

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.774.3

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-41-46

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕОРИИ, ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ТРУБОПРЕССОВЫХ СИСТЕМ

Космацкий Я.И.

Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности, Челябинск, Россия

Аннотация. Представлен обзор перспективных направлений исследований в области совершенствования теории, технологии и оборудования трубопрессовых систем. Показаны особенности функционирования новых энерго-сберегающих способов производства труб методом прессования. На примере результатов экспериментальных исследований с использованием лабораторно-технической базы лаборатории волочения и прессования ОАО «РосНИТИ» и математического моделирования с применением метода конечных элементов, реализованного QForm 2D/3D, показана эффективность применения новых способов и устройств прессования труб и совмещенных с ним процессов, обусловленная снижением величины пресс-остатка при прессовании труб, снижением максимального усилия и пиковых нагрузок на деформирующий инструмент. Представлен инновационный подход к совершенствованию процесса прессования, обеспечивающий расширение сортамента горячепрессованных труб в условиях действующих трубопрессовых систем, обеспечивающий возможность изготовления труб с винтообразным оребрением внутренней поверхности. Проведен анализ результатов моделирования процесса прессования труб при использовании принудительного вращательного движения пресс-иглы и сделан вывод о возможности и целесообразности его применения. Вместе с этим указываются значимые геометрические размеры пресс-игл, учет которых может обеспечить изготовление указанного вида трубной продукции, и приводится ссылка на программное обеспечение, при использовании которого обеспечивается задача инженерных расчетов энергосиловых параметров процесса и геометрических параметров профилировки трубопрессового инструмента для производства труб с винтообразным оребрением внутренней поверхности. В дополнении к обобщенным результатам исследований процесса прямого прессования труб представлено развитие технических и теоретических основ процесса прессования труб с боковым истечением, в том числе при совмещении с процессом литья, редуцирования и принципов аккумуляции энергии. Показана перспективность проведения настоящих и дальнейших исследований.

Ключевые слова: процесс прессования труб, максимальное усилие прессования, пресс-остаток, аккумулирующее устройство, труба с винтообразным оребрением внутренней поверхности, совмещенные способы и устройства для прессования, импортозамещение.

Введение

Существующие технологические процессы обработки металлов давлением обеспечивают систематизацию знаний в рамках соответствующей науки. С ней связаны различные типы теорий научной дисциплины, как фундаментальные, так и частные, например – теория прессования, а также опытные факты, на которые опираются и с которыми должны быть согласованы принципы инновационных технологий.

Исследование условно делится на следующие направления: синергия действующих трубопресс-

совых систем; анализ теоретических разработок устойчивого течения металла и выполнение профиля горячепрессованных труб; исследование деформационных свойств новых материалов.

Синергия действующих трубопрессовых систем, основываясь на анализе теоретических разработок устойчивого течения металла и выполнение профиля горячепрессованных труб, предусматривает разработку новых способов и устройств изготовления горячедеформированных труб. При этом обеспечивается возможность расширения сортамента в области труднодеформируемых металлов и сплавов и изготовления труб новой конструкции. Итак, предлагается рассмотреть следующие технические и теоретические решения.

© Космацкий Я.И., 2016

Результаты исследований

Во-первых, теоретическое исследование граничных условий реализации процесса инерционного прессования труб, заключающегося в протягивании металла из контейнера готовой частью изделия, выполненное в работе [1], позволило разработать рекомендации по совершенствованию способа инерционной выпрессовки пресс-остатка и устройство (рис. 1), обеспечивающих, в совокупности, полное устранение указанной величины. В частности, установлено, что для гарантированного устранения пресс-остатка требуется приложение дополнительных усилий, создаваемых аккумулялирующим устройством, принцип действия которого описан в работах [2, 3], компенсирующих в случае их недостатка со стороны инерционного воздействия готовой части трубы.

При этом следует отметить особенность работы устройства (см. рис. 1), согласно которой передача металлу заготовки накопленной энергии осуществляется постепенно в течение всего рабочего цикла процесса, обеспечивая при этом

плавное возрастание усилия прессования P . В соответствии с представленной на рис. 2 графической зависимостью длительность процесса с применением аккумулялирующего устройства выше, что объясняется работой деформации применяемого устройства.

