

УДК 621.73.042

Жбанков Я. Г.
Швец А. А.
Гуныко М. И.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ КОВКА ПРОТЯЖКОЙ ПЛОСКИМИ БОЙКАМИ

Повышение качества продукции является актуальным для отечественного и зарубежного машиностроения. В современном тяжелом машиностроении широко используются крупногабаритные изделия высокого качества ответственного назначения, такие как валы, роторы. Основной операцией изготовления таких деталей является ковка крупных поковок, исходной заготовкой для которых является слиток [1]. Кузнечный слиток в результате кристаллизации имеет определенные недостатки, заключающиеся в химической, фазовой и структурной неоднородности, имеет пористую осевую часть [2]. Исправить данные недостатки возможно ковкой, по специальным режимам. Так, для устранения структурной неоднородности поковки, необходимо обеспечить однородное распределение деформаций по всему ее объему, а заковать осевые пустоты возможно, обеспечив высокие значения величины деформаций в центральной части поковки при обеспечении сжимающих напряжений [3, 4].

Целью данной работы является разработка режимов протяжки цилиндрической заготовки по схеме круг – квадрат – круг, которые будут обеспечивать высокое качество изделий.

Моделирование процесса протяжки проводилось в программе, которая основана на методе конечных элементов. В качестве заготовки был принят цилиндр диаметром 600 мм и длиной 2000 мм из материала Сталь 45. Начальная температура заготовки 1200 °С, заготовка разбивалась на 50000 конечных элементов, скорость деформирования 25 мм/с, при моделировании коэффициент пластического трения Зибеля принимался равным 0,35. Протяжка осуществлялась плоскими бойками шириной $B = 800$ мм радиусом скругления кромки рабочей поверхности 50 мм.

В ходе моделирования исследовано влияние величины относительного обжатия ($\varepsilon_h = \Delta D/D_0$, ΔD – величина абсолютного обжатия) и относительной подачи ($\bar{f} = f/D_0$) на распределение интенсивности логарифмических деформаций по объему заготовки. Относительная подача принималась равной $\bar{f} = 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1$, величина обжатия – $\varepsilon_h = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3$. Таким образом, было проведено моделирование 30 вариантов протяжки, в ходе которых обеспечивалось минимум 3 нажима бойком на заготовку для учета влияния ее жестких недеформированных концов заготовки на ее напряженно-деформированное состояние (НДС).

По результатам исследования были построены графики распределения интенсивности логарифмических деформаций по поперечному сечению заготовки (сечение Б–Б рис. 1, место второго нажима) в зависимости от величины обжатия для протяжки с разными относительными подачами (рис. 2).

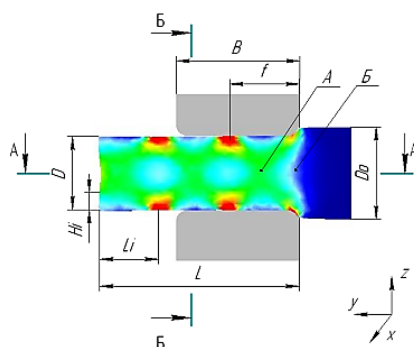


Рис. 1. Исследуемое поперечное сечение заготовки

Анализ полученных данных позволил установить, что при протяжке заготовки плоскими бойками с относительной подачей $\bar{f} = 0,3$ и величиной обжатия $\varepsilon_h = 0,05 \dots 0,1$ (рис. 2, а) наблюдается низкая неравномерность распределения интенсивности логарифмических деформаций, что объясняется слабой проработкой периферийных слоев заготовки, а также наличием непроработанной осевой зоны. При увеличении величины обжатия (до $\varepsilon_h = 0,3$) наружные слои заготовки прорабатываются более интенсивно, однако осевая зона остается слабо проработанной, что приводит к увеличению неравномерности распределения интенсивности логарифмических деформаций от 0,125 (при $\varepsilon_h = 0,05$) до 1,75 (при $\varepsilon_h = 0,3$). Также следует отметить, что при величине обжатия $\varepsilon_h = 0,05$ и различных подачах $\bar{f} = 0,3 \dots 1,1$ неравномерность распределения интенсивности логарифмических деформаций практически одинакова и характеризуется наличием непроработанной осевой зоны (рис. 2).

