



УДК 669.714
DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-19-23

Поступила 31.07.2018
Received 31.07.2018

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

И. П. ВОЛЧОК, А. А. МИТЯЕВ, Р. А. ФРОЛОВ, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина, ул. Жуковского, 64. E-mail: tmzntu@gmail.com

В статье показана возможность получения качественных отливок из шихты, состоящей из вторичных сплавов А356.2 и АК7ч с высоким содержанием железа. Установлено, что комплексная обработка расплава модификатором и мелкокристаллическим переплавом при содержании железа в сплаве до 1,84% позволяет получить уровень механических свойств, соответствующих требованиям ГОСТ 1583-93.

Ключевые слова. Вторичный алюминий, интерметаллидные фазы, структура, наследственность, модифицирующая обработка.

Для цитирования. Волчок, И. П. Комплексная технология повышения качества вторичных алюминиевых сплавов / И. П. Волчок, А. А. Митяев, Р. А. Фролов // *Литье и металлургия*. 2018. № 4. С. 19–23. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-19-23.

COMPLEX TECHNOLOGY OF SECONDARY ALUMINIUM ALLOYS QUALITY INCREASING

I. P. VOLCHOK, A. A. MITYAYEV, R. A. FROLOV, Zaporozhye National Technical University, Zaporozhye, Ukraine, 64, Zhukovskogo str. E-mail: tmzntu@gmail.com

In the article the possibility of obtaining high-quality castings from a charge, consisting of secondary aluminium A356.2 and AK7ch with a high level of iron, is considered. The influence of the complex treatment of the melt by a modifier and fine-crystalline remelting at an iron content in the alloy to 1.84% is presented.

Keywords. Secondary aluminium, intermetallic phases, structure, heredity, modifying processing.

For citation. Volchok I. P., Mityayev A. A., Frolov R. A. Complex technology of secondary aluminium alloys quality increasing. *Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 4, pp. 19–23. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-19-23.

Введение

С середины 60-х годов XX ст. алюминий и его сплавы по объемам производства в мире заняли второе место после сплавов на основе железа [1]. С тех пор выпуск алюминиевых сплавов благодаря их широкому применению в космической, авиационной, автомобильной, строительной и других отраслях непрерывно увеличивается. Одновременно повышаются требования к их механическим и служебным свойствам и соответственно увеличивается количество научно-исследовательских работ, посвященных повышению качества алюминиевых сплавов. В этом плане, кроме широко применяемого примесного модифицирования, разработано большое количество методов обработки жидкого металла: инертными газами, импульсным электрическим током, магнитными полями, ультразвуком, вибрацией, ускоренным отверждением, мелкокристаллическими лигатурами и(или) шихтой, методом смешивания одно- и двухфазного расплава и др. [1, 2]. В работах Е. И. Маруковича и В. Ю. Стеценко [3, 4] показаны высокие эффективность и технологичность наследственного модифицирования силуминов благодаря генетической связи между структурой алюминиевых сплавов в жидком и твердом состоянии. Теоретические исследования и практика производства показали, что расплав алюминия, который является промежуточным звеном в цепи шихта-расплав-отливка, несет информацию о природе исходных материалов и может служить объектом для улучшения структуры и свойств литых изделий.

