

УДК 621.735.3

**Л. И. АЛИЕВА**, канд. техн. наук, доц., ДГМА, Краматорск;**Я. Г. ЖБАНКОВ**, канд. техн. наук, ст. преподаватель, ДГМА, Краматорск;**В. Ю. СТАНКОВ**, начальник ЦЗЛ ПАО «ЭМСС», Краматорск.

## **КОВКА ПОКОВОК ТИПА ВАЛОВ С ПРОДОЛЬНОМ СДВИГОМ СПЕЦИАЛЬНЫМИ БОЙКАМИ**

Установлено влияние геометрических параметров бойков на деформированное состояние заготовки и дефектообразование. Установлено, что протяжка цилиндрической заготовки ступенчатыми бойками должна осуществляться с минимальным зазором и с обжатиями равными 10-15% от диаметра заготовки. Протяжка плоской заготовки должна осуществляться бойками со скошенной ступенькой, что обеспечит при дальнейшей правке качественную поверхность заготовки.

**Ключевые слова:** цилиндрическая заготовка, протяжка, бойки ступенчатые, деформированное состояние, дефекты образования.

**Введение.** Известно, что на качество металла, его механические свойства при получении изделий горячим деформированием значительное влияние оказывает напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки. В последнее время большая часть работ в области материаловедения посвящена изучению влияния степени горячей деформации на структуру различных материалов. Одним из примеров таких работ является исследование структурной чувствительности аустенитной нержавеющей стали 304Н к горячей пластической деформации [1]. Авторами работы проведены исследования по осадке цилиндрических образцов, которую производили при температуре 1050 °С со скоростью деформации 0,1 с<sup>-1</sup>. Логарифмическая степень деформации при осадке достигалась от 0,2 до 0,8. После деформации образцы сразу же охлаждались в воде. Установлено, что с увеличением степени деформации образца размер зерна уменьшается, при логарифмической деформации равной 0,2 средний размер зерна составил 20 мкм, а при деформации 0,8 он в 4 раза меньше (5 мкм). Подобные исследования на других материалах приведены и в работах [2-5].

**Анализ проблемы.** Основными параметрами, которые влияют на напряженно-деформированное состояние заготовки, в процессахковки являются форма инструмента и заготовки, механический режимковки и температурный фактор [6]. Наиболее простой способ управления НДС заготовки это применение инструмента специальной конфигурации, который в сочетании с рациональным механическим режимомковки позволяет получать поковки высокого качества. Анализ работ [6, 7] показал, что для получения поволоков типа валов ответственного назначения рациональным является протяжка слитка плоскими бойками через пластину, кроме того в данных работах упоминается промежуточное профилирование заготовки в виде пластины специальным инструментом – бойком выпуклой формы. Однако установлено, что применение ступенчатых бойков при промежуточном

профилировании заготовки (рис. 1) является более эффективным с точки зрения величины деформаций в центральной дефектной части слитка. Кроме того применение ступенчатых бойков позволяет снизить количество проходовковки, т.к. не нужна кантовка заготовки при ее профилировании.

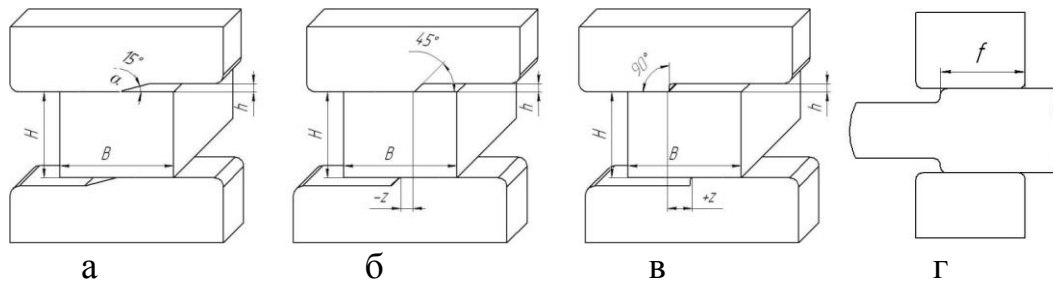


Рис. 1 – Схема обжима плоской заготовки ступенчатыми бойками: а – нулевой зазор, б – отрицательный зазор, в – положительный зазор, г – вид сбоку

Данная схема протяжки требует дополнительного изучения т.к. предварительные эксперименты показали, что в заготовке могут возникать определённые дефекты. Таким образом, необходимо установить рациональные параметры процессаковки с применением продольного сдвига.

