

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫПУКЛЫХ БОЙКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРУПНЫХ ПЛИТ

Злыгорев В. Н., Марков О. Е., Косилов М. С., Нагиев Н. И.

В статье рассмотрено влияние угла клина выпуклых бойков и глубины вогнутости граней на проработку металла в поверхностных слоях поковок типа плит. Установлено, что с увеличением угла клина бойков и глубины вогнутостей граней уменьшается проработка поверхностных слоёв металла под бойками. Угол 140° обеспечивает наименьшую застойную зону, но дальнейшая ковка приводит к образованию зажимов. Для интенсивной проработки металла, уменьшения застойной зоны и обеспечения отсутствия дефектов необходимо получать четырёхлучевую заготовку с глубиной вогнутости граней 15...25 % бойками с углом 160° . Ковка в бойках с данным углом обеспечивает заковывание осевых дефектов и отсутствие вогнутости на поверхности готовой поковки. Полученные результаты объясняются показателем жесткости схемы напряженно-деформированного состояния по всему сечению при формировании окончательной поковки.

У статті розглянуто вплив кута клина випуклих бойків і глибини увігнутості граней на проробку металу в поверхневих шарах поковок типу плит. Встановлено, що зі збільшенням кута клина бойків і глибини увігнутостей граней зменшується проробка поверхневих шарів металу під бойками. Кут 140° забезпечує найменшу застійну зону, але подальше кування призводить до утворення затисків. Для інтенсивної проробки металу, зменшення застійної зони і забезпечення відсутності дефектів необхідно отримувати чотирипроменеву заготовку з глибиною увігнутості граней 15...25% бойками з кутом 160° . Кування в бойках з даним кутом забезпечує заковування осьових дефектів і відсутність увігнутості на поверхні готової поковки. Отримані результати пояснюються показником жорсткості схеми напружено-деформованого стану по всьому перетину при формуванні остаточної поковки.

Effect of wedge convex dies angle and depth of the concavity faces on metal elaboration in the surface layers of forging such as plates was considered in the paper. It was found, that increasing wedge convex dies angle and depth of the concavity faces decrease the elaboration of surface metal layers under dies. The angle 140° gives the lowest stagnant zone, but further forge leads to the formation of clamps. The intensive metal elaboration, reduce stagnation zone and ensuring absence of defects it is necessary to obtain the four-ray workpiece with 15 ... 25% depth of the concavity faces by dies with angle 160° . Forging in dies with this angle provides shackling of axial defects and lack of concavities on the surface of the finished forgings. These results are explained by index of rigidity of stress state throughout the whole section during the formation of final forging.

Злыгорев В. Н.

Марков О. Е.

Косилов М. С.

Нагиев Н. И.

зам. гл. мет. ПАО НКМЗ,
аспирант каф. МПФ ДГМА

д-р техн. наук, проф., зав. каф. МПФ ДГМА
oleg.markov.omd@mail.ru

аспирант каф. МПФ ДГМА

студент каф. МПФ ДГМА

ПАО НКМЗ – Публичное акционерное общество «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск;

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.735.36

Злыгорев В. Н., Марков О. Е., Косилов М. С., Нагиев Н. И.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫПУКЛЫХ БОЙКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРУПНЫХ ПЛИТ

При осадке возникает неоднородная деформация, как по высоте, так и по сечению слитка. Под плитами образуются застойные зоны малодеформированного металла [1]. При ковке поковок типа плит для повышения деформационной проработки осевой зоны используют схемуковки с трехсторонним и четырехсторонним прожимом заготовки специальным выпуклым радиусным бойком [2, 3]. Учитывая отличия формы поковок-плит от формы валов, прожим производят с четырех сторон, причем со стороны основных плоскостей плиты их производили на глубину, обеспечивающую суммарную радиальную деформацию 30...40%, а по боковым граням – 8...10% [1]. Благодаря четырехстороннему прожиму заготовки выпуклым радиусным бойком обеспечили хорошую деформационную проработку металла осевой зоны. Недостаток способа в том, что были применены радиусные выпуклые бойки, которые применимы для узкого диапазона размеров слитков.

Эффективным способом заковывания осевых дефектов слитков является применение кузнечной операции протяжки, которая способствует интенсивному закрытию осевых дефектов, что не характерно для операции осадки [4, 5]. Это закрытие в значительной степени определяется схемой напряженно-деформированного состояния, особенно, в месте расположения дефекта [6, 7].

