

В.А. Шаломеев, докторант, к.т.н.

Э.И. Цивирко, профессор, д.т.н.

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ IV ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАГНИЕВОГО СПЛАВА

*Запорожский национальный технический университет*

Досліджено вплив олова та свинцю на структуроутворення, механічні властивості й жароміцність магнієвого сплаву Мл-5. Встановлено, що олово та свинець зміцнюють магнієвий сплав Мл-5, знижуючи при цьому пластичні властивості й жароміцність.

Исследовано влияние олова и свинца на структурообразование, механические свойства и жаропрочность магниевого сплава Мл-5. Установлено, что олово и свинец упрочняют магниевый сплав Мл-5, снижая при этом пластические свойства и жаропрочность.

*Введение.* Снижение массы транспортных средств является приоритетной задачей для их производителей [1,2]. Однако, несмотря на все усилия, масса конструкций за последние 50 лет возросла примерно на 30% из-за усложнения техники и введения многочисленных дополнительных устройств, повышающих комфорт и безопасность движения. Для разрешения этого противоречия большое внимание уделяется поиску новых, более легких материалов.

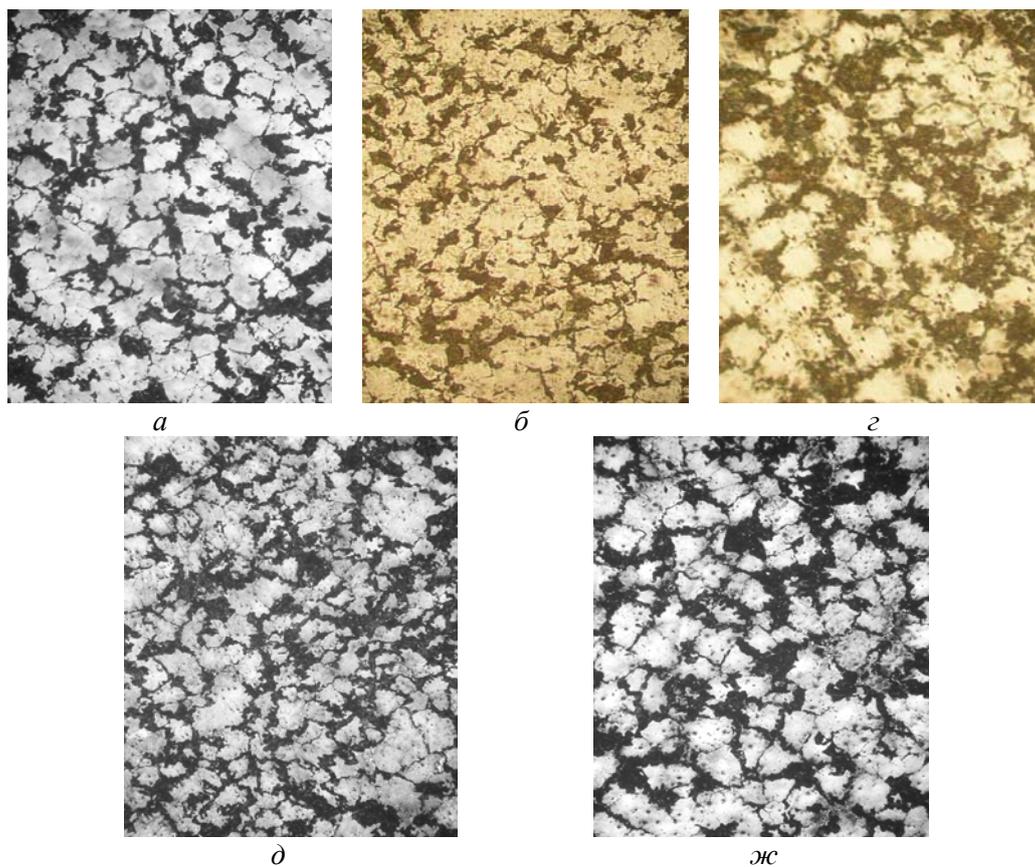
*Состояние вопроса.* В настоящее время усилия мировой транспортной промышленности направлены на расширение применения деталей из магниевых сплавов для узлов и агрегатов, взамен существующих алюминиевых и стальных отливок, при этом требования, предъявляемые к ним, постоянно возрастают [3]. Поэтому повышение физико-механических свойств магниевых сплавов, не содержащих дефицитных и дорогостоящих компонентов, является актуальной задачей.

