

УДК 621.74

А. П. ГУТЕВ**К. Н. БАРАНОВ****В. П. ГРУША**, канд. техн. наук, доц.

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ХРОМОМ И МАРГАНЦЕМ НА СТРУКТУРУ СИЛУМИНОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА

Аннотация

Определена актуальность применения вибрационного воздействия на расплав силумина в процессе его затвердевания в глуходонном кристаллизаторе. Приведены результаты металлографических исследований и определения твердости опытных образцов из силуминов с повышенным содержанием железа после их комплексного легирования марганцем и хромом.

Ключевые слова:

вторичные силумины, глуходонный кристаллизатор, вибрация, легирование, железосодержащие интерметаллиды, микроструктура.

В настоящее время в Республике Беларусь находят применение более дешевые вторичные шихтовые материалы (лом и отходы) для выплавки силуминов, что значительно снижает затраты на изготовление отливок. Однако использование повышенного количества низкосортной шихты при выплавке силуминов способствует насыщению их газами, неметаллическими включениями и различными металлическими примесями. В первую очередь это примеси железа, образующего с химическими элементами в составе силуминов соединения различного состава в виде игольчатых выделений железосодержащих фаз, которые при затвердевании имеют грубое кристаллическое строение и поэтому значительно снижают механические свойства отливок. Особенно резко железо снижает прочностные и пластические свойства эвтектических силуминов при концентрации его в сплаве более 0,7 % в области первичной кристаллизации β -фазы фазы (Al_5FeSi). Более дешевые вторичные чушковые силумины содержат около 1,1%...1,3 % железа. В то же время при плавке силуминов в чугунных тиглях содержание железа может достигать до 2,5 % и выше. При низкой скорости охлаждения в процессе затвердевания отливки происходит более сильное огрубление железосодержащих фаз. Для нейтрализации вредного влияния железа в сплавы вводят марганец, бериллий, церий, хром, ванадий, никель и другие переходные металлы, которые подавляют образование β -фазы и способствуют выделению более сложных фаз (Al-Mn-Fe-Si и др.), кристаллизующихся в компактной форме.

Одним из перспективных способов влияния на морфологию железосодержащих фаз в процессе кристаллизации является повышенная скорость охлаждения отливок с одновременным вибрационным воздействием. В ИТМ НАН Беларуси разработана технология получения вибрационно-литейным методом отливок из силуминов с повышенными эксплуатационными свойствами. Проведены исследования по влиянию различных способов вибрации глуходонного кристаллизатора с затоплено-струйной системой охлаждения и металлургиче-

ских параметров литья на микроструктуру и качество отливок из силуминов с различным эвтектическим составом с целью получения высококачественных заготовок с повышенными эксплуатационными свойствами. Применение вибрации кристаллизатора с затоплено-струйной системой охлаждения при литье силуминов позволяет повысить качество отливок и дисперсность их микроструктуры, особенно первичных кристаллов кремния [1]. Результаты исследований подтвердили актуальность применения вибрационного воздействия на расплав силумина в процессе его затвердевания в глуходонном кристаллизаторе.

В ИТМ НАН Беларуси были проведены исследования затвердевания отливок из силумина АК12М2 с высоким содержанием железа (1,3 %) при литье в глуходонный струйный кристаллизатор с использованием пневматического вибратора. Установлено, что вибрационное воздействие на кристаллизатор при литье отливок диаметром 53 и 70 мм из силумина АК12М2 позволяет измельчать алюминиево-кремниевую эвтектику и единичные кристаллы первичного кремния, но не воздействует на пластинчатые железосодержащие интерметаллиды при содержании железа в силумине более 1,3 %. Также было установлено, что при вибрационно-литейном способе добавка марганца в расплав силумина в виде ферромарганца FeMn76, при соотношении Fe:Mn равном 2:1, способствует получению компактных железосодержащих интерметаллидных включений [2, 3].

В настоящей работе исследовали влияние комплексного легирования хромом и марганцем на структуру и твердость отливок из силумина АК12М3 с содержанием железа более 2,0 % при литье в струйный кристаллизатор с вибрацией.

