

## ГРАДИЕНТ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕНСИВНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Маркова М. А., Розов Ю. Г., Мкртчян Е. А., Ризак П. И.

Установлено напряженно-деформированное состояние при получении полых заготовок с применением схем с интенсивными пластическими деформациями. Предложен новый технологический процессковкипустотелыхпоковоквырезнымибойками со скосами. Моделирование процессаковки методом конечных элементов позволило установить формоизменение заготовки и механизм заковки отверстия для новой технологии. Установлено, что общей закономерностью для исследуемых схемковки является то, что при протяжкепустотелыхзаготовок с диаметром отверстия  $d_0 / D = 0,3$  происходит заковка отверстия при обжатиях более 40 %. Интенсивность заковки отверстия одинакова при различных обжатиях для постоянных соотношений размеров заготовки. Для относительного диаметра отверстия заготовки  $d_0 / D = 0,3$  рациональным с точки зрения равномерного распределения деформаций и меньшей степени заковки отверстия является угол выреза бойков  $\alpha = 90^\circ$  при угле скосов  $\beta = 20^\circ$ . Отверстие заготовки заковывается при обжатиях больше 40 %, что ограничивает применение схемыковкипустотелыхзаготовок без оправки при толстой стенке ( $d_0 / D = 0,3$ ).

Встановлено напружено-деформований стан при отриманні порожнистих заготовок із застосуванням схем з інтенсивними пластичними деформаціями. Запропоновано новий технологічний процес кування порожнистих поковок вирізними бойками зі скосами. Моделювання процесу кування методом скінчених елементів дозволило встановити формозміну заготовки і механізм заковування отвору для нової технології. Встановлено, що загальною закономірністю для досліджуваних схем кування є те, що при протягуванні порожнистих заготовок з діаметром отвору  $d_0 / D = 0,3$  відбувається заковування отвору при обтисненні більше 40 %. Інтенсивність заковування отвору однакова при різних обтисненнях для постійних співвідношень розмірів заготовки. Для відносного діаметру отвору заготовки  $d_0 / D = 0,3$  раціональним з точки зору рівномірного розподілу деформацій і меншого ступеня заковування отвору є кут вирізу бойків  $\alpha = 90^\circ$  при куті скосів  $\beta = 20^\circ$ . Отвір заготовки заковується при обтисненні більше 40 %, що обмежує застосування схеми кування порожнистих заготовок без оправки при товстій стінці ( $d_0 / D = 0,3$ ).

In this paper the stress-strain state at producing of hollow workpieces using schemes with a severe plastic deformation was defined. A new process of deformation hollow forgings concave dies with bevels was proposed. Simulation of the forging process using finite element method has allowed to establish the mechanism of forming the workpiece and closing of the hollow for new technologies. It was found the general rule for the investigated schemes forging is that when broaching hollow workpieces with a hole diameter  $d_0 / D = 0,3$  occurs closing of the hole at reduction of more than 40 %. Intensity closing of the holes is the same for different reductions for regular size ratios of the workpiece. For the relative hole of diameter workpiece  $d_0 / D = 0,3$  the rational for uniform strain distribution and less degree of the closing is angle  $\alpha = 90^\circ$  at an angle of bevel  $\beta = 20^\circ$ . The hole of the workpiece closing at reduction more than 40 %, it's the using of scheme forging workpieces with hollow mandrel at a thick wall ( $d_0 / D = 0,3$ ).

Маркова М. А.

аспирант каф. ОМД, ДГМА  
[markova.mar.alex@mail.ru](mailto:markova.mar.alex@mail.ru)

Розов Ю. Г.

первый проректор ХНТУ;

Мкртчян Е. А.

ассистент каф. ОМД, ПГТУ;

Ризак П. И.

аспирант каф. ОМД, ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;

ХНТУ – Херсонский национальный технический университет, г. Херсон;

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

УДК 621.735.3

Маркова М. А., Розов Ю. Г., Мкртчян Е. А., Ризак П. И.

### ГРАДИЕНТ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕНСИВНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Приоритетной задачей развития тяжелого машиностроения является разработка новых ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих повышение производительности труда, экономию материальных и энергетических ресурсов [1]. В значительной степени решению этих задач способствует внедрение в промышленность прогрессивных технологийковки пустотелых заготовок с интенсивными пластическими деформациями (ИПД).

