

УДК 621.735.3

Грачев И. А.
Злыгорев В. Н.
Чикота Я. М.
Жбанков Я. Г.

УМЕНЬШЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ СЛОЖНОПРОФИЛИРОВАННЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОЛУЧАЕМЫХ КОВКОЙ

В условиях современного производства и рыночных отношений одной из основных задач является изготовление изделий с минимальной себестоимостью, что обеспечивает конкурентоспособность продукции на внутреннем и мировом рынках.

Номенклатура современных машиностроительных предприятий в том числе «НКМЗ» достаточно разнообразна, включает большое количество сложно профилированных изделий типа валов с фланцами, дисков и колец с уступами, цилиндров и т. д. Для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик эти изделия изготавливаются из дорогостоящих легированных марок сталей. Пути снижения себестоимости таких изделий заключаются в снижении их металлоемкости и сокращении количества технологических переходов, а также снижения затрат на оснастку.

Одной из деталей представителей данной номенклатуры является раструб, имеющий форму усеченного конуса с криволинейной боковой поверхностью. Традиционная технология изготовления таких деталей заключается в ковке полого цилиндра, а профиль детали получается механической обработкой. Коэффициент весовой точности (отношение массы детали к массе слитка) при этом составляет не более 30 %. В случае единичного производства такой вариант изготовления детали полностью оправдан.

Однако в случае изготовления большого количества деталей, такая металлоемкость не приемлема, что требует определенных технологических решений.

Так, например, в работах [1–3] приведены технологии изготовления аналогичных или подобных поковок типа горловин (рис. 1). Данный способ получения изделий в первую очередь направлен на повышение коэффициента весовой точности. Увеличивается точность поковок за счет снижения припусков, себестоимость изделия снижается за счет уменьшения металлоемкости и трудоемкости дальнейшей механообработки.

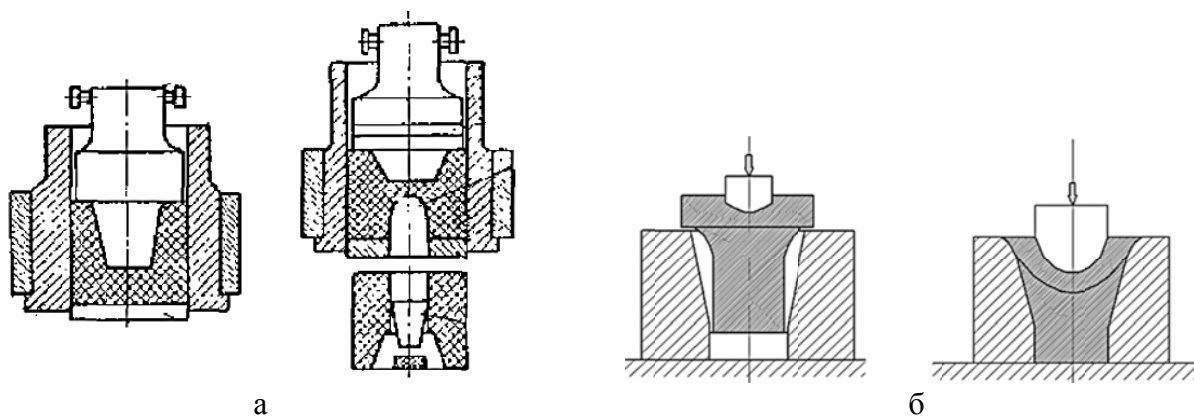


Рис. 1. Изготовление поковок типа днищ и горловин в специальных штампах

Недостатком данного способа является большая энергоемкость процесса и низкая стойкость инструмента.

В работе [3] приведена схемаковки разгонкой в специальном инструменте, которая позволяет на маломощном оборудовании получать крупногабаритные полые изделия сложных форм (рис. 2). Такие процессыковки используются для получения изделий типа днищ и крупногабаритных дисков.

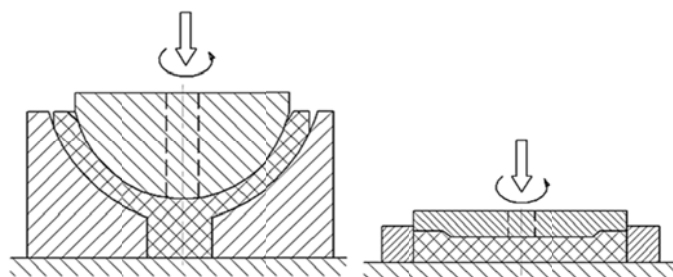


Рис. 2. Схема разгонки в специальных штампах

Данный способ позволяет снизить энергосиловые параметры процесса изготовления деталей, однако предъявляет дополнительные требования к оборудованию – пресс должен оснащаться поворотным столом или подвижным инструментом.

