

ПРЕССОВАНИЕ СЛИТКОВ ИЗ СПЛАВА 01417, ПОЛУЧЕННЫХ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ, НА УСТАНОВКЕ CONFORM

© 2018 г. Ю.В. Горохов, В.Н. Тимофеев, С.В. Беляев, И.В. Усков, И.Ю. Губанов, И.С. Гудков

Сибирский федеральный университет (СФУ), г. Красноярск

ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики, г. Красноярск

Статья поступила в редакцию 12.10.17 г., доработана 18.12.17 г., подписана в печать 28.12.17 г.

Известно, что литьем длинномерных слитков малого сечения ($\varnothing 8\text{--}12$ мм) из сплава 01417 в электромагнитный кристаллизатор достигается получение дисперсной структуры с незначительной внутридендритной ликвацией. В результате гомогенизационного отжига слитков ($t = 550$ °С, время выдержки 4–5 ч) устраняется внутрикристаллитная ликвация и понижается уровень внутренних напряжений в металле, что обеспечивает условия для последующего волочения проволоки. В работе показано, что способом, позволяющим реализовать большие пластические деформации слитков без применения гомогенизационного отжига, может быть непрерывное прессование Conform, которое обеспечивает высокое качество и точность геометрических размеров изделий. На основании анализа разновидностей конструкции установок Conform выявлен их характерный недостаток – отсутствие связи между системой крепления неподвижной части разъемного контейнера (башмака) с валом приводного колеса, что приводит к повышенной на него нагрузке в рабочем режиме. Цель работы состояла в модернизации установки Conform путем создания связи между башмаком и валом рабочего колеса и получении качественной заготовки для последующего волочения проволоки из слитка $\varnothing 12$ мм, отлитого в электромагнитный кристаллизатор. Установлена оптимальная температура экструдирования слитка (300 °С), исключающая интенсивное налипание деформируемого металла на поверхность инструмента. Опытный пруток $\varnothing 5$ мм из сплава 01417, полученный на установке Conform из слитка $\varnothing 12$ мм, отлитого в электромагнитный кристаллизатор, обладает высокой технологической пластичностью. Об этом свидетельствует повышение его предела текучести и относительного удлинения. Металлографические исследования показали, что в отпрессованном прутке достигнута мелкозернистая структура, обеспечивающая условия для последующего волочения проволоки без отжигов. Результаты работы дают основание для отработки технологических режимов получения на установке Conform калиброванной заготовки с последующим волочением проволоки с требуемыми свойствами.

Ключевые слова: электромагнитный кристаллизатор, установка Conform, непрерывная экструзия металлов, сплав 01417, разъемный контейнер.

Горохов Ю.В. – докт. техн. наук, профессор кафедры «Обработка металлов давлением» СФУ (660025, г. Красноярск, пр-т Красноярский рабочий, 95). E-mail: 160949@list.ru.

Тимофеев В.Н. – докт. техн. наук, зав. кафедрой «Электротехнологии и электротехника» СФУ. E-mail: Viktortim0807@mail.ru.

Беляев С.В. – докт. техн. наук, зав. кафедрой «Литейное производство» СФУ. E-mail: 244812@mail.ru.

Усков И.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Литейное производство» СФУ. E-mail: uskov59@mail.ru.

Губанов И.Ю. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Литейное производство» СФУ. E-mail: igubanov@sfu-kras.ru.

Гудков И.С. – вед. специалист отдела технологий токов высокой частоты СФУ, ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики». E-mail: rdohead@mail.ru.

Для цитирования: Горохов Ю.В., Тимофеев В.Н., Беляев С.В., Усков И.В., Губанов И.Ю., Гудков И.С. Прессование слитков из сплава 01417, полученных в электромагнитном кристаллизаторе, на установке Conform // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2018. No. 4. С. 53–59. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2018-4-53-59.

Gorokhov Yu.V., Timofeev V.N., Belyaev S.V., Uskov I.V., Gubanov I.Yu., Gudkov I.S.

