

обеспечивающая меньшую неравномерность износа опорных валков. В качестве самостоятельного дополнительного канала воздействия на плоскостность полосы предложено устройство регулирования формы полосы.

Библиографический список

1. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос. – М.: Металлургия, 1971. – 200 с.
2. Николаев В.А., Путники А.Ю. Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах. – Запорожье: Дикое поле, 2011. – 180 с.
3. Ганжин В.Г., Киселев Ю.А. Технология XXI века. Перспективы России // Национальная металлургия. – 2003. - № 12. – С. 50-66.
4. Николаев В.А. Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2007. - № 2. – С. 34-37.

5. Николаев В.А. Прогиб опорного валка четырёхвалковой клетки с учётом опорного момента // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2001. - № 9. - С. 18-19.

6. Пат. № 69571 України на корисну модель, В 21 В27/00. Комплект подушек валков листопрокатної кліті / Ніколаєв В.О., Ніколаєв О.В., Ніколенко А.Г., Мацко С.Г., Васильєв А.О., Васильєв О.Г.; заяв. і патентовласник Ніколаєв В.О., Ніколаєв О.В., Ніколенко А.Г., Мацко С.Г., Васильєв А.О., Васильєв О.Г.; заявл. 10.05.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

7. Николаев В.А., Жученко С.В. Регулирование плоскостности полос при холодной прокатке роликовыми устройствами // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2011. - № 7. – С. 235-237.

Поступила 15.10.2012

УДК 621.735.3

Жбанков Я.Г. /к.т.н./
ДГМА

Наука

Интенсификация сдвиговых деформаций при ковке заготовок с неоднородным температурным полем

Предложен новый способковки заготовок с неоднородным температурным полем, позволяющий повысить в заготовке уровень сдвиговых деформаций. Методом конечных элементов проведено моделирование процесса охлаждения заготовки, с различными условиями для получения неоднородного температурного поля специальной формы в поперечном сечении заготовки. Проведено моделированиековки заготовки с неоднородным температурным полем плоскими бойками. Установлено влияние размеров температурного поля и перепада температур на напряженно-деформированное состояние заготовки и определена величина низкотемпературной зоны и угол кантовки заготовки в плоских бойках после охлаждения. Ил. 7. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: *протяжка, ковка, метод конечных элементов, моделирование, интенсивность деформаций, сдвиговые деформации неоднородное температурное поле*

The new scheme of billets forging with inhomogeneous temperature field allowing to increase the level of shear strain in the billet is offered. Modeling of the process of billet cooling with different conditions for obtaining non-homogeneous temperature field of special shape in the billet cross section is performed by finite elements method. The simulation of billets forging with non-uniform temperature field with flat dies was performed. The influence of temperature field and temperature differences on stress condition of the billet is observed. The value of low temperature zone and tilting angle of the billet in the flat dies after cooling are determined. They provide the highest level of shear strain.

Keywords: *drawing, forging, finite elements method, simulation, deformation intensity, shear strain, nonhomogeneous temperature field*

Обеспечение интенсивных сдвиговых деформаций в заготовке при обработке металлов давлением позволяет получать высокие механические свойства конечного изделия. При ковке крупных поковок, интенсивных сдвиговых деформаций можно достигать на основековки в инструменте специальной формы

[1]. Так, сдвиговые деформации в заготовке достигаются протяжкой в бойках с дополнительным продольным смещением [2], ковкой в комбинированных и вырезных бойках несимметричной формы [3], ковкой в скрещивающихся бойках [4] и протяжкой с продольным смещением заготовки [5]. Кроме этого

известна ковка инструментом с непрямолинейным фронтом подачи [6]. Рассмотренные выше способыковки позволяют управлять течением металла заготовки и достигать интенсивных сдвиговых деформаций (сдвиговых деформаций большой величины) за счет использования инструмента специальной формы.

