



УДК 621.74:669

Поступила 28.02.2017

ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ СИЛУМИНА С ГЛОБУЛЯРНЫМ КРЕМНИЕМ

MANUFACTURE AND USE OF SILUMIN WITH GLOBULAR SILICON

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

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

Разработаны методы получения силумина с глобулярным кремнием. Налажен выпуск заготовок из этого нового антифрикционного материала. Детали из силумина с глобулярным кремнием по износостойкости и ресурсу работы не уступают либо превосходят аналогичные детали из промышленных антифрикционных бронз, но легче и дешевле их в 3 раза.

Methods of production of silumin with globular silicon are developed. The manufacturing of this new antifriction material are organized. The wear resistance and operational life of articles from silumin with globular silicon are on par with or surpass performance of similar articles of antifriction bronze, but the articles of silumin with globular silicon are lighter and three times cheaper than articles from antifriction bronze.

Ключевые слова. Силумин, глобулярный кремний, отливка, литье, закалочное затвердевание, струйный кристаллизатор, антифрикционные свойства.

Keywords. Silumin, globular silicon, casting, foundry, quench hardening, jet crystallizer, antifriction properties.

Силумин (сплав алюминия с кремнием) является перспективным материалом для промышленности Беларуси, имеет малую плотность, невысокую стоимость, низкую температуру плавления и высокие литейные свойства. Основным недостатком силуминовых слитков – дендритная структура, которая существенно снижает механические и антифрикционные свойства заготовки. Чтобы их повысить, необходимо получать отливки с недендритной (инвертированной) глобулярной микроструктурой, т. е. заготовки из силумина с глобулярным кремнием (СГК). Из всех способов для этой цели наиболее эффективным является литье ускоренным затвердеванием [1]. Глобулярная структура получается тогда, когда при затвердевании отливки образуется относительно большое количество центров кристаллизации, которые не успевают превратиться в дендриты. Для этого нужна более высокая линейная скорость затвердевания, чем при литье в обычный (щелевой) кристаллизатор.

В ИТМ НАН Беларуси были разработаны два способа литья ускоренным затвердеванием, обеспечивающих получение заготовок с СГК. Первый – метод литья закалочным затвердеванием [2]. Его суть заключается в следующем. Расплавом с помощью заливочного устройства 1 заполняют стационарный 2 и подвижный 3 кристаллизаторы (рис. 1, а); после достижения заданного уровня жидкий металл выдерживают для формирования стакана 4 с толщиной стенки 3–10 мм (рис. 1, б); с помощью подвижного кристаллизатора 3 происходит извлечение стакана 4 с расплавом 5 и их охлаждение в закалочной ванне 6 (рис. 1, в, г).

Линейная скорость затвердевания при формировании отливок из силумина методом литья закалочным затвердеванием на порядок больше, чем при литье в обычный кристаллизатор. В результате получают отливки с глобулярным наноструктурным кремнием (рис. 2).

Метод литья закалочным затвердеванием позволяет получать литые заготовки диаметром 50–150 мм и высотой до 300 мм. Они по сравнению с аналогичными непрерывнолитыми (серийными) имеют в 6–10 раз выше дисперсность фазовых составляющих и в 1,5–2,0 раза выше предел прочности на разрыв. Отливки из СГК, полученные методом литья закалочным затвердеванием, являются деформируе-

