

## РАЗДЕЛ I МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.735.3

Алиева Л. И.  
Жбанков Я. Г.  
Маркова М. А.  
Таган Л. В.

### КОМБИНИРОВАННАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СО СДВИГОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРУПНЫХ ЗАГОТОВОК

Обеспечение интенсивных сдвиговых деформаций в заготовке при обработке металлов давлением позволяет получать высокие механические свойства конечного изделия. К таким способам, широко распространенным в настоящее время, относятся равноканальное угловое прессование [1], винтовая экструзия [2] и т. д. Существуют и способы, обеспечивающие интенсивные сдвиги в заготовке и при ковке крупных поковок, такие как ковка, протяжка в бойках с дополнительным продольным смещением, предложенный В. М. Сегалом [3], ковка в комбинированных и вырезных бойках несимметричной формы, рассмотренные в работах Охрименко Я. М. и Тюрина В. А. [4], ковка в скрещивающихся бойках [5], предложенная Тюриным В. А. [6], и протяжка с продольным смещением заготовки, рассмотренная в работе Назайбекова А. Б. [7]. Исследование данных способовковки крупных поковок подтверждает их эффективность в преобразовании литой структуры металла заготовки в деформированную. Эффективность данных способов перед традиционными способами заключается, прежде всего, в повышенном уровне механических свойств получаемого изделия при уменьшении такого показателя, как уков.

Так, в работе [7] указано, что при ковке заготовок кубиков молотовых штампов из стали 5ХНМ, при использовании нового способаковки, который заключается в обеспечении высокого уровня сдвиговых деформаций в заготовке, путем обжатия бойками с продольной ступенчатой поверхностью, удалось снизить уков в два раза с 7 до 3,5 с обеспечением даже более высокого уровня механических свойств поковок. Кроме того, удалось снизить степень анизотропии механических свойств. В работе отмечено также, что микроструктура металла, откованного по предлагаемой технологии, на 2–3 балла мельче, чем у металла заготовки, откованной по традиционной технологии.

В работах [8-9] отмечено, что существует множество схем комбинированнойковки, обеспечивающих интенсивный сдвиг в заготовке за счет асимметрии формы бойков, однако этим способам присущ определенный недостаток в виде наличия сил, направленных на сдвиг инструментов в поперечной плоскости, что приводит к дополнительным нагрузкам на колонны прессы и хобот манипулятора.

Способ комбинированного обжатия со сдвигом заготовки ступенчатыми бойками (рис. 1) [10] также обеспечивает интенсивный сдвиг в поперечном сечении заготовки, при этом силы, направленные на сдвиг бойков и заготовки, в горизонтальном направлении намного меньше, нежели при ковке скошенными в плане бойками.

Целью данной работы является подтверждение возможности процесса пластического деформирования круглых заготовок с интенсивными сдвигами на основе математического моделирования и определение рациональных значений основных геометрических параметров бойков.

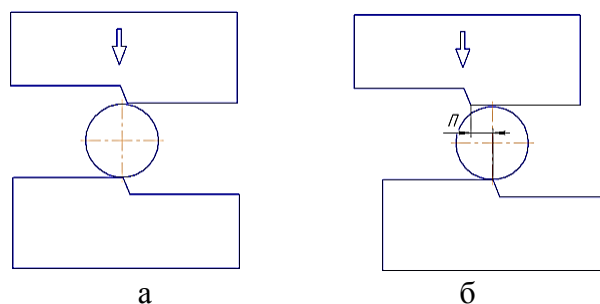


Рис. 1. Схема пластического деформирования заготовки ступенчатыми бойками с нулевым перекрытием (а) и положительным перекрытием (б)

Методом конечных элементов проведено моделирование процесса обжатия цилиндрической заготовки диаметром  $D = 1000$  мм из стали 35. Заготовка разбивалась на 50000 элементов. Инструмент при моделировании был жестким, не деформируемым. Исходная температура заготовки  $1100$  °С. Обжатие проводилось ступенчатыми бойками (рис. 2). Рассматривалось две схемы расположения бойков с нулевым перекрытием и положительным, причем перекрытие при моделировании принималось 100, 200 и 300 мм. Ширина бойка 1000 мм (относительная подача равна 1), температура бойков задавалась равной  $20$  °С, коэффициент трения по закону Зибеля равен  $0,35$ , коэффициент теплоотдачи от заготовки к инструменту равен  $5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$ , скорость деформирования  $15$  мм/с.