Управлять течением металла в процессековки можно температурным полем заготовки [7]. В [8] отмечено, что при протяжке поле температур в заготовке в значительной мере влияет на структуру очага деформации заготовки и как следствие позволяет получать различное распределение деформаций. Они исследовали процессковки основной, которого является то, что при охлаждении нагретой заготовки образуется наружный слой металла с более высокими характеристиками прочности, чем в осевой зоне заготовки. При соблюдении определенных температур во внешних и внутренних слоях заготовки, обеспечении определенной толщины охлажденного слоя металла, достигаются благоприятные условия напряженного состояния металла, в осевой зоне удачно сочетающиеся с сосредоточением в ней наибольших деформаций при ковке.

Ковка заготовок с неоднородным температурным полем не требует изготовления специального инструмента и может осуществляться в обычных кузнечных бойках, что является большим преимуществом, и требует определенной оценки ее эффективности.

Целью данной работы является исследование влияния неоднородности распределения температур по сечению заготовки на течение металла при ковке обычными плоскими бойками и его напряженно-деформированное состояние.

Рассмотрен способковки заготовок с неоднородным температурным полем (рис. 1), который заключается в том, что нагретая заготовка перед ковкой плоскими бойками охлаждается с двух сторон таким образом, чтобы в заготовке возникало неоднородное температурное поле с низкотемпературными зонами, занимающими определенный сегмент поперечного сечения заготовки с углом β , расположенными симметрично друг относительно друга в поперечном сечении заготовки. После охлаждения поверхности заготовки до определенной температуры ее устанавливают на плоские бойки таким образом, чтобы образовался угол α между плоской поверхностью бойков и внутренней границей низкотемпературной зоны заготовки, после чего начинается обжатие заготовки плоскими бойками.

Методом конечных элементов, в программе Deform 3D, проведено моделирование деформирования заготовки с неоднородным температурным полем. Моделирование проводилось в несколько этапов. На первом этапе моделировалось охлаждение цилиндрической заготовки диаметром 1000 мм из стали 35 с начальной температурой 1100 °С с двух сторон, для получения неоднородного в поперечном сечении температурного поля. При моделировании охлаждение производилось контактом заготовки с инструментом

различной температуры 400 и 600 °С на протяжении 1000 и 2000 с, в реальных условиях охлаждение может производиться каким-либо другим способом. Охлаждающий инструмент в форме бойка с вогнутой радиусной поверхностью (радиус бойка равен радиусу поперечного сечения заготовки) имел различную ширину и, контактируя с поверхностью заготовки, образовывал различный угол сегмента низкотемпературной зоны β , равный 30°, 60, 100 и 140°. Таким образом, моделировалась различная величина низкотемпературных зон заготовки и неравномерность распределения температур. В таблице приведены температурные поля заготовок, охлаждаемых различным временем инструментом различной температуры.

На втором этапе моделирования производилось деформирование заготовки с полученным неоднородным температурным полем. Как на первом, так и на втором этапе моделирования коэффициент теплоотдачи от заготовки инструменту задавался равным 5 Вт/(м²·°С), температура окружающей среды 20 °С.

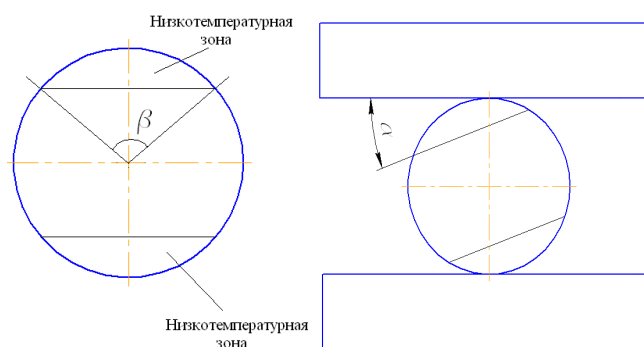


Рис. 1. Схемаковки с неоднородным температурным полем

Заготовка «укладывалась» в бойки шириной 700 мм таким образом, чтобы внутренняя граница низкотемпературной зоны заготовки образовала угол с рабочей поверхностью плоского бойка отличный от 0°. Угол α составлял 25°, 40, 60 и 80°. После этого производилось обжатие заготовки на 30 % от диаметра. Скорость движения деформирующего инструмента задавалась равной 15 мм/с, температура бойка 20 °С, коэффициент трения по закону Зибеля принимался равным 0,35.

