

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.73.075

Злыгорев В. Н.
Марков О. Е.
Косилов М. С.
Ризак П. И.

ВЛИЯНИЕ УГЛА КЛИНОВЫХ БОЙКОВ 160° НА СХЕМУ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОКОВКИ В ПРОЦЕССЕ ПРОТЯЖКИ

В современных экономических условиях при проектировании технологических процессов обработки металлов давлением необходимо разрабатывать новые ресурсосберегающие технологические процессы, которые обеспечивают высокое качество продукции. Особенно это касается металлургического производства и тяжелого машиностроения, так как эти направления являются приоритетными для Украины, при этом качество продукции этих отраслей остается низким. Приблизительно 80–90% технологических процессов предполагают применение операции осадки [1]. Осадка не способствует устранению осевых дефектов, а малые сдвиговые деформации и направления главных деформаций, совпадающие с направлением осей дендритов, не обеспечивают дробление литой структуры [2]. При этом нагрев для выполнения операции осадки занимает около 60% от всего технологического нагрева заготовок под ковку.

Ковка крупных поковок типа плит или валов ответственного назначения не всегда обеспечивает высокие требования по УЗК и макроконтролю из-за неполного устранения осевых дефектов, а сам технологический процесс их изготовления связан с большим расходом энергоносителей – природного газа, электроэнергии и т.д. Кроме того, используемые способы и приемыковки не дают желаемого эффекта по устранению несовершенств кузнечного слитка обычной формы в процессековки [3]. При изготовлении поковок крупногабаритных штамповых кубиков большого сечения из слитков требуется хорошая проработка металла, обеспечивающая заковку внутренних усадочных дефектов слитка и высокий уровень механических свойств [4].

С точки зрения заковывания осевых дефектов протяжка оказывает больший эффект, более интенсивно измельчая литую дендритную структуру заготовки, [2] и способствует интенсивному закрытию осевых дефектов, что не характерно для операции осадки [5, 6]. Это закрытие в значительной степени определяется схемой напряженно-деформированного состояния, особенно, в месте расположения дефекта [7]. Ограничением применения операции протяжки без осадки, является невозможность получения из слитков с соотношением $H/D = 1,8 \dots 2,2$ поковок с большим поперечным сечением. В этом случае осадка применяется, для увеличения площади поперечного сечения заготовки. Протяжка является простой и довольно распространенной кузнечной операцией. Протяжке подвергаются почти все кузнечные слитки, а также подавляющее большинство поковок удлиненной формы, изготавливаемых из проката свободной ковкой. Трудоемкость протяжки составляет около 60% общей трудоемкости кузнечных цехов. При протяжке, особенно заготовок большого диаметра, необходимо обеспечить равномерное распределение деформаций по сечению заготовки и состояние всестороннего неравномерного сжатия в осевой дефектной зоне слитка [8].

Исключить операцию осадки и при этом проработать осевую зону позволяет прожим заготовки узким бойком вдоль оси заготовки, создавая двухлучевую или четырехлучевую

заготовку. Использование промежуточного продавливания позволяет значительно увеличить относительное уширение по сравнению с традиционной протяжкой. Ковка с использованием заготовки с четырьмя впадинами обеспечивает проработку центральной, наиболее дефектной части слитка в 1,3–4,0 раза больше, чем при протяжке только плоскими бойками [9, 10].

Еще одно решение проблемы заковывания осевых дефектов без применения осадки заключается в том, что на заготовительных переходах в процессековки производится перераспределение дефектной зоны, расположенной в осевой зоне слитка, путем вдавливания в заготовку подвешной уголки с дальнейшей разгонкой и предварительным обжатием в комбинированных бойках [11].

Известно, что увеличение скорости деформирования обрабатываемой давлением металлической заготовки также приводит к изменению распределения деформаций в ее объеме [12]. Так было установлено, что увеличение скорости деформирования при величине обжатия 5% ведет к уменьшению интенсивности логарифмических деформаций сдвига в осевой зоне на 12–15% и возрастанию ее в приконтактной зоне на 25–27% [13].