В результате моделирования получены поля распределения интенсивности логарифмических деформаций и сдвиговых деформаций в поперечном сечении заготовки на различных стадиях деформирования (рис. 2).

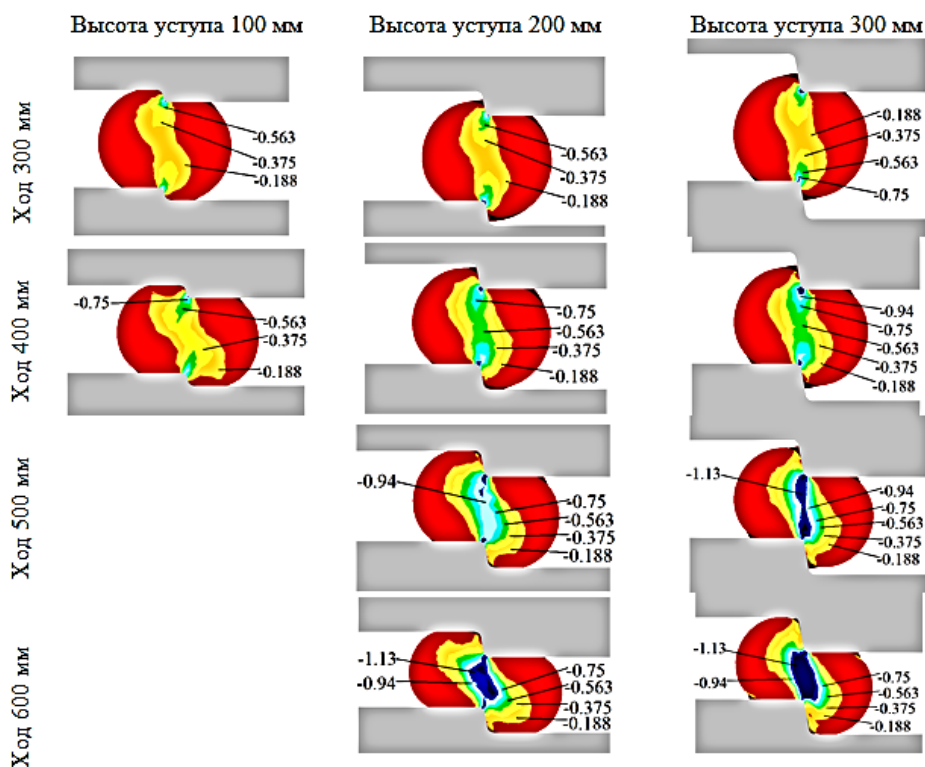


Рис. 2. Поля распределения деформаций сдвига в поперечном сечении заготовки при деформировании бойками с различной высотой уступа (перекрытие бойков равно нулю)

Из рис. 2 видно, что на уровень, величину деформаций и объем заготовки, в котором распространяются сдвиговые деформации, влияет ход обжатия заготовки. Так видно, что при ходе бойков 300 мм, наибольшую площадь в поперечном сечении заготовки занимает

сдвиговая деформация равная – 0,188, вне зависимости от высоты уступа бойков. При ходе же 400 мм уровень сдвиговой деформации возрастает и в заготовке, обжатой бойками с высотой уступа 200 и 300 мм, она увеличивается до – 0,563, а при обжатии бойком с высотой уступа 100 мм до – 0,375, что связано с малой высотой уступа. При дальнейшем обжатии заготовок уровень сдвиговых деформаций возрастает еще выше, как показано на рис. 2. Большой уровень сдвиговых деформаций в заготовке говорит о том, что течение металла преимущественно в поперечном сечении заготовки и заключается в сдвиге одной части заготовки относительно другой. Течение металла в продольном направлении минимально. Сочетание высокого уровня деформаций в заготовке с ее минимальным удлинением при протяжке позволит получать поковки высокого качества при минимальных уковах. Это является основным технологическим резервом операцийковки и позволит в некоторых случаях исключить из технологического процессаковки такую энергоемкую операцию, как осадку, что позволит существенно снизить затраты на производство.