Во-вторых, дополнительное вращательное движение пресс-иглы расширяет возможности применения процесса прессования в направлении снижения усилия на величину от 2,5 до 5 % (рис. 3), необходимого для изготовления труб из труднодеформируемых металлов и сплавов в промышленных условиях действующих трубопрессовых систем [4].

Одновременно с этим при использовании рациональной профилировки прессового инструмента [5, 6], обеспечивающего устойчивое течение металла, появляется технологическая возможность расширения сортамента трубной продукции и изготовления пресс-изделий с глубокой степенью проработки [7], соответственно с повышенной добавленной стоимостью, а именно трубы с винтообразным оребрением внутренней поверхности (рис. 4).

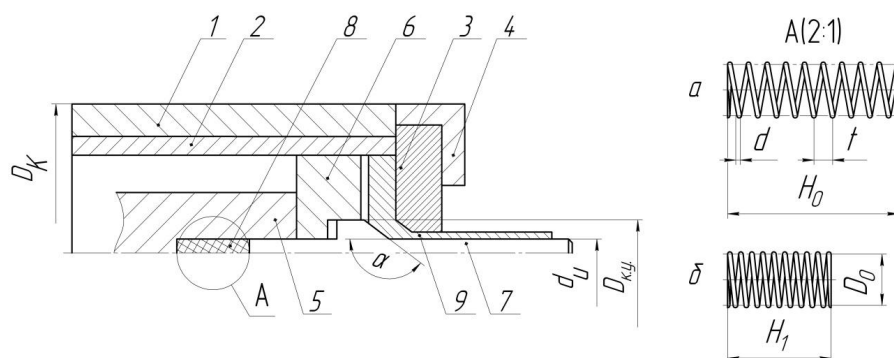


Рис. 1. Схема устройства на стадии выпрессовки пресс-остатка: аккумулялирующее устройство в начальной – конечных (а) и установившейся стадиях процесса (б) соответственно: 1 – контейнер; 2 – втулка контейнера; 3 – матрица; 4 – матрица-держатель; 5 – пуансон; 6 – пресс-шайба; 7 – пресс-игла; 8 – аккумулялирующее устройство; 9 – полый профиль

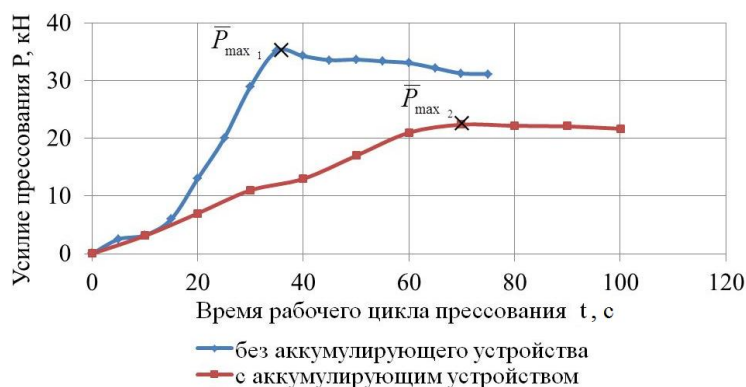


Рис. 2. Зависимость среднего значения усилия прессования от времени рабочего цикла процесса: $\bar{P}_{max_1} = 35,2$ кН; $\bar{P}_{max_2} = 22,3$ кН

