

УДК 621.74:669.714

## ПОВЫШЕНИЕ ФРИКЦИОННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛЮМИНЕВО-КРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**В. Ю. СТЕЦЕНКО, А. И. РИВКИН, А. П. ГУТЕВ**

*Государственное научное учреждение  
«Институт технологии металлов Национальной  
академии наук Беларуси», г. Могилев*

### Введение

Силумины, полученные при литье в кристаллизаторы с затоплено-струйной системой охлаждения, вследствие высокой скорости охлаждения, обладают мелкокристаллической структурой. Ее особенностью является наличие равномерно распределенных высокодисперсных кристаллов эвтектического кремния глобулярной формы [1]. Такая структура является инвертированной и полностью соответствует принципу Шарпи для антифрикционных сплавов. Силумины с такой микроструктурой находят применение в качестве материала деталей, работающих в узлах трения вместо бронз [2]. Свойства антифрикционных силуминов в основном зависят от их химического состава и дисперсности фазовых составляющих.

### Постановка задачи

Задачей настоящей работы является определение рационального состава и дисперсности микроструктуры, обеспечивающих заготовкам из силуминов максимальную фрикционную износостойкость.

### Методы испытаний

Для проведения исследований заготовки из силуминов с высокодисперсной микроструктурой получали на опытной установке литья закалочным затвердеванием. Расплав готовили в электропечи сопротивления марки «Snol-1300» в шамото-графитовом тигле. В качестве шихтовых материалов использовали чушковый сплав АК12, лигатуры Al + 40 % Si и Al + 33 % Cu. При температуре 800 °С металл заливали в струйный кристаллизатор и получали отливки диаметром 50 мм и высотой 160 мм. Исследования на фрикционную износостойкость образцов из антифрикционных силуминов проводились на машине трения СМЦ-2 в условиях сухого трения по схеме вал-втулка с нагрузкой 0,6 МПа и скоростью скольжения образца относительно стального шлифованного вала (сталь 45), твердостью 58 HRC – 0,38 м/с. Продолжительность испытания каждого образца составляла 3 часа. Износ контртела оценивался с помощью микрометра с ценой деления 0,01 мм. Расчет скорости износа образцов проводили по следующей формуле:

$$V_{\text{изн}} = \frac{\Delta M}{S\rho\tau},$$

где  $\Delta M$  – разность массы образца до и после износа;  $S$  – площадь рабочей поверхности образца;  $\rho$  – плотность образца;  $\tau$  – время износа.

Взвешивание образцов проводили на электронных весах марки «Stratorius BP1S» с точностью до 0,0001 г. Для исследования микроструктуры отливок из них вырезали поперечные шлифы. После их шлифовки, полировки и химического травления

водным раствором кислот 2 % HCl + 3 % HNO<sub>3</sub> + 1 % HF микроструктуру анализировали с помощью аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech vario». Твердость образцов измеряли на твердомере ТШ-2М.

### Описание эксперимента и обсуждение результатов

Для определения влияния содержания кремния на износостойкие свойства алюминиево-кремниевых сплавов был проведен следующий эксперимент. На установке литья закалочным затвердеванием были изготовлены отливки диаметром 50 мм и высотой 160 мм из сплавов АК12, АК15 и АК18. Отливки из сплава АК12 состояли из первичных кристаллов  $\alpha$ -фазы средней толщины 17 мкм и кристаллов эвтектического кремния глобулярной формы средней дисперсности 1,2 мкм. Размер равномерно распределенных глобулярных кристаллов эвтектического кремния в образцах сплава АК15 в среднем составлял 1,2 мкм. Кристаллы первичного кремния со средним размером 30 мкм так же были равномерно распределены, при 100-кратном увеличении в поле зрения окуляра находились 1 ÷ 2 включения. Микроструктура опытных заготовок из сплава АК18 была представлена равномерно распределенными кристаллами глобулярного эвтектического кремния с средним размером 1,6 мкм и кристаллами первичного кремния с средним размером 35 мкм. Исследования показали, что средняя скорость износа образцов из сплава АК12 составила 0,1376 мм/ч, из АК15 – 0,1235 мм/ч, из АК18 – 0,1050 мм/ч. После испытаний сплавов АК12 и АК15 износ контртела не наблюдался. Образцы из сплава АК18 изнашивают контртело со средней скоростью 0,006 мм/ч.

Установлено, что повышение концентрации кремния в составе силумина увеличивает его износостойкость. Наличие в микроструктуре отливок кристаллов первичного кремния отрицательно сказывается на процессе прирабатываемости. Поэтому наиболее приемлемым содержанием кремния в износостойком силумине является 15 %.