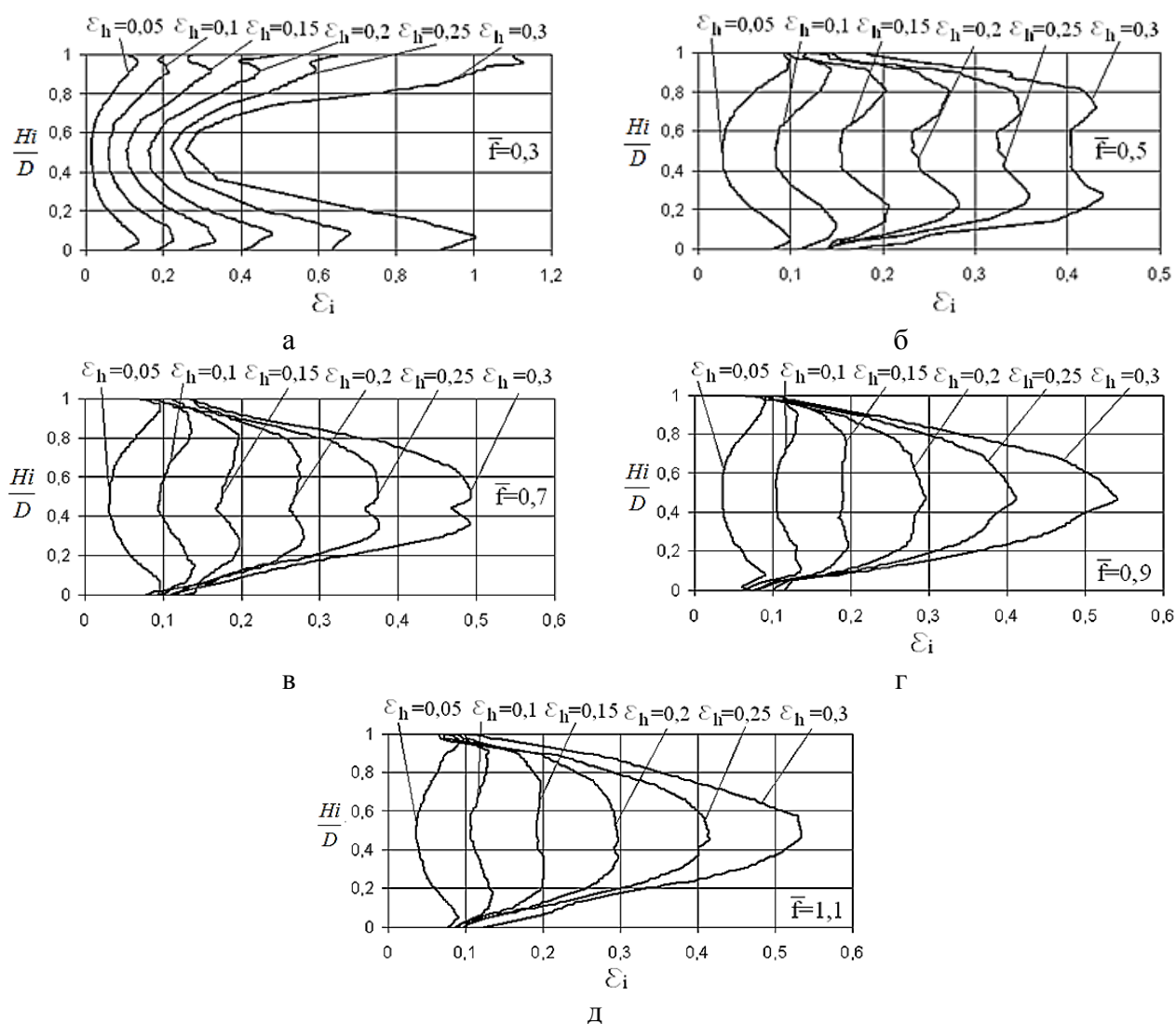


Рис. 2. Графики распределения интенсивности логарифмических деформаций по сечению заготовки *Б–Б* при различных величинах обжатия и относительных подачах

При относительных подачах от 0,5 до 1,1 и степени обжатия $\varepsilon_h = 0,1-0,15$ наблюдается минимальная неравномерность распределения интенсивности логарифмических деформаций по сечению заготовки (рис. 2, б–д). С увеличением степени обжатия от 0,15 до 0,3 происходит более интенсивная проработка осевой зоны заготовки. Однако неравномерность распределения интенсивности логарифмических деформаций возрастает за счет образования застойной

зоны под рабочей поверхностью деформирующего бойка. Большое значение деформации в осевой части заготовки положительно влияет на проработку литой дефектной части металла слитка, способствует залечиванию дефектов в виде пустот металлургического происхождения. Так, при протяжке с относительной подачей $\bar{f} = 0,9$ и величиной обжатия $\varepsilon_h = 0,3$, в центральной части интенсивность логарифмических деформаций достигает 0,54, в то время как периферийные слои на расстоянии 20 % от поверхности имеют деформацию равную 0,35.