На рис. 3 приведены поля распределения интенсивности логарифмических деформаций, которые показывают, что уже при обжатии заготовки бойками на 300 мм деформации проходят через весь объем заготовки, в том числе и центральную ее часть. Дальнейшее увеличение обжатия заготовки приводит к росту уровня деформации в заготовке. Также видно, что при использовании бойка с уступом 100 мм при обжатии заготовки на 400 мм сдвиг одной части заготовки относительно другой переходит в подсадку заготовки, т. е. течение металла заготовки становится характерным для обычной протяжки плоскими бойками. При обжатии заготовки бойками с большей высотой уступа данная стадия наступает позже.

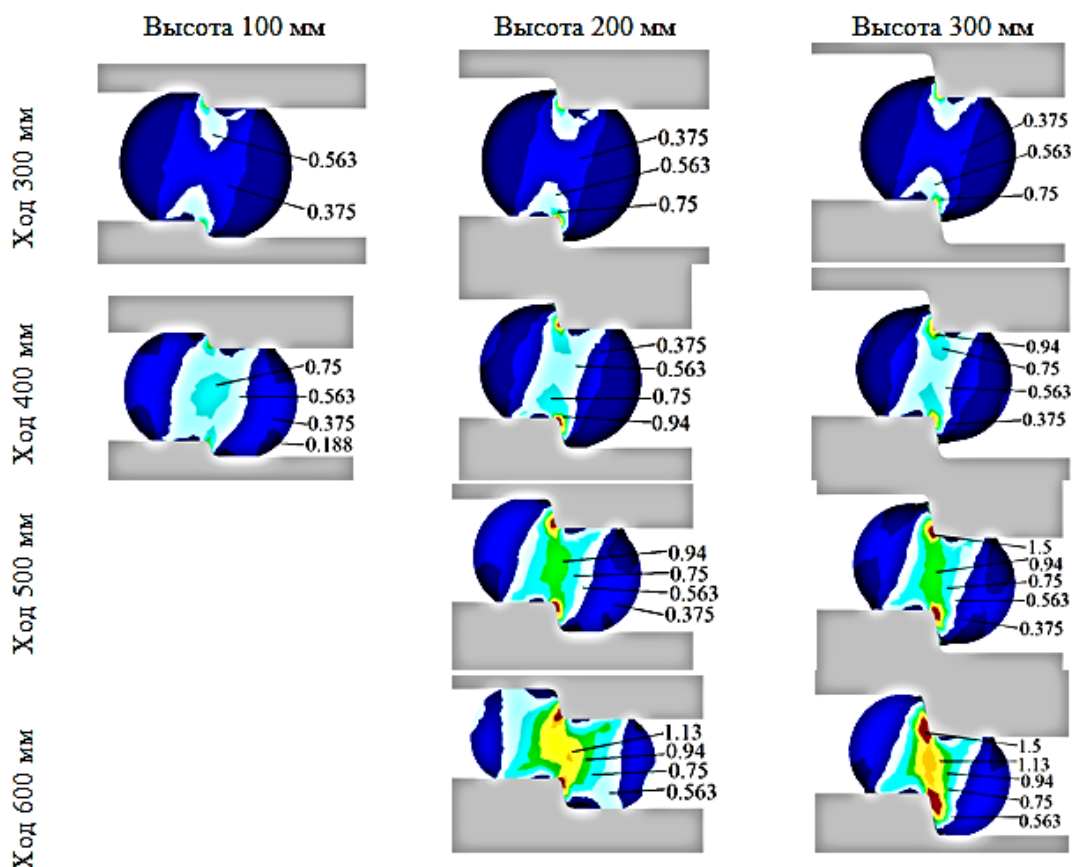


Рис. 3. Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки при деформировании бойками с различной высотой уступа (перекрытие бойков равно нулю)

Уровень интенсивности логарифмических деформаций при одинаковом обжатии бойками с различными уступами одинаков.

