

ЛЕГКИЕ СПЛАВЫ

УДК 621.74:669.715

Е.С. Гончаренко, И.С. Корнышева, И.И. Вавилова, И.Л. Николаева

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ЛИТЬЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛИТЕЙНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЛ4МС

На основании проведенных ранее исследований авторами разработан высокопрочный высокотехнологичный литейный алюминиевый сплав, которому присвоена марка АЛ4МС. Сплав АЛ4МС обладает хорошими литейными свойствами: жидкотекучесть 370 мм, линейная усадка 1%, нет склонности к образованию горячих трещин. Сплав АЛ4МС при литье в кокиль в состоянии Т5 обеспечивает предел прочности 360–400 МПа, относительное удлинение 4–6%.

Высокие технологические характеристики нового сплава дают возможность отливать из него детали всеми способами литья. С этой целью было проведено сравнительное исследование свойств и структуры этого сплава, отлитого в песчаные формы, кокиль и методом ЛГМ (литье по газифицируемым моделям).

Следует отметить, что литье в песчаные формы и кокиль являются достаточно традиционными методами, литье по газифицируемым моделям в России применяется мало, так как до последнего времени к этому способу предъявляли те же требования, что и к традиционным методам литья. В результате не использовались полностью все преимущества метода.

В мире широко используется метод ЛГМ. На отечественных предприятиях литьем по газифицируемым моделям изготавливают отливки из сплавов с высокой температурой заливки: стали, чугуна, бронзы, латуни; алюминиевые сплавы имеют низкую температуру заливки (около 700°C). В нашей стране и за рубежом этот метод использовали на заводах автомобильной промышленности для производства тонкостенных сложных литых заготовок. Применение новых марок пенополистирола с пониженной температурой горения и малым негазифицируемым остатком позволяет использовать этот способ литья и для алюминиевых сплавов.

Использование новых технологий позволяет повысить точность газифицируемых моделей (+10 мкм на базе 2 мм при серийности 1 млн моделей), получать внутренние полости толщиной до 0,6 мм, шириной 10...20 мм при длине 40...60 мм практически любой конфигурации, уменьшить припуски на механическую обработку путем уменьшения шероховатости поверхностного слоя отливок и резкого снижения величины уклонов, вплоть до получения отрицательных уклонов, – за счет разработки оригинальных конструкций газифицируемых моделей (использование вставок, накладок и т. п. без нанесения клея).

В данной работе для исследования отливали в песчаные формы образцы диаметром 12 мм, в кокиль – заготовки диаметром 10 и 20 мм. Были изготовлены модели заготовок длиной 200 мм и сечением 5×40, 10×40, 20×40, 40×40 мм для заливки методом ЛГМ. Для получения заготовок методом ЛГМ металл заливали в опоку с двойными стенками, внутренняя стенка которой газопроницаема для обеспечения удаления газов: под атмосферным давлением и гравитационным методом с вакуумированием формы.

Рентгенопросвечиванием на аппарате РУМ-7 проведено исследование плотности заготовок, отлитых различными методами. Исследования показали, что при литье в кокиль и ЛГМ величина сечения не влияет на плотность заготовок. Плотность всех исследованных заготовок и образцов, отлитых в песчаную форму и кокиль, практически одинакова. Заготовки, полученные ЛГМ под атмосферным давлением, пористые. Анализ рентгенограмм заготовок показал, что все заготовки имеют пористость (2–3 балл).

Термический анализ сплава АЛ4МС проводили с помощью адиабатического калориметра SH-3000M. При нагреве образцов, выточенных из заготовок, отлитых в песчаные формы, кокиль и методом ЛГМ, измеряли теплоемкость. Кривые изменения теплоемкости образцов в интервале температур 450–625°C представлены на рис. 1. Установлено, что первый тепловой эффект, соответствующий началу плавления легкоплавких эвтектик, при литье в песчаные формы и методом ЛГМ наблюдается при температуре около 500°C, второй – при 528°C. При литье в кокиль зафиксирован только один тепловой эффект при температуре 536°C, температурный интервал эвтектического превращения ~50°C. Эти данные согласуются с исследованием микроструктуры в литом состоянии: при литье в землю и ЛГМ в структуре наблюдается фаза W, наличие которой обуславливает первый тепловой эффект. Конец эвтектического превращения для всех видов литья происходит приблизительно при температуре 570°C, температурный интервал эвтектического превращения ~70°C. Исходя из данных термического анализа, при нагреве под закалку образцов и деталей из сплава АЛ4МС следует использовать трехступенчатый режим термической обработки с температурой нагрева на первой ступени 490°C. Для тонкостенных кокильных отливок возможен двухступенчатый режим нагрева под закалку с температурой 1-й ступени 515°C, 2-й ступени: 525°C.