В работах [4–6] представлены технологические процессы, применяемые на Ижорском заводе им. А. А. Жданова. Одной из поволоков, получаемых с использованием штамповки, является крупногабаритное сферическое днище диаметр, которого составляет несколько метров. Штамповка таких днищ осуществлялась в специальных вытяжных штампах (рис. 3). Технология включает ковку цилиндра, его разрезку и развертку, а полученную заготовку подвергают вытяжке в специальном штампе. Таким образом, получают поковку высокой точности с минимальными припусками.

Подобная технология производства днищ применяется японскими фирмами. В работах [7, 8] описана технология получения днища корпуса ядерного реактора, заключающаяся в предварительной ковке-штамповке профилированной заготовки и ее вытяжке в штампе (рис. 4).

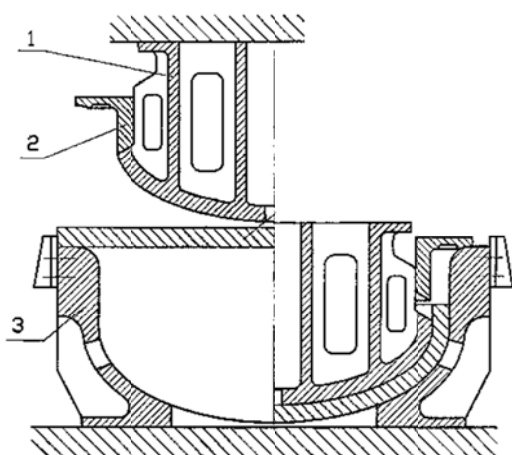


Рис. 3. Вытяжка крупногабаритной поковки в специальном штампе

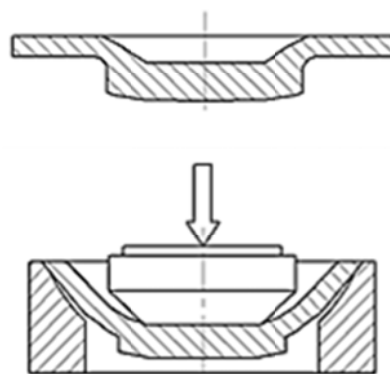


Рис. 4. Схема получения поковки дна корпуса реактора вытяжкой в штампе

Процесс вытяжки крупногабаритных изделий имеет определенные ограничения, связанные с дефектами формоизменения заготовки – возможно образование гофр, разностенность, вплоть до разрушения заготовки.

В зарубежном производстве есть примеры раскатки сложнопрофильных конических колец. Способ раскатки профилированной заготовки обычным кузнечным инструментом внедрен в Германии при изготовлении поковки переходного конического кольца (рис. 5) [9], а в работах [10, 11] описан способ раскатки конического кольца сложной ступенчатой формы специальным инструментом (рис. 6). Данный способ применим при ковке колец с большим внутренним диаметром. В случаековки раструба с малым диаметром необходимо использовать соответствующий дорн, который может не выдержать нагрузок в процессе раскатки.