Проведено исследование влияния величины перекрытия бойков на уровень сдвиговых деформаций и интенсивности логарифмических деформаций. На рис. 4 приведены поля распределения этих деформаций в поперечном сечении заготовки при деформировании бойками с различной величиной перекрытия.

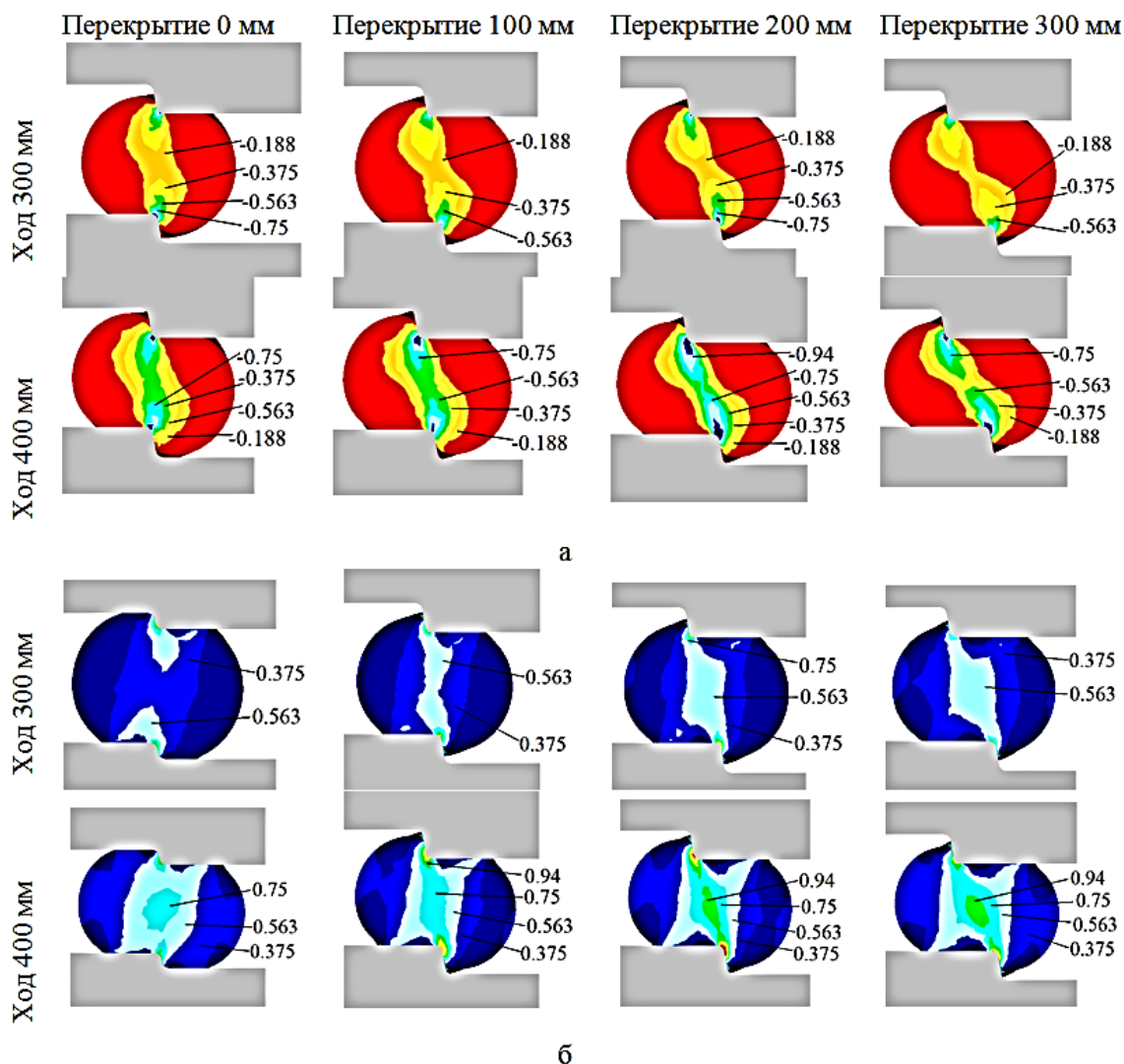


Рис. 4. Поля распределения деформаций сдвига (а) и интенсивности логарифмических деформаций (б) в поперечном сечении заготовки при деформировании бойками с различной величиной перекрытия (высота уступа бойка равна 200 мм)

Из рис. 4 видно, что увеличение перекрытия бойков от 0 до 300 мм не приводит к существенному росту уровня сдвиговых деформаций, а приводит только лишь к изменению формы очага сдвиговых деформаций. Поле интенсивности логарифмических деформаций изменяется несколько иначе. Так с увеличением перекрытия от нуля до 300 мм при обжатии 300 мм область наибольших деформаций со значением 0.563 также увеличивается, а при обжатии 400 мм наибольшая деформация при перекрытии 300 мм составляет 0.94, при нулевом перекрытии 0.75. В совокупности с тем, что уровень сдвиговой в поперечном сечении деформации не изменяется с увеличением перекрытия, а интенсивность деформаций возрастает, можно говорить о том, что течение металла становится более интенсивным в продольном направлении. Это объясняется наличием плоской площадки, образовавшейся между выступами верхнего и нижнего бойков.

Т. е. при одном и том же обжатии заготовки бойками с различным перекрытием, уков будет наименьший при использовании бойков с минимальным перекрытием.

Для обеспечения наилучшей проработки литого металла исходной заготовки и обеспечения минимальной неоднородности распределения деформаций в заготовке предложено, после обжима заготовки ступенчатыми бойками, произвести ее кантовку и дополнительный обжим заготовки ступенчатыми бойками. Проведено исследование влияния размеров бойков и величины их перекрытия на формоизменение заготовки. Заготовка обжималась бойками с уступом 100, 200 и 300 мм. Для бойков с уступом 200 мм рассматривали три перекрытия 100, 200 и 300 мм.

На рис. 5 показано сечение заготовки после обжатия ступенчатым бойком, ее кантовки и повторного обжатия ступенчатым бойком. Сечение заготовки имеет крестообразную форму, форму четырехлучевого слитка,ковка которого по традиционным схемам имеет определенные преимущества, заключающиеся в качественной проработке металла. Кроме того, поле распределения интенсивности логарифмических деформаций достаточно однородно по всему сечению заготовки (см. рис. 5).