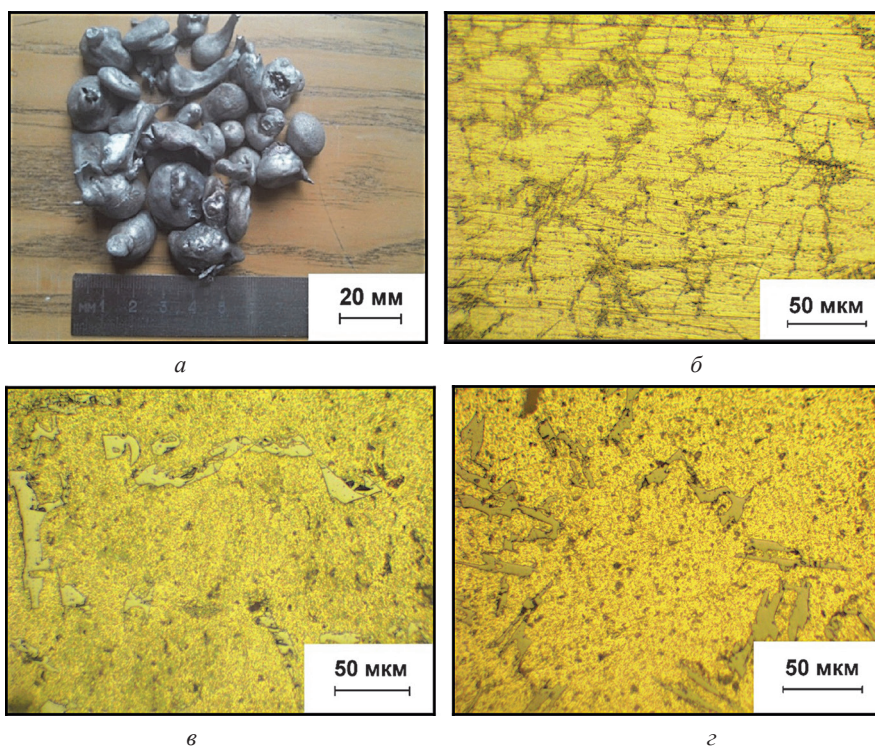


Рис. 1. Микроструктура сплавов АК7ч (а) и А356.2 (б), гранулы (в) и микроструктура МКП (г)

Цель работы. Известно, что вторичные алюминиевые сплавы вследствие загрязнения исходных материалов имеют неблагоприятную гетерогенную структуру с большим количеством пластинчатых интерметаллидных фаз и, как следствие, низкий уровень механических свойств. Одним из примесных элементов, оказывающим отрицательное влияние на структуру и свойства алюминиевых сплавов, является железо. Перечисленные выше методы обработки жидкого металла не позволяют полностью нейтрализовать отрицательное влияние железа, особенно при его высоком содержании. В связи с этим представляется перспективной комплексная технология рафинирования и модифицирования расплава. В данной работе ставилась задача изучить совместное влияние мелкокристаллического переплава (МКП) и количества модификатора МК-1 [5] на структуру и механические свойства силумина АК7ч с различным содержанием железа.

Материалы и методики исследований. В качестве шихты использовали отходы производства в виде литников сплавов АК7ч и А356.2 (табл. 1) и мелкокристаллический переплав (рис. 1). Экспериментальные 20 сплавов получали в печи сопротивления в тигле емкостью 3 кг в соответствии с матрицей планирования эксперимента 2^3 (табл. 2).

Таблица 1. Химический состав шихты

| Сплав | Содержание элементов, мас.% | | | | | | |
|--------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ti |
| АК7ч | 6,72 | 0,60 | 0,05 | 0,08 | 0,32 | 0,02 | 0,01 |
| А356.2 | 7,07 | 0,11 | 0,02 | 0,02 | 0,23 | 0,03 | 0,07 |

Таблица 2. Ротатабельный план второго порядка 2^3

| Интервал варьирования и уровень факторов | Изучаемые факторы | | |
|--|-------------------|---------------|-----------------|
| | X_1 (МКП, %) | X_2 (Fe, %) | X_3 (МК-1, %) |
| Нулевой уровень $X_0 = 0$ | 42,05 | 1,0 | 0,1 |
| Интервал варьирования | 1,0 | 25 | 0,5 |
| | 1,682 | 42,05 | 0,84 |
| Нижний уровень | $X = -1,0$ | 17,05 | 0,5 |
| Верхний уровень | $X = +1,0$ | 67,05 | 1,5 |
| Звездные точки | $X = -1,682$ | 0 | 0,16 |
| | $X = +1,682$ | 84,1 | 1,84 |

