

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОГО ЛИТЬЯ-ПРЕССОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ПАЙКИ ВОЛНОВОДОВ

© 2016 г. **Ю.В. Горохов, С.В. Беляев, И.В. Усков, И.Л. Константинов,
И.Ю. Губанов, Т.Ю. Горохова, П.А. Храмцов**

Сибирский федеральный университет (СФУ), г. Красноярск

Статья поступила в редакцию 09.11.15 г., подписана в печать 25.11.15 г.

Рассмотрены технические и технологические особенности схемы получения проволоки из литейных алюминиевых сплавов, предназначенной для пайки волноводов, с использованием процесса совмещенного непрерывного литья-прессования цветных металлов. Установлены зависимости, необходимые и достаточные для проектирования конструктивных элементов оборудования и технологических режимов, обеспечивающих реализацию условий для стабильного протекания процессов непрерывной подачи расплава металла в ручей карусельного кристаллизатора лабораторной установки, его затвердевания и экструдирования в отверстие матрицы так же, как в технологии Conform. Рассчитана величина поперечного сечения отверстия в дозаторе подачи расплава металла в ручей колеса-кристаллизатора. Приведено описание режимов получения на лабораторной установке непрерывного литья-прессования заготовки диаметром 3 мм и последующей ее обработки сортовой прокаткой и волочением в сочетании с промежуточными отжигами до конечных размеров. По этой схеме из сплавов АК12Ц10 и АК12Ц15 была изготовлена опытная партия круглой и квадратной проволоки в количестве 3 кг и передана предприятию АО «ИСС» им. акад. М.Ф. Решетнева для промышленных испытаний при пайке волноводов.

Ключевые слова: установка непрерывного литья-прессования, Conform, совмещенное литье-прессование металла, экструзия силуминов, дозатор расплава металла, карусельный кристаллизатор, пайка волноводов, алюминиевые припойные сплавы.

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

Беляев С.В. – докт. техн. наук, зав. кафедрой литейного производства (ЛП) СФУ.

Усков И.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры ЛП СФУ. E-mail: uskov59@mail.ru.

Константинов И.Л. – канд. техн. наук, доцент кафедры ОМД СФУ. E-mail: ilcon@mail.ru.

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

Горохова Т.Ю. – магистрант кафедры ОМД СФУ. E-mail: zhdy_pisem@list.ru.

Храмцов П.А. – аспирант кафедры ОМД СФУ. E-mail: px001@yandex.ru.

Для цитирования: *Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В., Константинов И.Л., Губанов И.Ю., Горохова Т.Ю., Храмцов П.А.*

Применение процесса совмещенного литья-прессования при изготовлении алюминиевой проволоки для пайки волноводов // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2016. No. 6. С. 65–70.

DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-6-65-70.

Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V., Uskov I.V., Konstantinov I.L., Gubanov I.Yu., Gorokhova T.Yu., Khramtsov P.A.

Application of combined die-casting process in the manufacture of aluminum wire for waveguide soldering

The study covers technical and technological features of a scheme for wire production from casting aluminum alloys designed for waveguide soldering using combined continuous non-ferrous metal die-casting. Dependencies were found that necessary and sufficient for the design of equipment structural elements and process modes ensuring conditions for a stable process of continuous molten metal feeding into the pass of the laboratory plant rotary crystallizer, metal solidification and extrusion into a die hole, the same as per Conform process. The cross section of a batcher hole for feeding molten metal into the crystallizer wheel pass was calculated. Conditions for Ø3 mm workpiece manufacturing at a laboratory continuous die-casting plant were described, with its subsequent processing to finite size by section rolling and drawing combined with intermediate annealing. A pilot batch of round and square wire made of АК12С10 and АК12С15 alloys in the amount of 3 kg was manufactured under this scheme and transferred to JSC «ISS» named after Academician M.F. Reshetnev for industrial tests in waveguide soldering.

Keywords: continuous die-casting plant, Conform, combined metal die-casting, Silumin extrusion, molten metal batcher, rotary crystallizer, waveguide soldering, aluminum solder alloys.

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.

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

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

Konstantinov I.L. – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Department «Metal forming», SFU. E-mail: ilcon@mail.ru.