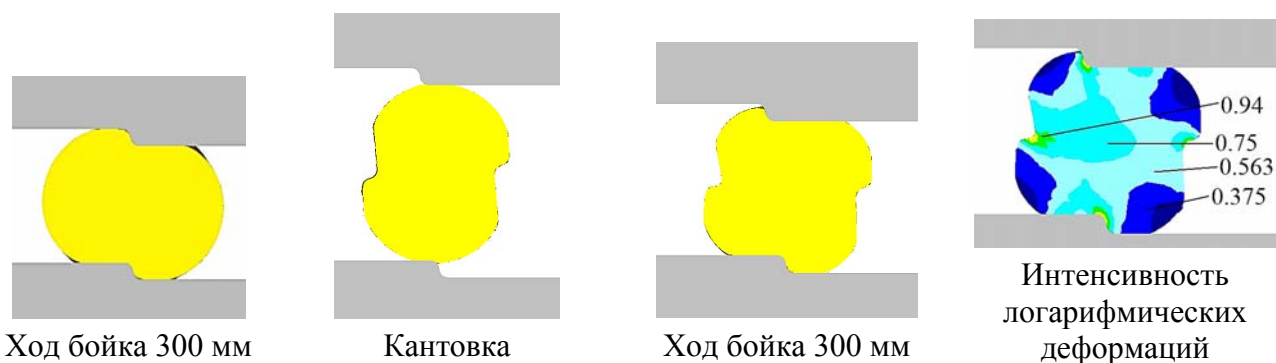


Рис. 5. Формоизменение поперечного сечения заготовки при деформировании со сдвигом ступенчатым бойком с нулевым перекрытием и высотой уступа 100 мм

На рис. 6 приведено формоизменение заготовки при ее ковке бойком с высотой уступа 300 мм. Видно, что после кантовки заготовки и ее обжатии образуется дефект, обозначенный на рис. 6 областью А, который заключается в деформировании части заготовки и образовании зажима, что не допустимо. Т. е. обжатие заготовки на данную величину не допускается.

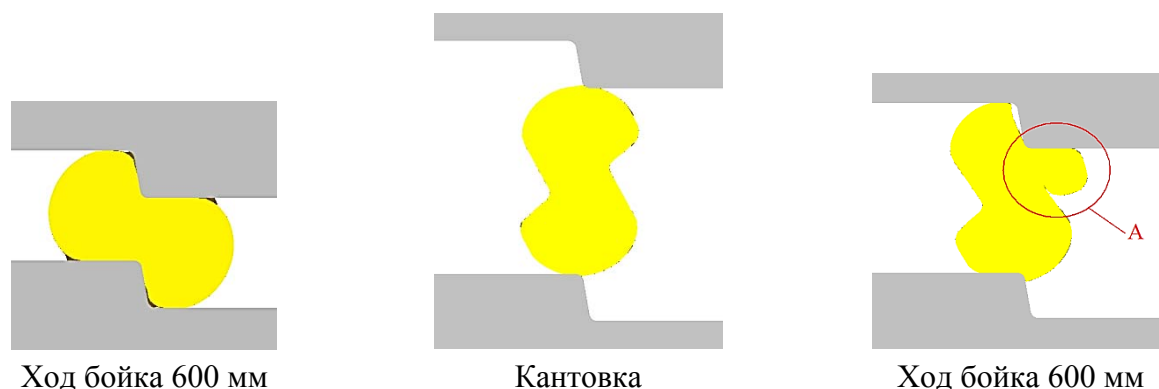


Рис. 6. Формоизменение поперечного сечения заготовки при деформировании ступенчатым бойком с нулевым перекрытием и высотой уступа 300 мм

На рис. 7 показаны результаты проведенного исследования влияния величины перекрытия между верхним и нижним бойками на формоизменение заготовки. Из рис. 7 видно, что при нулевом перекрытии заготовка после обжатия, кантовки и повторного обжатия имеет крестообразную форму, но в выделенной области А на заготовке начинает образовываться зажим, который при дальнейшей перековке заготовки в круглую трансформируется в поверхностный зажим, что приведет к неминуемому браку.

При увеличении перекрытия между бойками заготовка после второго обжатия принимает форму все более отдаленно похожую на форму четырехлучевой заготовки. Часть заготовки со стороны верхнего бойка практически не деформируется за счет большой площади контакта, преимущественная деформация сосредотачивается в нижней части заготовки. На боковой поверхности заготовки образуется зажим.

Таким образом, не рекомендуется проводить ковку заготовки по схеме «обжатие – кантовка – обжатие» при использовании ступенчатых бойков с положительным перекрытием.

