

УДК 621.735.3

Алиев И.С., д.т.н., проф., Жбанков Я.Г., к.т.н., Таган Л.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ КУЗНЕЧНОЙ ПРОТЯЖКИ В КОМБИНИРОВАННЫХ БОЙКАХ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ФОРМЫ

Aliiev I., Zhbankov I., Tahan L.

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine (www.dgma.donetsk.ua)

MODELING OF FORGING PROCESS IN ASYMMETRIC COMBINED ANVILS

Проведен анализ научных работ в областиковки, из которого установлена положительная роль деформаций сдвига на размер зерна в поковке и как следствие уровень ее механических свойств. Методом конечных элементов проведено моделирование процесса обжатия заготовки в комбинированных бойках. Установлено напряженно-деформированное состояние заготовки при ее ковке комбинированными бойками различного размера. Определено влияние геометрических параметров комбинированных бойков на уровень деформаций сдвига в заготовке. Даны рекомендации по назначению режимаковки и размеров комбинированных бойков, которые обеспечивают высокий уровень сдвиговых деформаций в поперечном сечении заготовки.

Ключевые слова: ковка, протяжка, деформация, сдвиг, метод конечных элементов, бойки, режим.

Введение

Обеспечение высокого уровня механических свойств поковок является актуальной проблемой металлообрабатывающих предприятий как в Украины, так и за рубежом. Об этом свидетельствует множество различных работ посвященных поиску рациональных режимовковки и оптимальной геометрии инструмента, позволяющих получать высококачественные поковки [1-3]. Одним из путей решения данной проблемы является применения новых способовковки, обеспечивающих получение высокой степени деформации в заготовке и соответственно проработку литой структуры металла заготовки [4].

Процессковки крупных поковок осуществляется при высоких температурах, превышающих температуры рекристаллизации. В процессековки зерна в заготовке дробятся, уменьшается их размер и они вытягиваются в направлении преимущественного течения металла. Наряду с дроблением зерен металла заготовки происходит и их рост, за счет рекристаллизации. Известно, что при некоторой сравнительно малой деформации создается относительно небольшая плотность дислокаций в основном по границам зерен [5]. Эта деформация при полном протекании процесса рекристаллизации обеспечивает преимущественное развитие процесса роста зерен по механизму их слияния, что при завершенности процесса приводит к очень сильному их росту. Такая степень деформации называется критической и ее следует избегать при горячей обработке давлением. При степени деформации выше критической плотность дефектов такова, что механизм слияния зерен затруднен. Рост зерен происходит в результате миграции границ, что при прочих равных условиях дает более мелкое зерно чем то, которое получается в процессе слияния зерен [5]. Таким образом, с увеличением роста степени деформации металла при горячей обработке давлением уменьшается размер зерна поковки послековки, даже при полном протекании процесса рекристаллизации.

При деформировании металла на дробление зерен имеет большое влияние макросдвиговая деформация. В своей работе, посвященной исследованию механизма пластического деформирования с макросдвигами, В.А. Тюрин определил, что положительная роль макросдвигов в деформационной проработке структуры заключается в появлении микролиний скольжения (микросдвигов) в большом количестве зерен с различной кристаллографической ориентировкой, для которых границы зерен не являются препятствием [6]. Подобные изменения в микроструктуре металла способствуют измельчению зерен и положительно влияют на уровень механических свойств и могут быть достигнуты путем использования новых схемковки, обеспечивающих высокий уровень сдвиговых деформаций в заготовке. Исследованию таких схем посвящены работы таких авторов, как Тюрин В.А., Охрименко Я.М., А.Б. Найзабеков, В.Н. Воронцов, М.С. Экарев, Ж.А. Ашкеев, В.И. Залесский, В.М. Сегал, Д.А. Павлик и др. [7-9].

Большая часть способовковки, обеспечивающих высокий уровень макросдвигов, основана на использовании бойков специальной несимметричной формы. Такой инструмент способствует течению металла с преобладающим сдвигом в объеме заготовки. Одной из таких схем инструмента является схема комбинированных бойков, при этом нижний боек имеет несимметричный вырез, а верхний боек выполнен со

скосом. Такая конструкция была предложена А.В. Котелкиным и В.А. Петровым в 1979 году [10], однако исследований по оценке влияния размеров этих бойков на деформационные параметры не проводилось, что затрудняет внедрение инструмента в производство поковок, получаемых с применением операции протяжки.