По результатам моделирования деформирования заготовки получены поля распределения деформаций по ее поперечному сечению. Так, на рис. 2 приведены поля распределения сдвиговых деформаций в поперечном сечении заготовки после ее кантовки на 25°, 40, 60 и 80° и обжатия плоскими бойками на 300 мм. Анализ полей распределения сдвиговых деформаций по поперечному сечению заготовки позволяет сделать заключение о том, что данный способковки позволяет повысить уровень сдвиговых деформаций в заготовке, причем область наибольших сдвиговых деформаций локализуется по диагонали заготовки. Установлено, что наиболее оптимальными с точки зрения наибольших сдвиговых деформаций, возникающих в поперечном сечении заготовки, являются угол β равный 60-100° с углом кантовки заготовки $\alpha = 60^\circ$.

Таблица. Температурное поле заготовок, охлажденных при различных условиях (а – температура инструмента 400 °С, время охлаждения 1000 с; б – температура инструмента 400 °С, время охлаждения 2000 с; в – температура инструмента 600 °С, время охлаждения 1000 с)

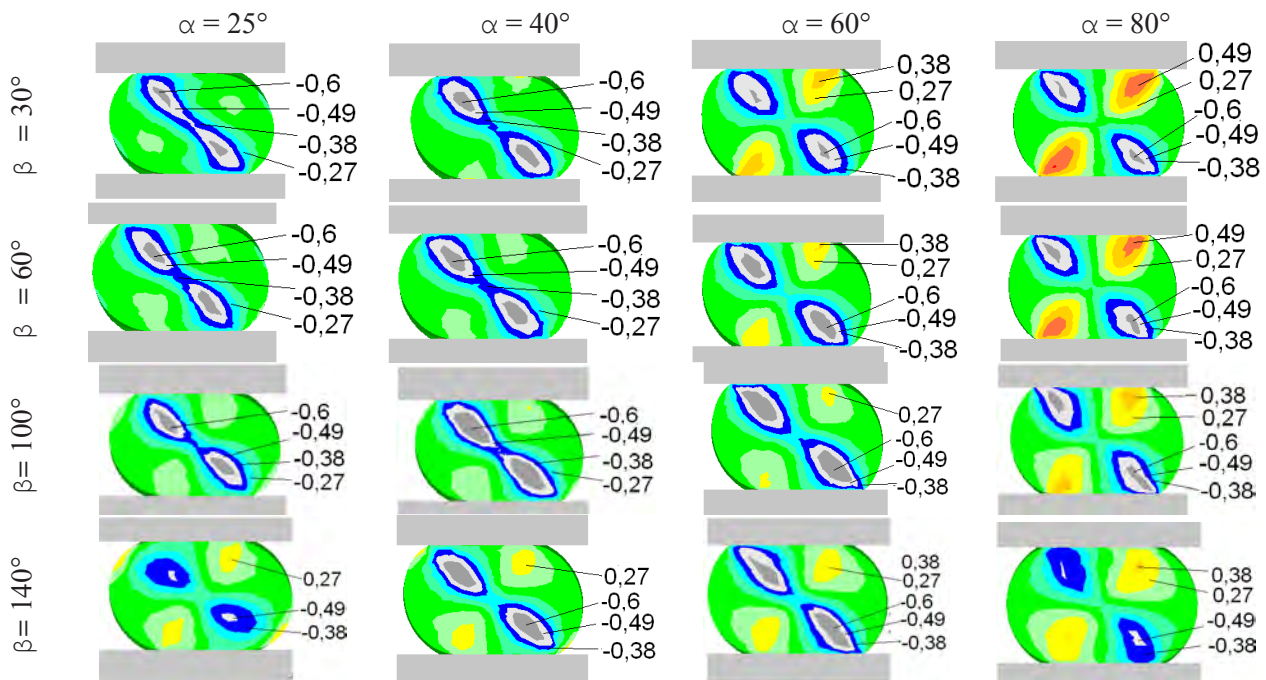
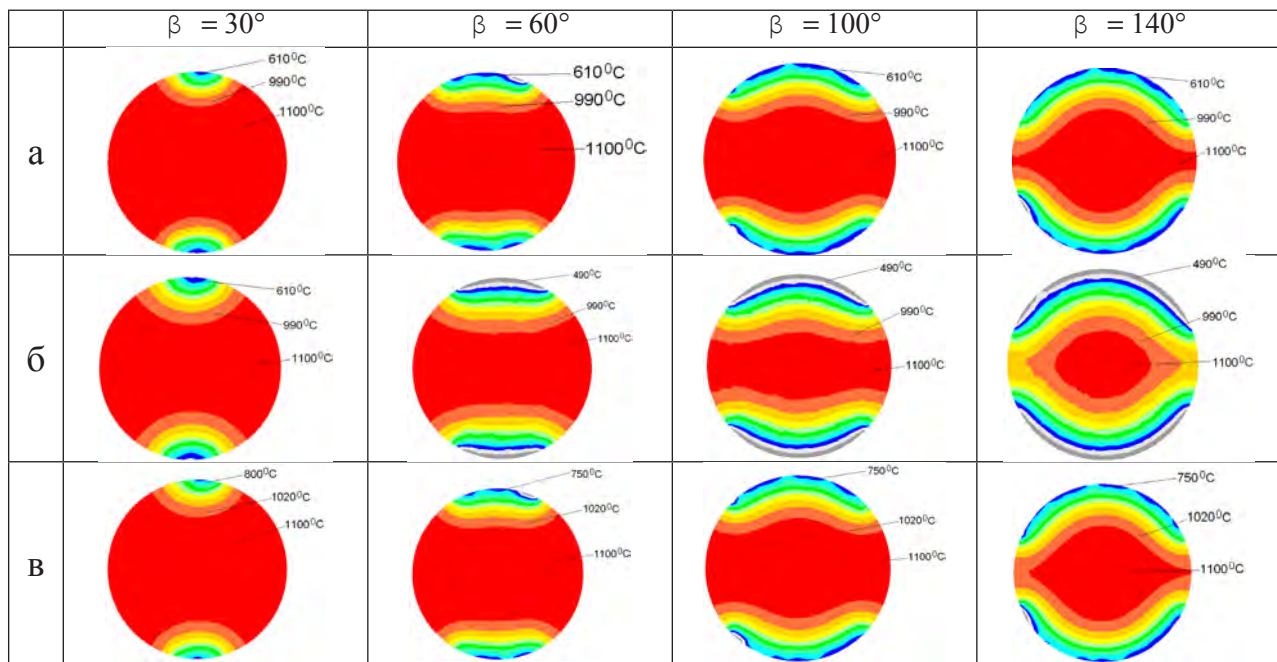


