

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОТЯЖКЕ ПОЛЫХ ПОКОВОК БЕЗ ОПРАВКИ БОЙКАМИ СО СКОСАМИ**Маркова М. А.**

В работе предложен новый технологический процессковки пустотелых поковок вырезными бойками со скосами. Моделирование процессаковки методом конечных элементов позволило установить распределение деформаций и формоизменение заготовки для новой технологии. Исследовались различные углы скосов бойков (равные 10, 20 и 30 градусов) и длины горизонтальных участков этих бойков. При углах скоса бойков в 10° и узких деформирующих кромках происходит равномерное распределение деформаций в объеме поковки. Рациональной геометрией инструмента для интенсификации вытяжки при ковке пустотелых цилиндров являются бойки с углом скосов 10–20° и величиной подачи $b / D = 0,1$. Волнистость поверхности отверстия не превышает величину припуска на механическую обработку, что будет гарантировать получение заданных размеров поковки без оправки.

У роботі запропоновано новий технологічний процес кування пустотілих поковок вирізними бойками зі скосами. Моделювання процесу кування методом кінцевих елементів дозволило встановити розподіл деформацій і формозмінення заготовки для нової технології. Досліджувалися різні кути скосів бойків (10, 20 і 30 градусів) і довжини горизонтальних ділянок цих бойків. При кутах скоса бойків в 10° і вузьких деформуєчих крайках відбувається рівномірний розподіл деформацій в об'ємі поковки. Рациональною геометрією інструменту для інтенсифікації витяжки при куванні пустотілих циліндрів є бойки з кутом скосів 10–20° і величиною подачі $b / D = 0,1$. Хвилястість поверхні отвору не перевищує величину припуску на механічну обробку, що буде гарантувати отримання заданих розмірів поковки без оправки.

In this paper a new process of forging hollow forgings by cut-out dies with bevels was proposed. Simulation of the forging process using finite element method has allowed to establish the strain distribution and forming of the workpiece for the new technology. Various angles of the dies bevels (equal to 10, 20 and 30 degrees) and the horizontal length of the dies were studied. At the dies bevel angles of 10° and the narrow deforming-edges there is an uniform distribution of the stain in the forging volume. Rational geometry of a tool for intensification of an elongation during forging hollow cylinders are truncated dies with the bevels angle 10–20° and the amount of feed $b / D = 0,1$. The waviness of the hole surface does not exceed the allowance for machining, that will ensure obtaining predetermined size without forging mandrel.

Маркова М. А.

аспирант каф. ОМД ДГМА
markova.mar.alex@mail.ru

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.735.3

Маркова М. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОТЯЖКЕ ПОЛЫХ ПОКОВОК БЕЗ ОПРАВКИ БОЙКАМИ СО СКОСАМИ

На сегодняшний день существует востребованность в получении, повышении качества и снижении затрат на изготовление крупных деталей особо ответственного назначения которые применяются в энергетике и тяжелом машиностроении. К таким деталям относятся пустотелые цилиндры и цилиндры с дном. Пустотелые цилиндры изготавливаются ковкой на оправке, а цилиндры с дном предполагают приварку или заков дна [1]. Сварные детали уступают по качеству цельнокованым и применение их в качестве деталей особо ответственного назначения затруднительно. Повышение эксплуатационных характеристик, данных деталей, требует разработки новых схем деформирования для обеспечения высокого качества заготовок [2, 3].

Исследованию процесса протяжки на оправке посвящены работы Н. Е. Сидорова и В. Ф. Касатонова [4, 5], принципиальным отличием которых от общепринятой технологии было изменение последовательностей операцийковки. Ковкой-протяжкой пустотелых поковок также занимался Ю. М. Антощенко [6, 7], чьи исследования были направлены на совершенствование технологииковки-протяжки за счет оптимизации конфигурации инструмента. Распространенным способом изготовления поковок цилиндров с дном, является способковки цилиндра на оправке с последующей заваркой дна [8–10].

Существующие методы изготовления пустотелых цилиндров с дном, не обеспечивают устранение дефектов металлургического происхождения. Недостатками данных способов является сложность обеспечить полное заковывание дна за счет окисленной поверхности металла заготовки, что приведет к браку, необходимость использования дорогостоящей оправки, недостаточная надежность сварочного шва. Изготовление деталей с высоким комплексом эксплуатационных характеристик возможно за счет применения нового способа получения цельнокованных поковок без оправки [11].