Цель

Целью данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния заготовки в процессековки комбинированными несимметричными бойками и определение их размеров, обеспечивающих высокий уровень сдвиговых деформаций.

Исследование

Методом конечных элементов проведено моделированиековки цилиндрической заготовки протяжкой в комбинированных бойках различной конфигурации (рис. 1). Диаметр исходной заготовки 1000 мм, ширина бойков 1000 мм. Относительная подача при моделировании принималась равной 1. Материал заготовки сталь 35, начальная температура заготовки 1100°С, инструмента 20°С. Коэффициент теплоотдачи 5 Вт/м²·°С. Коэффициент трения по закону пластического трения Зибеля 0.35, скорость движения бойка 10 мм/с. Размеры инструмента принимались следующие: $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 65^\circ..85^\circ$, $\gamma = 0^\circ..20^\circ$.

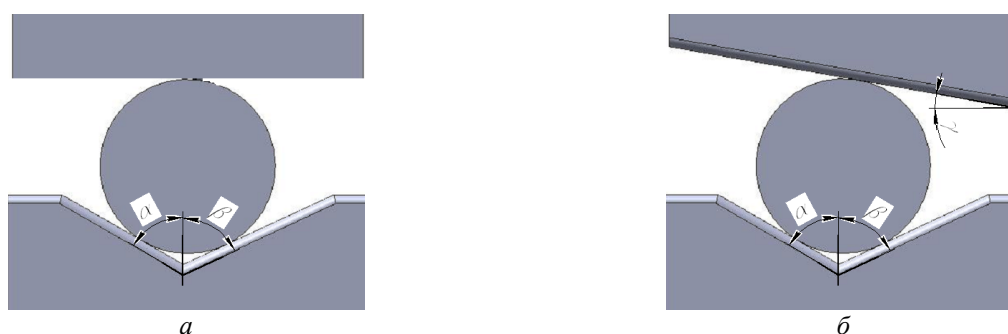


Рис. 1. Схема протяжки цилиндрической заготовки комбинированными бойками (нижний боек вырезной несимметричный верхний плоский (а), скошенный (б))

На рис. 2 приведены поля распределения интенсивности и сдвиговых логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки при протяжке комбинированными бойками по ходу обжатия. Установлено, что область наибольшей интенсивности деформаций сосредоточена в центре заготовки, область малых деформаций находится в вершине выреза нижнего бойка. Зона наибольших сдвиговых деформаций несколько смещена от центра заготовки к верхнему плоскому бойку и в целом по заготовке сдвиговые деформации распространены равномерно. Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что вначале внедрения бойка в заготовку сдвиговые деформации сосредоточены локально в верхней части заготовки, но уже при обжатии на 200 мм, что соответствует относительному обжатию 20%, в заготовке появляется область сдвиговых деформаций, имеющая достаточно большую площадь и проходит через центр заготовки.

В виду сложности визуального определения схемыковки обеспечивающей в заготовке наибольший уровень сдвиговых деформаций, определялась средневзвешенная сдвиговая деформация в сечении заготовки по следующей формуле:

$$\langle \gamma_{xy} \rangle = \frac{\sum (|\gamma_{xyi}| \cdot F_i)}{\sum (F_i)},$$

где $|\gamma_{xyi}|$ - величина сдвиговой деформации i -ой области заготовки по модулю, F_i - площадь области заготовки с величиной сдвиговых деформаций γ_{xyi} .

Установлено, что по ходу обжатия заготовки в вырезном несимметричном бойке верхним плоским бойком, величина средневзвешенной сдвиговой логарифмической деформации увеличивается от 0.04 при обжатии 100 мм до 0.127 при обжатии 300 мм.

Из этого следует, что для обеспечения высокого уровня сдвиговых деформаций в заготовке, и как следствие более высокого уровня механических свойств поковки, меньшей величины их анизотропии, ковку следует вести с обжатиями не менее 20%.

Проведено моделированиековки в нижнем вырезном бойке с различными углами выреза $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 65^\circ..85^\circ$. Установлено, что наибольшая величина средневзвешенной сдвиговой логарифмической деформации $\langle \gamma_{xy} \rangle$, наблюдается в заготовке, обжатой в вырезном бойке с углами $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 65^\circ$ и составляет 0.16 при обжатии 300 мм (рис. 3).

