

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

Возможности программы позволили также изучить течение металла и проследить заполнение штампа с привязкой к изменению усилия штамповки на разных этапах. В результате штамповки по новой технологии в производственных условиях за один переход были получены поковки, геометрия и свойства которых удовлетворяли требованиям нормативных документов при уменьшении себестоимости поковок не менее чем на 10%.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, горячая объемная штамповка, компьютерное моделирование, штампованная поковка.

Введение

На ряде предприятий до сих пор применяют технологии горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов, которые были разработаны несколько десятков лет назад и требуют модернизации. Использование таких технологий объясняется тем, что они оснащены штамповым инструментом, оборудованием, накоплен производственный опыт их реализации, а разработка новых технологий, их опробование и внедрение требуют значительных затрат, поэтому модернизация используемых технологий взамен разработки новых может быть экономически выгодной.

Эффективным инструментом для анализа процессов обработки металлов давлением служит компьютерное моделирование, а для моделирования горячей объемной штамповки часто используют программные комплексы QFORM (Россия) и DEFORM (США), основанные на методе конечных элементов (МКЭ). В ряде работ показано [1–10], что применение компьютерного моделирования позволяет виртуально проследить картину деформирования металла, найти границы изменения энергосиловых параметров процесса штамповки, проиллюстрировать распределение напряжений и деформаций по объему деформируемого металла, определить причины брака получаемой продукции и т.д. При этом адекватность результатов моделирования в основном зависит от правильности выбора, а также полноты и точности вводимых граничных условий. Поэтому моделирование при разработке технологических процессов горячей объемной штамповки актуально, т.к. способно снизить затраты на модернизацию технологий и подтвердить их экономическую целесообразность. При этом важным является соблюдение определенного порядка проведения работ по совершенствованию технологий, поэтому целью работы являлась разработка методологии модернизации технологических процессов горячей объемной штамповки поковок из алюминиевых сплавов для повышения их экономической эффективности на основе компьютерного моделирования.

Для достижения цели в работе решались следующие задачи:

– разработать порядок построения компьютерной модели типового технологического процесса горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов;

– в качестве примера построить компьютерную модель технологии горячей объемной штамповки одной из поковок, входящих в номенклатуру действующего предприятия;

– выполнить сравнительный анализ производственной и виртуальной технологий;

– разработать рекомендации по модернизации действующего производственного процесса;

– провести опытно-промышленное опробование технологии с учетом модернизации.

Моделирование технологии горячей объемной штамповки

Для достижения поставленной цели исследования проводили в последовательности, представленной на **рис. 1**.

Отправным моментом для компьютерного моделирования технологического процесса горячей объемной штамповки поковок из алюминиевых сплавов является подробное изучение и анализ используемой технологии (технология-аналог) одной из штампованных поковок, входящих в номенклатуру предприятия, включающее анализ исходных размеров и формы заготовки, изучение формоизменения заготовки по переходам штамповки, термомодеформационных параметров штамповки, условий трения, конструкции штампового инструмента и пр. Здесь же анализируются такие показатели, как производительность процесса, выход годного, коэффициент использования металла и др. Итогом проведенного анализа следует считать определение тех параметров процесса, управление которыми в данной технологии позволит повысить ее экономическую эффективность, например изменение формы и размеров заготовки, снижение количества переходов, выбор оптимальной температуры нагрева заготовки и штампа, подбор смазки, уточнение скоростных параметров штамповки и т.д. При этом следует обратить особое внимание на то, что такие граничные условия, как скорость деформирования, температуры нагрева заготовки и штампа и другие должны отражать возможности уже используемого деформирующего оборудования и соответствовать нормативным документам (отраслевым стандартам, требованиям заказчика и др.). На основе проведенного анализа разрабатывается структура компьютерной (виртуальной) модели технологического процесса, в которую входят такие компоненты технологии, как вид заготовки и температура ее нагрева, тип штампового инструмента и деформирующего оборудования, скоростные условия штамповки и т.д.

