

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

---

УДК 621.73.046

**Марков О. Е., Лобанов А. И., Косилов М. С., Шарун А. О., Инчаков Е. В.**

### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ПУСТОТЕЛЬНЫХ ПОКОВОК ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Требования, предъявляемые к надежности и безопасности электростанций, становятся жестче из-за необходимости более быстрого проведения обслуживания и ремонта. Уменьшению количества сварных швов при сборке реакторного блока уделяется особое внимание и, как следствие, возникает вопрос создания более крупных и совмещенных элементов [1].

Особую потребность представляют реакторы, в которых применяются элементы со значительной разницей в размерах поперечного сечения. Такие элементы применяются в реакторах, производителями которых являются Китай – АСР-100, СNР-300, НТR-PM, САР1400RPV, Южная Корея – System Integrated Modular Advanced Reactor, США – mPower, GT-MHR, EM2, Индия – АНWR-300-LEU, Россия – АВV-6М, RITM-200, VBER-300 [2].

Ранее большинство элементов реакторного блока, со значительной разницей поперечного сечения, изготавливались с помощью сварки. Это ограничивало срок эксплуатации узла и, как следствие, всего реактора. Этот недостаток был исправлен с помощьюковки цельных поковок, которые не имели сварочных швов. Однако при их изготовлении происходят значительные потери материала. Большой объем металла удаляется механически, а это означает, что значительное его количество идет в отходы. Происходит быстрый износ режущего инструмента. Также имеют место большие нормо-часы, которые идут на механическую обработку. Это влечет за собой увеличение себестоимости изготовления элементов реакторного блока, которые имеют сложный профиль.

В литературе приведено мало примеровковки поковок обечаек со значительной разницей в размерах поперечного сечения. Изготовление подобных поковок часто происходит на кольцеракатных машинах или автоматах. Получениековки обечаек со значительной разницей в размерах поперечного сечения, наиболее близких по форме к требуемой детали, является актуальной проблемой для современной промышленности.

Целью работы является анализ способов изготовления крупных обечаек с фланцем или буртом или со сложной внешней или внутренней поверхностью.

Изготовление таких деталей включает большое количество металлургических переходов. Это, прежде всего, выплавка стали и разливка ее в слитки, нужной формы и массы, дальнейшая термомодеформационная обработка. Технологии обработки, прежде всего технологииковки, являются ключевыми в формообразовании поковок ответственного назначения.

Обечайки получают как из обычных слитков, так и из полых [3, 4]. Анализ способов изготовления таких поковок позволил установить, что уже имеется значительный опыт применения обоих типов слитков. Необходимая формаковки получается как за счет особой формы заготовки, так и за счет применения профилированных бойков, которые приближают формуковки к форме нужной детали. Из анализа литературных источников было установлено, что наиболее всего востребованы детали конической, сферической и ступенчатой форм [2, 5–7].

Способ получения поковки в виде усеченного конуса предусматривает использование конической оправки как для получения заготовки для раскатки [8], так и раскатки на ней заготовки для полученной готовой поковки [9]. В первом случае (рис. 1, а) в заготовке формируется внутренняя коническая поверхность, а внешняя остается цилиндрической. Полученную заготовку раскатывают на цилиндрическом дорне. При раскатке край заготовки с меньшим внутренним диаметром быстрее увеличивается в диаметре, из-за большой толщины стенки, и таким образом формируется поковка в виде усеченного конуса. Во втором случае (рис. 1, б) оправку устанавливают таким образом, что ближайшая к бойку образующая параллельна плоскости бойка. Из-за разной площади контакта заготовки и оправки возникает конус, а из-за параллельности поверхности бойка и поверхности стенки её толщина не изменяется.

