

**СИЛУМИН С ГЛОБУЛЯРНЫМ КРЕМНИЕМ. ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ**

**Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Гутев А.П.**

*ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси»,  
г. Могилев, Беларусь, E-mail: lms@itm.by*

Сплавы с глобулярной микроструктурой обладают повышенными механическими и антифрикционными свойствами, поскольку соответствуют принципу Шарпи. Основным недостатком слитков из силуминов является пластинчатая дендритная микроструктура. Чтобы повысить механические и антифрикционные свойства силуминовых заготовок, необходимо получать отливки с недендритной, глобулярной микроструктурой. Она получается тогда, когда при затвердевании силумина образуется относительно большое количество центров кристаллизации  $\beta$ -фазы (кремния), которые не успевают превратиться в дендриты. Поэтому для получения силумина с глобулярным кремнием (СГК) нужна более высокая линейная скорость затвердевания, чем при литье в обычный (щелевой) кристаллизатор.

В Институте технологии металлов НАН Беларуси разработаны два способа литья ускоренным затвердеванием, позволяющие получать заготовки СГК. Первый – метод литья закалочным затвердеванием [1]. Он позволяет получить отливки из силумина с глобулярным наноструктурным эвтектическим кремнием (рис. 1).

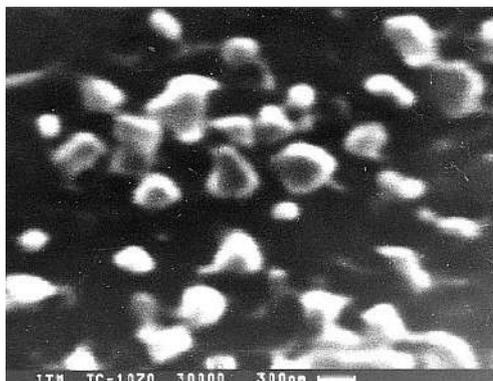


Рисунок 1 – Микроструктура литой заготовки диаметром 50 мм из сплава Al+12%Si (x30000)

Метод литья закалочным затвердеванием позволяет получать отливки 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 раза больше предел прочности на разрыв. Второй способ литья ускоренным затвердеванием – литье в струйный кристаллизатор, где используется затопленно-струйный метод охлаждения [2]. Он, при прочих равных гидравлических параметрах, позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи от охлаждаемой поверхности рабочей втулки кристаллизатора к охладителю более чем в 2 раза [3]. Это происходит благодаря уменьшению толщины гидродинамического и, следовательно, толщины теплового пограничных слоев. Линейная скорость затвердевания отливки диаметром 100 мм из эвтектического силумина в струйном кристаллизаторе в 3 раза выше, чем в обычном кристаллизаторе. Это обеспечивает получение литых заготовок из СГК (рис. 2). Размер глобул кремния в СГК можно увеличить путем ускоренного (в течение 3-6 ч) отжига отливок (рис. 3).

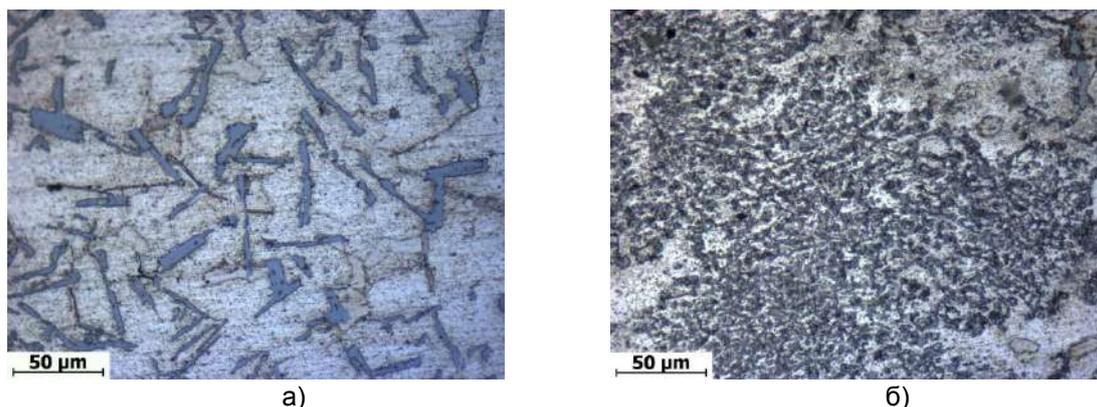


Рисунок 2 – Микроструктура литой заготовки диаметром 100 мм из сплава Al+12%Si+3%Cu: а – литье в обычный (щелевой) кристаллизатор; б – литье в струйный кристаллизатор

