

УДК 621.771

Жбанков Я. Г.
Самоглядов А. Д.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССАХ КОВКИ

В настоящее время в современном машиностроении при ковке крупных поковок актуальна проблема обеспечения высокого качества изделия, особенно это касается энергетического машиностроения. В кузнечном производстве данная проблема, как правило, решается за счет применения дополнительных ковочных операций, таких как осадка с протяжкой либо профилирование заготовки [1–4] и ее дополнительная осадка [5–8], кроме того используется ряд других приемов [9]. Наиболее целесообразным и менее затратным является предварительное профилирование заготовки, особенно если оно выполняется традиционным инструментом (плоскими, вырезными или комбинированными бойками).

В данной работе представлено как теоретическое, так и экспериментальное исследование процесса предварительного профилирования заготовки перед осадкой. Рассмотрены различные схемы профилирования заготовки, которые позволяют снизить неравномерность деформаций, а также повысить качество ковки перед осадкой.

Целью данной работы является экспериментальная и теоретическая разработка рационального режима профилирования заготовки, который позволит уменьшить неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки, увеличить общий уровень деформационной проработки и не будет требовать применения специализированного инструмента.

Формоизменение заготовки в процессе деформации определяет ее напряженно-деформированное состояние (НДС), которое, в свою очередь, определяется условиями деформирования. В исследуемом процессе НДС зависит от геометрии заготовки, типа инструмента и температурного режима деформирования. Для определения особенностей процесса профилирования заготовки и его рациональных параметров, проведено численное моделирование методом конечных элементов. Моделировали процесс профилирования на различные сечения, при этом обеспечивали различный уков протянутых заготовок 1,15 и 1,3.

Для определения рациональной схемы профилирования необходимо провести математическое моделирование данного процесса и сравнить результаты моделирования с другими вариантами ковки. В данном исследовании применяется профилирование заготовки на прямоугольное сечение плоскими плитами с отношением высоты к ширине заготовки равным 0,75 и 0,5 (рис. 1), при этом был обеспечен различный уков протянутых заготовок 1,15 и 1,3.

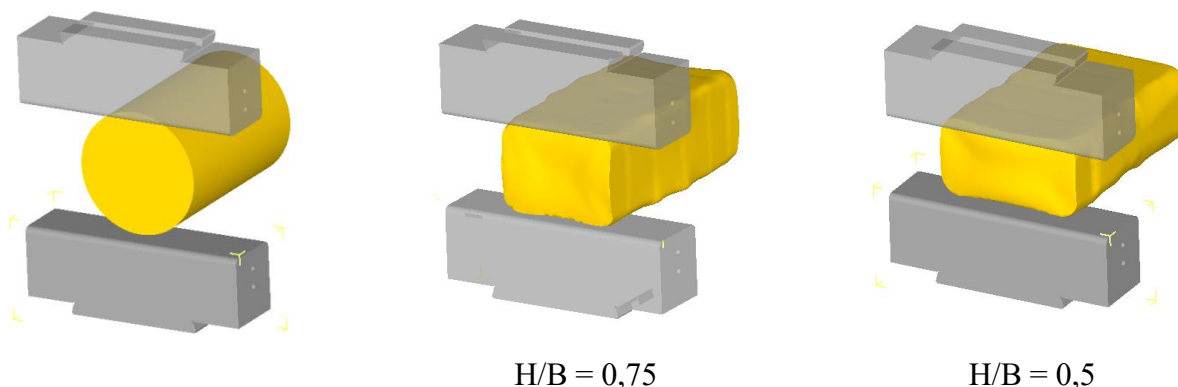


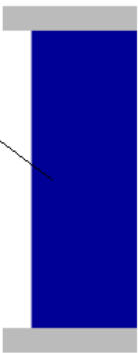
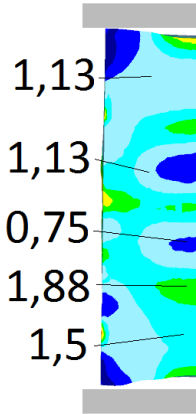
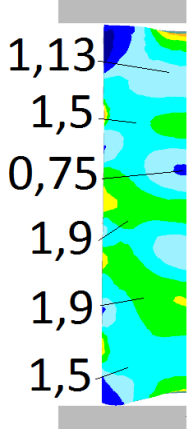
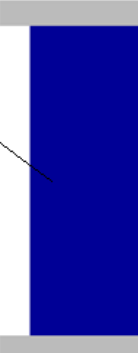
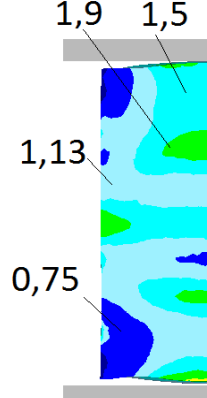
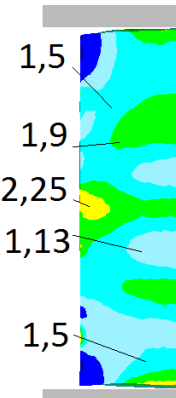
Рис. 1. Схемы профилирования заготовок на прямоугольное сечение