Для определения влияния структурной дисперсности на износостойкость сплава АК15 при литье в струйный кристаллизатор изготавливались отливки диаметром 50 мм и высотой 160 мм. Для получения кристаллов эвтектического кремния различной дисперсности они подвергались гомогенизации при температуре 520 °С в течение 1 ÷ 10 ч. В результате были получены образцы из силумина АК15 со средними диаметрами глобулярных кристаллов эвтектического кремния 2 ÷ 7 мкм. Твердость полученных заготовок была в среднем равна 72,6 НВ. Зависимость скорости износа образцов от средней дисперсности кристаллов кремния представлена на рис. 1.

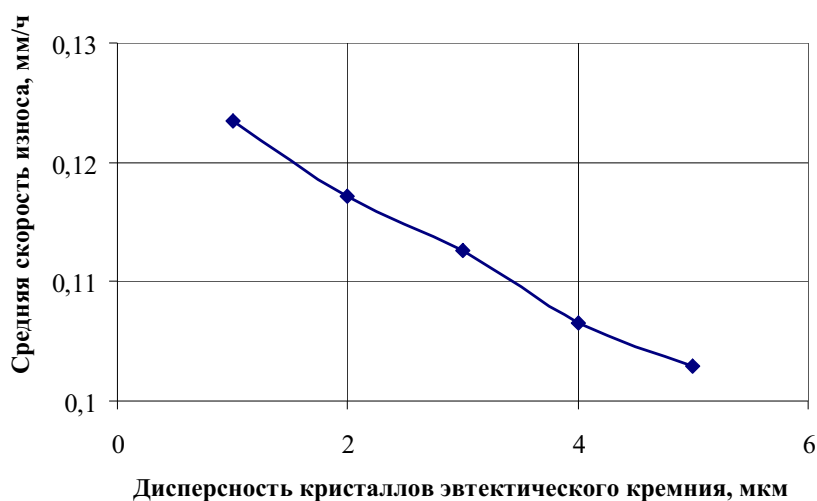


Рис. 1. Зависимость средней скорости износа образцов из сплава АК15 от дисперсности кристаллов эвтектического кремния

Установлено, что увеличение диаметра глобулярных кристаллов эвтектического кремния в сплаве АК15 с 1,2 мкм до 3,2 ÷ 3,9 мкм позволяет снизить их среднюю скорость износа на 9 ÷ 14 %. Дальнейшее их укрупнение не приводит к значительному снижению скорости износа (рис. 1). Поэтому наиболее рациональным размером включений шаровидного кремния для силумина с повышенной износостойкостью является 3 ÷ 4 мкм. Такая дисперсность кристаллов эвтектики позволяет существенно повысить износостойкость заготовок и не требует длительной термообработки.

Известно, что легирование силуминов медью с последующими закалкой и старением (Т5) позволяет повысить механические свойства заготовок. Поэтому для исследования влияния содержания меди на фрикционную износостойкость силумина АК15 литьем в струйный кристаллизатор были изготовлены отливки диаметром 50 мм и высотой 160 мм из сплава АК15 с содержанием меди 1, 2, 3 и 4 %. Их термообработку проводили по режиму Т5: нагрев до температуры 520 °С, выдержка в течение 4 ч, закалка в воде и последующее искусственное старение в течение 6 ч при температуре 175 °С. Результаты испытаний износостойкости и твердости этих образцов приведены на рис. 2.

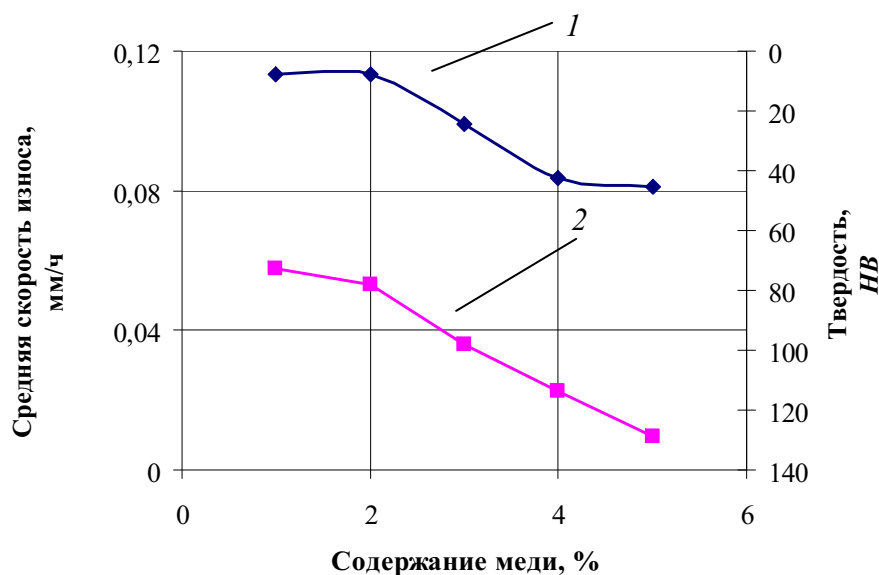


Рис. 2. Зависимость твердости и скорости износа заготовок из сплава АК15 от содержания меди: 1 – средняя скорость износа; 2 – твердость

Из рис. 2 следует, что наиболее рациональным содержанием меди в антифрикционном силумине АК15 является 3 ÷ 4 %, так как обеспечивает повышение твердости заготовок в среднем в 1,7 раза и износостойкости более чем на 20 %.