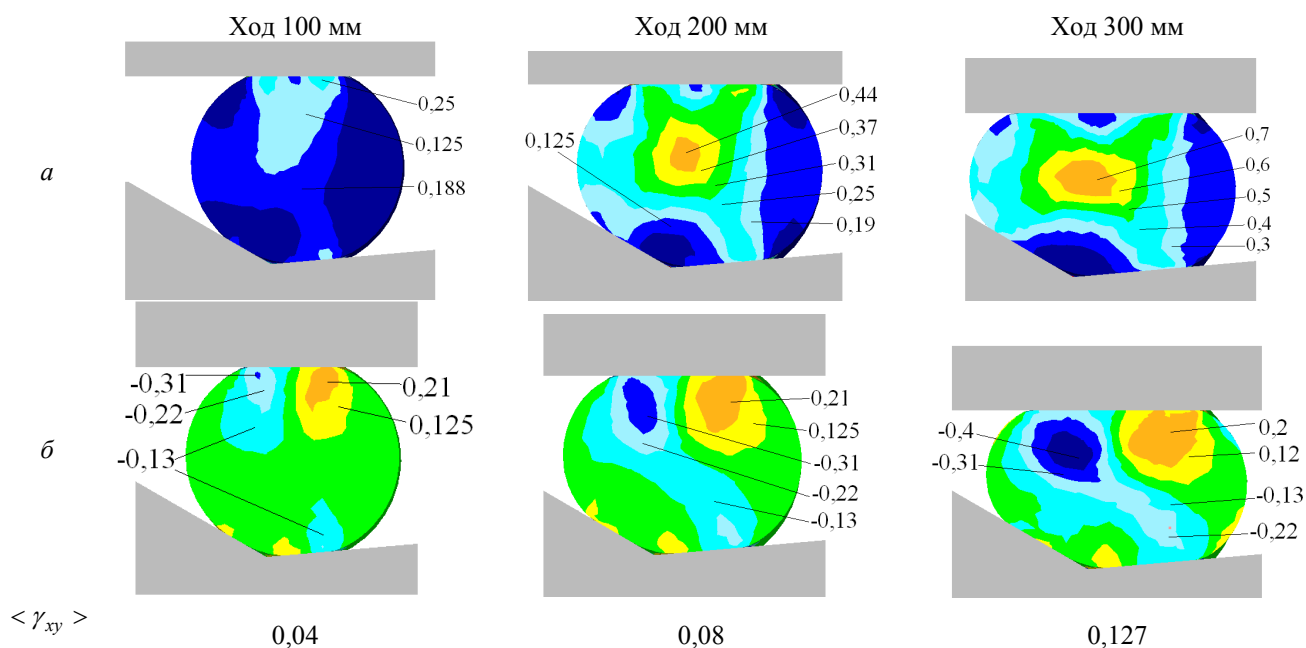


Рис. 2. Распределение интенсивности (а) и сдвиговых (б) логарифмических деформаций γ_{xy} по поперечному сечению заготовки при протяжке верхним плоским и нижним несимметричным вырезным бойками ($\alpha = 60$, $\beta = 85$)

