

ПРЕССОВЫЙ УЗЕЛ УСТАНОВКИ CONFORM ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

© 2017 г. **Ю.В. Горохов, В.Н. Тимофеев, С.В. Беляев, А.А. Авдулов, И.В. Усков,
И.Ю. Губанов, Ю.С. Авдулова, А.Г. Иванов**

Сибирский федеральный университет (СФУ), г. Красноярск

Статья поступила в редакцию 25.11.16 г., доработана 18.02.17 г., подписана в печать 28.02.17 г.

Рассмотрены технические особенности схемы получения пресс-изделий из цветных металлов непрерывным прессованием способом Conform. На основании анализа разновидностей конструкции прессового оборудования выявлен характерный для многих установок Conform недостаток — отсутствие связи между системой крепления неподвижной части разъемного контейнера (башмака) с валом приводного колеса. Это не позволяет в процессе работы установки соблюдать контролируемый зазор между башмаком и дном канавки, что, в свою очередь, нарушает стабильность подачи прутковой заготовки к матрице. Цель работы заключалась в создании новой системы крепления башмака, обеспечивающей стабильное протекание процесса непрерывного экструдирования металла. При этом ставилась задача создания жесткой и прочной связи между башмаком и валом рабочего колеса системой рычагов и тяг. Для ее решения предложена модернизированная конструкция прессового узла установки. Проектирование элементов привода и рабочих частей опытной установки Conform проводилось на основании расчетов энергосиловых параметров экструдирования алюминиевых и медных сплавов, значения которых определялись по формулам, приведенным в технической литературе. Полученные результаты использованы при прочностных расчетах деталей прессового узла по известным методикам. Практическое использование предложенной в работе конструкции откроет новые возможности в получении прессованной металлопродукции из цветных металлов со стабильно высоким уровнем свойств.

Ключевые слова: установка Conform, прессование цветных металлов, непрерывная экструзия, кольцевая канавка обода колеса, разъемный контейнер.

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

Иванов А.Г. — аспирант той же кафедры. E-mail: AGIvanov@krastsvetmet.ru.

Тимофеев В.Н. — докт. техн. наук, зав. кафедрой электротехнологии и электротехники СФУ. E-mail: Viktortim0807@mail.ru.

Авдулов А.А. — канд. техн. наук, ст. преподаватель той же кафедры. E-mail: Avdulov@mail.ru.

Авдулова Ю.С. — ассистент той же кафедры. E-mail: Avdulova_ys@mail.ru.

Беляев С.В. — докт. техн. наук, зав. кафедрой литейного производства СФУ.

Усков И.В. — канд. техн. наук, доцент той же кафедры. E-mail: uskov59@mail.ru.

Губанов И.Ю. — канд. техн. наук, доцент той же кафедры. E-mail: igubanov@sfu-kras.ru.

Для цитирования: 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. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2017-4-69-75.

*Gorokhov Yu.V., Timofeev V.N., Belyaev S.V., Avdulov A.A., Uskov I.V., Gubanov I.Yu.,
Avdulova Yu.S., Ivanov A.G.*

Die assembly of the Conform unit for continuous non-ferrous metal forming

The study covers technology features of making pressed items of non-ferrous metals by Conform continuous forming. The analysis of pressing equipment designs identified a disadvantage typical for many Conform units — the lack of connection between the system for securing the fixed part of the split container (shoe) and the impeller shaft. Therefore, it is impossible to ensure a controlled gap between the shoe and the groove bottom during the operation, which results in unstable bar stock feeding to the die. The paper aimed at the development of a new shoe attachment system to ensure a steady flow of continuous metal extrusion process. This provides for forming a rigid and strong connection between the shoe and the impeller shaft using the system of levers and rods. An upgraded die assembly was proposed to solve this problem. The drive components and working parts of the pilot Conform unit were designed based on power calculations made for extrusion of aluminum and copper alloys using the formulas provided in the technical literature. The obtained results were used for strength calculations of die assembly parts following the known methods. The

practical use of the design proposed in the paper will provide new opportunities to make pressed steel items of non-ferrous metals with a consistently high level of properties.

Keywords: Conform unit, non-ferrous metal forming, continuous extrusion, annular rim groove, split container.