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 укова при профилировании заготовки на параметры НДС. Граничные условия для моделирования следующие: материал заготовки AISI – 1035, исходная температура заготовки 1100 °С, температура инструмента 300 °С, коэффициент теплопередачи – 5 N/sec/mm/ °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 профилирования заготовки на прямоугольное сечение ($h/b = 0,75, h/b = 0,5$). Анализ картин распределения деформаций в продольном сечении заготовки позволяет сделать следующие выводы. Заготовка подвергнутая предварительному профилированию на прямоугольное сечение имеет деформационное поле с проработанной осевой частью, кроме того торцы заготовки имеют более интенсивную деформационную проработку, здесь величина интенсивности логарифмических деформаций достигает 2 единиц. Характер распределения интенсивности деформаций идентичен во всех случаях профилирования заготовки. В целом профилированные заготовки имеют достаточно высокую деформационную проработку по всему ее объему.

Таблица 1

Поля распределения интенсивности деформаций в объеме заготовки в процессе ее профилирования на прямоугольное поперечное сечение

Н/В	У = 1	У = 1,15	У = 1,3
0,75			
0,5			

На основании обработки данных, полученных в результате моделирования, можно сделать вывод, о том, что профилирование заготовки перед осадкой существенно повысит качество поковки за счет ее высокой степени проработки по объему, что позволит повысить механические свойства конечного изделия.

Для того, что достоверно оценить результаты теоретических исследований необходимо провести экспериментальные исследования для подтверждения проведенного теоретического анализа.

Экспериментальные исследования позволяют оценить достоверность проведенного теоретического анализа. Экспериментальные исследования выполнены на свинцовых моделях с применением метода координатных сеток. Общий вид заготовок приведен на рис. 2. Для определения напряженно-деформированного состояния было осуществлено профилирование свинцовых заготовок диаметром 42 мм и высотой 63 мм на квадратное и прямоугольное поперечное сечение.

Протяжка заготовок осуществлялась с уковом 1,15 на следующие размеры ($H/V = 0,75$): $H = 32,1$ мм; $V = 43$ мм. ($H/V = 0,5$) $H = 26,3$ мм; $V = 52,5$ мм. После получения всех необходимых размеров заготовки разъединялись, а координатные сетки сканировались и обрабатывались в графическом редакторе, результаты приведены в табл. 2.

