

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ЗА СЧЕТ КОМБИНИРОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРОФИЛИРОВАНИЕМ И ОСАДКИ СЛИТКОВ

Жбанков Я. Г., Чикота Я. М., Самоглядов А. Д.

Ковка деталей энергетического машиностроения на основе использования комбинированного деформирования профилированием и осадкой, позволяет повысить качество конечного изделия. Установлено, что предварительное профилирование заготовки перед осадкой позволяет повысить уровень деформационной проработки слитка и избавиться от зон затрудненных деформаций. Рассмотрено несколько вариантов профилирования заготовки: плоскими бойками на квадратное сечение, вырезными бойками на ромбовидное и комбинированными на треугольное поперечное сечение. Установлено, что наиболее рациональной схемой профилирования заготовки перед осадкой можно считать схемы профилирования на квадратное и ромбовидное поперечное сечение. Рекомендуется дляковки пластичных материалов применять профилирование плоскими бойками, а для малопластичных материалов – вырезными.

Кування деталей енергетичного машинобудування на основі використання комбінованого деформування профілюванням та осадження, дозволяє підвищити якість кінцевого виробу. Встановлено, що попереднє профілювання заготовки перед осадженням, дозволяє підвищити рівень деформаційного опрацювання злитка і позбутися зон утруднених деформацій. Розглянуто декілька варіантів профілювання заготовки: плоскими бойками на квадратний переріз, вирізними бойками на ромбічний поперечний переріз і комбінованими на трикутний поперечний переріз. Встановлено, що найбільш раціональною схемою профілювання заготовки перед осадженням можна вважати схеми профілювання на квадратний і ромбічний поперечний переріз. Рекомендується для кування пластичних матеріалів застосовувати профілювання плоскими бойками, а для малопластичних матеріалів – вирізними.

Forging parts for power engineering is based on the use of combined deformation by shaping and the draft to improve the quality of the final product. It is determined that pre-shaping of ingot before the draft allow of increasing the level of deformational treatment of forgings. It is established that preliminary forging of workpiece before the draft, can increase the level of deformation of the ingot and get rid of the zones of difficult deformation. Several types of shaping of billets are considered such as with square cross sections by flat dies, with rhombic cross sections by carved dies and with triangular cross sections by combined dies. It is determined that the more rational scheme of forging ingots with the use of pre-shaped billet is the scheme that is based on formation the billet with square and rhombic cross sections. It is recommended that shaping by flat dies be applied for forging ductile materials and for low-plastic materials shaping by carved dies be applied.

Жбанков Я. Г.

д-р техн. наук, доц. каф. ОМД ДГМА
yzhbankov@gmail.com

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.

УДК 621.771

Жбанков Я. Г., Чикота Я. М., Самоглядов А. Д.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ЗА СЧЕТ КОМБИНИРОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРОФИЛИРОВАНИЕМ И ОСАДКИ СЛИТКОВ

К деталям энергетического машиностроения относятся валы, ротора, диски и т.д., к качеству которых предъявляются повышенные требования. Технологияковки таких изделий включает в себя осадку. Осадка является одной из основных операцийковки [1–3], которая применяется с целью увеличения уровня деформационной проработки изделия и как формоизменяющая операция для получения поковок дисков. Как известно, данная операция 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 после термообработки. 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 осаженой заготовке, требуют использования специализированного инструмента либо не позволяют увеличить уровень деформационной проработки изделия.

Целью данной работы является разработка режимаковки с применением операцииосадки, 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 вырезными и плоскими бойками. При этом профилирование может быть выполнено на ромбовидную и квадратную форму поперечного сечения (рис. 1). Само по себе профилирование протяжкой через ромб и квадрат, позволит существенно проработать металл слитка.

В работе проведено исследование процесса профилирования цилиндрической заготовки вырезными, плоскими и комбинированными бойками на ромбовидное, квадратное и треугольное поперечное сечение соответственно. Исследование выполнено методом конечных элементов. В процессе исследования также установлено влияние укова при профилировании заготовки на параметры напряженно-деформированного состояния (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/0 °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 процессаосадки профилированной заготовки и заготовки цилиндрической формы. Анализ картин распределения деформаций в продольном сечении заготовки позволяет сделать следующие выводы.