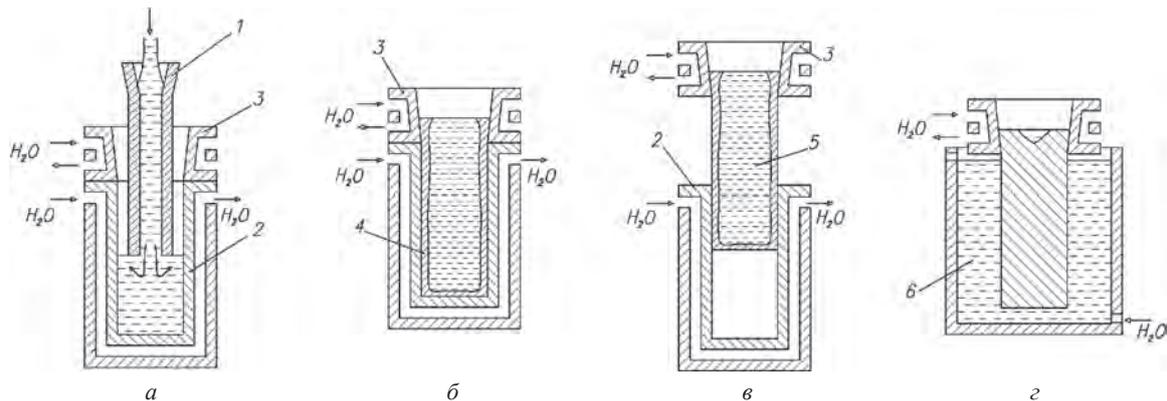


Рис. 1. Схема литья закалочным затвердеванием: а – заполнение кристаллизатора; б – формирование стакана; в – извлечение стакана с расплавом; г – закалочное затвердевание – получение отливки; 1 – заливочное устройство; 2 – стационарный кристаллизатор; 3 – подвижный кристаллизатор; 4 – стакан; 5 – расплав; 6 – закалочная ванна

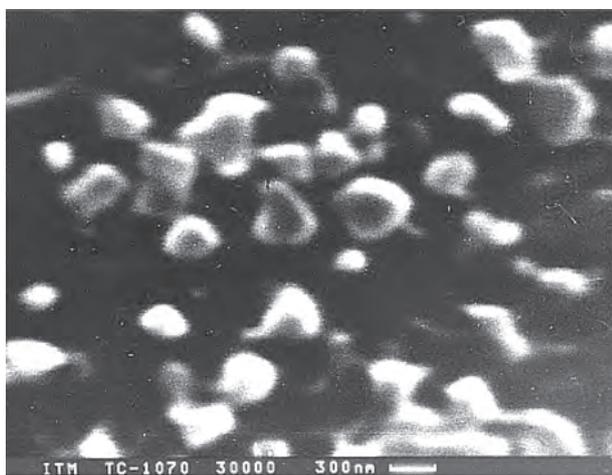


Рис. 2. Микроструктура литой заготовки диаметром 50 мм из сплава Al + 12% Si. $\times 30\,000$

мыми. Их можно подвергать прессованию, штамповке и прокатке.

Второй способ литья ускоренным затвердеванием – литье в струйный кристаллизатор, где используется затопленно-струйный метод охлаждения [3]. Он при прочих равных гидравлических параметрах позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи от охлаждаемой поверхности к охладителю более чем в 2 раза [1]. Это происходит благодаря уменьшению толщины гидродинамического и, следовательно, толщины теплового пограничного слоев. Линейная скорость затвердевания отливки диаметром 100 мм из эвтектического силумина в струйном кристаллизаторе в 3 раза выше, чем в обычном, что обеспечивает получение литых заготовок из СГК (рис. 3).

В ИТМ НАН Беларуси разработан метод НГЛ (непрерывно-горизонтальное литье) в струйный кристаллизатор с устройством затопленно-струйного вторичного охлаждения. Схема НГЛ представлена на рис. 4, а общий вид – на рис. 5.

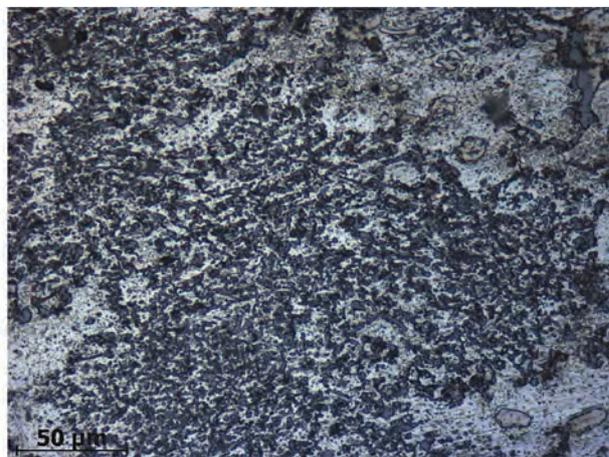
Скорость НГЛ слитков диаметром 70 мм из СГК составляет 1,4 м/мин, что на порядок выше, чем у лучших мировых аналогов (фирма Sung Yoon Engineering, Корея).