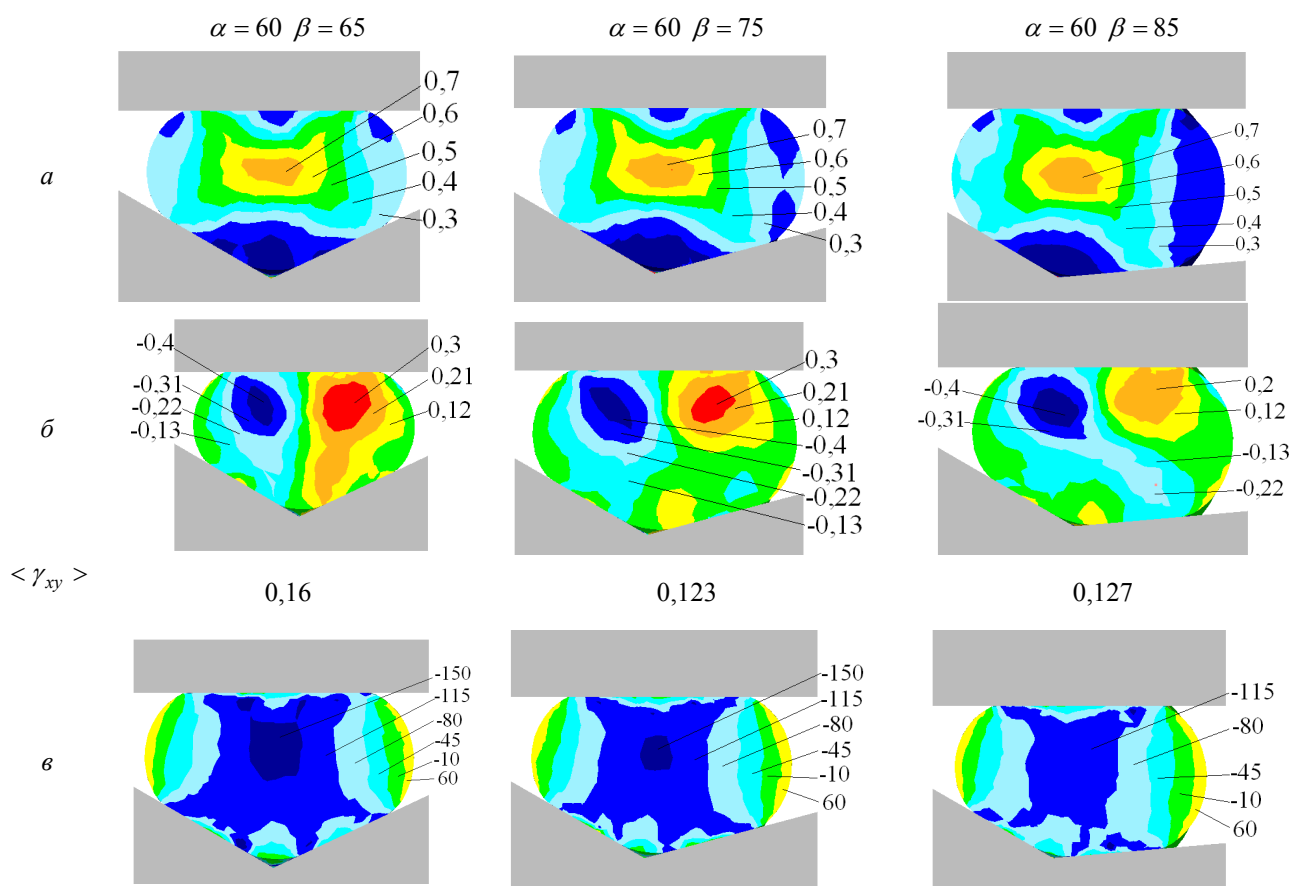


Рис. 3. Поля распределения интенсивности (а), сдвиговых (б) логарифмических деформаций и средних напряжений МПа (в) по поперечному сечению заготовки при протяжке верхним плоским и нижним несимметричным вырезными бойками (ход 300 мм)

Для бойков с углами $\alpha = 60$ $\beta = 75$ и $\alpha = 60$ $\beta = 85$ она составила 0,123 и 0,127 соответственно. Это говорит о том, что увеличении асимметрии выреза нижнего бойка при обжатии верхним плоским бойком не приводит к увеличению уровня сдвиговых деформаций в заготовке. При этом величина интенсивности логарифмических деформаций одинакова в рассматриваемых схемах и увеличение угла β приводит к

появленню на боковій поверхні заготовки зони низких деформацій. Середні напруження в основному в поперечному сеченні заготовки мають отрицательне значення, що говорить о том, що металл в заготовке отримує всестороннє стиснення, підвищує пластичність металла і сприяє завариванню внутрішніх дефектів заготовки. Исследования показали, що з збільшенням кута β в заготовке рівень середніх напружень зменшується, так при $\beta = 65$ максимальні середні напруження досягають -150 МПа, а при $\beta = 85$ вони становлять -115 МПа.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану заготовки при її ковкe верхнім бойком со скосом і нижнім несиметричним вирізним бойком (рис. 1 б). Результати моделювання представлені в виді полів розподілення середніх напружень, інтенсивності логарифмічних деформацій і сдвигових деформацій і приведені в таблиці 1.

Верхній боек со скосом $\gamma = 10^\circ$ в напрямленні кута α . При обжатті заготовки бойками по схемі, приведенної на рис. 1 б, можна помітити, що з збільшенням кута β рівень сдвигових деформацій в заготовке росте. Сдвигові деформації переважно одного знака і з збільшенням кута β от 65 до 85 градусів середньозважена сдвигова деформація збільшується от 0.17 до 0.186. При цьому інтенсивність логарифмічних деформацій знаходиться на одному рівні, а середні напруження незначительно зменшуються.