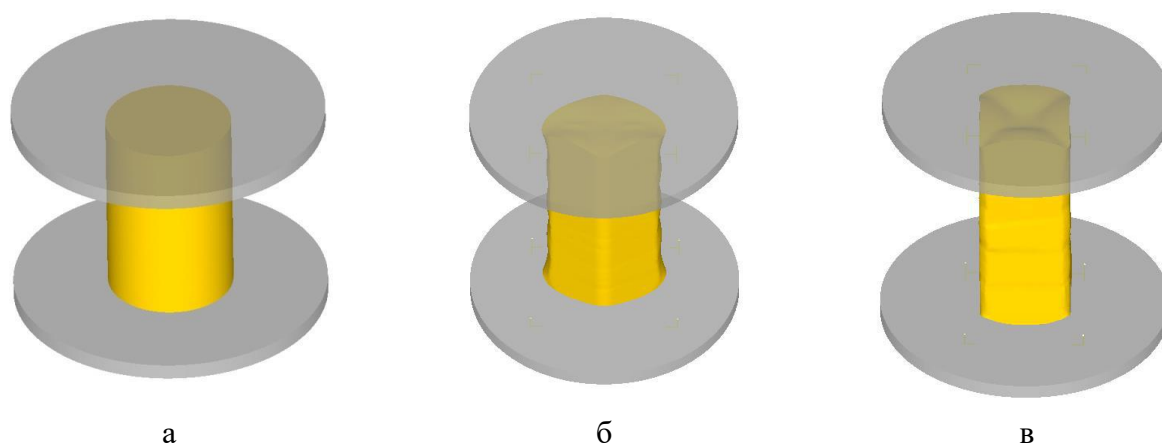


Рис. 1. Схема осадки цилиндрической заготовки (а) и заготовки, профилированной на ромбовидное (б) и квадратное (в) поперечное сечение