При изготовлении поковок крупногабаритных штамповых кубиков большого сечения требуется хорошая проработка металла, обеспечивающая заковку внутренних усадочных дефектов слитка, высокий уровень механических свойств [8, 9]. При ковке поковок типа плит имеют место также большие концевые отходы вследствие большой выпуклости торцов поковок, что существенно снижает выход годного.

Покковки типа плит относятся к простым по геометрической форме поковкам, но для их изготовления часто требуется применение сложных схемковки и специального инструмента. Это связано, в первую очередь, с повышенными требованиями, предъявляемыми к этим изделиям. Однако из-за существенного неоднородного напряженно-деформированного состояния (НДС) при ковке толстых плит достаточно сложно обеспечить устранение осевых дефектов и необходимые свойства изделия.

Повысить уровень сжимающих напряжений в процессековки возможно за счёт профилирования цилиндрической заготовки перед протяжкой на плиту – предварительное формирование вогнутостей на боковой поверхности заготовки (рис. 1) для получения четырехлучевой заготовки, что обеспечит дополнительный подпор при последующей протяжке плоскими бойками (рис. 2). Основное влияние на НДС заготовок в процессековки по данным схемам оказывает:

- геометрия заготовки с вогнутыми в поперечном сечении гранями (угол вогнутости и глубина вогнутости);
- способ укладки заготовок в плоских бойках – «крестом» (рис. 2а) или «иксом» (рис. 2б).

В данной работе исследован подход, который заключается в поиске рациональной геометрии выпуклых бойков дляковки плит, глубины обжатия этими бойками и способ последующей протяжки. Ковка слитка в выпуклых бойках производится с кантовкой на 90°. Продавливание выпуклыми клиновыми бойками позволяет получить четырехлучевую заготовку с вогнутыми гранями, что в итоге дополнительно повысит уровень сжимающих

напряжений в осевой части слитка при последующей протяжке [10] и обеспечит проработку поверхностных слоев изделия.

Цель работы – исследование влияния ковки выпуклыми клиновыми бойками с различными углами и степенью обжатия во время заготовительной стадии на уменьшение недеформированной застойной зоны под плоскими бойками на окончательной стадии ковки. Задача исследования сводится к определению эффективных углов выпуклого клиновидного бойка, установления рациональных степеней обжатий, при которых происходит закрытие осевого дефекта.

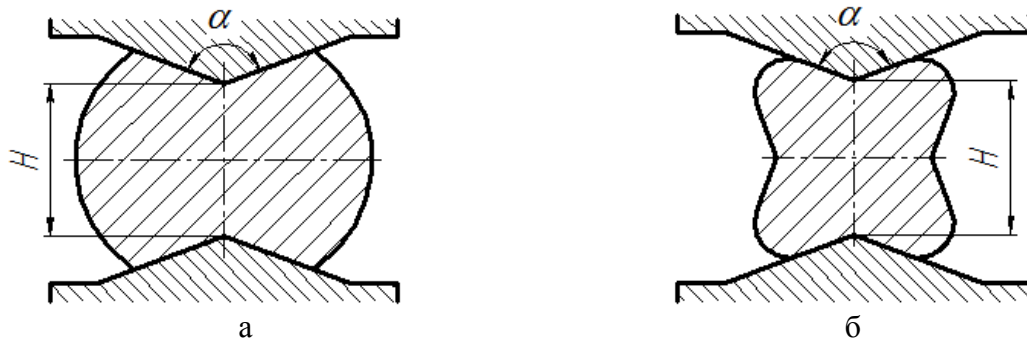


Рис. 1. Последовательность получения четырехлучевой заготовки

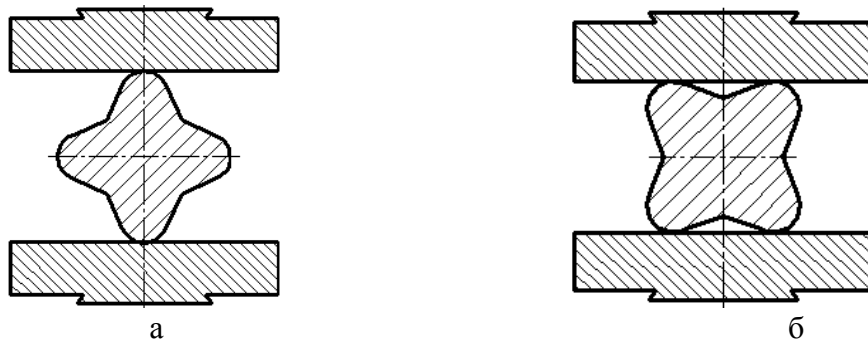


Рис. 2. Схемы ковки четырехлучевой заготовки плоскими бойками: крестом (а) и иксом (б)