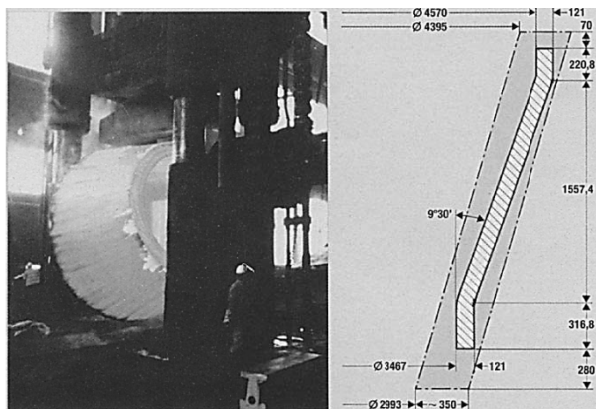


Рис. 5. Ковка конической обечайки

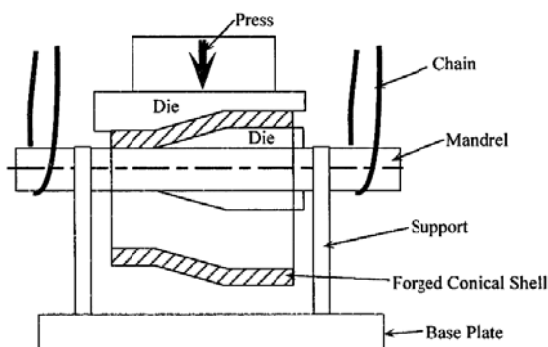


Рис. 6. Раскатка сложнопрофилированной кольца специальным инструментом

В работе [12] описана технология изготовления поковки типа конусного кольца, которая заключается в раскатке цилиндрического кольца и его раздаче специальным коническим пуансоном (рис. 7). В сравнении с традиционным способом получения деталей такой конфигурации, который заключался в механической обработке цилиндрического кольца, данный способ позволяет существенно повысить экономию металла и снизить долю механической обработки.

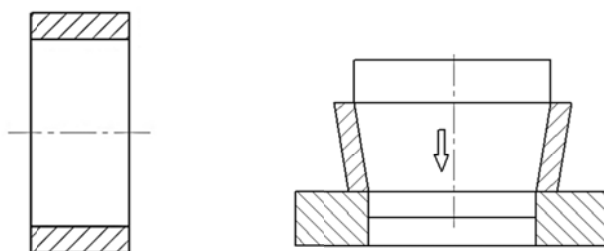


Рис. 7. Раздача конического кольца специальным инструментом

Данный способ представляется наиболее надежным с точки зрения формоизменения и наименее энергоемким при изготовлении поволоков подобной формы.

Целью данной работы является разработка технологического процесса и оснастки на основе результатов математического моделирования методом конечных элементов ковки сложно профилированной поковки «раструб», сравнительный анализ вариантов ковки и определение наиболее эффективного способа изготовления с точки зрения качественного формоизменения и минимальных материальных затрат.

Исходные данные: параметры заготовки: наружный диаметр 980 мм, внутренний 500 мм, длина заготовки 1030 мм, материал заготовки – сталь 35ХНЗМФА, температура нагрева под раздачу – 1100°C, скорость деформирования – 10 мм/с, коэффициент пластического трения Зибеля – 0,35.

Первоначально был предложен вариант ковки, который заключался в получении полого цилиндра и раздаче его специальным пуансоном в матрице (рис. 8, схема 1), причем и пуансон и матрица определяли внутреннюю и наружную формы поковки (схема безоблойной штамповки). При ковке поковки по данному варианту на стадии раздачи, площадь контакта заготовки и пуансона достаточно велика и большой перепад диаметров заготовки до раздачи и после приводит к тому, что нижняя часть заготовки деформируется (процесс осадки) и образуется наплыв. В конечном итоге схема раздачи заготовки трансформируется в схему закрытой штамповки, что требует больших усилий и негативно скажется на стойкости инструмента. В связи с этим данный вариант был исключен как не рациональный.

Второй вариант предполагал первоначальную раздачу кованного полого цилиндра ступенчатым пуансоном, после чего выполнялась окончательная формовка заготовки (рис. 8, схема 2). Однако, несмотря на то, что пуансон имел достаточно длинную нижнюю цилиндрическую часть, предназначенную для предотвращения образования наплыва, дефект в результате подсадки все же образовался. Последнее также связано с большим перепадом диаметров исходной заготовки и диаметром раздачи. Можно было бы обеспечить меньший перепад диаметров, но тогда понадобилось бы несколько пуансонов, последовательно используемых для раздачи, что повлечет дополнительные затраты на оснастку и экономически нецелесообразно.