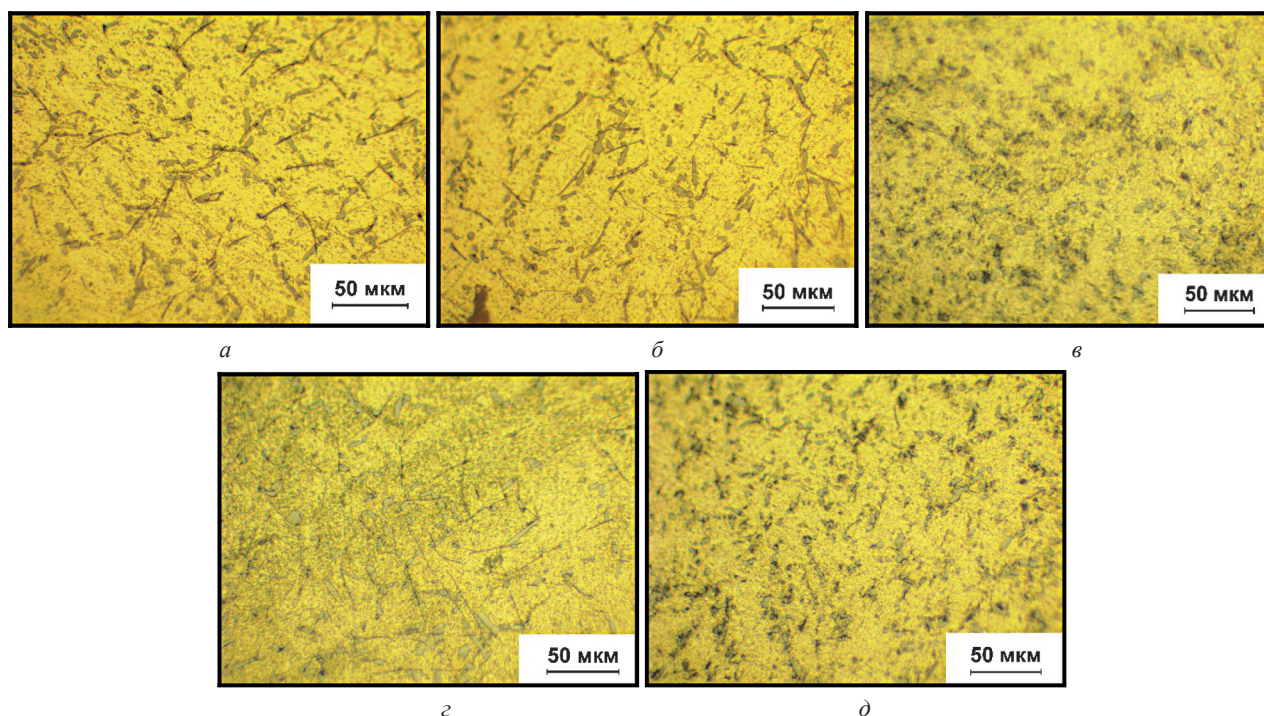


Рис. 2. Микроструктура сплавов: *a* – 0% МКП 1,0% Fe 0,1% МК-1; *б* – 42,05% МКП 1,0% Fe 0,1% МК-1; *в* – 84,1% МКП 1,0% Fe 0,1% МК-1; *г* – 42,05% МКП 1,0% Fe 0,016% МК-1; *д* – 42,05% МКП 1,0% Fe 0,184% МК-1

Содержание железа в каждом сплаве было обеспечено соотношением составляющих шихты (табл. 1) и присадками железного порошка ПЖР2 в расплав при температуре 720 °С. Перед заливкой в стальной кокиль расплав обрабатывали в тигле модификатором МК-1 [5] с помощью колокольчика.