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

Gorokhova T.Yu. – Graduate Student, Department «Metal forming», SFU. E-mail: zhdy_pisem@list.ru.

Khramtsov P.A. – Postgraduate Student, Department «Metal forming», SFU. E-mail: px001@yandex.ru.

Citation: Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V., Uskov I.V., Konstantinov I.L., Gubanov I.Yu., Gorokhova T.Yu., Khramtsov P.A. Primenenie protsessa sovmeshchennogo lit'ya-pressovaniya pri izgotovlenii alyuminievoi provoloki dlya paiki volnovodov. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2016. No. 6. P. 65–70. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-6-65-70.

Введение

Сварка изделий из алюминиевых сплавов проводится проволокой, изготавливаемой по ГОСТ 7871-75 «Проволока сварочная из алюминия и его сплавов», а проволока для пайки должна соответствовать требованиям нормативных документов (ОСТ и ТУ), которые составлены с учетом этого ГОСТ. Самая распространенная в настоящее время схема изготовления проволоки из деформируемых алюминиевых сплавов [1] (рис. 1) включает большое количество переделов, что сопряжено с повышенными энерго- и трудозатратами. Однако она в какой-то мере оправдана в серийном производстве при больших объемах выпускаемой продукции. При этом целесообразно применять полунепрерывное прессование через форкамерные матрицы, а при волочении часть переходов заменить сортовой прокаткой [2, 3].

Для пайки алюминиевых волноводов наиболее часто применяют проволоку, изготовленную из сплавов на основе эвтектического силумина АК12, которые относятся к литейным алюминиевым материалам и не предназначены для обработки давлением. Вероятно поэтому такая проволока не упоминается в ГОСТ 7871-75. В связи с этим на предприятии АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева (ИСС, г. Москва) на основе методики, предложенной в [4, 5], были разработаны ТУ 1-30857-2015, которые распространяются на тянутую проволоку круглого и квадратного сечений из сплава ПАСВИСС (припойный алюминиевый сплав, выпускаемый ИСС), предназначенную для пайки элементов волноводных трактов. Основные характеристики сплавов, описанных в ТУ, приведены в таблице.

Для изготовления проволоки из этих материалов технологическая схема, представленная на рис. 1, малоприспособна, поэтому необходима разра-

ботка инновационной технологии, основанной на последних достижениях в области металлообработки.

В последние годы получили развитие оборудование и технологии непрерывного прессования, совмещающие в одном инструментальном узле несколько операций, в том числе указанных в схе-

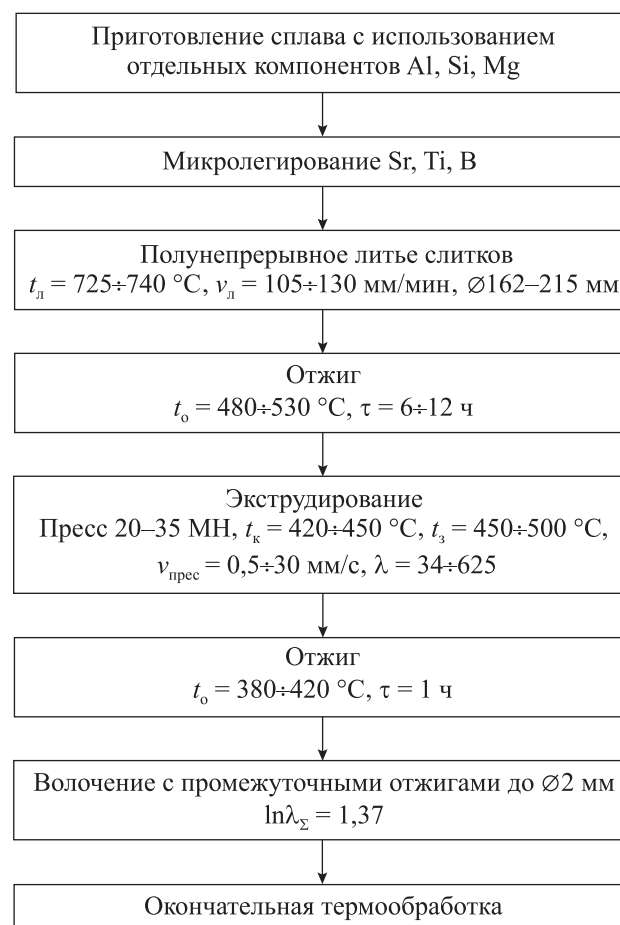


Рис. 1. Технологическая схема изготовления проволоки из деформируемых алюминиевых сплавов [1]