При использовании предложенной технологииковки пустотелых цилиндров с дном повышаются механические свойства изделий, и появляется возможность изготавливать цельнокованные полые цилиндры без применения оправки, которые идут на изготовление деталей ответственного назначения. Отсутствие оправки будет способствовать заковке отверстия пустотелой заготовки и увеличению стенки поковки, что усложняет проектирование технологического процесса [12].

Целью работы является определение напряженно-деформированного состояния в процессе протяжки пустотелых заготовок без оправки при различных геометрических параметрах заготовки и инструмента. Деформированное состояние заготовки позволит разработать рекомендации для проектирования новых технологических процессовковки пустотелых заготовок.

Исследование процессов протяжки осуществлялось методом конечных элементов. В качестве реализаций метода использовался программный продукт «Deform 3D». Исходные данные для расчета: сталь 34ХНМ4, $t = 12000\text{С}$; $v = 40 \text{ мм / с}$; $D = 1000 \text{ мм}$. Температурный интервалковки $1200\text{--}800\text{С}$, плотность при комнатной температуре 7840кг/м^3 ; модуль Юнга $2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; коэффициент Пуассона 0,3.

Заготовки протягивались вырезными бойками с углами выреза $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, 140^\circ$ (рис. 1) и различной длиной горизонтальной полки деформирующей части, которая определяет величину подачи $b = 100, 200, 300 \text{ мм}$ (относительная подача 0,1D; 0,2D; 0,3D, соответственно). Степень деформации (обжатие ϵ) находилась в диапазоне 20–60 %. Исследуемая схема протяжки представлена на рис. 2.