Для моделирования реальных физических процессов в деформируемой заготовке применялся численный метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод позволяет получить наиболее полное представление о формоизменении поковки при пластической деформации, НДС, энергосиловых параметрах процесса. Впервые был применен П. Маркалом и И. Кингом для решения упругопластических задач. Учет контактных взаимодействий заготовки и инструмента учитывается с использованием разных моделей. При решении задачи МКЭ, область, которая анализируется, разбивается на большое количество малых по размеру элементов, которые называют конечными. Считают, что конечные элементы взаимодействуют между собой лишь в ограниченном количестве точек – эти точки называются узлами конечных элементов [11].

В качестве заготовки был принят слиток с размерами тела $D = 2000$ мм и $L = 1000$ мм. Моделирование осевого дефекта в слитке выполнялось с помощью отверстия диаметром $d_{\text{деф}0} = 0,1D$. Коэффициент закрытия осевого дефекта ($d_{\text{деф}1}/d_{\text{деф}0}$) для оценки применения выпуклых бойков. Появление сжимающих напряжений способствовало заковыванию дефектов. Комплексной оценкой закрытия осевого дефекта является показатель схемы

напряжённого состояния (НС) в осевой зоне заготовки для исследуемых схем деформирования
$$P_{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}.$$

Оснасткой при протяжке служат выпуклые клиновые (с углом клина 140° и 160°) и плоские бойки. Данные углы бойков были приняты с целью изучения их влияния на проработку осевой зоны поковки, а также для установления их влияния на характерные для этого процесса застойные зоны поковки. Ширина всех бойков $B = 1200$ мм. Степень деформации по высоте четырехлучевой заготовки в клиновых и плоских бойках составляла 15%, 25% и 35% перед протяжкой в плоских бойках.

Известно, что чем больше угол бойка и глубина вогнутостей граней (величина обжатия), тем интенсивнее закрывается осевой дефект. Для плоских бойков достаточно обжатия 25 % по диаметру заготовки, для угла 160° – 35 %, а для угла 140° – больше 35 %. Таким образом, угол в 140° нерационален для получения четырехлучевых заготовок для заковывания осевого дефекта слитка. С этой целью необходимо формировать четырехлучевую заготовку со степенью обжатия 25...30 % бойками с углом в диапазоне 160...180 [10].

Однако для случаяковки плоскими бойками характерна закономерность – зона пластической деформации проникает глубоко к центральным слоям заготовки, но при этом на поверхности образуются застойные, малодеформируемые зоны. Для поковок типа плит этот момент не является положительным, т. к. остается область с недостаточной проработкой металла.

Устранить этот недостаток можно использованием сначала выпуклых (клиновых) бойков, затем – плоских. Такая последовательность позволяет значительно повысить проработку металла по всему сечению поковки.

Исследование проводилось следующим образом. Сначала круглую заготовку ковали в выпуклых бойках до получения четырехлучевой заготовки [12]. Затем четырехлучевую заготовку ковали в плоских бойках до получения готовой поковки. Ковка в плоских бойках осуществлялась по двум схемам расположения в бойках – «иксом» (рис. 2а) и «крестом» (рис. 2б). Результаты НДСковки в плоских бойках показаны в таблицах 1 и 2.

Из этих схем деформирования можно выделить 3 схемыковки, которые обеспечивают высокое и равномерное распределение деформаций по сечению поковки перед окончательной протяжкой в плоских бойках, при этом зона интенсивной пластической деформации имеет большую площадь поперечного сечения:

- четырехлучевая заготовка с углом 160° и глубиной вогнутости граней 15% и 25 %, которая протягивается способом укладки «иксом» (табл. 2 строка 2);
- четырехлучевая заготовка с углом 180° и глубиной вогнутости граней 25%, которая протягивается способом укладки «крестом» (табл. 1 строка 3).

Объединяют эти схемы следующие общие параметры, которые могут служить рекомендациями для разработки новых эффективных технологических процессов: глубина вогнутости граней 15% и 25%, способ укладки заготовки в плоских бойках перед протяжкой – «крестом» и «иксом», угол вогнутости граней 160°...180°.