Рис. 2. Поля распределения сдвиговых деформаций по поперечному сечению заготовки с неоднородным температурным полем (температурное поле по табл. а)

Аналогично получены поля распределения сдвиговых деформаций по поперечному сечению заготовки с температурным полем, полученным при других условиях (табл. б, в). Однако, по распределению деформаций, в поперечном сечении заготовки после ее деформирования, визуально сложно сделать заключение о величине деформаций и площади, которую они занимают, т.е. об эффективности той или иной схемы. Так в одном случае деформация может быть высокой, а объем, который она занимает в заготовке, мал или наоборот, деформация низкая, но она занимает весь объем заготовки. Для более точного анализа эффек-

тивности схемы деформирования, с точки зрения величин сдвиговых деформаций, рассчитана средне-взвешенная сдвиговая деформация в поперечном сечении заготовки по 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}

Кроме того, для оценки эффективности рассматриваемого способаковки, проведено моделирование

обжатия плоскими бойками цилиндрической заготовки с однородным температурным полем. В результате моделирования получили поле распределения деформаций в поперечном сечении заготовки, приведенное на рис. 3.

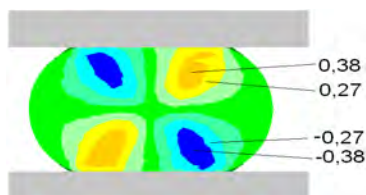


Рис. 3. Поле распределения сдвиговых деформаций в поперечном сечении заготовки с однородным температурным полем при обжатии плоскими бойками

В результате обработки полученных моделированием данных получена графическая зависимость средневзвешенной сдвиговой деформации от различных условий деформирования (рис. 4). Из графика видно, что наибольшие сдвиговые деформации обеспечивает ковка заготовки с углом β равным $60-100^\circ$ и углом кантовки $\alpha = 60^\circ$. Кроме того, с увеличением времени охлаждения заготовки, величина зоны пониженных температур увеличивается. При этом увеличивается и ее влияние на деформированное состояние заготовки. Уменьшение неравномерности температур в поперечном сечении заготовки приводит к некоторому снижению уровня сдвиговых деформаций в заготовке.

Анализ развития сдвиговых деформаций ваготке по ходу ее обжатия (рис. 5) позволяет сделать вывод о том, что на начальной стадии величина зон сдвиговых деформаций относительно невелика, в центральной части заготовки эти деформации полностью отсутствуют.

При обжатии, равном 15 %, в центральной части заготовки с однородным температурным полем также отсутствуют сдвиговые деформации, а в заготовке с неоднородным температурным полем присутствуют.

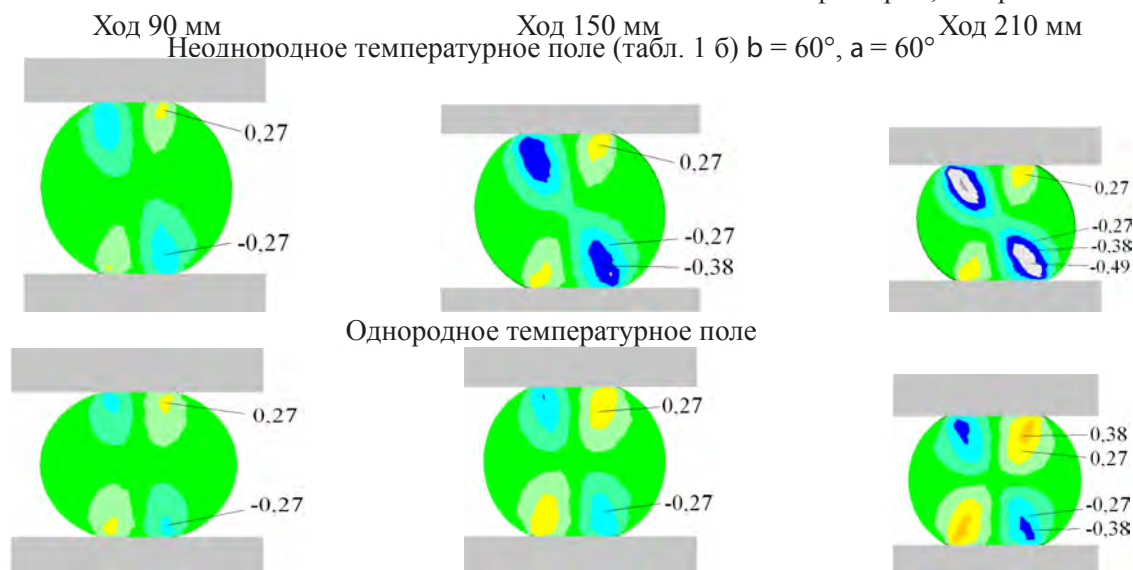


Рис. 5. Поля распределения сдвиговых деформаций в поперечном сечении заготовки при пошаговом ее деформировании

Кроме того, величина сдвиговых деформаций в заготовке с неоднородным температурным полем больше, нежели в заготовке с однородным температурным полем.

Анализ распределения интенсивности логарифмических деформаций по поперечному сечению заготовки позволяет заключить, во-первых, что при деформировании заготовки с неоднородным температурным полем наибольшие деформации сосредоточены в области наибольших сдвиговых деформаций, во-вторых, то, что уровень деформаций при обжатии такой заготовки больший, нежели при обжатии заготовки с однородным температурным полем.