Проведенные исследования позволили определить, что рациональным химическим составом силуминов с повышенной фрикционной износостойкостью является: Si – 15 %, Cu – 3 ÷ 4 %, Al – остальное. Для получения рациональной дисперсности микроструктуры необходим следующий режим термообработки: выдержка при температуре 520 °С в течение 4 ч, закалка в воде и последующим искусственным старением при температуре 175 °С в течение 6 ч. Получаемая при этом микроструктура представлена на рис. 3.

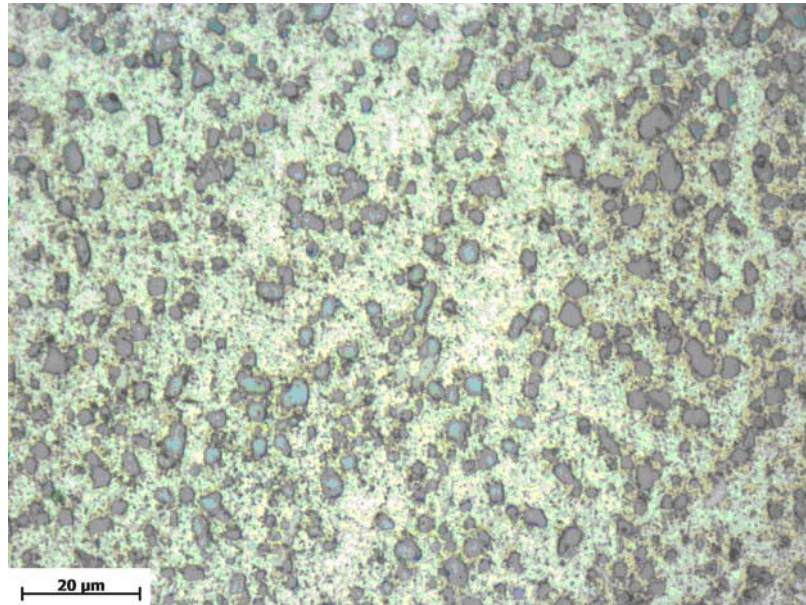


Рис. 3. Микроструктура заготовки из сплава АК15М3 после термообработки по режиму Т5

Полученные заготовки проходили цикл сравнительных триботехнических испытаний в Санкт-Петербургском институте машиностроения на кафедре «Триботехника». В условиях сухого трения образцы исследовались при нормальном напряжении 12,8 Н и вращении со скоростью 620 об/мин, а в условиях смазки И20А – при нормальном напряжении 200 Н и вращении со скоростью 300 об/мин. Материал контртела – закаленная сталь 45. В качестве образцов сравнения были изготовлены аналогичные образцы из бронзы БрОЦС5-5-5 (рис. 4).