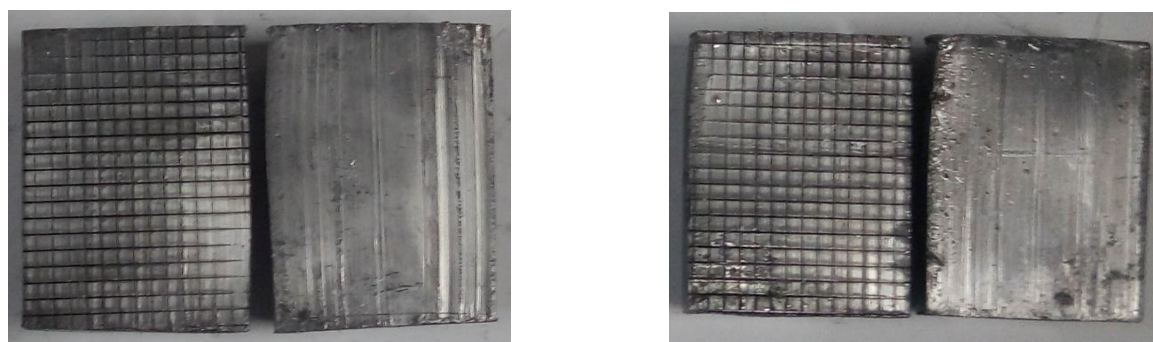


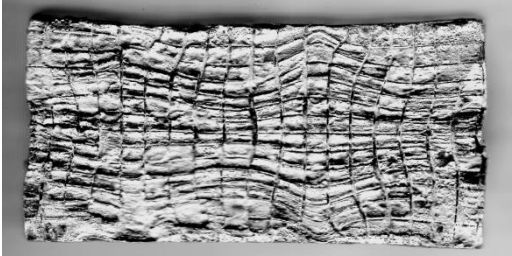
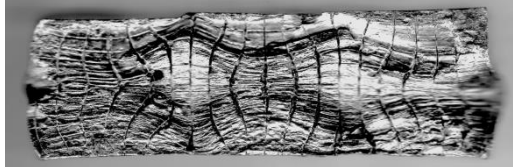


Рис. 2. Общий вид свинцов половинок с нанесенной координатной сеткой (шаг 2 мм)

Таблица 2

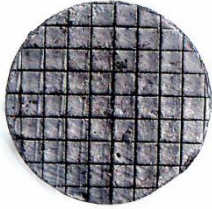
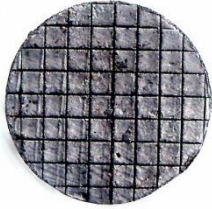
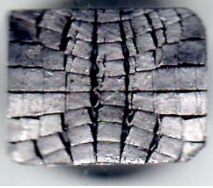
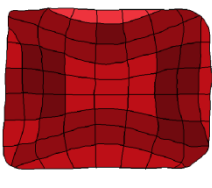
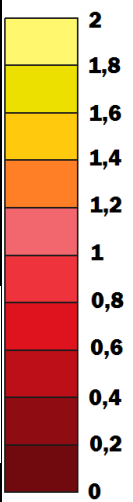

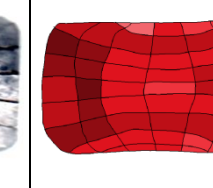
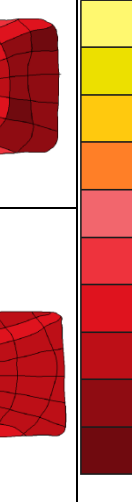
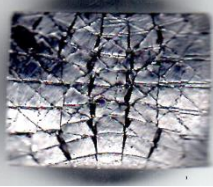
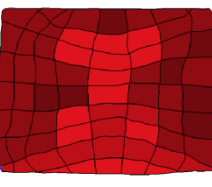
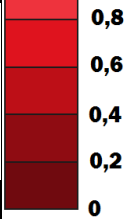
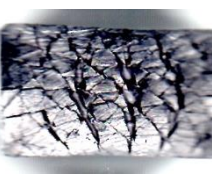
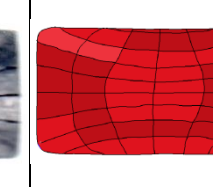
Изображение координатных сеток в продольном сечении экспериментальных заготовок

	
$H/V = 0,75$	$H/V = 0,5$
	
$H/V = 0,75$	$H/V = 0,5$

Также в ходе эксперимента были получены координатные сетки в поперечном сечении заготовок (табл. 3). Деформировалась заготовка диаметром 28 мм и высотой 42 мм. Геометрические параметры процесса профилирования заготовок $H/B = 0,75$: для укова 1,15 – $H = 20,03$ мм; $B = 26,7$ мм; для укова 1,3 – $H = 18,8$ мм; $B = 25,12$ мм. $H/B = 0,5$: для укова 1,15 – $H = 16,3$ мм; $B = 32,7$ мм; для укова 1,3 – $H = 15,4$ мм; $B = 30,8$ мм.

Таблица 3

Изображения координатных сеток в поперечном сечении заготовок после проведения экспериментальных и теоретических исследований

Заготовка	$H/B = 0,75$		$H/B = 0,5$			
						
Уков 1,15						
	Уков 1,3					

Согласно анализу схем профилирования интенсивности деформации, наблюдается, что наибольшие деформации сосредоточены в центральной осевой части заготовки (табл. 4). Также анализ показал, что с уменьшением относительных размеров заготовки (H/B) величина интенсивности деформаций в осевой зоне увеличивается. Установлено, что с увеличением обжатия, увеличивается величина деформаций в осевой зоне заготовки.