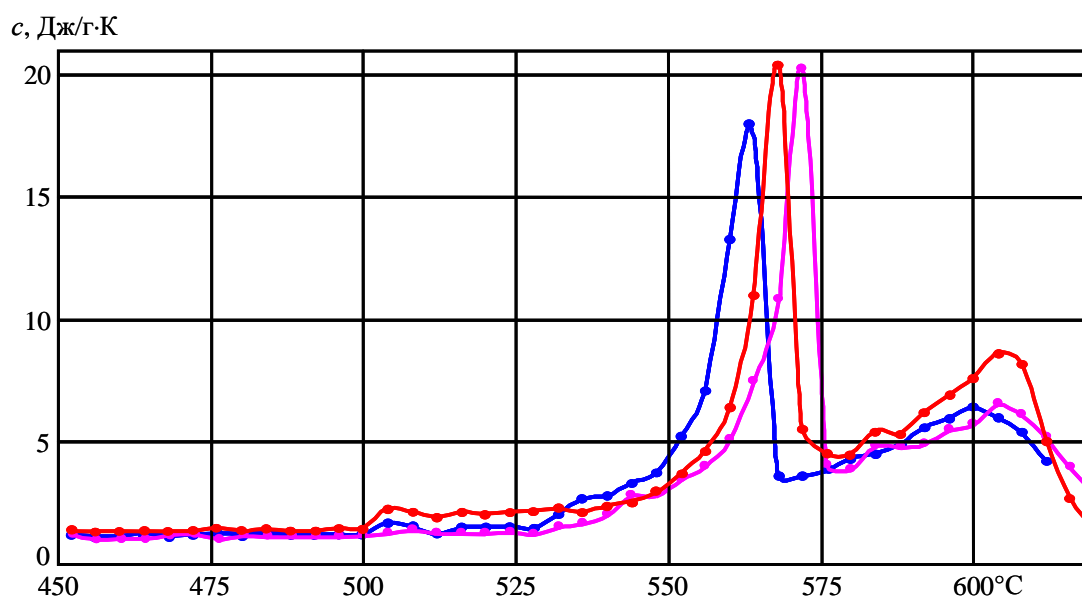


Рис. 1. Кривые изменения удельной теплоемкости сплава АЛ4МС в зависимости от способа литья: в землю (●), кокиль (●) и ЛГМ (●)

По результатам термического анализа, для нагрева под закалку кокильных образцов и деталей из сплава АЛ4МС сечением до 10 мм можно применять двухступенчатый режим. Для литых образцов и деталей, отлитых в песчаные формы, методом ЛГМ и в кокиль, сечением больше 10–15 мм, следует использовать трехступенчатый режим нагрева под закалку. Все образцы и заготовки были подвергнуты термообработке по режиму Т5: нагрев под закалку трехступенчатый при 490°C, 4 ч, + 500°C, 4 ч, + 510°C, 6 ч, закалка в воде при 20°C, старение при 160°C, 10 ч, охлаждение на воздухе. Кокильные заготовки также прошли термообработку по режиму Т5 с двухступенчатым нагревом под закалку при 515°C, 4 ч, + 525°C, 8 ч, закалкой в воде при 20°C, старением при 160°C, 10 ч, охлаждением на воздухе.

Определение механических свойств проводили при комнатной температуре при испытаниях на растяжение отдельно отлитых образцов $\varnothing 12$ мм и выточенных из заготовок образцов $\varnothing 12$ и $\varnothing 5$ мм (см. таблицу).

Плотность и механические свойства образцов из сплава АЛ4МС

Способ выплавки	Образцы	Плотность моделей, кг/м ³	Температура заливки, °С	Обнаруженные дефекты (пористость), балл	σ_b , МПа	δ , %
В кокиль	Точеные $\varnothing 5$ мм	–	730	–	360–380	4,0–6,8
В песчаные формы	Отдельно отлитые $\varnothing 12$ мм	–	730	–	320–340	3,0–4,6
ЛГМ	Заготовки сечением, мм:				} (230–270)*	(1,5–2,8)*
	40×5	40	750	2–3		
	40×10	38	750	2–3		
	40×20	35	750	2–3		
	40×20	38	750	2–3		
	40×40	27	750	2–3		

* Усредненные значения.