Размер глобул кремния в СГК можно увеличить путем ускоренного отжига отливок (рис. 6). После термической обработки по режиму Т5 непрерывнолитые заготовки из эвтектического СГК имеют вре-

В ИТМ НАН Беларуси разработан метод НГЛ (непрерывно-горизонтальное литье) в струйный кристаллизатор с устройством затопленно-струйного вторичного охлаждения. Схема НГЛ представлена на рис. 4, а общий вид – на рис. 5.



а



б

Рис. 3. Микроструктура литой заготовки диаметром 50 мм из сплава Al + 12% Si + 3% Cu: а – литье в обычный (щелевой) кристаллизатор; б – литье в струйный кристаллизатор. $\times 1000$

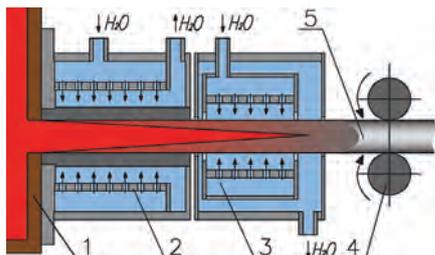


Рис. 4. Схема НГЛ в струйный кристаллизатор с использованием вторичного охлаждения: 1 – металлоприемник; 2 – струйный кристаллизатор; 3 – устройство затопленно-струйного вторичного охлаждения; 4 – тянущее устройство; 5 – слиток



Рис. 5. Непрерывное горизонтальное литье с использованием струйного охлаждения

менное сопротивление разрыву – 350–450 МПа и относительное удлинение – 3–5%. После прокатки со степенью деформации 65% предел прочности на разрыв увеличивается в среднем на 40%, а относительное удлинение – в 4 раза. Высокая степень структурной инверсии и высокодисперсная микроструктура обеспечивают СГК уникальные антифрикционные свойства. Их исследовали в Санкт-Петербургском институте машиностроения. Были проведены сравнительные триботехнические испытания образцов из СГК и бронзы БрОЦС5-5-5.

Установлено, что при испытании на торцовой машине трения в отсутствие смазки при нормальном напряжении 12,8 Н и вращении со скоростью 620 об/мин линейный износ образцов из СГК по стали 45 в 7 раз выше, чем у аналогичных образцов из бронзы; коэффициент трения скольжения по стали 45 у образцов из СГК в 1,65 раз ниже, чем у аналогичных образцов из бронзы.

Установлено, что при испытании на машине трения СМЦ-2 со смазкой И20А при нормальном напряжении 200 Н и вращении со скоростью 300 об/мин линейный износ образцов из СГК по стали 45 в 23 раза меньше, чем у аналогичных образцов из бронзы; коэффициент трения по стали 45 из образцов из СГК в 1,35 раз ниже, чем у аналогичных образцов из бронзы.

Аналогичные результаты получили по сравнению с бронзой БрАЖ9-4. Испытания проводили на машине трения СМЦ-2 в условиях сухого трения по схеме «вал-втулка» при давлении 0,6 МПа и скорости скольжения образца относительно стального шлифованного вала из стали 45 0,38 м/с. Было установлено, что линейный износ образцов из СГК в 10–15 раз ниже, чем у аналогичных образцов из бронзы БрАЖ9-4. Эти испытания свидетельствуют о том, что СГК может заменить традиционные антифрикционные бронзы в узлах трения машин и механизмов. Проведены опытно-промышленные испытания деталей из СГК в сравнении с аналогичными из бронз (см. таблицу).

