

УДК 669.721.5

Канд. тех. наук В. А. Шаломеев, д-р техн. наук Э. И. Цивирко,
канд. тех. наук А. В. Пархоменко, К. Л. Дикий

Национальный технический университет, г. Запорожье

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА Мл-5

На промышленных плавках сплава Мл-5 изучено влияние кремния в пределах марочного состава на механические свойства литья. Показано, что кремний в допустимых пределах повышает свойства металла. Установлено влияние кремния на структуру и свойства отливок из сплава Мл-5.

Ключевые слова: магниевый сплав, микроструктура, интерметаллиды, механические свойства, жаропрочность.

Магниево-алюминиевые сплавы, обладающие высокой удельной прочностью, находят все более широкое применение в машиностроении [1]. Широко распространенным для изготовления большой номенклатуры деталей машин и механизмов является сплав Мл-5, не содержащий в составе дорогостоящих легирующих элементов и имеющий при этом достаточно высокий уровень свойств [2]. В то же время, данный сплав имеет невысокую коррозионную стойкость. Высокая химическая активность магния определяет пониженную коррозионную стойкость сплава [3]. Кремний, входящий в состав шихтовых материалов и попадающий в сплав Мл-5, заметно снижает коррозионную стойкость сплава [4], поэтому его содержание в сплаве ограничено. Так, ГОСТ 2856-79 предусматривает содержание кремния в сплаве Мл-5 до 0,25 % [5].

В настоящее время разработаны и применяются достаточно надежные покрытия для изделий из магниевых сплавов [6]. Поэтому пониженная коррозионная стойкость магниевых сплавов не может служить препятствием к их применению в различных областях техники, однако Si, входящий в состав сплава, может влиять на его механические свойства. Поэтому представляет интерес изучение влияния кремния на свойства сплава Мл-5.

Анализ более четырехсот промышленных плавков сплава Мл-5 показал, что содержание кремния в них находилось в пределах -0,02...0,25 %.

С помощью специализированной программы «Statistic 2.1» [7] изучали влияние кремния на свойства отливок из сплава Мл-5. Для исключения влияния основных легирующих элементов на свойства сплава отбирались плавки с одинаковым химическим составом и различным содержанием кремния. Результаты математической обработки показали, что кремний в исследуемых пределах повышал не только прочность, но и пластичность сплава. Было проведено исследование по влиянию кремния на структурообразование и механические свойства отливок из сплава Мл-5.

Магниевый сплав Мл-5 выплавляли в индукционной тигельной печи типа ИПМ-500 по серийной технологии. Расплав рафинировали флюсом ВИ-2 в раздаточной печи, из которой порционно отбирали ковшем расплав. В него вводили возрастающие присадки лигатуры Mg – 16 %Si (0; 0,05; 0,10; 1,0 % Si по расчету) и заливали им песчано-глинистые формы для получения стандартных образцов с рабочим диаметром 12 мм (ГОСТ 2856-79). Образцы для механических испытаний проходили термическую обработку в печах типа Бельвю и ПАП-4М по режиму: гомогенизация при температуре 415 °С (выдержка 24 часа), охлаждение на воздухе + старение при температуре 215 °С (выдержка 10 часов), охлаждение на воздухе.

Предел прочности и относительное удлинение образцов определяли на разрывной машине Р5 при комнатной температуре.

Длительную прочность при температуре 150 °С и напряжении 80 МПа (τ_{80}^{150}) определяли на разрывной машине АИМА 5-2 на образцах с рабочим диаметром 5 мм по ГОСТ 10145-81.

Микроструктуру отливок изучали методом оптической микроскопии («Neophot 32») на термически обработанных образцах после травления реактивом, состоящем из 1 % азотной кислоты, 20 % уксусной кислоты, 19 % дистиллированной воды, 60 % этиленгликоля.

Микротвердость структурных составляющих сплава определяли на микротвердомере фирмы «Buehler» при нагрузке 0,1 Н.

Химический состав сплава различных вариантов микролегирования удовлетворял требованиям ГОСТ 2856-79 и по содержанию основных элементов находился примерно на одном уровне (8,5 % Al; 0,31 % Mn; 0,33 % Zn; 0,03 % Fe; 0,007 % Cu; 0,025 % Si).

Макрофрактографическое исследование структуры изломов образцов сплава Мл-5 показало, что с повышением концентрации кремния в сплаве наблюдалось заметное измельчение макроструктуры (рис. 1).

Микроструктура исходного сплава Мл-5 представляла собой δ -твердый раствор с наличием эвтектики типа $\delta + \gamma$, интерметаллида γ и мелкодисперсных частиц марганцовистой фазы (рис. 2, а).

