

УДК 621.74

Локтионов-Ремизовский В. А., Гаврилюк В. П.

### ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ – КРЕМНИЙ – МАГНИЙ

Результаты исследований, представленные в данной статье, являются составной частью одного из научных направлений, по которому работает ФТИМС НАН Украины. Проводится системный анализ алюминиевых сплавов, применяемых в машиностроении, и разрабатываются научные принципы управления формирования структуры и свойств литейных алюминиевых сплавов для фасонных отливок, в частности для двигателя внутреннего сгорания.

Выбор, для исследований системы Al–Si–Mg, в качестве базовой, и элементов комплекса дополнительного легирования (Mn, Cr, Ni, Ti, Zr) проведен на основе сопоставительного анализа составов стандартных литейных алюминиевых сплавов, используемых для изготовления фасонных отливок деталей двигателя внутреннего сгорания [1–12].

Целью исследований является определение возможности построения диаграмм состав-структура-свойство сложнолегированных сплавов базовой системы Al–Si–Mg.

Составы экспериментальных сплавов определили по базовым легирующим элементам, принимая во внимание требования по высокому уровню литейных характеристик и общие закономерности функций концентрационных зависимостей литейных характеристик сплавов эвтектических систем. По Курдюмову наилучший уровень литейных свойств характерен для эвтектических сплавов [13]. Экспериментальные сплавы расположили вдоль линии эвтектики, в области эвтектических структур, и на пересечении главной конноды квазибинарного сечения Al–Mg<sub>2</sub>Si системы Al–Si–Mg. На рис. 1 приведена схема расположения экспериментальных сплавов на концентрационном треугольнике диаграммы состояния базовой системы Al–Si–Mg, в сопоставлении со схемой расположения стандартных промышленных сплавов.

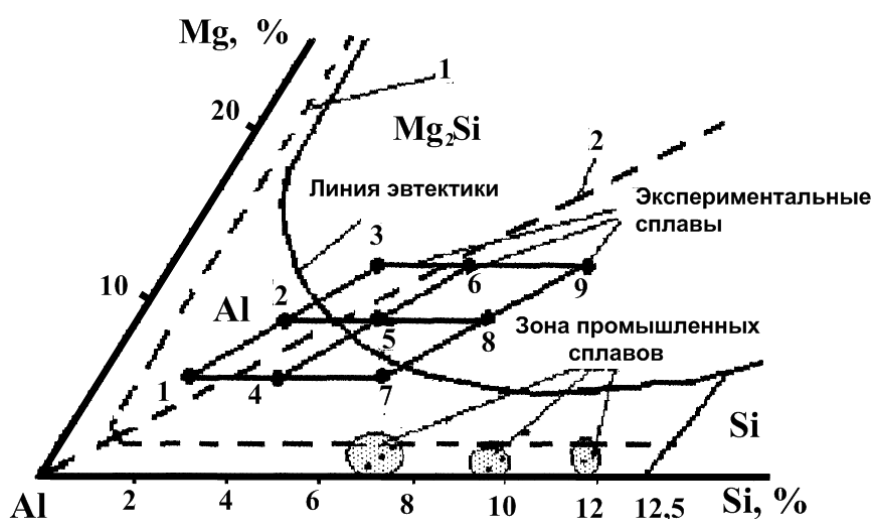


Рис. 1. Схема расположение экспериментальных сплавов системы Al–Mg<sub>2</sub>Si на проекции поверхности ликвидус и изотермическом сечении базовой системы Al–Si–Mg:

1, 2, 3, ... 9 – расположение экспериментальных сплавов; 1 – линия предела растворимости; 2 – главная коннода квазибинарного сечения  $\alpha$ -Al–Mg<sub>2</sub>Si (границы квазибинарного сечения не показаны)

При выбранном расположении экспериментальных сплавов, основной упрочняющей фазой является силицид магния, как и в стандартных сплавах данной базовой системы. Данное расположение составов экспериментальных сплавов позволяет установить влияние степени насыщения твердого раствора на основе алюминия магнием и кремнием и влияние степени эвтектичности сплава, при постоянстве легирования дополнительным комплексом, на свойства экспериментальных сплавов.