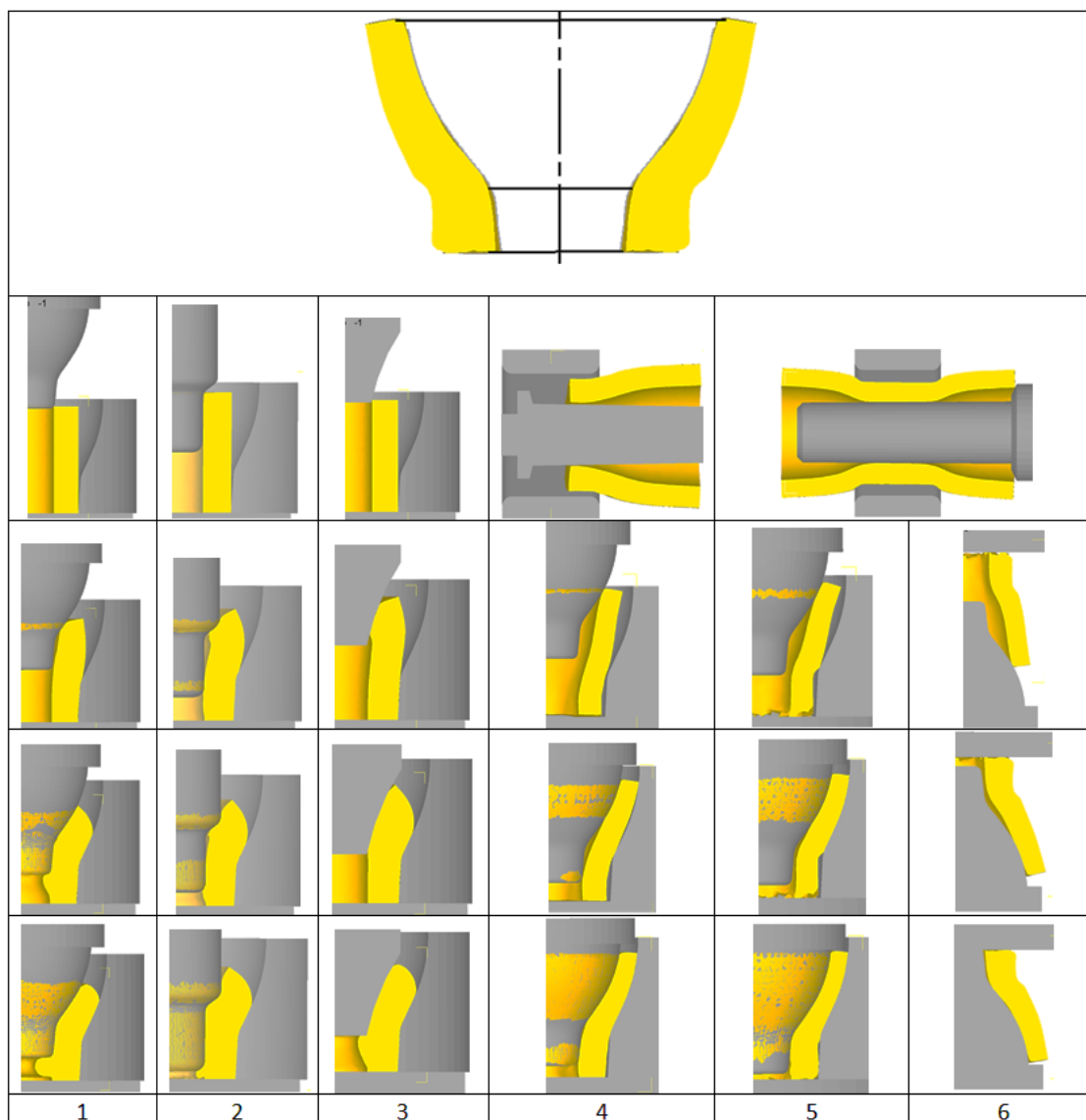


Рис. 8. Варианты изготовления поковки детали раструб

Третий вариант предполагает раздачу полой кованой заготовки, коническим пуансоном, причем пуансон имеет ступенчатую форму с различными углами наклона рабочей поверхности (рис. 8, схема 3). Предполагалось, что в процессе раздачи пуансон сначала раздает заготовку первым участком с малым углом атаки, после чего по ходу движения вниз в работу включается второй участок с большим углом, и раздает заготовку на больший диаметр. В процессе деформирования по данной схеме установлено, что, несмотря на постепенную раздачу заготовки пуансоном с двумя коническими участками, площадь контакта заготовки и инструмента настолько велика, что для нижней части заготовки энергетически выгоднее происходит осадка. Это приводит к образованию наплыва в нижней части поковки и схема раздачи, как и в первом случае, трансформируется в закрытую штамповку.