Проведено исследование распределения интенсивности логарифмических деформаций в осевой зоне протянутого участка поковки (сечение А–А, рис. 1) в зависимости от изменения величины обжатия и относительной подачи (рис. 3).

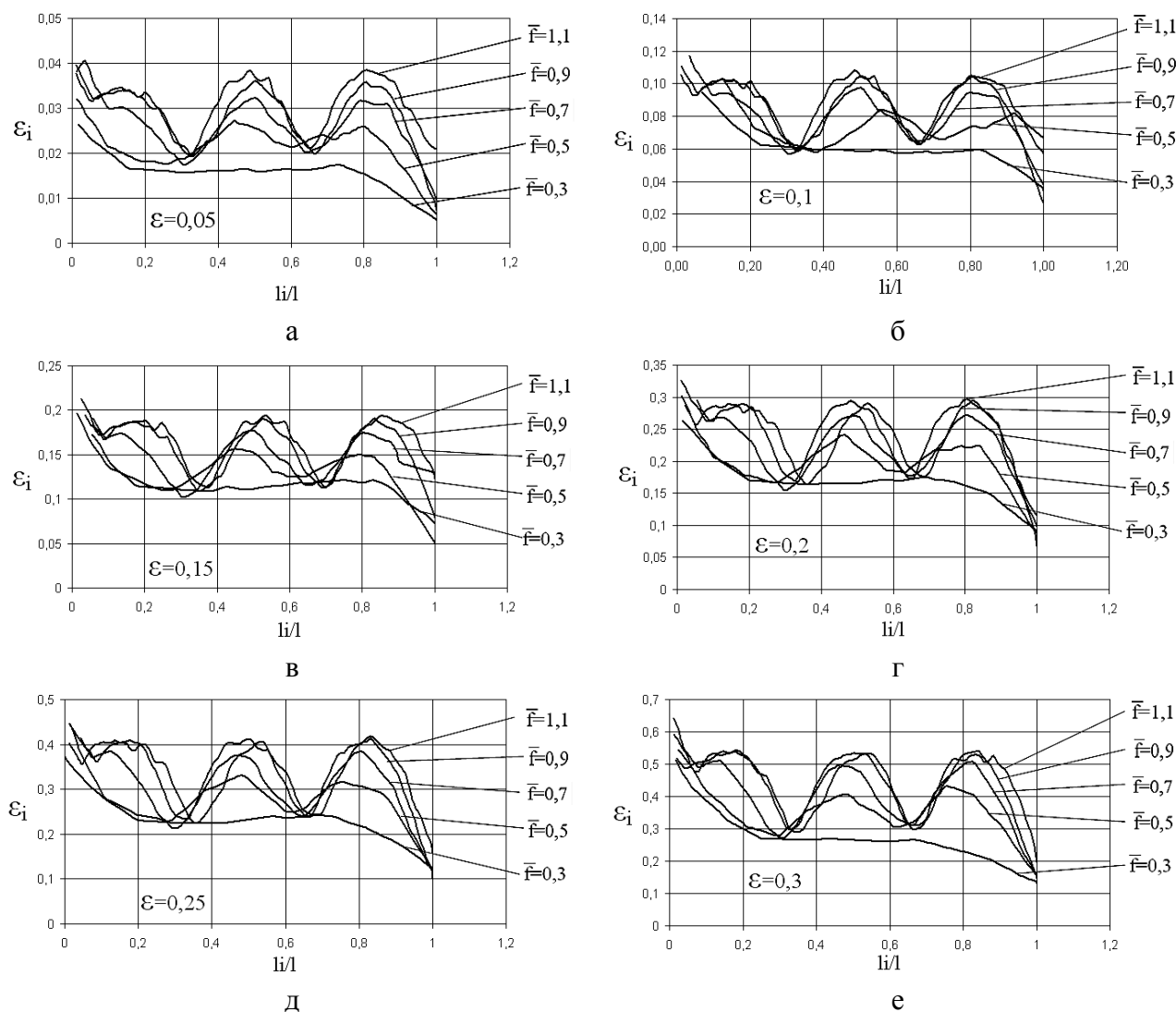


Рис. 3. Графики распределения интенсивности логарифмических деформаций в осевой зоне по длине заготовки, протянутой с различными относительными подачами и величинами обжатий

