

## Вплив легування сріблом на властивості магнієвого сплаву Мл-10

Ю. О. Зеленюк

В. А. Шаломеєв, доктор технічних наук

Е. І. Цивірко, доктор технічних наук, професор

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

*Досліджено вплив срібла в литому магнієвому сплаві Мл-10 на його структурні складові та корозійну стійкість у водних розчинах хлористого натрію. Встановлено, що вміст срібла змінює мікроструктуру, підвищує механічні властивості та корозійну стійкість сплаву.*

Збільшення ресурсу роботи деталей з магнієвих сплавів для авіа- та ракетодвигунів, електроніки та зменшення витрат на їх ремонт є актуальною задачею [1, 2]. Такі вироби експлуатуються в різних середовищах і умовах навантаження, проте їх корозійна стійкість вивчена недостатньо. Дослідження корозійних властивостей магнієвих сплавів потребує проведення спеціальних експериментів. Виходячи з цього в даній роботі вивчали вплив срібла у складі литого сплаву Мл-10 на його структуру, механічні та корозійні властивості.

Для одержання сплаву Мл-10 (% по масі 0,01 Al, 0,25 Zn, 0,0040 Mn, 0,005 Si, 0,004 Fe, 0,003 Cu, 0,005 Ni, 2,27 Nd, 0,53 Zr, залишок Mg) у тигельну піч ПМ-500 завантажували попередньо нагріті до температури 100 – 150 °С шихтові матеріали, розплавляли їх, нагрівали розплав до 690 °С і переливали у виїмний тигель (ємністю 500 кг). У тиглі розплав нагрівали до 750 °С і рафінували флюсом ВІ-2 (45 % MgCl<sub>2</sub>, 35 % KCl, 10 % CaCl<sub>2</sub>, 6 % BaCl<sub>2</sub>, 4 % CaF<sub>2</sub>). З тигля рафінований розплав відбирали нагрітим ковшом (ємністю 12 кг), в який при інтенсивному перемішуванні металу вводили срібло (999 проба) з розрахунку отримання в сплаві 0,05, 0,1, 1,0 % (по масі) срібла. Розплав при 720 – 730 °С заливали у піщано-глинисті ливарні форми для одержання зразків для механічних випробувань (ГОСТ 1497-84).

Одержані зразки піддавали термічній обробці в печах типу Бельв'ю і ПАП-4М за режимом: гомогенізація при температурі 415 °С (витримка 24 год), охолодження на повітрі і старіння при температурі 215 °С (витримка 10 год), охолодження на повітрі (режим Т6, ГОСТ 2856-79). Металографічно встановлено, що мікроструктура термообробленого сплаву складається з δ-твердого розчину з наявністю евтектики типу δ + γ округлої форми в середині зерен (рис. 1). Легування сплаву Мл-10 сріблом сприяло деякому подрібненню мікроструктури і зменшенню розмірів зерна.

Структуру та механічні властивості сплаву Мл-10 з вмістом 0,05 % Ag досліджували після витримки протягом 14 та 28 діб у водному розчині з вмістом