Анализ микроструктуры проводили на оптическом микроскопе SIGETA MM-700 после обработки поверхности шлифа реактивом Келлера 0,5%HF + 0,5%HNO₃ + 1,5%HCl в течение 10 с. Контроль механических свойств выполняли после термообработки Т6 по ГОСТ 1583-93.

Результаты и обсуждение. Независимо от технологического варианта плавки все сплавы имели структуру, состоящую из алюминиевой матрицы (α-твердый раствор Si и других примесей в Al), эвтектического Si и интерметаллидных фаз Al₅FeSi, Al₃Fe, Al₂Fe (рис. 2).

В зависимости от содержания МКП, Fe в составе шихты и количества применяемого модификатора частицы кремния и железосодержащих фаз изменяли свой размер и форму, что явилось основным фактором, влияющим на механические свойства сплавов [6]. Повышение содержания Fe с 0,16 до 1,84% приводило к увеличению в сплаве количества интерметаллидных фаз, а обработка модификатором МК-1 – к получению интерметаллидов и кремния компактной формы. Повышение содержания МКП в составе шихты способствовало диспергированию основных структурных составляющих и измельчению размера зерна (рис. 2).

Статистическая обработка результатов позволила получить зависимости предела прочности, относительного удлинения и твердости от исследуемых факторов в виде уравнений второго порядка:

$$\sigma_B = 215,85 + 1,6\text{МКП} + 83,97\text{Fe} + 579,58(\text{МК-1}) + 0,35\text{МКПFe} - 0,63\text{МКП}(\text{МК-1}) + 152,5\text{Fe}(\text{МК-1}) - 0,026\text{МКП}^2 - 63,34\text{Fe}^2 - 3568,84(\text{МК-1})^2, \quad (1)$$

$$\delta = 4,65 + 0,09\text{МКП} + 0,52\text{Fe} + 26,67(\text{МК-1}) + 0,36\text{МКП}(\text{МК-1}) + 2\text{Fe}(\text{МК-1}) - 0,001\text{МКП}^2 - 2,27\text{Fe}^2 - 255,4(\text{МК-1})^2, \quad (2)$$

$$\text{HRB} = 28,65 + 0,4\text{МКП} + 10,15\text{Fe} + 191,27(\text{МК-1}) + 0,09\text{МКПFe} - 0,92\text{МКП}(\text{МК-1}) - 4,15\text{Fe}(\text{МК-1}) - 0,007\text{МКП}^2 - 4,27\text{Fe}^2 - 592,68(\text{МК-1})^2. \quad (3)$$

С использованием уравнений (1)–(3) на рис. 3, *a* показано влияние количества МКП при постоянной присадке модификатора МК-1, равной 0,1%, на механические свойства сплава АК7ч с тремя концентрациями железа, на рис. 3, *б* – влияние величины присадки МК-1 на механические свойства АК7ч при постоянном содержании в шихте МКП, равном 42,05%, и тех же концентрациях железа.

Анализ полученных данных свидетельствует о наличии экстремальных зависимостей σ_B , δ и HRB от содержания МКП в шихте и величины присадки модификатора МК-1. Наиболее высокие значения меха-

