

## ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ОСАДКОЙ СЛИТКОВ В КОЛЬЦАХ

Марков О. Е., Алиев И. С., Олешко М. В.

Предложен и исследован новый технологический процесс ковки из слитков прокатных валков, который заключается в осадке слитка в кольцах. Способ позволяет повысить качество поковки. Исследовались различные соотношения размеров заготовки методом конечных элементов. Установлено влияние соотношений размеров заготовки и диаметров отверстий колец на распределение деформаций. Выявлен механизм затекания металла в отверстие плиты при разной геометрии инструмента, заготовки и степени деформации. Результаты теоретического исследования были подтверждены экспериментальными исследованиями на свинцовых моделях с использованием метода координатных сеток. Сделаны выводы о применимости нового технологического процесса для ковки прокатных валков.

Запропоновано і досліджено новий технологічний процес кування зі злитків прокатних валків, який полягає в осадженні злитка в кільцях. Спосіб дозволяє підвищити якість поковки. Досліджувалися різні співвідношення розмірів заготовки методом скінчених елементів. Встановлено вплив співвідношень розмірів заготовки і діаметрів отворів кілець на розподіл деформацій. Виявлено механізм затікання металу в отвір плити при різній геометрії інструменту, заготовки та ступеня деформації. Результати теоретичного дослідження були підтверджені експериментальними дослідженнями на свинцевих моделях з використанням методу координатних сіток. Зроблено висновки про застосовність нового технологічного процесу для кування прокатних валків.

In this paper we proposed and investigated a new process of forging ingots of the rolls, which mean the upsetting an ingot in the rings. The method improves the quality of forgings. We studied the different aspect ratios harvesting of finite elements method. The influence of the size: billets and hole diameter rings on the strain distribution has been determined. The mechanism of flowing in the metal into the hole of plate with different tool geometry, workpiece and the degree of deformation has been investigated. Results of theoretical studies have been confirmed by the experimental studies on lead models using the method of coordinate grids. The conclusions about the applicability of the new manufacturing process for forging rolls have been made.

Марков О. Е.

канд. техн. наук, доц. кафедры ОМД ДГМА  
[omd@dgma.donetsk.ua](mailto:omd@dgma.donetsk.ua)

Алиев И. С.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ОМД ДГМА

Олешко М. В.

зам. нач. цеха ЗАО «НКМЗ»

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

ЗАО «НКМЗ» – ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск

УДК 621.735.3

Марков О. Е., Алиев И. С., Олешко М. В.

## ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ОСАДКОЙ СЛИТКОВ В КОЛЬЦАХ

Для конкурентоспособности крупных поковок на международных рынках необходимо при проектировании технологических процессов обработки металлов давлением разрабатывать новые ресурсосберегающие технологические процессы, которые обеспечивают высокое качество продукции с меньшими затратами на производство. В большей степени это относится к тяжелому машиностроению, так как это направление является энерго- и трудоемким, качество продукции этой отрасли остается низким, так как крупные детали изготавливаются ковкой слитков. Около 35 % всех изготавливаемых поковок ковкой составляют поковки типа валов, которые пользуются широким спросом в тяжелом машиностроении, большую часть из них составляют прокатные валки.

Ковка прокатных валков является трудоемким процессом и включает в себя такие кузнечные операции, как оттяжка цапфы, биллетировка, осадка и последующая протяжка комбинированными бойками [1]. По технологии необходимо произвести нагрев слитка и два, три подогрева заготовки, что в целом делает технологию очень энергоемкой, что увеличивает себестоимость кованных валков. Ориентировочно качество крупных поковок на этапе проектирования технологического процесса оценивается коэффициентом укова, который зависит от степени деформации на каждой операции, поэтому для увеличения коэффициента укова, а, следовательно, ожидаемого качества, применяется операция осадка для увеличения площади поперечного сечения заготовки и возможности обеспечения большей степени деформации при протяжке. Степень деформации при осадке сильно влияет на затраты при ковке, поэтому уков при осадке определяет рентабельность технологииковки крупных слитков. Степень деформации при осадке должна быть рациональной, чтобы обеспечивать высокую проработку литой структуры металла и следовательно высокие механические свойства поковки, при этом затраты на ковку должны быть минимальными. Операция осадка слитка является противоречивой операцией с точки зрения повышения качества поковок. Так как деформация при осадке не только увеличивает проработку литой структуры слитка, но при этом – способствует появлению неблагоприятного напряженно-деформированного состояния в дефектной осевой зоне слитка из-за действия на оси заготовки растягивающих напряжений, которые разрывают и растягивают осевую рыхлость. Торцевые зоны слитка, которые контактируют с осадочными плитами, не прорабатываются. Осадка слитка сопровождается с образованием бочки на боковой поверхности, что приводит к появлению там растягивающих напряжений и образованию трещин. Для устранения выше упомянутых недостатков операции осадки необходимо изменить схему напряженно-деформированного состояния при осадке, чтобы она способствовала закрытию и завариванию дефектов металлургического происхождения.