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

Ivanov A.G. — Postgraduate student of the same Department. E-mail: AGIvanov@krastsvetmet.ru.

Timofeev V.H. — Dr. Sci (Tech.), Head of Department of Electrotechnology and Electrical Engineering, SFU. E-mail: Viktortim0807@mail.ru.

Avdulov A.A. — Cand. Sci. (Tech.), Senior lecturer of the same Department. E-mail: Avdulova_ys@mail.ru.

Avdulova Yu.S. — Assistant of the same Department. E-mail: Avdulova_ys@mail.ru.

Belyaev S.V. — Dr. Sci (Tech.), Prof., Head of Department «Foundry production», SFU.

Uskov I.V. — Cand. Sci. (Tech.), Associate professor of the same Department. E-mail: uskov59@mail.ru.

Gubanov I.Yu. — Cand. Sci. (Tech.), Associate professor of the same Department. E-mail: igubanov@sfu-kras.ru.

Citation: Gorokhov Yu.V., Timofeev V.N., Belyaev S.V., Avdulov A.A., Uskov I.V., Gubanov I.Yu., Avdulova Yu.S., Ivanov A.G. Pressovyi uzel ustanovki Conform dlya nepreryvnogo pressovaniya tsvetnykh metallov. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2017. No. 4. P. 69–75. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2017-4-69-75.

Анализ особенностей непрерывного прессования способом Conform

Повышение конкурентоспособности продукции отечественной металлургической промышленности на мировом рынке возможно главным образом за счет планомерной разработки и реализации инновационных проектов, базирующихся на последних достижениях научно-технического прогресса. Одним из основных направлений инновационного управления металлургическим производством является освоение гибких, компактных, энергосберегающих автоматизированных линий для изготовления металлоизделий методами непрерывного прессования.

Из рассмотренных в работах [1–4] способов непрерывного получения пресс-изделий неограниченной длины наиболее распространенным является непрерывное прессование по методу Conform, отличающееся простотой осуществления, легкостью управления, малой энергоемкостью, высокими производительностью и выходом годного, а также возможностью достижения больших степеней деформации.

Способ Conform основан на применении разъемного контейнера, неподвижная часть которого, называемая «башмаком», сопрягается с канавкой (ручьём) по периферии вращающегося инструмента типа колеса, причем в башмаке установлены матрица и опорная вставка, которая перекрывает ручей колеса [5, 6]. При подаче прутка в зазор между канавкой колеса и прижимным роликом происходит обжатие заготовки, при этом возникает сила контактного трения по поверхности подвиж-

ной части контейнера. Эта сила нарастает по мере продвижения заготовки по контейнеру и достигает величины, необходимой для экструдирования металла в отверстие матрицы.

На рис. 1 приведена одна из схем непрерывного прессования цветных металлов способом Conform с применением форкамеры, позволяющей прессовать профиль большого поперечного сечения относительно сечения контейнера.

В зоне непосредственно перед матрицей заготовка подвергается интенсивному пластическому деформированию (раздавливанию) и заполняет

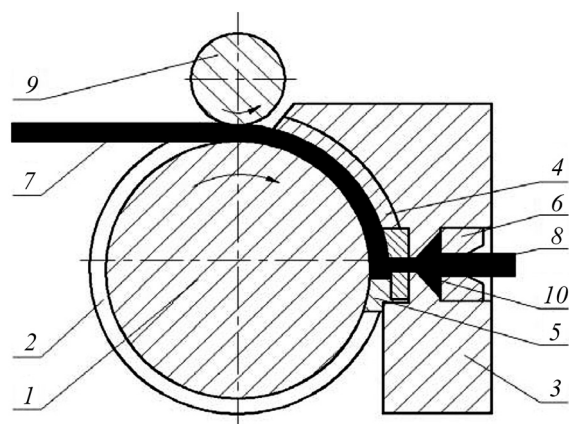


Рис. 1. Схема осуществления способа Conform с форкамерой

1 – рабочее колесо, 2 – ручей колеса, 3 – башмак, 4 – кольцевая вставка, 5 – опорная вставка, 6 – матрица, 7 – прутковая заготовка, 8 – пресс-изделие, 9 – прижимной ролик, 10 – форкамера