Применяемые на сегодняшний день методы производства таких поковок предусматривают ротационную ковку, а также ковку с оправкой для получения полых цилиндрических поковок [2]. Эти методы изготовления пустотелых цилиндров не обеспечивают устранение дефектов металлургического происхождения. Недостатками данных способов является необходимость использования специальной оправки.

Актуальной является необходимость разработки научно-обоснованной методики проектирования технологических процессовковки полых цилиндров, с целью интенсификации при снижении энергоемкости и трудозатрат, что в целом представляет большой практический интерес.

Использование (в качестве заготовок) бесприбыльных слитков с вогнутым дном для изготовления поковок труб способом протяжки на оправке предварительно прошитых слитков обеспечивает получение качественных труб и способствует снижению трудоемкости процесса за счет устранения операции удаления прибыли слитков [3]. В результате повышается коэффициент использования металла, снижается разностенность поковок труб за счет изменения формы донной части слитков и применения сферического толкателя при прошивке слитков.

Изготавливать пустотелые поковки большого диаметра на горизонтальном гидравлическом прессе из центробежных заготовок было предложено А. С. Чукмасовым и соавторами [4]. Авторами была разработана следующая технологическая схема: центробежная отливка заготовок, механическая обработка заготовок и металлографический контроль металла, заковка одного конца заготовок, горячая протяжка, обрезка закованного конца и заднего конца («бахромы»), термическая обработка труб и механическая обработка.

Н. W. Sizek [5] в своей работе предложил новую технологию изготовления полых поковок, в которой часть поковки нагревают и штампуют в закрытых штампах. Сочетание осевой силы и использование закрытых ковочных штампов гарантирует, что материал течет в центральную часть. После высадки, ступенчатого контура ось концов формируется на оправке с водяным охлаждением.

Технологический процесс изготовления поковок типа труб, предложенный В. Н. Лебедевым и соавторами [6], методом прошивки на вертикальном прессе и последующей протяжке на горизонтальном прессе имеет ряд преимуществ в сравнении с ковкой только на вертикальном прессе методом осадки, сквозной прошивки и протяжке на оправке. Уменьшением веса слитка достигается экономия металла на 17–28 %. Машинное время, затраченное на изготовление одной поковки, сокращается примерно в 10 раз.

На базе метода конечных элементов А. Н. Пасько, О. А. Ткач и Л. В. Муравлева провели исследование процесса ротационнойковки на оправке полый цилиндрической заготовки [7]. Проведенное исследование позволяет утверждать, что пошаговое нагружение приводит к существенной неоднородности напряженно-деформированного состояния по длине заготовки. Однако при этом сила процессаковки ниже на 75 %, чем при ковке длинным бойком за один переход. Следует отметить также, что в отличие от безоправочной ротационнойковки, ротационная ковка на оправке характеризуется равным удлинением заготовки по обеим схемам нагружения.

В своем исследовании А. Ghaei и др. методом конечных элементов промоделировали процесс радиальнойковки труб без оправки [8]. Результаты этого исследования показывают, что процесс радиальнойковки без оправки особенно эффективен при небольшой осевой подаче. Осевые растягивающие напряжения на внутренней поверхности трубы могут привести к образованию кольцевых трещин в ковальной трубе. Когда оправка не используется должны быть малые осевые подачи, потому что увеличение осевой подачи, как правило, увеличит максимальную осевую нагрузку, которая может привести к появлению трещины. Без оправки увеличиваются остаточные напряжения по сравнению с ковкой на оправке.

Известно, что большое влияние на образование внутренних плен в трубах оказывают дефекты макроструктуры и скопления неметаллических включений. В своей работе Р. Д. Мининзон и соавторы [9] исследовали влияние развеса и конфигурации слитка на состав и количество оксидных неметаллических включений, и пришли к выводу, что разливка металла в изложницы для квадратных слитков с конусностью исключает образование грубых дефектов макроструктуры, как в слитке, так и в трубной заготовке.