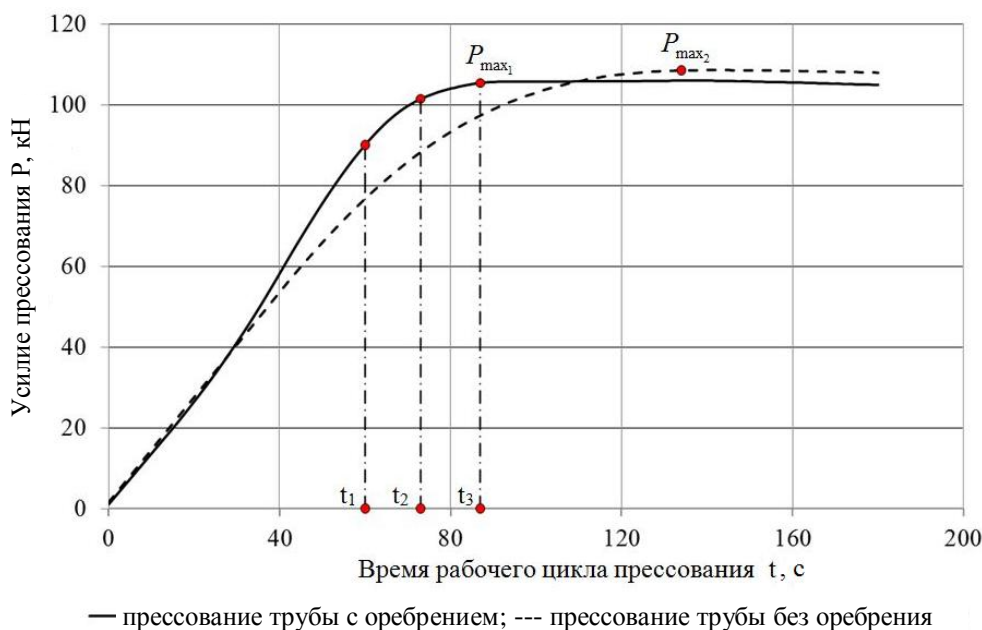


Рис. 3. Зависимости средних значений усилия прессования труб 40×10,0 мм из свинца марки С1 от длительности рабочего цикла (по результатам компьютерного моделирования с использованием QForm 2D/3D): $P_{max_1} = 106,1 \text{ кН}$; $P_{max_2} = 108,7 \text{ кН}$

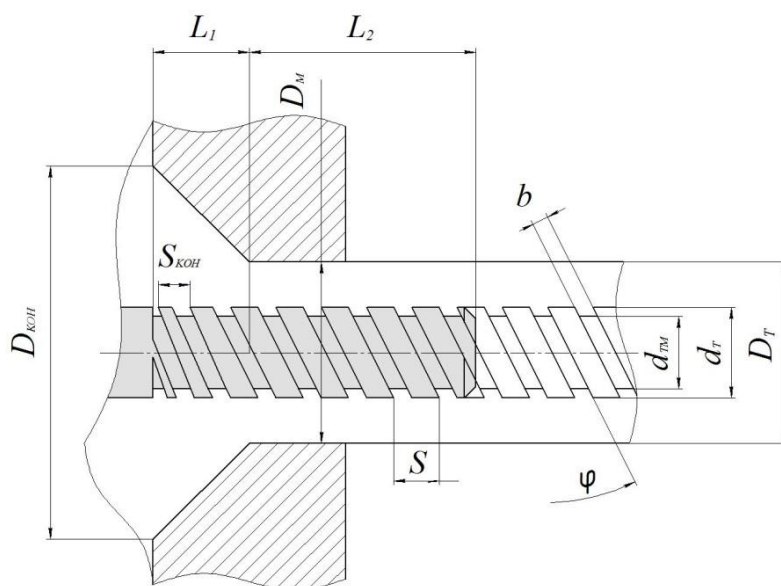


Рис. 4. Геометрические параметры системы пресс-иглы – труба с внутренними винтовыми нарезками: D_T – наружный диаметр трубы; d_T – внутренний диаметр трубы; $d_{ТМ}$ – малый внутренний диаметр трубы; $S_{кон}$ – шаг нарезков на участке пресс-иглы, соответствующем коническому участку матрицы; $D_{кон}$ – диаметр заходного участка матрицы; b – ширина ребра; φ – угол подъема винтовой линии

При исследовании процесса прессования труб с внутренним винтообразным оребрением следует обратить внимание на три соответствующих временных интервала, стадии которого изображены на **рис. 5**. При этом, как показано на **рис. 3**, $t_1 \approx 59,7 \text{ с}$ – момент времени, соответствующий заполнению конического участка

матрицы металлом заготовки (**рис. 5, а**); $t_2 \approx 72,8 \text{ с}$ – момент времени, сопровождающийся заполнением калибрующего участка матрицы (**рис. 5, б**); $t_3 \approx 86,6 \text{ с}$ – момент времени, соответствующий установившемуся процессу прессования, после которого наблюдается понижение усилия (**рис. 5, в**).