Анализ полученных данных позволил установить, что наименьшая неравномерность распределения интенсивности логарифмических деформаций наблюдается в центральной части заготовки при протяжке с относительной подачей $\bar{f} = 0,3$. Как показали результаты исследования распределения интенсивности логарифмических деформаций по поперечному сечению заготовки, это вызвано низким уровнем проработки осевой зоны заготовки. При протяжке с относительной подачей $\bar{f} = 0,5 \dots 1,1$ и величиной обжатия $\varepsilon_h = 0,05 \dots 0,3$ происходит увеличение неравномерности распределения интенсивности логарифмических деформаций в осевой зоне заготовки. Пики значений интенсивности логарифмических

деформаций соответствуют по длине части заготовки, которая при протяжке находится непосредственно под бойком (точка *A*, рис. 1), а малые значения находятся под краем бойка (точка *B*, рис. 1). Такое распределение деформации вдоль оси заготовки после протяжки вызывает неоднородность ее механических свойств. Поэтому при последующем проходе необходимо производить протяжку со смещением заготовки на половину ширины бойка, что позволит обеспечить более равномерное распределение интенсивности логарифмических деформаций вдоль оси заготовки. Необходимо также учитывать, что при протяжке заготовки одной и той же длины с различными подачами характер кривых на рис. 3 сохранится, однако неравномерность распределения интенсивности логарифмических деформаций будет меньше для протяжки с малыми подачами. Это приводит к увеличению количества обжатий на участке заготовки той же длины, а, следовательно, и к образованию большего количества пиков кривой под центральной частью деформирующего бойка при каждом обжатии.

Для оценки напряженного состояния заготовки была исследована зависимость величины компонент осевых напряжений для точек *A* и *B* (рис. 1), находящихся на оси заготовки, от механического режима протяжки. Построены графики зависимости компонент осевых напряжений от величины обжатия и относительной подачи (рис. 4). Во всех рассмотренных случаях осевая компонента напряжения σ_z отрицательна, а компоненты σ_x и σ_y принимают в некоторых случаях положительные значения.

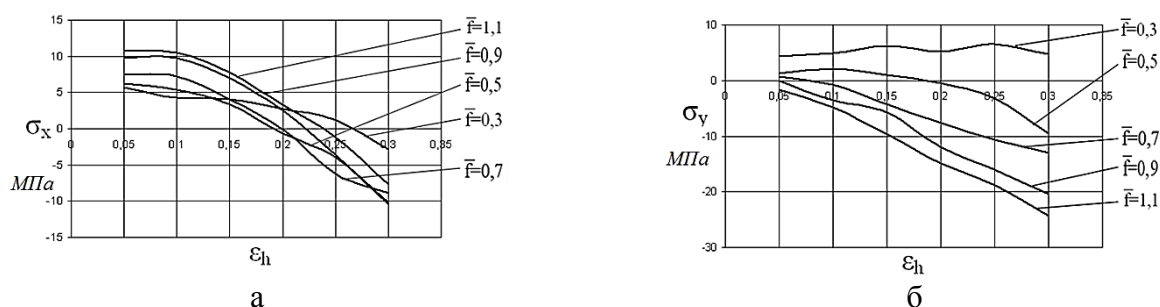


Рис. 4. Графики зависимости компонент осевых напряжений от величины обжатия и относительной подачи при протяжке плоскими бойками