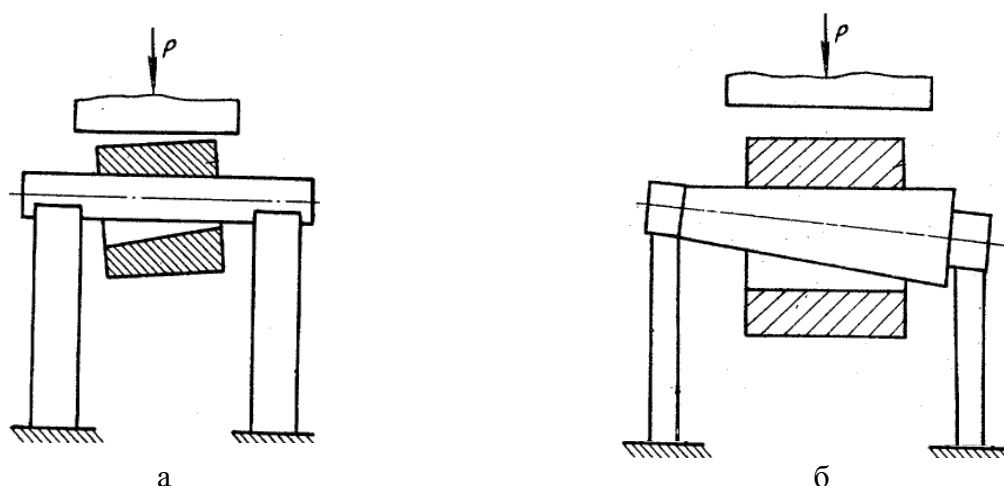


Рис. 1. Способы получения конической обечайки:

а – раскатка заготовки с конической внутренней поверхностью на цилиндрическом дорне;  
б – раскатка заготовки с цилиндрической внутренней поверхностью на конической оправке

Известен также способ изготовления поковок в форме усеченного конуса с постоянной толщиной стенки, который предусматривает раскатку ступенчатой заготовки в виде концентрических, последовательно уменьшающихся в диаметре от одного торца к другому цилиндрических уступов (рис. 2, а) [10]. Известно применение этого способа японской компанией Japan Steel Works Ltd, при получении конусной части корпусов ядерного реактора и парогенератора [1]. Данный способ применялся на различных заводах, таких как Siemens AG (KWU), Thyssen Henrichshiitte, Schmiedewerke Krupp-Klfckner [11].

Ступенчатую заготовку предложено использовать для получения конической поковки с цилиндрическим участком (рис. 2, б) [12]. Однако в данном случае необходимо использовать специальный инструмент. Процессковки включает в себя следующие операции: протяжка слитка, вырубка блока, осадка, прошивка, протяжка на оправке и формирование ступенчатой заготовки, затем с помощью основного валка, дорна и плоского бойка куется конусообразная поковка. На последнем переходе, используя специальное приспособление, куется прямой цилиндрический участок. В работе исследован процесс формирования конической обечайки с цилиндрическим участком для парогенератора AP1000.

Способ изготовления конической обечайки с двумя цилиндрическими прямыми участками (рис. 3) предусматривает применение заготовки с конусной наружной поверхностью. При раскатке такой заготовки (рис. 3, а) образуется коническая поковка, за счет изменяющейся толщины стенки. На последнем этапе (рис. 3, б) для получения необходимой поковки использовался боёк и оправка седловидной формы [1, 13].

Для получения сферических поковок предлагается использовать специальные сферические бойки и дорн. Способ получения сферических бойков с внешней сферической поверхностью (рис. 4, а, б) предусматривает использование бойков сферической формы как для

получения заготовки перед раскаткой, так и для окончательной раскатки. Данный способ был на ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» [14] и ПАО «Энергомашспецсталь». Дляковки поковок с внутренней и внешней сферическими поверхностями (рис. 4, в) предложено использовать боёк со сферическим вырезом и бочкообразную оправку [15]. Для обеспечения заданной формы внутренней сферической полости поковки предлагается менять оправки с меньшей бочкой на большую, которая соответствует диаметру отверстия сферической заготовки. Эти способы расширяют технологические возможности получения поковок, близких по форме и размерам к готовым деталям, что приводит к уменьшению расхода металла и трудоемкости механообработки.

