

# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.777: 621.777.22

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-3-21-24

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ Al-Sr ЛИГАТУРНЫХ ПРУТКОВ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В., Губанов И.Ю., Горохова Т.Ю.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

### Аннотация

**Постановка задачи:** при получении отливок автомобильных дисков из литьевых Al-Si сплавов для повышения механических свойств изделий в основном применяют лигатуру Al-Sr. Традиционные способы получения лигатуры сплавлением и электролизом отличаются малой производительностью процесса, высокой трудоемкостью и требуют утилизации шлаков. **Целью** работы является разработка высокоэффективной технологии получения прутков Al-Sr лигатуры с использованием силуминовой стружки, полученной при обточке автомобильных дисков, с добавлением обезвоженного порошка соли стронция по режимам, исключающим расплавление или электролиз компонентов. **Используемые методы:** для достижения поставленной цели лабораторные исследования проводились с использованием контейнера для прессования прутков с боковым истечением материала заготовки в отверстие матрицы и лабораторной установки с непрерывной подачей расплава в подвижную часть разъемного контейнера и последующего прессования закристаллизовавшейся части металла методом conform. Оценку модифицирующей способности лигатурных прутков проводили в металлографической лаборатории завода по производству автомобильных дисков с применением методов оптической и электронной растровой микроскопии. **Новизна** заключается в разработке научно обоснованных решений по реализации процесса совмещенного непрерывного литья – прессования металлов для получения Al-Sr лигатурных прутков диаметром 6 мм. **Результат:** установлено, что для промышленного применения Al-Sr лигатурных прутков наиболее эффективна технология их изготовления, заключающаяся в последовательном измельчении смеси силуминовой стружки из сплава AK12 с солью стронция, брикетировании смеси без предварительного нагрева, расплавлении брикета и обработки расплава с помощью установки для непрерывного литья – прессования металлов методом conform.

**Ключевые слова:** Al-Sr лигатурные прутки, модификация алюминиевых сплавов, технологии изготовления, непрерывное литье-прессование, метод conform.

### Введение

При получении отливок из литьевых Al-Si сплавов (силуминов) с заданным уровнем механических свойств важное место занимает лигатура алюминий – стронций (Al-Sr), заметно улучшающая механические свойства литых изделий, в частности автомобильных дисков. Химический состав этой лигатуры соответствует ГОСТ 53777-2010, а основные методами её получения являются сплавление и электролиз.

Сплавление основывается на введения в расплав алюминия при температуре 900–1000°C солей стронция с последующим перемешиванием и выдержкой в течение 0,5–1 ч [1]. При этом используется покровной флюс, содержащий хлориды и

фториды натрия, калия, магния. Разливку лигатуры ведут при температуре 800–850°C.

Получение лигатуры электролизом заключается во введении в расплавленный алюминий, являющимся катодом, легирующих элементов из малорастворимого анода путем растворения его в калиевом криолит-глиноземном расплаве или смеси калиевого и натриевого криолит-глиноземного расплава, или в натриевом криолит-глиноземном расплаве при температуре 700–960°C, плотности тока на аноде 0,2–1,5 А/см<sup>2</sup> и восстановления легирующих элементов в расплавленном алюминии на катоде [2].

Эти способы отличают высокая трудоемкость, энергоемкость, малая производительность процесса, использование большого количества химикатов и необходимость утилизации шлаков.

В лабораториях кафедр «Обработка металлов давлением» и «Литейное производство» ФГАОУ

© Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В., Губанов И.Ю.,  
Горохова Т.Ю., 2016

ВПО «Сибирский федеральный университет» были проведены исследования по получению Al-Sr лигатуры с использованием силуминовой стружки, полученной при обточке автомобильных дисков, с добавлением обезвоженного порошка соли стронция по режимам, исключающим расплавление или электролиз компонентов.

### Методика проведения лабораторных исследований

Лабораторные исследования проводились с использованием контейнера для бокового прессования материала (**рис. 1**) и лабораторной установки непрерывного литья – прессования методом conform (**рис. 2**), спроектированной с учетом данных, приведенных в работах [3–6] и усовершенствованной с использованием новых конструктивных решений [7, 8].



Рис. 1. Контейнер, прессованный пруток и пресс-остаток

В состав лабораторной установки входят: электродвигатель переменного тока 1 мощностью 3 кВт; редуктор 2 с передаточным отношением 100;

соединительная муфта 3; неподвижный сегмент (башмак) 7, прикрепленный к корпусу 4 болтами, дозатор 8, площадка дозатора 9. 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.

Поперечное сечение ручья колеса-криSTALLизатора – прямоугольное с радиусом 1–2 мм в местах сопряжения дна со стенками. Башмак с матрицей сопрягается с ручьем, входя в него на глубину 4 мм и образуя, тем самым, разъемный контейнер сечением 10×10 мм. Башмак, площадка дозатора и кристаллизатор изготовлены из стали 5ХНМ, а дозатор из шамота марки ШБ5 (**рис. 3**).

Эксперименты по получению лигатуры проводились по следующим технологическим схемам.