В своей работе В. А. Тюрин и соавторы [10] изучали и сравнивали модели очага деформаций при ковке полой заготовки на оправке и без оправки. Модельковки трубы на оправке позволяет оценить энергосиловые параметрыковки (усилия, мощность), необходимые для выбора ковочного оборудования. Модельковки полой заготовки без оправки позволяет прогнозировать форму и размеры зоны макросдвиговых деформаций, определяющих глубину проработки литой структуры.

Исследованиями И. Г. Цыгуры и соавторами [11] установлено, что уков 1,5 обеспечивает получение однородной структуры по сечению поковок. Уков 1,5–2,0 обеспечивает достаточную проработку полого слитка с получением необходимых механических свойств металла.

Существующие методы изготовления пустотелых цилиндров не обеспечивают получение мелкозернистого строения металла заготовки. Недостатками данных способов является необходимость использования дорогостоящей оправки. Изготовление деталей с высоким комплексом эксплуатационных характеристик возможно за счет применения нового способа получения цельнокованных поковок без оправки [12].

При ковке протяжкой широкое распространение получил способ протяжки поковок вырезными бойками. Исследуемая схема протяжки была ранее рассмотрена в работах [13–14].

Интенсифицировать вытяжку при протяжке можно за счет применения бойков со скосами. Исходные данные для расчета: сталь 34ХНМ4,  $t = 1200^\circ\text{C}$ ;  $v = 40$  мм/с;  $D = 1000$  мм. Отношения наружного и внутреннего диаметра отверстия  $d_0 / D = 0,3$ . В исследовании использовались цилиндрические стальные полые модели. Высота заготовок составляла  $H_1 = 238$  мм [15].

Заготовки протягивались вырезными бойками с углами выреза  $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, 140^\circ$ , углами скоса вырезов  $\beta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  и длинной горизонтальной полки деформирующей части, которая определяет величину подачи  $a = 100, 200, 300$  мм. Степень деформации заготовки составляла 20 %, 40 % и 60 %.

После анализа результатов распределения деформаций при угле выреза бойка  $\alpha = 90^\circ$  и разных углах скосов вырезов бойков (рис. 1) – было установлено, что при ковке пустотелых цилиндров с данными параметрами максимальная деформация сосредоточена в периферийных зонах заготовки на границах контакта поковки с верхним и нижним вырезным бойком. Особенно эта закономерность выражена для обжатия 60 %. Максимальный градиент деформаций возникает при ковке бойками с углом скосов  $\beta = 30^\circ$  и достигают значения 9,38 единиц (рис. 1, в). Это объясняется максимальными величинами подачи по сравнению с другими схемами деформирования. Локализация максимальных деформаций объясняет образование неравномерного торца заготовки, который вытянут в верхней кромке поковки.

Отверстие заготовки заковывается при обжатиях больше 40 %, что ограничивает применение схемы ковки пустотелых заготовок без оправки при толстой стенке ( $d_0 / D = 0,3$ ). Отверстие поковки имеет форму усеченного конуса, заугленного к свободному краю. Это объясняется подпором со стороны дна заготовки и меньшей степени его заковки в этом месте.