Из анализа данных, приведенных в таблице, следует, что при литье в песчаные формы, как и при литье в кокиль, отдельно отлитые образцы в состоянии Т5 имеют сочетание значений механических свойств выше, чем у сплава АЛ34 (ГОСТ 1583–93). Сплав АЛ4МС имеет $\sigma_b \geq 320$ МПа, $\delta \geq 3\%$, сплав АЛ34: $\sigma_b \geq 300$ МПа, $\delta \geq 2\%$. Заготовки литьем по газифицируемым моделям заливали двумя способами: под атмосферным давлением и гравитационным методом с вакуумированием формы. Пористость заготовок соответствовала 2–3 баллу. Обычно свойства деталей, отлитых методом литья по газифицируемым моделям, сравнивают со свойствами литья в песчаные формы. Поскольку заготовки имели сечение до 40 мм и исследование свойств проводилось на вырезанных образцах, то можно рассматривать их как детали. Вырезанные из деталей образцы должны удовлетворять требованиям ОСТ1 90021–92, в соответствии с которыми значения предела прочности должны составлять не менее 75%, а относительного удлинения – не менее 50% от свойств отдельно отлитых образцов.

Исследование микроструктуры сплава АЛ4МС в зависимости от способа литья проводилось на микрошлифах после травления в 0,5%-ном водном растворе плавиковой кислоты на микроскопе Neophot (рис. 2).

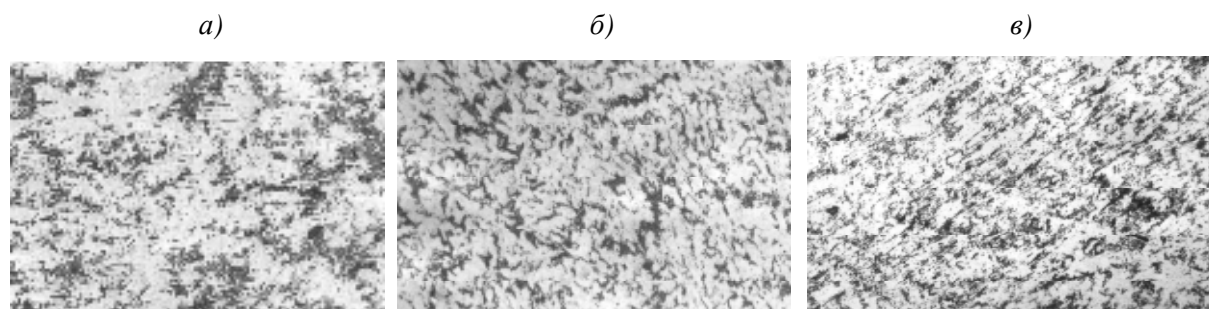


Рис. 2. Микроструктура ($\times 100$) сплава АЛ4МС в литом состоянии (травление в 0,5%-ном водном растворе HF) при литье в песчаные формы (*a*), кокиль (*б*) и ЛГМ под атмосферным давлением (*в*)

Микроструктура представляет, главным образом, дендритные ячейки α -твердого раствора, окруженные эвтектикой $\alpha + \text{Si}$. При литье в песчаную форму в структуре наблюдаются самые крупные зерна α -твердого раствора, фазы Si, CuAl_2 и $\text{W}(\text{Al}_x\text{Mg}_5\text{Cu}_4\text{Si}_4)$, входящие в состав эвтектик (рис. 2, *a*). При литье в кокиль (рис. 2, *б*) скорость кристаллизации выше, происходит измельчение дендритных ячеек и фаз, входящих в состав эв-

тектик. При ЛГМ (рис. 2, в) величина зерна приблизительно такая же, как при литье в кокиль, но можно увидеть фазы Si, CuAl₂, W, явно видна пористость. Кроме того, следует отметить, что в структуре заготовки толщиной 5 мм, отлитой ЛГМ под атмосферным давлением, наблюдается вытянутость дендритных ячеек α-твердого раствора и фаз по границам ячеек в одном направлении – по длине заготовки, что соответствует направлению по высоте заливки.

Исследование микроструктуры сплава в термообработанном состоянии показало (рис. 3), что трехступенчатый режим термической обработки является оптимальным, все упрочняющие фазы переведены в твердый раствор, пережога нет. В микроструктуре наблюдаются зерна α-твердого раствора, окруженные частицами Si. Величина зерен соответствует методу литья и сечению заготовок.

