

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.735.3

Алиев И. С.
Жбанков Я. Г.
Грачев И. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОВКИ ПЛИТ ПЛОСКИМИ БОЙКАМИ СО СКОСОМ

Основной задачей современного производства является минимизация собственных расходов, повышение качества продукции и как следствие увеличение конкурентоспособности. Что касается кузнечного производства машиностроительных и металлургических предприятий, то такое снижение возможно за счет сокращения технологического процесса, путем исключения энергоемких операций, уменьшения количества переходов ковки и нагревов и за счет увеличения точности получаемых изделий (увеличения КИМ).

Большая часть номенклатуры машиностроительных предприятий это поковки типа плит. Основной способ ковки таких изделий это протяжка, причем протяжка может вестись инструментом различной конфигурации.

Исследованию процессов ковки протяжкой уделено большое внимание, как отечественными, так и зарубежными учеными. Так, например, в работе [1] приведено исследование процесса протяжки заготовки плоскими бойками со скосом и установлены оптимальные геометрические параметры инструмента и параметры механического режима ковки. Исследование процесса протяжки инструментом более сложных форм (комбинированные, вырезные бойки, асимметричной формы, ступенчатые) также проведено в работах зарубежных исследователей [2–6] и отечественных исследователей [7–9]. С точки зрения ковки поковок типа плит, наиболее целесообразным является использование плоских бойков (рис. 1) и как показывает мировой опыт и опыт отечественного производства, бойки должны иметь скошенную кромку.



а



б

Рис. 1. Процесс протяжки плоскими бойками на предприятии Faircrest Steel Plant США (а) и Uddeholm's HAGFORS (б)

Скошенная кромка на бойках при протяжке плит позволяет уменьшить величину боковой волнистости и т.н. «языка» на торце поковки. Несмотря на то, что протяжка такими бойками уже известна, исследований по определению их оптимальных размеров практически нет и для повышения эффективности процесса протяжки необходимо их определить.

Целью данной работы является определение оптимальных параметров плоских бойков со скосом и механического режима протяжки на основе моделирования процесса методом конечных элементов.

Метод конечных элементов зарекомендовал себя как один из наиболее точных методов расчета процессов пластического деформирования в целом и процессов ковки крупных поковок в частности. С использованием метода конечных элементов проведено моделирование процесса протяжки плоскими бойками со скосом. Исходная заготовка имела квадратное поперечное сечение со стороной квадрата 800 мм, длина заготовки 2 000 мм. Материал - сталь 38ХНМ. Начальная температура заготовки 1 100°С, заготовка разбивалась на 50 000 элементов, скорость обжатия заготовки бойком 20 мм/с, при моделировании коэффициент пластического трения Зибеля принимался равным 0,35. Протяжка осуществлялась плоскими бойками шириной $B = 1000$ мм с радиусом скругления кромки рабочей поверхности 50 мм, углами скоса 0, 10, 15, 20°.

Проведено исследование влияния величины угла скоса α и длины фаски L (рис. 2, а) на распределение интенсивности логарифмических деформаций и напряжений в заготовке и на формоизменение (параметры b , b_1 , x (рис. 2, б)). Относительная длина фаски L/B , принималась равной 0,25, 0,35 и 0,45, относительная подача принималась равной 2/3 ширины бойка, величина обжатия $\varepsilon_h = 0,15$.

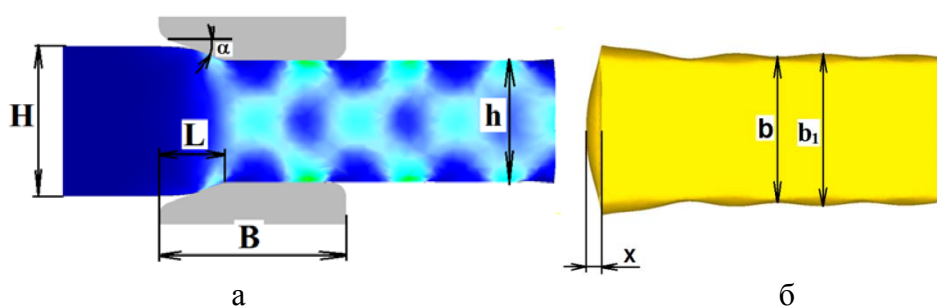


Рис. 2. Схема процесса протяжки бойками со скосом (а) и заготовки после протяжки (б)

В результате моделирования получены поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в заготовке, в зависимости от параметров инструмента и режима протяжки (рис. 3).