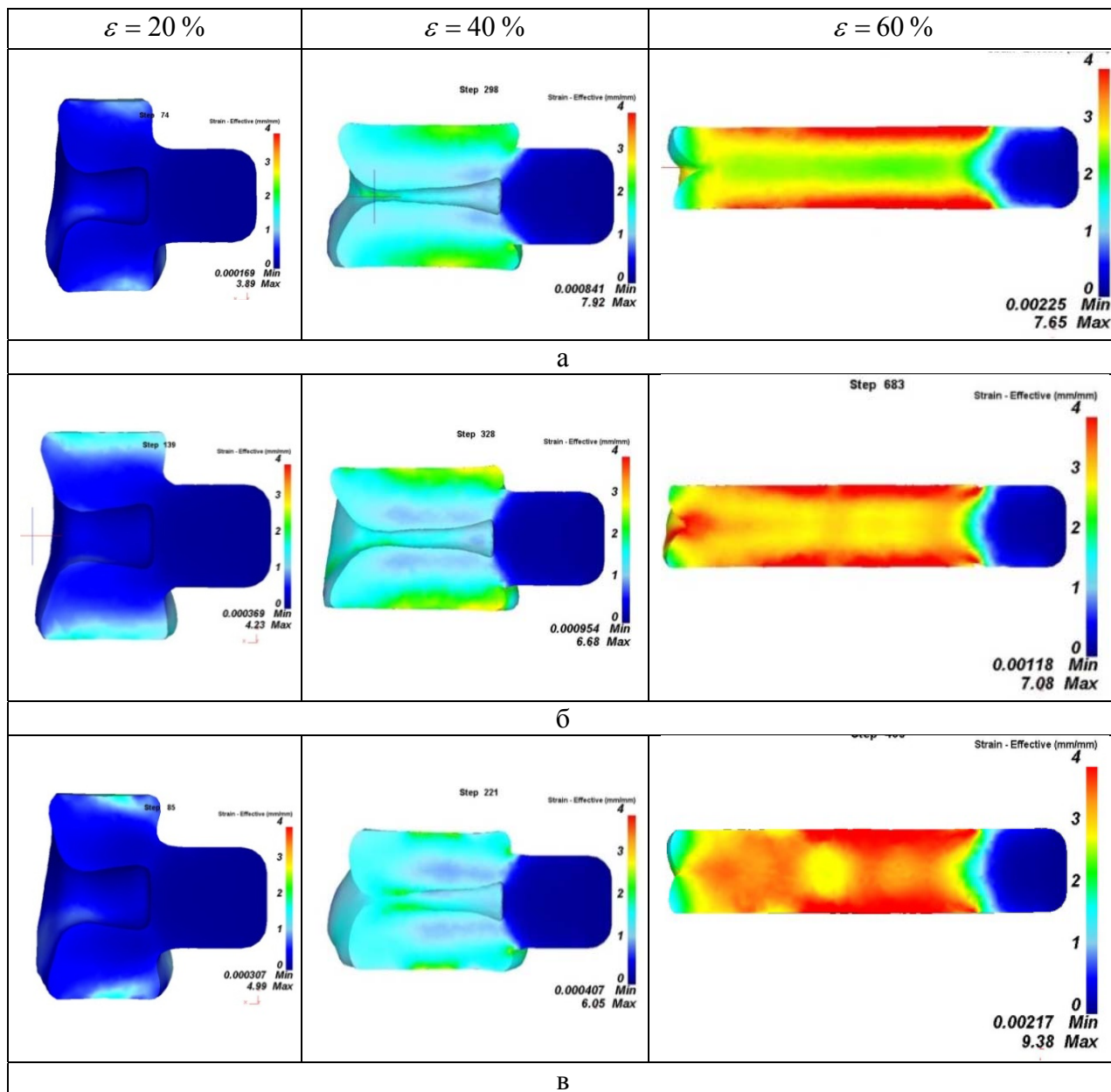


Рис. 1. Градиент деформаций в продольном сечении пустотелых поволоков с относительным диаметром отверстия  $d_0 / D = 0,3$  и углом выреза бойков  $\alpha = 90^\circ$  при различных степенях обжатия и углах скосов выреза бойков:

а –  $\beta = 10^\circ$ ; б –  $\beta = 20^\circ$ ; в –  $\beta = 30^\circ$

Увеличение угла выреза бойков до  $\alpha = 115^\circ$  (рис. 2) приводит к тому, что максимальные деформации возникают при ковке бойками с углом скосов  $\beta = 20^\circ$  и достигают значения 13,6 единиц (рис. 2, б). Равномерное распределение деформации при обжатии 60 % соответствует схеме ковки бойками со скосами  $\beta = 10^\circ$ , ( $\Delta\varepsilon \approx 4,0$ ). Это объясняется малой величиной подачи, что уменьшает зону затрудненной деформации из-за уменьшения площади контакта металла

заготовки с инструментом (рис. 3, а). При этом происходит полная заковка отверстия заготовки уже при обжатии заготовки на 40 %. Поэтому увеличение угла выреза бойков для толстостенных заготовок приводит к увеличению степени заковки отверстия.