Массовую долю базовых элементов в экспериментальных сплавах варьировали в диапазонах, в % по массе: кремний – 1,6–8,6 %; магний – 6,3–11,4 %. Комплекс дополнительного легирования представляет собой, в % по массе: Mn – 0,50; Cr – 0,10; Ni – 0,60; Ti + Zr – 0,20 (при Ti/Zr = 1), и примесей: Fe – 0,02 ÷ 0,27; Cu – 0,04 ± 0,069. Исследования сплавов проводили на образцах отлитых в кокиль. Испытания механических свойств образцов сплавов проводили после термической обработки по режиму неполного старения. Определяли уровень значений временного сопротивления при растяжении, предела текучести, удлинения, модуля упругости и твердость по HRB сплавов. Свойства сплавов определяли как среднее из результатов испытаний 3–6 образцов каждого сплава.

В общем виде уровень временного сопротивления при растяжении экспериментальных сплавов, в зависимости от состава, находится в пределах от 50 до 300 МПа. Условный предел текучести изменяется в диапазоне от 40 до 250 МПа. Удлинение составляет 0,8–2,5 %. Модуль упругости – в пределах 40000–140000 МПа. Твердость – в пределах 40–80 HRB.

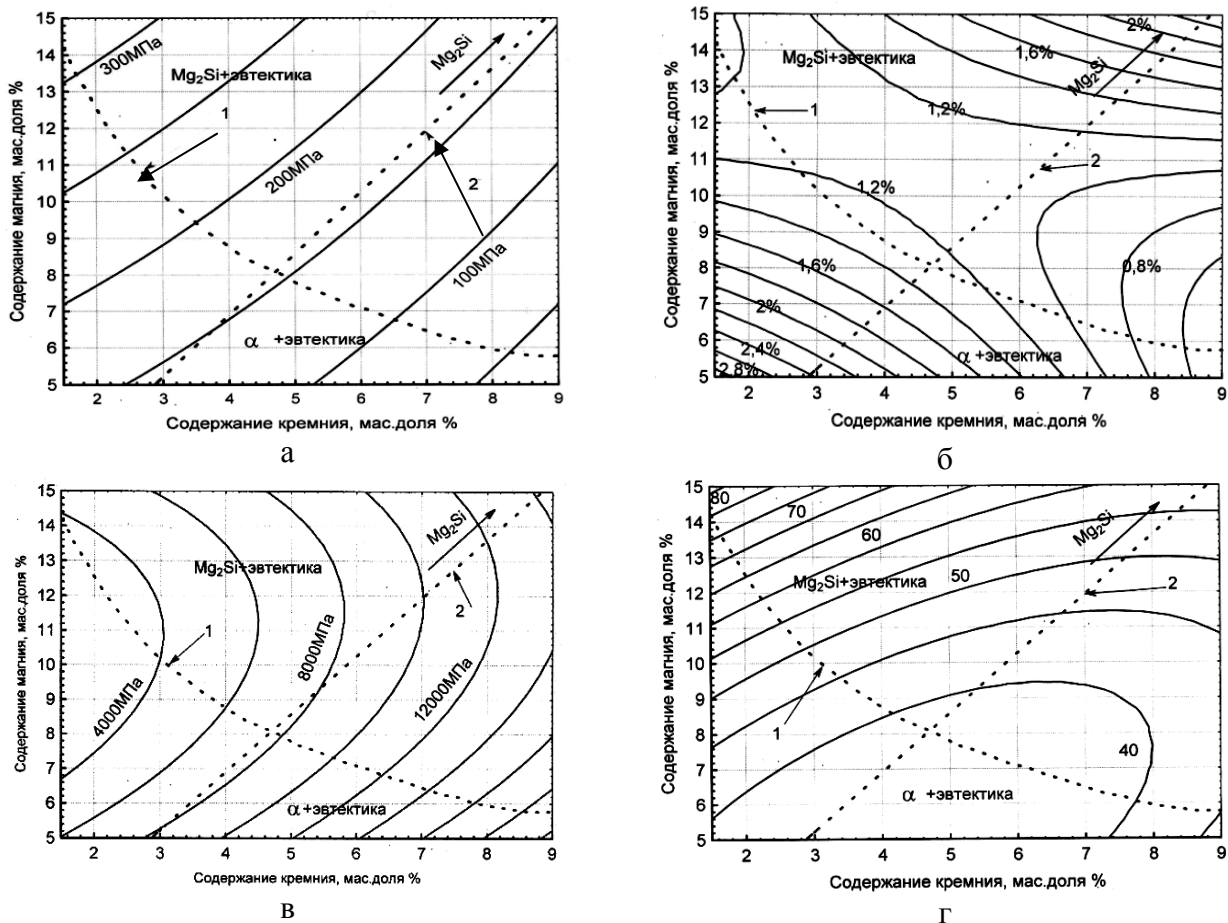


Рис. 2. Топограммы свойств сплавов в сопоставлении с проекцией поверхности ликвидус и изотермическим сечением базовой системы Al–Mg–Si:

1 – линия эвтектики; 2 – линия квазибинарного сечения Al–Mg<sub>2</sub>Si; а – временное сопротивление при растяжении; б – относительное удлинение; в – модуль нормальной упругости, × 10; г – твердости по Бринеллю

На рис. 2 представлені топограмми функцій досліджуваних властивостей експериментальних сплавів базової системи Al–Si–Mg.

Сопоставлення топограмм (поверхностей) з ізотермічним сеченням і з проекцією поверхності ліквідус (лінією евтектики) даної базової системи дозволяє встановити певні тенденції і закономірності зміни властивостей сплавів, в зв'язі з зміною вмісту основних легируючих елементів кремнію і міді. Дані закономірності розглядаються в концентраційному діапазоні основних легируючих елементів, масової частини: по кремнію 2–9 % і по магнію 5–15% по масі, і при використанні вказаного вище додаткового комплексу легування.