Установлено, что наибольшие деформации в заготовке в процессе протяжки плоскими бойками сосредотачиваются локально на поверхности заготовки и в центральной ее части. На поверхности заготовки деформации концентрируются непосредственно под кромкой плоского бойка и это обусловлено интенсивным сдвигом металл при обжатии на границе между жестким недеформируемым концом заготовки и концом заготовки, подвергнутому деформации. Наибольшие деформации на поверхности заготовки наблюдаются при протяжке бойком без скоса, здесь они достигают величины 0,7 при относительном обжатии 0,15. Наименьшая величина деформации на поверхности заготовки при протяжке бойком с углом скоса 10–15°, причем длина фаски не оказывает никакого влияния на величину деформации. При протяжке такими бойками интенсивность логарифмических деформаций равна 0,35. Это говорит о том, что образование поверхностной трещины в данном случае менее вероятно.

Концентрация больших деформаций в центральной части заготовки обусловлена большим пятном контакта между заготовкой и инструментом. Видно, что зоны максимальных деформаций в заготовке расположены периодически, вдоль оси, что соответствует периодическим подачам заготовки в процессе протяжки. Такая локализация деформаций нежелательна, т. к. она ведет к исчерпанию ресурса пластичности металла и образованию трещины. Наименьшая неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки соответствует протяжке бойком с углом скоса $\alpha = 10^\circ$, и длиной фаски $L/B = 0,35$ при постоянной подаче равной 2/3 ширины бойка.

На основе полученных данных о напряженно-деформированном состоянии заготовки был рассчитан показатель жесткости схемы напряженного состояния η для точки находящейся на поверхности заготовки в зоне максимальных деформаций, по следующей формуле:

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

где $\sigma_{\text{ср}}$ – среднее напряжение, МПа;
 σ_i – интенсивность напряжений, МПа.