Также видно, что в заготовке с неоднородным температурным полем при ее обжатии даже на 200 мм остаются зоны с практически нулевой деформацией. Это – зоны пониженной температуры, которые не деформируются вследствие более высоких прочностных свойств.

Установлено, что температурное поле в рассматриваемом диапазоне перепада температур не влияет на интенсивность вытяжки и не оказывает существенного влияния на уков. При кантовке данной заготовки на 90 градусов и повторном ее обжатии деформации локализуются по ранее проработанной плоскости заготовки, т.к. охлажденные стороны заготовки деформированию практически не поддаются. Таким образом, ковка заготовок с неоднородным температурным полем с кантовкой приведет только к увеличению деформаций в центре заготовки и при деформировании мало пластичных материалов это может привести к расслоению заготовки. Это говорит о том, что ковка с неоднородным полем рассматриваемой конфигурации, должна проводиться только с единичным обжатием и последующим подогревом заготовки до температур ковки.

Проведено исследование напряженного состояния заготовки с однородным и неоднородным температурным полем в процессе ее обжатия плоскими бойками. Главным фактором, который влияет на пла-

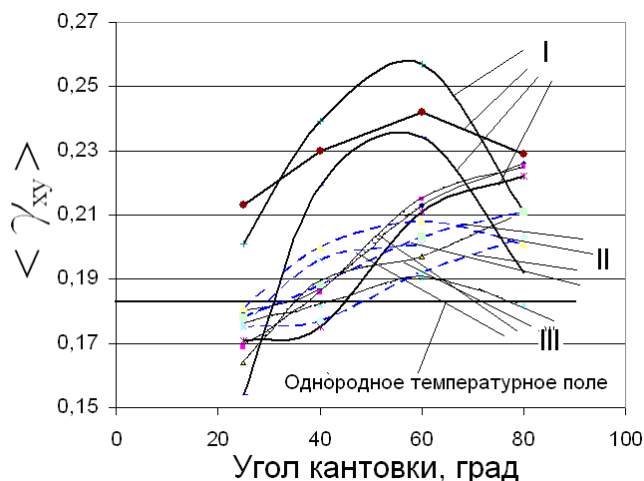


Рис. 4. График зависимости средневзвешенной сдвиговой деформации от угла кантовки заготовки: I – температурное поле табл. б; II – температурное поле табл. в; III – температурное поле табл. а

стичность металла, является схема напряженного состояния металла при деформировании. Схема на