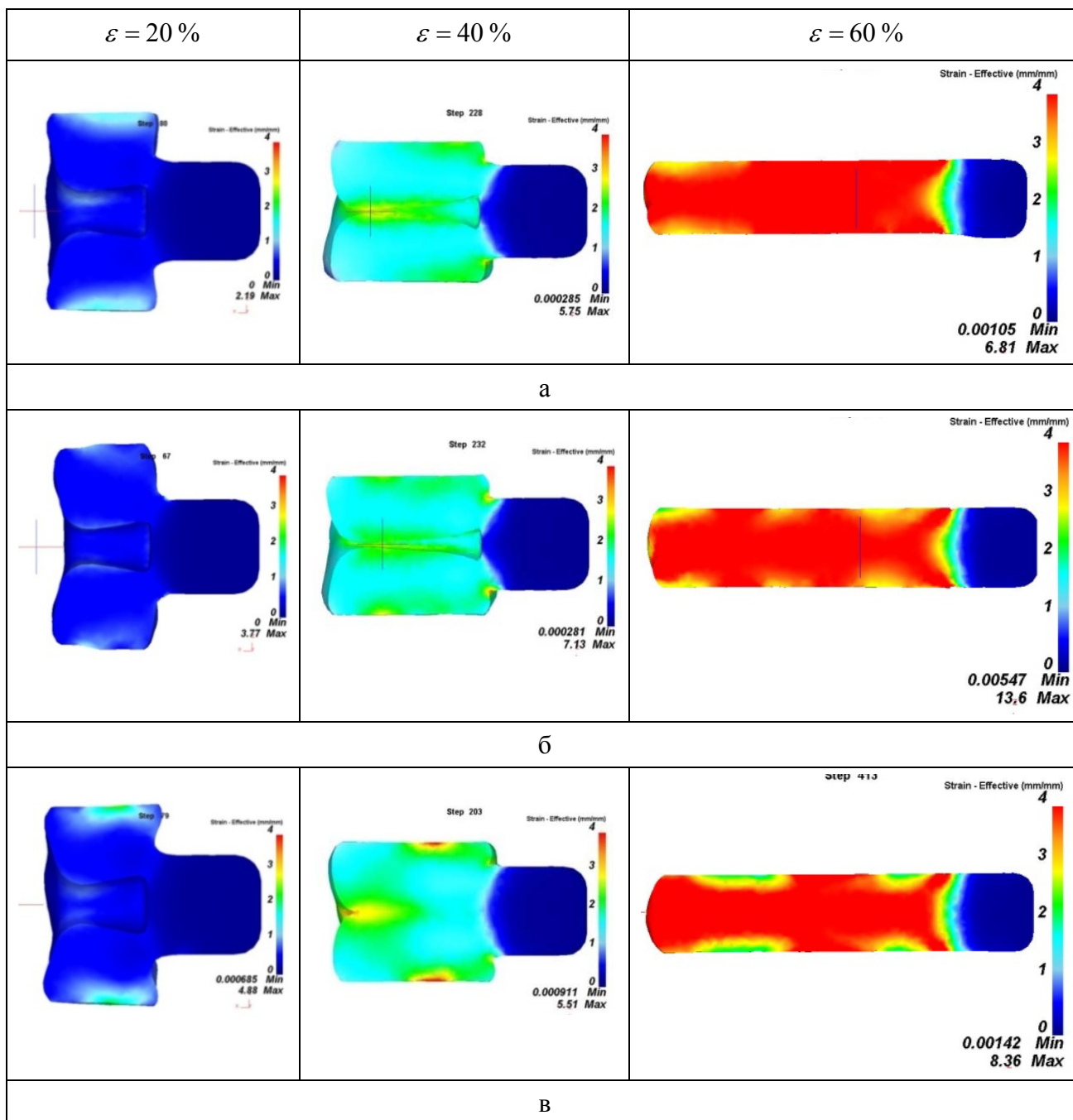


Рис. 2. Градиент деформаций в продольном сечении пустотелых поковок с относительным диаметром отверстия  $d_0 / D = 0,3$  и углом выреза бойков  $\alpha = 115^\circ$  при различных степенях обжатия и углах скосов выреза бойков:

а –  $\beta = 10^\circ$ ; б –  $\beta = 20^\circ$ ; в –  $\beta = 30^\circ$

Дальнейшее увеличение угла выреза бойков ( $\alpha = 140^\circ$ ) приводит к тому, что градиент деформаций достигает значения 12,6 единиц для угла скосов  $\beta = 20^\circ$  (рис. 3, б). Полученные результаты распределения деформаций в объеме заготовки аналогичны полученным для угла выреза бойков в  $115^\circ$ . На основании проведенного анализа полученных результатов можно



установить, что для относительного диаметра отверстия заготовки  $d_0 / D = 0,3$  рациональным с точки зрения равномерного распределения деформаций является угол выреза бойков  $\alpha = 115^\circ$  при угле скосов  $\beta = 10^\circ$ .