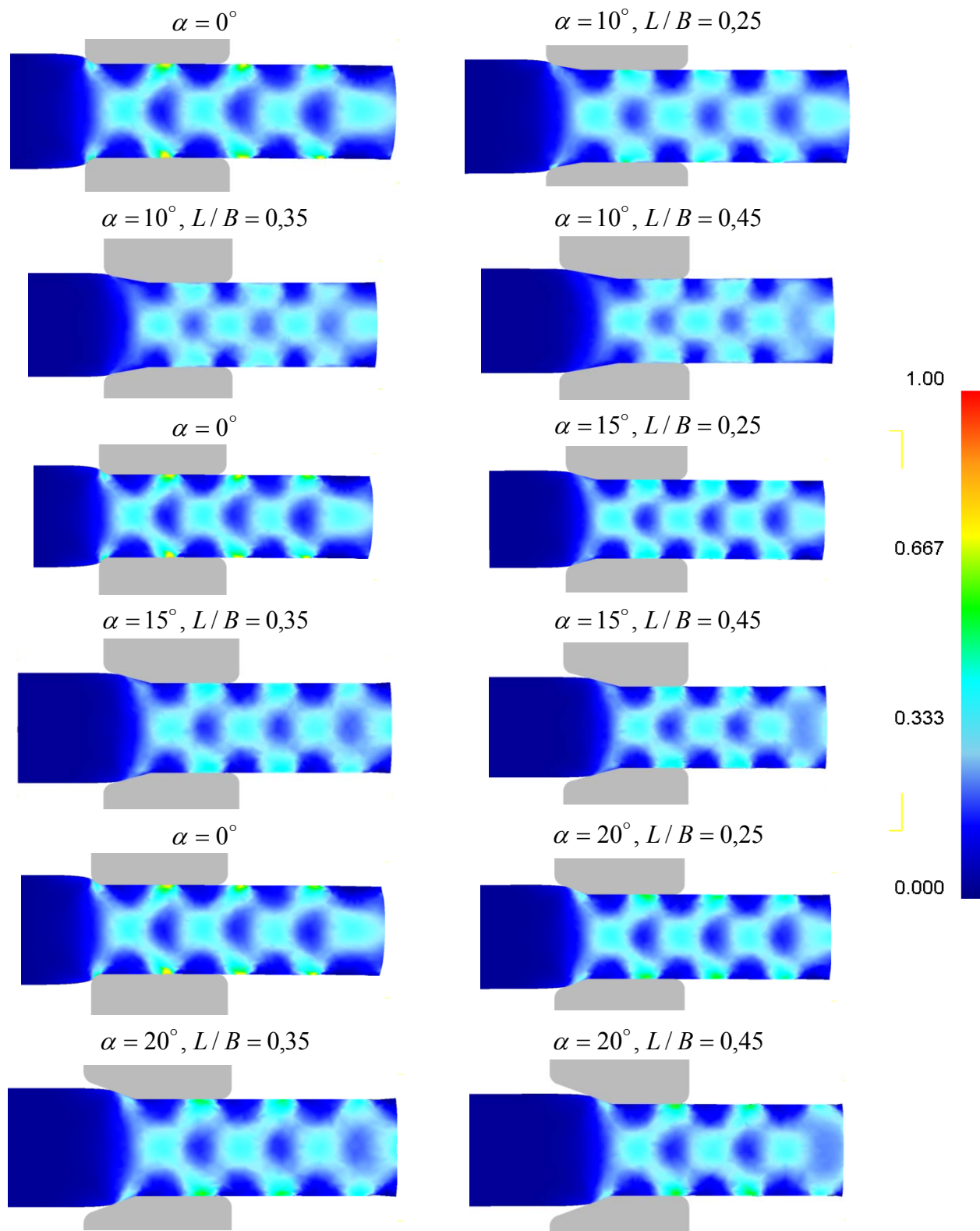


Рис. 3. Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки в процессе протяжки плоскими бойками со скосом различной величины при относительном обжатии заготовки равном 0,15 и подаче равной 2/3 ширины бойка

Для определения возможности образования трещины при протяжке на заготовке, по результатам моделирования, построили путь деформирования [9] и наложили его на диаграмму пластичности рис. 4.

Из рис. 4 видно, что ближе всего к кривой предельных деформаций находится путь деформирования для точки с поверхности заготовки протягиваемой плоскими бойками без фаски. Это говорит о том, что появление поверхностных трещин более вероятно для заготовки протягиваемой данным инструментом. Анализируя пути деформирования для подобных точек поверхности заготовки протягиваемых бойками с различной величиной фаски, можно сделать вывод о том, что величина фаски оказывает определенное влияние на возможность разрушения заготовки.