**Целью данной работы** является исследование дефектообразования в процессе профилирования заготовки ступенчатыми бойками и разработка рационального режима протяжки.

**Методика исследований.** Теоретические исследования выполнены методом конечных элементов. Для моделирования задавали следующие параметры: материал заготовки сталь 35, начальная температура заготовки 1100 °С, температура инструмента 20 °С. Скорость движения инструмента 28 мм/сек, коэффициент пластического трения по закону Зибеля 0,35.

Экспериментальные исследования выполнены на свинцовых образцах и заключались в протяжке цилиндрической заготовки на пластину с относительными размерами  $B/H=1..2$ , обжатии заготовки ступенчатыми бойками и правки плоскими бойками (рис. 2). Ширина бойков 28 мм.

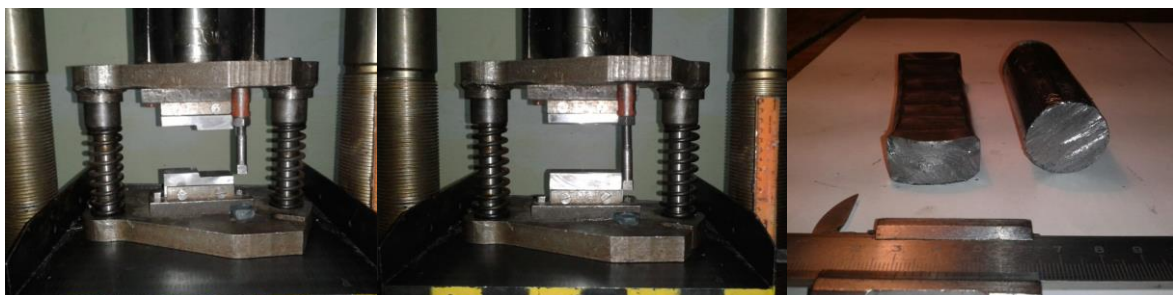


Рис. 2 – Общий вид инструмента и заготовок для проведения экспериментальных исследований

**Результаты исследований.** Теоретическое исследование протяжки цилиндрической заготовки ступенчатыми бойками.

Для обеспечения наилучшей проработки литого металла исходной заготовки и обеспечения минимальной неоднородности распределения

деформаций в заготовке предложено, ступенчатыми бойками обжимать цилиндрическую заготовку, причем обжим должен производиться с кантовкой заготовки на 90 градусов. При протяжке слитка по такой схеме будет получаться заготовка четырехлучевой формы, ковка которой в дальнейшем, позволит за счет развитых макросдвиговых деформаций повысить качество изделия [8]. Проведено исследование влияния размеров бойков и величины их зазора на формоизменение заготовки. Заготовка диаметром 1000 мм обжималась бойками с уступом высотой  $h$  равной 100, 200 и 300 мм. Для бойков с уступом  $h=200$  мм рассматривали три зазора  $Z=100, 200$  и 300 мм.

На рис. 3 показано сечение заготовки после обжатия ступенчатым бойком, ее кантовки и повторного обжатия. Сечение заготовки имеет четырехлучевую форму, ковка которой по традиционным схемам имеет определенные преимущества, заключающиеся в качественной проработке металла. Кроме того, поле распределения интенсивности логарифмических деформаций достаточно однородно по всему сечению заготовки.

На рис. 4 приведено формоизменение заготовки при ее ковке бойком с высотой уступа 300 мм. Видно, что после кантовки заготовки и ее обжатия образуется дефект, обозначенный на рисунке областью А, который заключается в деформировании части заготовки и образовании зажима, что не допустимо. Т.е. обжатие заготовки на данную величину не допускается.