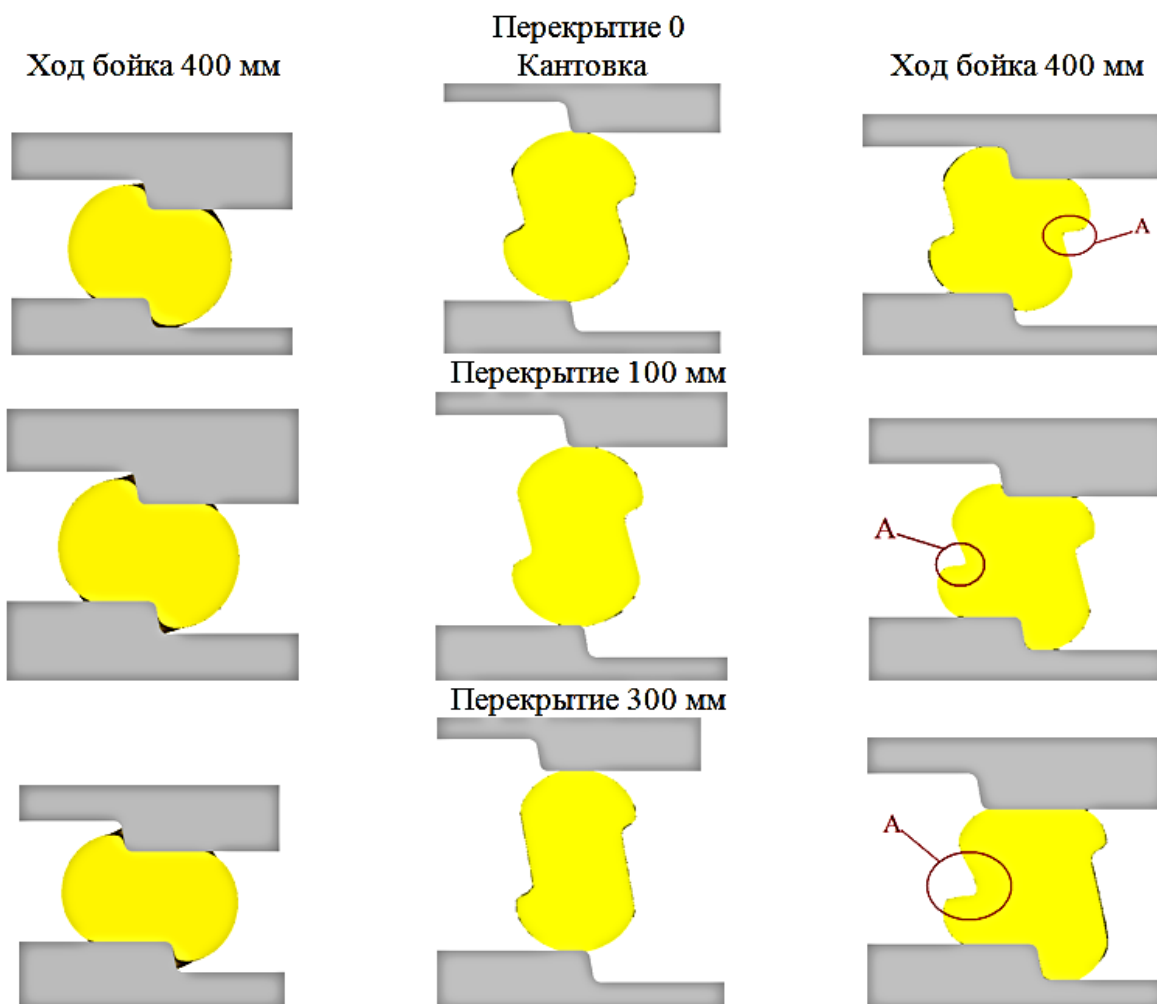


Рис. 7. Формоизменение поперечного сечения заготовки при деформировании ступенчатым бойком с различным перекрытием и высотой уступа 200 мм

### ВЫВОДЫ

На основе проведенного исследования можно заключить, что способ комбинированного пластического деформирования ступенчатыми бойками обеспечивает интенсивные деформации сдвига в заготовке. Установлено, что с увеличением высоты уступа бойков и хода обжатия уровень сдвиговой деформации в заготовке возрастает. При обжатии ступенчатыми бойками интенсивный сдвиг возникает не по всему сечению заготовки, а только по линии, проходящей через вершины уступов верхнего и нижнего бойков. Кроме того, установлено влияние величины перекрытия бойков на деформированное состояние заготовки, так увеличение перекрытия от 0 до 300 мм не оказывает влияния на уровень сдвиговых деформаций в заготовке, но при этом увеличивается интенсивность логарифмических деформаций, что говорит о более интенсивном течении металла заготовки в продольном направлении.