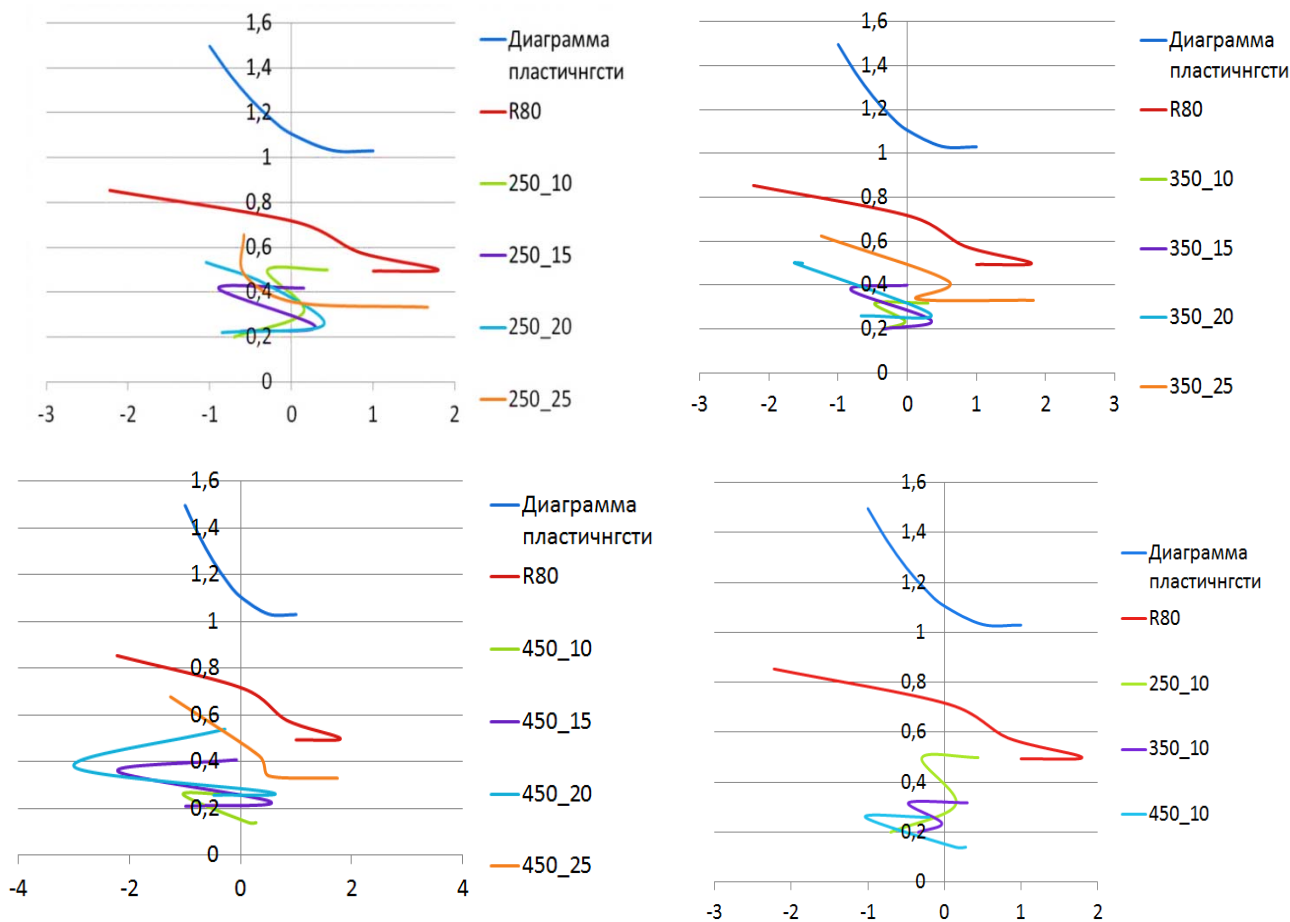


Рис. 4. Диаграмма пластичности для стали 38ХНМ (температура 1100 °С, скорость деформации $8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) с нанесенным путем деформирования для точки с поверхности заготовки, находящейся непосредственно под кромкой бойка при протяжке плоскими бойками со скосом

Из рис. 4 видно, что наименьшая вероятность образования поверхностной трещины у заготовки протягиваемой бойками с углом фаски 10 градусов и длиной 450 мм ($L/B = 0,45$), что позволяет рекомендовать такой инструмент для протяжки плит.

Проведено исследование формоизменения заготовки в процессе протяжки бойками различной конфигурации. На рис. 5 приведены картины отражающие формоизменение заготовки после протяжки бойками различной конфигурации.

Видно, что формоизменение в значительной мере определяется размерами инструмента. Так из рис. 5 следует, что наибольшая величина «языка» и боковая волнистость на поковке будет образовываться при протяжке плоским бойком без скоса. Протяжка же скошенным бойком позволяет существенно снизить величину данных дефектов, что впоследствии ведет к уменьшению технологического времени на правку этих дефектов.