Extrusion of 01417 alloy ingots obtained in the electromagnetic crystallizer at the Conform unit

It is known that casting long ingots of small sections ($\varnothing 8\text{--}12$ mm) of 01417 alloy into an electromagnetic crystallizer makes it possible to obtain a dispersed structure with insignificant intradendritic segregation. Diffusion annealing of ingots (550 °С, 4–5 h holding time) eliminates intracrystalline segregation and reduces the level of internal stresses in metal thus providing the conditions for subsequent wire drawing. The paper demonstrates that high plastic deformation of ingots without diffusion annealing can be achieved by Conform

continuous extrusion, which ensures high quality and geometrical accuracy of products. The analysis of various Conform units revealed an inherent weakness – the absence of connection between the system securing the fixed part of the detachable container (shoe) and the drive wheel shaft, which leads to an increased load in the operating mode. The purpose of the work was to upgrade the Conform unit by creating a connection between the shoe and the impeller shaft to obtain a high-quality billet for subsequent wire drawing of the $\varnothing 12$ mm ingot cast into the electromagnetic crystallizer. An optimal temperature of ingot extrusion ($300\text{ }^{\circ}\text{C}$) was found to eliminate the intense adhesion of wrought metal on the tool surface. The experimental $\varnothing 5$ mm rod made of 01417 alloy obtained from the $\varnothing 12$ mm ingot at the Conform unit features high processing ductility. This is indicated by an increase in its yield point and relative elongation. Metallographic studies demonstrated a fine-grained structure achieved in the extruded rod, which provides the conditions for subsequent wire drawing without annealing. The results of the study provide a basis for refining the process conditions of calibrated billet production on the Conform unit followed by wire drawing with required properties.

Keywords: electromagnetic crystallizer, Conform unit, continuous extrusion of metals, 01417 alloy, detachable container.

Gorokhov Yu.V. – Dr. Sci (Tech.), Prof., Department «Metal forming», Siberian Federal University (SibFU) (660025, Russia, Krasnoyarsk, Krasnoyarskiy rabochiy av., 95). E-mail: 160949@list.ru.

Timofeev V.N. – Dr. Sci (Tech.), Prof., Department «Foundry production», SibFU. E-mail: Viktortim0807@mail.ru.

Belyaev S.V. – Dr. Sci (Tech.), Prof., Department «Foundry production», SibFU. E-mail: 244812@mail.ru.

Uskov I.V. – Cand. Sci. (Tech.), Associate prof., Department «Foundry production», SibFU. E-mail: uskov59@mail.ru.

Gubanov I.Yu. – Cand. Sci. (Tech.), Associate prof., Department «Foundry production», SibFU. E-mail: igubanov@sfu-kras.ru.

Gudkov I.S. – Leading specialist, High-frequency current technology department, SibFU, NPC «Magnetic Hydrodynamics». E-mail: rdohead@mail.ru.

Citation: Gorokhov Yu.V., Timofeev V.N., Belyaev S.V., Uskov I.V., Gubanov I.Yu., Gudkov I.S. Pressovanie slitkov iz splava 01417, poluchennykh v elektromagnitnom kristallizatore, na ustanovke Conform. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2018. No. 4. P. 53–59. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2018-4-53-59.

Введение

Результаты работ [1–3] показывают, что путем отливки длинномерных слитков малого сечения ($\varnothing 8$ – 12 мм) из сплава 01417 на основе алюминия с добавкой 6–8 % редкоземельных металлов (РЗМ) в электромагнитный кристаллизатор достигается получение дисперсной структуры с незначительной внутридендритной ликвацией, гарантирующей высокий уровень механических свойств. При попытках получения из них проволоки на предприятиях ООО «Авиаль», АО «Электрокабель» Кольчугинский завод и ООО «Альянс 2008» было установлено, что без предварительного гомогенизирующего отжига волочение слитков сплава 01417 даже с небольшой степенью дендритной ликвации затруднено. В лабораторных условиях был подобран режим гомогенизационного отжига слитков ($t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$, время выдержки $\tau = 4\div 5$ ч), после которого на месте бывших эвтектических колоний в результате вырождения эвтектики образовались скопления дисперсных алюминидов РЗМ. В результате была устранена внутрикристаллитная ликвация и понижен уровень внутренних напряжений в металле, что обеспечило условия для последующего получения проволоки диаметром 0,5 и 0,1 мм волочением.

Необходимо отметить, что другим способом, позволяющим реализовать большие пластические

деформации непрерывно-литых заготовок $\varnothing 12$ мм сплава 01417, может быть непрерывное их прессование на установке Conform, которое, как известно [4, 5], обеспечивает высокое качество и точность геометрических размеров изделий. Наибольшее применение этот метод получил при изготовлении алюминиевых пресс-изделий, но возможности освоения новых технологий на установках Conform в цветной металлургии далеко не исчерпаны [6].