На сегодняшний день известны различные способы осадки, все они основаны на осадке заготовки специальным инструментом [2, 3]. Из всех этих способов только осадка выпуклым инструментом или кольцами способны обеспечить в центральной зоне и на боковой поверхности заготовки состояние неравномерного всестороннего сжатия, что будет способствовать завариванию внутренних дефектов слитка. Осадка заготовок плитами с осевыми отверстиями известна достаточно давно, и нашла широкое применение в основном при производстве поковок типа дисков со ступицами, дляковки других типов поковок эта схема получает сегодня новое применение, что вызвано более глубоким исследованием этой схемы деформирования с применением программных продуктов на основе метода конечных элементов (МКЭ) [4], которые позволяют с высокой степенью достоверности определить формоизменение и напряженно-деформированное состояние (НДС) в процессе осадки. Важными характеристиками процесса осадки кольцами выступает отношение диаметра отверстия кольца

к диаметру заготовки  $do/D$  и относительной высоте заготовки  $H/D$ . Эти параметры влияют на НДС и количество затекания металла в отверстие плиты. В работе [5] установлено, что наибольшее затекание металла в отросток достигается при осадке относительно низких заготовок с  $H/D < 1,0$  и диаметром отверстия кольца  $do/D > 0,6$ , но количественная оценка деформированного состояния еще не дана.

Целью работы является исследование влияния формы инструмента и геометрии исходной заготовки на НДС в процессе осадки плитами с отверстиями, для применения данной схемы деформирования дляковки ступенчатых валов.

В работе предлагается усовершенствовать технологический процессковки прокатных валков [6]. Идея способа заключается в том, что после оттяжки цапфы из прибыльной части слитка и обкатки граней слитка осадку производят верхней вогнутой плитой с отверстием (рис. 1). Пунктиром на рис. 1 показана заготовка и положение инструмента до деформации. В этом случае будет наблюдаться комбинированное течение металла с образованием вогнутой боковой поверхности, что обеспечит повышенную проработку центральной части слитка, что обеспечит заварку внутренних дефектов слитка, исключит трещинообразование на боковой поверхности.