Таблиця 1

Результати математического моделювання процесу протяжки циліндричної заготовки комбінованими несиметричними бойками при обжатті 300 мм

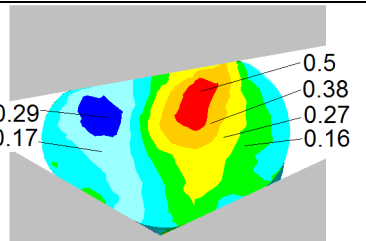
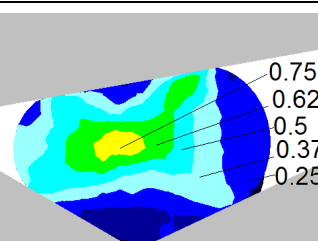
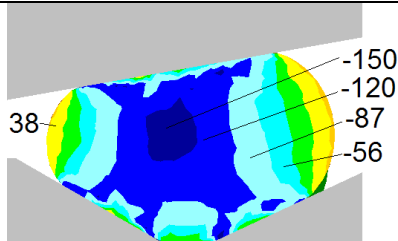
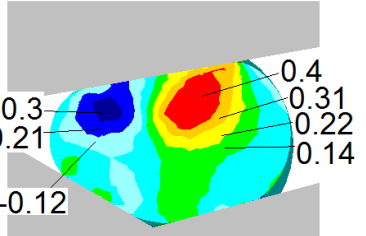
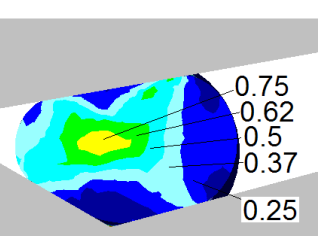
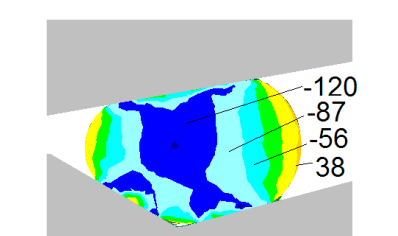
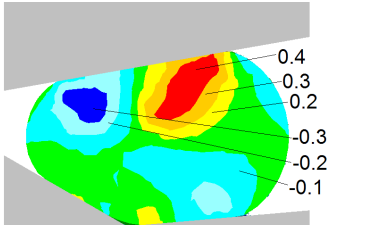
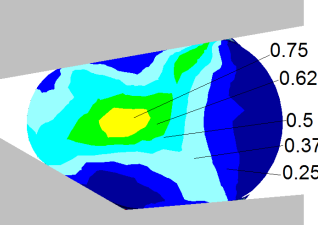
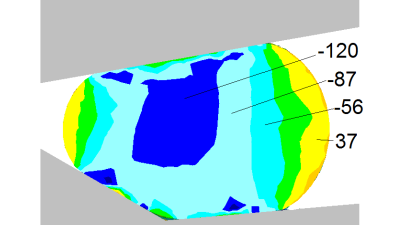
	γ_{xy}	$\dot{\epsilon}_i$	σ_{cp} , МПа
$\alpha = 60$ $\beta = 65$ $\gamma = 10$			
$\alpha = 60$ $\beta = 75$ $\gamma = 10$			
$\alpha = 60$ $\beta = 85$ $\gamma = 10$			

В таблиці 2 приведені результати моделювання обжаття заготовки вирізними бойками в случаетога $\beta = 60$, а $\alpha = 65..85$. Результати моделювання дозволяють зробити висновок о том, що з збільшенням кута скоса α рівень сдвигових деформацій зменшується. Это объясняется збільшенням зазора между верхнім і нижнім бойками со стороны кута α нижнього бойка. Средньозважена сдвигова деформація зменшується от 0.177 до 0.115 при збільшенні кута α от 65 до 85 градусів. В заготовке, на боковій поверхні при большом значенні кута α , з'являється зона затруднених деформацій і знизється рівень середніх напружень. Использование данної схеми ковкы нецелесообразно для обеспечения высокого уровня сдвигових деформацій в заготовке.

В таблиці 3 приведені поля розподілення сдвигових деформацій по сеченні заготовки при різних кутах скоса верхнього бойка і кутах виріза нижнього бойка. Данні поля були оброблені і розраховані для кожної из схем середньозважена сдвигова логарифмічна деформація і побудована графіческая зависимость величини середньозваженої сдвигової деформації от кута скоса верхнього бойка γ і кута виріза нижнього β (рис. 4).