*Постановка задачи.* Представляет интерес практически не изученное влияние легирования магниевого сплава Мл-5 легкоплавкими металлами IV группы периодической системы элементов Д.И. Менделеева (олова и свинца). Эти металлы имеют благоприятные факторы по отношению к магнию (незначительная разница атомных диаметров и электроотрицательность) [4] и, следовательно, могут образовывать твердые растворы, упрочняя металлическую матрицу. Анализ диаграмм состояния «магний-олово» и «магний-свинец» [5] показал, что они относятся к диаграммам эвтектического типа с ограниченной растворимостью этих элементов в твердом магнии и образуют пересыщенные твердые растворы. Все эти факторы делают олово и свинец элементами, способными влиять на свойства магниевых сплавов.

*Основная часть исследований.* Магниевый сплав Мл-5 выплавляли в индукционной тигельной печи типа ИПМ-500 по серийной технологии. Расплав рафинировали флюсом ВИ-2 в раздаточной печи при температуре 740 °С и порционно отбирали ковшем расплав. В него вводили присадки олова марки О1пч по ГОСТ 860-75 (0; 0,05; 0,1; 1,0% олова – по расчету) и свинца марки СЗ по ГОСТ 3778-77 (0; 0,05; 0,1; 1,0% свинца – по расчету), выдерживали, заливали при температуре 710 °С в песчано-глинистые формы и получали стандартные образцы для механических испытаний с рабочим диаметром 12 мм. Образцы проходили термическую обработку в печах типа



$\delta+\gamma(Mg_4Al_3)$ , интерметаллида  $\gamma(Mg_4Al_3)$  и мелкодисперсных частиц марганцовистой фазы (рис. 2,а).



а - исходный сплав; б - 0,05% Sn; в - 0,1% Sn; г - 0,05% Pb; д - 0,1% Pb

**Рисунок 2** – Микроструктура термообработанного сплава Мл-5, х 200:

Введение свинца и олова в исследуемый сплав измельчало микрзерна (рис. 2,б-д) и уменьшало расстояния между осями дендритов второго порядка (табл. 1).

С повышением концентрации олова и свинца в сплаве размеры эвтектики  $\delta+\gamma(Mg_4Al_3)$  заметно уменьшались, а количество интерметаллидных выделений увеличивалось. Скорее всего, это связано с образованием определенного количества интерметаллидной фазы. Присадки легирующих элементов до 1,0% каждого уменьшали величину зерна в 1,5...1,8 раза и повышали микротвердость матрицы по сравнению с исходным сплавом (табл. 1).

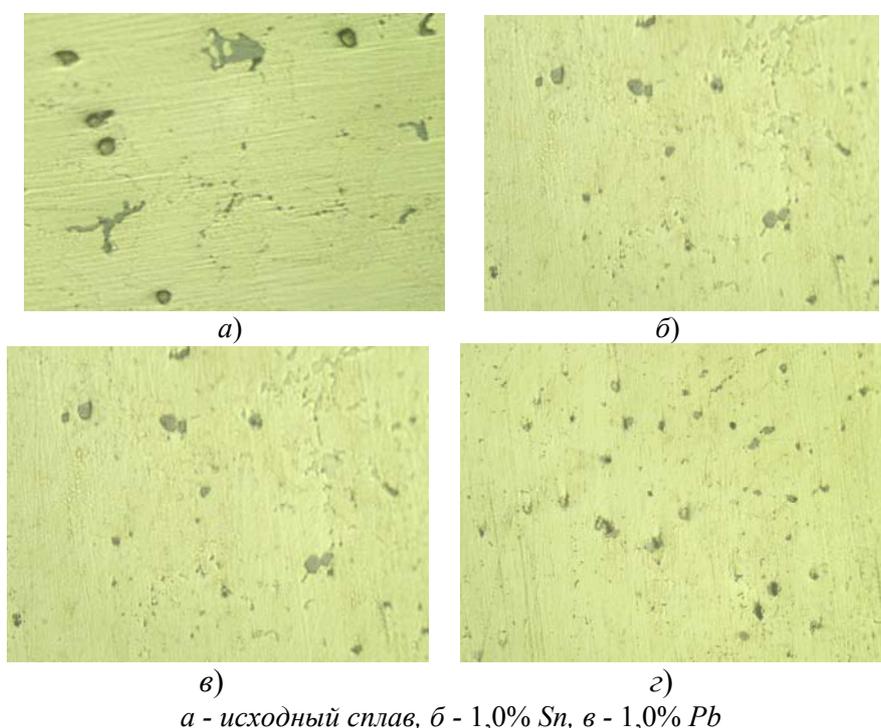
В структуре сплава Мл-5 присутствовали неметаллические включения двух типов: голубовато-серого цвета неопределенной формы и розового – глобулярной формы (рис. 3,а). Первые – располагались по границам, вторые – в центре зерна. Введение в сплав олова и свинца в количестве 1,0% заметно измельчало неметаллические включения, которые приобретали в основном глобулярную форму (рис. 3,б,в).