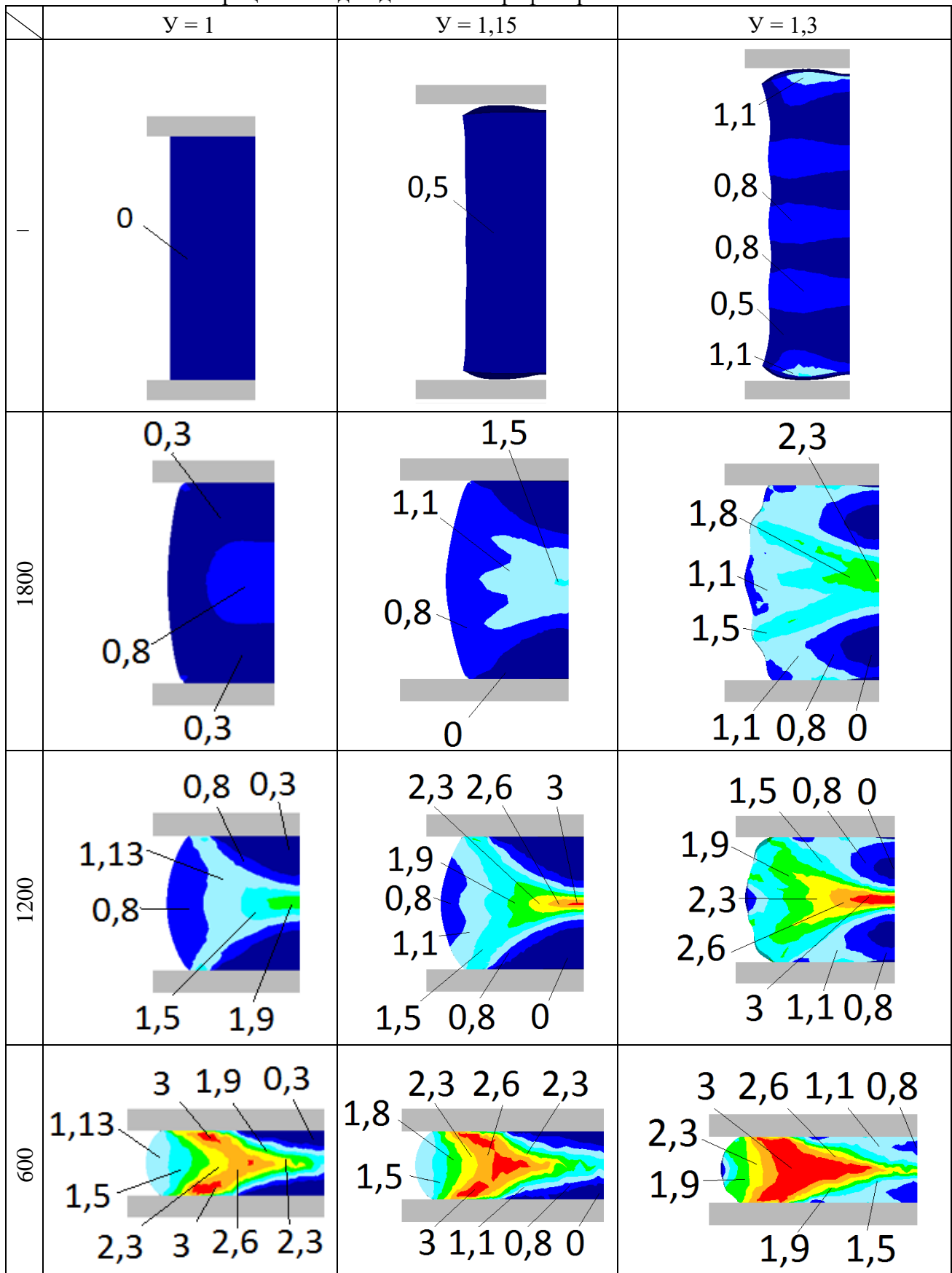
Как и утверждалось ранее, традиционной осадке характерны такие недостатки как высокая неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки и наличие застойных зон существенных размеров. Заготовка, подвергнутая предварительному профилированию на ромбовидное сечение, уже перед осадкой имеет определенное деформационное поле, кроме того торцы заготовки имеют более интенсивную деформационную проработку. Уже на первом этапе осадки (25% от первоначальной высоты заготовки), видно, что с увеличением хода, застойные зоны постепенно уменьшаются в объеме заготовки, и деформации распределяются более равномерно. Также видно, что заготовка с уклоном, равным 1,3, имеет больший уровень интенсивности логарифмических деформаций в объеме, однако характер их распределения идентичен заготовке с уклоном 1,15. Осадка на 50% и 75% приводит к увеличению общего уровня деформаций и к росту неравномерности их распределения. Наибольшие деформации преимущественно 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 сечениям заготовки (рис. 2–4). Анализ полученных график позволяет заключить, 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 уклона 1,15 и 1,3 практически не отличается. По мере осадки заготовки характер распределения деформаций для профилированных заготовок на поверхности меняется, и наибольшие деформации при осадке на 75% находятся ближе к периферийным слоям. 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 наблюдается значительная неравномерность деформаций, как для осадки цилиндрической заготовки, так и для вариантов осадки профилированных заготовок. Кривые, описывающие распределение деформаций, для них отличаются только уровнем. Для осадки цилиндрической и профилированных заготовок существенная неравномерность наблюдается только при степени деформации 50%. Разница величины интенсивности деформаций между центральной частью заготовки и периферией в случае с цилиндрической и профилированных заготовок равна 1,5 единицы.

Таблица 1

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



Кроме того, уровень деформаций в профилированных заготовках существенно не изменился. Различие же между кривыми, описывающими два варианта профилирования (уков 1,15 и 1,3), минимальное и находится в пределах 15%.

Распределение деформаций в центральной части заготовки, спрофилированной на квадратное поперечное сечение, описываемое кривыми (рис. 5) отличается от распределения на расстоянии 1/4 высоты заготовки от торца. Здесь наибольшая неравномерность у варианта осадки профилированной заготовки с уковом 1,3 при степени осадки 50%, при этом уровень деформаций в цилиндрической заготовке существенно ниже. Разница величины интенсивности деформации между осевой частью заготовки с уковом 1,3 и периферии достигает 2,5 единицы, в то время, как в цилиндрической заготовке данная разница по-прежнему не превышает 1,5. Видно, что во всех трех заготовках характер распределения интенсивности деформаций идентичен и отличается лишь величинами.