**Схема 1:** смесь силуминовой стружки с порошкообразной солью стронция подвергали обработке в дезинтеграторе марки DM 400 до фракции размером 0,2–0,3 мм. Затем эту смесь засыпали в контейнер с внутренним диаметром 54 мм и на прессе усилием 1,0 МН получали компактный брикет лигатуры при комнатной температуре. Далее контейнер с брикетом помещали в печь и нагревали до температуры горячей деформации. После нагрева проводили боковое прессование прутка в матрицу с рабочим отверстием диаметром 15 мм, ось которого была выполнена под углом 90 град к продольной оси контейнера (см. **рис. 1**). Боковое прессование способствует проработке структуры брикета и интенсивному измельчению зерна во время пластической деформации, что, в свою очередь, должно усиливать модифицирующее действие получаемой лигатуры.



Рис. 2. Установка непрерывного литья-прессования методом conform



Рис. 3. Дозатор, башмак и площадка дозатора

Схема 2: смесь силуминовой стружки с порошкообразной солью стронция подвергали обработке в дезинтеграторе DM 400 до фракции размером 0,3–0,5 мм. Затем эту смесь засыпали в контейнер и на прессе усилием 1,0 МН получали компактный брикет при комнатной температуре. Далее брикет извлекался из контейнера, помещался в тигель, расплавлялся в высокочастотной индукционной печи. Затем расплав заливался в контейнер, где происходило его затвердевание и остывание до температуры 500°C и последующее боковое прессование прутка в матрицу с рабочим отверстием диаметром 15 мм на пресс усилием 1,0 МН.

Схема 3: смесь стружки с порошкообразной солью стронция подвергали обработке в дезинтеграторе DM 400 до фракции размером 0,3–0,5 мм. Затем эту смесь засыпали в контейнер и на прессе усилием 1,0 МН получали брикет. После чего брикет извлекался из контейнера и помещался в тигель, где расплавлялся в высокочастотной индукционной печи. Далее расплав из тигля заливали в дозатор лабораторной установки непрерывного литья – прессования, а из него – в ручей колеса-криSTALLизатора. По мере движения колеса-криSTALLизатора расплав кристаллизуется, и затвердевшая часть его попадает в разъемный контейнер, образованный ручьем и выступом башмака, с последующим выдавливанием в рабочее отверстие матрицы диаметром 6 мм. Все стадии процесса проходят в непрерывном режиме. При этом температура прессования близка к температуре солидуса сплава.

Из каждого опыта были отобраны образцы для исследования модифицирующей способности лигатур для их введения в расплав алюминиевого сплава Al-12% Si (AK12). Для этого сплав Al-12% Si расплавляли в высокочастотной индукционной печи и нагревали до температуры 750°C, при которой в расплав вводили лигатурные прутки, обеспечивающие содержание Sr в сплаве до 0,03%. Далее расплав перемешивали до полного растворения лигатурных прутков и разливали в металлические формы. Отлитые образцы в виде прутков диаметром 10 мм далее передавались для

проведения металлографических исследований в металлографическую лабораторию завода по производству автомобильных дисков. Анализ микроструктур образцов показал, что наилучший модифицирующий эффект, характеризующийся наибольшей степенью изменения Al-Si эвтектики из пластинчатой формы в мелкозернистую, наблюдался при введении лигатуры, полученной по третьей технологической схеме.

## Выводы

Анализируя полученные результаты, можно отметить следующее:

1. При введении в силумин AK12 Al-Sr лигатурного прутка, полученного по схемам 1 и 2, не достигнут требуемый модифицирующий эффект.
2. Для промышленного применения Al-Sr лигатурных прутков наиболее приемлема третья схема их изготовления, заключающаяся в последовательном измельчении смеси силуминовой стружки из сплава AK12 с солью стронция, брикетированию смеси без предварительного нагрева, расплавлении брикета и подачи расплава в инструмент установки непрерывного литья – прессования металлов методом conform.

## Список литературы

1. Напалков В.И., Бондарев Б.И. Лигатуры для производства алюминиевых и магниевых сплавов. М.: Металлургия, 1983. 220 с.
2. Бондарев Б.И., Напалков В.И., Тарарышкин В.И. Модификация алюминиевых деформируемых сплавов. М.: Металлургия, 1979. 224 с.
3. Горохов Ю.В., Солопко И.В., Константинов И.Л. Основы проектирования конструктивных параметров установки непрерывного литья-прессования металлов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 3. С. 20–23.
4. Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов: монография / Ю.В. Горохов, В.Г. Шеркунов, Н.Н. Довженко [и др.]. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2013. 268 с.
5. Анализ энергосиловых условий непрерывного прессования методом conform / С.В. Беляев, Д.В. Богданов, И.Ю. Губанов [и др.]. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 3. С. 44–51.
6. Исследование условий захвата совмещенного процесса литья и непрерывного прессования методом conform / Д.В. Богданов, С.В. Беляев, Ю.В. Горохов [и др.]. // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2015. Т. 8. № 5. С. 576–581.
7. Пат. 111783 Российская Федерация, МКП B21C 23/08. Установка для непрерывного литья-прессования металлов / Ю.В. Горохов, И.В. Солопко, В.П. Суслов [и др.]. Опубл. 27.12.2011, Бюл. № 36.
8. Пат. 155319 Российская Федерация, МКП B21C 23/08. Устройство для непрерывного литья и прессования сварочной проволоки методом Конформ / С.В. Беляев, Ю.В. Горохов, И.Ю. Губанов [и др.]. Опубл. 27.09.2015, Бюл. № 27

Материал поступил в редакцию 02.11.15.

