

УДК 669.721.5

Вплив легування на жароміцність сплаву Мл-5

В. А. Шаломєєв, кандидат технічних наук

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

Обґрунтовано вибір елементів для легування магнієвого сплаву Мл-5 з метою підвищення його жароміцності. Показано їх вплив на структуроутворення, механічні властивості та жароміцність сплаву.

Для виготовлення відповідальних деталей машин і агрегатів в машинобудуванні широко застосовують магнієвий сплав Мл-5, що має добре поєднання механічних і технологічних властивостей [1]. Виливки з цього сплаву експлуатуються при підвищених температурах до 150 °С [2]. Збільшення його жароміцності можливе шляхом утворення складнолегованих твердих розчинів і тугоплавких фаз [3].

Складнолеговані розчини магнієвого сплаву можуть бути одержані за рахунок елементів, діаметри атомів яких близькі до діаметра атомів магнію (різниця менше 15 %) [4], з різницею електронегативності між ними до 0,4 [5]. При цьому температура плавлення легуючих елементів повинна бути вищою від температури плавлення основи сплаву [3].

На підставі цього, перспективними елементами для легування магнієвих сплавів можуть бути неодим, германій, кремній, ітрій, скандій, цирконій, титан, гафній.

Досліджували вплив вказаних елементів на механічні властивості і жароміцність магнієвого сплаву Мл-5. Сплав Мл-5 виплавляли в індукційній тигельній печі ІПМ-500, рафінували флюсом ВІ-2 в роздавальної печі, з якої фракційно відбирали ковшем розплав. У нього вводили за допомогою лігатур легуючі елементи – 0, 0,05, 0,1, 1,0 % (мас. частка – за розрахунком). Після розчинення лігатур розплав знову підігрівали до 790 ± 5 °С, витримували 15 хв і заливали у піщано-глинисті форми для отримання зразків з робочим діаметром 12 мм. Зразки для механічних випробувань проходили термічну обробку в печах типу Бельв'ю і ПАП-4М за режимом: (гомогенізація при температурі 415 °С, витримка 24 години, охолодження на повітрі з наступним старінням при температурі 215 °С, витримка 10 годин, охолодження на повітрі).

Границя міцності (σ_b) та відносне видовження (δ) зразків визначали на розривній машині Р5 при кімнатній температурі. Жароміцність (τ_{150}^{80}) визначали на розривній машині АІМА 5-2 на зразках з робочим діаметром 5 мм за ГОСТ 10145-81. Підрахунок індексу інтерметалідів проводився методом «Л» за ГОСТ 1778-70. Фазовий аналіз структурних складових магнієвих сплавів вивчали на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі з енергодисперсійною приставкою РЭММА 202М.

Хімічний склад сплаву Мл-5 різних варіантів легування задовольняв вимогам ГОСТ 2856-79 і за вмістом основних елементів знаходився приблизно на одному рівні (8,6 % Al, 0,28 % Mn, 0,35 % Zn, 0,02 % Fe, 0,005 % Cu, 0,04 % Si).

Макрофрактографічний аналіз зламів литих зразків показав, що легуючі елементи в сплаві Мл-5 в усіх випадках сприяли подрібненню структури. Причому з

підвищенням їх концентрації в сплаві структура змінювалась від крупнокристалічної до дрібнокристалічної.

Мікроструктура сплаву Мл-5 (рис. 1) представлена δ -твердим розчином з евтектикою типу $\delta + \gamma$ та інтерметалідами γ ($Mg_{17}Al_{12}$).