Способ Conform предложен Д. Грином [7] и запатентован «United Kingdom Atomic Energy Authority» (UKAEA) в 1971 г. (патент № 1370894, GB). Его применение значительно сокращает технологический цикл изготовления проволоки из литой прутковой заготовки. В нашей стране и за рубежом проведен определенный объем исследований теоретического и экспериментального характера с целью разработки рациональных технологических режимов и конструкции оборудования для получения пресс-изделий по этой технологии. Существует несложная и достоверная математическая модель, описывающая функциональную зависимость между основными технологическими параметрами процесса, которая позволяет разработать режимы непрерывного прессования проволоки в производственных условиях [8].

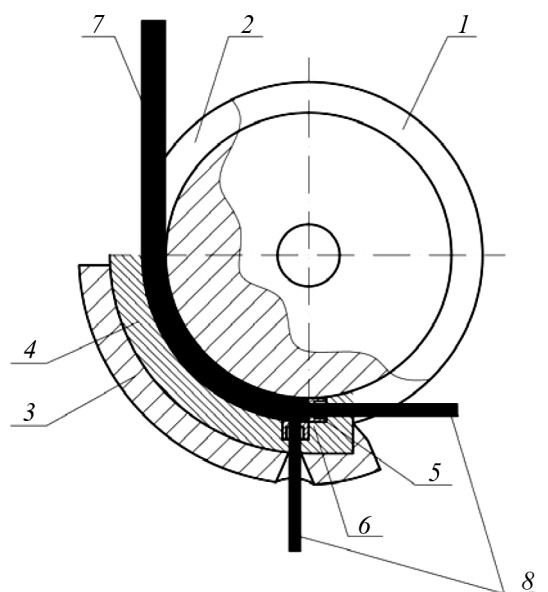


Рис. 1. Схема непрерывного прессования способом Conform

1 — рабочее колесо, 2 — кольцевая канавка, 3 — башмак, 4 — кольцевая вставка, 5 и 6 — матрицы, 7 — прутковая заготовка, 8 — пресс-изделие

Способ Conform основан на применении разъемного контейнера, неподвижная часть которого (рис. 1), называемая «башмаком», сопрягается с канавкой (ручьем) по периферии приводного колеса, причем в башмаке установлены матрица и кольцевая вставка с упором, перекрывающим поперечное сечение ручья колеса. Давление экструдирования достигается за счет напряжения контактного трения между поверхностью ручья и подаваемой в него заготовкой. Поэтому величина контактной площади заготовки с подвижной частью контейнера определяет давление прессования, крутящий момент на валу колеса и мощность привода установки, т. е. энергосиловые параметры процесса непрерывного прессования.

В ходе промышленной эксплуатации установок Conform были выявлены некоторые недостатки [9–12], связанные с фиксированием башмака в радиальном относительно колеса направлении путем его крепления к элементам стоек станины. При этом отсутствие связи между системами крепления башмака и вала рабочего колеса снижает жесткость конструкции и приводит к повышенным радиальным нагрузкам на подшипники вала колеса в стойках станины. Кроме этого, в процессе работы прессового узла сложно надежно контролировать величину зазора между кольцевой вставкой башмака и дном ручья колеса, что,

в свою очередь, нарушает стабильность подачи прутковой заготовки к матрице и равномерность скорости истечения металла в отверстие матрицы.

Цель данной работы — получение качественной заготовки для последующего волочения проволоки на модернизированной конструкции установки Conform из прутка $\varnothing 12$ мм, отлитого в электромагнитный кристаллизатор.

Разработка конструктивных элементов установки Conform, обеспечивающих устойчивость процесса непрерывного прессования металлов

Для модернизации установки спроектирована конструкция прессового узла, основные элементы которого представлены на рис. 2 и 3. При проектировании элементов крепления рабочих частей