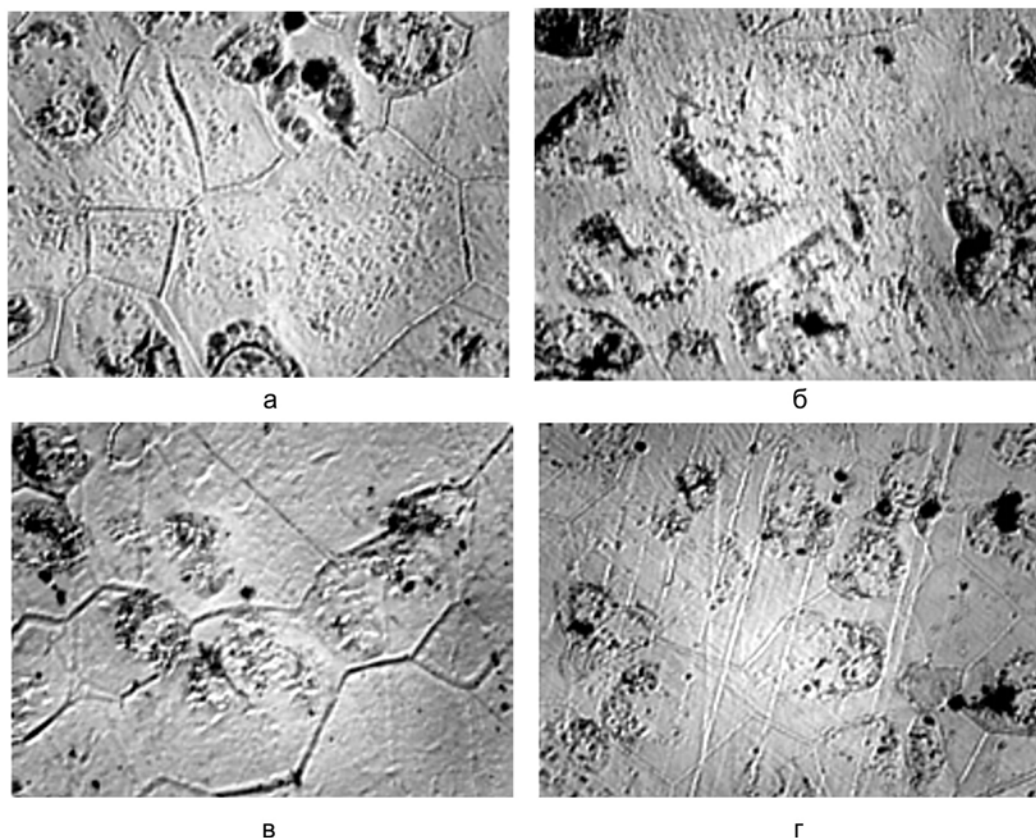


Рис. 1. Мікроструктура термообробленого сплаву Мл-10. а – без срібла, б – 0,05 % Ag, в – 0,1 % Ag, г – 1,0 % Ag. x200.

0,9 % NaCl при температурі  $36 \pm 1,0$  °C. Зразки перед розміщенням у розчині знежирювали етиловим спиртом, а потім повністю занурювали в реагент.

Механічні випробування зразків на розривній машині “INSTRUN”-2801 по ГОСТ 1497-84 показали, що після 14 діб витримки в корозійному середовищі у кілька разів знизились показники міцності та пластичності металу (табл. 1), а після 28 добової витримки – пропорційно зменшилися показники міцності й практично не змінилися характеристики пластичності сплаву (табл. 1). Відзначимо, що поріг міцності стандартного сплаву Мл-10 згідно ГОСТ 2856-79 не перевищує 230 МПа.

Металографічні дослідження (рис. 2) показали, що корозійні ураження сплаву мають локальний характер, переважно біля сферичного евтектоїда  $\delta + (\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$ , де відбувається електрохімічний процес розчинення металу у реагенті.

Швидкість корозії ( $V$ ) в глибину зразка зі сплаву Мл-10 з 0,05 % Ag визначали за середньою глибиною корозійних уражень ( $S$ , мкм) за певний проміжок часу витримки ( $t$ , год) в корозійному середовищі за формулою  $V = \frac{S}{t}$ , мкм/год. Вимірювання показали, що за 14 діб середня глибина

Таблиця 1

Механічні властивості сплаву Мл-10 з 0,05 % Ag після корозійних випробувань

Витримка в корозійному середовищі, доба	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
0	<u>131,7 – 137,9*</u> 134,8	<u>254,8 – 287,5</u> 271,2	<u>8,8 – 13,6</u> 11,2	<u>0,4 – 7,8</u> 4,1
2	<u>61,6 – 80,2</u> 70,9	<u>69,0 – 87,2</u> 78,1	<u>2,0 – 2,4</u> 2,2	<u>0,0 – 0,4</u> 0,2
4	<u>10,8 – 11,5</u> 11,15	<u>11,0 – 16,8</u> 13,9	<u>8,8 – 2,4</u> 5,6	<u>0,2 – 0,4</u> 0,3

Примітка: чисельник – мінімальне та максимальне значення, знаменник – середнє значення.

корозійних уражень була 497 мкм, а за 28 діб – 816 мкм. Тобто швидкість корозії відповідно була 0,74 та 0,61 мкм/год пропорційно часу корозійного розчинення металу.