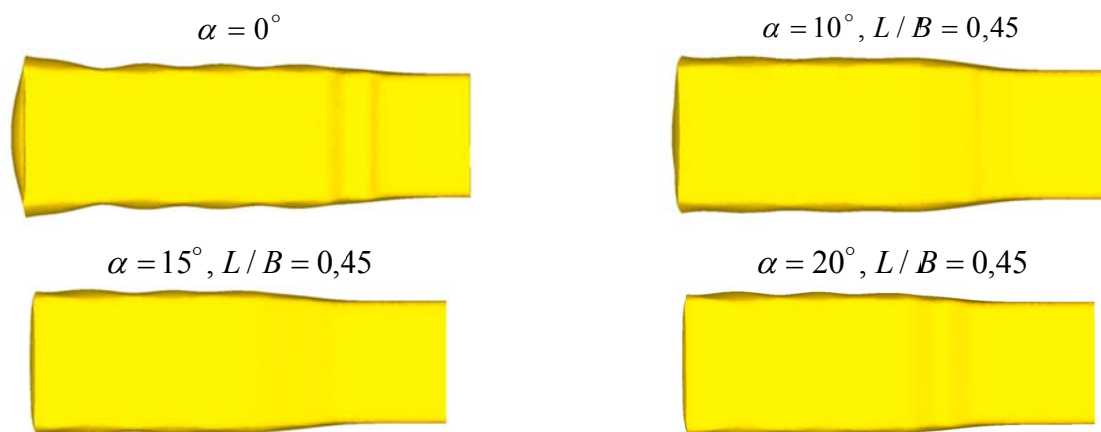


Рис. 5. Внешний вид заготовки после протяжки бойками различных размеров (вид сверху) при суммарном относительном обжатии заготовки равном 0,3 (два прохода) и подаче равной 2/3 ширины бойка

Для количественной оценки влияния параметров инструмента на формоизменение заготовки построены графики зависимостей таких параметров как относительная кривизна боковой поверхности b/b_1 (рис. 5, а) и относительная величина «языка» x/b (рис. 5, б).

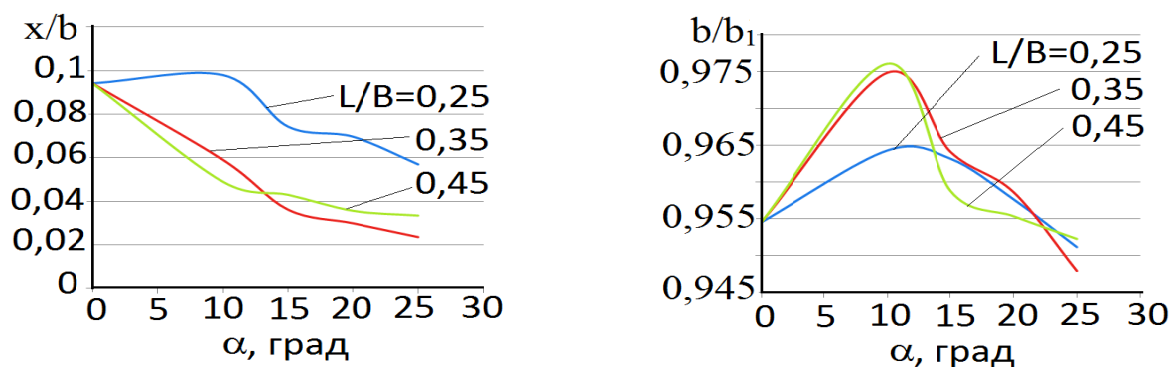


Рис. 6. Графики зависимости относительной величины языка (а) и относительной кривизны боковой поверхности (б) от геометрических параметров инструмента

Из рис. 6 видно, что относительная величина «языка» уменьшается с увеличением угла скоса бойка, так при протяжке плоским бойком без скоса величина x/b составляет около 0,1, а при протяжке бойком с углом скоса 25 градусов 0,03–0,05, что в 2–3 раза меньше. Также большое влияние оказывает относительная длина фаски. При $L/B = 0,25$ с увеличением угла скоса от 10 до 25 градусов параметр x/b уменьшается от 0,1 до 0,05, а при $L/B = 0,35$ от 0,1 до 0,03. Оптимальным с точки зрения величины дефекта «язык» является протяжка бойком с длиной фаски равной 0,35 ширины бойка и углом скоса фаски 10–20 градусов.

Величина боковой волнистости также является чувствительной к размерам инструмента. Так максимальная величина b/b_1 наблюдается при протяжке бойком с углом скоса 10 градусов и относительной величиной фаски L/B равной 0,35. Таким образом, с точки зрения наилучшего формоизменения заготовки в процессе протяжки плоскими бойками является боек с углом скоса 10–15 градусов и относительной длиной скоса равной 0,35 от ширины бойка.

ВЫВОДЫ

Установлено, что с точки зрения минимальной неоднородности распределения деформаций в заготовке при протяжке плоскими бойками, необходимо, чтобы боек имел скошенную кромку с углом скоса $\alpha = 10^\circ$, и длиной фаски $L/B = 0,35$ при постоянной подаче равной 2/3 ширины бойка. Определили, что наименьшая вероятность образования поверхностных

трещин у заготовки протягиваемой бойками с углом фаски 10 градусов и длиной $L/B = 0,45$. С точки зрения наилучшего формоизменения заготовки в процессе протяжки плоскими бойками является боек с углом скоса 10–15 градусов и относительной длиной скоса равной 0,35 от ширины бойка.