все сечение канавки (зона первичного захвата при выдавливании). По мере поворота колеса сжимающее усилие, приложенное к заготовке, увеличивается и достигает величины, необходимой для заполнения форкамеры и экструдирования материала через отверстие в матрице, т.е. начинается процесс непрерывного прессования. Зона неполного контакта заготовки с поверхностью канавки (зона первичного захвата) служит для развития давления, требуемого для пластического деформирования материала и заполнения контейнера на участке перед форкамерой. В качестве заготовки можно использовать обычную проволоку, причем процесс ее деформирования — втягивание в камеру прессования по мере поворота колеса, предварительное профилирование и заполнение канавки в колесе, создание рабочего усилия и, наконец, прессование — идет непрерывно, т.е. реализуется технология непрерывной экструзии металла [4, 5].

В результате аналитических исследований конструктивных и технологических особенностей непрерывного прессования Conform, проведенных сотрудниками Сибирского федерального университета [1, 2, 6—8], был спроектирован ряд прессовых узлов для опытно-промышленных установок. Одна из последних моделей установки Conform, используемая для переработки некомпактных алюминиевых материалов [7], представлена на рис. 2, а конструктивные элементы прессового узла — на рис. 3.

Установка состоит из рабочего блока, включающего приводное колесо с ручьем прямоугольного сечения, неподвижной части контейнера (башмака) с системой крепления и фиксирования в рабочем положении, передаточного звена и электродвигателя постоянного тока. Мощность двигателя, применяемого для привода рабочего блока установки, составляет 90 кВт, что позволяет проводить процесс непрерывного прессования металла с высокими степенями деформации. Для увеличения крутящего момента на валу рабочего блока в состав привода входит редуктор с передаточным числом 44,01. Ведомый вал редуктора с помощью соединительной муфты связан с валом рабочего узла. На валу шпонкой закреплен бандаж с предусмотренным в нем ручьем. Для прессования заготовки диаметром до 16 мм диаметр бандаж принят равным 300 мм. Вал установлен в двух стойках на подшипниках качения.

На рис. 4 приведен общий вид установки Conform фирмы «Dalian Conform Technical Co., Ltd»

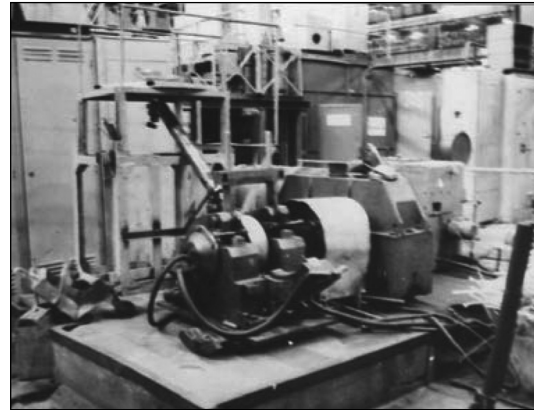


Рис. 2. Установка Conform на участке по изготовлению легатурных прутков из гранулированных алюминиевых сплавов [7]

(Китай) [6, 9], конструкция которой не имеет принципиальных отличий от вышеописанных.

В процессе промышленного использования этих установок выявлены некоторые недостатки, из которых можно выделить отсутствие связи между системой крепления башмака с валом рабочего колеса, что обусловлено креплением неподвижной части контейнера (башмака) к стойкам станины. Это обстоятельство значительно затрудняет в ходе работы прессового узла установки 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 настоящей работы — создание системы крепления башмака и фиксирования его в рабочем положении, обеспечивающей реализацию условий для стабильного протекания процесса непрерывного экструдирования металла в отверстие пресс-матрицы.

Разработка конструктивных элементов установки Conform, обеспечивающих повышение устойчивости процесса непрерывного прессования металлов

Для достижения поставленной цели авторами предложена конструкция прессового узла установки, основные элементы которой представлены на рис. 5.