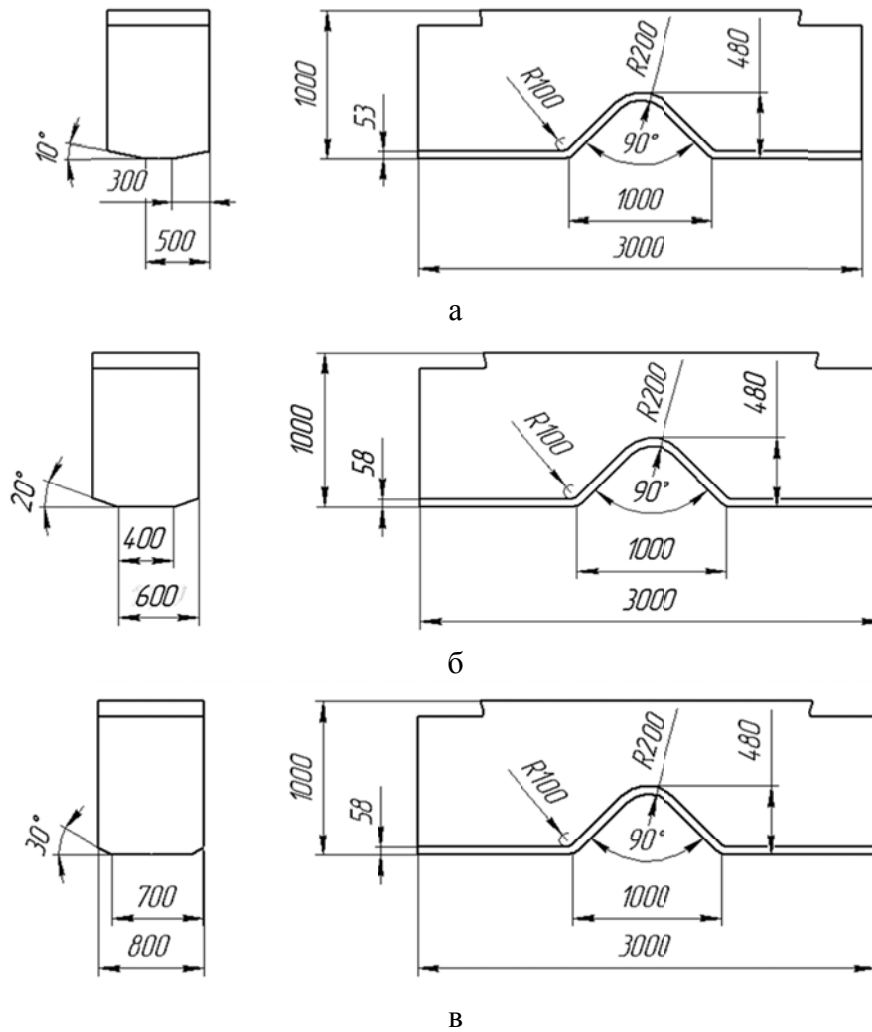


Рис. 1. Инструмент для протяжки с различными углами скосов шириной и длиной деформирующей части: 0,1D (а); 0,2D (б); 0,3D (в)

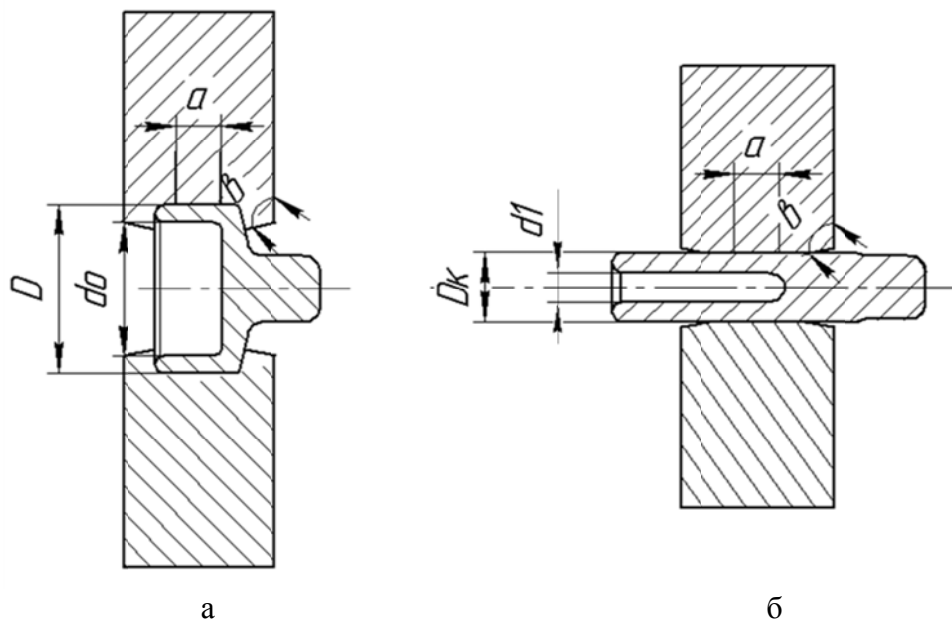


Рис. 2. Схема процесса протяжки на начальном (а) и завершающем (б) этапе

В исследовании использовались цилиндрические стальные полые заготовки. Диаметр заготовок $D = 1000$ мм, а диаметр отверстия составлял $d_o = 800$ мм, высота заготовок составляла $H_1 = 480$ мм. Исследовалось влияние трех факторов, которые варьировались на трех уровнях.

В результате моделирования было установлено распределение деформаций в объеме заготовки и формоизменение отверстия при протяжке без применения оправки. Степень деформации заготовки составляла 20 %, 40 % и 60 %. Схема техпроцесса в общем виде представлена на рис. 2.

Процессковки пустотелых поковок без оправки характеризуется трёхмерным течением металла. Протяжка заготовки вырезными бойками приводит к её удлинению и увеличению толщины стенки. Интенсифицировать вытяжку при протяжке, а соответственно снизить степень заковки отверстия в заготовке можно за счёт применения вырезных бойков со скосами, а также применения малых подач. Поэтому варьировалась дополнительно величина подачи. Из опытаковки плит плоскими бойками со скосами эффективный угол составляет 10–30° [13]. На удлинение и уширение при протяжке значительное влияние оказывает величина относительной подачи заготовки в бойки (a/D). Для интенсификации вытяжки (удлинения при протяжке) следует применять малые подачи. Превышение величины подачи длины горизонтальной полки бойков приведет к образованию волнистости и зажимам на поверхности поковки. Относительная подача составляла 0,1; 0,2; 0,3 от диаметра заготовки, соответственно. Поэтому исследование можно разделить на три схемы, при которых будет варьироваться величина подачи.