Ковка укороченных слитков может производиться за счёт применения операции протяжки, которая обеспечивает более высокую проковку литого металла. Процессковки-протяжки занимает довольно значительное место как в технологических процессах на производстве, так и в исследовательских работах, посвященных пластическому течению металла [14]. При протяжке укороченных слитков необходимо обеспечить равномерное распределение деформаций по сечению заготовки. Это возможно за счёт применения специальной формы бойков для протяжки. Такими бойками являются выпуклые бойки. При этом можно использовать как верхний выпуклый, нижний плоский, так и верхний и нижний выпуклые бойки. Ковка может осуществляться как с двух сторон, при получении плит, так и с четырех, при получении плит и валов. При этом происходит естественное подстуживание поверхности заготовки, что в итоге повышает показатель жесткости схемы напряженного состояния в осевой части слитка при последующей протяжке. Это способствует закрытию осевых дефектов. Применение выпуклого клинового бойка позволяет уменьшить зоны затрудненной деформации, что повышает равномерность распределения деформаций в теле заготовки. Подобная технология была использована на ПАО «НКМЗ» при изготовлении поковок «ось» и «вал» и на ПАО «ЭМСС» при изготовлении поковок «опорный вал». Была спроектирована и изготовлена специальная оснастка дляковки без осадки по новым технологиям [1].

Ковка выпуклыми клиновыми бойками исключает образование застойных зон под деформирующим инструментом, как в случае применения плоских бойков. Применение выпуклых бойков способствует проработке поверхностных и центральных слоёв заготовки [15].

Исследование влиянияковки выпуклыми клиновыми оппозитными бойками с различными углами, 140°, 160° и 180° (плоские бойки), и степенью обжатия 15 %, 25 %, 35 %, на НДС и заковывания осевого дефекта слитка показало, что чем больше угол клина бойка и глубина вогнутостей граней (величина обжатия), тем интенсивнее происходит заковывание осевого дефекта. Установлено, что для интенсивного заковывания осевых дефектов необходимо формировать четырёхлучевую заготовку со степенью обжатия 25–30 % бойками с углом в диапазоне 160–180° [1]. Также установлено, что для угла 160° дальнейшая ковка заготовки со степенью деформации 35% вызывает образование зажимов [14].

Цель работы – исследование влиянияковки выпуклыми клиновыми бойками с углом 160° и различными степенями обжатия во время заготовительной стадии и последующей протяжки на схему напряженного состояния. Задача исследования сводится к определению влияния угла бойка 160° на схемы напряженного состояния после предварительной и окончательной протяжек в клиновых и плоских бойках соответственно.

Для моделирования реальных физических процессов в деформируемой заготовке применялся численный метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ позволяет получить наиболее полное представление о формоизменении поковки при пластической деформации, напряженно-деформированном состоянии, энергосиловых параметрах процесса [16]. Он дает возможность получить достаточно точные результаты исследования. Это позволяет вести

разработки, требуемые в повседневной деятельности предприятия. Особенности метода: универсальность, широкие возможности; в нем объединены механика сплошного тела и современные методы численного анализа.

Заготовкой служит слиток с размерами тела $D = 2000$ мм и $L = 1000$ мм. Осевая пористость слитка моделировалась глухим осевым отверстием со стороны прибыльной части, диаметр которого составлял 10% от диаметра заготовки с глубиной проникновения в тело моделируемого слитка на 50% для удобства исследования внутренних напряжений и распределения интенсивности деформаций по сечению слитка. Появление сжимающих напряжений способствует заковыванию дефектов. Показатель схемы напряжённого состояния (НС) в осевой зоне заготовки для исследуемых схем деформирования:

$$P_{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}.$$

Оснастка – выпуклые клиновые с углом клина 160° – для предварительной протяжки и создания двух- и четырехлучевых заготовок и плоские бойки – для окончательной протяжки. Ширина всех бойков $B=1200$ мм. Степень деформации по высоте двух- и четырехлучевых заготовок в клиновых бойках 15%, 25% перед протяжкой в плоских бойках.