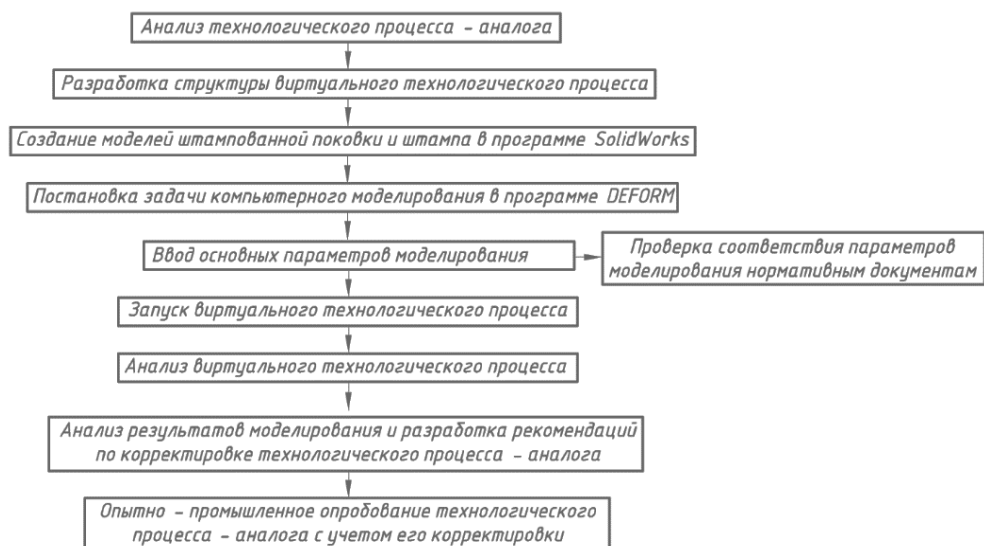


Рис. 1. Порядок моделирования горячей объемной штамповки поковок из алюминиевых сплавов

После этого в программе SolidWorks создается трехмерная модель заготовки и штампового инструмента, которая в виде файлов импортируется в программный комплекс, в данном случае использовался комплекс DEFORM-3D.

Следующим шагом является ввод в программу основных параметров моделирования (граничных условий) в соответствии с ограничениями, накладываемыми нормативными документами: температуры нагрева заготовки и штампа, скорости деформирования, показателя трения, реологических свойств материала и т.д. После этого включается расчет виртуального технологического процесса. В процессе расчета анализируется процесс штамповки, а именно характер формоизменения заготовки, например с учетом эффективности заполнения сложных элементов поковки (ребер, углов, бобышек и т.д.), распределение температуры, напряжений и деформаций по объему заготовки и т.д.

В процессе эксперимента некоторые параметры могут выходить за допустимые пределы. Например, в отдельных объемах заготовки температура может выйти за пределы допустимого интервала, что связано с деформационным разогревом, действием трения и т.д., и это способно вызвать перегрев или пережог. Отклонение по уровню допустимых напряжений опасно с точки зрения появления дефектов в микрообъемах заготовки и т.д. При резком росте усилия деформирования, например на стадии доштамповки или при заполнении сложных элементов формы поковки, растет вероятность разрушения штампа или выхода из строя оборудования. При возникновении описанных или других подобных случаев расчет останавливают, граничные условия подвергают корректировке и процесс запускают вновь. Виртуальный эксперимент считают законченным, если достигнуто полное оформление поковки, а в про-

цессе штамповки температура и напряжение не выходили за пределы допустимых интервалов.

По завершении виртуального эксперимента проводят сравнительный анализ двух технологий, выявляют экономические преимущества виртуальной технологии и разрабатывают рекомендации по корректировке действующей технологии. При этом параметры деформирования допускается изменять только в интервалах, регламентированных нормативными документами, например, понизить температуру нагрева заготовки, повысить скорость деформирования (если это технически осуществимо на используемом оборудовании). Можно использовать другие виды смазки и тем самым варьировать величиной показателя трения на разных участках поверхности заготовки. В отдельных случаях, по согласованию с заказчиком, можно изменить радиусы закруглений в местах гравюры штампа, обеспечивающих оформление сложных элементов формы поковки. Заключительным этапом процедуры модернизации является опытно-промышленное опробование технологии-аналога с учетом его корректировки и оценка экономической эффективности модернизации.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе в качестве технологического процесса-аналога была выбрана технология штамповки поковки «Диск» из алюминиевого сплава АВ (рис. 2). При этом должно было выполняться условие, что модернизация данной технологии должна обеспечить повышение экономичности технологического процесса и не сопровождаться заменой используемого деформирующего оборудования, существенной переделкой применяемого прессового инструмента, а также изменением формы и размеров штампованной поковки.