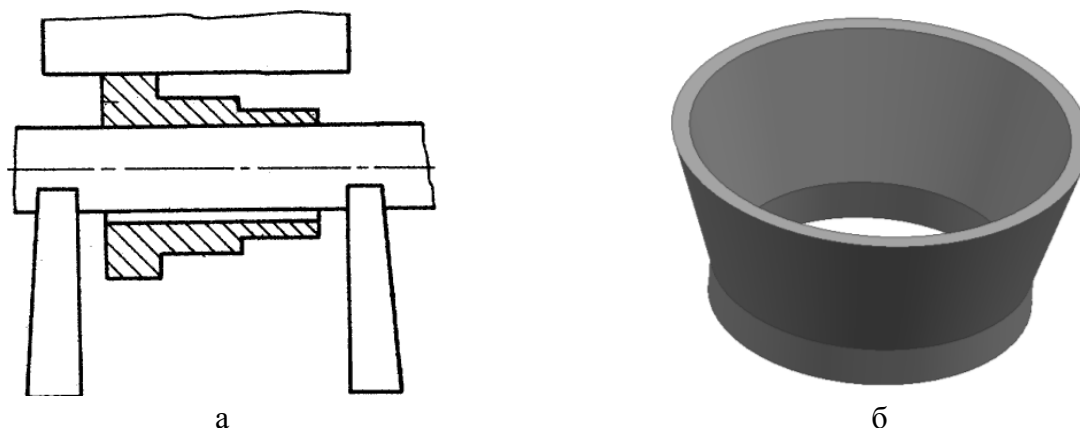


Рис. 2. Пример использования ступенчатой заготовки (а) для получения конусной поковки (б)

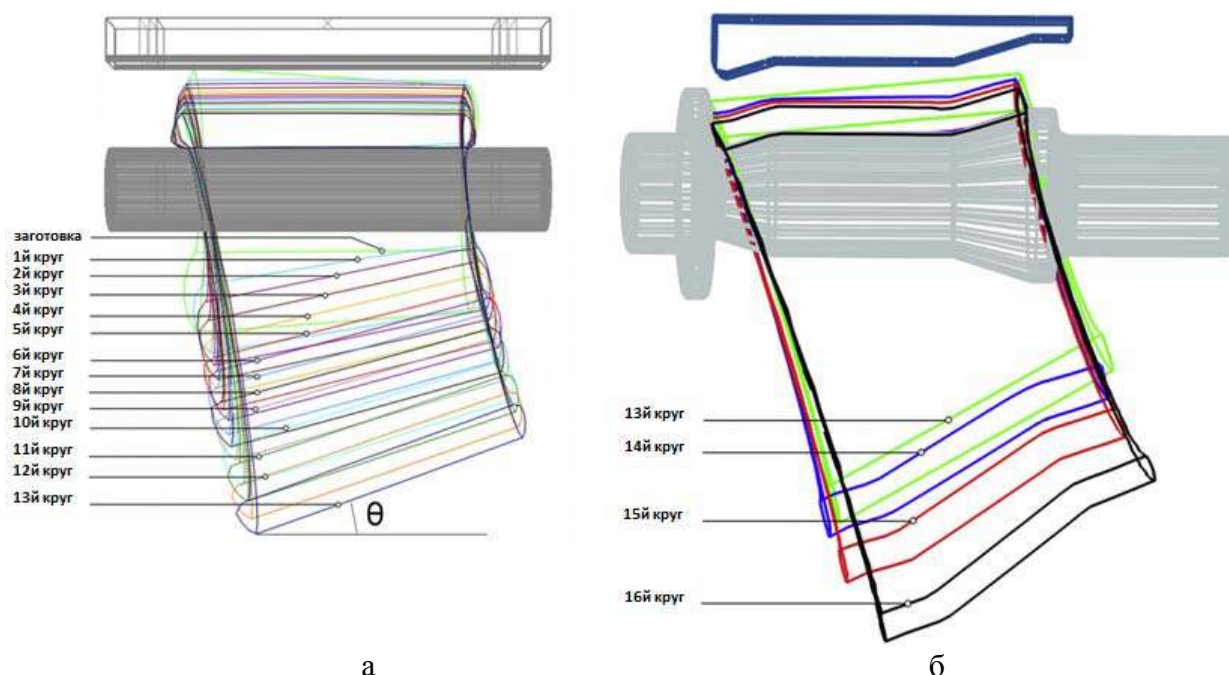


Рис. 3. Получение заготовки (а) и окончательнаяковка (б) изготовления конической обечайки с двумя цилиндрическими прямыми участками

Детали со ступенчатой формой наиболее распространены в конструкциях атомных энергоблоков. И поэтому их изготовлению уделяется большое внимание.