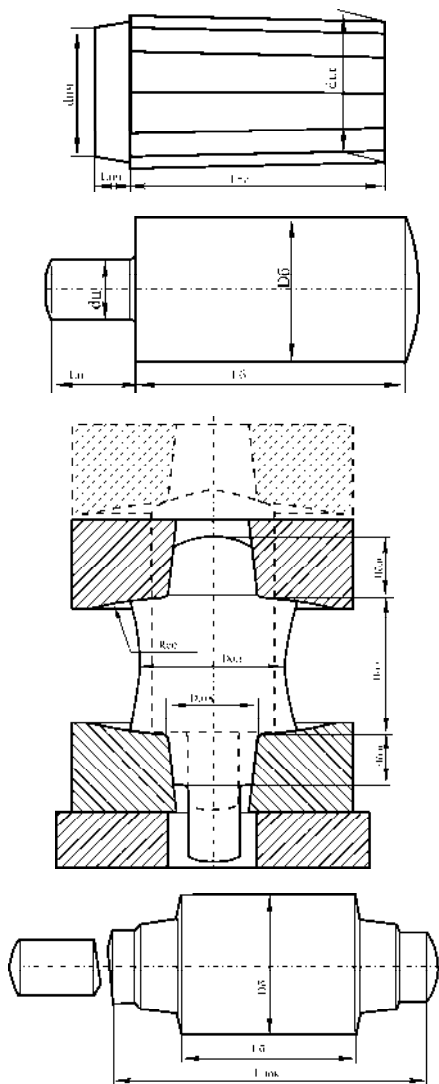


Рис. 1. Новый технологический процессковки прокатных валков

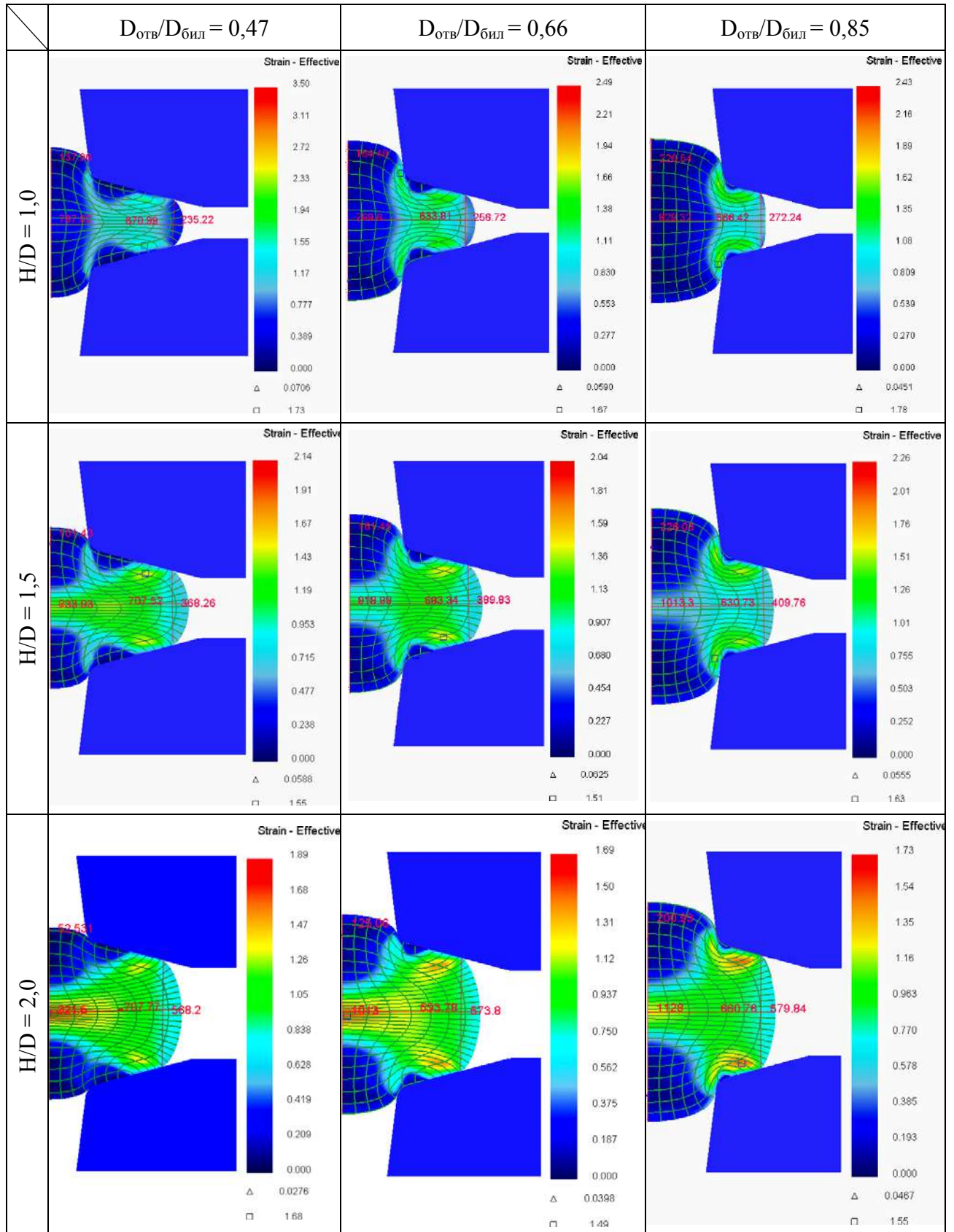
При этом ожидается снижение усилия деформирования по сравнению с осадкой плоскими плитами за счет комбинированного течения металла в осевом и радиальном направлениях и уменьшения диаметра, связанного с отсутствием бочкообразования. Реализация технологического процессаковки подобных поковок предполагают наличие цапфы для удержания заготовки манипулятором. Поэтому нижняя осадочная плита должна устанавливаться на подставку для возможности истечения металла в нижнее отверстие плиты. Сложность данного технологического процесса заключается в обеспечении соосности заготовки с верхним и нижним отверстиями плит. Эксцентриситет заготовки и инструмента приведет к увеличению неравномерности проработки и затекания металла. Устранить данный недостаток возможно за счет формирования в процессе биллетировки на краях заготовки уступов, которые по диаметру совпадают с диаметрами отверстий в плитах.