## A STUDY OF THE Al-Sr GRAIN REFINER MANUFACTURING TECHNIQUES

**Yuri V. Gorokhov** – D.Sc. (Eng.), Professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

**Sergey V. Belyaev** – D.Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Foundry Engineering Department  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: 244812@mail.ru

**Igor V. Uskov** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: uskov59@mail.ru

**Ivan Yu. Gubanov** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

**Tatyana Yu. Gorokhova** – Master's student of the Metal Forming Department  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

### Abstract

**Problem Statement (Relevance):** It is the Al-Sr grain refiners that are primarily used with Al-Si cast alloys to enhance the mechanical properties of automobile wheel discs which are cast from the above material. The traditional methods of manufacturing grain refiner rods by fusion and electrolysis are characterized with low efficiency and high labor costs, and they are not practicable without waste disposal. **Objectives:** This study aims to develop an efficient Al-Sr grain refiner production technique based on the use of silumin chips from automobile wheel disc machining and dehydrated strontium salt under the regimes that exclude fusion or electrolysis. **Methods Applied:** To achieve the above objective some laboratory tests were carried out, for which a rod extrusion press container with a lateral material flow (to the die hole) was used, together with a laboratory machine with a continuous material feed to the moving part of a two-part container. The crystallized metal was then pressed following the Conform method. The grain refining capacity of the resulting rods was analysed in the metallographic laboratory of an automobile wheel disc plant by optical and scanning electron microscopy. **Originality:** This study offers an original proven solution for manufacturing 6 mm Al-Sr grain refining rods based on the combined continuous casting and extrusion technique. **Findings:** It was found that the most efficient manufacturing process for industrial application Al-Sr grain refiners involves the following stages: grinding a mixture of the AK12 silumin chips and strontium salt, briquetting the mixture with no preheat applied, melting the briquette and taking the melt through the combined continuous casting and extrusion machine (the Conform method).

**Keywords:** Al-Sr grain refiners, inoculation of aluminium alloys, manufacturing technique, continuous casting and extrusion, the Conform method.

### References

1. Napalkov V.I., Bondarev B.I. *Ligatury dlya proizvodstva aluminievkh splavov* [Grain refiners for aluminium and magnesium alloys]. Moscow: Metallurgiya, 1983, 220 p.
2. Bondarev B.I., Napalkov V.I., Tararyshkin V.I. *Modifitsirovanie aluminievkh deformiruemikh splavov* [Inoculation of deformable aluminium alloys]. Moscow: Metallurgiya, 1979, 224 p.
3. Gorokhov Yu.V., Solopko I.V., Konstantinov I.L. Design parameters of a continuous casting and extrusion machine: Design basics. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2009, no. 3, pp. 20-23.
4. Gorokhov Yu.V., Sherkunov V.G., Dovzhenko N.N. [et al.] *Osnovy proektirovaniya protsessov nepreryvnogo pressovaniya metallov: monografiya* [Basic design of continuous metal extrusion processes: Monograph]. Krasnoyarsk: Sib. Feder. University, 2013, 268 p.
5. Belyaev S.V., Bogdanov D.V., Gubanov I.Yu. [et al.] Analysis of energy and power conditions of a continuous extrusion (Conform) method. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, no. 3, pp. 44-51.
6. Bogdanov D.V., Belyaev S.V., Gorokhov Yu.V. [et al.] A study of the capture conditions within a combined casting and continuous extrusion (Conform) process. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* [Journal of Siberian Federal University. Series: Engineering and Technology], 2015, vol. 8, no. 5, pp. 576-581.
7. Gorokhov Yu.V., Solopko I.V., Suslov V.P. [et al.] *Ustanovka dlya nepreryvnogo litya-pressovaniya metallov* [A continuous casting and extrusion machine]. Patent RF, no. 111783, 2011.
8. Belyaev S.V., Gorokhov Yu.V., Gubanov I.Yu. [et al.] *Ustroistvo dlya nepreryvnogo litya i pressovaniya svarochnyy provoloki metodom Konform* [A welding wire continuous casting and extrusion machine based on the Conform method]. Patent RF, no. 155319, 2015.

Received 02/11/15

Исследование технологий изготовления Al-Sr лигатурных прутков для модифицирования алюминиевых сплавов / Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В., Губанов И.Ю., Горохова Т.Ю. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №3. С. 21–24. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-3-21-24

Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V., Uskov I.V., Gubanov I.Yu., Gorokhova T.Yu. A study of the Al-Sr grain refiner manufacturing techniques. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 3, pp. 21–24. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-3-21-24