

УДК 621.74:669.714

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНОВ МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ АЛЮМИНИЕВЫМИ СПЛАВАМИ

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

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

### **Введение**

В настоящее время самым распространенным модификатором доэвтектических и эвтектических силуминов является натрийсодержащий флюс, позволяющий наиболее эффективно измельчать алюминиево-кремневую эвтектику, но практически не изменяющий размеры включений зерен  $\alpha$ -фазы. Для модифицирования включений первичного кремния заэвтектических силуминов в основном используют фосфорсодержащие лигатуры. Оба вида модификаторов являются экологически небезопасными веществами и не позволяют одновременно измельчать основные фазовые составляющие алюминиево-кремниевых сплавов. Поэтому разработка модифицирующих лигатур, позволяющих одновременно диспергировать все фазовые составляющие силуминов, является актуальной задачей. В связи с этим, в ИТМ НАН Беларуси разработаны более эффективные универсальные мелкокристаллические модификаторы на основе алюминия, обладающие рядом важных качеств: низкая температура плавления, полное усвоение расплавом, дегазирующая способность, минимальное шлакообразование, экологическая безопасность, низкая стоимость [1]. Помимо одновременного измельчения основных фаз сплава, отличительной особенностью таких модификаторов является повышенная модифицирующая способность. Она достигается сочетанием активных добавок титана и сурьмы с высокой дисперсностью микроструктуры модификатора. Ультрадисперсная микроструктура оказывает дополнительное модифицирующее воздействие на расплав силуминов в соответствии с принципом структурной наследственности [2]–[4]. Отсутствие натрия и фосфора в составе лигатуры обеспечивает экологическую безопасность ее применения.

### **Постановка задачи**

Задача настоящей работы – определить принципиальную возможность измельчения основных фазовых составляющих структуры алюминиево-кремниевых сплавов мелкокристаллическим алюминиевым сплавом с добавлениями титана и сурьмы.

### **Методика проведения экспериментов**

Мелкокристаллический алюминиевый сплав с добавками титана и сурьмы с ультрадисперсной микроструктурой (МАС-1) получали в виде заготовок диаметром 50 мм и высотой 160 мм на опытно-экспериментальной установке методом литья закалочным затвердеванием [5]–[7]. Микроструктура МАС-1 состояла из зерен  $\alpha$ -фазы размером  $20\div 40$  мкм, кристаллов эвтектического кремния дисперсностью менее 1 мкм и интерметаллидов, содержащих титан и сурьму. Данный модификатор был опробован при литье в стальной кокиль заготовок диаметром 30 мм и высотой 120 мм из сплавов АК9, АК12 и АК18. В качестве шихтовых материалов использовались чушки первичного алюминия марки А7 по ГОСТ 11070–2001 и вторичного алюминия АК12 по ГОСТ 1583–93, а также кристаллический кремний марки КР-1 по ГОСТ 2169–69. Расплавы готовили в электропечи сопротивления «Snol-1300» в ша-

мото-графитовом тигле. Температура перегрева металла составляла 850 °С. МАС-1 в количестве 0,5 % от массы расплава в кусковом виде фракцией 5 ÷ 10 мм вводили в расплав механическим замешиванием графитовым прутом. При растворении модификаторов не наблюдалось образования шлака и выделений вредных газов. Из середины полученных отливок вырезали образцы, которые шлифовали, полировали и травили водным раствором кислот (2 % HCl + 3 % HNO<sub>3</sub> + 1 % HF). Структуру шлифов исследовали методом металлографического анализа с помощью аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech vario». Промышленное испытание сплава МАС-1 проводилось на ЧУП «Випра» (г. Гомель). Модифицировали структуру отливок «Корпус редуктора» из сплава АК12, получаемых литьем под давлением. Модифицирующую обработку жидкого металла проводили в индукционной раздаточной печи емкостью 120 кг при температуре 680 °С. В качестве шихты использовали чушки первичного сплава АК12 с химическим составом согласно ГОСТ 1583–93. Модификатор в количестве 0,5 % от массы расплава в виде кусков не более 10 ÷ 15 мм вводили механическим замешиванием в расплав. При этом не образовывалось шлаков и экологически небезопасных газовых выделений. После модифицирования расплав не подвергали рафинированию и фильтрованию. Модифицированный расплав АК12 разливали в течение 1,5 ч на машине литья под давлением модели А711А08. Эффект модифицирования расплава МАС-1 сохранялся на протяжении всей разливки. В результате эксперимента была получена опытная партия заготовок «Корпус редуктора» в количестве 1000 шт. Из самой массивной части отливки вырезали образцы, которые шлифовали, полировали и травили водным раствором кислот (2 % HCl + 3 % HNO<sub>3</sub> + 1 % HF). Их микроструктуру исследовали с помощью аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech vario». В центральной заводской лаборатории ЧУП «Випра» проводились механические испытания опытной партии отливок на герметичность.