Формоизменение заготовки и заковка отверстия зависит от напряженно-деформированного состояния (НДС). НДС в свою очередь зависит от схемы деформирования, геометрии инструмента и режимовковки [14, 15].

Анализ результатов моделирования процессаковки тонкостенных заготовок ($d_o/D = 0,8$) вырезными бойками с углом $\alpha = 90^\circ$ (рис. 3) позволил сделать вывод, что деформации при обжатии 40 % распределяются в теле заготовки равномерно. Однако при обжатиях 60 % градиент деформаций в стенке и дне поковки отличается – максимальные деформации локализуются со стороны дна цилиндра (рис. 3, а). При этом деформации сосредотачиваются в периферийных слоях. Это объясняется тем, что бойки со скосами не способствуют глубокому проникновению зоны пластической деформации к оси заготовки. Максимальный градиент деформаций возникает при ковке бойками с углом скосов $\beta = 20^\circ$ и достигает значения 11,5 единиц (рис. 3, б). Высокий уровень накопления пластических деформаций в теле заготовки с высокой равномерностью их распределения наблюдается при использовании бойков с углами скосов $\beta = 10^\circ$ (рис. 3, а), поэтому в дальнейшем можно рассматривать эту схему для разработки технологического процессаковки пустотелых цилиндров с дном.

При протяжке происходит увеличение толщины стенки заготовки, однако полной заковки отверстия при уковах, равных 2,5 не наблюдается. Особенно эта закономерность характерна для схем протяжки с малыми подачами (рис. 3, а), которые составляют 0,1D. Для схемыковки с малыми подачами отсутствие оправки не приводит к образованию разнотолщинности стенки заготовки, превышающей требования чертежа поковки. Однако следует отметить изменения формы дна заготовки в процессе протяжки, что потребует увеличение напуска на механическую обработку отверстия.

Увеличение подачи приводит к большей степени заковки отверстия и искажению его формы (рис. 3, б, в). Это объясняется глубоким проникновением зоны пластической деформации при увеличении подачи. Ковка пустотелых глухондных заготовок приводит к увеличению толщины дна в процессековки, что также следует учитывать при разработке технологического процесса получения таких поковок.