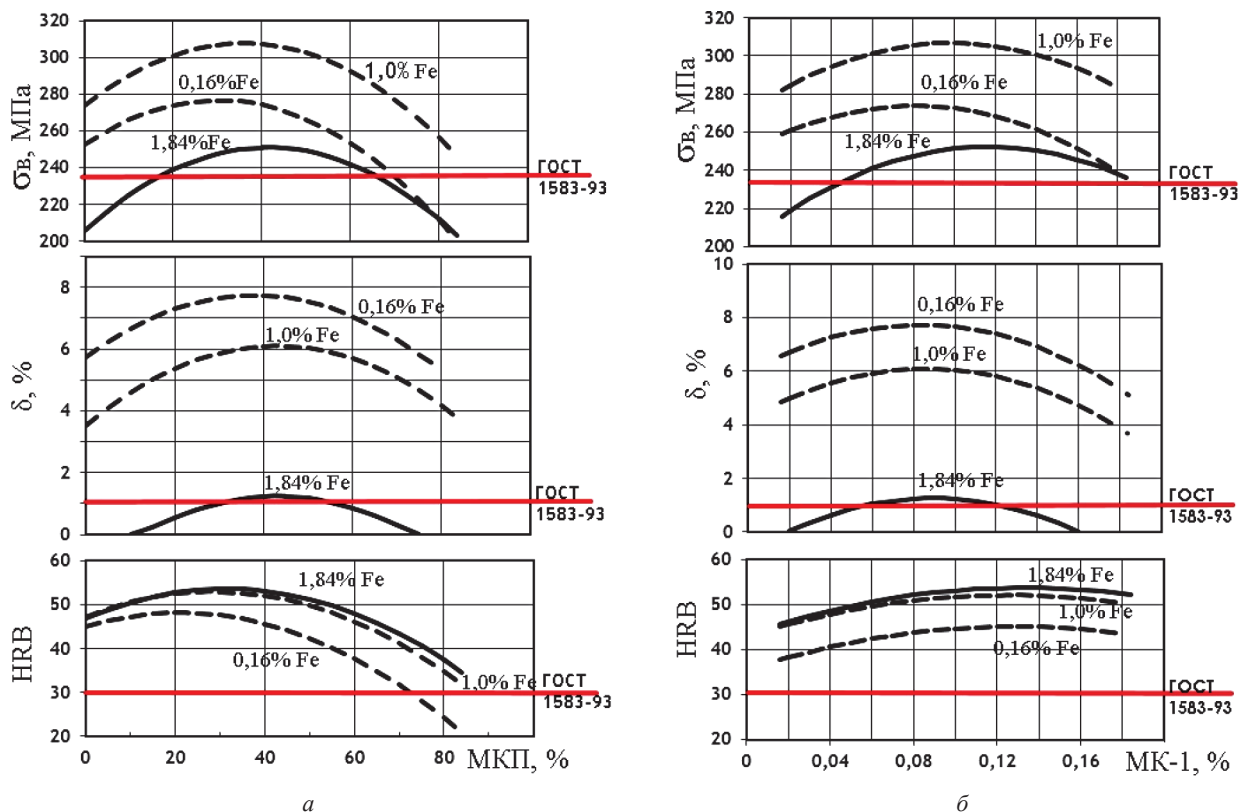


Рис. 3. Механические свойства сплава АК7ч

нических свойств получены при содержании МКП в шихте 35–45% и при присадке МК-1 0,09–0,11%. Увеличение в сплаве содержания железа сдвигает значения МКП и МК-1, обеспечивающие оптимумы механических свойств, в сторону их увеличения. Следует отметить экстремальный характер зависимости σ_b от содержания в сплаве железа. Это можно объяснить тем, что в малом количестве железосодержащие интерметаллиды тормозят движение дислокаций и способствуют повышению прочности, в большом количестве вследствие их хрупкости и способности к расслоению снижают пластичность и облегчают процессы разрушения [1, 6]. Результаты выполненных исследований показали возможность существенного повышения механических свойств сплава АК7ч, при этом даже при содержании железа 1,84% оптимальные величины МКП и МК-1 обеспечили получение механических свойств выше требований ГОСТ 1583-93 (рис. 3).