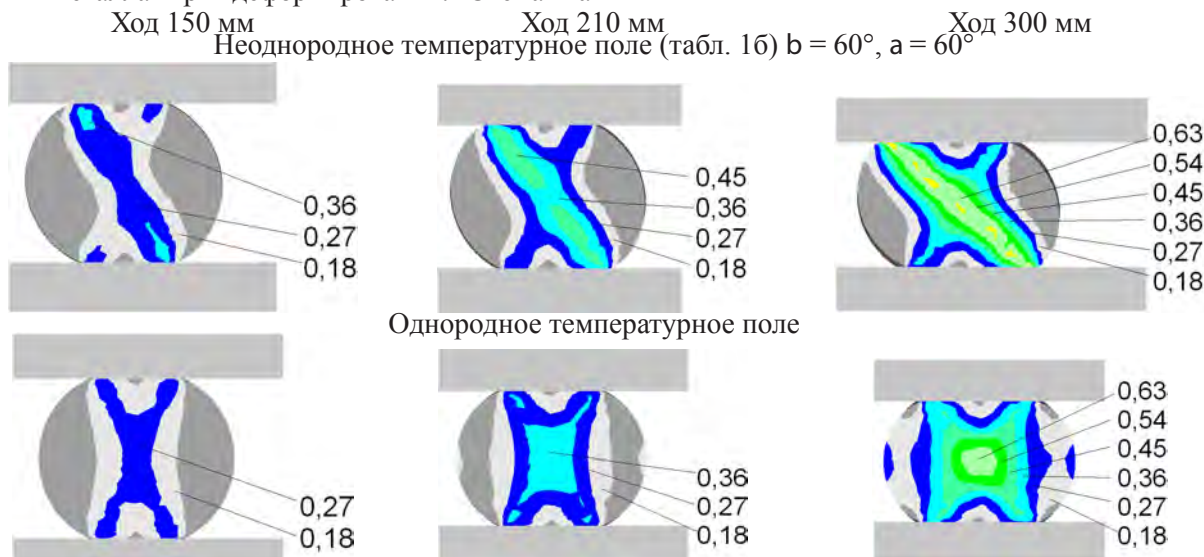


Рис. 6. Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки при пошаговом ее деформировании

пряженного состояния характеризуется определенными показателями. Наиболее распространенным показателем, характеризующим схему напряженного состояния материала при деформировании, является показатель напряженного состояния, предложенный Г.А. Смирновым-Аляевым

$$\eta = \frac{3 \cdot \sigma_0}{\sigma_u} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u}$$

где σ_0 - среднее напряжение; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ компоненты тензора главных напряжений; σ_u интенсивность напряжений.

Для обжатия заготовок с однородным и неоднородным температурным полем плоскими бойками рассчитан показатель η для центральной части заготовки и ее поверхности. Результаты расчетов приведены в графическом виде на рис. 7.

Анализ рис. 7 позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемая неоднородность распределения

температур в заготовке при ее обжатии плоскими бойками не оказывает влияния на схему напряженного состояния на поверхности заготовки. В центральной части заготовки показатель η оказался чувствительным к температурному полю, несмотря на то, что температура центральной части обеих заготовок одинакова. Так, в заготовке с неоднородным температурным полем показатель η по модулю имеет большее значение, нежели в заготовке с однородным температурным полем. При обжатии заготовки на 300 мм показатель η для однородного температурного поля составил -2,5, а для неоднородного температурного поля -3,2, что в сумме с повышенными деформациями даст лучший эффект при залечивании внутренних дефектов заготовки в виде пустот металлургического происхождения.

Выводы

Установлено, что управление температурным полем заготовки при ковке позволяет влиять на напряженно-деформированное состояние заготовки. Так ковка заготовки с неоднородным температурным

полем (заготовка с двумя низкотемпературными симметрично расположенными зонами) позволяет при правильной организации процесса, повысить уровень сдвиговых деформаций, улучшить напряженно-деформированное состояние центральной части заготовки. Установлено, что заготовка с неоднородным температурным полем после первого обжатия на величину не менее 20 % от диаметра заготовки, должна быть прогрета до температурыковки.

Библиографический список

1. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформация / И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков, О.Е. Марков, С.А. Близнюк // Обработка металлов давлением: Сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2010. - № 3(24). - С. 64-68.
2. Технологические особенностиковки-протяжки с продольным сдвигом бойков / В.М. Сегал, В.И. Резников, Д.А. Павлик // Кузнечно-штамповочное произ-