Протяжка двухлучевой заготовки с углом вогнутости граней 160° с глубиной вогнутости граней 15% и 25% с расположением заготовки «на ребро» и «плашмя» (рис. 1) обеспечивает высокий уровень сжимающих напряжений в осевой зоне (показатель P_{σ} составляет -2,2...-2,4) на втором переходековки. На последующем переходе показатель жесткости P_{σ} уменьшается и составляет -1,9...-2,1, то есть уровень сжимающих напряжений на последующих переходахковки снижается. Обжатие заготовки с глубиной вогнутости граней 15% и 25% при укладке «на ребро» обеспечивает схожие зависимости изменения показателя напряженного состояния P_{σ} (рис. 1 линия 1 и 2) на разных уровнях. Это объясняется различным сечением в центральной зоне. Для большей толщины ($\varepsilon = 15\%$) возникает подпор со стороны вогнутых граней больше.

При обжатии двухлучевой заготовки плоскими бойками с расположением «плашмя» P_{σ} характеризуется снижением уровня сжимающих напряжений при последующих переходахковки для различных глубин вогнутости (15% и 25%) (рис. 1 линии 3 и 4). Это объясняется отсутствием вогнутых граней заготовки на последующих переходах. При этом показатель напряженного состояния не выходит за пределы -2,2...-1,9.

Протяжка четырехлучевой заготовки с углом вогнутости граней 160° и глубиной 15% и 25% с расположением заготовки «на ребро» и «плашмя» (рис. 2) обеспечивают высокий уровень сжимающих напряжений в осевой зоне (показатель P_{σ} составляет -1,9...-2,2) на третьем переходековки (ковка профилированной четырехлучевой заготовки плоскими бойками). При протяжке четырехлучевой заготовки по схеме «на ребро» с обжатием $\varepsilon = 15\%$ (рис. 2 линия 1) и с обжатием $\varepsilon = 25\%$ (рис. 2 линия 2) показатель жесткости P_{σ} снижается на 5%. Это объясняется незначительным влиянием вогнутых граней при укладке четырехлучевой заготовки «на ребро».

При протяжке с укладкой «плашмя» и с обжатием $\varepsilon = 15\%$ (рис. 2 линия 3) и $\varepsilon = 25\%$ (рис. 2 линия 4) уровень сжимающих напряжений уменьшается с увеличением числа переходов. Зависимости имеют практически линейный характер. Для схемы укладки заготовки «плашмя» с обжатием 15% показатель жесткости напряженного состояния выше, за счет большей толщины заготовки при меньших обжатиях, что приводит к локализации максимальных деформаций в осевой зоне и обеспечивает высокий уровень сжимающих напряжений. Высокий уровень сжимающих напряжений в осевой зоне при ковке четырехлучевых заготовок с расположением «плашмя» на 3 и 4 переходах объясняется подпором вогнутых граней заготовки. По мере выправления вогнутых граней заготовки подпор снижается, и схема деформирования приближается к способу укладки «на ребро».