При протяжке заготовки плоскими бойками с величиной обжатия $\varepsilon_h = 0,05\text{--}0,2$ и относительной подачей в диапазоне $0,3\text{--}1,1$ осевая компонента напряжения σ_x принимает положительные значения (рис. 4, а). Из графика видно, что с ростом относительной подачи от $0,3$ до $1,1$ осевая компонента напряжения σ_x также возрастает от 4 до 11 МПа при обжатии $\varepsilon_h = 0,1$. Это объясняется тем, что при больших подачах более интенсивное течение металла происходит в поперечном направлении. При величине обжатия $\varepsilon_h > 0,15$ и до $0,3$ наблюдается уменьшение значений осевой компоненты напряжений. Так, при величине обжатия $\varepsilon_h = 0,2\text{--}0,25$ и относительной подаче $\bar{f} = 0,5\text{--}1,1$ осевая компонента напряжений σ_x принимает отрицательные значения от -7 до -11 МПа, а при относительной подаче $\bar{f} = 0,3$ отрицательные значения компоненты достигаются при величине обжатия $\varepsilon_h = 0,27$.

Что касается напряжения σ_y , то оно принимает положительные значения (~ 5 МПа) при относительной подаче $\bar{f} = 0,3$ и всех значениях обжатия для рассматриваемых условий протяжки (рис. 4, б). При относительной подаче $\bar{f} = 0,5$ напряжение σ_y положительно в случае протяжки с величины обжатия от $0,05$ до $0,2$, что в совокупности с положительными значениями компоненты σ_x может привести к образованию внутренних разрывов. С увеличением относительной подачи от $0,7$ до $1,1$ и величиной обжатия от $0,05$ до $0,3$ осевая компонента напряжений σ_y принимает отрицательные значения, которые достигают -23 МПа.

На основе полученных данных был рассчитан показатель жесткости схемы напряженного состояния η для точек *A* и *B* (рис. 1) по следующей формуле:

$$\eta = \frac{3 \cdot \sigma_{cp}}{\sigma_i}, \quad (1)$$

где σ_{cp} – среднее напряжение, МПа;
 σ_i – интенсивность напряжений, МПа.

Построены зависимости показателя жесткости схемы напряженного состояния от различных условий протяжки (рис. 5).

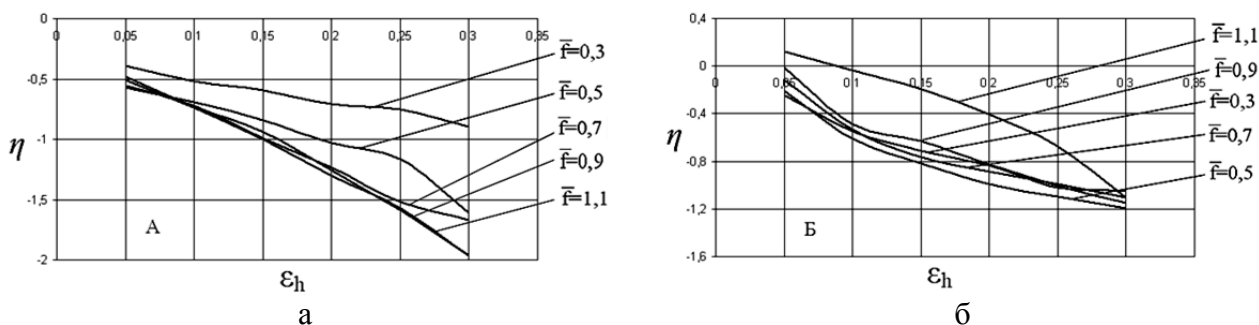


Рис. 5. Графики зависимости показателя жесткости схемы напряженного состояния от величины обжатия и относительной подачи при протяжке заготовки плоскими бойками

Анализ кривых на рис. 5 позволил установить, что в точке *A* показатель жесткости схемы напряженного состояния принимает отрицательные значения при любых условиях подачи и обжатий, что говорит о наличии благоприятного напряженного состояния сжатия (рис. 5, а). Так, при относительной подаче $\bar{f} = 0,3$ и величине обжатия $\varepsilon_h = 0,05 \dots 0,3$ показатель η принимает значения равные $-0,4 \dots -0,85$, а при относительной подаче $\bar{f} = 0,5 \dots 1,1$ – от $-0,5$ до $-1,9$.

В точке *B* при величине обжатия $\varepsilon_h = 0,05 \dots 0,1$ и относительной подаче $\bar{f} = 1,1$ наблюдается напряженное состояние растяжения (рис. 5, б), что обуславливает возможное появление разрывов в заготовке в данном месте. Как видно из графика, напряженное состояние сжатия в этой точке достигается при относительной подаче $\bar{f} = 0,5 \dots 0,9$ при всех значениях величины обжатия для рассмотренных условий протяжки, а также при величине обжатия $\varepsilon_h = 0,1 \dots 0,3$ и относительной подаче $\bar{f} = 1,1$ — значений $-0,1 \dots -1,2$.