Рис. 2. Штампованная поковка «Диск» из сплава АВ

Технология-аналог заключается в следующем. Исходным материалом для штамповки служит горячепрессованная заготовка круглого сечения. Для штамповки применяют вертикальный гидравлический пресс усилием 100 МН и разъемный штамп. Несмотря на использование одного штампа, штамповку осуществляют фактически в три, по сути, предварительную штамповку и, наконец, за третий рабочий ход выполняют окончательную штамповку (доштамповку).

Анализ описанной технологии, проведенный с учетом перечисленных выше ограничений, касающихся сохранения оборудования и инструмента, позволил сформулировать задачу по изысканию возможности сокращения количества переходов при штамповке. В связи с тем, что штамповку проводят в одном штампе, было предположено, что сокращения количества переходов можно достичь за счет определения оптимальных условий трения при штамповке и корректировки скорости штамповки.

Последовательность моделирования технологического процесса заключалась в следующем. После анализа действующей технологии по чертежам с помощью программы SolidWorks

создавали трехмерные модели штампованной поковки «Диск» и штампа (рис. 3), которые затем загружали в препроцессор компьютерной вычислительной системы 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 для перечисленных значений брались из [11]. На выходе получали базу данных процесса штамповки.

С учетом накладываемых ограничений, не позволяющих менять штамповую оснастку и температурно-скоростные параметры деформирования, были проведены исследования по влиянию показателя трения по Зибелю на эффективность заполнения штампа при штамповке. В производстве (технология-аналог) для нижней торцевой поверхности используют смазку, представляющую порошок графита с небольшим содержанием масла «Вапор-Т», которая обеспечивает показатель трения около 0,7. Эту величину показателя трения для нижней торцевой поверхности применяли и при моделировании. Поставив задачу добиться оформления поковки за один переход, проводились эксперименты при различных показателях трения по боковой и верхней торцевой поверхностям, варьируя их в интервале от 0,2 до 0,5. При этом скорость рабочего хода пресса изменяли от 3 до 5 мм/с. 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.

Возможности программы позволили также изучить течение материала и проследить заполнение штампа металлом с привязкой к изменению усилия штамповки на разных этапах (рис. 4).

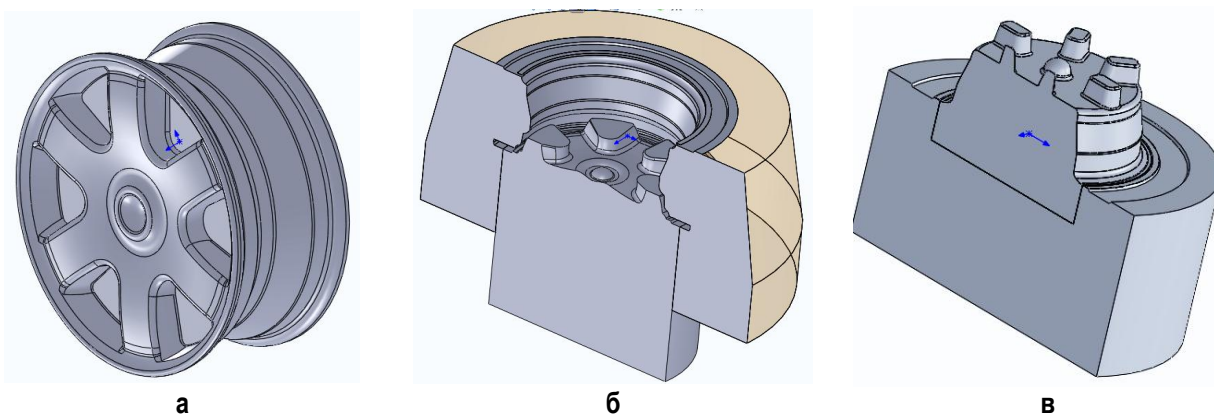


Рис. 3. Трехмерные модели поковки «Диск» (а) и деталей штампа (б, в)