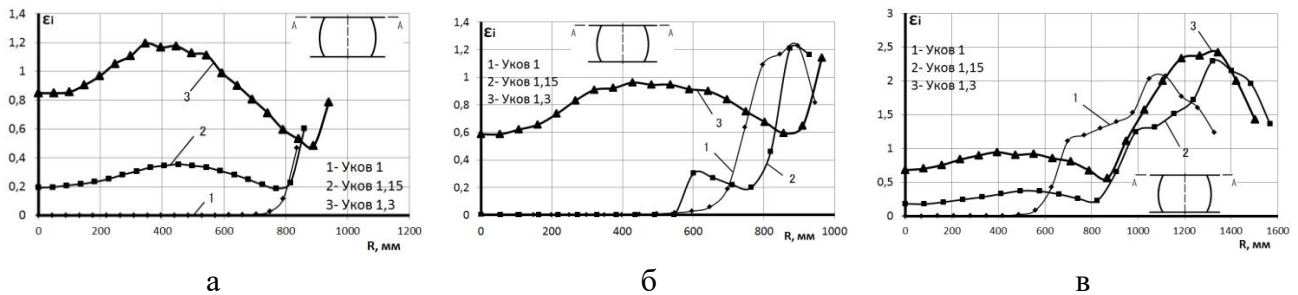


Рис. 2. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (у поверхности) в процессе осадки профилированной заготовки на ромбовидное поперечное сечение:

а – $\varepsilon h = 25\%$, б – $\varepsilon h = 50\%$, в – $\varepsilon h = 75\%$

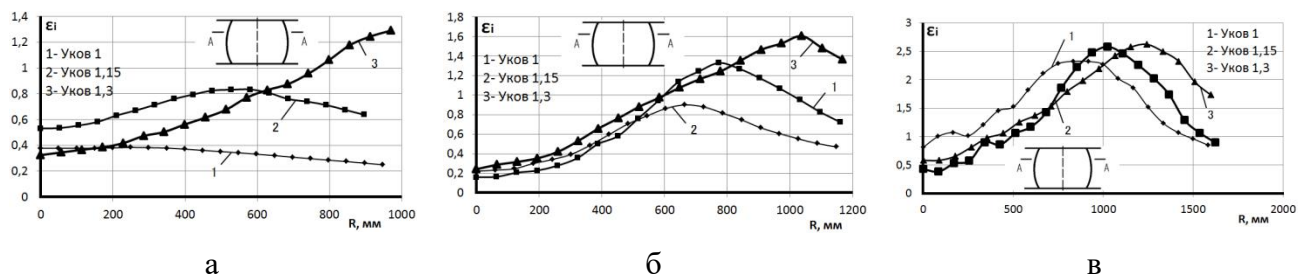


Рис. 3. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (на расстоянии 1/4 от высоты) в процессе осадки профилированной заготовки на ромбовидное поперечное сечение:

а – $\varepsilon h = 25\%$, б – $\varepsilon h = 50\%$, в – $\varepsilon h = 75\%$

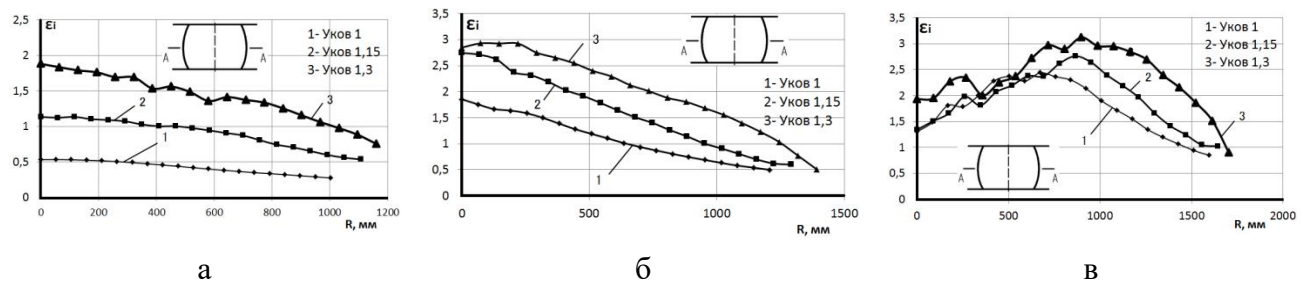


Рис. 4. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (в центре) в процессе осадки профилированной заготовки на ромбовидное поперечное сечение:

а – $\varepsilon h = 25\%$, б – $\varepsilon h = 50\%$, в – $\varepsilon h = 75\%$

В основном, как для цилиндрической, так и для профилированных заготовок максимальные деформации сосредоточены в осевой центральной части заготовки. По мере приближения к периферии неравномерность деформаций во всех трех случаях постепенно увеличивается.

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. Здесь, уровень деформаций выше, нежели в базовом варианте осадки цилиндрической заготовки. 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 осажённой 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%.