С повышением содержания кремния в сплаве уменьшалось расстояние между осями дендритов второго порядка и размеры структурных составляющих (табл. 1), особенно заметно – размеры и количество эвтектики $\delta + \gamma$ (рис. 2, а-в), а количество интерметаллидных выделений увеличивалось при уменьшении их размеров (рис. 3).

Микротвердость δ -твердого раствора росла с повышением содержания Si. Стандартная термообработка способствовала повышению микротвердости мат-

рицы, наиболее высокие значения HV получены на образцах, прошедших длительные испытания.

Микрорентгеноспектральный анализ интерметаллидной фазы сплава с 1,05 % Si показал, что кремний входит в состав комплексных интерметаллидов (рис. 4).

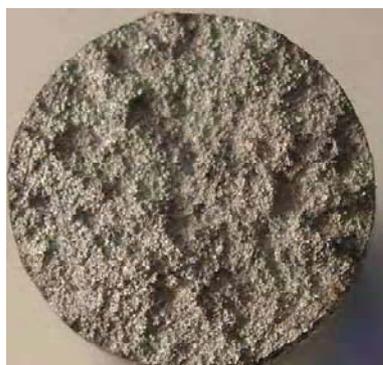
Увеличение содержания кремния повышало прочность сплава, но более высокие пластические свойства были при содержании 0,05...0,1% Si. Повышение содержания кремния в сплаве приводило к охрупчиванию металла и снижению пластичности (табл. 2). Кремний также улучшал жаропрочность магниевого сплава.

Таким образом, установлено положительное влияние кремния на свойства сплава Мл-5.

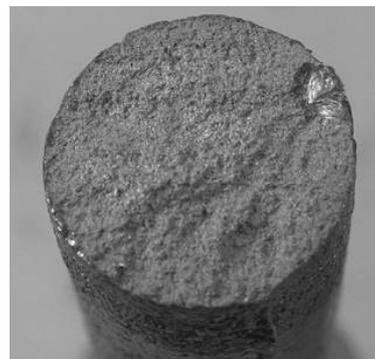
Таблица 1 – Характеристики структурных составляющих сплава Мл-5 с различным содержанием Si *)

Содержание кремния, %	Размер микрозерна, мкм	Расстояние между осями дендритов 2-го порядка, мкм	Микротвердость матрицы, HV, МПа		
			до т/о	после т/о	после испытаний на длительную прочность (τ_{80}^{150})
0,025	140	20	1115,9	1256,5	1286,5
0,047	130	19	1116,6	1276,5	1305,5
0,12	120	17	1141,3	1313,5	1334,6
1,05	100	16	1166,4	1334,5	1378,8

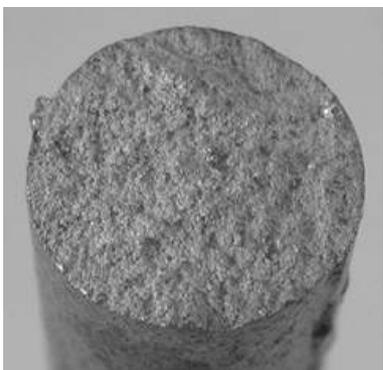
Примечание: *) – средние значения



а



б



в



г

Рис. 1. Макроструктура изломов образцов из сплава Мл-5, $\times 5$:

