



УДК 669.7.018
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-19-22

Поступила 15.03.2019
Received 15.03.2019

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК ИЗ СИЛУМИНОВ. ПУТИ РЕШЕНИЯ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. E-mail: lms@itm.by

Показано, что основными технологическими проблемами модифицирования структуры отливок из силуминов являются отсутствие универсальных модификаторов, ограниченность их действия; насыщение расплава водородом и оксидом кремния. Примесные модификаторы не решают эти проблемы. Их можно решить методом наследственного модифицирования. Для этого необходимо использовать отливки из силумина с высокодисперсной микроструктурой, полученные литьем в кристаллизатор с высокой скоростью охлаждения.

Ключевые слова. Модифицирование, силумин, расплав, модификаторы, наследственное модифицирование, структурная наследственность, кристаллизатор.

Для цитирования. Марукович, Е. И. Технологические проблемы модифицирования структуры отливок из силуминов. Пути решения / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литье и металлургия. 2019. № 2. С. 19–22. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-19-22.

TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF MODIFYING OF STRUCTURE OF SILUMIN CASTINGS. SOLUTIONS

E. I. MARUKOVICH, V. Yu. STETSENKO, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli str. E-mail: lms@itm.by

It is shown that the main technological problems of modifying of structure of silumin castings are: absence of the universal modifiers, limitation of their action in time; saturation of a melt by hydrogen and oxide of silicon. Admixture modifiers do not solve these problems. These problems could be solved by method of hereditary modifying. For this purpose it is necessary to use the silumin castings with a high-dispersible microstructure received by casting in a crystallizer with a high speed of cooling.

Keywords. Modifying, silumin, melt, modifiers, hereditary modifying, structural heredity, crystallizer.

For citation. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. Technological problems of modifying of structure of silumin castings. Solutions. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 2, pp. 19–22. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-19-22.

Первая технологическая проблема модифицирования – отсутствие универсальности модификаторов и ограниченность их действия. Для модифицирования первичных кристаллов α -фазы в основном используют лигатуры Al–Ti, Al–Zr, Al–Ti–B. Для модифицирования эвтектики наиболее эффективны натрий- и стронцийсодержащие модификаторы. Для модифицирования первичных кристаллов β -фазы в основном используют фосфорсодержащие лигатуры. При этом модифицирующими элементами являются Na, Sr, P. При совместном использовании натрия или стронция с фосфором образуются фосфиды, которые не обладают модифицирующим действием. В результате в отливках заэвтектического силумина измельчаются только первичные кристаллы β -фазы, а эвтектика остается немодифицированной. Время действия натрийсодержащего модификатора не превышает 40 мин, что не позволяет его использовать при непрерывном процессе литья. Для всех примесных модификаторов существует концентрационный предел, при превышении которого происходит демодифицирование микроструктуры отливок (перемодифицирование). Это явление ограничивает использование возврата и вторичных чушковых силуминов для получения качественных заготовок.

Вторая технологическая проблема модифицирования – насыщение расплава силумина водородом и оксидом алюминия. Эта проблема наиболее характерна для процесса модифицирования эвтектики.

Для этого чаще всего используют хлорид, фторид, карбонат натрия. NaCl взаимодействует с жидким силумином по известной реакции:



При этом образуется жидкий натрий и выделяется газообразный хлорид алюминия, который является экологически небезопасным веществом. NaF взаимодействует с расплавом силумина по известной реакции:



При этом образуются жидкий натрий и криолит. Карбонат натрия при температуре модифицирования диссоциирует на оксид натрия и углекислый газ. Na₂O взаимодействует с жидким силумином по известной реакции:



При этом образуются жидкий натрий и оксид алюминия ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$). Его удельный вес больше, чем у силуминового расплава, поэтому при его обработке карбонатом натрия жидкий силумин будет насыщаться оксидом алюминия. Для его удаления необходимо проведение фильтрования расплава силумина. Но после такой обработки исчезает эффект модифицирования эвтектики [1]. Натрий не растворяется в силумине из-за относительно большой разницы атомных и ионных радиусов с алюминием и кремнием. У натрия атомный радиус равен 0,190 нм, у алюминия – 0,143, у кремния – 0,117 нм. У Na ионный радиус составляет 0,098 нм, у Al – 0,057, у Si – 0,039 нм [2]. Натрий в расплаве силумина после его обработки натрийсодержащим модификатором находится в виде эмульсии. Она образуется вследствие того, что жидкий натрий обладает значительно меньшим удельным поверхностным натяжением, чем расплав силумина [2, 3]. Образование в нем натриевой эмульсии подтверждается тем, что после процесса модифицирующей обработки вязкость жидкого эвтектического силумина возрастает в 15 раз [4]. Натриевая эмульсия из-за малой плотности обладает относительно низкой устойчивостью, что определяет действие модифицирующего эффекта не более 40 мин. Всплывая на поверхность, жидкий натрий взаимодействует с атмосферными парами воды по следующей реакции:



Молекулы водорода, адсорбируясь поверхностью расплава, распадаются на атомы, которые проникают в жидкий силумин. В результате происходит его насыщение водородом. Этот процесс ускоряется интенсивной воздушной конвекцией, происходящей над поверхностью расплава. Здесь сильно нагретый и осушенный воздух ускоренно поднимается вверх, а на его место интенсивно поступает более влажный атмосферный воздух. Он будет взаимодействовать с всплывающей натриевой эмульсией в соответствии с реакцией (4). В результате процесс насыщения расплава силумина водородом будет идти ускоренно и непрерывно. Кроме того, образующийся по реакции (4) оксид натрия будет вступать в реакцию с жидким силумином в соответствии с реакцией (3). При этом образуются оксид алюминия и жидкий натрий. Частицы Al₂O₃ будут тонуть в силуминовом расплаве, а натрий – взаимодействовать с атмосферными парами воды по реакции (4). В результате этих процессов жидкий силумин относительно быстро насыщается оксидом алюминия и водородом.

Стронций, как и натрий, не растворим в силумине из-за относительно больших атомного и ионного радиусов. У Sr атомный радиус составляет 0,216 нм, а его ионный радиус – 0,127 нм. Температура плавления стронция равна 770 °C [2]. Поэтому в расплаве силумина Sr находится в виде высокодисперсных коллоидных частиц. Они образуются вследствие того, что стронций обладает значительно меньшей удельной поверхностной энергией, чем силуминовый расплав [2, 3]. В отличие от натриевой эмульсии стронциевый коллоид более устойчив в жидком силумине, так как их плотности примерно равны [2, 3]. Поэтому время живучести процесса модифицирования с применением стронция значительно выше, чем при использовании натрия. Но длительные выдержки расплава, обработанного стронцийсодержащей лигатурой, приводят к насыщению жидкого силумина водородом по следующей реакции:



Здесь работает тот же механизм насыщения силуминового расплава водородом и оксидом алюминия, как и в случае применения натрийсодержащего модификатора. Оптимальное содержание стронция для получения максимального модифицирующего эффекта составляет 0,05% [5]. Но при этом в отливке резко возрастает количество пор [1]. В отличие от натрия, который выгорает при переплаве модифицированного возврата, стронций накапливается в отливках, что приводит к демодифицированию дендритных

кристаллов эвтектики. Содержание стронция в расплаве силумина не должно превышать 0,1% [5]. Если рафинировать и (или) фильтровать жидкий силумин после его обработки стронцийсодержащим модификатором, то исчезнут стронциевый коллоид и эффект модифицирования. Вибрация будет ускорять коагуляцию стронциевого коллоида, что снизит эффективность процесса модифицирования эвтектики.