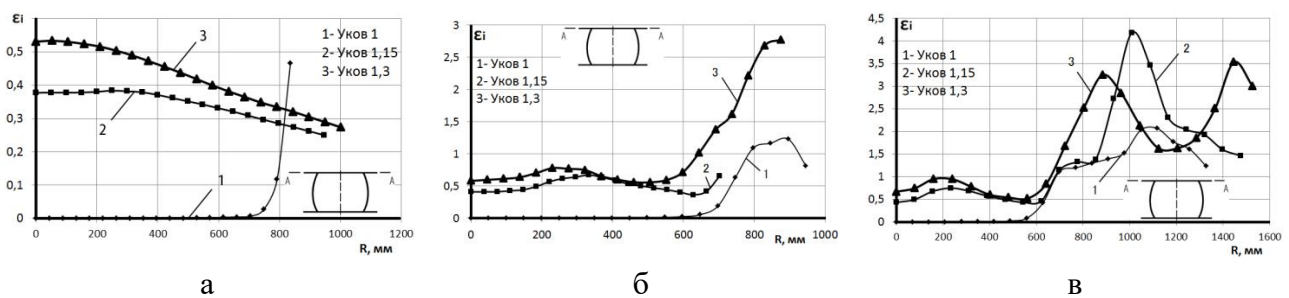


Рис. 5. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (на расстоянии 1/4 от высоты) в процессе осадки профилированной заготовки на квадратное поперечное сечение:
а – $\varepsilon h = 25\%$, б – $\varepsilon h = 50\%$, в – $\varepsilon h = 75\%$

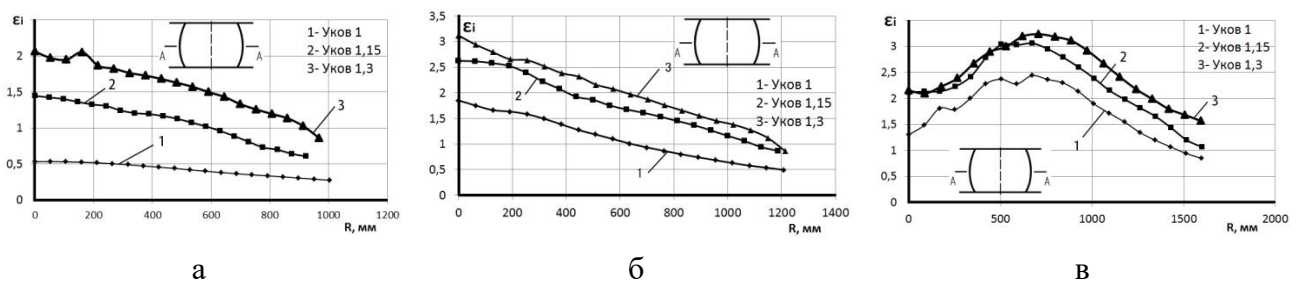


Рис. 6. Графики зависимости распределения интенсивности логарифмических деформаций вдоль линии А–А (в центре) в процессе осадки профилированной заготовки на квадратное поперечное сечение:
а – $\varepsilon h = 25\%$, б – $\varepsilon h = 50\%$, в – $\varepsilon h = 75\%$

Также были приведены аналогичные исследования для варианта профилирования заготовки на треугольное сечение комбинированными бойками. На рис. 7 приведено формоизменение заготовки в процессе профилирования.

В процессе профилирования заготовки на треугольное сечение возникает дефект в виде изгиба заготовки вдоль оси. Данное явление происходит в результате того, что очаг деформации при профилировании сосредоточен преимущественно около верхнего плоского бойка, что обуславливает там более интенсивное течение металла. В то время как между нижней частью заготовки и вырезным бойком площадь контакта рабочего инструмента и поверхность трения будет выше, что приводит к затрудненному течению металла. Таким образом, в результате смещения очага деформации в сторону верхнего бойка наблюдается изгиб заготовки вдоль ее оси, что приводит к образованию данного дефекта, называемого «сабля». Дальнейший процесс профилирования приведет только к увеличению изгиба, что делает невозможным процесс осадки такой заготовки из-за ее изгиба вдоль оси.