Шихтовые материалы плавил в муфельной электропечи марки СНОЛ 30/1300 в графитсодержащем глазурованном тигле АС-20 Т2. Модифицирующие флюсы и лигатуры не применяли. В качестве материалов шихты использовали шину медную М1 и чушку АК12М2 следующего химического состава: Al – 82,59 %; Si – 13,61 %; Cu – 1,80 %; Fe – 0,83 %; Zn – 0,43 %; Mn – 0,31 %; Mg – 0,12 %; остальное – примеси. Анализ химического состава проводили с использованием оптико-эмиссионного спектрометра «Solaris» фирмы «GNR» (Италия) с программным обеспечением «Metallab32». Температура в печи в процессе плавки составляла 750 °С. После достижения заданной температуры и выдержке расплава в течение трех часов в расплав вводили необходимое количество феррохрома FeCr70 и марганца в виде измельченной фракции дисперсностью 3–8 мм, интенсивно перемешивая огнеупорным графитсодержащим стержнем. После введения хрома и марганца в кашеобразный расплав добавляли необходимое количество прокаленной стальной стружки и интенсивно перемешивали. После выдержки расплава при температуре 750 °С около 1 ч температуру в печи повышали до 900 °С для растворения легирующих элементов в расплаве и связывания его в виде интерметаллидов. При достижении установленной температуры в печи и выдержки в течение 2 ч разливку жидкого металла осуществляли на опытной вибрационно-литейной установке с пневматическим вибратором постоянного удара серии Р40, закрепленным в горизонтальной плоскости кристаллизатора. Эксперименты проводили при давлении в воздушном компрессоре, равным 4 бар (0,4 МПа).

Вибрационно-литейным способом были получены опытные образцы наружным диаметром 53 мм из силумина АК12МЗ с содержанием железа более 2,0 %, меди 3 %, марганца до 1,2 % и хрома от 0,1 % до 0,6 % от массы отливки. Из средней части полученных отливок для проведения металлографических исследований и определения твердости были вырезаны поперечные образцы. После их шлифовки, полировки и травления водным раствором кислот (2 % HCl + 3 % HNO₃ + 1 % HF) методом металлографического анализа на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech 100 vario» исследовали центральную часть поперечного сечения шлифа. Микроструктура центральной части шлифов опытных образцов представлена на рис. 1.