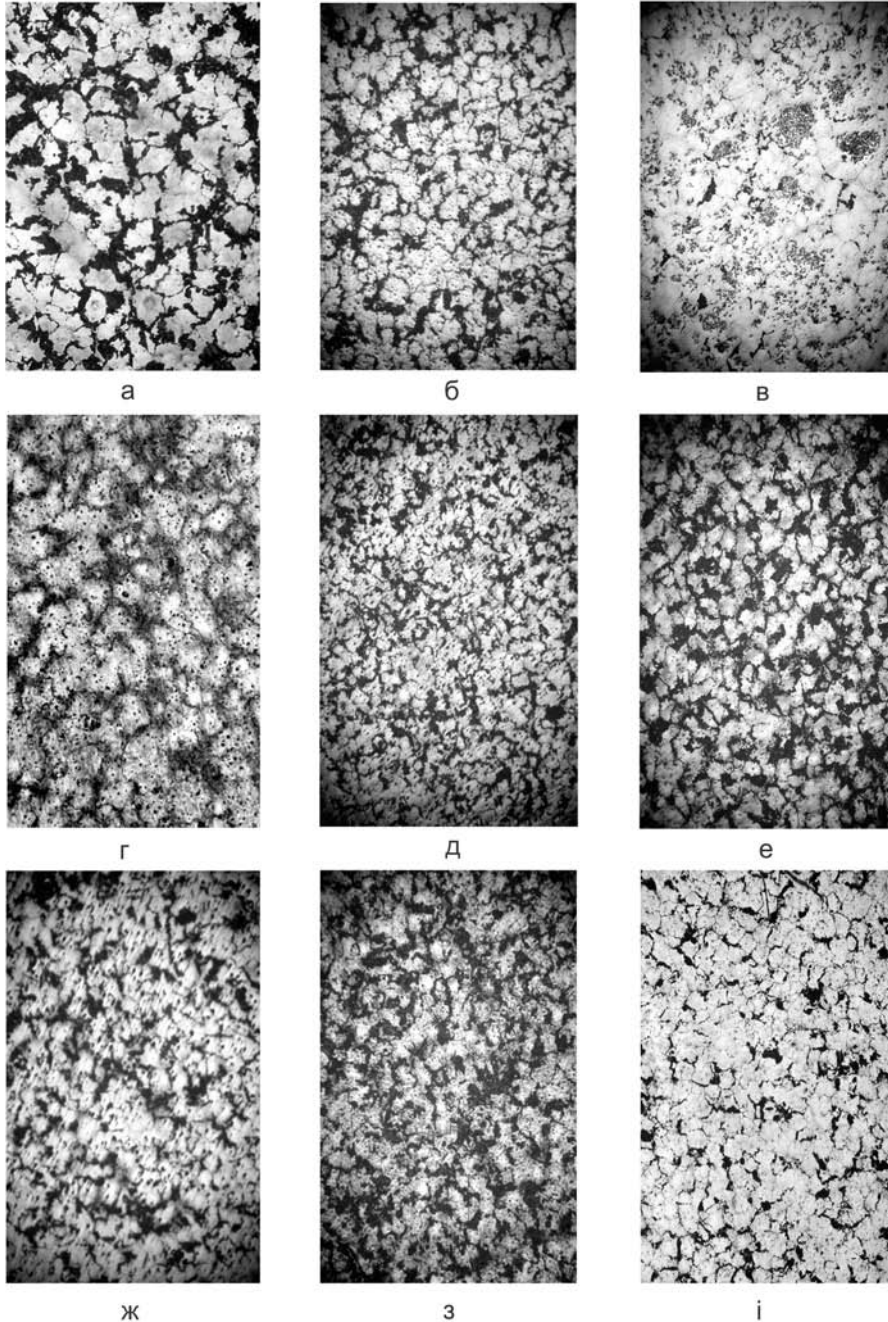


Рис. 1. Вплив легуючих елементів (0,1 %, мас. частка) на мікроструктуру сплаву Мл-5. а – вихідний сплав; легування: б – германієм, в – цирконієм, г – неодимом, д – скандієм, е – кремнієм, ж – ітрієм, з – титаном, і – гафнієм. $\times 200$.

Мікрорентгеноспектральні дослідження виявили, що легуючі елементи не тільки змінюють склад матриці металу, але й знаходяться в інтерметалідах (табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад інтерметалідних фаз досліджених сплавів на основі Мл-5

Легуючий елемент	Хімічний склад інтерметалідних фаз, % (мас. частка)						
	Mg	Al	Si	Mn	C	O	Інше
Y	2,79	32,11	0,54	43,42	3,58	2,85	Y – 14,71
Nd	22,13	42,61	0,16	1,32	1,59	2,06	Nd – 30,12
Sc	33,02	26,87	0,12	6,49	0,45	1,67	Sc – 31,38
Ge	59,68	2,63	16,65	0,00	0,46	1,32	Ge – 19,25
Si	45,85	1,21	51,85	0,02	0,69	0,37	–
Ti	20,72	12,89	16,21	0,50	1,40	2,76	Ti – 13,38
Zr	13,71	9,37	1,45	1,30	4,37	1,22	Zr – 68,59