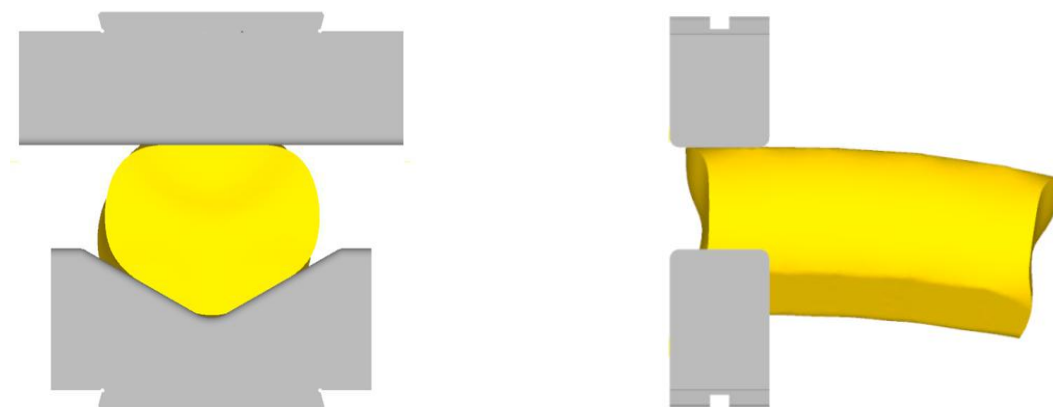


Рис. 7. Формоизменение заготовки в процессе профилирования

Для устранения данного дефекта необходимо применять дополнительную специальную оснастку и инструмент, что является экономически нецелесообразно.

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 (ромбовидное и квадратное поперечное сечение), отличается незначительно, в пределах 20%. Сопоставление вариантов осадки профилированных заготовок (цилиндрическая заготовка, ромбовидное поперечное сечение, квадратное поперечное сечение), показывает, что осадка квадратной заготовки не имеет значительных отличий от заготовки с ромбовидным поперечным сечением. Однако неравномерность распределения деформаций для заготовки с квадратным поперечным сечением относительно ниже, чем в остальных схемах. Уровень деформаций в заготовках, профилированных на ромбовидное сечение, не имеет существенных различий от заготовок с квадратным сечением. Так, например, в центральной части заготовки (см. рис. 4, б) величина деформаций для обоих вариантов равна 3 единицы (степень осадки 50%). Таким образом, схемы профилирования заготовок на ромбовидное и квадратное сечение не имеют существенных различий, однако каждый из видов профилирования имеет ряд своих преимуществ. При профилировании на квадратное поперечное сечение используются плоские бойки, которые позволяют расширить диапазон размеров заготовок, однако для такого профилирования более подходящими являются пластичные материалы. Профилирование на ромбовидное сечение можно рекомендовать для малопластичных материалов, поскольку в процессе профилирования возникает схема всестороннего сжатия, что благоприятно отражается на технологической пластичности, хотя в данном случае диапазон размеровковки ограничен геометрической формой вырезных бойков.

ВЫВОДЫ

Ковка деталей энергетического машиностроения, основанная на применении операций профилирования и осадки, позволит повысить качество конечного изделия. В работе рассмотрено несколько вариантов профилирования заготовки: профилирование плоскими бойками на квадратное поперечное сечение, вырезными бойками на ромбовидное поперечное сечение и комбинированными бойками на треугольное поперечное сечение.

Установлено, что предварительное профилирование заготовки перед осадкой, позволяет повысить уровень деформационной проработки слитка. После профилирования заготовок на ромбовидное и квадратное сечение наибольшая неравномерность у варианта осадки профилированной заготовки с уклоном 1,3 при степени осадки 50%, при этом уровень деформаций в цилиндрической заготовке существенно ниже. Установлено, что для профилированных заготовок разница величины интенсивности деформации между осевой частью заготовки с уклоном 1,3 и ее периферии достигает 2,5 единицы, в то время, как в цилиндрической заготовке данная разница не превышает 1,5. Видно, что во всех трех заготовках характер распределения интенсивности деформаций идентичен и отличается лишь величинами.

Установлено, что наиболее рациональной схемой профилирования заготовки перед осадкой можно считать схемы профилирования на квадратное и ромбовидное поперечное сечение с уклоном 1,15. Профилирование плоскими бойками рекомендуется дляковки заготовок из пластичного материала, вырезными – дляковки слитков из малопластичных материалов.

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*. – 2013. – № 1. – С. 12–19. – Режим доступа: 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. *Технологияковки : учебник для вузов / Л.Н. Соколов, И.С. Алиев, О.Е. Марков, Л.И. Алиева*. – Краматорск : ДГМА, 2011. – 268 с.

Статья поступила в редакцию 20.11.2016 г.