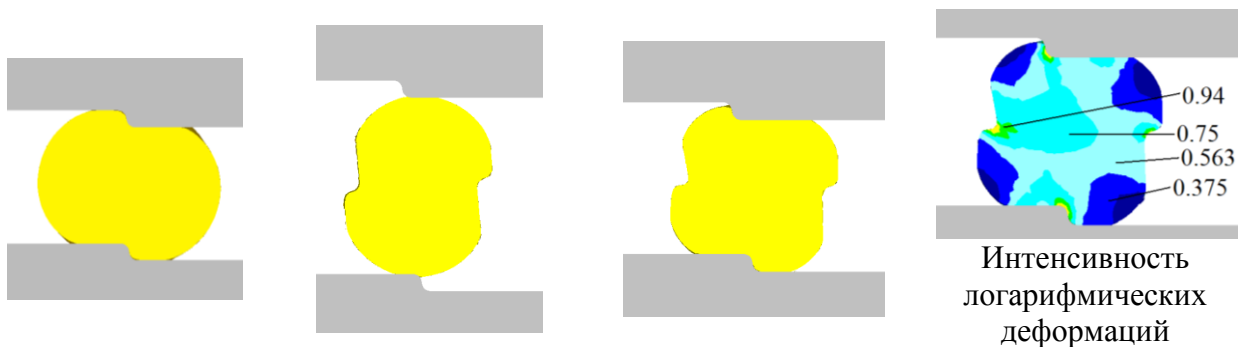


Рис. 3 – Формоизменение поперечного сечения заготовки при ковке ступенчатым бойком с нулевым зазором и высотой уступа 100 мм



Рис. 4 – Формоизменение поперечного сечения заготовки при ковке ступенчатым бойком с нулевым зазором и высотой уступа 300 мм

На рисунке 5 приведены результаты исследования влияния величины перекрытия между верхним и нижним бойками на формоизменение заготовки. Из рисунка видно, что при нулевом зазоре заготовка после обжатия, кантовки и

повторного обжатия имеет крестообразную форму, но в выделенной области А в заготовке начинает образовываться зажим, который при дальнейшей ковке 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.