Для решения задач получения поковок со ступенчатой формой поперечного сечения на Japan Steel Works, Ltd (JSW) разработаны специальные процессыковки (рис. 5) [1]. Схемыковки, приведенные на рис. 5, используются для производства следующих элементов реакторного блока: конуснаяковка (а) для конусного корпуса парогенератора; волноваяковка

(б) – нижний корпус парогенератора; ковка с внешним уступом (в) и ковка с внутренним выступом (г) – фланцевые корпуса реактора высокого давления; местная раскатка (д) – нижний корпус реактора высокого давления.

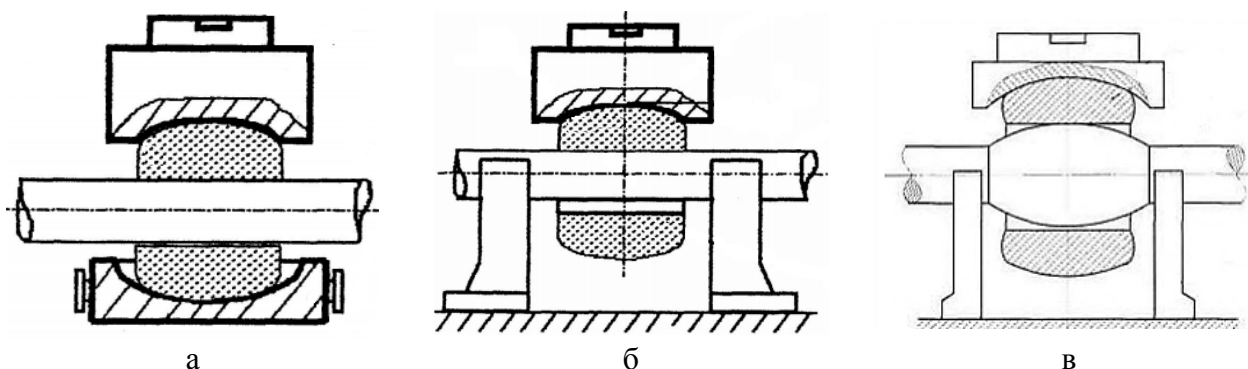


Рис. 4. Способы получения сферических поковок:

а – получение сферической заготовки; б – получение поковки с внешней сферической поверхностью; в – получение поковки с внешней и внутренней сферическими поверхностями

Элементы корпуса реактора, представленные на рис. 6, получают путем раскатки обечайки с помощью ступенчатого бойка. Такая конструкция обеспечивает следующие преимущества: уменьшается количество операций и, соответственно, сокращаются сроки изготовления. На рис. 6, а приведены примеры комбинированной поковки корпуса фланца с поясом патрубков, изготовленные из слитков массой 400 т и 500 т, соответственно [1]. Для реактора САР1400 было отковано две крупногабаритные обечайки [16]. Одна с внешним фланцем (рис. 6, б), другая с внешним фланцем и боковыми патрубками (рис. 6, в), которые были получены штамповкой.

Особенность получения элементов реакторного блока, приведенных на рис. 6, заключается в том, что обечайки с фланцем ковались с применением ступенчатого верхнего бойка. Последовательность ковочных операций для получения таких обечаек, приведенная на рис. 7, применялась для изготовления поковки зоны патрубков, соединенной с фланцем, для атомного реактора, разработанного компанией AREVA [17]. Слиток массой 500 т использовался для изготовления этой поковки. Это была первая большая поковка изготовлена на новом 14000 т прессе, установленном на JSW в 2003 году.