Для определения дисперсности микроструктур методом сравнительного анализа в качестве критерия дисперсности доэвтектических и эвтектических силуминов была выбрана толщина первичных зерен α-фазы. При исследовании структур заэвтектических силуминов дисперсность определяли по размерам кристаллов первичного и эвтектического кремния.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Микроструктура немодифицированных отливок из сплава АК9 состояла из первичных зерен α-фазы толщиной 40 ÷ 60 мкм и кристаллов эвтектического кремния дисперсностью 10 ÷ 15 мкм (рис. 1, а). Модифицирование АК9 МАС-1 в количестве 0,5 % от веса расплава уменьшило толщину первичных зерен α-фазы до 10 ÷ 15 мкм, а дисперсность кристаллов эвтектического кремния увеличилась до 5 ÷ 7 мкм (рис. 1, б).

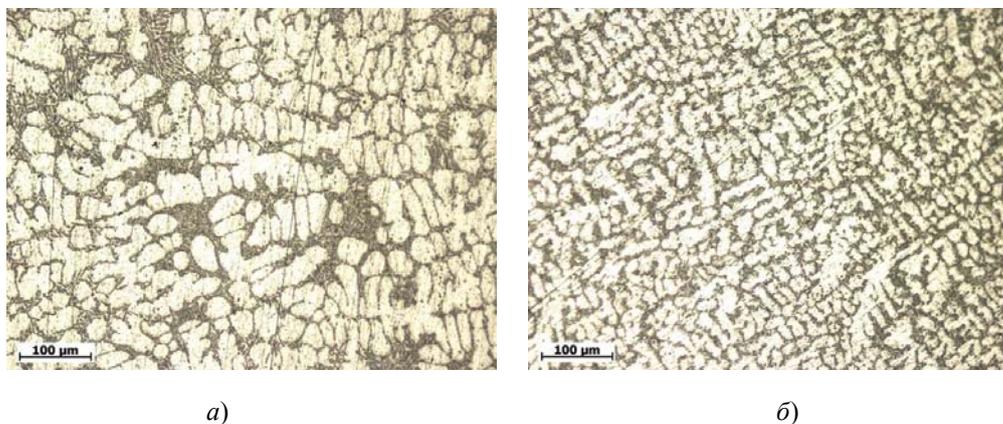


Рис. 1. Микроструктура отливок диаметром 30 мм из сплава АК9 при литье в стальной кокиль: а – без применения модификаторов; б – модифицированная МАС-1

Таким образом, обработка доэвтектического силумина АК9 МАС-1 в количестве 0,5 % от массы расплава при литье в стальной кокиль позволяет измельчить размер первичного зерна  $\alpha$ -фазы в среднем в 4 раза, а размер эвтектического кремния – в среднем в 2 раза.

Микроструктура отливок из силумина АК12, полученных без применения модифицирующих добавок, была представлена в виде крупных зерен  $\alpha$ -фазы толщиной  $50 \div 60$  мкм и эвтектикой с дисперсностью кристаллов эвтектического кремния  $15 \div 20$  мкм (рис. 2, а). Структура сплава после обработки МАС-1 состояла из мелких зерен  $\alpha$ -фазы размером  $20 \div 25$  мкм и алюминиево-кремниевой эвтектики с измельченным кремнием глобулярной формы дисперсностью  $2 \div 3$  мкм (рис. 2, б).

