



УДК 669.154

Поступила 20.06.2016

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛИТЬЯ СИЛУМИНОВ. ПУТИ РЕШЕНИЯ MAIN PROBLEMS OF MOULDING OF SILUMINS. WAYS OF SOLUTION

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

*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*

*Показано, что основные проблемы литья силуминов связаны с недостаточным модифицированием структуры отливок, их большой склонностью к газовой пористости, трудноудаляемыми неметаллическими включениями. Для решения этих проблем необходимы защита жидкого силумина от воздействия воздушной атмосферы; использование тиглей из оксида алюминия; рафинирование расплава от неметаллических включений и водорода; применение ускоренного затвердевания отливок.*

*The main problems of silumin' moulding are connected with insufficient modifying of casting structure, their considerable inclination to gas porosity, difficult to remove nonmetallic inclusions and these features are shown in the article. Protection of liquid silumin from influence of the air atmosphere; use of crucibles from aluminum oxide; refinement of fusion from nonmetallic inclusions and application of the accelerated hydrogen hardening of castings were used to solve these problems, as it is shown in the article.*

**Ключевые слова.** *Литье, плавка, силумин, модифицирование, газовая пористость, неметаллические включения, рафинирование, затвердевание отливок, микроструктура.*

**Keywords.** *Moulding, melting, silumin, modifying, gas porosity, nonmetallic inclusions, refinement, hardening of castings, microstructure.*

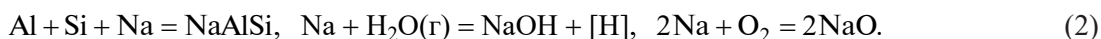
В настоящее время из алюминиевых сплавов наибольшее применение получили силумины. Они имеют относительно низкие плотность, стоимость, температуру плавления и обладают отличными литейными свойствами. Недостатки силуминов – это относительно невысокие механические и технологические свойства. Обычные силуминовые отливки обладают низкими пластичностью и антифрикционными свойствами, что объясняется следующими основными проблемами литья силуминов.

1. Недостаточное модифицирование структуры отливок.
2. Большая склонность к газовой пористости.
3. Трудноудаляемые неметаллические включения.

Первая проблема обусловлена отсутствием универсальных модификаторов, которые могли бы измельчать все фазы в отливках из силуминов. Кроме того, примесное модифицирование способствует наводороживанию расплава и его насыщению неметаллическими включениями. Основной структурной составляющей силуминов является алюминиево-кремниевая эвтектика (эвтектика). Для ее модифицирования используют флюсы, содержащие фтористый натрий, который реагирует с алюминием [1]:



В результате образуются криолит и жидкий натрий. Его поверхностное натяжение значительно меньше, чем у силумина. Поэтому в его расплаве жидкий натрий образует эмульсию. Именно она оказывает модифицирующее воздействие на эвтектику при затвердевании отливок из силуминов [2]. Эффективность действия натриевой эмульсии составляет не более 40 мин. После этого она коагулирует и всплывает на поверхность расплава. Здесь концентрация натрия существенно увеличивается и происходят следующие реакции:



Тройной силицид NaAlSi имеет температуру плавления 950 °С, поэтому в расплаве образует неметаллические включения [3]. Оксид натрия, частично восстанавливаясь алюминием, дает оксиды алюминия. Поэтому модифицирование силумина NaF насыщает расплав водородом и неметаллическими включениями, такими, как NaAlSi и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Для измельчения первичных кристаллов кремния в заэвтектических силуминах в основном используют фосфоросодержащую лигатуру, которая нейтрализует натрийсодержащий модифицирующий флюс, что приводит к получению отливок из заэвтектического силумина с относительно низкими механическими свойствами. Такие заготовки имеют либо мелкокристаллическую первичную микроструктуру, либо модифицированную эвтектическую. Для измельчения первичных кристаллов (дендритов) α-фазы используют лигатуры, содержащие такие устойчивые в расплаве интерметаллиды, как TiAl<sub>3</sub>, ZrAl<sub>3</sub> и TiB<sub>2</sub>. При коагуляции они образуют включения, ухудшающие механические свойства доэвтектического силумина. Но самым главным недостатком примесного модифицирования является эффект перемодифицирования. Он заключается в том, что при последующих переплавах модифицированного возврата и повторном применении таких же примесных модификаторов микроструктура отливок укрупняется, а их механические свойства снижаются. Это создает серьезные трудности применения вторичных сплавов. Проблема недостаточного модифицирования структуры отливок из силуминов заставляет исследователей искать пути ее решения. Самый эффективный из них – литье ускоренным затвердеванием. Это экологически безопасный процесс, обладающий универсальностью модифицирования всех фаз силуминов, высокой живучестью, отсутствием перемодифицирования.