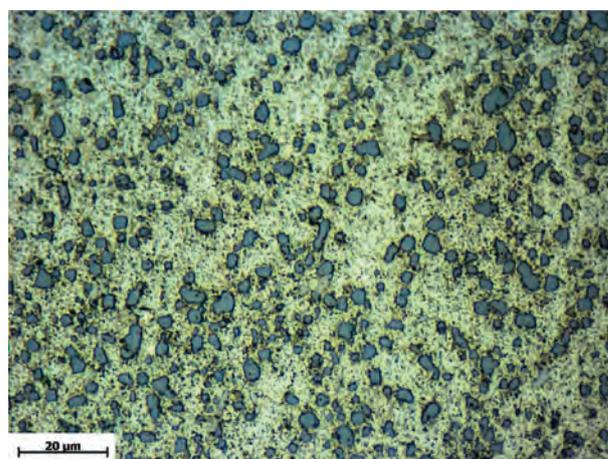


Рис. 6. Микроструктура заготовок из СГК после термической обработки

Опытно-промышленные испытания деталей из СГК

Предприятие	Страна	Результат
ПАО «Таганрогский металлургический завод»	Россия	Превосходят бронзовые
ОАО «Первоуральский новотрубный завод»	Россия	Превосходят бронзовые
ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»	Беларусь	Не уступают бронзовым
ОАО «Витебсклифт»	Беларусь	Не уступают бронзовым
ОАО «Гомсельмаш»	Беларусь	Не уступают бронзовым
ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»	Беларусь	Превосходят бронзовые
ОАО «Амкодор – Дзержинск»	Беларусь	Не уступают бронзовым
ОАО «Светлогорск Химволокно»	Беларусь	Не уступают бронзовым
ОАО «Белшина»	Беларусь	Не уступают бронзовым

Предприятие	Страна	Результат
Завод «Могилевтрансмаш» ОАО «МАЗ»	Беларусь	Превосходят бронзовые
ОАО «Гомельский завод станочных узлов»	Беларусь	Превосходят бронзовые
ОАО «Кузлитмаш»	Беларусь	Не уступают бронзовым
ОАО «Завод Оптик»	Беларусь	Превосходят бронзовые
ЧУП «ВС-Техника»	Беларусь	Не уступают бронзовым
ОАО «Оршанский станкостроительный завод «Красный Борец»	Беларусь	Не уступают бронзовым
РУП «Завод «Эвистор»	Беларусь	Не уступают бронзовым

Испытания показали, что детали из СГК по износостойкости и ресурсу работы либо превосходят детали из бронз, либо не уступают им.



Рис. 7. Сплошные и полые заготовки из антифрикционного СГК



Рис. 8. Детали машиностроения из антифрикционного СГК

Антифрикционный СГК запатентован в России [3, 4]. В ИТМ НАН Беларуси из СГК изготавливают сплошные мерные заготовки диаметром до 200 мм и высотой до 250 мм; полые заготовки наружным диаметром от 90 до 350 мм и высотой до 200 мм; непрерывнолитые прутки диаметром от 40 до 90 мм. Стоимость заготовки из СГК в 3 раза меньше, чем аналогичной из бронзы. Общий вид заготовок показан на рис. 7, а деталей из них – на рис. 8.

Поставка заготовок из СГК осуществляется по ТУ ВУ 700002421.003-2011 на 60 предприятий Беларуси, России и Кореи. Область применения заготовок из СГК – подшипники скольжения, шестерни червячных колес редукторов, втулки балансиров и шарнирных соединений, вкладыши люнета токарных станков и прессов, втулки сателлитов дифференциалов и сальниковых букс, поршни гидроцилиндров, направляющие втулки и другие детали узлов технологического оборудования.

Таким образом, силумин с глобулярным кремнием является новым антифрикционным материалом, который с успехом заменяет более тяжелые и дорогие серийные антифрикционные бронзы.

Литература

1. **Марукович Е. И., Стеценко В. Ю.** Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009. 192 с.
2. **Пат. RU 2288067**, МПК В22D7/00, 27/04. Способ литья заготовок / В. Ю. Стеценко, Е. И. Марукович. 2006. Бюл. № 33.
3. **Пат. RU 2342220**, МПК В22D11/055. Способ охлаждения кристаллизатора / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко. 2008. Бюл. № 36.
4. **Пат. RU 2504595**, МПК С22С21/04. Антифрикционный сплав на основе алюминия / В. Ю. Стеценко, Е. И. Марукович. 2014. Бюл. № 2.

References

1. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Ju.** *Modificirovanie splavov* [Modification of alloys]. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2009, 192 p.
2. **Stetsenko V. Ju., Marukovich E. I.** *Sposob lit'ja zagotovok* [Method of casting blanks]. Patent RU, no. 2288067, 2006.
3. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Ju.** *Sposob ohlazhdenija kristallizatora* [Method of cooling the mold]. Patent RU, no. 2342200, 2008.
4. **Stetsenko V. Ju., Marukovich E. I.** *Antifrikcionnyj splav na osnove aljuminija* [Aluminum-based antifriction alloy]. Patent RU, no. 25004595, 2014.