В соответствии с зависимостью изменения усилия прессования труб с оребрением, изображенной на рис. 3, увеличение усилия прессования наблюдается до $\sim 86,6$ с, т.е. до момента времени t_3 , при котором передний конец металла «сбегает» с пресс-иглы (рис. 4, в). После t_3 происходит медленное снижение усилия. Наибольшая скорость роста усилия наблюдается на временном интервале до $\sim 59,7$ с. Окончание этого временного интервала соответствует моменту времени t_1 (рис. 4, а). При этом следует отметить, что внутри объема, образованного коническим участком матрицы, происходит наиболее интенсивное формоизменение металла.

Также следует отметить, что до ~ 30 с графические зависимости усилия прессования трубы с вращением пресс-иглы и без вращения практически совпадают. После чего усилие на пуансоне в процессе с вращением пресс-иглы «обгоняет» усилие прессования без вращения пресс-иглы. Вероятно, это связано с тем, что в

этот момент времени металл начинает интенсивно воздействовать на боковую стенку нарезов на пресс-игле, а следовательно, происходит увеличение скорости роста растягивающих напряжений на пресс-игле.

В-третьих, использование принципа совмещением способов обработки металлов давлением, с целью обеспечения высокой маневренности и непрерывности процесса прессования при заданных технологических условиях, позволило разработать следующий комплекс способов и устройств: литье – поперечно-боковое прессование и редуцирование [8], литье – поперечно боковое и прямое прессование с выпрессовкой пресс-остатка [9]. Теоретическое исследование последнего с использованием разработанной математической модели процесса [10] позволило определить максимальное значение усилия прессования и усилия аккумулирующего устройства, обеспечивающего выпрессовку пресс-остатка (рис. 6).

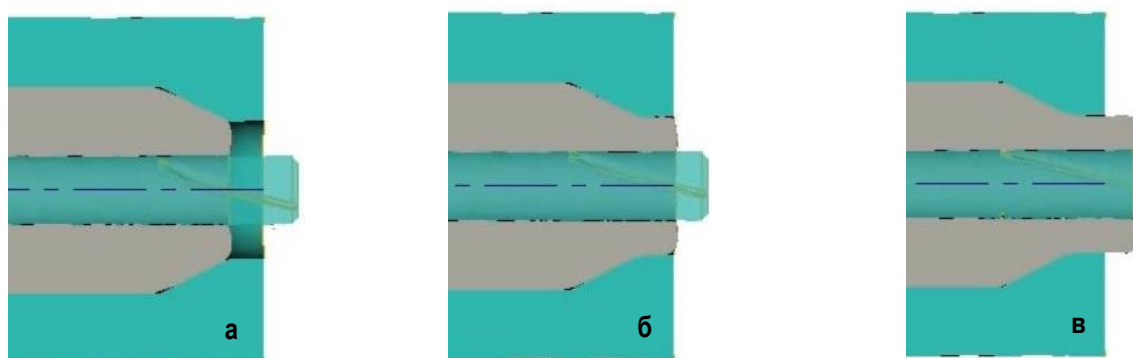


Рис. 5. Стадии процесса прессования труб размером $40 \times 10,0$ мм с винтообразным оребрением внутренней поверхности: а – $t_1 \approx 59,7$ с; б – $t_2 \approx 72,8$ с; в – $t_3 \approx 86,6$ с