Оценку НДС процесса осадки заготовки в кольцах можно дать после анализа результатов теоретического исследования с помощью программного обеспечения Deform-2D (лицензия ДГМА). Заготовка задавалась цилиндрической стальная диаметром 850 мм с относительной высотой 1,0, 1,5, 2,0. Материал заготовки – сталь AISI 52100 (~ 1 % С и 1,45 % Cr), которая является аналогом валковой стали 9Х1 ГОСТ 5950-73 (0,8–0,95 % С, 1,4–1,7 % Cr, 0,25–0,45 % Si, 0,15–0,40 % Mn), температурный интервалковки 1200–800 °С. Отверстие в плитах имеет угол конусности 7° на сторону, который служит для обеспечения извлечения осажённой заготовки из плиты и составляет  $do/D = 0,47; 0,66; 0,85$  соответственно. Степень деформации при осадке по высоте заготовки составляла 20 %, 40 % и 60 %.

Результаты моделирования для угла конусности плит 150 ° представлены в табл. 1.

Таблица 1

Интенсивность логарифмических деформаций при осадке в кольцах на 60 %



В табл. 1 показана окончательная стадия процесса (осадка на 60 %) для оценки накопленной интенсивности распределения деформаций. Распределение деформаций в продольном сечении заготовки показывает повышенную проработку периферийной зоны заготовки при осадке невысоких по высоте заготовок ( $H/D = 1,0$ ) для различных диаметров отверстий плит.

И только для заготовок с соотношением  $H/D = 1,5 \dots 2,0$  наблюдается проработка центральной зоны – при увеличении высоты заготовки очаг деформации проникает глубже и достигает оси заготовки. Повышенная проработка периферии бочки вала на глубину половины радиуса бочки повысит механические свойства этой части детали, что повысит износостойкость бочки вала. Не проработанными во всех исследуемых случаях остаются объемы металла, которые вытесняются в отверстие плиты. Течение металла в отверстия плиты не значительно при разных соотношениях высот заготовок и степенях деформации.

Чётко просматриваются части поковки, «прилипающие» к инструменту в виду наличия контактного трения и имеющие незначительную проработку структуры. Имеет место также выход боковой поверхности блока на торцы недокова. Непроработанные части заготовок (отростки и застойные зоны) в среднем имеют интенсивность проработки, равную  $0,1 \dots 0,2$ . Более проработанные части поковки – до  $1,7$ .

Полученные результаты на адекватность проверялись на образцах из свинца с использованием экспериментального метода делительных сеток (рис. 2). По геометрии заготовки совпадали с геометрией, как и при теоретическом исследовании  $1,0; 1,5; 2,0$ . Диаметр образцов составлял 42 мм и высотой 42, 63 и 84 мм соответственно. Сетка наносилась в продольном сечении образца, путём спая двух половинок с нанесенной делительной сеткой с базой сетки 3 мм. Деформированное состояние определялось по методике И. П. Ренне [7]. Заготовка после поэтапного деформирования по  $\varepsilon = 10\%$  на каждом этапе сканировались и обмерялись (рис. 2).

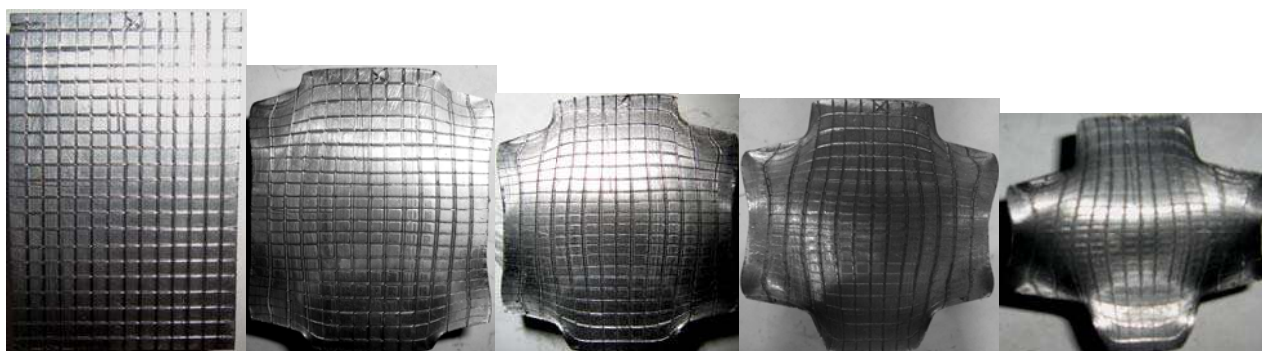


Рис. 2. Изменение координатной сетки в процессе осадки

Измерение ячеек координатной сетке показало интенсивность логарифмических деформаций (рис. 3). Полученные результаты качественно и количественно совпадают, по распределению логарифмических деформаций, с результатами расчета МКЭ, однако эксперимент показывает большее затекание металла в отверстие плиты, чем конечно-элементное моделирование. Для экспериментальных данных характерно образование вогнутой бочки и повышенной проработки периферийных и центральных зон заготовки.