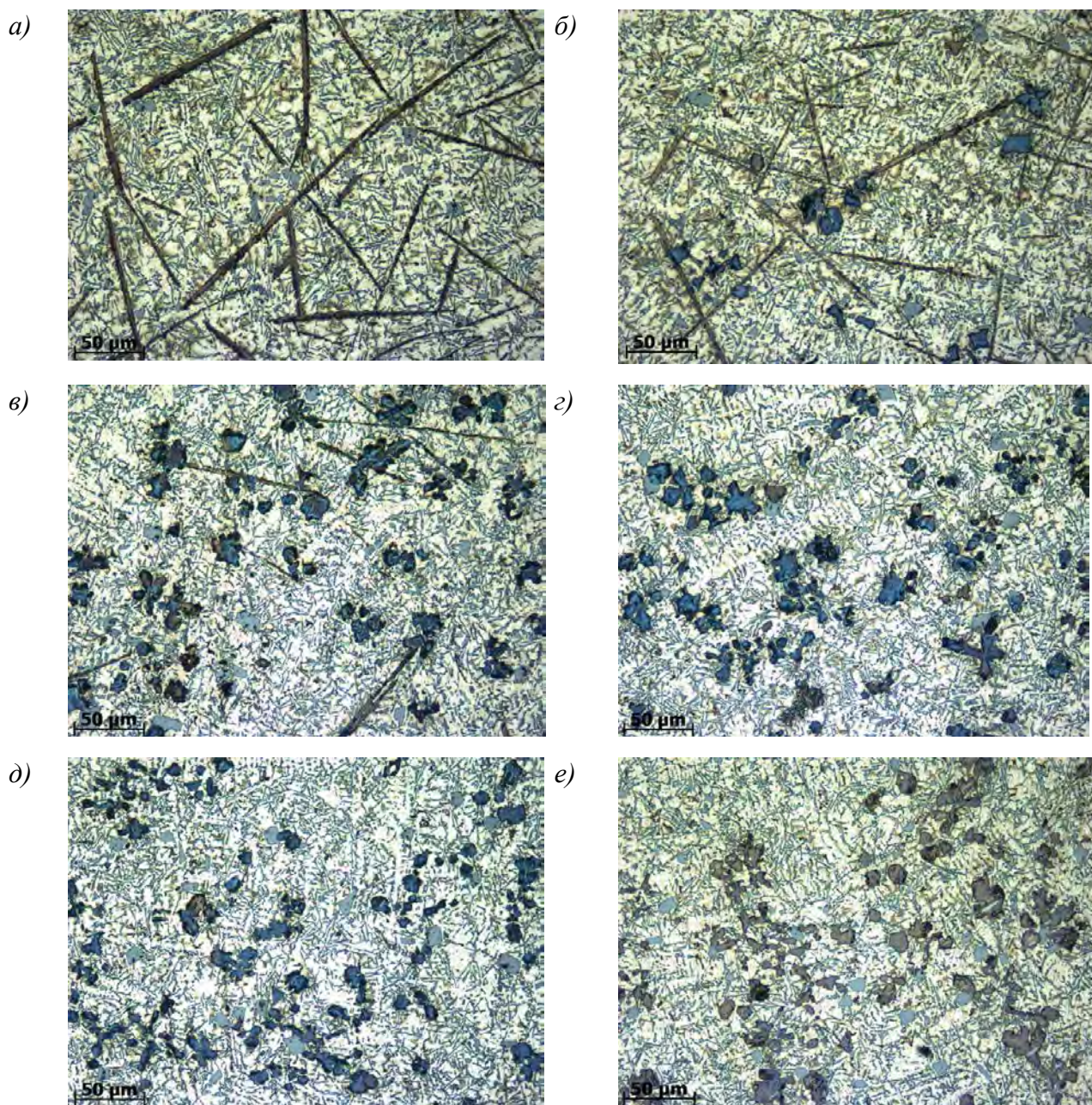


Рис. 1. Микроструктура центральной части шлифов опытных образцов диаметром 53 мм из сплава АК12МЗ, полученных вибрационно-литейным способом, с содержанием железа более 2,0 %, х 200: а – обр. № 2.5; б – обр. № 2.0; в – обр. № 2.1; г – обр. № 2.2; д – обр. № 2.3; е – обр. № 2.4

По результатам металлографических исследований установлено, что микроструктура опытных образцов состояла из высокодисперсной алюминиево-кремниевой эвтектики размером 4,0 мкм, единичных кристаллов первичного кремния размером 10...13 мкм и железосодержащих интерметаллидных включений размером 14...50 мкм различной формы в зависимости от химического состава образца (табл. 1).

Табл. 1. Результаты металлографических исследований опытных отливок при комплексном легировании хромом, марганцем и медью

№ обр.	Химический состав образца	Средний размер кристаллов первичного кремния, мкм	Средний размер кристаллов эвтектического кремния, мкм	Средний размер железосодержащих интерметаллидных включений, мкм	Форма железосодержащих интерметаллидных включений
2.0	AlSi12Cu3Fe2Mn	13	4,0	76	пластинчатая и хлопьевидная
2.1	AlSi12Cu3Fe2MnCr0,1	13	4,0	50	пластинчатая, хлопьевидная и округлая
2.2	AlSi12Cu3Fe2MnCr0,2	13	4,0	18	хлопьевидная и округлая
2.3	AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4	13	4,0	13	округлая
2.4	AlSi12Cu3Fe2MnCr0,6	13	4,0	14	округлая
2.5	AlSi12Cu3Fe2	10	4,0	96	пластинчатая

Твердость опытных образцов определяли по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012–59 на твердомере марки ТШ-2М по четырем точкам, равноудаленным по ширине шлифа. Для измерения твердости применяли стальной шарик диаметром 10 мм с приложением усилия 1000 кгс. Установлено, что максимальная твердость наблюдалась у образцов № 2.4 (AlSi12Cu3Fe2MnCr0,6) составила в среднем 116 НВ.