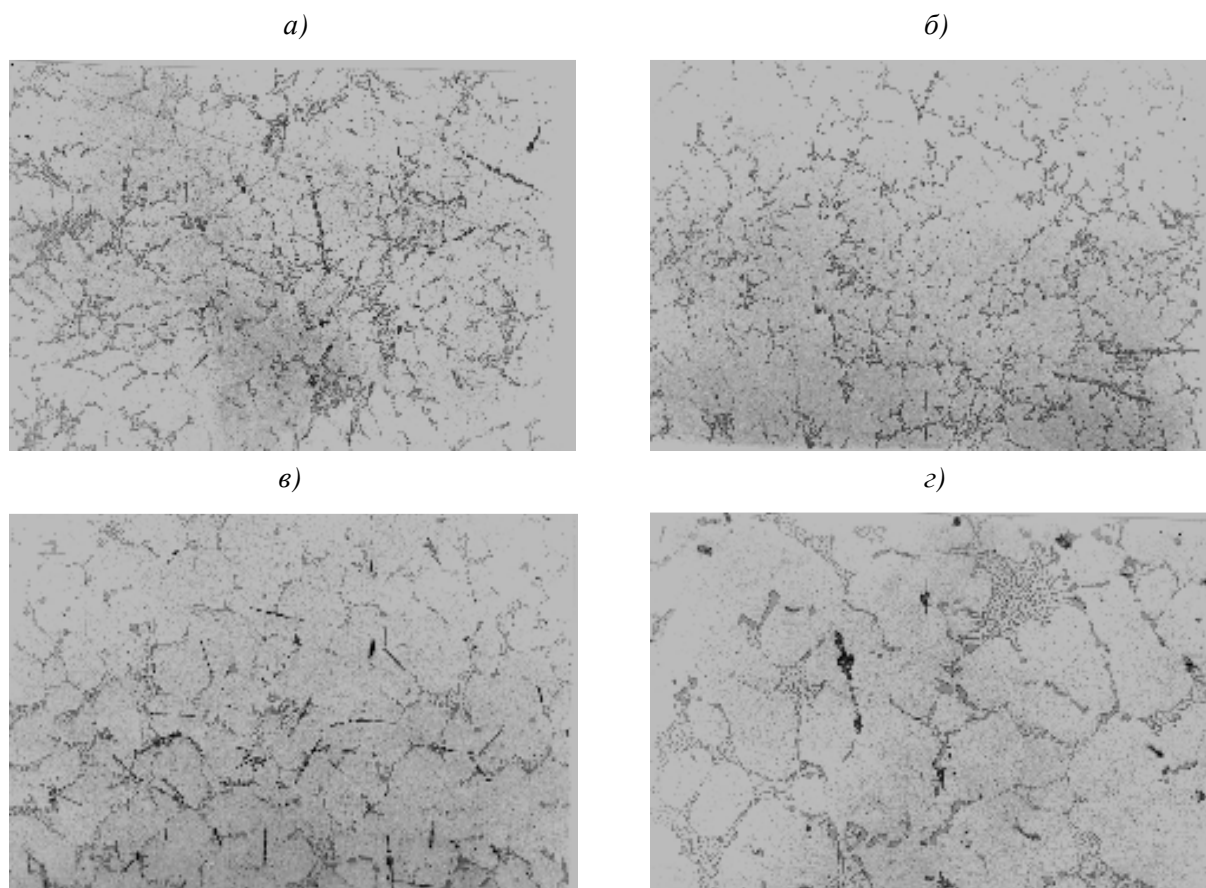


Рис. 3. Микроструктура (×100) сплава АЛ4МС в состоянии Т5 (травление в 0,5%-ном водном растворе HF) при литье в песчаные формы (а), кокиль (б) и ЛГМ под атмосферным давлением при сечении заготовок 20×40 (в) и 40×40 мм (г)

На основании проведенных исследований показано, что сплав АЛ4МС может быть использован для литья деталей любыми способами. По результатам проведенных исследований разработана ТР 1.2.1802–2004 «Процесс изготовления заготовок из сплава АЛ4МС методом литья по газифицируемым моделям». ТР регламентирует возможность отливки заготовок из высокопрочного высокотехнологичного сплава АЛ4МС прогрессивным экономичным способом ЛГМ. В ТР приводятся описания изготовления пеномоделей; сборки блока заготовок с литниковой системой; формовки заготовок в специальную опоку; заливки двумя способами; регламентируются условия, обеспечивающие охрану труда и окружающей среды.