Проектирование элементов привода и рабочих частей опытной установки Conform проводилось на основании расчетов энергосиловых параметров экструдирования алюминиевых и медных спла-

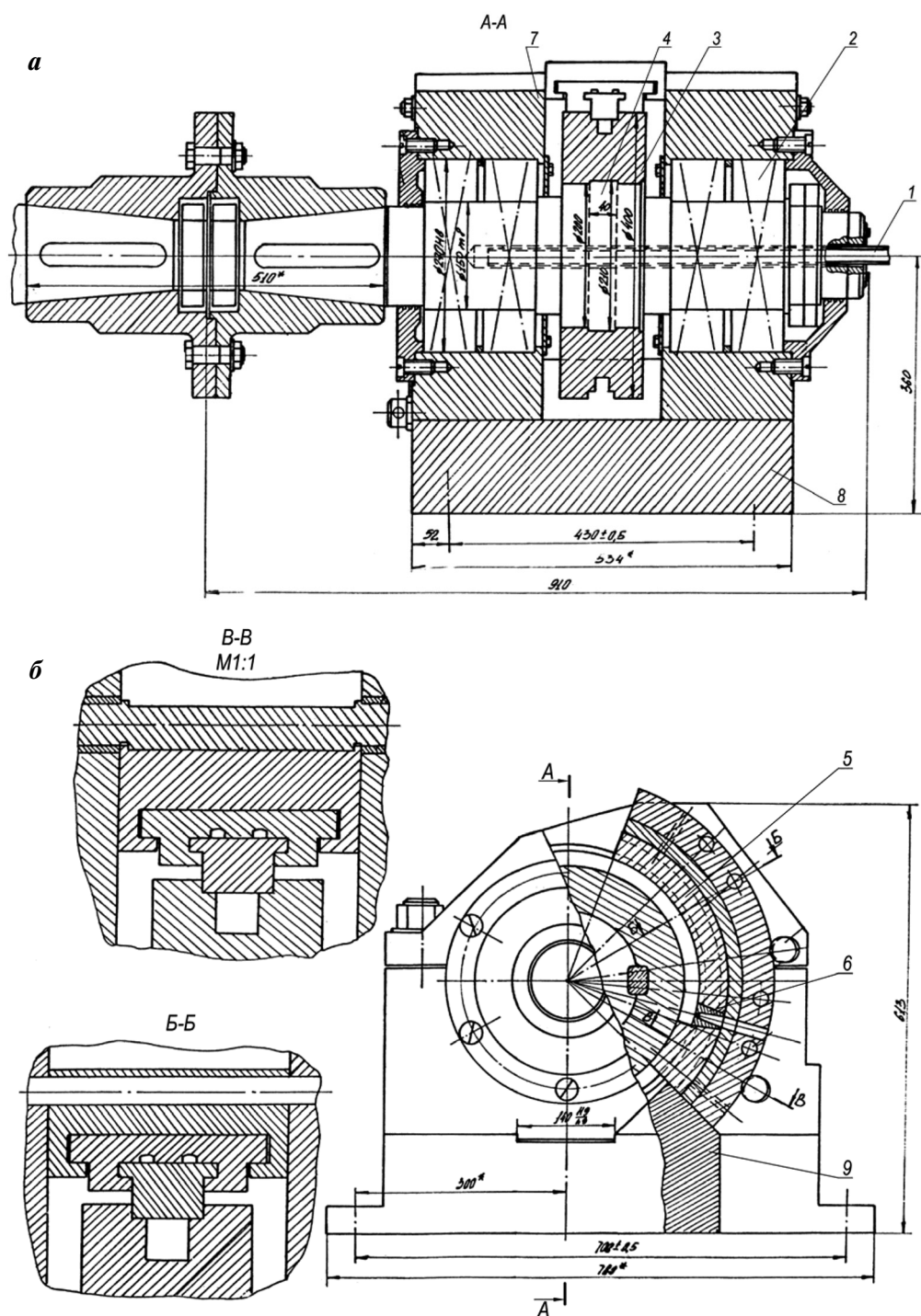


Рис. 3. Элементы прессового узла опытно-промышленной установки Conform

a – разрез фронтального вида, *б* – вид сбоку

1 – трубка для подачи хладагента, *2* – подшипники, *3* – бандаж, *4* – вал, *5* – вставка, *6* – матрица, *7* – стойка, *8* – основание, *9* – упор

вов, значения которых определялись по формулам, приведенным в технической литературе [2, 8, 13]. Полученные результаты использованы при прочностных расчетах деталей прессового узла по известным методикам.