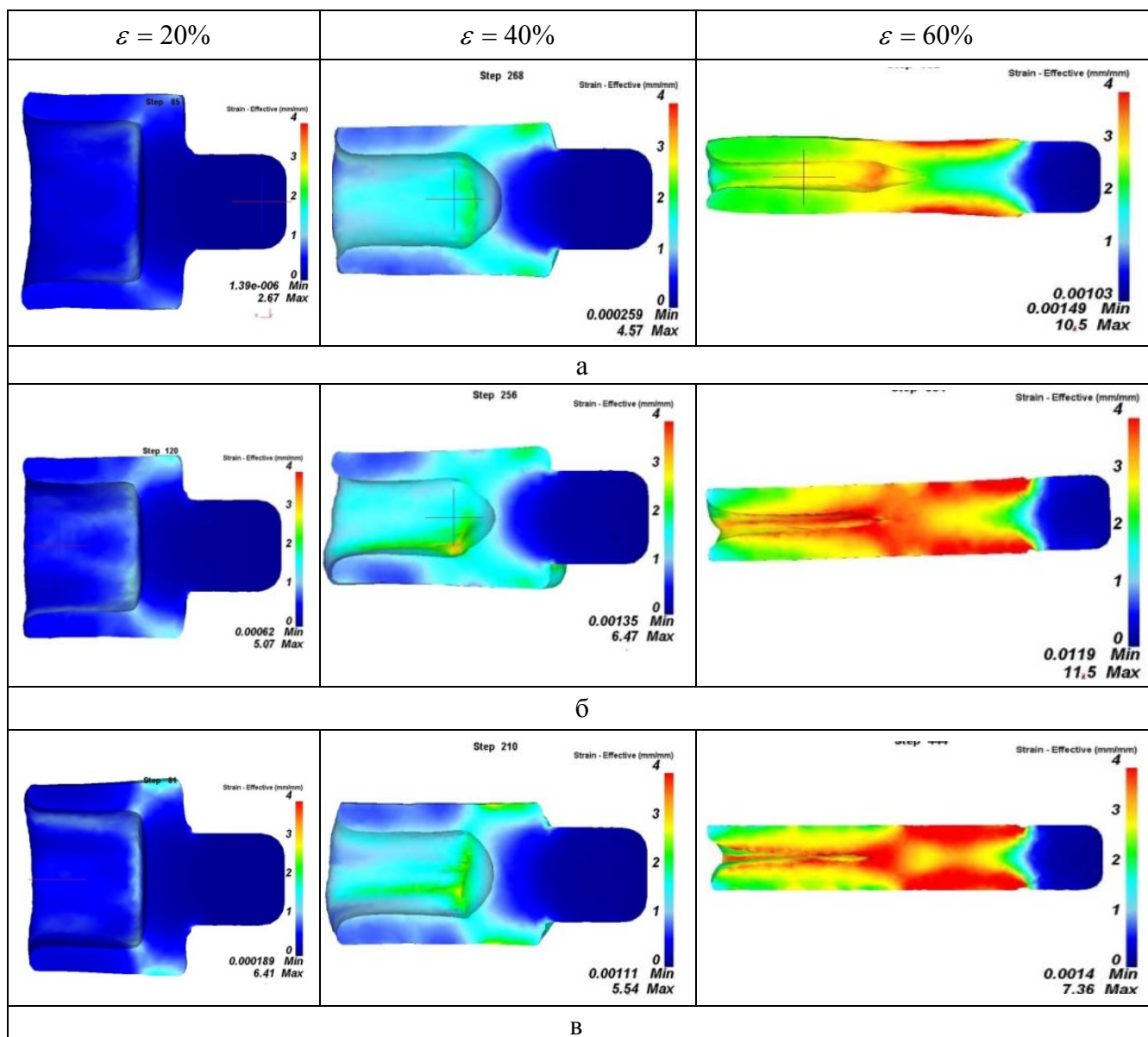


Рис. 3. Распределение интенсивности деформаций в продольном сечении пустотелых поковок с относительным диаметром отверстия $d_0 / D = 0,8$ и углом выреза бойков $\alpha = 90^\circ$ при различных степенях обжатия и величинах подач: а – 0,1D; б – 0,2D; в – 0,3D

При увеличении угла вырезов бойков до $\alpha = 115^\circ$ происходит более равномерное распределение деформаций при обжатии на 40 %, чем для других углов выреза (рис. 4). Увеличение обжатия до 60 % приводит к локализации максимальных деформаций на внутренней поверхности отверстия для исследуемой схемыковки и достигает значения 10,9 единиц (рис. 4, в). Это объясняется проникновением зоны пластических деформаций на глубину, которая соответствует диаметру отверстия заготовки. Однако, более равномерно деформации распределяются для подач 0,1D, ($\Delta\varepsilon \approx 5,7$ рис.4, а).

Также при протяжке с данным углом происходит заковка отверстия заготовки, при этом, отсутствие оправки гарантирует получение заданной формы отверстия. Особенно при малых величинах подач (рис. 4, а). Волнистость поверхности отверстия не превышает

величину припуска на механическую обработку, что будет гарантировать получение заданных размеров поковки без оправки. Полученные результаты позволяют выбрать данную схему как эффективную с точки зрения НДС и рекомендовать ее для дальнейшего исследования.