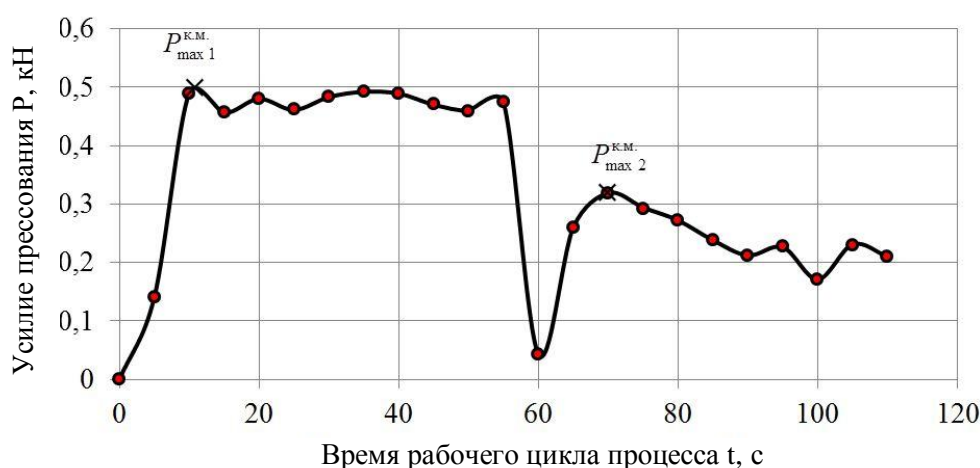


Рис. 6. Изменение усилия прессования на первом и втором этапах совмещенного процесса с применением оригинального устройства для его осуществления [9] при изготовлении медных труб размером 40×10 мм

Заключение

Таким образом, последующее физическое моделирование новых трубопрессовых систем, за исключением инерционного прессования [2, 11] с прямым истечением металла, разработка технико-экономического обоснования их применимости и опытно-промышленное опробование могут способствовать стабилизации конкурентоспособности трубной промышленности (п. 7 Приложения к Приказу № 652 от 31.03.2015), особенно в области неосвоенного сортамента, что является одной из стратегически важных задач РФ, направленных на реализацию Программ импортозамещения [12, 13].

Список литературы

1. Космацкий Я.И. Совершенствование процесса инерционной выпрессовки пресс-остатка // Материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2013. Т. 2. С. 11–14.
2. Моделирование процесса прессования труб с использованием устройства инерционной выпрессовки пресс-остатка / Я.И. Космацкий, А.В. Выдрин, Б.В. Баричко и др. // Сталь. 2014. Вып. 11. С. 46–49.
3. Способ прессования полых профилей и устройство для его осуществления: пат. 2535831 Рос. Федерация: МПК⁷ В 21 В 17/00, В 21 С 23/08, В 21 В 25/02 / Я.И. Космацкий, А.В. Выдрин, Б.В. Баричко, Н.В. Фокин, В.Б. Восходов (РФ). № 2013133135/02; заявл. 16.07.13; опубл. 20.12.14, Бюл. №35. 9 с.
4. Космацкий Я.И., Перевозчиков Д.В. Технологические основы процесса изготовления горячепрессованных труб с внутренним оребрением // Труды международной научно-технической конференции «ТРУБЫ-2014»: сб. науч. трудов. Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2014. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. Космацкий Я.И., Перевозчиков Д.В. Определение геометрических параметров профилировки инструмента при изготовлении труб с внутренними винтовыми нарезами прессованием // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2014. Т. 14. № 1. С. 80–83.
6. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014616235. Программный комплекс для определения параметров прессования труб с внутренним винтообразным оребрением / Космацкий Я.И., Перевозчиков Д.В. № 2014613894; заявл. 29.04.2014; опубл. 20.07.2014. 1 с.
7. Бережной, В.Л., Щерба В.Н., Батулин А.И. Прессование с активным действием сил трения. М.: Metallurgy, 1988. 296 с.
8. Устройство для получения полых профилей: пат. 143437 Рос. Федерация: МПК⁷ В 22 D 18/02 / Я.И. Космацкий, А.В. Выдрин, Е.В. Храмов (РФ). № 2014109719/02; заявл. 12.03.14; опубл. 20.07.14, Бюл. №20. 7 с.
9. Устройство для получения полых профилей: пат. 144990 Рос. Федерация: МПК⁷ В 22 D 17/00 / Я.И. Космацкий, Е.В. Храмов, Н.В. Фокин (РФ). № 2014118689/02; заявл. 07.05.14; опубл. 10.09.14, Бюл. №25. 2 с.
10. Космацкий Я.И., Фокин Н.В. Математическое моделирование совмещенного процесса разлики и бокового прессования // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2015. Т. 15. № 1. С. 29–32.
11. Космацкий Я.И., Фокин Н.В. Экспериментальное исследование процесса инерционного прессования труб // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2014. Том 14. № 2. С. 73–77.
12. Российская Федерация. Министр промышленности и торговли Д.В. Мантуров. Приказ № 652 от 31 марта 2015 года: (об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в отрасли черной металлургии Российской Федерации). М., 2015. 4 с.
13. Российская Федерация. Министр промышленности и торговли Д.В. Мантуров. Приказ № 651 от 31 марта 2015 года: (об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в отрасли цветной металлургии Российской Федерации). М., 2015. 4 с.