а – 0,025% Si; б – 0,047% Si; в – 0,12% Si; г – 1,05% Si

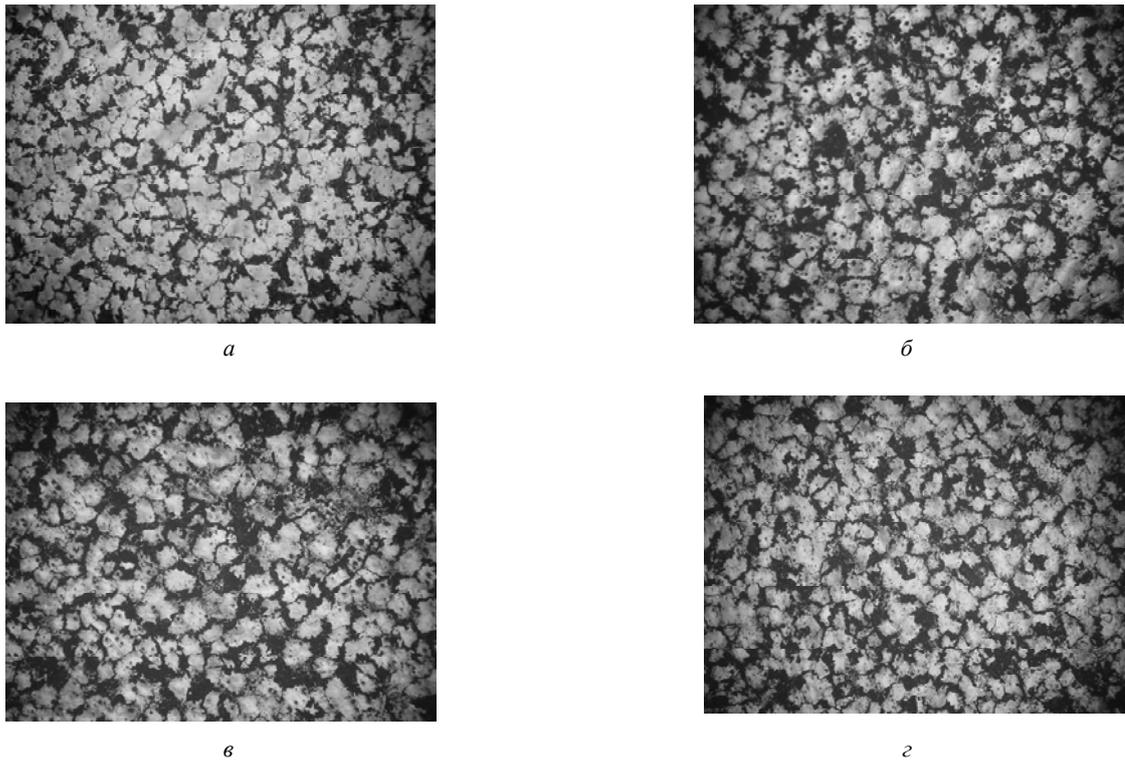


Рис. 2. Микроструктура изломов образцов из сплава Мл-5, $\times 100$:
 $a - 0,025 \% \text{ Si}$; $б - 0,047 \% \text{ Si}$; $в - 0,12 \% \text{ Si}$; $г - 1,05 \% \text{ Si}$

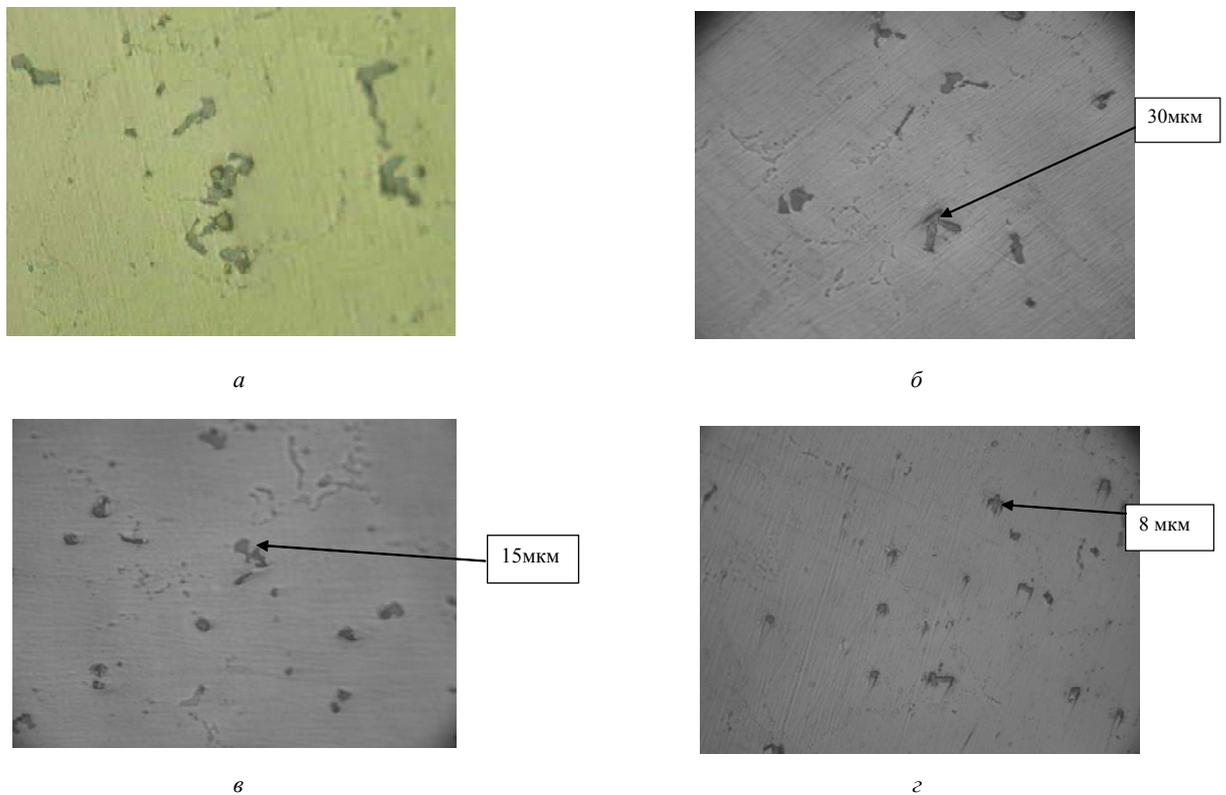
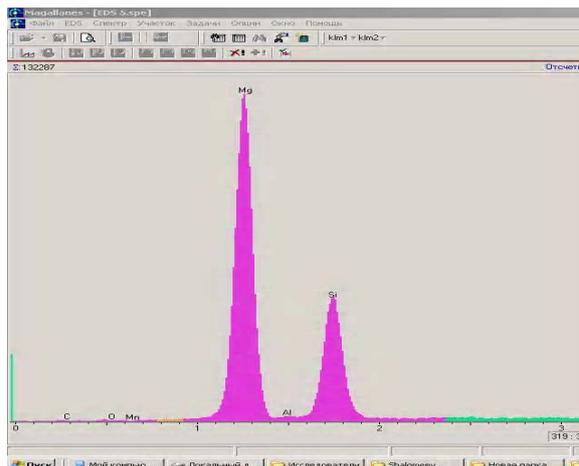