Для существенного повышения скорости затвердевания отливок из силуминов разработаны способы литья закалочным затвердеванием и литье в кристаллизаторы с затопленно-струйными системами охлаждения [2]. Они позволяют получать заготовки диаметром 40–100 мм из силуминов с дисперсностями: α-фазы – 10–30 мкм; эвтектического кремния – 0,2–2,0; первичного кремния – 15–50 мкм. При этом эвтектический кремний имеет глобулярную форму, что значительно повышает механические и технологические свойства отливок из силуминов. Они становятся деформируемыми и антифрикционными сплавами. После термической обработки по режиму T5 заготовки из эвтектического силумина с глобулярным кремнием имеют следующие механические свойства: твердость – 120–140 МПа; временное сопротивление разрыву – 300–400 МПа; относительное удлинение – 2–5%. В Санкт-Петербургском институте машиностроения на торцовой машине трения в отсутствие смазки были проведены сравнительные триботехнические испытания заготовок из эвтектического силумина с глобулярным кремнием и бронзы БрОЦС5-5-5. Установлено, что при нормальном напряжении 12,8 Н и вращении с угловой скоростью 60 рад/с линейный износ и коэффициент трения скольжения по стали 45 у опытных силуминовых образцов был соответственно в 7 и 1,65 раз ниже, чем у аналогичных образцов из бронзы. Подобные испытания были проведены на машине трения СМЦ-2 со смазкой И20А. Установлено, что при нормальном напряжении 200 Н и вращении с угловой скоростью 30 рад/с линейный износ и коэффициент трения скольжения по стали 45 у образцов из эвтектического силумина с глобулярным кремнием были соответственно в 23 и 1,35 раз ниже, чем у аналогичных образцов из бронзы БрОЦС5-5-5.

Вторая проблема литья силуминов обусловлена высокой способностью расплава к насыщению водородом и его низкой растворимостью в затвердевшей отливке. Водород попадает в жидкий силумин по следующей реакции:



Оксидная пленка активно адсорбирует и удерживает пары воды даже при температуре расплава 890–900 °С [4]. Влага разрыхляет оксидную пленку, что облегчает доступ атмосферных паров воды к жидкому силумину. Основным газом, выделяющимся из расплава при его кристаллизации, является водород. Для снижения его концентрации в жидком силумине используют различные методы дегазации. Наиболее экологически безопасными и эффективными являются продувка расплава инертным газом, вымораживание, вакуумная и ультразвуковая обработка жидкого силумина, термовременная обработка шихты. Для дегазации инертным газом необходима система его глубокой очистки от паров воды и кислорода. Метод вымораживания основан на процессе выделения водорода из медленно охлаждающегося силуминового расплава. Основным недостатком этого способа дегазации является снижение производительности труда. Для ускорения процесса вымораживания в расплав добавляют твердые куски сплава [5]. Вакуумная и ультразвуковая обработка жидкого силумина требует специального оборудования. Кроме

того, эти способы дегазации относительно длительны по времени, что предполагает более высокий перегрев или подогрев расплава. Термовременная дегазация основана на существенном снижении концентрации водорода в шихте при ее нагреве и выдержке при температуре более 400 °С. Чтобы избежать насыщения расплава водородом, необходимо в процессе плавки и литья защищать жидкий силумин от воздействия воздушной атмосферы. Лучшей защитой служит инертный газ. Его заменителем может быть более дешевый очищенный от влаги и кислорода азот. Взаимодействуя с расплавом, этот газ частично образует высокодисперсные нитриды, которые способствуют измельчению зерна и повышению механических свойств отливок [5].