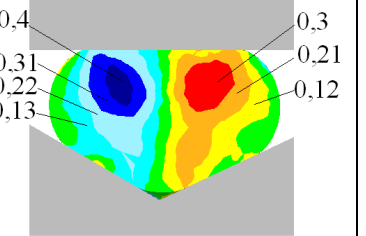
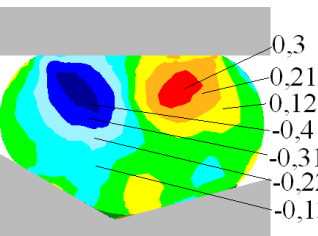
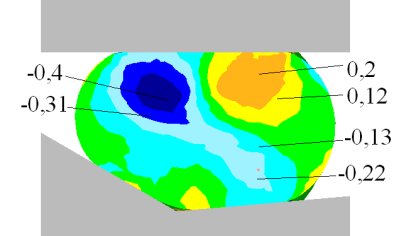
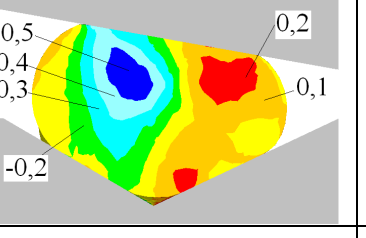
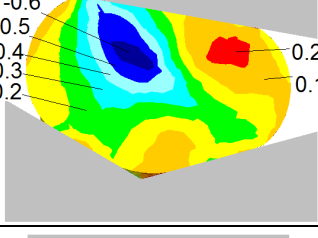
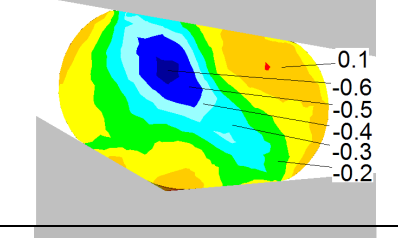
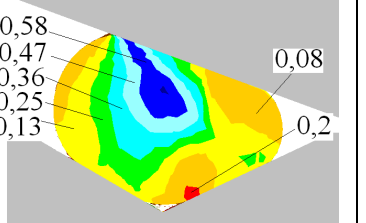
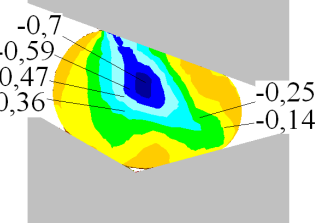
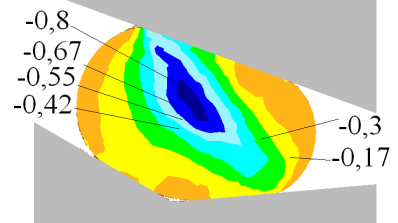
Таблиця 2

Результаты математического моделирования процесса протяжки цилиндрической заготовки комбинированными несимметричными бойками при обжатии 300 мм

	γ_{xy}	$\dot{\epsilon}_i$	σ_{cp} , МПа
$\beta = 60$ $\alpha = 65$ $\gamma = 10$			
$\beta = 60$ $\alpha = 75$ $\gamma = 10$			
$\beta = 60$ $\alpha = 85$ $\gamma = 10$			

Таблиця 3

Поля распределения сдвиговых деформаций по сечению заготовки при ковке вырезными бойками (верхний плоский и со скосом, нижний несимметричный вырезной) при обжатии 300 мм

	$\alpha = 60 \beta = 65$	$\alpha = 60 \beta = 75$	$\alpha = 60 \beta = 85$
$\gamma = 0$			
$\gamma = 10$			
$\gamma = 20$			

Анализ полученной зависимости позволяет сделать вывод о том, что угол выреза нижнего бойка имеет незначительное влияние на величину средневзвешенной сдвиговой деформации. С увеличением угла выреза нижнего бойка, величина зон больших сдвиговых деформаций в среднем по сечению заготовки уменьшается, при использовании верхнего бойка с малым скосом до 10 градусов. При увеличении угла скоса верхнего бойка от 10 до 20 градусов увеличение угла выреза нижнего бойка способствует увеличению средневзвешенной сдвиговой деформации. Средневзвешенная сдвиговая деформация в поперечном сечении заготовки увеличивается от 0,12 до 0,26 при увеличении угла скоса верхнего бойка от 0 до 20 градусов при протяжке в вырезных бойках с углом $\beta = 75...85^{\circ}$.