Швидкість корозії сплаву Мл-10 з різним вмістом срібла визначали на зразках розміром 10 x 6 мм у водному розчині з 0,9 % NaCl протягом 10, 20, 30 діб. Перед випробуваннями зразки зважували на вагах АДВ-200 з точністю 0,0001 г. Після корозійного випробування з поверхні кожного зразка видаляли продукти корозії хромовим ангідридом, промивали в проточній та дистильованій воді, висушували та зважували.

Втрату маси зразка ( $\Delta m$ , г/м<sup>2</sup>) внаслідок корозійного процесу розраховували за формулою (1):

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{S}, \text{ г/м}^2, \quad (1)$$

де  $m_0$  – вага зразка до випробування, г,  $m_1$  – вага зразка після випробування і видалення продуктів корозії, г,  $S$  – площа поверхні зразка до випробування, м<sup>2</sup>.

Швидкість корозії  $K$  розраховували за формулою (2):

$$K = \frac{\Delta m}{\tau}, \text{ г/(м}^2\text{-д)}, \quad (2)$$

де  $\tau$  – тривалість випробування, доба.

Для кожного варіанту випробування визначали швидкість корозії сплаву, використовуючи вимірювання на базі 2 – 3 зразків.

Встановлено, що зі збільшенням вмісту срібла в сплаві Мл-10 до 0,1 % приблизно у 2 рази зростає швидкість корозії, але підвищення вмісту срібла до 1,0 % практично не впливає на швидкість корозії металу (табл. 2).