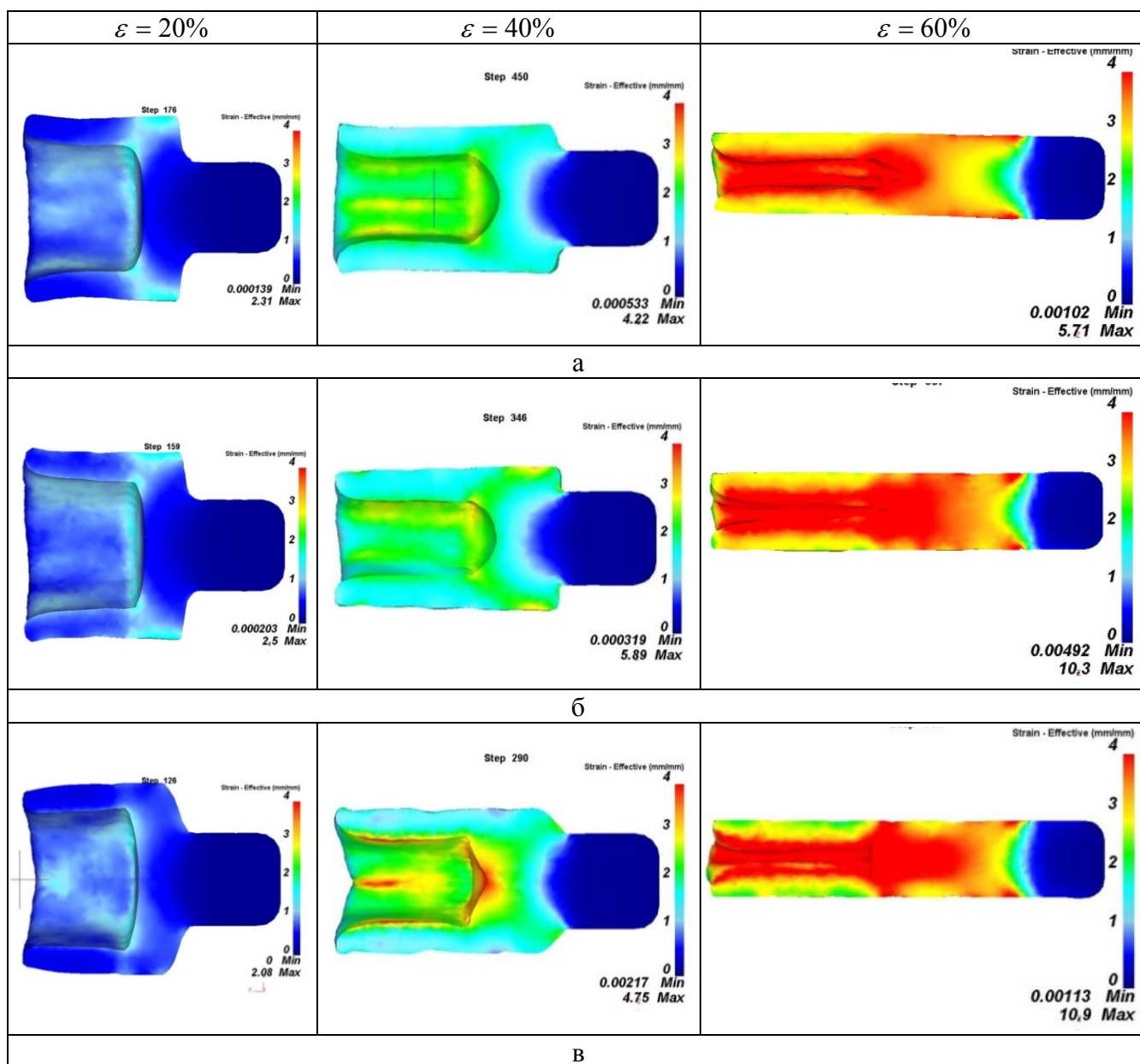


Рис. 4. Распределение интенсивности деформаций в продольном сечении пустотелых поволок с относительным диаметром отверстия $d_0 / D = 0,8$ и углом выреза бойков $\alpha = 115^\circ$ при различных степенях обжатия и величинах подач: а – $0,1D$; б – $0,2D$; в – $0,3D$

При увеличении угла выреза $\alpha = 140^\circ$ (рис. 5) наибольшая деформация металла заготовки сосредоточена в центральных частях поковки. Высокую равномерность распределения деформаций обеспечивают схемыковки с обжатиями 40 % (рис. 5). Максимальные деформации возникают при ковке бойками с углом скосов $\beta = 30^\circ$ и достигают значения 10,6 единиц (рис. 5, в), это объясняется большими подачами по сравнению с другими схемами и, соответственно, глубоким проникновением зоны пластической деформации в центральные слои. Высокий уровень накопленных пластических деформаций в теле заготовки с большей равномерностью их распределения наблюдается при использовании бойков с углами скосов $\beta = 20^\circ$ (рис. 5, б).