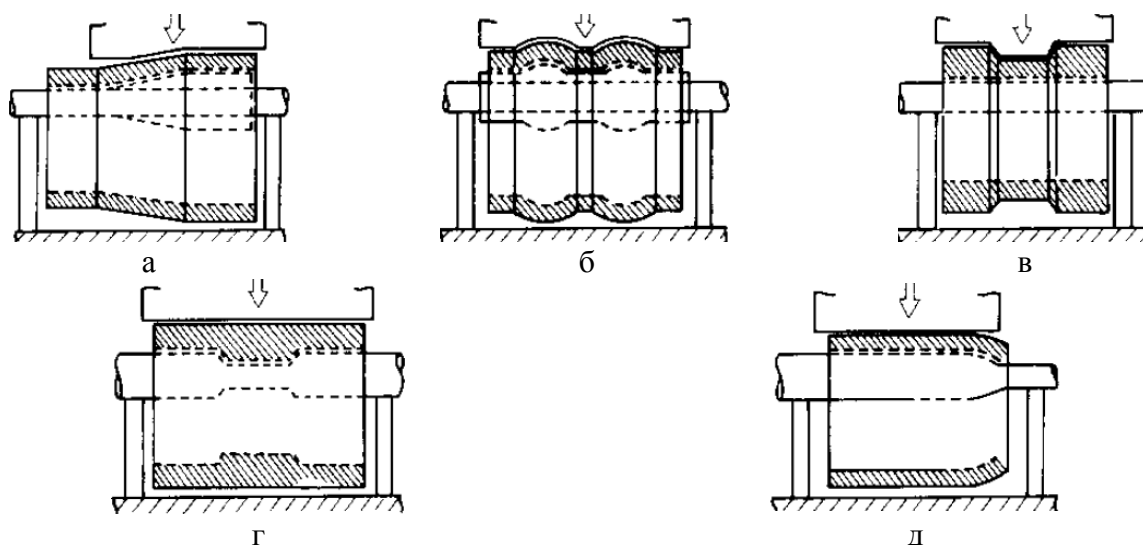


Рис. 5. Способыковки поковки со ступенчатой формой поперечного сечения, предложенные JSW

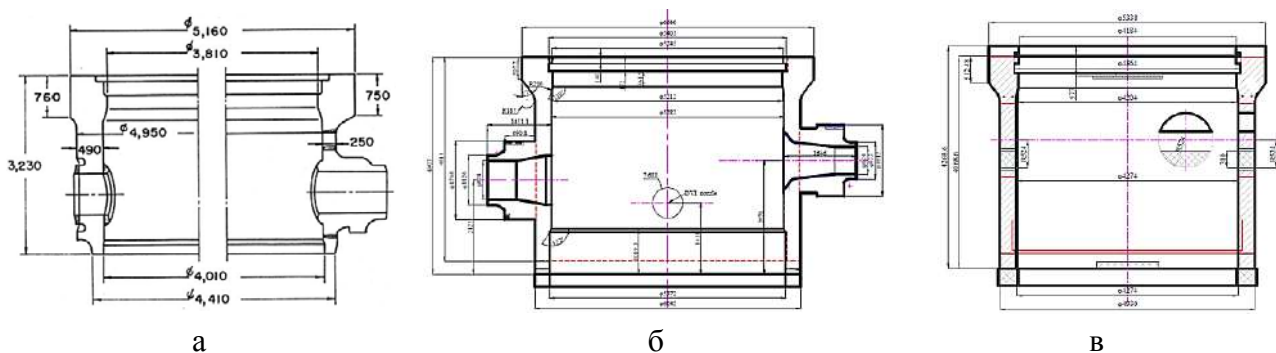


Рис. 6. Элементы корпусов реакторов:  
а, б – с фланцем и патрубками; в – с фланцем