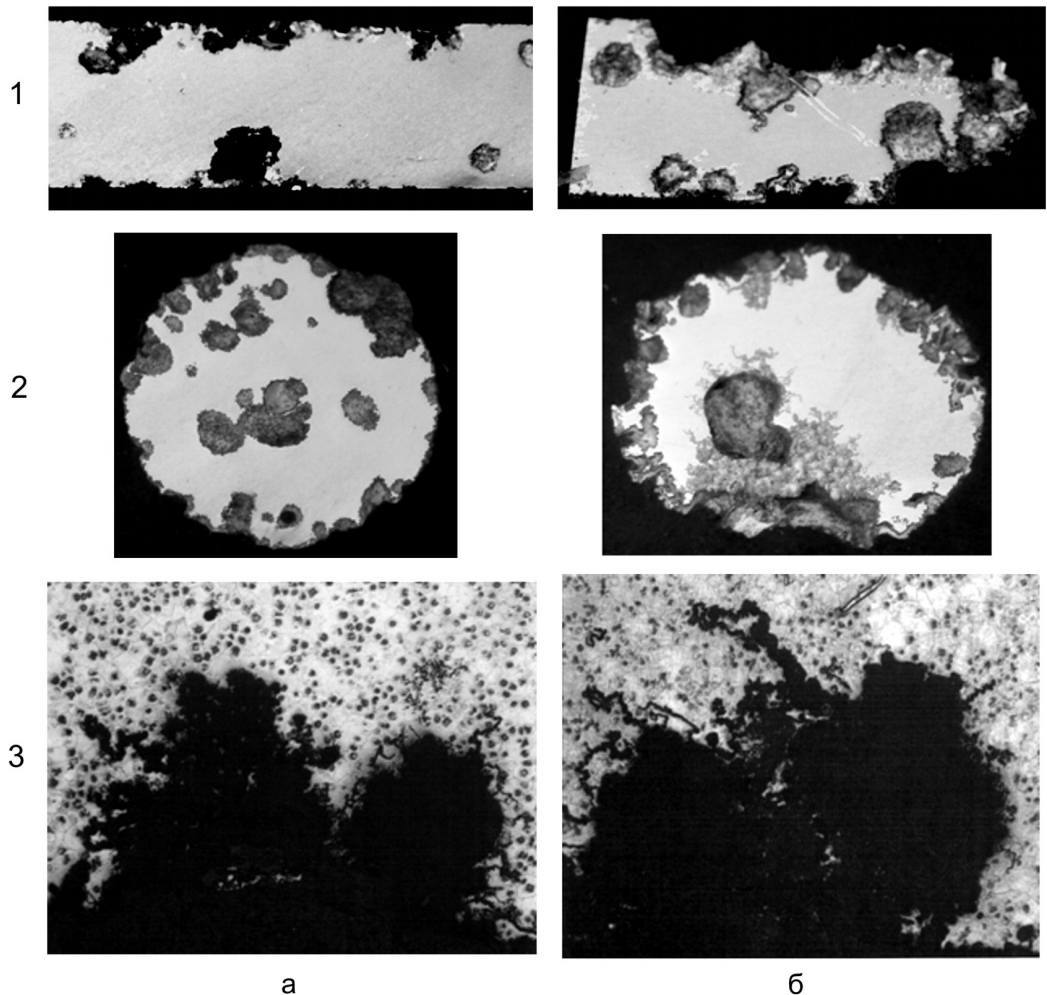


Рис. 2. Структура зразків сплаву Мл-10 з 0,05 % Аg після перебування у корозійному середовищі протягом 14 (а) та 28 діб (б). 1 – поздовжній переріз зразка, 2 – поперечний переріз зразка, 3 – мікроструктура на фронті корозії. 1 –  $\times 10$ , 2 –  $\times 100$ , 3 –  $\times 1000$ .

Таблиця 2

Швидкість корозії сплаву Мл-10 залежно від вмісту срібла

Вміст срібла розрахунковий (% по масі)	Швидкість корозії, г/( м <sup>2</sup> · д)			Середнє значення
	час (доба)			
	10	20	30	
0,00	2,00	3,07	1,04	1,88
0,05	3,49	4,73	2,39	3,35
0,10	5,42	4,50	3,42	4,11
1,00	7,20	5,02	2,65	4,20

Введення в ливарний магнієвий сплав Мл-10 срібла не більше 1,0 % зменшує розмір мікрозерна та подрібнює евтектичну фазу (рис. 3).

Введення в сплав Мл-10 срібла не більше 0,1 % підвищує швидкість корозії сплаву більше, ніж у 2 рази. Подальше збільшення вмісту срібла до 1 % стабілізує швидкість корозії.

Корозія сплаву Мл-10 зі сріблом у водному розчині з 0,9 % NaCl проходила в локальних ділянках, пов'язаних з наявністю евтектичної фази. Швидкість проникнення корозійних уражень в товщину зразка прямо пропорційна часу витримки сплаву в корозійному середовищі.

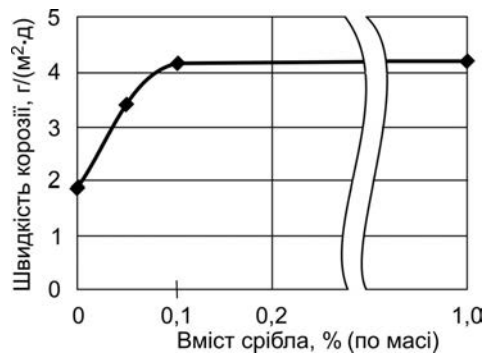


Рис. 3. Вплив вмісту срібла на швидкість корозії сплаву Мл-10.

## Література

1. Диринга Х., Майер П., Фехнер Д. Настоящее и будущее магниевых сплавов в нашей цивилизации // Литейн. пр-во. – 2006. – № 1. – С. 4 – 7.
2. Фридляндер И.Н., Корнышева И.С., Волкова Е.Ф. Магний и литейные алюминиевые сплавы // Авиационные материалы. Избранные труды 1932 – 2007. – М.: ВИАМ, 2007. – 353 с.
3. Зеленюк Ю.О., Цивірко Е.І., Шаломеев В.А. Корозійна стійкість литого магнієвого сплаву Мл-5 з неодимом // III Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», 2011. – С. 188.

Одержано 19.03.13

**Ю. А. Зеленюк, В. А. Шаломеев, Э. И. Цивирко**  
**Влияние легирования серебром на свойства**  
**магниевого сплава Мл-10**

### Резюме

Исследовано влияние содержания серебра в литом магниевом сплаве Мл-10 на его структурные составляющие и коррозионную стойкость в водных растворах хлористого натрия. Установлено, что содержание серебра изменяет микроструктуру, повышает механические свойства и коррозионную стойкость сплава.

**J. O. Zelenyuk, V. A. Shalomayev, E. I. Tsivirko**

**Influence of alloying by silver on the properties of Мл-10**  
**magnesian alloy**

### Summary

Silver influence in a cast Мл-10 magnesian alloy of Мл10 on its structure and corrosion resistance in water solutions of sodium chloride is investigated. The content of silver changes a microstructure, increases mechanical properties and corrosion resistance.