Рассмотрен вариант использования предварительно профилированной заготовки с заковом концевой части заготовки (рис. 8 схема 4). Данный способ предполагает, ковку полого цилиндра на промежуточный диаметр, заковку концевой части, так чтобы получить полую заготовку со ступенчатой наружной и внутренней поверхностью. Причем размеры заготовки должны быть таковы, чтобы ее площади в соответствующих сечениях равнялись площадям поковки. После получения такой заготовки она устанавливается в специальный инструмент и проводилась ее раздача (калибровка). По данному способу получилась поковка максимально приближенная к конфигурации детали (с минимальными припусками). Однако на стадии заковки концевой части цилиндрической заготовки, возникли определенные трудности, а именно: из-за малой устойчивости оболочки со стороны свободного конца в процессе обжатия происходит сплющивание, при этом диаметр заготовки не изменяется, требуется большое количество обжатий для обеспечения закова, вырастает трудоемкостьковки, как следствие возникает потребность в разработке специальных вырезных (радиусных) бойков.

Решением данной проблемы является ковка сдвоенной заготовки. Данный вариант предполагает ковку полого цилиндра на две поковки, заковку его центральной части, разрезку на две заготовки и раздачу специальным инструментом (рис. 8, схема 5). Кроме того, такой способ позволяет уменьшить и величину отходов связанную с донной и прибыльной частью слитка. С целью дальнейшего уменьшения себестоимости поковки, предложено уменьшить количество специального инструмента и раздачу заготовки проводить плоской плитой, обтягивая пуансон заготовкой (рис. 8 схема 6). Моделирование показало, что формоизменение в данном случае будет качественным, и поковка получится правильных размеров.

Таким образом, схема 6 является наиболее оптимальным вариантом изготовления поковки раструба.

ВЫВОДЫ

На основе проведенного анализа установлено, что получение ковкой крупногабаритных полых сложно профилированных изделий возможно с использованием элементов штамповки таких как, выдавливание, вытяжка, раздача, а также с использованием специального инструмента в процессе раскатки. Наиболее надежным с точки зрения получения точных размеров изделия является процесс раздачи специальным инструментом повторяющим конфигурацию поковки.

На основе метода конечных элементов проведено исследование процессовковки поковки типа раструб. Установлено, что наиболее эффективным способомковки в условиях серийного производства является ковка сложно профильной сдвоенной полой заготовки, первичная термообработка, механообработка торцов и разрезка, нагрев и раздача профилированным пуансоном.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Останин В. Г. Новая технологияковки поволоков типа днищ и горловин / В. Г. Останин, Н. Е. Сидоров // Кузнечно-штамповочное производство, 1966. – № 2 – С. 7–8.*
2. *Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства : учебник для вузов / Я. М. Охрименко. – 2-е изд., перераб. И доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с.*
3. *Current forging technology for integrated type steel forgings for nuclear steam supply system components / S. Kawaguchi, H. Moritani, H. Tsukada, K. Suzuki, E. Mural, I. Sato // Nuclear Engineering and Design, 1984. – №. 81 – P. 219–229.*
4. *Ромашко Н. И. Разработка технологии изготовления крупногабаритных толстых плит и вытяжки бесшовных днищ большого диаметра / Н. И. Ромашко, А. Г. Токарев, О. А. Кобелев // Кузнечно-штамповочное производство. – 2008. – № 7. – С. 22–26.*
5. *Кобелев О. А. Технология изготовления цельнокованых крупногабаритных плит и бесшовных днищ / О. А. Кобелев // Металлург. – 2009. – № 12. – С. 55–58.*
6. *Данилевский О. Ф. Обработка металлов давлением на Ижорском заводе им. А. А. Жданова / О. Ф. Данилевский, Б. А. Дервянко, Э. С. Каган, Б. А. Трифонов, Н. Т. Аристархов // Кузнечно-штамповочное производство, 1970. – № 4 – С. 6–10.*
7. *Ikuo Sato. Manufacturing and material properties of forgings for the reactor pressure vessel of the high temperature engineering test reactor / Ikuo Sato, Komei Suzuki // Nuclear Engineering and Design, 1997. – № 171. – P. 45–56.*