Таким образом, можно рекомендовать для протяжки плит, плоские бойки с углом скоса 10–15°, и относительной длиной фаски $L/B = 0,35 - 0,45$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Banaszek G. A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingots in profiled anvils / G. A. Banaszek, P. Szota // *Journal of Materials Processing Technology*, 2005. – № 169. – P. 437–444.
2. Dyja H. Modelling of shape anvils in free hot forging of long products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Mr.oz, S. Berski // *Journal of Materials Processing Technology*, 2004. – № 157–158. – P. 131–137.
3. 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 – P. 238–242.
4. Dyja H. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Berski, S. Mr.oz // *Journal of Materials Processing Technology*, 2004. – № 157–158. – P. 496–501.
5. Park C. Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis / C. Y. Park a, D. Y. Yang // *Journal of Materials Processing Technology*, 1997. – № 72. – P. 32–41.
6. Охрименко Я. М. Повышение эффективности и качества работы в кузнечном производстве / Я. М. Охрименко // *Кузнечно-штамповочное производство*, 2077. – № 8 – С. 1–7.
7. Соколов Л. Н. Усовершенствование технологииковки комбинированными бойками / Л. Н. Соколов, Б. С. Каргин // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1974. – № 1. – С. 102–103.
8. Иванушкин П. Ф. Влияние формы бойков на интенсивность протяжки и распределение деформаций / П. Ф. Иванушкин, Б. С. Каргин // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1971. – № 1 – С. 96–100.
9. Ковка поковок прямоугольного сечения и заготовок штамповых кубиков / А. Б. Найзабеков, А. В. Котелкин, В. А. Петров, В. К. Воронцов, Б. О. Темкин, В. Ф. Касатонов // *Кузнечно-штамповочное производство*, 1990. – № 10 – С. 4–6.

REFERENCES

1. Banaszek G. A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingots in profiled anvils / G. A. Banaszek, P. Szota // *Journal of Materials Processing Technology*, 2005. – № 169. – R. 437–444.
2. Dyja H. Modelling of shape anvils in free hot forging of long products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Mr.oz, S. Berski // *Journal of Materials Processing Technology*, 2004. – № 157–158. – R. 131–137.
3. 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 – R. 238–242.
4. Dyja H. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Berski, S. Mr.oz // *Journal of Materials Processing Technology*, 2004. – № 157–158. – R. 496–501.
5. Park C. Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis / C. Y. Park a, D. Y. Yang // *Journal of Materials Processing Technology*, 1997. – № 72. – R. 32–41.
6. Ohrimenko Ja. M. Povyshenie jeffektivnosti i kachestva raboty v kuznechnom proizvodstve / Ja. M. Ohrimenko // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 2077. – № 8 – S. 1–7.
7. Sokolov L. N. Usovershenstvovanie tehnologii kovki kombinirovannymi bojkami / L. N. Sokolov, B. S. Kargin // *Izvestija vuzov. Chernaja metallurgija*, 1974. – № 1. – S. 102–103.
8. Ivanushkin P. F. Vlijanie formy bojkov na intensivnost' protjazhki i raspredelenie deformacij / P. F. Ivanushkin, B. S. Kargin // *Izvestija vuzov. Chernaja metallurgija*, 1971. – № 1 – S. 96–100.
9. Kovka pokovok prjamougol'nogo sechenija i zagotovok shtampovyh kubikov / A. B. Najzabekov, A. V. Kotelkin, V. A. Petrov, V. K. Voroncov, B. O. Temkin, V. F. Kasatonov // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 1990. – № 10 – S. 4–6.

Алиев И. С. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМД ДГМА

Жбанков Я. Г. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД ДГМА

Грачев И. А. – канд. техн. наук, начальник бюро поковок ОГМет ПАО «НКМЗ»

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;

НКМЗ – Новокраматорский машиностроительный завод, г. Краматорск.

E-mail: yzhbankov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.10.2014 г.