Функція тимчасового опору при розтягненні сплавів представлена поверхнею з орієнтацією ізоліній практично збігаючої з орієнтацією лінії квазібінарного сечення. Зміна кількості силіцида магнію в сплавах, при збереженні його хімічного складу (відношення вмісту кремнію до магнію), практично не впливає на рівень тимчасового опору при розтягненні сплавів. Перехід сплавів з доевтектичної області в заевтектичну також не призводить до зміни рівня тимчасового опору при розтягненні, при постійності відношення вмісту кремнію до магнію. Чітко виражена тенденція збільшення тимчасового опору при розтягненні сплавів при зменшенні відношення вмісту кремнію до магнію.

Функція відносного подовження сплавів представлена поверхнею з екстремальними характеристиками. Максимуми значень відносного подовження сплавів (2 % і більше) знаходяться в концентраційному діапазоні, по масовій частині в %: кремнію до 2 і магнію до 5, а також кремнію більше 8 і магнію більше 13. Відносний мінімум подовження (1,2 %) відповідає області концентрацій, по масовій частині в %: кремнію 2–6 і магнію 8–13. З збільшенням відношення кремнію до магнію більше стехіометричного в діапазоні концентрацій магнію, по масовій частині в %, 8–12 значення відносного подовження суттєво знижується. Орієнтація області мінімуму відповідає орієнтації лінії евтектики.

Функція модуля нормальної пружності сплавів, в досліджуваному діапазоні концентрацій кремнію і магнію, представлена поверхнею, що характеризується підвищенням значення модуля пружності сплавів при підвищенні вмісту кремнію. Значення модуля пружності 140000 МПа досягається при масовій частині магнію 5 % і масовій частині кремнію 7 %. При масовій частині магнію 7–14 % і кремнію до 3% рівень модуля пружності не перевищує 40000 МПа. З збільшенням масової частини магнію більше 12 % ефективність впливу кремнію на збільшення значення модуля пружності знову збільшується.

Функція твердості сплавів, в досліджуваному діапазоні концентрацій кремнію і магнію, представлена криволінійною поверхнею з монотонним підвищенням твердості при підвищенні вмісту магнію. Збільшення вмісту кремнію, в області значень відношення кремнію до магнію менше стехіометричного, збільшує твердість сплавів. При значенні відношення кремнію до магнію більше стехіометричного, рівень твердості сплавів з збільшенням вмісту кремнію практично не змінюється. З збільшенням масової частини кремнію більше 6 % спостерігається тенденція до зниження твердості сплавів. Орієнтація морфологічного признака поверхності твердості збігає з орієнтацією лінії квазібінарного сечення Al–Mg<sub>2</sub>Si.