Материал поступил в редакцию 20.05.15.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-41-46

MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH IN THE FIELD OF THE PIPE-EXTRUSION SYSTEM THEORY, TECHNOLOGY AND EQUIPMENT IMPROVEMENT

Kosmatsky Yaroslav Igorevich – Ph.D. (Eng.), Responsible for foreign economic activities at the Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries Open Joint Stock Company, Chelyabinsk, Russia. Phone/fax: +7 (351) 734-70-60. E-mail: kosmatski@rosniti.ru.

Abstract. This article presents an overview of advanced areas of research in the field of pipe-extrusion system theory, technology and equipment improvement. The article introduces performance features of new energy-saving pipe-extrusion methods. Through the results of experimental studies using the laboratory and technical facilities of the drawing and extrusion laboratory of 'RosNITI' Joint Stock Company and the QForm 2D/3D final element simulation, the author shows the application efficiency of new pipe-extrusion methods and devices and the processes combined, a factor which is associated with the reduction of pipe-extrusion discard and reduction of maximum load and peak loads on deforming tools. The article presents an innovative approach to extrusion process improvement which ensures expansion of the hot-presset pipe assortment in the setting of running pipe extrusion systems and makes it possible to

manufacture internal helical fine pipes. The results of pipe-extrusion simulation with forced rotation of the mandrel have been analyzed, and the possibility and feasibility of its application are proposed.

At the same time, the author indicates valid geometrical dimensions of mandrels, if taken into account, ensuring production of pipe products of this type. The author provides a link to the software for engineering calculations of process power parameters and geometric parameters of pipe-extrusion tool profiling to produce internal helical fine pipes. In addition to consolidated results of research on direct pipe extrusion, the article presents a development of the technical and theoretical background for the lateral pipe extrusion process, but also when combined with casting, reducing and energy storage principles. The potential of current and further research is demonstrated.

Keywords: Pipe extrusion process, maximum extrusion force, pipe-extrusion discard, accumulating device, pipe with inner ribbing surface (IRS), combined methods and extrusion apparatus, import substitution.

References

1. Kosmatsky Ya.I. Improvement of a process of discard inertia pressing-out. *Materialy 65-j nauchnoj konferentsii. Sektsii tekhnicheskikh nauk* [Proceedings of the 65th Scientific Conference. Workshops on Technical Sciences]. Chelyabinsk: SUSU, 2013, vol. 2, pp. 11–14.
2. Kosmatsky Ya.I., Vydrin A.V., Barichko B.V., Fokin N.V. Modelling of a pipe extrusion process using a device for discard inertia pressing-out. *Stal'* [Steel], 2014, no. 11, pp. 46–49.
3. Kosmatsky Ya.I., Vydrin A.V., Barichko B.V., Fokin N.V., Voshodov V.B. *Sposob pressovaniya polykh profilej i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya* [Method of pressing hollow profiles and a device for its realization]. Patent RF, no. 2535831, 2014.
4. Kosmatsky Ya.I., Perevozchikov D.V. Technological bases of the manufacturing process of hot-pressed tubes with internal ribbing. *Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsiya «TRUBY-2014»: sbornik nauchnykh trudov* [Papers of the International Scientific and Technical Conference 'TUBES & PIPES-2014']. Chelyabinsk: ROSNITI JSC, 2014. 1 CD-ROM disk.
5. Kosmatsky, Ya.I., Perevozchikov D.V. Determination of geometrical parameters of tool profiling in the manufacture of pipes with internal screw thread by extrusion. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Metallurgiya»* [Bulletin of the South Ural State University. Metallurgy series]. 2014, vol. 14, no. 1, pp. 80–83. (in Russ.).
6. Kosmatsky Ya.I., Perevozchikov D.V. *Programmnyj kompleks*

dlya opredeleniya parametrov pressovaniya trub s vnutrennim vintobraznym orebreniem [Software package to determine parameters of extrusion of pipes with inner ribbing surface]. Patent RF, no. 2014616235, 2014.