Наибольшие деформации в готовой поковке достигаются при протяжке в плоских бойках (табл. 1). Однако, при этом, как и предыдущем случае, застойная зона является наибольшей. Деформации, после предварительнойковки в бойках с углами выпуклости 140° и 160°, характеризуются меньшими застойными зонами и, при этом, является в несколько раз меньше, приблизительно в 2 и 3 раза соответственно.

Наибольшие деформации в готовой поковке достигаются при предварительной протяжке в выпуклых бойках с углом 160° (табл. 2). Наименьшая застойная зона наблюдается при предварительнойковки в бойках с углом 140°, но при этом дальнейшаяковка в плоских бойках вызывает образование дефекта в виде вогнутости на боковой поверхности. Ковка в плоских бойках характеризуется наибольшей застойной зоной и при этом наименьшими деформациями по всему сечению.

Таблица 1

НДС заготовки при протяжке плоскими бойками четырёхлучевой заготовки до поковочных размеров (продольный разрез) размещение «крестом» (рис. 2а)

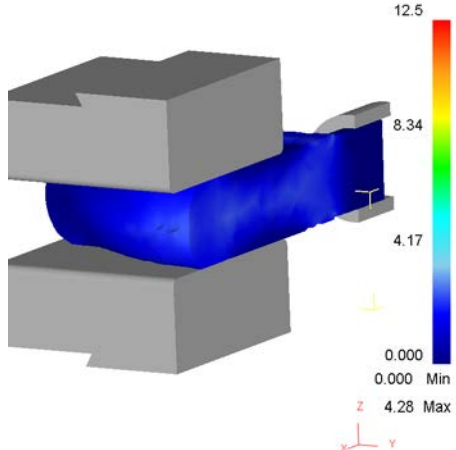
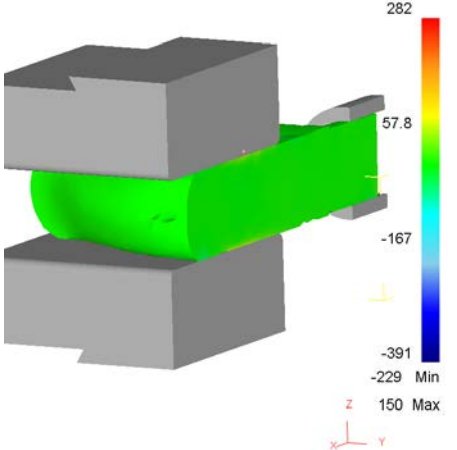
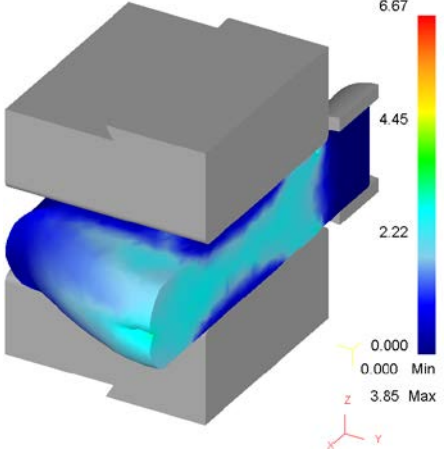
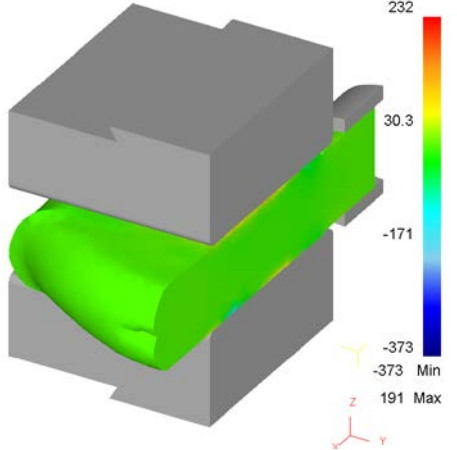
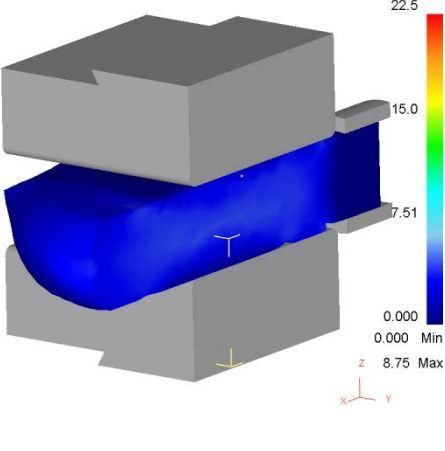
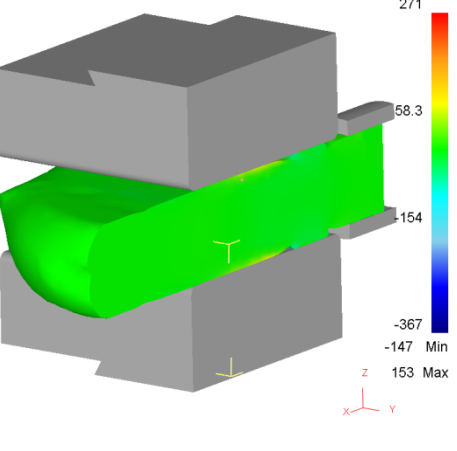
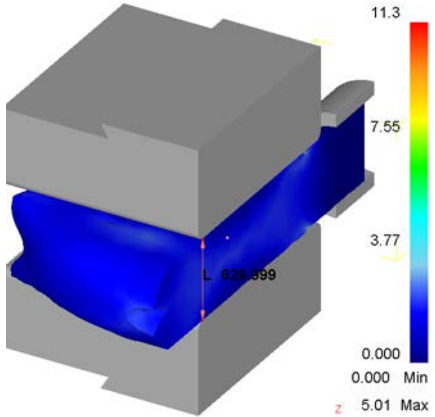
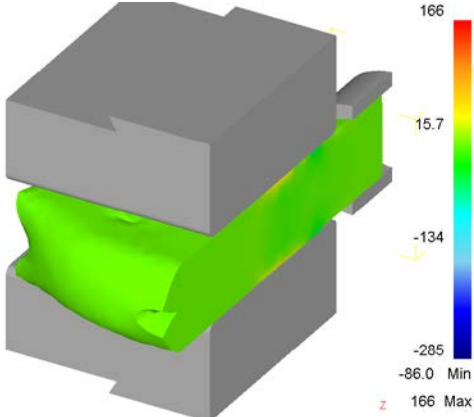
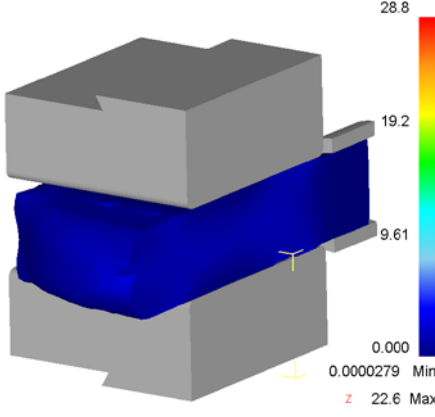
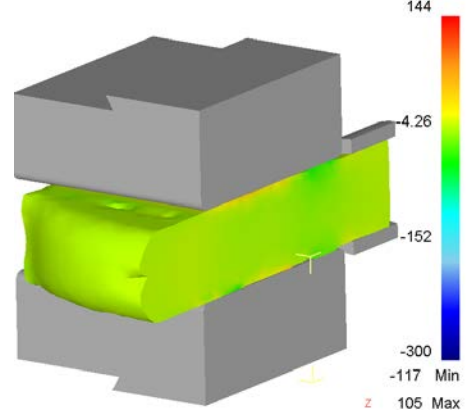
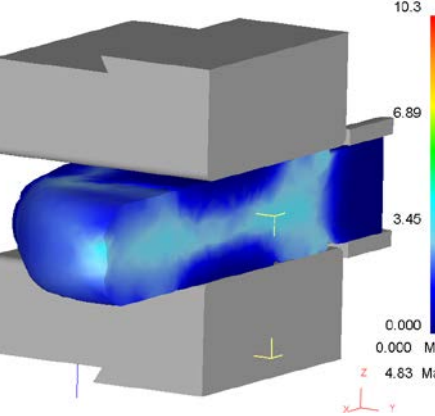
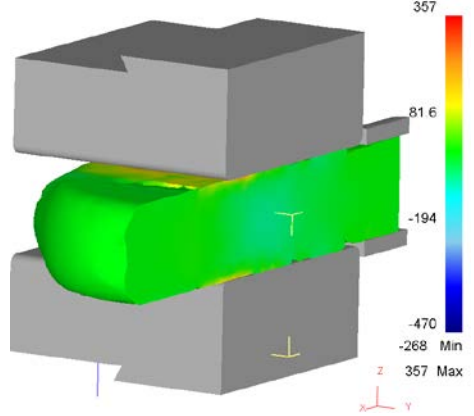
	Интенсивность логарифмических деформаций	Среднее напряжение
После протяжки в бойках с углом 140°		
После протяжки в бойках с углом 160°		
После протяжки в бойках с углом 180°		