Рис. 3. Интерметаллидные включения в сплаве Мл-5, $\times 500$:
 $a - 0,025 \% \text{ Si}$; $б - 0,047 \% \text{ Si}$; $в - 0,12 \% \text{ Si}$; $г - 1,05 \% \text{ Si}$



a



б

Мемо	Mg	Al	Si	Mn	C	O	Total
5	45,85	1,21	51,85	0,02	0,69	0,37	100

Рис. 4. Результаты PCMA интерметаллида в сплаве Мл-5 с 1,05% Si:

a – место анализа; б – спектрограмма участка; в – химический состав участка

Выводы

1. Кремний в сплаве Мл-5 измельчает макро- и микро-структуру металла.
2. При легировании сплава Мл-5 кремнием образуется комплексная интерметаллидная фаза с повышенным содержанием кремния.
3. При содержании кремния до 1,05 % повышается прочность и жаропрочность сплава, при этом показатели пластичности достигают максимальных значений до 0,12 % Si.

Перечень ссылок

1. Edgar R. L. Magnesium Alloys and their Applications / R. L. Edgar, Ed. Kainer K.U. : Wiley-Weinheim-New York-Chichester-Brisbane-Singapore-Toronto. Verlag Gmbh. – 2000. – P. 3–8.
2. Бондарев Б. И. Фундаментальные проблемы Российской металлургии на пороге XXI века / Б. И. Бондарев,

- Л. Л. Рохлин. – М. : Российская Академия Естественных Наук, 1998 – Т. 2. – С. 118–156.
3. Мищенко К. П. Краткий справочник по химии / К. П. Мищенко, А. А. Равдель. – М. : Химия, 1974. – 200 с.
4. Рейнор Г. В. Металловедение магния и его сплавов / Г. В. Рейнор. – М. : Металлургия, 1964. – 487 с.
5. Сплавы магниевые литейные. Марки : ГОСТ 2856-79. – [Действ. От 01.01.81]. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 4 с. – (Госстандарт СССР).
6. Альтман М. Б. Технология производства и свойств отливок и деформированных полуфабрикатов / М. Б. Альтман, А. Ф. Белов, В. И. Добаткин и др. // Магниевые сплавы. – М. : Металлургия, 1978. – Т. 2. – 295 с.
7. Самарский А. А. Математическое моделирование / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М. : Физматлит, 2001. – 256 с.

Одержано 22.03.2010

V. A. Shalomeev, E. I. Tsvirko, A. V. Parkhomenko, K. L. Dikiy

THE SILICON INFLUENCE ON ALLOY ML-5 CASTING PROPERTIES

На промышленных плавках сплава Мл-5 вивчено вплив кремнію в границях марочного складу на механічні властивості лиття. Показано, що кремній у допустимих границях підвищує властивості металу. Встановлено вплив кремнію на структуру та властивості виливків зі сплаву Мл-5.

Ключові слова: магнієвий сплав, мікроструктура, інтерметаліди, механічні властивості, жароміцність.

The influence of silicon within the branded structure limits on moulding mechanical properties is studied using alloy ML-5 industrial casting. It was shown, that silicon raises metal properties in admissible limits. The silicon influence on alloy ML-5 cast details structure and properties was established.

Key words: magnesium alloy, microstructure, intermetallics, mechanical properties, thermal stability.