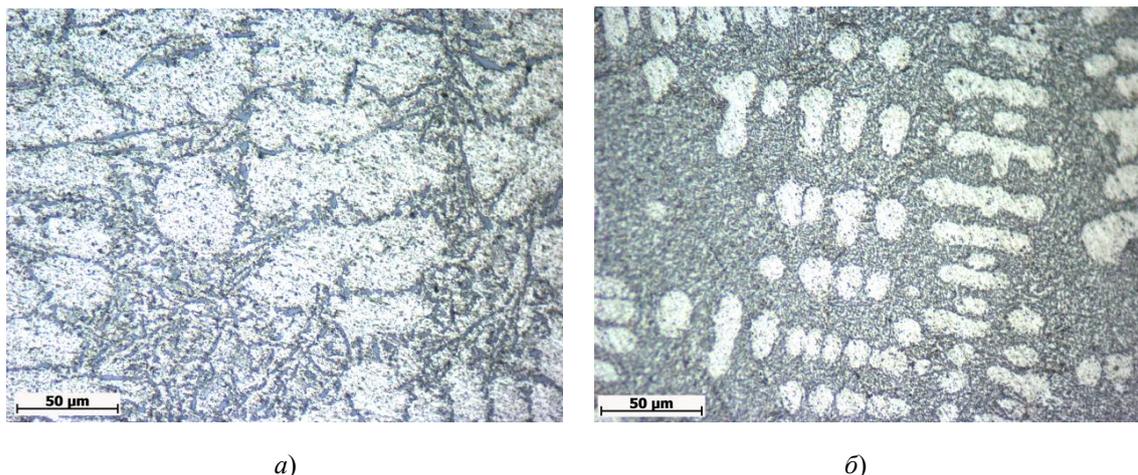


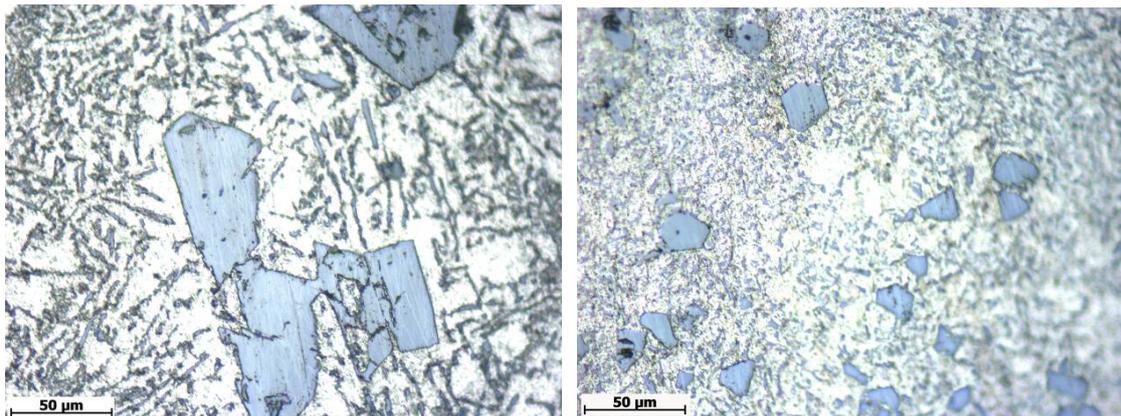
Рис. 2. Микроструктура отливок диаметром 30 мм из сплава АК12 при литье в стальной кокиль: а – без применения модификаторов; б – модифицированная МАС-1

Следовательно, обработка эвтектического силумина АК12 МАС-1 в количестве 0,5 % от массы расплава при литье в стальной кокиль позволяет измельчить размер первичного зерна  $\alpha$ -фазы в среднем в 2,5 раза, а размер кристаллов эвтектического кремния – в среднем в 7 раз.