Третья проблема литья силумина обусловлена высокой реакционной способностью этого жидкого сплава. Он не реагирует только с оксидами алюминия. При взаимодействии расплава с углеродом образуется карбид  $Al_4C_3$ , а при реакции с оксидами – неметаллические включения  $Al_2O_3$ . Особо активно разъедается футеровка, в которой присутствует  $SiO_2$  [4]. Оксид алюминия также образуется при взаимодействии жидкого силумина с воздушной атмосферой. Основными неметаллическими включениями в силуминовом расплаве являются частицы  $\gamma-Al_2O_3$ . Они относительно тяжелы, их удельный вес составляет 3,2–3,7 г/см<sup>3</sup> [6]. Кроме того, с водородом дисперсные частицы  $\gamma-Al_2O_3$  образуют адсорбированные комплексы, что позволяет им плавать в жидком силумине, образовывать с ним коллоидную систему [4, 6]. Эти комплексы существенно затрудняют дегазацию расплава по водороду известными методами. Поэтому сначала необходимо рафинировать жидкий силумин от оксидно-водородных комплексов, а затем снижать концентрацию оставшегося водорода дегазационными способами. Часто эти два процесса совмещают, используя рафинирующие флюсы и барботирующие газы. Лучшим из них является инертный газ, очищенный от влаги и кислорода. Инертный газ экологически безопасен и не реагирует с жидким силумином, в отличие, например, от  $CO_2$ . При его взаимодействии с расплавом образуются  $Al_4C_3$  и  $Al_2O_3$  [4]. Для фильтрации жидкого силумина используют сетчатые и активные фильтры. Чтобы избежать насыщения расплава неметаллическими включениями, необходимо для плавки и литья использовать глиноземные (алундовые) тигли и защищать жидкий силумин от воздействия воздушной атмосферы. Лучшей защитой может служить очищенный инертный газ или азот.

Таким образом, основные проблемы литья силуминов связаны с недостаточным модифицированием структуры отливок, их большой склонностью к газовой пористости, трудноудаляемыми неметаллическими включениями. Пути решения этих проблем являются защита жидкого силумина от воздействия воздушной атмосферы; использование тиглей из оксида алюминия; рафинирование расплава от неметаллических включений и водорода; применение ускоренного затвердевания отливок.

### Литература

1. Кудюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М., Бибииков Е. Л. Производство отливок из сплавов цветных металлов. М.: Металлургия, 1986.
2. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009.
3. Боом Е. А. Природа модифицирования сплавов типа силумин. М.: Металлургия, 1972.
4. Альтман М. Б., Стромская Н. П. Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1984.
5. Ершов Г. С., Бычков Ю. Б. Высокопрочные алюминиевые сплавы из вторичного сырья. М.: Металлургия, 1979.
6. Добаткин В. И., Габидуллин Р. М., Колачев Б. А., Макаров Г. С. Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах. М.: Металлургия, 1976.

### References

1. Kudyumov A. V., Pikunov M. V., Chursin V. M., Bibikov E. L. *Proizvodstvo otlivok iz splavov cvetnykh metallov* [Production of castings from alloys of non-ferrous metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986.
2. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. *Modificirovanie splavov* [Modifying of alloys]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009.
3. Boom E. A. *Priroda modificirovaniya splavov tipa silumin* [The nature of modifying of alloys like alpac]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972.
4. Altman M. B., Stromskaya N. P. *Povyshenie svojstv standartnykh litejnykh alyuminiyevykh splavov* [Increase of properties of standard foundry aluminum alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984.
5. Ershov G. S., Bychkov Yu. B. *Vysokoprochnye alyuminiyevye splavy iz vtorichnogo syrya* [High-strength aluminum alloys from secondary raw materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1979.
6. Dobatkin V. I., Gabidullin R. M., Kolachev B. A., Makarov G. S. *Gazy i okisly v alyuminiyevykh deformiruemykh splavah* [Gases and oxides in aluminum deformable alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976.