8. Qiu Ma. Prediction of deformation behavior and microstructure evolution in heavy forging by FEM / Qiu Ma, Zhong-qin Lin, Zhong-qi Yu // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009. – № 40. – P. 253–260.
9. Erve M. State of the art in the manufacture of heavy forgings for reactor components in the federal republic of germany / M. Erve, F. Papouschek, K. Fischer, Ch. Maidorn // *Nuclear Engineering and Design*. – 1988. – №108. – P. 487–495.
10. Komei Suzuki Current steel forgings and their properties for steam generator of nuclear power plant / Suzuki Komei, Ikuo Sato, Mikio Kusuhash, Hisashi Tsukada // *Nuclear Engineering and Design*. – 2000. – № 198 – P. 15–23.
11. S. Kawaguchi Current forging technology for integrated type steel forgings for nuclear steam supply system components / S. Kawaguchi, H. Moritani, H. Tsukada, K. Suzuki, E. Mural // *Nuclear Engineering and Design*. – 1984. – № 81 P. 219–229.
12. Чигасов П. И. Ковка пустотелых поковок конической формы / П. И. Чигасов // *Кузнечно-штамповочное производство*, 1985. – № 4. – С. 38–39.

REFERENCES

1. Ostanin V. G. Novaja tehnologija kovki pokovok tipa dnishh i gorlovin / V. G. Ostanin, N. E. Sidorov // *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*, 1966. – № 2 – S. 7–8.
2. Ohrimenko Ja. M. Tehnologija kuznechno-shtampovocnogo proizvodstva : uchebnik dlja vuzov / Ja. M. Ohrimenko. – 2-e izd., pererab. I dop. – M. : Mashinostroenie, 1976. – 560 s.
3. Current forging technology for integrated type steel forgings for nuclear steam supply system components / S. Kawaguchi, H. Moritani, H. Tsukada, K. Suzuki, E. Mural, I. Sato // *Nuclear Engineering and Design*, 1984. – №. 81 – P. 219–229.
4. Romashko N. I. Razrabotka tehnologii izgotovlenija krupnogabaritnyh tolstyh plit i vytjazhki besshovnyh dnishh bol'shogo diametra / N. I. Romashko, A. G. Tokarev, O. A. Kobelev // *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*. – 2008. – № 7. – S. 22–26.
5. Kobelev O. A. Tehnologija izgotovlenija cel'nokovanyh krupnogabaritnyh plit i besshovnyh dnishh / O. A. Kobelev // *Metallurg*. – 2009. – № 12. – S. 55–58.
6. Danilevskij O. F. Obrabotka metallov davleniem na Izhorskom zavode im. A. A. Zhdanova / O. F. Danilevskij, B. A. Derevjanko, Je. S. Kagan, B. A. Trifonov, N. T. Aristarhov // *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*, 1970. – № 4 – S. 6–10.
7. Ikuo Sato. Manufacturing and material properties of forgings for the reactor pressure vessel of the high temperature engineering test reactor / Ikuo Sato, Komei Suzuki // *Nuclear Engineering and Design*, 1997. – № 171. – P. 45–56.
8. Qiu Ma. Prediction of deformation behavior and microstructure evolution in heavy forging by FEM / Qiu Ma, Zhong-qin Lin, Zhong-qi Yu // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009. – № 40. – P. 253–260.
9. Erve M. State of the art in the manufacture of heavy forgings for reactor components in the federal republic of germany / M. Erve, F. Papouschek, K. Fischer, Ch. Maidorn // *Nuclear Engineering and Design*. – 1988. – №108. – P. 487–495.
10. Komei Suzuki Current steel forgings and their properties for steam generator of nuclear power plant / Suzuki Komei, Ikuo Sato, Mikio Kusuhash, Hisashi Tsukada // *Nuclear Engineering and Design*. – 2000. – № 198 – P. 15–23.
11. S. Kawaguchi Current forging technology for integrated type steel forgings for nuclear steam supply system components / S. Kawaguchi, H. Moritani, H. Tsukada, K. Suzuki, E. Mural // *Nuclear Engineering and Design*. – 1984. – № 81 – P. 219–229.
12. Chigasov P. I. Kovka pustotelyh pokovok konicheskoy formy / P. I. Chigasov // *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*, 1985. – № 4. – S. 38–39.

Грачев И. А. – канд. техн. наук, начальник бюро поковок ОГМет ПАО «НКМЗ»
Злыгорев В. Н. – зам. главного металлурга ПАО «НКМЗ»
Чикота Я. М. – ведущий инженер бюро поковок ОГМет ПАО «НКМЗ»
Жбанков Я. Г. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД, ДГМА

НКМЗ – Новокраматорский машиностроительный завод, г. Краматорск;
ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: yzhbankov@gmail.com