Проведено исследование процессаковки заготовки с кантовкой в ступенчатых бойках. Установлено, что на качество формоизменения влияет величина уступа бойка и обжатия заготовки. Так наиболее целесообразным, с точки зрения качественного формоизменения, являетсяковка заготовки бойком с уступом равным 100 мм, ходом обжатия 300 мм. При большем обжатии бойками с большим уступом в поперечном сечении заготовки наблюдается дефект в виде зажима. Также установлено, что наличие перекрытия в бойках негативно влияет на качество формоизменения заготовки при ее обжатии после кантовки, т. е. необходимо обеспечивать его минимальное значение.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Experimental and numerical study of ECAE deformation of polyolefins* / B. Aour, F. Zairi, R. Boulahia, M. Nait-Abdelaziz, J. M. Gloaguen, J. M. Lefebvre // *Computational Materials Science. Proceedings of the 17th International Workshop on Computational Mechanics of Materials – IWCM-17.* – 2009. – Vol. 45. – № 3. – P. 646–652.
2. Кулагин Р. Ю. Моделирование процесса винтовой экструзии / Р. Ю. Кулагин, Я. Е. Бейгельзимер, А. П. Лаптев // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 2(27). – С. 19–22.*
3. Сегал В. М. Технологические особенностиковки-протяжки с продольным сдвигом бойков / В. М. Сегал, В. И. Резников, Д. А. Павлик // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1980. – № 1. – С. 8–10.
4. А. с. 442878 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Кузнечный инструмент / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, С. Д. Баранов (СССР). – № 1623639 ; заявлено 01.03.71 ; опубл. 15.09.74, Бюл. № 34.
5. Охрименко Я. М. Повышение эффективности и качества работы в кузнечном производстве / Я. М. Охрименко // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1977. – № 8. – С. 2–7.
6. Тюрин В. А. Разновидности процессов кузнечной протяжки / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением.* – 2009. – № 9. – С. 5–9.
7. Ковка поковок прямоугольного сечения и заготовок штамповых кубиков / А. Б. Назайбеков, А. В. Котелкин, В. А. Петров, В. К. Воронцов, Б. О. Темкин, В. Ф. Касатонов // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1990. – № 10. – С. 4–6.
8. Алиев И. С. Протяжка заготовок с дополнительными сдвиговыми деформациями / И. С. Алиев, Я. Г. Жбанков, Л. В. Таган // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением.* – 2012. – № 7. – С. 18–24.
9. Aliiev I. S. Strong shear deformations in billet during heavy forging by special anvils / I. S. Aliiev, I. G. Zhbankov, L. V. Taghan // *XIII International scientific conference. New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering.* – Czestochowa, 2012. – P. 348–355.
10. Пат. 82189 Украина, МПК В21 J 1/04. Спосіб пластичного деформування виробів / Алієва Л. І., Деревенько І. А., Жбанков Я. Г., Таган Л. В. ; власник Донбаська державна машинобудівна академія. – № и 201301279 ; заявл. 04.02.2013 ; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14. – 3 с.

Алиева Л. И. – канд. техн. наук, доц., докторант каф. ОМД ДГМА;

Жбанков Я. Г. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОМД ДГМА;

Маркова М. А. – аспирант ДГМА;

Таган Л. В. – аспирант ДГМА.

ДГМА - Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: [omd@dgma.donetsk.ua](mailto:omd@dgma.donetsk.ua)

Статья поступила в редакцию 29.07.2013 г.