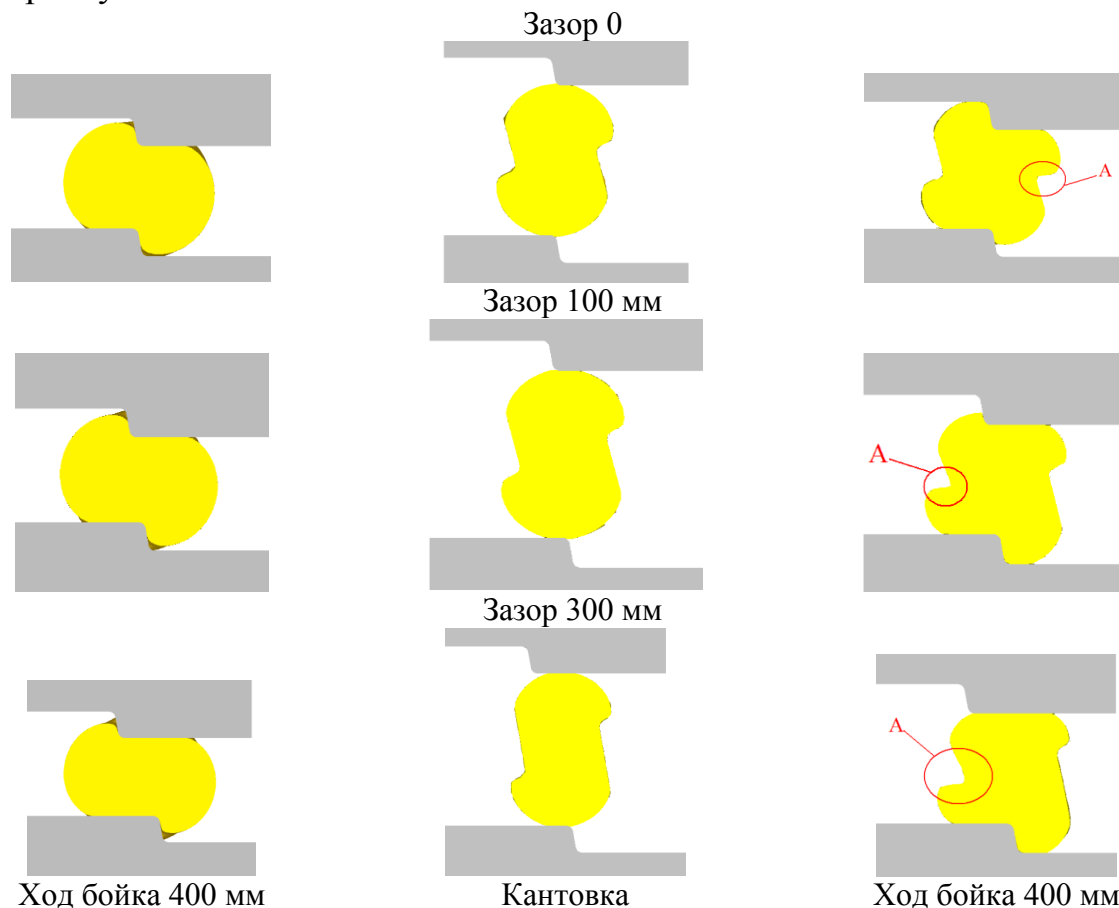


Рис. 5 – Формоизменение поперечного сечения заготовки при ковке ступенчатым бойком с различным зазором и высотой уступа 200 мм

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 цилиндрической заготовки по схеме обжатие кантовка обжатие при использовании ступенчатых бойков с отрицательным зазором. Зазор между бойками должен быть минимальный, а величина обжатия должна быть в пределах 10-15% от диаметра исходной заготовки.

#### *Протяжка пластины ступенчатыми бойками.*

Из литературы известно, что ковка поковок типа валов эффективна с использованием протяжки через пластину и для дополнительной проработки ее центральной части рекомендуется производить дополнительное обжатие выпуклым бойком [7]. С точки зрения проработки центральной части заготовки

эффективным является профилирование ступенчатыми бойками. Процесс ковки будет выглядеть следующим образом: протяжка цилиндрической заготовки до заготовки с прямоугольным поперечным сечением, профилирование ступенчатыми бойками, правка плоскими бойками и ковка вала по стандартным режимам.

На рисунке 6 приведена заготовка, которая после протяжки в ступенчатых бойках с углом скоса ступеньки  $90^\circ$  была протянута в плоских бойках.



Рис. 6 – Заготовка до и после протяжки в плоских бойках

Видно, что после протяжки плоскими бойками на заготовке образуется зажим в области Б. Из этого можно сделать вывод, о том, что протяжка заготовки в ступенчатых бойках с углом скоса ступеньки  $90^\circ$  перед протяжкой на плоских бойках ведет к дальнейшему дефектообразованию (зажиму).

С целью исключения зажима на поверхности необходимо ступеньку на бойке выполнить более плавной, т.е. с меньшим углом. На рисунке 7 приведена заготовка, которая после протяжки в ступенчатых бойках с углом скоса ступеньки  $45^\circ$  была протянута в плоских бойках.

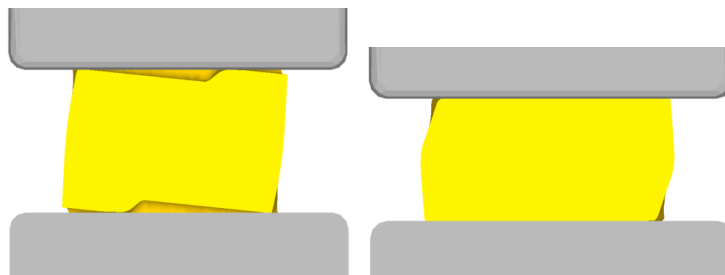


Рис. 7 – Заготовка до и после протяжки в плоских бойках

Видно, что после протяжки плоскими бойками на поверхности заготовки не образуется зажим, следовательно, ступенька на бойках должна выполняться со скосом уклоном не более  $45^\circ$ .