В табл. 5 приведены, обработанные деформированные сетки, полученные в результате профилирования сварных свинцовых половинок. Видно, что распределение интенсивности деформаций имеет определенную особенность. Наибольшие деформации сосредоточены у поверхности в местах контакта кромки бойка с заготовкой. Анализ рисунков показал, что с уменьшением относительных размеров заготовки.

Из выше описанных экспериментальных исследований можно сделать выводы, что использование профилирования плоскими бойками на прямоугольное поперечное сечение позволяет более интенсивно увеличить проработку заготовки, а также повысить ее механические свойства.

Экспериментально установлено, что наиболее благоприятной схемой для профилирования можно считать схему профилирования заготовки на прямоугольное сечение с отношением $H/B = 0,75$. Данная схема позволяет получить наибольшую величину интенсивности деформаций и повысить качество заготовки при дальнейшей ковке.

Таблица 4

Схемы распределения интенсивности деформаций и напряжений в поперечном сечении заготовки при профилировании на прямоугольное сечение

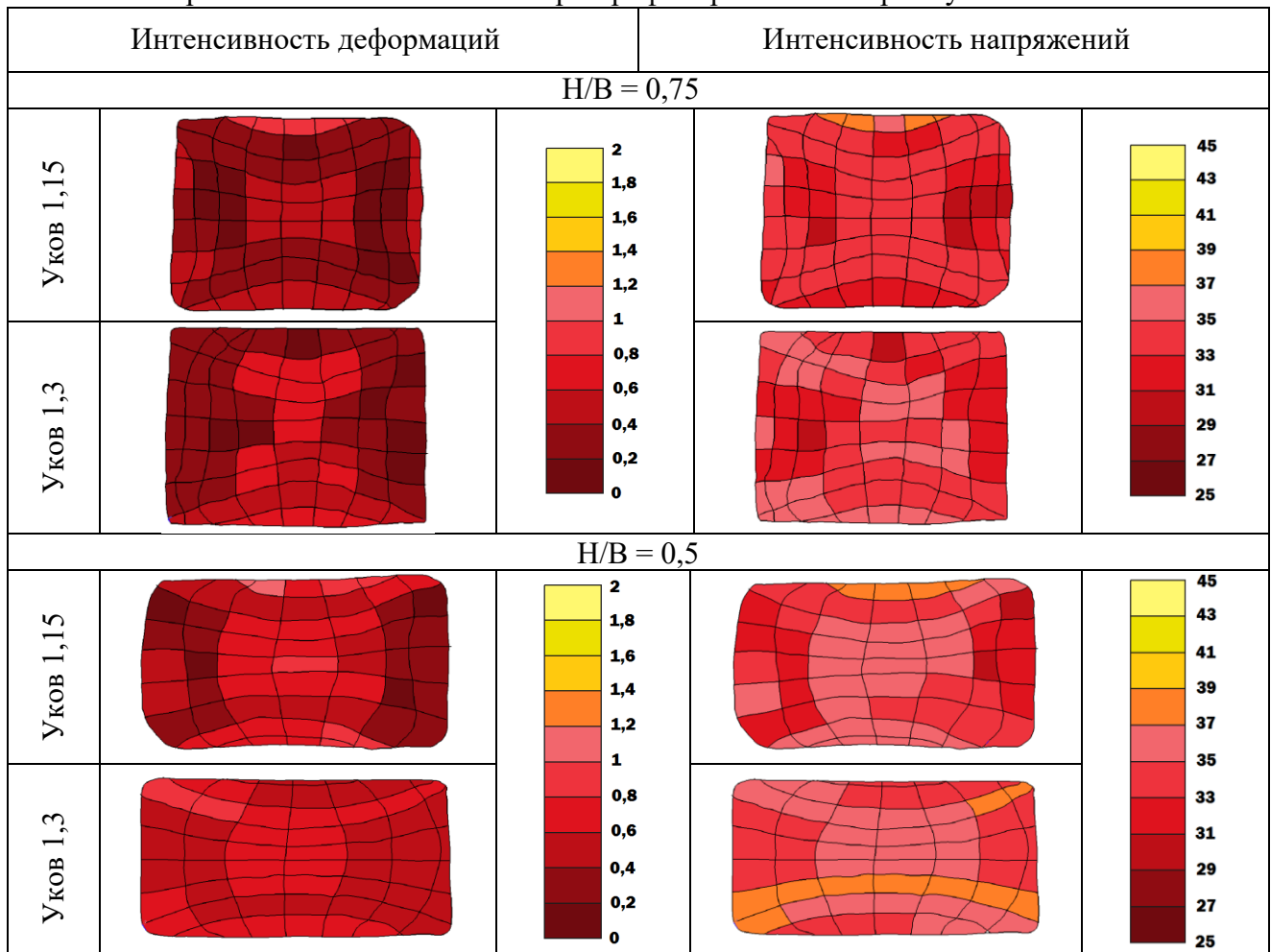
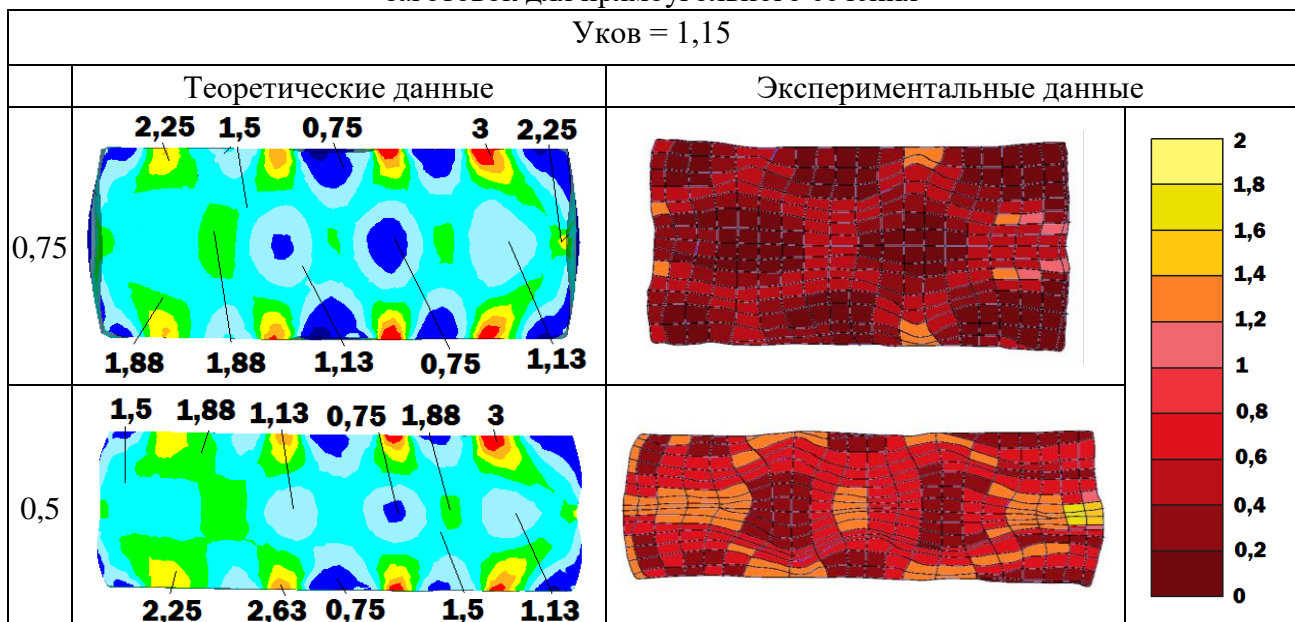