Определена зависимость твердости и размеров железосодержащих интерметаллидных включений в опытных образцах диаметром 53 мм, полученных вибрационно-литейным способом от содержания хрома в сплаве АК12МЗ с содержанием марганца 1,0 % и железа более 2,0 % (рис. 2).

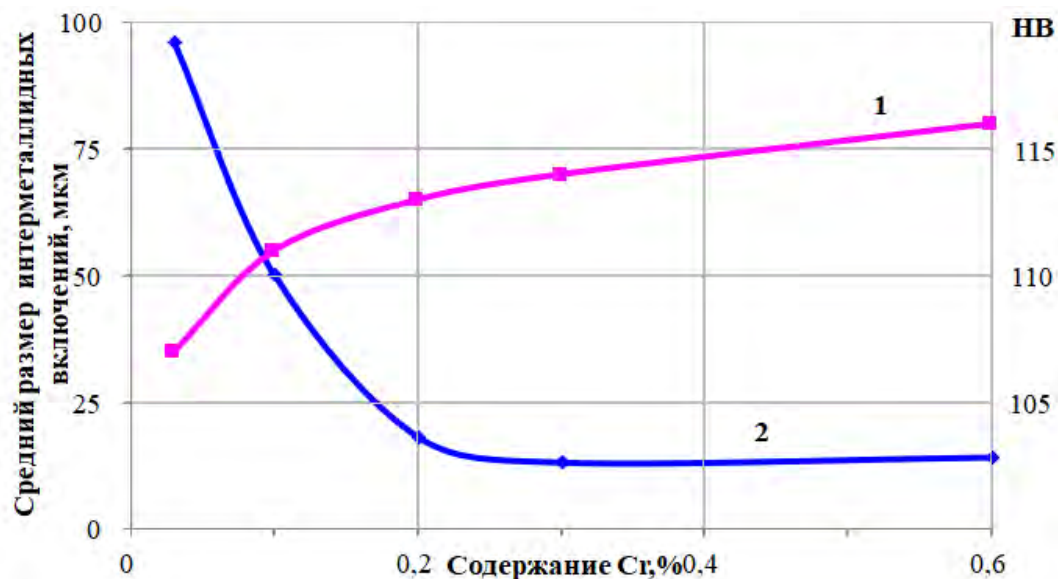


Рис. 2. Зависимость изменения средних значений твердости (1) и размера интерметаллидных включений (2) от содержания хрома в опытных образцах из силумина AlSi12Cu3Fe2Mn

Таким образом, комплексное легирование марганцем (не менее 1,0 %) и хромом (не менее 0,4 %) опытных образцов диаметром 53 мм из сплава АК12МЗ с повышенным содержанием железа (более 2,0 %) при литье в струйный кристаллизатор с применением вибрации способствует измельчению и изменению пластинчатой формы железосодержащих интерметаллидных включений на более компактные и округлые размером 13...18 мкм, а также повышению твердости образцов в литом состоянии до 121 HB.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стеценко, В. Ю.** Использование вибрации струйного кристаллизатора для повышения качества отливок из силуминов / В. Ю. Стеценко, К. Н. Баранов, А. П. Гутев // Литейное производство. – 2020. – № 5. – С. 35–37.
2. **Гутев, А. П.** Повышение эксплуатационных свойств вторичного силумина АК12М2 / А. П. Гутев, К. Н. Баранов // Научные труды 6-ой Междун. науч.-техн. конф. «ЖивКоМ-2022». – Москва: Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 2022. – С. 235–238.
3. **Баранов, К. Н.** Исследование влияния легирования марганцем на структуру отливок из силуминов с повышенным содержанием железа / К. Н. Баранов, А. П. Гутев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междун. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2023. – С. 119–120.

Контакты:

lms@itm.by (Гутев Алексей Петрович);

lms@itm.by (Баранов Константин Николаевич);

grusha@itm.by (Груша Владимир Петрович).