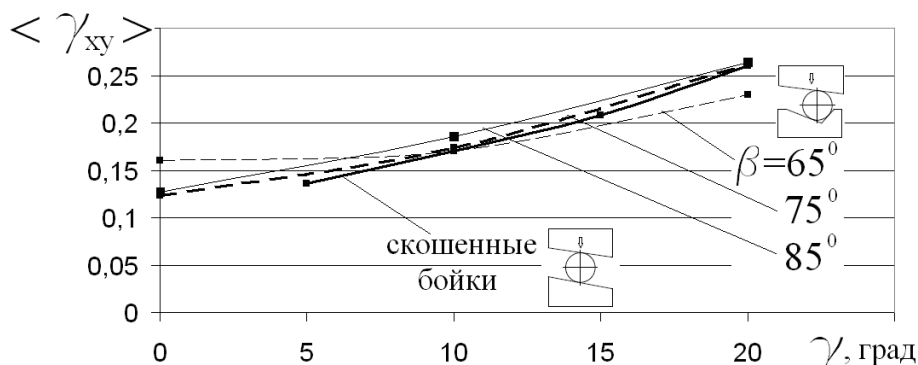


Рис. 4. Графическая зависимость величины средневзвешенной логарифмической сдвиговой деформации от параметров инструмента при обжатии цилиндрической заготовки (обжатие 300 мм)

Это позволяет рекомендовать использование комбинированных бойков с верхним бойком со скосом от 10 до 20 градусов и нижним вырезным с углом $\beta = 75...85^{\circ}$.

Проведено сравнение средневзвешенной сдвиговой деформации в поперечном сечении заготовки при протяжке комбинированными бойками и скошенными бойками (см. рис. 4). Установлено, что уровень деформаций отличается не значительно, однако схемаковки в комбинированных бойках предпочтительней с точки зрения напряженного состояния заготовки при протяжке.

Выводы

Установлено, что при внедрении верхнего бойка в цилиндрическую заготовку сдвиговые деформации сосредоточены локально в верхней части заготовки, но уже при обжатии на 20%, в заготовке появляется область сдвиговых деформаций, имеющая достаточно большую площадь и проходит через центр заготовки. Ковка заготовки нижним вырезным несимметричным с большим углом α и верхним скошенным в плане бойками является нецелесообразным из-за низкого уровня сдвиговых деформаций, которые она обеспечивает. Предпочтительной является ковка в нижнем несимметричном бойке с большим углом β .

Угол выреза нижнего бойка, при использовании верхнего плоского бойка, имеет незначительное влияние на величину средневзвешенной сдвиговой деформации. Средневзвешенная сдвиговая деформация в поперечном сечении заготовки увеличивается от 0,12 до 0,26 при увеличении угла скоса верхнего бойка от 0 до 20 градусов при протяжке в вырезных бойках с углом $\beta = 75...85^{\circ}$.

Уровень сдвиговых деформаций в заготовке при ковке комбинированными бойками и бойками со скосом отличается незначительно, однако более благоприятное напряженное состояние заготовки обеспечивается при ковке комбинированными бойками.

Таким образом, можно рекомендовать ковку комбинированными верхним скошенным и нижним вырезным несимметричным бойками. Причем угол скоса верхнего бойка должен находиться в пределах 10..20 градусов, угол β вырезного бойка в пределах 75..85 градусов, при этом ковка должна вестись с единичными обжатиями не менее 20% от диаметра заготовки.

Анотація. Проведений аналіз наукових робіт в області кування, із якого встановлена позитивна роль деформацій зсуву на розмір зерен в поковці і як наслідок рівень її механічних властивостей. Методом скінчених елементів проведено моделювання процесу обтиску заготовки в комбінованих бойках. Встановлено напружено-деформований стан заготовки при її куванні комбінованими бойками різного розміру. Визначено вплив геометричних параметрів комбінованих бойків на рівень деформацій зсуву в заготовці. Дано рекомендації по призначенню режиму кування і розмірів комбінованих бойків, що забезпечують високий рівень деформацій зсуву в поперечному перерізі заготовки.

Ключові слова: кування, протягування, деформація, зсув, метод скінчених елементів, бойки, режим.

Abstract. Purpose. The aim of this paper is in investigation of strain-stress state of billet during the forging by asymmetric anvils and determining of them dimensions which provide high level of shear deformations.