Микроструктура отливок «Корпус редуктора» из сплава АК12, полученных при литье под давлением по заводской технологии, состояла из  $\alpha$ -фазы с размерами зерен  $40 \div 50$  мкм и эвтектики с дисперсностью кристаллов эвтектического кремния до 20 мкм. Обработка расплава модификатором МАС-1 позволила измельчить зерна  $\alpha$ -фазы до размеров  $10 \div 15$  мкм и получить эвтектический кремний округлой формы диаметром не более 1 мкм. По сравнению с обычной заводской технологией, модифицирование МАС-1 позволило: увеличить дисперсность  $\alpha$ -фазы в среднем в 4 раза; уменьшить размер кристаллов эвтектического кремния в среднем в 20 раз; снизить брак по негерметичности в среднем на 14,7 %.

Структура заготовок из литого заэвтектического силумина АК18 состояла из крупных включений первичного кремния и эвтектики, в которой кремний находится в виде грубых игл и пластин (рис. 3, а). Микроструктура отливок из АК18 после обработки МАС-1 представлена в виде мелких кристаллов первичного кремния и округлых включений эвтектического кремния (рис. 3, б). Дисперсности кристаллов первичного и эвтектического кремния отливок из АК18 до введения модификатора составляли  $100 \div 110$  мкм и  $5 \div 8$  мкм, а после введения в количестве 0,5 % от массы расплава –  $25 \div 30$  мкм и  $2 \div 4$  мкм соответственно.

Установлено, что обработка заэвтектического силумина АК18 МАС-1 в количестве 0,5 % от массы расплава позволяет измельчить включения первичного кремния в среднем в 4 раза, а алюминиево-кремневую эвтектику – в среднем в 2 раза.



а)

б)

Рис. 3. Микроструктура отливок диаметром 30 мм из сплава АК18 при литье в стальной кокиль: а – без применения модификаторов; б – модифицированная МАС-1

### Заключение

Определена принципиальная возможность применения мелкокристаллического сплава на основе алюминия, содержащего титан и сурьму, в качестве модификатора основных фазовых составляющих структуры алюминиево-кремниевых сплавов. Установлено, что обработка этими модификаторами доэвтектических, эвтектических и заэвтектических силуминов в количестве 0,5 % от веса расплава позволяет одновременно диспергировать основные фазовые составляющие отливок от 2 до 20 раз и повысить экологическую безопасность процессов литья. При литье под давлением отливок из силумина АК12 введение таких мелкокристаллических алюминиевых сплавов позволяет снизить брак по газоусадочной пористости в среднем на 14,7 %.

### Литература

1. Стеценко, В. Ю. Универсальные структурно-высокодисперсные силуминовые модификаторы сплавов / В. Ю. Стеценко // Технологии, оборудование, качество : тез. докл. 11-го междунар. симп., Минск, 13–16 мая 2008 г. / ВП «Экспофорум». – Минск, 2008. – С. 101.
2. Никитин, В. И. Наследственное влияние мелкокристаллических модификаторов на свойства алюминиевых сплавов / В. И. Никитин // Литейн. пр-во. – 2002. – № 10. – С. 16–18.
3. Кандалова, Е. Г. Влияние структурных параметров лигатуры Al–Ti на свойства Al-сплавов / Е. Г. Кандалова, К. В. Никитин // Литейн. пр-во. – 2000. – № 10. – С. 21–22.
4. Влияние мелкокристаллической лигатуры Al–Ti на прочность заэвтектического силумина АК21М2,5Н2,5 / К. В. Никитин [и др.] // Литейн. пр-во. – 2000. – № 10. – С. 12–13.
5. Повышение эффективности охлаждения отливок из силуминов при литье закалочным затвердеванием / В. Ю. Стеценко [и др.] // Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – С. 128–129.
6. Стеценко, В. Ю. Литье силуминов в кокиль со струйной системой охлаждения / В. Ю. Стеценко, С. Л. Радько // Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – С. 136–138.
7. Способ литья заготовок : пат. 2288067 RU, МПК В2207/00, В2207/04 / В. Ю. Стеценко, Е. И. Марукович ; заявитель Ин-т технологии металлов НАН Беларуси ; заявл. 08.02.05 г.

Получено 23.10.2008 г.