Выводы

1. Разработана комплексная технология, включающая использование мелкокристаллического переплава и модифицирующую обработку, для производства качественных силуминов из низкосортной шихты с высоким содержанием железа.
2. Технология прошла проверку в промышленных условиях и рекомендована к внедрению [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мітяєв О. А. Науково-технологічні основи формування структури, фізико-механічних і службових властивостей вторинних силумінів: автореф. дис. ... д-р техн. наук. Запоріжжя, 2008. 34 с.
2. Пригунов С. В. Структуроутворення та механічні властивості доєвтектичних залізовмісних силумінів, оброблених у рідкому стані однополярним імпульсним електричним струмом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпропетровськ, 2014. 21 с.
3. Марукович Е. И. Модифицирование сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко. Минск: Беларуская навука, 2009. 192 с.
4. Марукович Е. И. Получение литейных сплавов с инвертированной структурой / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литье и металлургия. 2001. № 4. С. 36–39.
5. Пат. 46094 Україна, МПК (2009) С22С1/00. Модифікувальний комплекс для алюмінієвих сплавів / Лоза К. М., Мітяєв О. А., Волчок І. П. (Україна); заявник та патентовласник Запорізький національний технічний університет. № u200905914; заявл. 09.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23. 4 с.
6. Лютова О. В. Підвищення технологічних та механічних властивостей доєвтектичних вторинних силумінів: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Запоріжжя, 2012. 17 с.

7. Фролов Р. А. Наследственное модифицирование вторичных алюминиевых сплавов / Р. А. Фролов, А. А. Митяев, И. П. Волчок, А. С. Петрашев // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. Днепро, 2017. Вып. 95. С. 142–148.

REFERENCES

1. Mityaev A. A. *Naukovo-tehnolohichni osnovy formuvannia struktury, fizyko-mekhanichnykh i sluzhbovykh vlastyvostei vtorynykh syluminiv: avtoref. dis. na zdobuttya stupenya doktora tehn. nauk: spets. 05.02.01* [Scientific and technological bases of formation of structure, physical, mechanical and service properties of secondary silumins: abstract for the degree of doctor of engineering. Sciences specials. 05.02.01]. Zaporizhia, 2008, 34p. Available at: <http://www.irbis-nbu.gov.ua>. (in Ukrainian).
2. Prigunov S. V. *Strukturoutvorennia ta mekhanichni vlastivosti doevtektichnykh zalizovmisnykh syluminiv, obroblenykh u rikomu stani odnopolyarnym impulsnym elektrychnym strumom: avtoref. dis. na zdobuttya stupenya kand. tehn. nauk: spets. 05.16.01* [Structure formation and mechanical properties of hypoeutectic iron-bearing silumines, treated in a liquid state by unipolar pulsed electric current] Dnipropetrovsk, 2014, 21p. Available at: <http://www.irbis-nbu.gov.ua>. (in Ukrainian).
3. Marukovich E. I. *Modifitsirovanie splavov* [Modifying alloys]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009, 192 p. (in Russian).
4. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. *Poluchenie liteynykh splavov s invertirovannoy strukturoi* [Production of cast alloys with inverted structure]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2001, no. 4, pp. 36–39.
5. Loza K. M., Mityayev O. A., Volchok I. P. *Modyfikovalnyi kompleks dlia aliuminiievyykh splaviv* [Modifying complex for aluminium alloys] Patent UA, no. u200905914, 2009. (in Russian).
6. Lyutova O. V. *Pidvyschennia tekhnolohichnykh ta mekhanichnykh vlastyvostei doevtektichnykh vtorynykh syluminiv: avtoref. dis. na zdobuttya stupenya kand. tehn. nauk: spets. 05.02.01* [Increasing of technological and mechanical properties of hypoeutectic secondary silumins: abstract for the degree of candidate of engineering. Sciences specials. 05.02.01]. Zaporizhia, 2012, 17p. (in Ukrainian).
7. Frolov R. A., Mityaev A. A., Volchok I. P., Petrashev A. S. *Nasledstvennoe modifitsirovanie vtorynykh aljuminievyykh splavov* [Hereditary modification of secondary aluminum alloys] *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya Starodubovskie chteniia = Building. Material science. Mechanical engineering. Series: Starodubov readings*, 2017, no. 95, pp. 142–148. Available at: http://nbu.gov.ua/UJRN/smmc_2017_95_26. (in Russian).