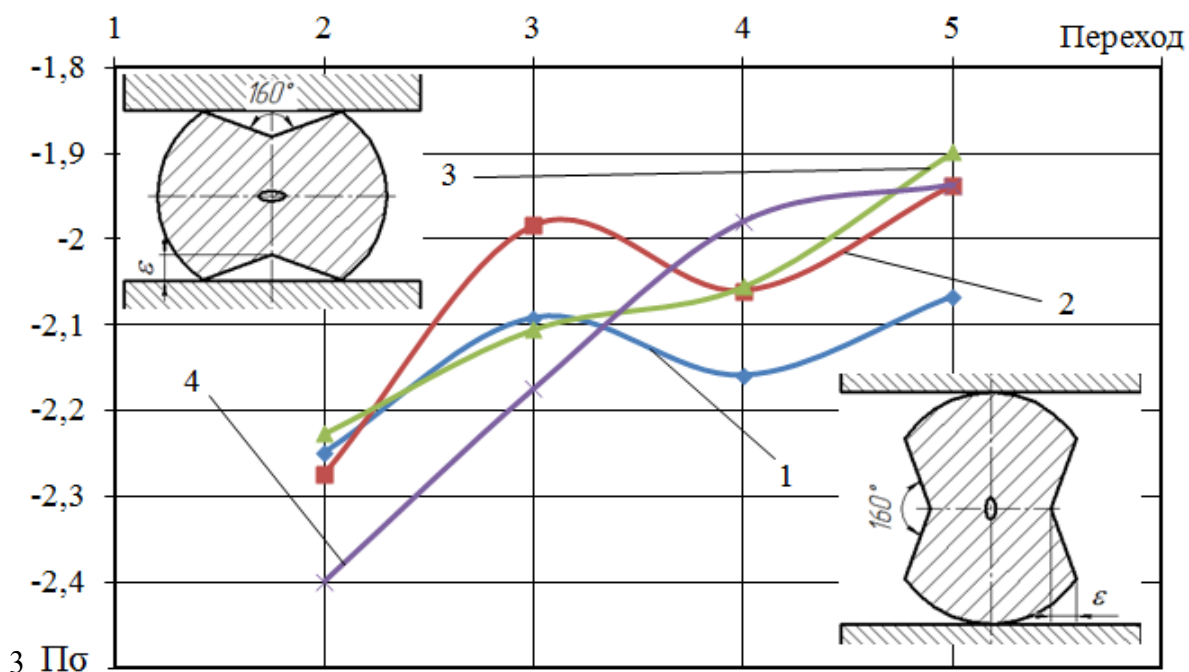


Рис. 1. Изменение показателя жёсткости схемы напряженного состояния при протяжке двухлучевой заготовки после первого перехода с углом 160° и глубиной вогнутости граней 15% и 25% (1 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 15\%$; 2 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 25\%$; 3 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 15\%$; 4 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 25\%$)

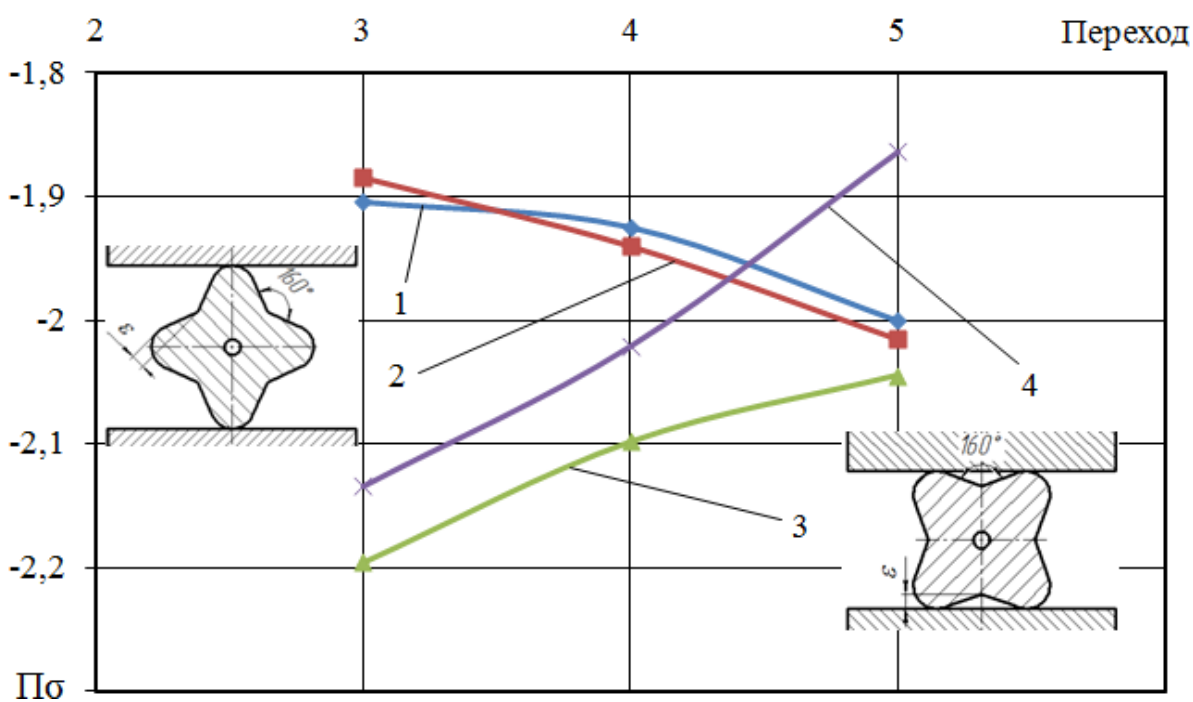


Рис. 2. Изменение показателя жёсткости схемы напряженного состояния при протяжке плоскими бойками четырёхлучевой заготовки с углом 160° и глубиной вогнутости граней 15% и 25% (1 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 15\%$; 2 – укладка «на ребро» $\varepsilon = 25\%$; 3 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 15\%$; 4 – укладка «плашмя» $\varepsilon = 25\%$)