Для экспериментальной проверки полученных результатов проведены испытания по описанной ранее методике. На рисунке 8 изображена заготовка, прошедшая предварительную протяжку на пластину и профилирование ступенчатыми бойками с углом скоса ступеньки  $90^\circ$ .

Правка заготовки осуществлялась плоскими бойками. Эксперимент показал, что на поверхности заготовки остается зажим, который ковкой практически невозможно устранить, что ведет к неизбежному браку (рис. 8 б).

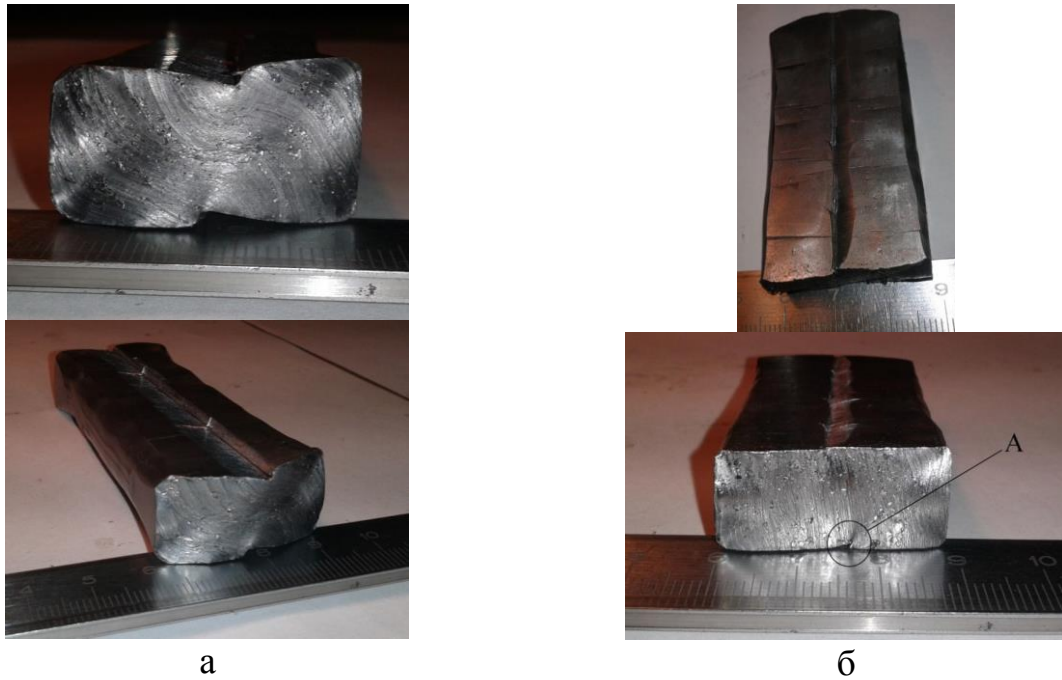


Рис. 8 – Заготовка для правки после протяжки ступенчатыми бойками: а – с углом скоса ступеньки  $90^\circ$  и б – правки плоскими бойками

По аналогии с теоретическими исследованиями изготовлены бойки с углом скоса ступеньки  $45^\circ$ , и проведено профилирование заготовки данными бойками. На рисунке 9 изображена такая заготовка.