**Таблица 1** – Размеры структурных составляющих и микротвердость в образцах из сплава Мл-5\*

Легирующий элемент	Мас. доля, % расч.	Величина микрзерна (после термообработки), мкм	Расстояние между осями дендритов 2 <sup>го</sup> порядка, мкм	Микротвердость матрицы, HV, МПа		
				до термообработки	после термообработки	после испытаний на длительную прочность ( $\tau_{80}^{150}$ )
-	-	100...180 (140)	16...20	733,4...858,0 (795,7)	894,1...1017,3 (955,7)	1089,3...1225,5 (1179,5)
Sn	0,05	100...150 (125)	12...16	824,0...973,5 (898,8)	1064,0...1167,8 (1114,1)	1225,5...1354,4 (1290,0)
	0,1	80...120 (100)	10...15	894,1...1017,3 (955,7)	1167,8...1225,5 (1196,7)	1287,5...1426,6 (1357,1)
	1,0	70...100 (90)	9...12	894,1...1064,0 (979,1)	1225,5...1287,5 (1256,5)	1354,4...1457,5 (1406,0)
Pb	0,05	100...180 (135)	16...18	824,0...1017,3 (938,2)	1114,1...1287,5 (1206,5)	1114,1...1299,5 (1236,9)
	0,1	70...170 (110)	14...16	894,1...1017,3 (956,9)	1114,1...1354,4 (1211,7)	1194,8...1426,6 (1307,4)
	1,0	50...150 (80)	12...15	894,1...1167,8 (986,5)	1167,8...1504,7 (1343,8)	1426,6...1589,5 (1493,5)

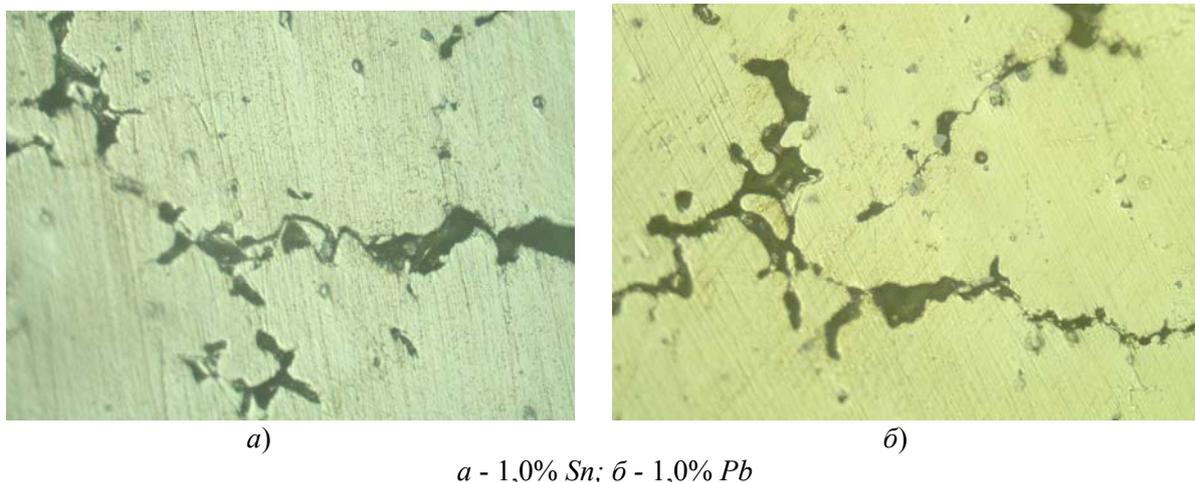
Примечание: \* в скобках представлены средние значения