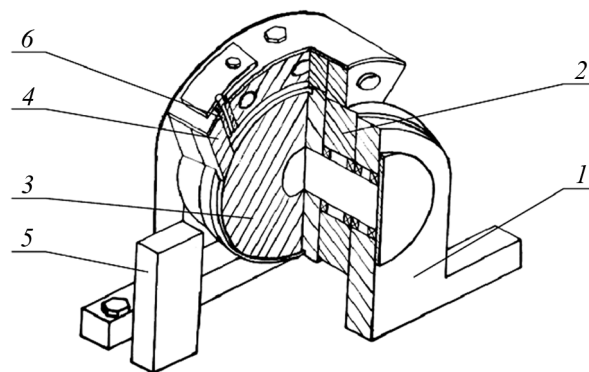


Рис. 2. Возможная схема крепления башмака

1 — стойка, 2 — втулка, 3 — колесо, 4 — башмак, 5 — упор, 6 — матрица

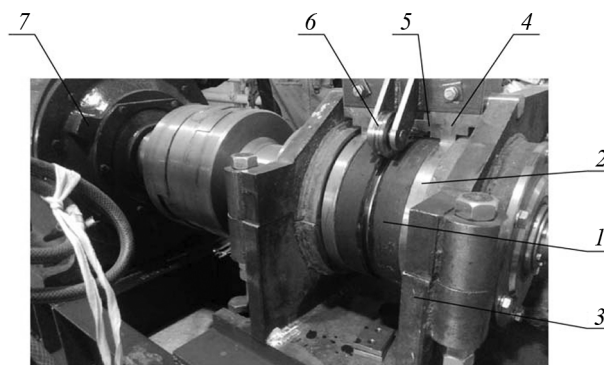


Рис. 3. Прессовый узел установки Conform с новой системой крепления башмака

1 — колесо, 2 — втулка, 3 — стойка, 4 — башмак, 5 — кольцевая вставка, 6 — прижимной ролик, 7 — редуктор

установки проводились расчеты энергосиловых параметров экструдирования алюминиевых сплавов методом Conform и использовались сведения, содержащиеся в работах [13, 14].

На рис. 3 видно, что система крепления башмака выполнена с учетом кинематических особенностей процесса прессования Conform. Для этого предусмотрены:

- фиксация башмака 4 в рабочем положении (без влияния радиального биения вала) на высоту сечения камеры прессования;
- возможность регулирования положения кольцевой вставки 5 и матрицы в ручье колеса 1;
- удобство при замене рабочего инструмента;
- регистрация энергосиловых и температурных параметров процесса экструдирования металла.

Башмак имеет форму кольцевого сегмента, внутренний диаметр которого равен диаметру втулок 2, посаженных на подшипники качения, надетых на вал по обе стороны бандажа колеса. Башмак внутренней поверхностью прилегает к втулкам подшипников и крепится к ним болтами, причем между поверхностями бандажа колеса и башмака сохраняется зазор определенной величины. Таким образом, башмак, связанный с валом, поворачивается вокруг его оси независимо от вращения рабочего колеса. При этом радиальная сила, действующая на башмак, передается на вал во встречном относительно приложения силы на подшипники крепления вала в стойках станины направлении, тем самым значительно уменьшая ее величину.

Фиксирование башмака относительно канавки в тангенциальном относительно вращения колеса направлении достигается с помощью неподвижного упора 5 (см. рис. 2), закрепленного в основании станины и обеспечивающего стабильное протекание процесса прессования.

Башмак с установленными в нем матрицей и вставкой крепится к втулкам подшипников болтами. Колесо приводится во вращение запуском электродвигателя. Заготовка определенного профиля подается в калибр, захватывается им и поступает в камеру прессования. Передний конец заготовки достигает матрицы, после чего распрессовывается по поперечному сечению камеры, увеличивая при этом силу контактного трения между стенками ручья колеса и заготовкой до усилия, необходимого для выдавливания изделия в канал матрицы. Процесс подачи заготовки в камеру, ее

распрессовка и выдавливание происходят непрерывно по мере вращения колеса.

Результаты последних исследований процесса Conform при прессовании алюминиевых и медных сплавов приведены в работах [15–18]. Следует отметить, что все большее внимание уделяется компьютерному моделированию деформирования цветных металлов этим перспективным способом [19–22].

Методика проведения исследований

На установке Conform в ООО «НПЦ МГД» (г. Красноярск) из отлитого в электромагнитный кристаллизатор слитка $\varnothing 12$ мм из сплава 01417 отпрессован при температуре 300 °С прутки $\varnothing 5$ мм, внешний вид которого приведен на рис. 4. От опытной партии прутка отобраны образцы для металлографических и реологических исследований. Прессование проводилось при скорости вращения колеса 5 м/мин, принудительное охлаждение инструмента проточной водой обеспечивало температуру металла в деформационной зоне 300–310 °С.