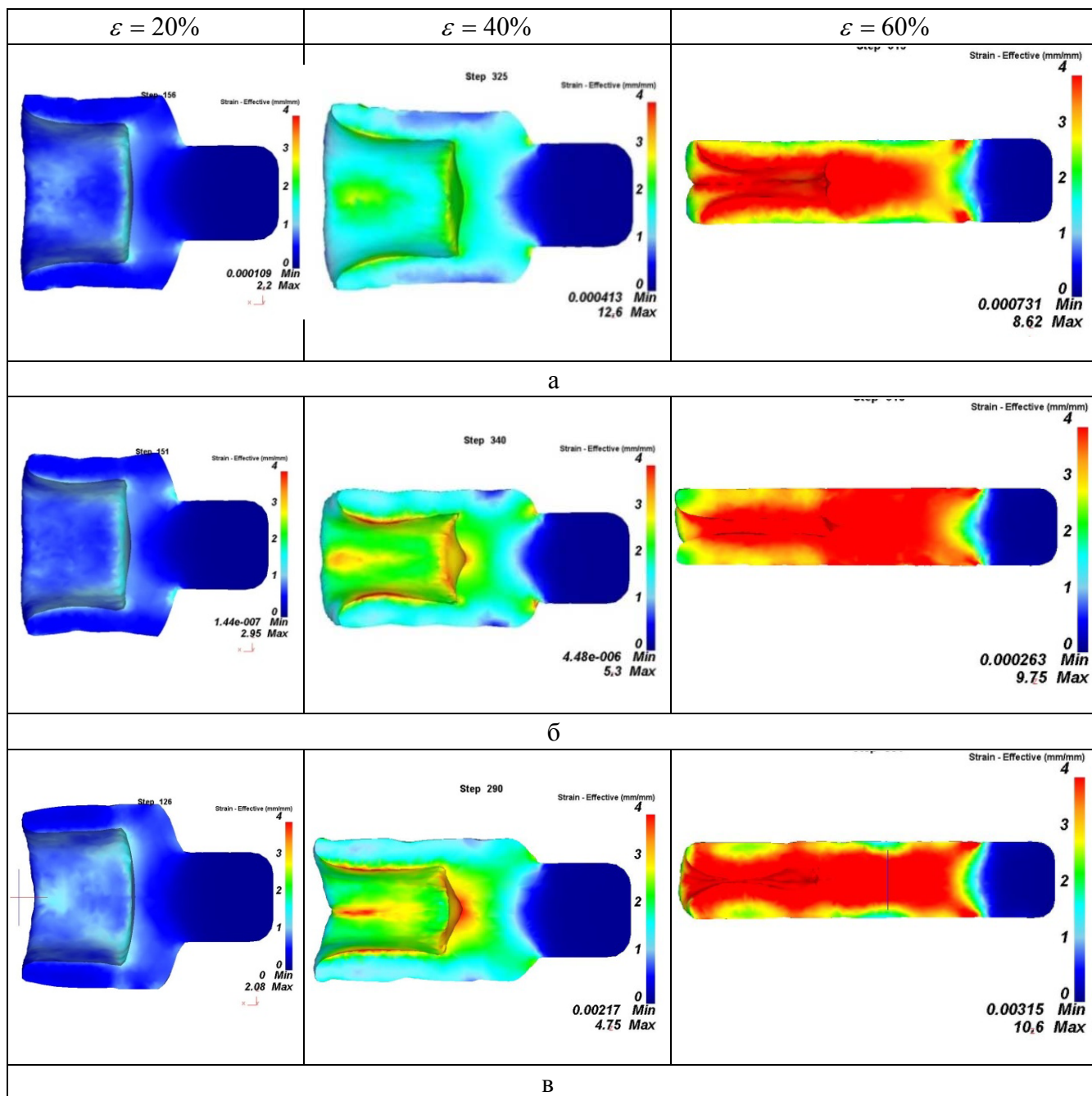


Рис. 5. Распределение интенсивности деформаций в продольном сечении пустотелых поковок с относительным диаметром отверстия $d_0 / D = 0,8$ и углом выреза бойков $\alpha = 140^\circ$ при различных степенях обжатия и величинах подач:

а – 0,1D; б – 0,2D; в – 0,3D

ВЫВОДЫ

1. На основании результатов теоретического исследования деформированного состояния металла заготовки была выбрана эффективная схемаковки пустотелых заготовок без оправки.