Химический состав и температуры плавления проволоки

Сплав	Содержание, мас. %			$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
	Кремний	Цинк	Алюминий	
АК12Ц5	12	5	Ост.	572
АК12Ц10	12	10	Ост.	562
АК12Ц15	12	15	Ост.	552

ме на рис. 1. Основными способами непрерывного прессования являются Conform, Linex и Extrolling. В работах [6–12] описаны и проанализированы технические и технологические возможности непрерывного прессования и приведены результаты исследований возможности его совмещения с непрерывным литьем металла, которые показали, что одним из наиболее эффективных методов производства прессованных полуфабрикатов является процесс, включающий подачу расплава металла в разъемный контейнер установки Conform, его кристаллизацию и экструдирование по мере движения колеса. Однако при практической его реализации на базовой установке Conform выявились перебои в соблюдении условия непрерывности процесса и стабильности расплава, связанные с его «намораживанием» на неподвижную часть разъемного контейнера.

Для устранения этого недостатка в работах [13, 14] было предложено использовать рабочее колесо карусельного типа с вертикальной осью вращения. На рис. 2 приведена схема совмещения непрерывного литья-прессования металла путем использования установки, выполненной на базе карусельного кристаллизатора.

Жидкий металл 3 заливается через дозатор 4 в ручей 2 вращающегося колеса-кристаллизатора 1 и затвердевает до входа в камеру прессования, образованную на участке сопряжения ручья с неподвижной частью разъемного контейнера 6. Слиток 5, поступая в камеру прессования, экструдирован в отверстие матрицы 7 в виде пресс-изделия 8. Заливка расплава металла в ручей колеса, его кристаллизация и экструдирование происходят непрерывно, и соблюдение условия стабильности процесса получения пресс-изделия не вызывает трудностей.

Целью настоящей работы являлось исследование технологических режимов совмещенного литья-прессования заготовки из сплавов на основе эвтектического силумина АК12 диаметром 3 мм

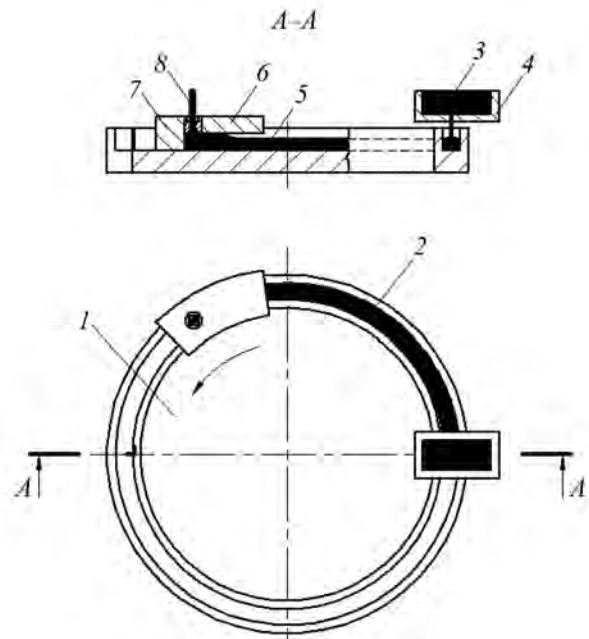


Рис. 2. Схема установки непрерывного литья-прессования с вертикальной осью вращения колеса

1 — колесо-кристаллизатор; 2 — ручей; 3 — расплав металла; 4 — дозатор подачи расплава в ручей; 5 — слиток; 6 — неподвижная часть контейнера; 7 — матрица; 8 — пресс-изделие

для получения припойной проволоки круглого и квадратного сечений.