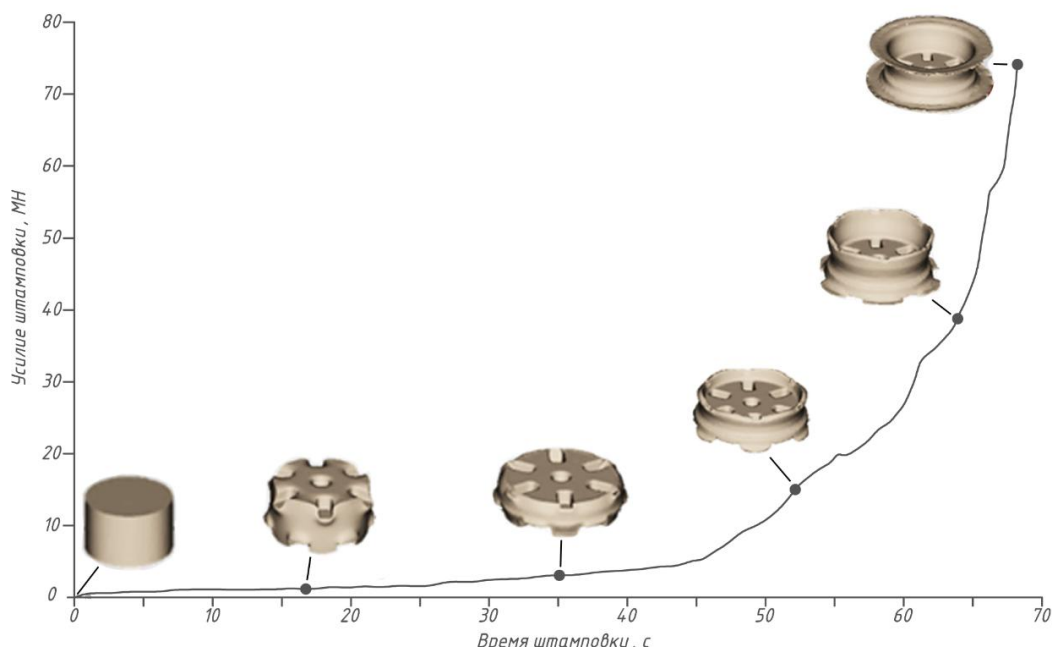


Рис. 4. Изменение усилия штамповки и формы заготовки при виртуальном эксперименте

Таким образом, компьютерное моделирование позволило обосновать изменения в технологическом процессе-аналоге. В результате штамповки по новой технологии в производственных условиях за один переход были получены поковки, геометрия и свойства которых удовлетворяли требованиям нормативных документов при уменьшении себестоимости поковок не менее чем на 10%.

Заключение

По результатам исследований была разработана методология модернизации технологических процессов горячей объемной штамповки поковок из алюминиевых сплавов для повышения их экономической эффективности на основе компьютерного моделирования с использованием программного комплекса DEFORM-3D. Опробование методологии на примере действующей технологии получения штампованной поковки «Диск» из алюминиевого сплава АВ показало, что корректировка технологического процесса штамповки может быть произведена без изменения используемого оборудования и применяемой штамповой оснастки в данном случае за счет регламентации условий трения и скорости штамповки. В результате модернизации повышается экономическая эффективность процесса.

Список литературы

1. Элингхаузен Т., Стебунов С.А. QForm 7 – новое слово в моделировании процессов обработки металлов давлением // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2014. №2. С. 31–34.

2. Лисуец Н.Л., Соломонов К.Н., Цепин М.А. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. М.: Машиностроение, 2009. 171 с.
3. Кононов В.В., Егорова Л.И. Новые возможности в области моделирования процессов штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. 2000. № 7. С. 35–38.
4. Оптимизация процесса горячей объемной штамповки путем моделирования в программном комплексе QFORM / Шмаков А.К., Колесников А.В. Максименко Н.В., Станиславчик А.С. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2013. №4. С. 28–31.
5. Вакалов А. А. Применение компьютерного моделирования при разработке процессов горячей штамповки поковки лопаток // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2012. № 1. С. 36–41.
6. Константинов И.Л., Губанов И.Ю., Горохов Ю.В. Компьютерное моделирование технологического процесса изотермической штамповки сложнопрофильных панелей из алюминиевых сплавов // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2013. №2. С. 46–50.
7. Моделирование процесса горячей объемной штамповки поковки из алюминиевого сплава АК6 / Константинов И.Л., Губанов И.Ю., Астрабабов И.О., Сидельников С.Б., Белан Н.А. // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2015. № 1. С. 45–48.
8. Константинов Д.В., Корчунов А.Г. Мультимасштабное компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 1. С. 36–43.
9. Кинзин Д.И., Рачков С.С. Использование программного комплекса DEFORM-3D при моделировании процессов сортовой прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №2. С. 45–49.
10. Реологические модели как основной элемент моделирования процессов обработки металлов давлением / Смирнов О.М., Тулупов С.А., Цепин М.А., Лисуец Н.Л., Бегнарский В.В., Нгуен Чьонг Ан // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №3. С. 45–52.
11. Микляев П.Г., Дуденков В.М. Сопротивление деформации и пластичность алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1973, 183 с.