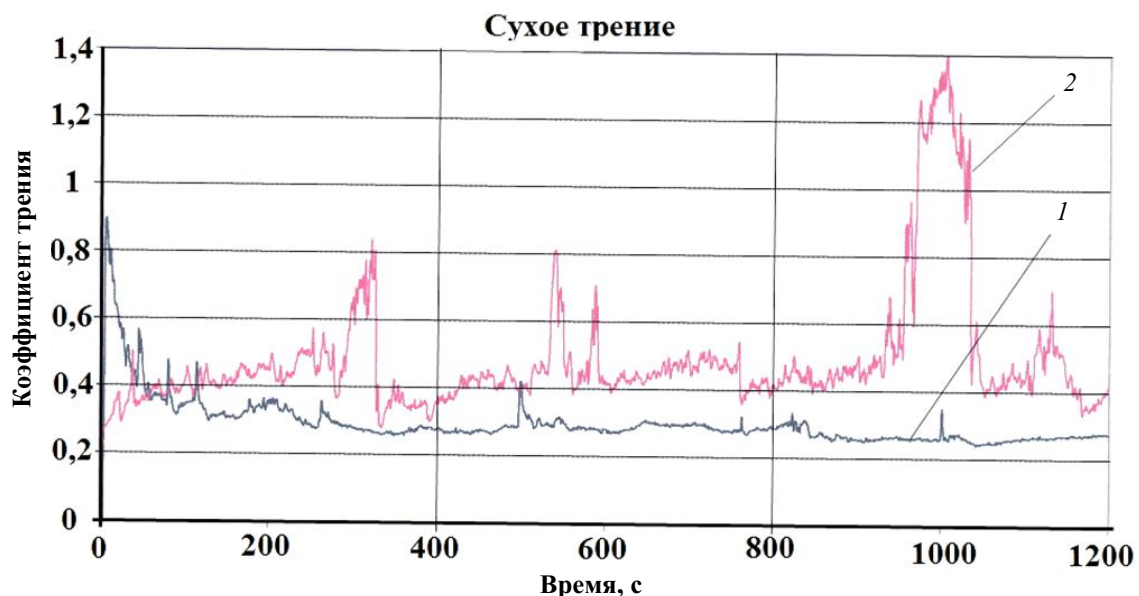


Рис. 4. График изменения коэффициента трения от времени при сухом трении:  
1 – силумин АК15М3; 2 – бронза БрОЦС5-5-5

При трении в условиях смазки коэффициент трения образцов из силумина АК15М3 в 1,35 раз ниже, чем аналогичных из бронзы, при этом линейный износ в 23 раза ниже (рис. 5).

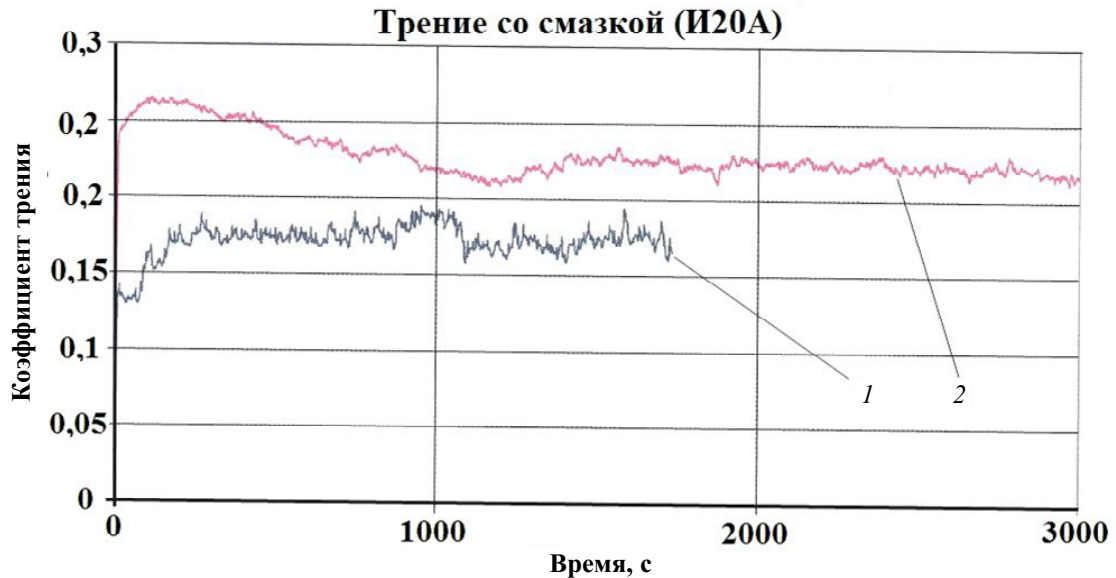


Рис 5. График изменения коэффициента трения от времени при трении в условиях смазки И20А: 1 – силумин АК15М3; 2 – бронза БрОЦС5-5-5

В настоящее время заготовки из алюминиево-кремниевого сплава внедрены в производство и поставляются на предприятия Республики Беларусь: ОАО «Завод «Оптик» (г. Лида), ОАО «Белшина» (г. Бобруйск), РУПП «Станкозавод «Красный Борец» (г. Орша), ОАО «Бобруйксельмаш» (г. Бобруйск), ПО «Гомсельмаш» (г. Гомель). Стоимость заготовок из антифрикционного алюминиево-кремниевого сплава в среднем в 2 раза ниже, чем у аналогичных из бронз.

### Заключение

Таким образом, заготовки из силумина, полученные при литье в кристаллизатор с затоплено-струйной системой охлаждения, при содержании кремния 15 %, меди 3 ÷ 4 % и дисперсности глобулярных кристаллов кремния 3 ÷ 4 мкм в паре трения со сталью имеют максимальную фрикционную износостойкость.

### Литература

1. Марукович, Е. И. Модифицирование сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко. – Минск : Беларус. навука, 2009. – 192 с.
2. Стеценко, В. Ю. Антифрикционные силумины для промышленности / В. Ю. Стеценко // Техника, экономика, организация. – 2009. – № 3. – С. 21–23.

Получено 28.10.2010 г.