На рис. 5 видно, что система крепления башмака *1* выполнена с учетом кинематических особенностей процесса прессования Conform. Для этого предусмотрены:

– фиксация башмака в рабочем положении без



Рис. 4. Общий вид установки Conform фирмы «Dalian Conform Technical Co., Ltd» (Китай) [6]

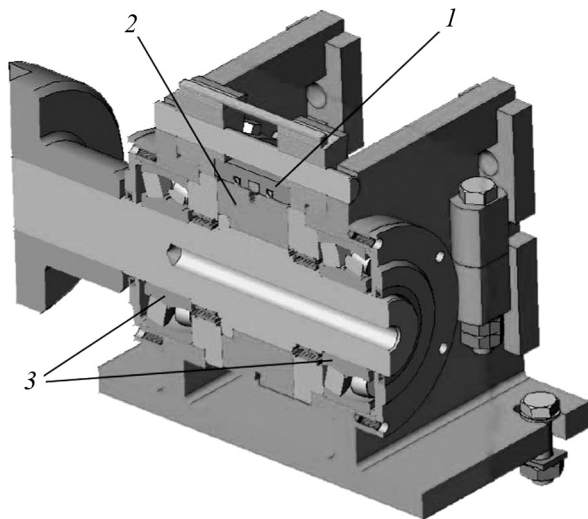


Рис. 5. Прессовый узел установки Conform (разрез) с новой системой крепления башмака

1 – башмак, 2 – рабочее колесо, 3 – подшипники качения

влияния радиального биения вала на размеры сечения камеры прессования;

- обеспечение возможности регулирования положения кольцевой вставки и матрицы в ручье колеса 2;

- удобство при замене рабочего инструмента;

- регистрация энергосиловых и температурных параметров процесса экструдирования металла.

Башмак имеет форму кольцевого сегмента, внутренний диаметр которого равен диаметру втулок, посаженных на подшипники качения 3, надетые на вал по обе стороны колеса 2. Башмак внутренней поверхностью прилегает к втулкам подшипников и крепится к ним болтами, причем между поверхностями колеса и башмака сохраняется некоторый зазор определенной величины. Таким образом, башмак, связанный с валом посредством

крепежных болтов, подушек и подшипников, поворачивается вокруг оси вала независимо от вращения рабочего колеса. Для размещения вставки и матрицы в башмаке предусмотрен кольцевой фигурный паз. Фиксирование помещенной в паз вставки с матрицей в рабочем положении производится прижимными болтами, расположенными в резьбовых отверстиях башмака. Вставка, являясь четвертой стороной калибра, входит в него на некоторую глубину, обеспечивая герметичность камеры прессования в радиальном направлении.

Фиксация башмака относительно канавки в тангенциальном относительно вращения колеса направлении достигается с помощью неподвижного упора, закрепленного в основании станины и обеспечивающего стабильное протекание процесса прессования. Между упором и башмаком предусмотрена площадка, где для измерения силы прессования располагается мессдоза.

Подготовка к работе и пуск установки производятся следующим образом. Матрица и вставка (см. рис. 5) соответствующих размеров помещаются в фигурный паз башмака, где их положение фиксируется прижимными болтами. 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.

Заключение

На основании проведенного анализа особенностей существующих конструкций установок Conform авторами предложена новая система крепления башмака, значительно повышающая стабильность осуществления устойчивого процесса непрерывного экструдирования металла в отверстие пресс-матрицы.

На спроектированной установке планируется проведение серии экспериментов с целью усовершенствования технологии и повышения качества

профилей из цветных металлов в свете развития результатов последних достижений в этой области, опубликованных в работах [10—21].

Разработка конструкторской документации на установку Conform выполнена в ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» в рамках проекта «Разработка технологии производства проволоки из специальных алюминиевых сплавов для нужд авиакосмической промышленности», поддержанного Правительством Красноярского края и КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» по конкурсу научно-технических проектов, направленных на кооперацию учреждений и организаций научно-образовательного комплекса Красноярского края по заказу промышленных предприятий в 2016 г.