На практике, зачастую, протяжку плоскими бойками осуществляют с постоянной подачей и постоянным единичным обжатием, причем величина обжатия находится в пределах 100–150 мм для ковки на гидравлическом ковочном прессе усилием 10 МН, для прессов меньших усилий обжатия могут быть еще меньшими. Подача обычно составляет 2/3 ширины бойка и не зависит от размера протягиваемой заготовки и может уменьшаться в случае нехватки усилия пресса. Бойки для прессов от 30 до 100 МН имеют ширину 600–800 мм, т. е. подача находится в пределах 400–550 мм.

При протяжке заготовок достаточно больших размеров 1000–1500 мм в диаметре, по схеме круг – квадрат – восьмигранник – круг, которая часто используется на практике, как следует из приведенных выше исследований, деформационное поле поковки будет неоднородным. Центральная часть поковки остается не прокованной, что соответствующим образом отразится на качестве изделия.

Проведено моделирование протяжки цилиндрической заготовки диаметром 1000 мм, плоскими бойками шириной 600 мм. Подача составляла 2/3 ширины бойка, единичное обжатие 100 мм. Протяжка производилась по схеме круг – квадрат – восьмигранник – круг проходными бойками. На исходной заготовке оттянуты две ступени диаметрами 800 и 900 мм. Результаты моделирования в виде поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки приведены на рис. 6.

Как видно из рис. 6, центральная часть заготовки, как говорилось выше, имеет низкую деформацию, наибольшие деформации по сечению сосредоточены у периферийных слоев заготовки, что при дальнейшей термической обработке может привести к структурной неоднородности и неоднородности механических свойств. Кроме того поры литейного происхождения, которые находятся в центральной части заготовки, вследствие малой деформации могут не «залечиться».

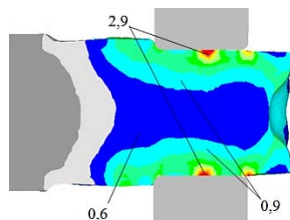


Рис. 6. Поле распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки после протяжки плоскими бойками с подачей 400 мм и единичным обжатием 100 мм

Для лучшей проработки центральной части заготовки можно рекомендовать – максимально возможно увеличить подачу заготовки на последних проходах при ковке по данной схеме и увеличить величину единичного обжатия.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют определить оптимальный режим протяжки плоскими бойками с точки зрения проработки осевой дефектной зоны слитка, а также минимальной неоднородности распределения деформаций по объему поковки.

Рекомендуется при последующем проходе производить протяжку со смещением заготовки на половину ширины бойка, что позволит обеспечить более равномерное распределение интенсивности логарифмических деформаций вдоль оси заготовки.

Установлено, что для обеспечения благоприятного напряженно-деформированного состояния заготовки протяжку плоскими бойками рекомендуется проводить на первом этапе с относительной подачей от 0,7 до 0,9 и величиной обжатия равной 0,15...0,2 для проработки осевой части поковки, а в концековки следует осуществлять протяжку с относительной подачей от 0,3 до 0,5 и величиной обжатия равной 0,1...0,15 для проработки периферийных слоев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технологія кування : підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л. М. Соколов, І. С. Алієв, О. Є. Марков, Л. І. Алієва. – Краматорськ : ДДМА, 2011. – 268 с.*
2. *Ковка крупних поковок. В 2 ч. / под. ред. В. Н. Трубина, В. А. Шелехова. – М. : Машиностроение, 1965. – 2 ч – 296 с.*
3. *Марков О. Е. Эффективная схемаковки крупных слитков с использованием кузнечной протяжки / О. Е. Марков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2012. – № 8. – С. 33–36.*
4. *Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – 6-изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.*

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

Швец А. А. – аспирант ДГМА;

Гулько М. И. – вед. инж.-исслед. лаб. эксперт. исслед. ПАО «ЭММС».

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

ПАО «ЭММС» – Публичное акционерное общество «Энергомашспецсталь», г. Краматорск.

E-mail: yzhbankov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 04.02.2013 г.