Металографічний аналіз стандартного сплаву Мл-5 показав, що інтерметаліди розташовуються, як всередині зерен, так і на їх межах, причому більша частина з них розташована всередині зерен. Легування сприяло збільшенню індексу інтерметалідів, які переважно знаходилися всередині зерна. Середній розмір інтерметалідів практично не залежав від виду легуючого елемента і зростав зі збільшенням його вмісту. Легування

сплаву Мл-5 досліджуваними елементами істотно подрібнювало зерна металу. Зі збільшенням індексу інтерметалідів розмір зерна зменшувався (рис. 2).

При цьому отримано достовірні залежності впливу індексу інтерметалідів (I) на розмір зерна (d_{cp}) у магнієвих сплавах з вмістом легуючих елементів 0,05 % (1), 0,1 % (2), 1,0 % (3):

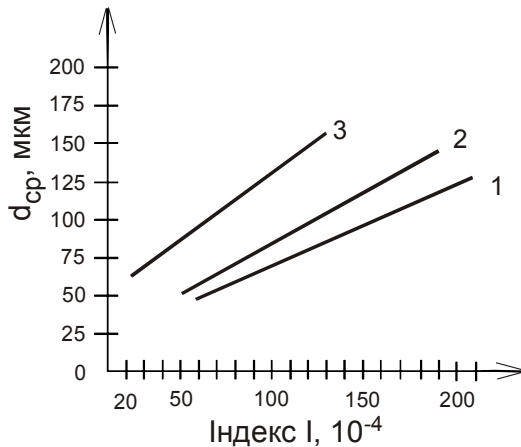


Рис. 2. Вплив величини індексу інтерметалідів на розмір мікрозерна магнієвого сплаву. Вміст легуючих елементів: 1 – 0,05 %, 2 – 0,1 %, 3 – 1,0 % (кожного).

$$[d_{cp}] = 22 + 0,49 \cdot [I] \text{ (мкм)},$$

$$r = 0,60 \pm 0,05, \quad (1)$$

$$[d_{cp}] = 14 + 0,70 \cdot [I] \text{ (мкм)},$$

$$r = 0,69 \pm 0,04, \quad (2)$$

$$[d_{cp}] = 42 + 0,84 \cdot [I] \text{ (мкм)},$$

$$r = 0,71 \pm 0,03. \quad (3)$$

Збільшення вмісту досліджуваних елементів від 0,05 % до 1,0 % зменшувало розмір мікрозерна, підвищувало мікротвердість матриці та індекс інтерметалідів у сплаві (табл. 2). Значне подрібнювання мікрозерна забезпечували елементи титан, цирконій та гафній.

Легування сплаву Мл-5 досліджуваними елементами зміцнювало його. Більш ефективно зміцнення досягалось вмістом елементів в межах 0,05 – 0,1 % (мас. частка) за рахунок вірогідного підвищення напружень в ґратці розчинника. Вміст елементів 0,05 % (мас. частка) також підвищував і пластичність сплаву, але подальше збільшення їх вмісту знижувало показники пластичності (табл. 2).

Технічна інформація

Таблиця 2

Характеристики структурних складових і механічні властивості термообробленого сплаву Мл-5 різної легованості