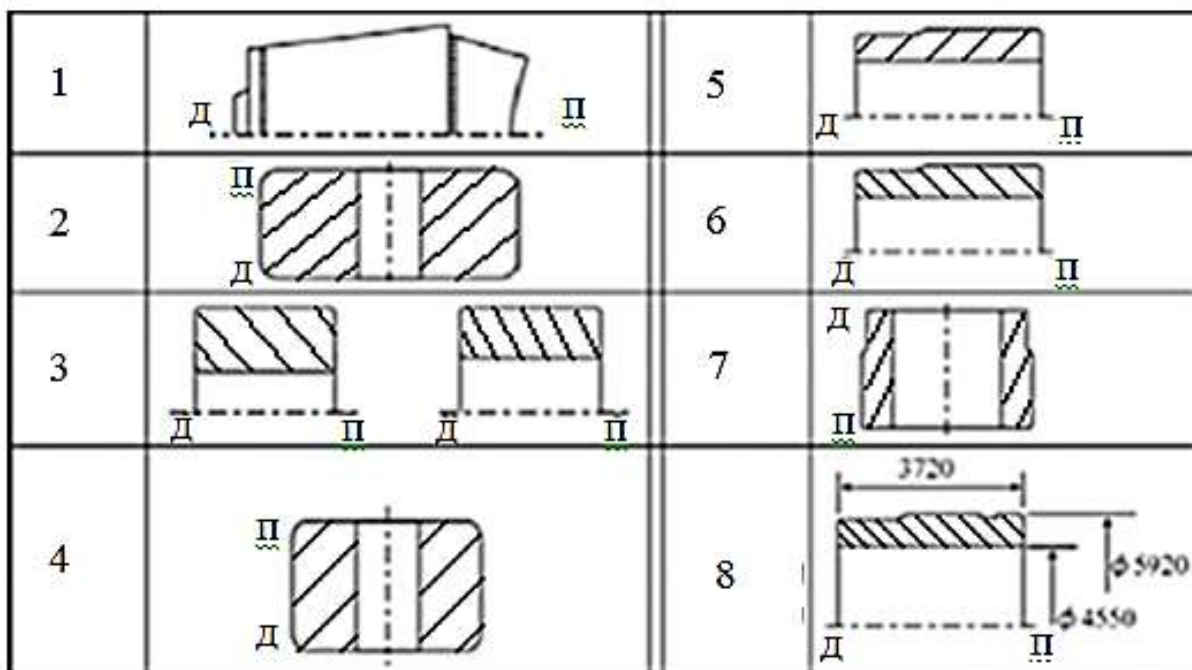


Рис. 7. Последовательностьковки интегрированной поковки зоны патрубков, совмещенной с фланцем:

1 – рубка донной и прибыльной частей; 2 – осадка и прошивка; 3 – протяжка на оправке и предварительная раскатка; 4 – присадка; 5 – протяжка на оправке; 6 – раскатка; 7 – присадка; 8 – окончательная раскатка

Прибыльна и донная части были отрублены для получения такой поковки, затем слиток был осажен, прошит, протянут на оправке и раскатан, чтобы получить необходимую форму, которая включала уступ на участке между фланцем и зоной патрубков. Зона патрубков и фланец имели толщину около 700 мм. Подобная технологияковки применялась и при производстве обечайки с фланцем из слитка 500 т [18].

## ВЫВОДЫ

Анализ литературных данных позволил установить, что энергетическое машиностроение имеет опыт получения пустотелых поволоков сложной формы, используя как инструмент сложной формы, так и нестандартную форму заготовок перед окончательной раскаткой. Использование модифицированных ковочных операций для получения поволоков сложной конфигурации, позволило значительно сократить время изготовления составных элементов