Решить технологические проблемы модифицирования структуры отливок из силуминов можно путем отказа от применения примесных модификаторов. Для этого в Институте технологии металлов НАН Беларуси разработан эффективный способ наследственного модифицирования [6]. Он основан на явлении структурной наследственности, при котором микроструктура шихтовых силуминов после их переплава наследуется получаемыми отливками. В настоящее время при литье силуминов в основном используется плохая структурная наследственность. Применяемые силуминовые шихтовые материалы (чушковые слитки и возврат) имеют, как правило, крупнокристаллическую микроструктуру, которая при их переплаве наследуется получаемыми отливками. Поэтому и применяется примесное модифицирование – использование примесных модификаторов. Чтобы этого избежать, необходимо в качестве шихтовых материалов использовать мелкокристаллический силумин. Известно, что при его добавлении в шихту или расплав получают отливки из силуминов с модифицированной микроструктурой. Время живучести процесса наследственного модифицирования силумина зависит от дисперсности и морфологии кристаллов эвтектического кремния. Чем они мельче и глобулярны, тем более устойчивы в расплаве. Установлено, что если в качестве шихтовых материалов использовать отливки из силумина с глобулярным эвтектическим кремнием дисперсностью 1–4 мкм, то время живучести процесса наследственного модифицирования в обычных условиях литья составляет 2–3 ч [6]. Это позволило разработать принципиально новый способ наследственного модифицирования, с помощью которого можно решить технологические проблемы модифицирования структуры силуминов. Способ основан на литье в кристаллизатор с затопленно-струйной системой охлаждения [6]. Он, при прочих равных гидравлических параметрах, по сравнению с обычным (щелевым) кристаллизатором позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи от охлаждаемой поверхности гильзы к охладителю более чем в 2 раза [6]. Это происходит благодаря уменьшению толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев. Линейная скорость затвердевания отливок диаметром 100 мм из эвтектического силумина в кристаллизаторе с затопленно-струйной системой охлаждения в среднем в 3 раза выше, чем таких же отливок, но полученных литьем в обычный (щелевой) кристаллизатор. Это обеспечивает получение отливок из эвтектического силумина с глобулярным кремнием дисперсностью 2–3 мкм без применения примесных модификаторов. Такой процесс литья позволяет использовать вибрацию глуходонного кристаллизатора для ускоренной дегазации силуминового расплава в процессе его затвердевания. Способ наследственного модифицирования экологически безопасен, так как не требует применения примесных модификаторов. Производительность процесса циклического литья в глуходонный кристаллизатор с затопленно-струйной системой охлаждения, рабочей втулкой с внутренним диаметром 100 мм и высотой 300 мм составляет в среднем 1,4 т/ч. При попеременном литье в два таких кристаллизатора производительность процесса литья будет составлять 3 т/ч, что позволит обеспечить необходимыми шихтовыми силуминовыми отливками с высокодисперсной микроструктурой и глобулярным эвтектическим кремнием любой литейный цех и решить технологические проблемы модифицирования структуры отливок из силуминов.

Выводы

- Основными технологическими проблемами модифицирования структуры отливок из силуминов являются отсутствие универсальных модификаторов, ограниченность их действия; насыщение расплава силумина водородом и оксидом алюминия.
- Примесные модификаторы не решают эти проблемы, а способствуют им, особенно натрий- и стронцийсодержащие модификаторы.
- Технологические проблемы модифицирования структуры отливок из силуминов можно решить методом наследственного модифицирования, используя в качестве шихтовых материалов силуминовые отливки с высокодисперсной микроструктурой, полученные литьем в кристаллизатор с высокой интенсивностью охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Задруцкий С. П., Немененок Б. М., Королев С. П. и др. Рафинирование и модифицирование алюминиевых сплавов // Литейное производство. 2004. № 3. С. 17–20.

2. **Свойства** элементов. Ч. 1. Физические свойства: справ. / Под ред. Г. В. Самсонова. М.: Metallurgiya, 1976. 600 с.
3. **Строганов Г. Б., Ротенберг В. А., Гершман Г. Б.** Сплавы алюминия с кремнием. М.: Metallurgiya, 1977. 272 с.
4. **Боом Е. А.** Природа модифицирования сплавов типа силумин. М.: Metallurgiya, 1972. 72 с.
5. **Вахобов А. В., Ганиев И. Н.** Стронций – эффективный модификатор силуминов // Литейное производство. 2000. № 5. С. 28–29.
6. **Марукович Е. И., Стеценко В. Ю.** Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009. 192 с.

REFERENCES

1. **Zadruckij S. P., Nemenenok B. M., Korolev S. P.** i dr. Rafinirovanie i modifitsirovanie alyuminiyevykh spлавov [Refinement and modifying of aluminum alloys]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2004, no. 3, pp. 17–20.
2. **Svoystva ehlementov. Fizicheskie svoystva: spravochnik** [Properties of elements. Physical properties: reference]. P. 1. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. 600 p.
3. **Stroganov G. B., Rotenberg V. A., Gershman G. B.** *Splavy alyuminiya s kremniem* [Aluminum alloys with silicon]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 272 p.
4. **Boom E. A.** *Priroda modifitsirovaniya spлавov tipa silumin* [The nature of modifying of alloys like silumin]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 72 p.
5. **Vahobov A. V., Ganiev I. N.** Stroncij – ehffektivnyj modifikator siluminov [Strontium – the effective modifier of silumins]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2000, no 5, pp. 28–29.
6. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu.** *Modifitsirovanie spлавov* [Modifying of alloys]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 192 p.