Получение после осадки заготовок кольцами полуфабриката близкого по форме к прокатному валу, что позволяет уменьшить последующую трудоемкость ковки и повысить производительность процесса, за счет формирования при осадке опорных шеек вала. При этом необходимо рассчитывать кинематику течения металла в осевое отверстие плиты, для обеспечения возможности набора необходимых объемов металла под будущие шейки вала. Не исключен



вариант, когда для получения длинной шейки валка возможно производить осадку на плитах с отверстием большим, чем диаметр шейки. Получение требуемых размеров возможно после протяжки этого участка комбинированными бойками. В этом случае необходимый уков достигается в процессе осадки в кольцах и дальнейшей протяжки.

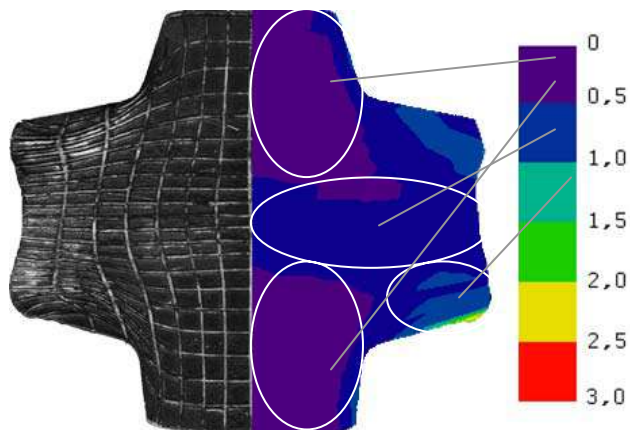


Рис. 3. Интенсивность логарифмических деформаций после осадки на 60 % кольцами с  $do/D = 0,66$  и  $H/D = 1,5$

По сравнению с традиционной технологиейковки поковок прокатных валков данная технологияковки уменьшает количество кузнечных операцийковки на 15 % (в среднем). Окончательнуюковку необходимо производить с максимально возможными обжатиями для глубокого проникновения очага деформации к оси заготовки, а заканчиватьковку необходимо при температурах, которые соответствуют нижней границе температурного интервалаковки.

## ВЫВОДЫ

Осадка в кольцах обеспечивает повышенную проработку металла периферийной части заготовки, где интенсивность деформаций достигает значений порядка 1,5..2,0, осевая часть прорабатывается для относительно высоких заготовок, у которых  $H/D > 1,0$ . Ступицы претерпевает меньшую деформацию, которая может быть повышена последующей оттяжкой шеек валка. Большое затекание металла в отверстие плиты обеспечивают короткие заготовки с  $H/D < 1,5$ . Увеличить количество течения металла заготовки в осевом направлении возможно при увеличении диаметра отверстия в плите, при этом необходимо увеличивать диаметр заготовки во избежание складкообразования на боковой поверхности. Поэтому применение осадки в кольцах для прокатных валков с большим объемом шеек возможно также с применением укороченных слитков с соотношением  $H/D < 1,5$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Применение способа осадки слитков кольцами в процессахковки валов / И. С. Алиев, О. Е. Марков, М. В. Олешко, В. Н. Злыгорев // *Обработка материалов давлением : сб. научн. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2(23). – С. 94–98.
2. Марков О. Е. Процес утворення утяжини при осадці дисків на плиті з отвором // *Обработка материалов давлением : сб. научн. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1(19). – С. 189–192.
3. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций / И. С. Алиев, О. Е. Марков, Я. Г. Жбанков, С. А. Близняк // *Обработка материалов давлением : сб. научн. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 3(24). – С. 64–68.
4. Тюрин В. А. Стадийность процесса и потокораспределение при осадке плитами с осевым отверстием века / В. А. Тюрин, М. Б. Савонькин // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 2009. – № 3. – С. 17–20.
5. Тарновский, И. Л. Свободная ковка на прессах / И. Л. Тарновский, В. Н. Трубин, М. Г. Златкин. – М. : Машиностроение, 1967. – 328 с.
6. Пат. 33423 Україна, МПК(2006) В 21 J1/00. Спосіб осадження зливка увігнутими плитами з отворами / Марков О.Є. – Заявл. 28.01.08; опубл. 25.06.08, Бюл. № 12.
7. Рене И. П. Экспериментальные методы исследования пластического формоизменения в процессах обработки металлов давлением с помощью делительной сетки / И. П. Рене. – Тула, 1970. – 147 с.