Таблица 5

Поля распределения интенсивности деформаций в продольном сечении заготовок для прямоугольного сечения



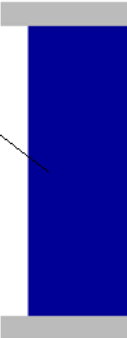
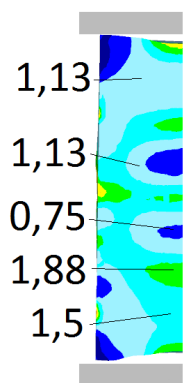
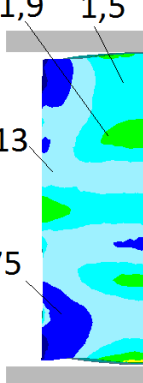
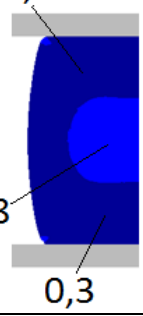
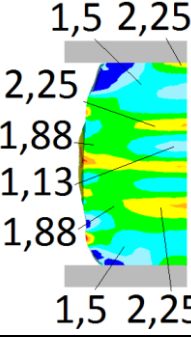
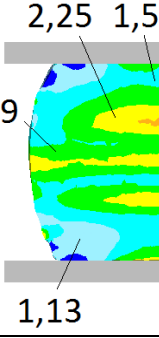
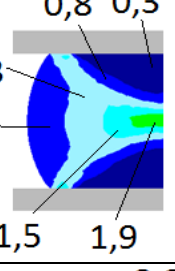
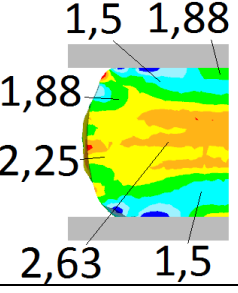
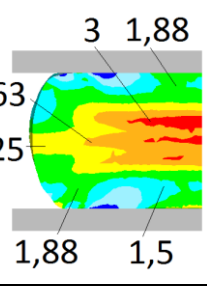
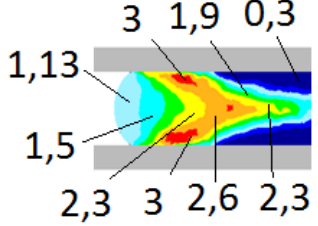
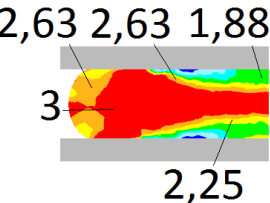
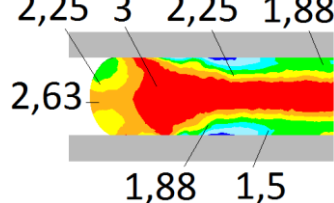
На основе полученных данных можно сделать вывод, что характер распределения интенсивности деформаций в заготовках, полученных путем математического моделирования, качественно соответствует характеру распределения деформаций, полученному экспериментально. Количественное отклонение составляет около 15–20%.

Для определения рациональной схемы профилирования необходимо проанализировать схемы с прямоугольным поперечным сечением ($H/B = 0,75$; $H/B = 0,5$). Проведено математическое моделирование процесса осадки заготовки с ее предварительным профилированием.

В табл. 6 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. Традиционной осадке характерны такие недостатки как высокая неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки и наличие застойных зон существенных размеров.

Таблица 6

Поля распределения интенсивности деформаций в продольном сечении заготовки в процессе осадки до и после предварительного профилирования

	Цилиндрическая заготовка	$H/B = 0,75$	$H/B = 0,5$
-			
1800			
1200			
600			

Заготовки, подвергнутые предварительному профилированию на прямоугольное сечение с отношением высоты к ширине 0,75 и 0,5 уже перед осадкой имеют 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 заготовки с уклоном, равным 1,3, имеет больший уровень интенсивности логарифмических деформаций в объеме, однако характер их распределения идентичен заготовкам с уклоном 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.

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 уклоне 1,15 и 1,3 для всех рассматриваемых вариантов, отличается незначительно, в пределах 10%. Сопоставление двух вариантов осадки профилированных заготовок ($h/b = 0,75; 0,5$), показывает, что осадка цилиндрической заготовки проигрывает перед осадкой заготовки с прямоугольным поперечным сечением. Уровень деформаций в заготовках, профилированных на прямоугольное сечение выше, нежели у цилиндрической заготовки. Так, например, в центральной части заготовки (табл. 6) величина деформаций для вариантов прямоугольного сечения равна 2,5 единицы (степень осадки 50%). В случае цилиндрической заготовки наблюдается высокая неравномерность распределения деформаций, 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

На основе теоретических и экспериментальных исследований, установлено, что предварительное профилирование заготовки перед осадкой, позволяет повысить уровень деформационной проработки слитка. Кроме того, использование такой схемыковки, позволяет добиться снижения неравномерности распределения деформаций в объеме заготовки.

В работе рассмотрено несколько вариантов профилирования заготовки: профилирование плоскими бойками на прямоугольное поперечное сечение с различным соотношением сторон: 0,5 и 0,75. Определена рациональная величина уклона 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. Также была определена рациональная величина уклона для предварительного профилирования, которая составила 1,15.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park C.Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis / C.Y. Park, D.Y. Yang // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1997. – №72. – P. 32–41.
2. Modelling of shape anvils in free hot forging of long products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Mr.oz, S. Berski // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – №157–158. – P. 131–137.