7. Berezhnoi V.L., Sherba V.N., Baturin A.I. *Pressovanie s aktivnym dejstviem sil treniya* [Extrusion with dynamic actions of friction forces]. Moscow: Metallirgiya, 1988. 296 p.
8. Kosmatskiy Ya.I., Vydrin A.V., Khramkov E.V. *Ustrojstvo dlya polucheniya polykh profilej* [Device for producing hollow profiles] Patent RF, no. 143437, 2014.
9. Kosmatskiy Ya.I., Khramkov E.V., Fokin N.V. *Ustrojstvo dlya polucheniya polykh profilej* [Device for producing hollow profiles]. Patent RF, no. 144990, 2014.
10. Kosmatsky Ya.I., Fokin N.V. Mathematical simulation of the combined process of casting and lateral pressing. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Metallurgiya»* [Bulletin of South Ural State University. Metallurgy series]. 2015, vol. 15, no. 1, pp. 29–32.
11. Kosmatsky Ya.I., Fokin N.V. Experimental study of inertial pipe extrusion. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Metallurgiya»* [Bulletin of the South Ural State University. Metallurgy series]. 2014, vol. 14, no. 2, pp. 73–77. (in Russ.).
12. Russian Federation. D.V. Manturov, the Minister of Industry and Trade. Decree No. 652 of March 31, 2015 [Text] (approval of the plan of measures on import substitution in the steel industry of the Russian Federation). Moscow, 2015. 4 p.
13. Russian Federation. D.V. Manturov, the Minister of Industry and Trade. Decree No. 651 of March 31, 2015 [Text] (approval of the plan of measures on import substitution in non-ferrous metallurgy of the Russian Federation). Moscow, 2015. 4 p.

Космацкий Я.И. Основные направления исследований в области совершенствования теории, технологии и оборудования трубопрессовых систем // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №1. С. 41–46. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-41-46

Kosmatsky Ya.I. Main directions of research in the field of the pipe-extrusion system theory, technology and equipment improvement. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 1, pp. 41–46. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-41-46

УДК 621. 771: 669. 716

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-46-52

МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Константинов И.Л., Губанов И. Ю., Клеменкова Д.В, Астрашабов И.О., Сидельников С.Б., Горохов Ю.В.

Сибирский федеральный университет (СФУ), Красноярск, Россия

Аннотация. Разработана методология модернизации технологии горячей объемной штамповки поковок из алюминиевых сплавов компьютерным моделированием. Реализация методологии показана на действующей технологии штамповки поковки «Диск» из сплава АВ. При этом ставилось условие, что модернизация должна обеспечить повышение экономичности процесса и не сопровождаться заменой оборудования, существенной переделкой прессового инструмента, а также изменением формы и размеров штампованной поковки. Анализ технологии-аналога позволил сформулировать задачу сокращения количества переходов при штамповке путем оптимизации условий трения при штамповке и скоростных условий штамповки. После анализа по чертежам в программе SolidWorks создавали трехмерные модели штампованной поковки и штампа, которые загружали в препроцессор компьютерной программы DEFORM-3D в виде файлов. После этого вводили температурные, скоростные и силовые режимы деформирования, которые согласно параметрам заводского технологического процесса составляли: температура нагрева штампа 360–450°C, температура нагрева заготовок 400–470°C, скорость штамповки 2–10 мм/с, а сопротивление деформации бралось из литературы. На выходе получали базу данных процесса штамповки. В результате установили, что равномерное заполнение гравюры штампа за один переход достигается при показателе трения по верхней торцевой и боковым поверхностям составляющим 0,3–0,4, а скорость рабочего хода пресса при этом не должна превышать 5 мм/с.

© Константинов И.Л., Губанов И. Ю., Клеменкова Д.В, Астрашабов И.О., Сидельников С.Б., Горохов Ю.В., 2016