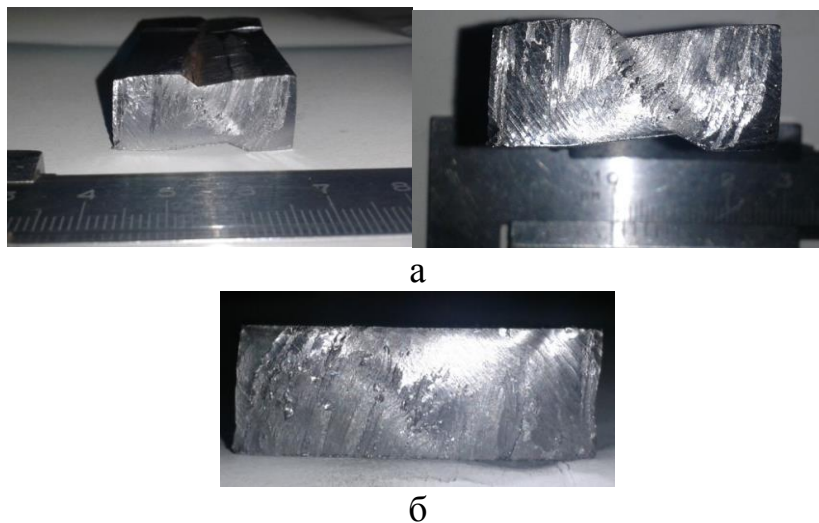


Рис. 9 – Заготовка после профилирования ступенчатыми бойками: а – с углом скоса ступеньки  $45^\circ$ , б – правки плоскими бойками

При правке такой заготовки плоскими бойками на ее поверхности не образуется зажимов (рис. 9 б).

Кроме зажимов на поверхности заготовки возможно появление трещин из-за исчерпания ресурса пластичности металла. Для определения вероятности появления трещин, проведено исследование на основе моделирования методом конечных элементов. На рисунке 10 показаны картины распределения полей деформаций и напряжений в поперечном сечении заготовки, из которых видно,

что наиболее опасными с точки зрения дефектообразования являются зоны металла заготовки, которые находятся в непосредственной близости к ступени бойка. Это связано, с тем, что деформации и интенсивность напряжений там наибольшие.

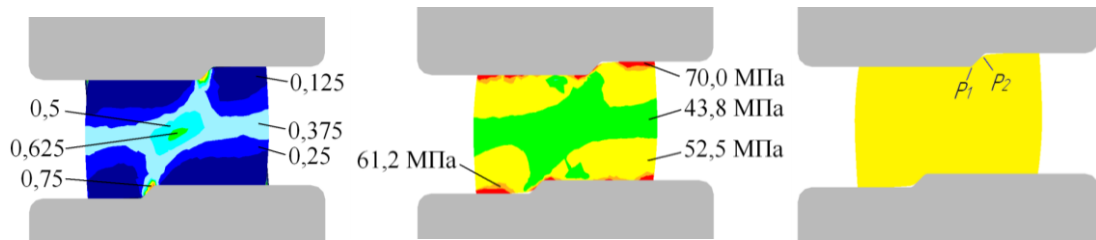


Рис. 10 – Поля распределения интенсивности деформаций и напряжений в поперечном сечении заготовки при ее профилировании ступенчатыми бойками

На основе полученных данных о напряженно-деформированном состоянии заготовки был рассчитан показатель жесткости схемы напряженного состояния  $\eta$  для точек на поверхности заготовки по следующей формуле:

$$\eta = \frac{3 \cdot \sigma_{cp}}{\sigma_i},$$

где  $\sigma_{cp}$  – среднее напряжение, МПа;

$\sigma_i$  – интенсивность напряжений, МПа.

Для определения места возможного образования трещины при протяжке на заготовке, по результатам моделирования, построили путь деформирования для точек P1, P2 и наложили его на диаграмму пластичности как показано на рисунке 11.

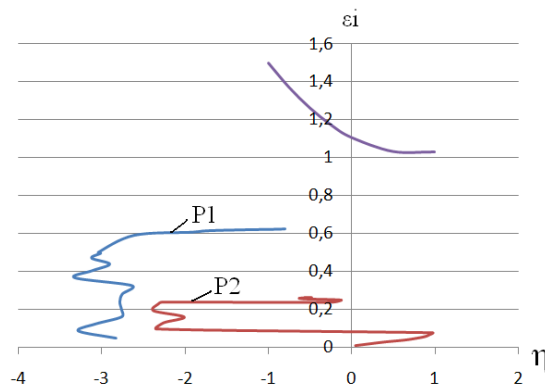


Рис. 11 – Диаграмма пластичности стали 35 (температура 1100<sup>0</sup>С) с нанесенным путем деформирования для различных точек при протяжке ступенчатыми бойками с относительной подачей 1 и относительным обжатием 0,1

В точке P1, которая находится непосредственно под кромкой бойка, деформации имеют значения больше, чем для точки P2 и показатель жесткости схемы напряженного состояния имеет большие значения. Следовательно наиболее опасной с точки зрения исчерпания ресурса пластичности является область заготовки у точки P1. Из рисунка 11 видно, что кривая пластичности

находиться выше чем кривые P1 и P2. Из этого можно сделать вывод, о том, что разрушения в выбранных точках P1 и P2 при обжати не произойдет.