Методика исследований

Для исследования режимов изготовления проволоки литьем-прессованием как из деформируемых, так и из литейных алюминиевых сплавов в лаборатории кафедры обработки металлов давлением Сибирского федерального университета спроектирована лабораторная установка (рис. 3). Все элементы прессового узла смонтированы на сварной раме, обеспечивающей жесткость конструкции, предотвращая перекосы в соединительных муфтах и изгибы промежуточных валов в процессе литья-прессования металла. В привод установки входят червячный и планетарный редукторы, изображенные на рис. 3, в.

Поперечное сечение ручья колеса-кристаллизатора — прямоугольное с радиусом 1–2 мм в местах сопряжения дна со стенками. Башмак с матрицей сопрягается с ручьем, углубляясь в него на 4 мм, образуя тем самым разъемный контейнер сечением 10×10 мм. Башмак, площадка дозатора и кристаллизатор изготовлены из стали 5ХНМ, а дозатор — из шамота марки ШБ 5 (рис. 4).

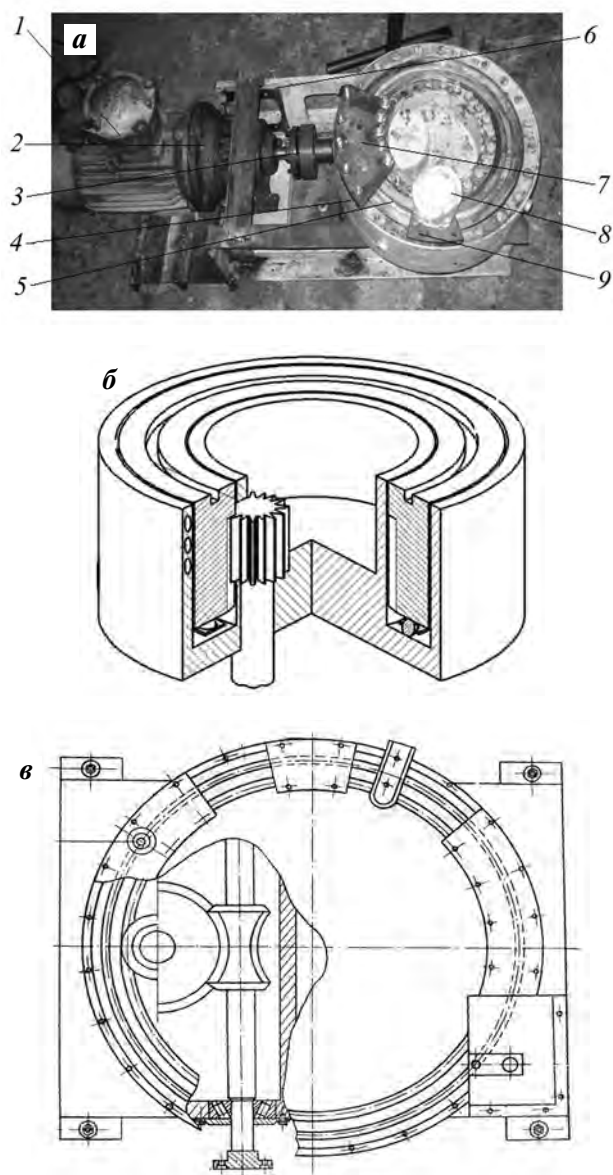


Рис. 3. Установка непрерывного литья-прессования
а – общий вид; *б* – кристаллизатор с планетарной передачей;
в – элементы привода колеса-кристаллизатора
 1 – электродвигатель переменного тока мощностью 3 кВт;
 2 – редуктор с передаточным отношением 100; 3 – соединительная муфта; 4 – корпус; 5 – ручей колеса-кристаллизатора; 6 – сварная рама; 7 – неподвижный сегмент (башмак), прикрепленный к корпусу болтами; 8 – дозатор; 9 – площадка дозатора

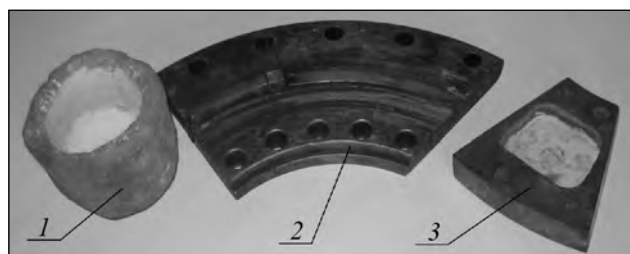


Рис. 4. Дозатор (1), башмак (2) и площадка дозатора (3)