Материал поступил в редакцию 22.10.15.

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

COMPUTER-SIMULATED UPGRADING PROCEDURES OF THE HOT ALUMINUM-ALLOY FORGING PROCESS TECHNOLOGY

Konstantinov Igor Lazarevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: ilcon@mail.ru.

Gubanov Ivan Yurievich – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: vakal_@mail.ru.

Klemenkova Diana Vladimirovna – Graduate Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: dianaklemenkova@gmail.com.

Astrashabov Igor Olegovich – Postgraduate Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: iastrashabov@mail.ru.

Sidelnikov Sergey Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Gorokhov Yuriy Vasilievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: 160949@list.ru.

Abstract. On the basis of computer simulation, upgrading procedures of hot aluminum-alloy forging process technology have been developed to improve the cost effectiveness of forged parts. This article outlines the following patterns of upgrading: the analysis of a parallel process, development of the virtual process structure, SolidWorks-based design of forging and die models, computer simulation formulation, simulation parameter setting, start-up and analysis of the process computational model, analysis of the virtual process technology, and formulation of recommendations on upgrading of the existing process followed by pilot testing of the process technology. The process technology of forming “Disc” forgings from AB aluminum alloy exemplifies the parallel process. It was specified that upgrading should improve the process cost effectiveness and skip replacement of the deforming equipment in the use and extensive modification of pressing tools as well as changes in forging shape and sizes. The analysis of the parallel process technology has made it possible to formulate a problem of finding a possibility to reduce the number of transitions during forming by improving forming friction conditions and forming velocity conditions. After the analysis, 3D models of forgings and dies were designed according to the drawings with the aid of the SolidWorks software. The models were file-uploaded into the DEFORM-3D preprocessor program. From here on, according to the factory process specifications, the temperature, speed and power conditions of deformation were set as follows: die heating temperature 360–450°C, billet heating temperature 400–470°C, forming speed 2–10 mm/s. The strain resistance value, however, was borrowed from the literature. A forming process database was obtained in the output. As a result, we found out that a uniform die cavity fill for one transition can be achieved at upper-end and lateral friction coefficients of 0.3–0.4, with the press stroke speed no more than 5 mm/s. The software features also enabled the study of the metal flow and to follow the die fill with reference to the change in the forming force at different stages. Using new process technologies, one transition of on-plant forming resulted in forgings with the shape and properties complying with the regulatory requirements with reduction on the cost of forgings of no less than 10%.

Keywords: Aluminum alloys, hot forging, computer simulation, forgings.

References

1. Erlinghausen T., Stepanov S.A. QForm 7 - A new dawn of metal forming simulation. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and stamping production. Metal forming]. 2014, no. 2, pp. 31–34.
2. Lisunets N.L., Solomonov K.N., Tsepin M.A. *Ob'emnaya shtampovka alyuminievyykh zagotovok* [Forging of aluminum billets]. Moscow: Mashinostroenie, 2009, 171 p.
3. Kononov V.V., Egorova L.I. New features in stamping modeling. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo* [Forging and stamping production]. 2000, no. 7, pp. 35–38.
4. Shmakov A.K., Kolesnikov A.V., Maksimenko N.V., Stanislavchik A.S. Optimization of hot forging with the aid of the QFORM simulation. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and stamping production. Metals forming]. 2013, no. 4, pp. 28–31.
5. Vakalov A.A. Computer simulation to design hot forging of blade forgings. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and stamping production. Metals forming]. 2012, no. 1, pp. 36–41.
6. Konstantinov I.L., Gubanov I.Yu., Gorokhov Yu.V. Computer modeling of isothermal forging of aluminum- alloy geometrically-complex panels. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya]. 2013, no. 2, pp. 46–50.
7. Konstantinov I.L., Gubanov I.Yu., Astrashabov I.O., Sidelnikov S.B., Belan N.A. Modeling of hot forging of AK6 aluminum alloy forgings. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya]. 2015, no. 1, pp. 45–48.
8. Konstantinov D.V., Korchunov A.G. Multiscale computer simulation of metal forming processes. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 1, pp. 36–43.
9. Kinzin D.I., Rachkov S.S. DEFORM-3D software package to simulate shape rolling. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 2, pp. 45–49.