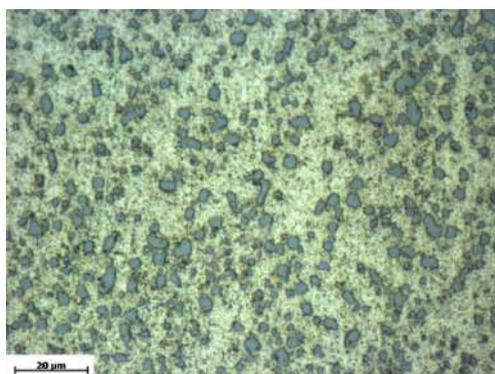


Рисунок 3 – Микроструктура заготовок из СГК после термической обработки

После термической обработки по режиму Т5 непрерывнолитые заготовки из эвтектического СГК имеют временное 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 заготовок из СГК обеспечивают им уникальные антифрикционные свойства. Их исследовали в Санкт-Петербургском институте машиностроения. Были проведены сравнительные триботехнические испытания образцов из СГК и бронзы БрОЦС5-5-5. В условиях сухого трения образцы из СГК по износостойкости превосходили бронзовые в 7 раз. В условиях смазки (И20А) образцы из СГК по износостойкости превосходили бронзовые в 23 раза. Соответственно коэффициент трения по стали у образцов из СГК ниже, чем у бронзовых как при сухом трении (в 1,65 раз), так и в условиях смазки (в 1,35 раз). Аналогичные результаты получили по сравнению с бронзой БрАЖ9-4. Испытания проводили на машине трения СМЦ-2 в условиях сухого трения по схеме «вал-втулка». 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 с успехом заменить традиционные антифрикционные бронзы в узлах трения машин и механизмов. Были проведены опытно-промышленные испытания деталей из СГК в сравнении с аналогичными из бронз (табл.1).

Таблица 1 – Опытные-промышленные испытания деталей из СГК

№ п/п	Предприятие	Страна	Результат
1	ПАО «Таганрогский металлургический завод»	Россия	Превосходят бронзовые
2	ОАО «Первоуральский новотрубный завод»	Россия	Превосходят бронзовые

Продолжение таблицы 1

3	ОАО «БЕЛАЗ» - управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»	Беларусь	Не уступают бронзовым
4	ОАО «Витебскифт»	Беларусь	Не уступают бронзовым
5	ОАО «Гомсельмаш»	Беларусь	Не уступают бронзовым
6	ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»	Беларусь	Превосходят бронзовые
7	ОАО «Амкодор - Дзержинск»	Беларусь	Не уступают бронзовым
8	ОАО «Светлогорск Химволокно»	Беларусь	Не уступают бронзовым
9	ОАО «Белшина»	Беларусь	Не уступают бронзовым
10	Завод «Могилевтрансмаш» ОАО «МАЗ»	Беларусь	Превосходят бронзовые
11	ОАО «Гомельский завод станочных узлов»	Беларусь	Превосходят бронзовые
12	ОАО «Кузлитмаш»	Беларусь	Не уступают бронзовым
13	ОАО «Завод Оптик»	Беларусь	Превосходят бронзовые
14	ЧУП «ВС-Техника»	Беларусь	Не уступают бронзовым
15	ОАО «Оршанский станкостроительный завод «Красный Борец»	Беларусь	Не уступают бронзовым
16	РУП «Завод «Эвистор»	Беларусь	Не уступают бронзовым

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

В Институте технологии металлов 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 ниже, чем аналогичной из бронзы. Поставка заготовок из СГК осуществляется по ТУ ВУ 700002421.003-2011 на более 60 предприятий Беларуси и России. 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 и технологического оборудования.

Таким образом, силумин с глобулярным кремнием является перспективным антифрикционным материалом, который с успехом заменяет более тяжелые и дорогостоящие серийными антифрикционные бронзы.

**Список литературы:**

1. Патент RU 2288067, МПК В22D7/00, 27/04. Способ литья заготовок / В. Ю. Стеценко, Е. И. Марукович – 2006. – Бюл. № 33.
2. Патент RU 234220, МПК В22D11/055. Способ охлаждения кристаллизатора / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко – 2008. – Бюл. № 36.
3. Марукович, Е. И. Модифицирование сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко – Минск: Беларус. навука, 2009. – 192 с.