Суммарное содержание РЗМ (La, Ce, Pr, Nd) определялось методом классического химического анализа по ГОСТ 11739.22-90. Микроструктура прутка исследовалась с помощью оптического микроскопа Olympus GX51 при увеличении 1000 $\times$. Содержание РЗМ в исследуемом прутке $\varnothing 5$ мм было в пределах 6,85–7,77 %.

Испытания на растяжение образцов с определением временного сопротивления разрыву, предела текучести и относительного удлинения проведены на универсальной испытательной машине WDW-20 с усилием 20 кН. Истинные данные, полученные в ходе экспериментов, оценивались с надежностью $P = 0,95$. Статистическая обработка результатов проводилась в пакете Statistica.

Для сравнения результатов механических испытаний было проведено волочение отожденного литого прутка $\varnothing 12$ мм на $\varnothing 5$ мм.

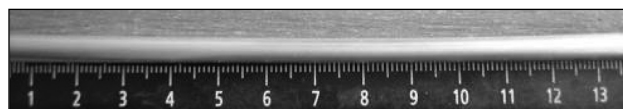


Рис. 4. Внешний вид прутка $\varnothing 5$ мм, полученного на установке Conform из слитка $\varnothing 12$ мм, отлитого в электромагнитный кристаллизатор

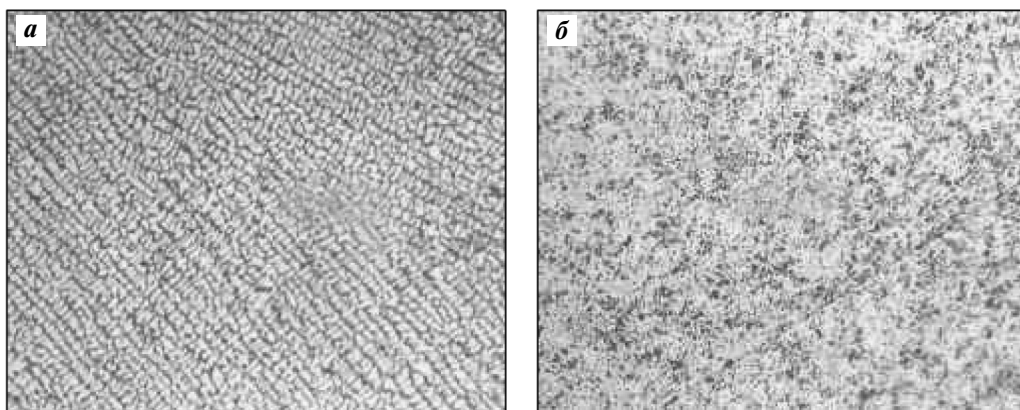


Рис. 5. Микроструктура прутка в поперечном направлении ($\times 1000$)

a — исходный слиток, *б* — после деформации

Механические свойства исходного слитка $\varnothing 12$ мм и прутка $\varnothing 5$ мм, полученного волочением и непрерывным прессованием

Образцы для испытаний	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
Слиток $\varnothing 12$ мм после отжига (550°C , 5 ч)	127	69	28,6
Пруток $\varnothing 5$ мм, полученный волочением	195	187	5,2
Исходный слиток $\varnothing 12$ мм (без отжига) перед прессованием	182	102	11,8
Отпрессованный пруток $\varnothing 5$ мм	218	202	31,1

Результаты исследований и их обсуждение

По внешнему виду прутки $\varnothing 5$ мм, полученный на установке Conform из слитка $\varnothing 12$ мм, отлитого в электромагнитный кристаллизатор, — в основном ровный и гладкий по длине (см. рис. 4).

Результаты исследования микроструктуры прутка в поперечном направлении показали, что в исходном слитке была ярко выраженная дендритная структура (рис. 5, *a*), а в процессе его прессования на установке Conform произошло измельчение столбчатых дендритов с образованием мелкозернистой структуры. Вместо дендритных ячеек наблюдается равномерное и дисперсное распределение алюминидов РЗМ по сечению прутка (рис. 5, *б*).

Анализ механических свойств прутков $\varnothing 5$ мм, приведенных в таблице, показал, что непрерывное прессование слитка $\varnothing 12$ мм при температуре 300°C на установке Conform приводит к значительному повышению механических свойств по сравнению с образцом, полученным волочением из отожжен-

ного литого прутка. При этом временное сопротивление разрыву повысилось на 23 МПа, предел текучести — на 15 МПа и относительное удлинение — на 25,9 %, что свидетельствует о приобретении сплавом 01417 после непрерывного прессования высокой технологической пластичности.