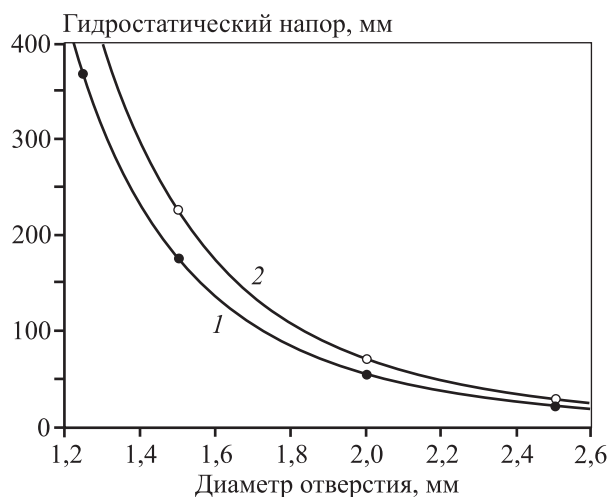


Рис. 5. График зависимости гидростатического напора расплава от размера отверстия дозатора
 Частота вращения колеса-кристаллизатора – 1,5 об/мин (1) и 1,7 об/мин (2)

Размер отверстия в дозаторе для подачи алюминиевого расплава в ручей кристаллизатора определяли, исходя из закона постоянства секундных объемов расплава. Расчет основан на условии равенства секундного объема (расхода) расплава в ручье колеса (Q_k) и отверстия дозатора (Q_d). В результате получена графическая зависимость (рис. 5), по которой при уровне расплава в дозаторе 50 мм и частоте вращения колеса 1,5 об/мин определен диаметр отверстия дозатора, составивший 2,0 мм. Схематические изображения дозатора и колеса-кристаллизатора приведены на рис. 6.

Процесс получения пресс-изделий осуществляется следующим образом. Расплавленный металл через отверстие дозатора заполняет ручей колеса-кристаллизатора. По мере его движения расплав кристаллизуется, затвердевшая часть попадает в разъемный контейнер, образованный ручьем и выступом башмака, и выдавливается в отверстие матрицы.

Работоспособность лабораторной установки подтвердилась положительными результатами серии опытов по получению свинцовых прутков диаметром 5,0 мм. Температура заливаемого расплава составляла 400 °С, дозатора – 200 °С. Колесо-кристаллизатор и башмак предварительно не нагревались.

Для разработки опытной технологии непрерывного прессования заготовки из сплавов, указанных в таблице, непосредственно из жидкого металла было установлено влияние на этот процесс следующих факторов:

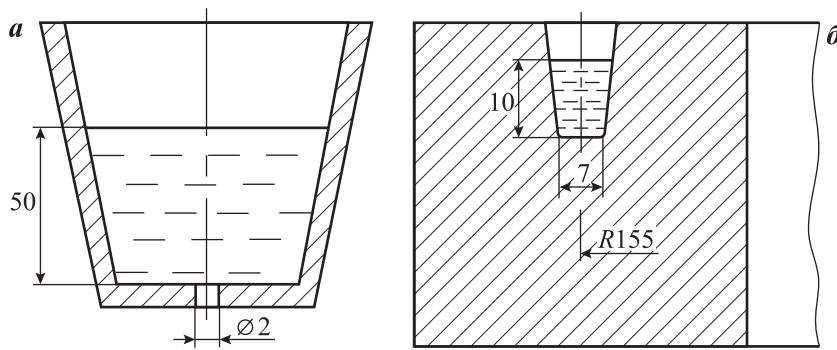


Рис. 6. Дозатор (а) и колесо-кристаллизатор (б)

- температуры поверхности ручья колеса-кристаллизатора;
- температуры заливаемого металла;
- величины входного угла матрицы;
- температуры, скорости и степени деформации [13].