Як відзначали вище, термічна обробка експериментальних сплавів проведена в режимі неповного старіння. Вибір режиму термічної обробки сплавів проведено за результатами аналізу літератури.

Применение других режимов термической обработки изменит уровень значения физико-механических свойств сплавов. Принимая во внимание основной закон металловедения «Закон Курнакова» можно утверждать, что общий характер и вид функций концентрационных зависимостей физико-механических свойств, в исследованном диапазоне составов сплавов, после применения других режимов термической обработки, практически не изменятся. Изменяется лишь абсолютное значение каждого свойства, при сохранении вида функции.

Наличие статистических данных в виде разработанных диаграмм состав – структура – свойство позволяет, выбирая состав сплава по одному параметру (свойству), определять ряд других параметров (физико-механических свойств).

### ВЫВОДЫ

1. Построены диаграммы состав – структура – свойство экспериментальных сплавов в алюминиевом угле диаграммы базовой системы Al–Si–Mg.
2. Установлены основные закономерности функций концентрационных зависимостей экспериментальных сплавов в алюминиевом угле диаграммы базовой системы Al–Si–Mg.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Легкие цветные металлы и сплавы : справочник. Том 2 / Л. Н. Дорохина, З. А. Таужнянска, Л. Ф. Никерова, Г. Н. Кручер ; под ред. С. Н. Подвиженского, М. В. Теслицкой. – М. : ЦНИИцветмет, 1999. – 416 с.
2. Бюкен К. Автомобилестроение и технология литья / К. Бюкен ; пер. с нем. – М. : Машиностроение, 1965. – 156 с.
3. Колесников Ф. Н. Технично-економические показатели и современные направления развития технологи автомобилестроения в капиталистических странах / Ф. Н. Колесников. – М. : ЦИНТИАМ, 1964. – 274 с.
4. Никитин, М.Д. Материалы, используемые в дизелестроении за рубежом / М. Д. Никитин. – М. : НИИинформтяжмаш, 1966. – 52 с.
5. ДСТУ 1583-93. Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. – Замість ДСТ 1583-89, Введ. 01.01.95. – М. : Вид-ня стандартів, 1993. – 49 с.
6. Архангельський В. М. Автомобильные двигатели / В. М. Архангельський, М. М. Вихерт и др. – М. : Машиностроение, 1967. – 234 с.
7. Богуславский А. М. Литье алюминиевых блоков цилиндров двигателей / А. М. Богуславский, И. С. Матусевич. – М. : НИИинформтяжмаш, 1970. – № 9. – 49 с.
1. Хрущев М. М. Повышение износостойкости деталей двигателей внутреннего сгорания / Под ред. М. М. Хрущева. – М. : Машиностроение, 1972. – 176 с.
2. Шефер Р. Ф. Высокомощные высокоскоростные дизельные двигатели из алюминия / Р. Ф. Шефер. – SAE Annual Meet, Preprints, s. a. – № 120. – С. 18.
3. Локтионов-Ремизовский В. А. Разработка нового литейного алюминиевого высокопрочного сплава для корпуса блока цилиндров ДВС / В. А. Локтионов-Ремизовский, К. В. Гаврилюк // Процеси литья : ФТИМС НАН України, Киев. – 2002. – № 3. – С. 60–68.
4. Гаврилюк В. П. До питання про рівень властивостей стандартних ливарних алюмінієвих матеріалів // Металознавство та термічна обробка матеріалів. – 2005. – № 2. – С. 55–59.
5. Локтионов-Ремизовський В. А. Структури і властивості евтектичних сплавів системи Al – Si – Mg / В. А. Локтионов-Ремизовський К. В. Гаврилюк, В. Н. Бондаревський // Металознавство та термічна обробка матеріалів. – 2006. – № 3. – С. 30–34.
6. Курдюмов А. В. Плавка и затвердевание сплавов цветных металлов / А. В. Курдюмов, М. В. Пикунов, Р. А. Бахтияров. – М. : Металлургия, 1968. – 226 с.