**Выводы.** Установлено, что в процессе профилирования заготовки ступенчатыми бойками, на ее поверхности могут возникать дефекты в виде зажимов и трещин. При профилировании цилиндрической заготовки необходимо, чтобы зазор Z между бойками был минимален и обжатия не превышали 10-15% от диаметра заготовки, что обеспечит качественную, однородную проработку и позволит избежать дефектообразования.

В процессе профилирования заготовки в виде пластины ступенчатыми бойками и последующей правки плоскими бойками на поверхности заготовки могут образоваться зажимы, которые можно избежать, применяя ступенчатые бойки с углом скоса ступеньки  $45^{\circ}$ .

**Список литературы:** 1. H. Mirzadeha EBSD study of a hot deformed austenitic stainless steel/ H. Mirzadeha, J.M. Cabreraa, A. Najafizadehb, P.R. Calvillo // Materials Science and Engineering A 538 (2012) p. 236– 245. 2. Ezatpour H.R. Influence of hot deformation strain rate on the mechanical properties and microstructure of K310 cold work tool steel / H.R. Ezatpour, S.A. Sajjadi, M. Haddad-Sabzevar // Materials Science and Engineering A, 2010, №527 – p. 1299-1305. 3. Zengmin Shi Thermo-mechanical properties of ultra high strength steel 22SiMn2TiB at elevated temperature / Zengmin Shi, Kai Liu, Maoqiu Wang, Jie Shi, Han Dong, Jian Pu, Bo Chi, Yisheng Zhang, Jian Li // Materials Science and Engineering A, 2011, №528 – p. 3681–3688. 4. Shengli Guo Hot deformation and processing maps of Inconel 690 superalloy / Shengli Guo, Defu Li, Haijia Pen, Qingmiao Guo, Jie Hu // Journal of Nuclear Materials, 2011, №410 – p. 52-58. 5. Furen Xiao Effect of hot deformation on phase transformation kinetics of 86CrMoV7 steel / Furen Xiao, Bo Liao, Guiying Qiao, Shuzhe Guan // Materials Characterization, 2006, №57 – p. 306–313. 6. Алиев И.С. Факторы, влияющие на параметрыковки крупных поковок / И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков, А.В. Периг // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение, том 15, №1, 2013 – С. 27-45. 7. Кривошеев В.П. Разработка, исследование и внедрение технологииковки крупных слитков из валковых сталей через пластину с обжимом бойком с выпуклым рабочим профилем: дис. канд. техн. наук : 05.03.05 / Кривошеев Виктор Петрович . – К., 1995. – 221 с. 8. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки / В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство, 2006, №5 – С. 27-29.

Надійшла до редколегії 08.11.2013

УДК 621.735.3

**Ковка поковок типа валов с продольным сдвигом специальными бойками / Алиева Л. И., Жбанков Я. Г., Станков В. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 3-10. Бібліогр.: 8 назв.**

Встановлено вплив геометричних параметрів бойків на деформований стан заготовки і утворення дефектів. Встановлено, що протягування циліндричної заготовки ступінчастими бойками повинна здійснюватись з мінімальним зазором і з обтисканнями що дорівнюють 10-15% від діаметру заготовки. Протягування плоскої заготовки повинно здійснюватись бойками зі скошеною сходинкою для того щоб забезпечити при подальшій правці якісну поверхню заготовки.

**Ключові слова:** циліндрична заготовка, протягання, бойки ступінчасті, деформований стан, дефекти освіти.

Influence geometric parameters of dies on strain state of billet and defects formation was established. Determined that forging of cylindrical billet by special dies must be done with minimal clearance and relative height deformation 10-15% of billet diameter. Forging of flat billet must be done by special dies with sloping stage. This provides in further correction of billet the high quality surface.

**Keywords:** cylindrical billet, broaching, are brisk step, deformation, defect formation.