Эти параметры существенно влияют на условия остывания металла и качество получаемой заготовки, определяют скорость движения рабочего инструмента, которая, в свою очередь, обеспечивает необходимую температуру прессования, влияет на энергосиловые условия процесса, обуславливая его производительность и качество прессуемой продукции.

Получение заготовки для изготовления опытной партии припойной проволоки по ТУ 1-30857-2015, разработанной сотрудниками АО «ИСС», осуществлялось на лабораторной установке непрерывного литья и прессования сварочной проволоки методом Conform [15]. Были получены две партии по 1,5 кг прутковой заготовки диаметром 3 мм. Химический состав партий соответствовал сплавам АК12Ц10 и АК12Ц15.

Из этих заготовок на сортовой прокатном стане итальянской фирмы «Magio di Maio» была получена проволока с размерами стороны квадрата 1,1 и 1,3 мм. Технология изготовления проволоки из сплавов с добавкой 10 и 15 мас.% Zn идентична: заготовка диаметром 3 мм нарезалась на прутки длиной 1 м, которые нагревались до 450 °С и подвергались прокатке в валках с калибровкой типа квадрат—квадрат до конечного размера. Готовая проволока сматывалась в бухты и отжигалась при 500 °С с выдержкой в течение 6 ч и последующим охлаждением на воздухе.

Проволока круглого сечения диаметром 1,2 и 1,4 мм изготавливалась по схеме, включающей следующие операции. Прутки длиной 1 м нагре-

вались до 450 °С и подвергались прокатке в валках с калибровкой типа квадрат—квадрат. Сортовая прокатка заготовки проводилась до размеров стороны квадрата 1,3 и 1,5 мм для последующего волочения на диаметр 1,2 и 1,4 мм соответственно. После прокатки проволока сматывалась в бухты, отжигались при температуре 450 °С с выдержкой в течение 2 ч и охлаждалась на воздухе. Затем она подвергалась волочению на

однократной машине барабанного типа. Готовая проволока сматывалась в бухты и отжигалась при нагреве до 500 °С, выдержке 6 ч с последующим охлаждением на воздухе.

По предложенным режимам из Al-сплавов с добавкой 10 и 15 мас.% Zn были изготовлены сортовой прокаткой партии квадратной проволоки с размерами стороны сечения 1,1 и 1,3 мм, длиной 100 м каждая. Круглая проволока получена путем волочения катаного квадрата 1,3 и 1,5 мм соответственно на диаметры 1,2 и 1,4 мм.

Заключение

Положительные результаты испытаний элементов алюминиевых волноводов, спаянных квадратной и круглой проволоками, проведенные в условиях АО «ИСС», показали целесообразность производства заготовки для проволоки из припойных алюминиевых сплавов по разработанному способу совмещенного литья-прессования. Доведение размеров поперечного сечения заготовки до требуемых размеров осуществляется сортовой прокаткой или волочением в сочетании с промежуточными отжигами.

Литература

1. Баузер М., Зауер Г., Зигерт К. Прессование: Справ. рук-во / Пер. с нем. под ред. В.Л. Бережного. М.: АЛЮМСИЛ МВиТ, 2009.
2. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. М.: Металлургия, 1975.
3. Ерманок М.З., Фейгин В.И., Сухоруков Н.А. Прессование профилей из алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1977.
4. Гуляев Б.Б. Синтез сплавов (Основные принципы. Выбор компонентов). М.: Металлургия, 1984.