10. Smirnov O.M., Tulupov S.A., Tsepin M.A., Lisunets N.L., Begnarsky V.V., Nguyen Truong An. Rheologic models as a core element of metal forming simulation. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2008, no. 3, pp. 45–52.
11. Miklyaev P.G., Dudenkov V.M. *Soprotivlenie deformatsii i plastichnost' alyuminiyevykh splavov* [Deformation resistance and formability of aluminum alloys]. Moscow: Metallurgiya, 1973, 183 p.

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. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2016. Т. 14. №1. С. 46–52. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-46-52

Konstantinov I.L., Gubanov I.Yu., Klemenkova D.V., Astrashabov I.O., Sidelnikov S.B., Gorokhov Yu.V. Computer-simulated upgrading procedures of the hot aluminum-alloy forging process technology. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 1, pp. 46–52. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-46-52

УДК 621.771

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-52-59

РАЗРАБОТКА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЮБЕЛЬ-ГВОЗДЕЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*

Бирюков М.А.¹, Песин А.М.², Чукин М.В.², Картунов А.Д.³, Бакшинов В.А.³, Бирюков А.В.³

¹ ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия

² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

³ ОАО «ММК-Метиз», Магнитогорск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы совершенствования технологии получения баллистического острия дюбель-гвоздей на основе математического моделирования и разработки новых конструкций инструмента и изделий новой формы. Найдены рациональные параметры инструмента для производства дюбелей с рифленой поверхностью стержня. Представлены распределения интенсивностей скоростей деформации, а также нормальные напряжения в поперечных сечениях острия накатываемого дюбеля по длине очага деформации для незавершенного процесса прокатки. Получено изменение усилий инструмента при накатке дюбеля в направлении вертикальной оси по длине деформирующей зоны. Характер изменения усилий от времени на обеих плашках говорит о равномерности процесса острения заготовки. Проведены опытно-промышленные эксперименты по производству дюбелей с гладкой поверхностью стержня, выведены рациональные параметры инструмента для поперечно-клиновой прокатки. Показана возможность импортозамещения строительных распорных дюбелей (анкеров), конструкции которых основаны на фиксации изделия в заранее просверленном отверстии в бетонной конструкции. Рассмотрена схема и предложена новая конструкция инструмента ролик – сегмент. Инструмент предназначен для одновременного накатывания резьбы и профилирования поверхности. Конструкция состоит из ролика и сегмента, каждый из которых выполнен в виде резьбовой и профилирующей поверхности. Новизна конструкции заключается в том, что профилирующая поверхность ролика выполнена с несколькими, а профилирующая поверхность сегмента с одной рабочими частями, включающими изготовленные эксцентрично оси инструмента заборную и деформирующую зоны, а также изготовленную соосно оси инструмента калибрующую зону, с профилем, повторяющим контур готового изделия. Применение инструмента ролик-сегмент также позволяет повысить производительность процесса острения дюбель-гвоздей в сравнении с накаткой плоскими плитами. Поданы 4 заявки на полезные модели.

Ключевые слова: импортозамещение, дюбель, моделирование, программный комплекс «DEFORM 3D», поперечно-клиновая прокатка, монтажные пистолеты.

Введение

Адаптация предприятия к условиям современного рынка определяет его конкурентоспособность. Используемое оборудование и применяемый технологический процесс унифицированы и защищены авторскими свидетельствами.

* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 15-38-10185). © Бирюков М.А., Песин А.М., Чукин М.В., Картунов А.Д., Бакшинов В.А., Бирюков А.В., 2016

ствами. Сегодня, в частности, на рынке метизной продукции имеются тысячи различных видов изделий, в том числе поставляемые из-за рубежа, не имеющие аналогов российского производства. Очевидно, что на стоимость продукции иностранных фирм оказывают влияние транспортные операции, изменения курсов валют, что должно положительно сказываться на реализации продукции российского производства на внутреннем рынке. Таким образом, на сегодняшний день у российских производителей появилась возможность импортозамещения отдельных видов крепежа, в част-