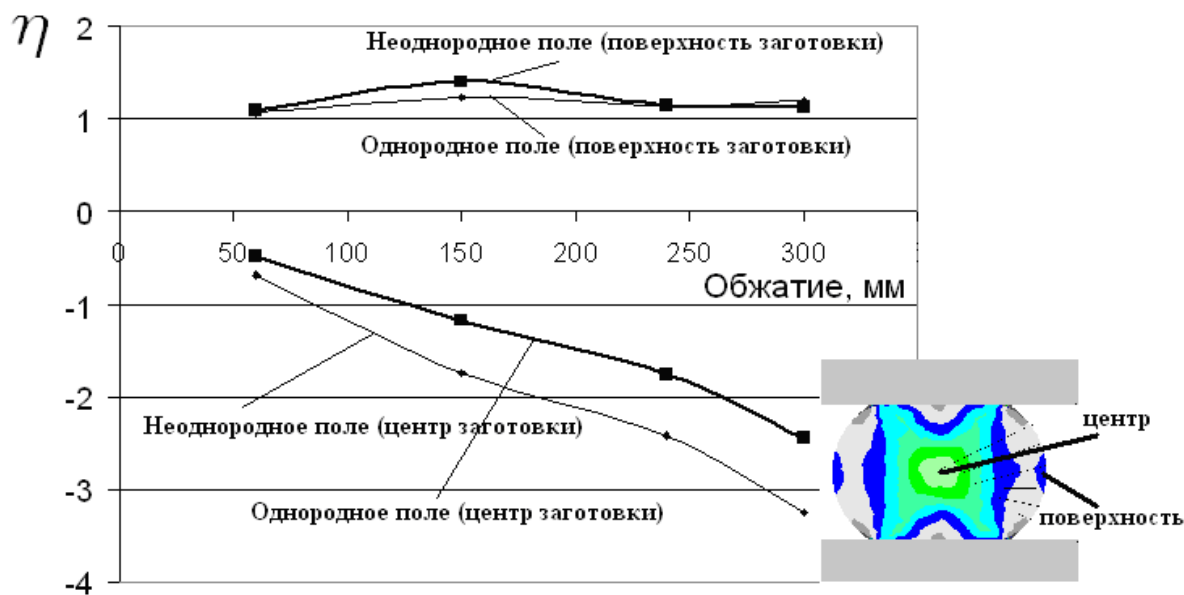


Рис. 7. Зависимость показателя схемы напряженного состояния на поверхности и в центре заготовки по ходу ее обжатия

водство. – 1980. - № 1. – С. 8-10.

3. А.с. 442878 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Кузнечный инструмент / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин, С.Д. Баранов. - № 1623639; Заявлено 01.03.71; Опубл. 15.09.74, Бюл. № 34.

4. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов // Кузнечно-штамповочное производство. – 2007. - № 11. – С. 15-20.

5. Ковка поковок прямоугольного сечения и заготовок штамповых кубиков / А.Б. Найзабеков, А.В. Котелкин, В.А. Петров и др. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. - № 10. – С. 4-6.

6. Исследование процесса протяжки с непрямолинейным фронтом подачи / Я.М. Охрименко, В.А. Тю-

рин, В.П. Барсуков // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1971. - № 3. – С. 79-82.

7. Hot Punching of high intermediates with Nonuniform Temperature Field. / O.A. Kobelev, H. Hartman, A.W. Zinoviev, M.A. Zepin. VIII Miedzynarodowa Konferencja Naukowa. Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii I inzynierii materialowej. Czestochowa, 2007. - P. 249-252.

8. Технологические особенностиковки заготовок с неоднородным температурным полем / В.А. Тюрин, А.В. Храбров, В.Н. Дубков, Л.П. Белова // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1980. - № 9. – С. 96-99.

Поступила 22.11.2012

**ТРЕБОВАНИЯ К АННОТАЦИЯМ,
публикуемым в международном журнале
«Металлургическая и горнорудная промышленность»**

1. Аннотации излагаются на двух языках: русском и английском.
2. Аннотация должна иметь структуру близкую структуре, которую требует ВАК для научных статей, всего пять коротких предложений:
 - цель исследования;
 - предмет исследования;
 - с применением каких технических и метрологических средств выполнены исследования;
 - результаты исследования;
 - краткие выводы о применимости результатов.
3. Объём аннотации - не более 500 знаков.
4. В аннотации должны быть использованы все ключевые слова.
5. Аннотация не должна содержать слов из местного сленга отраслевых профессионалов.
6. Аннотации статей производственного характера должны содержать:
 - результаты каких законченных НИОКР опробованы и внедрены;
 - какие технологии и оборудование применены, в условиях какого конкретного предприятия;
 - производственный или коммерческий результат (какая технология или оборудование освоено, организовано производство какого вида продукции и его конкурентоспособность по потребительским свойствам).
7. Аннотация не должна содержать фраз рекламного характера.
8. При написании аннотаций необходимо иметь в виду особенности поиска информации в электронных БД по ключевым словам, темам, технологиям, оборудованию, видам продукции и предприятиям.

Качество аннотации предопределяет возможность нахождения и затребования источника информации, использования информации и цитирования авторов.