Литература

1. 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.
2. Горохов Ю.В., Шеркунов В.Г., Довженко Н.Н., Беляев С.В., Довженко И.Н. Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов. Красноярск: СФУ, 2013.
3. Баузер М., Зауер Г., Зигерт К. Прессование: Справ. рук-во / Пер. с нем. под ред. В.Л. Бережного. М.: Алумсил МВит, 2009.
4. Морозов А.А. Непрерывное прессование способом «Конформ» // Инновационная наука. 2015. No. 12-2. С. 104-105.
5. Goodes I.M. Continuous extrusion by the Conform process // Wire Ind. 1975. Vol. 501. P. 677—685.
6. Мочалин И.В., Горохов Ю.В., Беляев С.В., Губанов И.Ю. Экструдирование медных шин на установке Конформ с форкамерой // Цвет. металлы. 2016. No. 5. С. 75—78.
7. 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.
8. Горохов Ю.В., Осипов В.В., Солонко И.В., Катрюк В.П. Расчет температурных полей деформационной зоны при непрерывном прессовании металлов методом Конформ // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. No. 1. С. 31—34.
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. Mech. 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. 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.
14. Fu-rong Cao, Jing-lin Wen, Hua Ding. 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.
15. 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. Plasticity Eng. 2011. Vol. 18. No.4. P. 1—5.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Erdmann M. Continuous extrusion process // KGK-Kautschuk Gummi Kunststoffe. 2012. Bd. 65. S. 16—19.
21. 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. 2013. Vol. 223 (4). P. 243—250.

References

1. *Sidel'nikov S.B., Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V.* Innovatsionnye sovmeshchennye tekhnologii pri obrabotke metallov [Innovative technologies combined in the processing of metals]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser.: Tekhnika i tekhnologii*. 2015. Vol. 8. No. 2. P. 185–191.
2. *Gorokhov Yu.V., Sherkunov V.G., Dovzhenko N.N., Belyaev S.V., Dovzhenko I.N.* Osnovy proektirovaniya protsessov nepreryvnogo pressovaniya metallov [Fundamentals of process of continuous extrusion of metals]. Krasnoyarsk: SFU, 2013.
3. *Bauzer M., Zauer G., Zigert K.* Pressovanie [Pressing: Ref. guide]. Moscow: Alyumsil MViT, 2009.
4. *Morozov A.A.* Nepreryvnoe pressovanie sposobom «Conform» [Continuous extrusion method Conform]. *Innovatsionnaya nauka*. 2015. Vol. 12(2). P. 104–105.
5. *Goodes I.M.* Continuous extrusion by the Conform process. *Wire Ind.* 1975. Vol. 501. P. 677–685.
6. *Mochalin I.V., Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V., Gubanov I.Yu.* Ekstrudirovanie mednykh shin na ustanovke Conform s forkameroi [Extruding copper busbars Conform to install prechamber]. *Tsvet. metall.* 2016. Vol. 5 P. 75–78.
7. *Sherkunov V.G., Gorokhov Yu.V., Konstantinov I.L., Katryuk V.P., Ivanov E.V.* Ispol'zovanie sposoba Conform dlya pererabotki struzhki iz alyuminievykh splavov [Use of a way Konform for processing of shaving from aluminum alloys]. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2015. No. 3. P. 60–63.
8. *Gorokhov Yu.V., Osipov V.V., Solopko I.V., Katryuk V.P.* Raschet temperaturnykh polei deformatsionnoi zony pri nepreryvnom pressovanii metallov metodom Conform [The calculation of the temperature fields of the deformation zone in a continuous extrusion of metals by Conform]. *Vestnik MGTU*. 2012. Vol. 1. P. 31–34.
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. Mech. 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. *Metallurgiya*. 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 titanium 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. *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.
14. *Fu-rong Cao, Jing-lin Wen, Hua Ding.* 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.
15. *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. Plasticity Eng.* 2011. Vol. 18. No.4. P. 1–5.
16. *Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V., Uskov I.V., Konstantinov I.L., Gubanov I.Yu., Gorokhova T.Yu., Khramtsov P.A.* Prime-nenie protsessa 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.
17. *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.
18. *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.
19. *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.
20. *Erdmann M.* Continuous extrusion process. *KGK-Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 2012. Bd. 65. S. 16–19.
21. *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.* 2013. Vol. 223 (4). P. 243–250.