Показатель относительного удлинения, равный 31,1 %, дает возможность проводить волочение прутка $\varnothing 5$ мм со значительной суммарной степенью деформации без промежуточных отжигов.

Выбор температуры экструдирования слитка 300°C обусловлен тем, что при ее повышении деформируемый металл интенсивно налипает на контактную поверхность неподвижного инструмента.

Выводы

1. На модернизированной установке Conform из отлитого в электромагнитный кристаллизатор слитка $\varnothing 12$ мм алюминиевого сплава 01417 отпрессован при температуре 300°C прутки $\varnothing 5$ мм с ровной, блестящей поверхностью.

2. Как показали микроструктурные исследования, в процессе прессования слитка на установке Conform произошло измельчение столбчатых дендритов с образованием мелкозернистой структуры.

3. Установлено, что сформированная мелкозернистая структура в отпрессованном прутке приводит к значительному повышению механических свойств по сравнению с прутком, полученным волочением из отожженного слитка. Так, повышение относительного удлинения с 5,2 до 31,1 % дает возможность проводить волочение прутка со значительной суммарной степенью деформации без промежуточных отжигов.

4. Результаты работы указывают на целесообразность отработки технологических режимов получения на установке Conform калиброванной заготовки с последующим волочением проволоки для достижения требуемых свойств.

Литература

1. Evans J. The use of electromagnetic casting for Al alloys and other metals // JOM. 1995. Vol. 47 (5). P. 38—41.
2. Yu-bo Z., Jian-Zhong Cui, Dan Mou, Qing-feng Zhu, Xiang-jie Wang, Lei Li. Effect of electromagnetic field on microstructure and macrosegregation of flat ingot of 2524 aluminium alloy // Trans. Nonferr. Met. Soc. China. 2014. Vol. 2. P. 132—134.
3. Стеценко В.Ю. Механизмы процесса кристаллизации металлов и сплавов // Литье и металлургия. 2013. No. 1. С. 48—54.
4. Сидельников С.Б., Горохов Ю.В., Беляев С.В. Инновационные совмещенные технологии при обработке металлов // Журн. СФУ. Сер. Техника и технологии. 2015. Т. 8. No. 2. С. 185—191.
5. Морозов А.А. Непрерывное прессование способом «Конформ» // Инновационная наука. 2015. No. 12-2. С. 104—105.
6. Баузер М., Зауер Г., Зигерт К. Прессование: Справ. рук-во / Пер. с нем. под ред. В.Л. Бережного. М.: АЛЮМСИЛ МВнТ, 2009.
7. Goodes I.M. Continuous extrusion by the Conform process // Wire Ind. 1975. Vol. 501. P. 677—678.
8. Шеркунов В.Г., Горохов Ю.В., Константинов И.Л., Катрюк В.П., Иванов Е.В. Использование способа Конформ для переработки стружки из алюминиевых сплавов // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2015. No. 3. С. 60—63.
9. Yun X.-B., Yao M.-L., Wu Y., Song B.-Y. Numerical simulation of continuous extrusion extending forming under the large expansion ratio for copper strip // Appl. Mechan. Mater. 2011. Vol. 80-81. P. 91—95.
10. Raab G.I., Raab A.G., Shibakov V.G. Analysis of shear deformation scheme efficiency in plastic structure formation processes // Metalurgija. 2015. Vol. 54. No. 2. P. 423—425.
11. Semenova I.P., Polyakov A.V., Raab G.I., Lowe T.C., Valiev R.Z. Enhanced fatigue properties of ultrafine-grained Ti rods processed by ECAP-Conform // J. Mater. Sci. 2012. Vol. 47. No. 22. P. 7777—7781.
12. Zhou T.G., Jiang Z.Y., Wen J.L., Li H., Tieu A.K. Semi-solid continuous casting—extrusion of AA6201 feed rods // Mater. Sci. Eng. 2012. Vol. 8. P. 108—114.
13. Горохов Ю.В., Тимофеев В.Н., Беляев С.В., Авдулов А.А., Усков И.В., Губанов И.Ю., Авдулова Ю.С., Иванов А.Г. Прессовый узел установки conform для непрерывного прессования цветных металлов // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2017. No. 4. С. 69—75.
14. Аборкин А.В., Елкин А.И., Бабин Д.М. Особенности изменения энергосиловых параметров, температуры и гидростатического давления при непрерывном прессовании некомпактного алюминиевого материала // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2015. No. 6. С. 23—29.
15. Fu-rong Cao, Jing-lin Wen, Hua Ding, Zhao-dong Wang, Ying-long Li, Ren-guo Guan, Hui Hou. Force analysis and experimental study of pure aluminum and Al—5%Ti—1%B alloy continuous expansion extrusion forming process // Trans. Nonferr. Met. Soc. China. 2013. Vol. 23. P. 201—207.
16. Yun X.-B., Yao M.-L., Zhao Y., Yang J.-Y., Li B., Song B.-Y. Effect of the preventing mould and die structure on continuous extrusion deforming under large expansion ratio // Suxing Gongcheng Xuebao: J. Plastic. Eng. 2011. Vol. 18. No. 4. P. 1—5.
17. Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В., Константинов И.Л., Губанов И.Ю., Горохова Т.Ю., Храмов П.А. Применение процесса совмещенного литья — прессования при изготовлении алюминиевой проволоки для пайки волноводов // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2016. No. 6. С. 65—70.
18. Mitka M., Gawlik M., Bigaj M., Szymanski W. Continuous rotary extrusion (CRE) of flat sections from 6063 alloy // Key Eng. Mater. 2015. Vol. 641. P. 183—189.
19. Popescu I.N., Bratu V., Rosso M., Popescu C., Stoian E.V. Designing and continuous extrusion forming of Al—Mg—Si contact lines for electric railway // J. Optoelect. Adv. Mater. 2013. Vol. 15. P. 712—717.
20. Zhao Y., Song B.-Y., Yun X.-B., Pei J.-Y., Jia C.-B., Yan Z.-Y. Effect of process parameters on sheath forming of continuous extrusion sheathing of aluminum // Trans. Nonferr. Met. Soc. China (Eng. Ed.). 2012. Vol. 22 (12). P. 3073—3080.