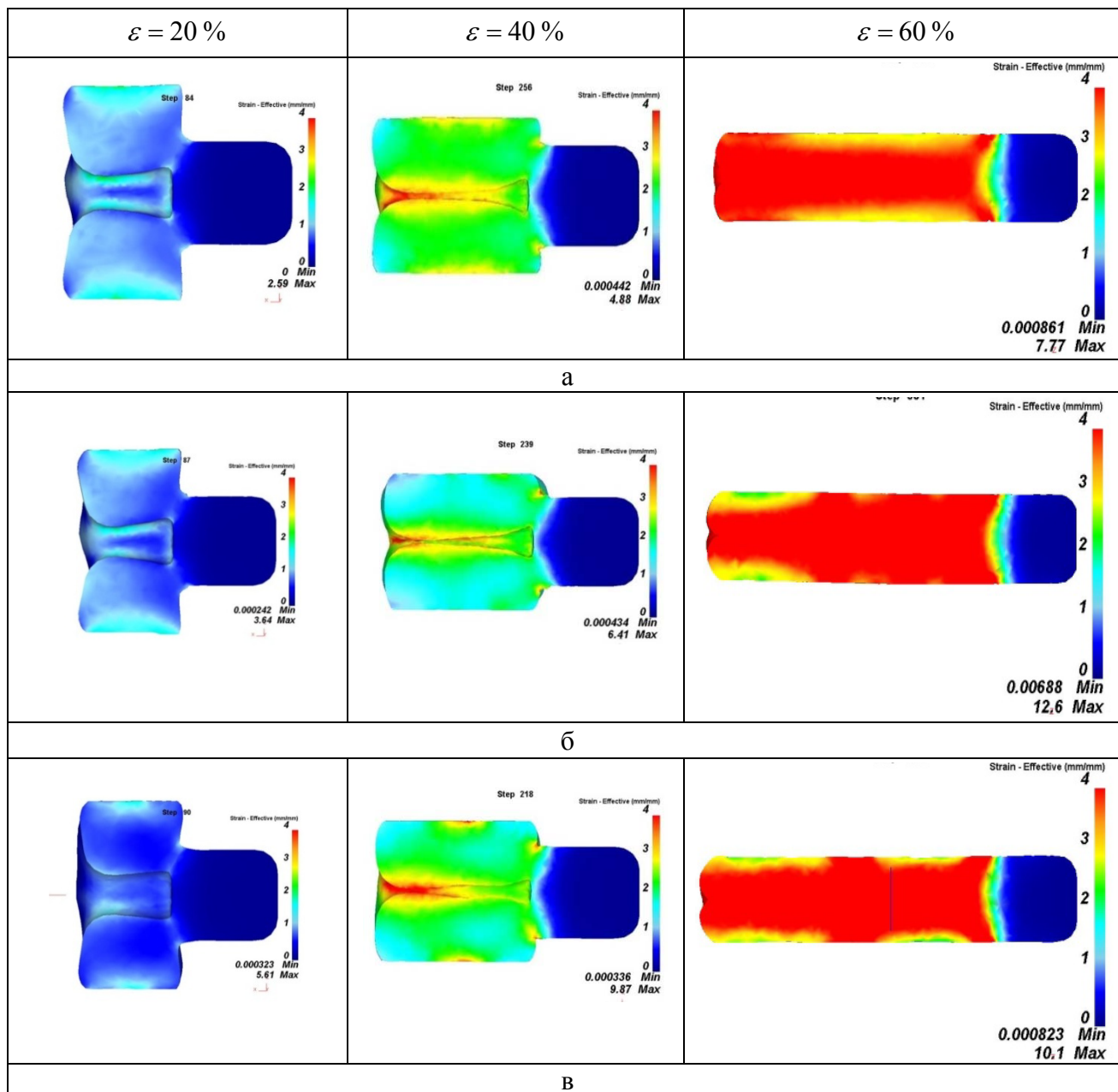


Рис. 3. Градиент деформаций в продольном сечении пустотелых поковок с относительным диаметром отверстия  $d_0 / D = 0,3$  и углом выреза бойков  $\alpha = 140^\circ$  при различных степенях обжатия и углах скосов выреза бойков:

а –  $\beta = 10^\circ$ ; б –  $\beta = 20^\circ$ ; в –  $\beta = 30^\circ$

### ВЫВОДЫ

1. Общей закономерностью для исследуемых схемковки является то, что при протяжке пустотелых заготовок с диаметром отверстия  $d_0 / D = 0,3$  происходит заковка отверстия при обжатиях более 40%. Интенсивность заковки отверстия одинакова при различных обжатиях для постоянных соотношениях размеров заготовки.

2. На основании проведенного анализа полученных результатов можно установить, что для относительного диаметра отверстия заготовки  $d_0 / D = 0,3$  рациональным с точки зрения равномерного распределения деформаций и меньшей степени заковки отверстия является угол выреза бойков  $\alpha = 90^\circ$  при угле скосов  $\beta = 20^\circ$ .

3. Отверстие заготовки заковывается при обжатиях больше 40 %, что ограничивает применение схемыковки пустотелых заготовок без оправки при толстой стенке ( $d_0 / D = 0,3$ ).

#### 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. 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. Сер. : Технічні науки. – 2013. – № 27. – С. 49–52.
3. 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).
4. Производство труб большого диаметра из углеродистых центробежнолитых заготовок на горизонтальном гидравлическом прессе / А. С. Чукмасов, Ю. Г. Соловьев, В. Н. Лебедев, Н. С. Пищик, К. А. Токарев, А. И. Мохов, С. И. Данилин, Л. Е. Шелудкер // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 10. – С. 32–33.
5. Sizek, H. W. Radial Forging / H. W. Sizek // Metalworking : Bulk Forming – 2005. – С. 172–178.
6. Производство толстостенных труб из бесприбыльных слитков / В. Н. Лебедев, В. М. Коровина, П. И. Варакин, А. И. Гринюк // Кузнечно-штамповочное производство. – 1965. – № 6. – С. 7–10.
7. Пасько А. Н. Математическое моделирование в процессах ротационнойковки / А. Н. Пасько, О. А. Ткач, Л. В. Муравлева // Известия ТулГУ. Технические науки. Технологии и оборудование для обработки металлов давлением – 2009. – № 3. – С. 195–199.
8. Ghaei A. Finite element modelling simulation of radial forging of tubes without mandrel / A. Ghaei, M. R. Movahhedy, A. Karimi Taheri // Materials & Design. – 2008. – № 29. – P. 867–872.
9. Влияние типа слитков на качество кованной трубной заготовки из стали ЭИ756 (12X11В2МФ) / Р. Д. Мининзон, Ф. В. Мурин, М. И. Синельников, В. П. Борисов, Е. И. Малиновский, С. Г. Чернявская, К. П. Устин, С. А. Иодковский // Кузнечно-штамповочное производство. – 1967. – № 1. – С. 44–46.
10. Тюрин В. А. Ковка полых заготовок на РОМ / В. А. Тюрин, Г. П. Жигулев, А. М. Володин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1993. – № 1. – С. 10–12.
11. Исследование технологииковки поковок из полых слитков / И. Г. Цыгура, П. Д. Доронько, Г. С. Гребенюк, С. И. Коваль, И. М. Алымов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1974. – № 9. – С. 1–3.
12. 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.
13. Маркова М. А. Исследование деформированного состояния заготовки при протяжке полых поковок без оправки бойками со скосами / М. А. Маркова // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2014. – № 3 (15E). – С. 75–82.
14. 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.
15. Схемыковки крупных поковок с интенсивными пластическими деформациями / М. А. Маркова, Р. С. Недодай, А. О. Шарун, К. Л. Чуева // Тези. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». – 23–24 вересня 2014 року. – Краматорськ ДДМА, 2014. – С. 61. – ISBN 978-966-379-640-6.