реакторного блока, починаючи з виплавки сталі і закінчуючи механообробкою. Из-за получения поковок близких по форме к детали значительно сокращается количество отходов в виде стружки, и сокращается время механообработки, что ведет к снижению себестоимости.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Current steel forgings and their properties for steam generator of nuclear power plant / Suzuki K., Sato I., Kusuhashi M., Tsukada H. // Nuclear Engineering and Design – 2000. – №198. – С. 15–23.*
2. *Carelli M. D. Small modular reactors (SMRs) for producing nuclear energy: international developments / M. D. Carelli, D. T. Ingersoll // Handbook of Small Modular Nuclear Reactors. – 2015. – С. 27–60.*
3. *Tomlinson M. The development of hollow ingot technology at Sheffield Forgemasters International Ltd. / M. Tomlinson, J. Talamantes-Silva, P. Davies // 18th International Forgemasters Meeting. – Pittsburgh : Market and Technical Proceedings. – 2011. – С. 175–178.*
4. *Lee S. U. Effect of deformation and heat treatment on fabrication of large sized ring by mandrel forging of hollow ingot / S. U. Lee, Y. S. Lee, Y. H. Moon // Materials Research Innovations. – 2011. – № 1. – С. 458–462.*
5. *Suzuki K. Manufacturing and material properties of ultralarge size forgings for advanced BWRPV / K. Suzuki, I. Sato, H. Tsukada // Nuclear Engineering and Design. – 1994. – № 151. – С. 513–522.*
6. *Talamantes-Silva J. Developed of forgings in Sa508-4N for the nuclear industry / J. Talamantes-Silva, M. Kearney, P. Bates // 18th International Forgemasters Meeting. – Pittsburgh : Market and Technical Proceedings, 2011. – С. 234–237.*
7. *Development of Mono-bloc Forging for CAP1400 Reactor Pressure Vessel / [W. Bao-zhong, L. Kai-quan, L. Ying ma in.] // 19th International Forgemasters Meeting. – 2014. – С. 391–396.*
8. *А. с. 863135 СССР, МПК В 21 К 1/38. Способ изготовления полых поковок / В. Д. Арефьев, Г. С. Рябцев, А. Ю. Петунин, Б. Г. Восходов (СССР). – № 2869192/25-27 ; заявл. 12.12.79 ; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34. – 3 с.*
9. *А. с. 948513 СССР, МПК В 21 J 1/04. Способ изготовления полых поковок / В. Д. Арефьев, А. В. Пакало, А. И. Зубков, В. Д. Соболев, А. Ю. Петунин (СССР). – № 3226620/25-27 ; заявл. 11.12.80 ; опубл. 07.08.82, Бюл. № 29. – 3 с.*
10. *А. с. 958026 СССР, МПК В 21 J 1/04. Способ изготовления конических обечаек / Арефьев В. Д., А. В. Пакало, А. И. Зубков, В. Д. Соболев, А. Ю. Петунин (СССР). – № 3244552/25-27 ; заявл. 11.02.81 ; опубл. 15.09.82, Бюл. № 34. – 3 с.*
11. *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 and etc.] // Nuclear Engineering and Design. – № 108. – С. 487–495.*
12. *Research on Key Processing Technology of Nuclear Power Tapered Cylinder Forging / [S. Nie, Z. Yu, D. Meng and etc.] // Materials Design, Processing and Applications. – 2013. – С. 2387–2394.*
13. *А. с. 712185 СССР, МПК В 21 К 1/38. Устройство для раскатки полых изделий на прессе / Кальченко П. П., Быков В. П., Цвященко Н. А., Бурмистров В. Г., Бабаскин А. А., Шишмарев А. И., Пименов Г. А. (СССР). – № 2636655/25-27 ; заявл. 07.03.78 ; опубл. 30.01.80, Бюл. № 4. – 2 с.*
14. *Пат. 37022 А Україна, МПК (2006.01) В 21 J 1/04. Спосіб виготовлення порожнистих сферичних викуванців / Кальченко П. П., Олешко В. М., Шабанов В. Б. ; заявник та власник патенту ЗАТ «Ново-Краматорський Машинобудівний Завод». – № 2000031384 ; заявл. 10.03.2000 ; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3. – 3 с.*
15. *Пат. 106717 Україна, МПК (2006.01) В 21 J 1/04. Спосіб виготовлення порожнистих сферичних поковок / Кальченко П. П., Марков О. Є., Руденко Н. О. ; заявник та власник патенту Донбаська Державна Машинобудівна Академія. – № u201508943 ; заявл. 16.09.2015 ; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9. – 3 с.*
16. *Raise the manufacture ability on the basis of AP1000 [Електронний ресурс] // Gen III AP/CAP Qualified Suppliers Symposium. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.snptc.com/file/speech/13\\_%E4%BB%A5AP1000%E4%B8%BA%E4%BE%9D%E6%89%98%20%20%E5%85%A8%E9%9D%A2%E6%8F%90%E5%8D%87%E5%88%B6%E9%80%A0%E8%83%BD%E5%8A%9B%EF%BC%88%E4%B8%80%E9%87%8D%EF%BC%89.pdf](http://www.snptc.com/file/speech/13_%E4%BB%A5AP1000%E4%B8%BA%E4%BE%9D%E6%89%98%20%20%E5%85%A8%E9%9D%A2%E6%8F%90%E5%8D%87%E5%88%B6%E9%80%A0%E8%83%BD%E5%8A%9B%EF%BC%88%E4%B8%80%E9%87%8D%EF%BC%89.pdf).*
17. *High intensity forging for nuclear applications : Manufacturing and properties of nozzle shell with integral flange for EPR reactor pressure vessel / [T. Berger, E. Murai, I. Kurihara and etc.] // Ironmaking & Steelmaking. – 2007. – № 3. – С. 205–210.*
18. *Manufacturing of ultra-large diameter 20 MnMoNi 55 steel forgings for reactor pressure vessels and their properties / [S. Onodera, S. Kawaguchi, H. Tsukada and etc.] // Nuclear Engineering and Design. – № 84. – 1985. – С. 261–272.*