21. Erdmann M. Continuous extrusion process // *Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 2012. Bd. 65. S. 16—19.
 22. Fan Z.X., Song B.Y., Yun X.B., Mohanraj J., Barton D.C. An analysis of the contact stress distribution at the surface of the tooling during the Conform process: Proc. Institution of Mechanical Engineers. Pt. E // *J. Process Mechan. Eng.* Vol. 223 (4). P. 243—250.
- ## References
1. Evans J. The use of electromagnetic casting for Al alloys and other metals. *JOM*. 1995. Vol. 47 (5). P. 38—41.
 2. Yu-bo Z., Jian-Zhong Cui, Dan Mou, Qing-feng Zhu, Xiang-jie Wang, Lei Li. Effect of electromagnetic field on microstructure and macrosegregation of flat ingot of 2524 aluminium alloy. *Trans. Nonferr. Met. Soc. China*. 2014. Vol. 2. P. 132—134.
 3. Stetsenko V.Yu. Mekhanizmy protsessy kristallizatsii metallov i splavov [Mechanisms of crystallization of metals and alloys]. *Lit'e i Metallurgiya*. 2013. No. 1. P. 48—54.
 4. Sidel'nikov S.B., Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V. Innovatsionnye sovmeshchennyye tekhnologii pri obrabotke metallov [Innovative technologies combined in the processing metals]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser.: Tekhnika i tekhnologii*. 2015. Vol. 8. No. 2. P. 185—191.
 5. Morozov A.A. Nepreryvnoe pressovanie sposobom «konform» [Continuous extrusion method Conform]. *Innovatsionnaya nauka*. 2015. Vol. 12 (2). P. 104—105.
 6. Bauzer M., Zauer G., Zigert K. Pressovanie [Extrusion: A Reference Guide] (Ed. V.L. Berezhnoi). Moscow: ALYuMSIL MViT, 2009.
 7. Goodes I.M. Continuous extrusion by the Conform process. *Wire Ind.* 1975. Vol. 501. P. 677—678.
 8. Sherkunov V.G., Gorokhov Yu.V., Konstantinov I.L., Katryuk V.P., Ivanov E.V. Ispol'zovanie sposoba Konform dlya pererabotki struzhki iz alyuminievykh splavov [Use of the method of Conform for processing of chips from aluminum alloys]. *Izv. vuzov. Tsvet. Metallurgiya*. 2015. No. 3. P. 60—63.
 9. Yun X.-B., Yao M.-L., Wu Y., Song B.-Y. Numerical simulation of continuous extrusion extending forming under the large expansion ratio for copper strip. *Appl. Mechan. Mater.* 2011. Vol. 80-81. P. 91—95.
 10. Raab G.I., Raab A.G., Shibakov V.G. Analysis of shear deformation scheme efficiency in plastic structure formation processes. *Metalurgiya*. 2015. Vol. 54. No. 2. P. 423—425.
 11. Semenova I.P., Polyakov A.V., Raab G.I., Lowe T.C., Valiev R.Z. Enhanced fatigue properties of ultrafine-grained Ti rods processed by ECAP-Conform. *J. Mater. Sci.* 2012. Vol. 47. No. 22. P. 7777—7781.
 12. Zhou T.G., Jiang Z.Y., Wen J.L., Li H., Tieu A.K. Semi-solid continuous casting—extrusion of AA6201 feed rods. *Mater. Sci. Eng.* 2012. Vol. 8. P. 108—114.