Таблица 2

НДС заготовки при протяжке плоскими бойками четырёхлучевой заготовки до поковочных размеров (продольный разрез) размещение «иксом» (рис. 2б)

	Интенсивность логарифмических деформаций	Среднее напряжение
После протяжки в бойках с углом 140°		
После протяжки в бойках с углом 160°		
После протяжки в бойках с углом 180°		

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее рациональным способом будет являться ковка плит с предварительной протяжкой в выпуклых бойках с углом 160° и окончательной ковкой в плоских бойках. Этот способ сочетает в себе небольшую застойную зону под бойками, относительно равномерное деформированное состояние, и при этом происходит заковка осевого дефекта на стадии профилирования слитка.

ВЫВОДЫ

Установлено, что для качественной проработки металла поковок типа плит по всему сечению необходимо использовать комбинирование способов протяжки с различной геометрией бойков. Этот способ ковки сочетает в себе малую застойную зону под бойками, относительно равномерное деформированное состояние и, при этом происходит заковка осевого дефекта на стадии профилирования слитка. Перед окончательной протяжкой в плоских бойках, на заготовительной стадии, необходимо использовать выпуклые клиновые бойки. При этом угол бойков должен быть 160° . Ковка в бойках с данным углом обеспечивает заковывание осевых дефектов, проработку металла по всему сечению заготовки, уменьшает застойную зону под плоскими бойками, обеспечивает отсутствие вогнутостей на поверхности готовой поковки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт ковки крупногабаритных плит большой толщины / Л. П. Белова, Б. М. Шлякман, Ю. И. Рыбин, Л. О. Комова // Кузнечно-штамповочное производство. – 2001. – № 10. – С.7–10.
2. Пат. 50412 Украина, МПК В 21 J 7/00. Пристрій для протяжки поковок. / Каргін Б. С., Каргін С. Б., Титаренко А. В., Тихоненко Р. І., Семенова Н. В. Заявл. 30.11.09.; Опубл. 10.06.10. Бюл. № 11.
3. Пат. 52289 Украина, МПК В 21 J 7/00. Пристрій для ковальської протяжки. / Каргін С. Б., Каргін Б. С., Кухар В. В., Тихоненко Р. І. Заявл. 22.01.10.; Опубл. 25.08.10. Бюл. № 16.
4. Тюрин В.А. Некоторые методы управления качеством металла крупных поковок / В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. 1977. – № 11. – С.35–39.
5. Марков О. Е. Изменение размеров осевых дефектов при осадке заготовок / Марков О. Е. // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 103–110. – ISSN 2076-2151.
6. Залесский В. И. Опыт по моделированию закрытия дефектов при осадке и протяжке малоуглистой стали / В. И. Залесский, Ю. И. Козлов, М. С. Цибанова // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – № 6. – С.15–19.
7. Бровман М. Я. О возможности уменьшения пористости при обработке металлов давлением / М. Я. Бровман // Изв. вуз. Черная металлургия. 2001. – № 5. – С. 35–37.
8. Потапов А. И. Эффективность применения угловых бойков при изготовлении поковок крупногабаритных штамповых кубиков / А. И. Потапов // Кузнечно-штамповочное производство. – 2007. – № 6. – С.28–33.
9. Каргін С. Б. Теоретический анализ напряженно-деформированного состояния слитка при ковке на трехлепестковую заготовку / С. Б. Каргін, О. Е. Марков, В. В. Кухарь // Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 1 (26). – С. 17–21. – ISSN 2076-2151.
10. Повышение качества крупных поковок за счет применения схем ковки с интенсивными пластическими деформациями / Марков О. Е., Злыгорев В. Н., Руденко Н. А., Коляденко А. В. // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии – Краматорск: ДГМА, 2015. – № 2 (17E). – С. 114–119.
11. Сабоннадьер Ж.-К. Метод конечных элементов и САПР / Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л.: Пер. с франц. В. А. Соколова, М. Б. Блеер / Под ред. Э. К. Сгрельбицкого – М.: Мир, 1989. – 190 с.
12. Марков О. Е. Ресурсосберегающие технологические процессы ковки крупных валов и плит / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 324 с.