ВЫВОД

В результате проведенных исследований НДС было установлено, что ковка двухлучевой заготовки со степенью обжатия 15% с расположением «на ребро» обеспечивает высокий уровень сжимающих напряжений за счет большей толщины и подпора, возникающего от вогнутых граней. Максимальные сжимающие напряжения в осевой зоне

при окончательной протяжке обеспечивает угол вогнутости четырёхлучевой заготовки 160° с глубиной вогнутости граней 15 % с укладкой «плашмя». При этом для угла в 160° отсутствует высокая неравномерность распределения деформаций по сечению из-за присутствия застойных зон в периферийной части поковки. Высокий уровень сжимающих напряжений в осевой зоне при ковке четырёхлучевых заготовок объясняется подпором, возникающим от вогнутых граней заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков О. Е. *Ресурсосберегающие технологические процессыковки крупных валов и плит* : монография / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 324 с.
2. *Повышение качества крупных поковок за счет применения схемковки с интенсивными пластическими деформациями* / О. Е. Марков, В. Н. Злыгорев, Н. А. Руденко, А. В. Коляденко // *Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии*. – Краматорск: ДГМА, 2015. – № 2 (17Е). – С. 114–119.
3. *Обработка металлов давлением в машиностроении* / П. И. Лопухин, В. А. Тюрин, П. И. Давидков, Д. Н. Витанов. – М.: Машиностроение: София: Техника, 1983. – 297 с., ил.
4. Потапов А. И. *Эффективность применения угловых бойков при изготовлении поковок крупногабаритных штамповых кубиков* / А. И. Потапов // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2007. – № 6. – С. 28–33.
5. Тюрин В.А. *Некоторые методы управления качеством металла крупных поковок* / В.А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1977. – № 11. – С. 35–39.
6. Марков О. Е. *Изменение размеров осевых дефектов при осадке заготовок* / О. Е. Марков // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 103–110. – ISSN 2076-2151.
7. Залесский В. И. *Опыты по моделированию закрытия дефектов при осадке и протяжке малопластичной стали* / В. И. Залесский, Ю. И. Козлов, М. С. Цибанова // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1966. – № 6. – С. 15–19.
8. Марков О. Е. *Прогрессивная схема протяжки крупных валов из укороченных слитков* / О. Е. Марков // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – 2012. – №1 (30). – С. 118–122.
9. Соколов Л. Н. *Исследование и разработка усовершенствованных схемковки пластин из слитков* / Л. Н. Соколов, И. Н. Панкратов, М. И. Яковлев // *Пути повышения эффективности кузнечно-штамповочного производства*. – Л.: ЛДНТП, 1982. – С. 11.
10. Соколов Л. Н. *Ковка широких пластин без осадки слитков* / Л. Н. Соколов, В. Н. Ефимов, М. И. Яковлев // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1985. – № 2. – С. 23–24.
11. *Усовершенствование технологического процесса изготовления поковок типа пластин* / В.М. Олешко, Ю.Н. Станков, П.П. Кальченко, И.А. Грачев, И.Г. Савчинский // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії: збірник наукових праць*. – Краматорськ: ДДМА, 2003. – С. 312–315.
12. *Ковка и штамповка. В 4 т. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка: справочник* / Под ред. Е. И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1985. – 567 с.
13. Матвеев Д. Б. *Влияние скоростного фактора на деформированное состояние при радиальном обжатии* / Д. Б. Матвеев, В. А. Петров // *Изв. вуз. Черная металлургия*. – 1992. – № 1. – С. 13–15.
14. *Теорияковки и штамповки* / Е. П. Утесов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.
15. Марков О. Е. *Разработка схемыковки валов с интенсивными пластическими деформациями* / О. Е. Марков // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 162–169.
16. *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.