3. Banaszek G. Numerical Analysis of the Torsion Stretch Forging Operation in Asymmetric Anvils / G. Banaszek, S. Berski, H. Dyja // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2011. – №7. – P. 98–101.
4. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Berski, S. Mr.oz // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – №157–158. – P. 496–501.
5. A method for prediction of unstable deformation in hot forging process by simulation / Shi-qiang Lu, Xin Li, Ke-lu Wang, Shi-biao Liu, M. W. Fu // *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. – 2013. – P. 3740–3746.
6. Lin S.Y. Stress analysis of upsetting with concave curve dies / S.Y. Lin // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2012. – P. 36–41.
7. Пат. UA 98713 U Украина, МПК B21J 5/00. Осадка слитка выпуклой верхней плитой с дальнейшей правкой плоской плитой / О.Е. Марков, М.О. Маркова, Ю.О. Ячмень ; заявитель и патентообладатель Краматорск. ДГМА. – № 10572/14 ; заявл. 26.09.14 ; опубл. 12.05.15, Бюл № 9 – 3 с. : ил.
8. Hua M. FEM simulation of the flat-die preform forging of steel shaft-disc type components by thermal differential heating / M. Hua, S.Q. Lu // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2011. – С. 52–58.
9. Пат. UA 106934 U Украина, МПК B21J 1/04. Осадка заготовки плоскими плитами / Я.Г. Жбанков; заявитель и патентообладатель ДГМА. – № 09551/15 ; заявл. 05.10.15 ; опубл. 10.05.16, Бюл № 9 – 3 с. : ил.
10. Технологияковки : учебник для вузов / Л.Н. Соколов, И.С. Алиев. О.Е. Марков, Л.И. Алиева. – Краматорск : ДГМА, 2011. – 268 с.
11. Теория обработки металлов давлением: конспект лекций и варианты заданий для выполнения курсовой работы / сост. Н.Н. Загиров, Э.А. Рудницкий. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – С. 13–14.

REFERENCES

1. Park C.Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis / C.Y. Park, D.Y. Yang // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1997. – №72. – P. 32–41.
2. Modelling of shape anvils in free hot forging of long products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Mr.oz, S. Berski // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – №157–158. – P. 131–137.
3. Banaszek G. Numerical Analysis of the Torsion Stretch Forging Operation in Asymmetric Anvils / G. Banaszek, S. Berski, H. Dyja // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2011. – №7. – P. 98–101.
4. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Berski, S. Mr.oz // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – №157–158. – P. 496–501.
5. A method for prediction of unstable deformation in hot forging process by simulation / Shi-qiang Lu, Xin Li, Ke-lu Wang, Shi-biao Liu, M. W. Fu // *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. – 2013. – P. 3740–3746.
6. Lin S.Y. Stress analysis of upsetting with concave curve dies / S.Y. Lin // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2012. – P. 36–41.
7. Pat. UA 98713 U Ukraina, МПК B21J 5/00. Осадка слитка выпуклой верхней плитой с дальнейшей правкой плоской плитой / О.Е. Марков, М.О. Маркова, Ю.О. Ячмень ; заявитель и патентообладатель Краматорск. ДГМА. – № 10572/14 ; заявл. 26.09.14 ; опубл. 12.05.15, Бюл № 9 – 3 с. : ил.
8. Hua M. FEM simulation of the flat-die preform forging of steel shaft-disc type components by thermal differential heating / M. Hua, S.Q. Lu // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2011. – С. 52–58.
9. Pat. UA 106934 U Ukraina, МПК B21J 1/04. Осадка заготовки плоскими плитами / Я.Г. Жбанков; заявитель и патентообладатель ДГМА. – № 09551/15 ; заявл. 05.10.15 ; опубл. 10.05.16, Бюл № 9 – 3 с. : ил.
10. Технологияковки : учебник для вузов / Л.Н. Соколов, И.С. Алиев. О.Е. Марков, Л.И. Алиева. – Краматорск : ДГМА, 2011. – 268 с.
11. Теория обработки металлов давлением: конспект лекций и варианты заданий для выполнения курсовой работы / сост. Н.Н. Загиров, Э.А. Рудницкий. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – С. 13–14.

Жбанков Я. Г. – д-р техн. наук, доц. каф. ОМД ДГМА

Самогладов А. Д. – лаборант каф. ОМД ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: yzhsbankov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.02.2017 г.