5. Гуляев Б.Б., Петров С.М., Петрова С.Г., Абрамова А.А. Синтез высокопрочных силуминов. Л.: ЛГУ, 1978.
6. 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.
7. Guan R.G., Wang S.C., Wen J.L., Liu X.H. Continuous semisolid extending extrusion process for producing AA2017 aluminium alloy flat bar // Mater. Sci. Technol. 2006. Vol. 22. No. 6. P. 706—712.
8. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Катарева А.А. Моделирование совмещенного процесса непрерывного литья и прокатки-прессования // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2004. No. 5. С. 34—39.
9. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов. М.: МАКС Пресс, 2005.
10. Valiev R.Z., Murashkin M.Y., Sabirov I. A nanostructural design to produce high-strength Al alloys with enhanced electrical conductivity // Scr. Mater. 2014. Vol. 76. P. 13—16.
11. 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.
12. 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.
13. Шеркунов В.Г., Горохов Ю.В., Константинов И.Л., Иванов Е.В., Катрюк В.П. Использование способа «Конформ» для переработки стружки из алюминиевых сплавов // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2015. No. 3. С. 60—63.
14. Горохов Ю.В., Шеркунов В.Г., Довженко Н.Н., Беляев С.В., Довженко И.Н. Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов. Красноярск: СФУ, 2013.
15. Беляев С.В., Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Богданов Д.В., Усков И.В., Усков Д.И., Крохин А.Ю., Фролов В.Ф., Мочалин И.В., Костин И.В., Храмов П.А., Косович А.А. Устройство для непрерывного литья и прессования сварочной проволоки методом Конформ: Пат. 155319 (РФ). 2015.
4. Gulyaev B.B. Sintez splavov (Osnovnye printsipy. Vybora komponentov) [Synthesis alloys. (Basic principles. The choice of components)]. Moscow: Metallurgiya, 1984.
5. Gulyaev B.B., Petrov S.M., Petrova S.G., Abramova A.A. Sintez vysokoprochnykh siluminov [Synthesis of high silumins]. Leningrad: LGU, 1978.
6. 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.
7. Guan R.G., Wang S.C., Wen J.L., Liu X.H. Continuous semisolid extending extrusion process for producing AA2017 aluminium alloy flat bar. Mater. Sci. Technol. 2006. Vol. 22. No. 6. P. 706—712.
8. Sidel'nikov S.B., Dovzhenko N.N., Katareva A.A. Modelirovanie sovmeshchennogo protsesssa nepreryvnogo lit'ya i prokatki-pressovaniya [Simulation of the combined process of continuous casting and rolling-pressing]. Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya. 2004. No. 5. P. 34—39.
9. Sidel'nikov S.B., Dovzhenko N.N., Zagirov N.N. Kombinirovannye i sovmeshchennye metody obrabotki tsvetnykh metallov i splavov [Combined and combined methods of non-ferrous metals and alloys]. Moscow: MAKS Press, 2005.
10. Valiev R.Z., Murashkin M.Y., Sabirov I. A nanostructural design to produce high-strength Al alloys with enhanced electrical conductivity. Scr. Mater. 2014. Vol. 76. P. 13—16.
11. 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.
12. 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.
13. Sherkunov V.G., Gorokhov Yu.V., Konstantinov I.L., Ivanov E. V., Katryuk V. P. Ispol'zovanie sposoba «Konform» dlya pererabotki struzhki iz alyuminievykh splavov [Using the method «Conform» for the processing of aluminum alloy turnings]. Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya. 2015. No. 3. P. 60—63.
14. Gorokhov Yu.V., Sherkunov V.G., Dovzhenko N.N., Belyaev S.V., Dovzhenko I.N. Osnovy proektirovaniya protsessov nepreryvnogo pressovaniya metallov [Fundamentals of designing process of continuous extrusion of metals]. Krasnoyarsk: SFU, 2013.
15. Belyaev S.V., Gorokhov Yu. V., Gubanov I.Yu., Bogdanov D.V., Uskov I.V., Uskov D. I., Krokhin A.Yu., Frolov V.F., Mochalin I.V., Kostin I. V., Khramtsov P.A., Kosovich A.A. Ustroistvo dlya nepreryvnogo lit'ya i pressovaniya svarochnoi provoloki metodom Konform [Device for the continuous casting and pressing wire method Conform]: Pat. 155319 (RF). 2015.

References

1. Bauzer M., Zauer G., Zigert K. Pressovanie: Spravochnoe rukovodstvo [Pressing: Reference]. Trans. from German. Ed. V.L. Berezhnoio. Moscow: ALYuMSIL MViT, 2009.
2. Perlin I.L., Raitbarg L.Kh. Teoriya pressovaniya metallov [Theory of metal extrusion]. Moscow: Metallurgiya, 1975.
3. Ermanok M.Z., Feigin V.I., Sukhorukov N.A. Pressovanie profilei iz alyuminievykh splavov [Extrusion of aluminum alloy]. Moscow: Metallurgiya, 1977.