После длительных испытаний образцов, содержащих олово и свинец, в их микроструктуре наблюдали полосы скольжения, что сказалось на повышении микротвердости металла.



**Рисунок 3** – Неметаллические включения в сплаве Мл-5, х 500:

В образцах, содержащих более 0,1% олова и свинца каждого и прошедших испытания на длительную прочность при температуре 150 °С, обнаружена легкоплавкая фаза на границах зерен (рис. 4).



**Рисунок 4** – Локальные оплавления по границам зерен в сплаве Мл-5,  $\times 500$ :

Возрастающие присадки олова и свинца повышали прочностные свойства сплава и уменьшали его пластические характеристики (табл. 2). Значения длительной прочности сплава с увеличением содержания олова и свинца также уменьшались, причем, для свинца снижение данного показателя было выражено гораздо заметнее.

**Таблица 2** – Средние механические свойства и жаропрочность сплава Мл-5, легированного оловом и свинцом

Легирующий элемент	Массовая доля, % расч.	Механические свойства				Длительная прочность, $\tau_p$ , ч ( $T_{исп} = 150\text{ }^\circ\text{C}$ ; $\sigma = 80\text{ МПа}$ )
		без термообработки		после термообработки		
		$\sigma_{в2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_{в2}$ , МПа	$\delta$ , %	
-	-	139,0	3,2	215,0	3,5	337 <sup>13</sup>
олово	0,05	148,0	3,0	220,0	3,4	330 <sup>45</sup>
	0,1	166,0	3,0	237,0	3,0	271 <sup>24</sup>
	1,0	175,0	2,5	249,0	2,6	166 <sup>12</sup>
свинец	0,05	153,0	3,1	228,0	3,2	272 <sup>55</sup>
	0,1	180,0	2,5	250,0	2,8	166 <sup>35</sup>
	1,0	185,0	2,0	251,0	2,4	79 <sup>18</sup>

#### Выводы

1. Олово и свинец (до 1,0%) в магниевом сплаве Мл-5 уменьшают размер его структурных составляющих и измельчают неметаллические включения.
2. Присадки олова и свинца в сплав Мл-5 в количестве от 0,05 до 1,0% повышают прочность и снижают пластичность металла.
3. Легирование сплава Мл-5 оловом и свинцом снижает жаропрочность сплава Мл-5 за счет образования легкоплавких фаз по границам зерен.
4. Применение олова и свинца в исследуемых количествах для упрочнения магниевых сплавов допустимо только для изделий, не эксплуатирующихся при повышенных температурах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brungs D. Innovationen bei Gusswerkstoffen / D. Brungs, A. Mertz // Konstruktion: Zeitschrift für Produktentwicklung. – 2000. – Т. 52, № 7-8. – С. 33-36.
2. Kambe H. Application of alloys of magnesium for details of cars / H. Kambe // Kinzoku = Metals and Technol. – 2001. – Т. 71, № 6. – С. 51-54.
3. Kraus J. Richtig kombiniert: Leichtbaukonzepte bei Automobilen sind nur über Verbundsysteme realisierbar / J. Kraus // Maschinenmarkt. – 1998. – Sonderausg. – С. 152-154.

4. *Рейнор Г. В.* Металловедение магния и его сплавов / Г. В. Рейнор. – М.: Металлургия, 1964. – 486 с.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем: [справочник / ред. Н.П. Лякишев]. – М.: Машиностроение, 2000. – Т. 3. – 973 с.

Стаття надійшла до редакції 04.02.2009 р.  
Рецензент – проф. В.І. Гонтаренко