Легуючий елемент	Розрахований вміст, % (мас. частка)	Розмір мікрозерна, мкм	Мікротвердість матриці HV, МПа	Механічні властивості		τ_{150}^{80} , год
				σ_B , МПа	δ , %	
Вихідний сплав Мл-5	–	140	1256,5	228,4	3,2	141,2
Ge	0,05	125	1233,4	237,8	4,7	161,5
	0,10	100	1244,6	246,4	4,1	182,9
	1,00	90	1287,5	254,2	3,8	194,4
Nd	0,05	120	1290,0	254,4	4,4	180,5
	0,10	100	1390,5	260,0	5,0	192,7
	1,00	90	1407,6	278,2	4,5	272,2
Si	0,05	130	1276,5	232,2	4,6	168,6
	0,10	120	1313,5	241,4	4,5	190,3
	1,00	100	1334,5	245,8	4,2	251,7
Y	0,05	130	1465,7	235,6	3,8	141,8
	0,10	130	1547,1	243,4	3,6	145,4
	1,00	100	1675,0	261,2	3,4	190,5
Sc	0,05	120	1385,6	235,4	5,1	165,8
	0,10	100	1451,8	238,0	6,0	186,3
	1,00	90	1630,0	244,5	5,0	234,1
Ti	0,05	120	1270,6	229,2	3,8	216,2
	0,10	100	1265,7	232,8	4,0	262,5
	1,00	100	1283,3	240,1	3,6	295,8
Zr	0,05	105	1235,3	225,6	4,6	225,3
	0,10	100	1265,6	236,5	4,8	274,7
	1,00	70	1297,9	256,4	4,2	298,4
Hf	0,05	110	1256,6	233,3	4,0	230,6
	0,10	100	1294,4	241,4	3,7	288,5
	1,00	70	1321,1	249,8	3,6	422,2

Жароміцність досліджуваних сплавів Мл-5 помітно зростала зі збільшенням температури плавлення легуючих елементів, а також вмісту кожного з них.

Залежності, що пов'язують жароміцність (τ_{150}^{80}) з температурою плавлення $T_{пл}$ магнієвих сплавів із вмістом легуючих елементів 0,05 % (4), 0,1 % (5), 1,0 % (6) за своєю достовірністю (значення коефіцієнтів кореляції наближається до одиниці) є функціональними:

$$[\tau_{150}^{80}] = 62 + 0,093 \cdot [T_{пл}] \text{ (год)}, \quad r = 0,97 \pm 0,01, \quad (4)$$

$$[\tau_{150}^{80}] = 63 + 0,12 \cdot [T_{пл}] \text{ (год)}, \quad r = 0,90 \pm 0,01, \quad (5)$$

$$[\tau_{150}^{80}] = 14 + 0,23 \cdot [T_{пл}] \text{ (год)}, \quad r = 0,98 \pm 0,01. \quad (6)$$

Таким чином, підвищення жароміцності магнієвих сплавів забезпечується за рахунок двох факторів: отримання складнолегованого твердого розчину з більш високою мікротвердістю, ніж стандартний сплав і утворення інтерметалідних фаз.

Проведені дослідження показали, що жароміцність магнієвих сплавів збільшується з підвищенням температури плавлення легуючих елементів, а також зі збільшенням їх вмісту в сплаві. При цьому, оптимальний вміст легуючих елементів у сплаві Мл-5, що забезпечує підвищення всього комплексу властивостей, знаходиться у межах 0,05 – 0,10 % (мас. частка).

Література

1. Диринга Х. Настоящее и будущее магниевых сплавов в нашей цивилизации. // Литейн. пр-во. – 2006. – № 1. – С. 4 – 7.
2. Дриц М.Е. Магниеые сплавы для работы при повышенных температурах. – М.: Наука, 1964. – 229 с.
3. Корнилов И.И. Физико-химические основы жаропрочности сплавов. – М.: АН СССР, 1961. – 214 с.
4. Юм-Розери В. Структура металлов и сплавов. – М.: Металлургиздат, 1959. – 454 с.
5. Даркен Л.С. Физическая химия металлов. – М.: Металлургиздат, 1960. – 458 с.
6. Гороновский И.Т. Краткий справочник по химии. – Киев: Наук. думка, 1987 – 829 с.

Одержано 23.11.09

В.А. Шаломеев

Влияние легирования на жаропрочность сплава Мл-5

Резюме

Обоснован выбор элементов для легирования магниевого сплава Мл-5 с целью повышения его жаропрочности. Показано влияние легирующих элементов на структурообразование, механические свойства и жаропрочность сплава.

V.A. Shalomееv

Influence of alloying on heat resistance of Мл-5 alloy

Summary

The selection of elements for фддщнштп Мл-5 magnesium alloy Мl-5 to improve its heat resistance. The effect of alloying elements on structure formation, mechanical properties and heat resistance of the alloy.