Design/methodology/approach. Researches were made by the finite element method. Boundary conditions are the next. Diameter of billet 1000 mm, width of anvils 1000 mm. Relative feed is one. Material of billet is steel with carbon content 0.35%, initial temperature of billet is 1100 °C, of instrument is 20 °C. Heat transfer coefficient is 5 W/m² °C. Friction coefficient by Zibel law is 0.35, speed of anvils move is 10 mm/sec.

Findings. It is determined influence of tools geometric parameters in forging processes upon to level of shear deformations in billet.

Originality/value. The recommendations of determining the tools parameters and regime of forging process which are provide a high level of shear deformations in billet were given.

Keywords: forging, deformation, shear, finite element method, anvils, regime.

Библиографический список использованной литературы

1. *Kun Chen* Strain function analysis method for void closure in the forging process of the large-sized steel ingot / Kun Chen, Yitao Yang, Guangjie Shao, Kejia Liu // *Computational Materials Science*, 2012, №51, pp. 72–77
2. *Banaszek G.* Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging / G. Banaszek, A. Stefanik // *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, №177, pp. 238–242
3. *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, pp. 32–41
4. *Алиев И.С.* Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций / И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков, О.Е. Марков, С.А. Близнюк // *Обработка металлов давлением: Сборник научных трудов – Краматорск: ДГМА, №3(24), 2010 – С. 64-68.*
5. *Гуляев А.П.* *Металловедение* / А.П. Гуляев. - М.: *Металлургия*. – 1986 г. – 544 с.
6. *Тюрин В.А.* Механизм пластического деформирования с макросдвигами / В.А. Тюрин // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1998, № 12 – С. 36-39.
7. *Найзабеков А.Б.* Роль сдвиговых деформаций в закрытии внутренних дефектов / А.Б. Найзабеков, Ж.А. Ашкеев, С.Н. Лежков // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1999, № 10 – С. 20-22.
8. *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.
9. *Охрименко Я.М.* Повышение эффективности и качества работы в кузнечном производстве / Я.М. Охрименко // *Кузнечно-штамповочное производство*, 1977, №8 – С. 2-7
10. *Комбинированные бойки:* А.с. 774756 СССР, МКИ В 21 J 13/22. / А.В. Котелкин, В.А. Петров (СССР). - № 2715513; Заявлено 23.01.79; Опубл. 30.10.80, Бюл. №40.

References

1. *Kun Chen*, Yitao Yang, Guangjie Shao, Kejia Liu. Strain function analysis method for void closure in the forging process of the large-sized steel ingot. *Computational Materials Science*, 2012, No.51, pp. 72–77
2. *Banaszek G., A. Stefanik.* Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging. *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, No.177, pp. 238–242
3. *Park C.Y., D.Y. Yang* A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, no.72, pp. 32–41
4. *Aliev I.S., Ja.G. Zhbankov, O.E. Markov, S.A. Bliznjuk.* Vlijanie operacii vyvorota pokovki konicheskimi plitami na raspredelenie deformacij. *Obrabotka metallov davleniem: Sbornik nauchnyh trudov. Kramatorsk: DGMA, No. 3(24), 2010 – pp. 64-68.*
5. *Guljaev A.P.* *Metallovedenie.* Moscow: *Metallurgija*. 1986. 544 p.
6. *Tjurin V.A.* Mehanizm plasticheskogo deformirovanija s makrosdvigami. *Izvestija vuzov. Chernaja metallurgija*, 1998, No.12 pp. 36-39.
7. *Najzabekov A.B., Zh.A. Ashkeev, S.N. Lezhkov* Rol' sdvigovyh deformacij v zakrytii vnutrennih defektov. *Izvestija vuzov. Chernaja metallurgija*, 1999, no.1.0 pp. 20-22.
8. *Segal V.M., V.I. Reznikov, D.A. Pavlik* Tehnologicheskie osobennosti kovki-protjazhki s prodol'nym sdvigom bojkov. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*, 1980, No. 1. pp. 8-10.
9. *Ohrimenko Ja.M.* Povyshenie jeffektivnosti i kachestva raboty v kuznechnom proizvodstve. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*, 1977, no.8. pp. 2-7
10. *Kotelkin A.V., Petrov V.A.* (SSSR). *Kombinirovannye bojki:* A.s. 774756 SSSR, MКИ В 21 J 13/22. No. 2715513; Zajavleno 23.01.79; Opubl. 30.10.80, Bjul. No.40.

Подана до редакції 12.12.2012