «НКМЗ»

Самоглядов А. Д. – лаборант каф. ОМД ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.  
ПАО «НКМЗ» – Публичное акционерное общество «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск.

E-mail: yzhbankov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 07.11.2016 г.