 13. Gorokhov YU.V., Timofeev V.N., Belyaev S.V., Avdulov A.A., Uskov I.V., Gubanov I.YU., Avdulova YU.S., Ivanov A.G. Pressovyyi uzel ustanovki conform dlya nepreryvnogo pressovaniya tsvetnykh metallov [Extrusion assembly unit conform for continuous pressing of non-ferrous metals]. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2017. No. 4. P. 69—75.
 14. Aborkin A.V., Elkin A.I., Babin D.M. Osobennosti izmeneniya energosilovykh parametrov, temperatury i gidrostaticheskogo davleniya pri nepreryvnom pressovanii nekompaktnogo alyuminievogo materiala [Features of change of power parameters, temperature and hydrostatic pressure in a continuous extrusion of non-compact aluminum material]. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2015. Vol. 6. P. 23—29.
 15. Fu-rong Cao, Jing-lin Wen, Hua Ding, Zhao-dong Wang, Ying-long Li, Ren-guo Guan, Hui Hou. Force analysis and experimental study of pure aluminum and Al—5%Ti—1%B alloy continuous expansion extrusion forming process. *Trans. Nonferr. Met. Soc. China*. 2013. Vol. 23. P. 201—207.
 16. Yun X.-B., Yao M.-L., Zhao Y., Yang J.-Y., Li B., Song B.-Y. Effect of the preventing mould and die structure on continuous extrusion deforming under large expansion ratio. *Suxing Gongcheng Xuebao: J. Plastic. Eng.* 2011. Vol. 18. No. 4. P. 1—5.
 17. Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V., Uskov I.V., Konstantinov I.L., Gubanov I.Yu., Gorokhova T.Yu., Khramtsov P.A. Primenenie protsessy sovmeshchennogo lit'ya — pressovaniya pri izgotovlenii alyuminievoi provoloki dlya paiki volnovodov [The application process of the combined casting — pressing in the manufacture of aluminum wire solder waveguides]. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2016. Vol. 6. P. 65—70.
 18. Miika M., Gawlik M., Bigaj M., Szymanski W. Continuous rotary extrusion (CRE) of flat sections from 6063 alloy. *Key Eng. Mater.* 2015. Vol. 641. P. 183—189.
 19. Popescu I.N., Bratu V., Rosso M., Popescu C., Stoian E.V. Designing and continuous extrusion forming of Al—Mg—Si contact lines for electric railway. *J. Optoelectr. Adv. Mater.* 2013. Vol. 15. P. 712—717.
 20. Zhao Y., Song B.-Y., Yun X.-B., Pei J.-Y., Jia C.-B., Yan Z.-Y. Effect of process parameters on sheath forming of continuous extrusion sheathing of aluminum. *Trans. Nonferr. Met. Soc. China (Eng. Ed.)*. 2012. Vol. 22 (12). P. 3073—3080.
 21. Erdmann M. Continuous extrusion process. *Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 2012. Bd. 65. S. 16—19.
 22. Fan Z.X., Song B.Y., Yun X.B., Mohanraj J., Barton D.C. An analysis of the contact stress distribution at the surface of the tooling during the Conform process: Proc. Institution of Mechanical Engineers. Pt. E. *J. Process Mechan. Eng.* Vol. 223 (4). P. 243—250.