2. Выбраны геометрические параметры заготовки и инструмента, которые обеспечивают равномерное распределение деформаций и не приводят к полной заковке отверстия. Такими параметрами являются: относительный диаметр отверстия заготовки $d_i / D = 0,8$, вырезные бойки с углом 115° и величиной относительной подачи 0,1D.

3. Для схемковки с малыми подачами отсутствие оправки не приводит к образованию разнотолщинности стенки заготовки, превышающей требования чертежа поковки. Волнистость поверхности отверстия не превышает величину припуска на механическую обработку, что будет гарантировать получение заданных размеров поковки без оправки. Увеличение подачи приводит к большей степени заковки отверстия и искажению его формы.

4. Следует отметить изменения формы дна заготовки в процессе протяжки, что потребует увеличения напуска на механическую обработку отверстия. Ковка пустотелых глухонных заготовок приводит к увеличению толщины дна в процессековки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кальченко П. П. *Новые технологические процессыковки крупных прессовых поковок*. : монография / П. П. Кальченко, О. Е. Марков – Краматорск : ДГМА, 2014. – 100 с. ISBN 978-966-379-692-5.
2. Марков О. Е. *Ресурсосберегающие технологические процессыковки крупных валов и плит* : монография / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 324 с. – ISBN 978-966-379-583-6.
3. Кобелев О. А. *Изготовление толстостенных трубных поковок и заготовок для производства плит* / О. А. Кобелев, В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2008. – № 1. – С. 27–30.
4. Сидоров Н. Е. *Ковка полых длинных цилиндров из легированной стали* / Н. Е. Сидоров // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1964. – № 12. – С. 38–39.
5. Касатонов В. Ф. *Усовершенствование технологииковки полых поковок на прессах* / В. Ф. Касатонов, Г. А. Матросов, А. Г. Салтыков // *Кузнечно-штамповочное производство*. 1966. – № 4. – С. 44–45.
6. Антощенко Ю. М. *Влияние внешних зон на формоизменение заготовки при ковке* / Ю. М. Антощенко // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2001. – № 6. – С. 19–21.
7. Сидоров А. Н. *Распределение напряжений в очаге деформации при ковке плоскими бойками сплошных и полых цилиндрических заготовок* / А. Н. Сидоров, Ю. М. Антощенко // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1996. – № 9. – С. 32–34.
8. Каргин Б. С. *Сравнение производительности при протяжке пустотелых поковок на оправке комбинированными и вырезными бойками*. / Б. С. Каргин, Е. С. Котова // *Вісник приазовського державного технічного університету*, 2013. – № 27. – С. 9–13.
9. Кальченко П. П. *Пути сокращения расхода металла при изготовлении сплошных цилиндрических поковок* / П. П. Кальченко // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1987. – № 3. – С. 15–16.
10. Антощенко Ю. М. *Результаты промышленнойковки полых заготовок бойками с непрямолинейным фронтом подачи* / Ю. М. Антощенко // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2001. – № 7. – С. 26–27.
11. Пат. 86881 Україна, МПК(2013.01) В 21 J 5/00. *Спосіб кування порожнистих циліндрів з дном* / Марков О.Є., Маркова М. О.; заявник та власник Марков О. Є., Маркова М. О., Краматорськ. – № u201309697; заявл. 05.08.13; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1. – 5 с. : іл.
12. *Усовершенствованная технология изготовления трубных поковок* / Я. М. Охрименко, В. П. Троицкий, А. Н. Веремеевич, Б. Г. Восходов, Л. А. Лбов. // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1979. – № 2. – С. 5–8.
13. Марков О. Е. *Деформированное состояние при протяжке укороченных слитков бойками со скосами* [Электронный ресурс] / О. Е. Марков // *Научный вестник ДГМА : сб. науч. трудов*. – Краматорск, 2013. – № 2 (12E). – С. 70–78. – Режим доступа : [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2\(12E\)_2013/article/12.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2(12E)_2013/article/12.pdf)
14. Пасько А. Н. *Математическое моделирование в процессах ротационнойковки* / А. Н. Пасько // *Кузнечно-штамповочное производство* – 2009. – № 8. – С. 195–199.
15. Пасько А. Н. *Моделирование многопереходного процесса ротационнойковки* / А. Н. Пасько // *Кузнечно-штамповочное производство* – 2010. – № 8. – С. 69–73.