REFERENCES

1. Markov O. E. *Resursosberegajushhie tehnologicheskie processy kovki krupnyh valov i plit* : monografiya / O. E. Markov, I. S. Aliiev. – Kramatorsk: DGMA, 2012. – 324 s.
2. *Povyshenie kachestva krupnyh pokovok za schet primenenija shem kovki s intensivnymi plastichesкими deformatsijami* / O. E. Markov, V. N. Zlygorev, N. A. Rudenko, A. V. Koljadenko // *Nauchnyj vestnik Donbasskoj gosudarstvennoj mashinostroitel'noj akademii*. – Kramatorsk: DGMA, 2015. – № 2 (17E). – S. 114–119.
3. *Obrabotka metallov davleniem v mashinostroenii* / P. I. Lopuhin, V. A. Tjurin, P. I. Davidkov, D. N. Vitanov. – M.: Mashinostroenie: Sofija: Tehnika, 1983. – 297 s., il.

4. Potapov A. I. *Jefferektivnost' primenenija uglovyh bojkov pri izgotovlenii pokovok krupnogabaritnyh shtampovyh kubikov / A. I. Potapov // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 2007. – № 6. – S. 28–33.*
5. Tjurin V.A. *Nekotorye metody upravlenija kachestvom metalla krupnyh pokovok / V.A. Tjurin // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1977. – № 11. – S. 35–39.*
6. Markov O. E. *Izmenenie razmerov osevyh defektov pri osadke zagotovok / O. E. Markov // Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2011. – № 4 (29). – S. 103–110. – ISSN 2076-2151.*
7. Zalesskij V. I. *Opyty po modelirovaniju zakrytija defektov pri osadke i protjazhke maloplastichnoj stali / V. I. Zalesskij, Ju. I. Kozlov, M. S. Cibanova // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1966. – №6. – S. 15–19.*
8. Markov O. E. *Progressivnaja shema protjazhki krupnyh valov iz ukorochennyh slitkov / O. E. Markov // Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. – 2012. – №1 (30). – S. 118–122.*
9. Sokolov L. N. *Issledovanie i razrabotka usovershenstvovannyh shem kovki plastin iz slitkov / L. N. Sokolov, I. N. Pankratov, M. I. Jakovlev // Puti povyshenija jefferektivnosti kuznechno-shtampovochno go proizvodstva. – L.: LDNTP, 1982. – S. 11.*
10. Sokolov L. N. *Kovka shirokikh plastin bez osadki slitkov / L. N. Sokolov, V. N. Efimov, M. I. Jakovlev // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1985. – № 2. – S. 23–24.*
11. *Usovershenstvovanie tehnologicheskogo processa izgotovlenija pokovok tipa plastin / V.M. Oleshko, Ju. N. Stankov, P.P. Kal'chenko, I.A. Grachev, I.G. Savchinskij // Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobki tiskom v mashinobuduvanni ta metalurgii: zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k: DDMA, 2003. – S. 312–315.*
12. *Kovka i shtampovka. V 4 t. T. 1. Materialy i nagrev. Oborudovanie. Kovka: spravochnik / Pod red. E. I. Semenova. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 567 s.*
13. *Matveev D. B. Vlijanie skorostnogo faktora na deformirovannoe sostojanie pri radial'nom obzhatii / D. B. Matveev, V. A. Petrov // Izv. vuz. Chernaja metallurgija. – 1992. – № 1. – S. 13–15.*
14. *Teorija kovki i shtampovki / E. P. Utesov, U. Dzhonson, V. L. Kolmogorov [i dr.]. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 240 s.*
15. *Markov O. E. Razrabotka shemy kovki valov s intensivnymi plasticheskimi deformacijami / O. E. Markov // Visnik NTU «HPI». Serija: Novi rishennja u suchasni h tehnologijah. – Harkiv: NTU «HPI». – 2013. – № 43 (1016). – S. 162–169.*
16. *Sabonnad'er Zh.-K. Metod konechny h jelementov i SAPR / Sabonnad'er Zh.-K., Kulon Zh.-L.: Per. s franc. V. A. Sokolova, M. B. Bleer / Pod red. Je. K. S grel'bickogo. – M.: Mir, 1989. – 190 s.*

Злыгорев В. Н. – зам. гл. мет. ПАО НКМЗ, асп. ДГМА

Марков О. Е. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. МПФ

Косилов М. С. – аспирант ДГМА

Ризак П. И. – аспирант ДГМА

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

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: mto@dgma.donetsk.ua