

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

Бельвью и ПАП-4М по режиму: гомогенизация при температуре 415 °С (выдержка 24 ч), охлаждение на воздухе + старение при температуре 215 °С (выдержка 10 ч), 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 определяли на разрывной машине АИМА 5-2 на образцах с рабочим диаметром 5 мм по ГОСТ 10145-81.

Микроструктуру отливок изучали методом световой микроскопии («Neophot 32») на термически обработанных образцах после травления реактивом, состоящем из 60% этиленгликоля, 20% уксусной кислоты, 19% дистиллированной воды, 1% азотной кислоты. Микротвердость структурных составляющих сплава определяли на микротвердомере фирмы «Buehler» при нагрузке 0,1 Н.

Химический состав сплава одной плавки, фракционно легированной оловом и свинцом, удовлетворял требованиям ГОСТ 2856-79 (8,5% алюминия, 0,40% марганца, 0,38% цинка, 0,06% кремния, 0,017% меди, 0,01% железа, основа – магний).

Макрофрактографическое исследование поверхности разрушения образцов показало, что с повышением концентрации олова и свинца в сплаве макроструктура измельчается (рис. 1), характер ее меняется от крупнокристаллической к матовой мелкокристаллической.

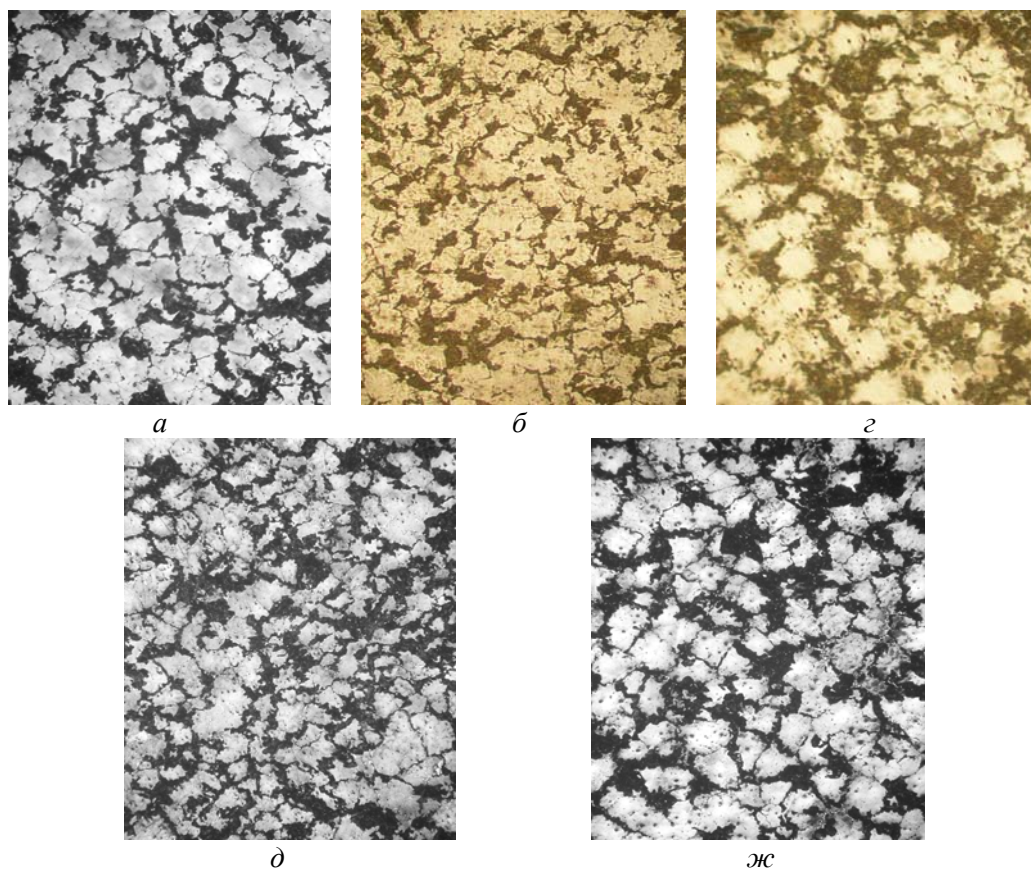


a - исходный сплав; *б* - 0,05% Sn; *в* - 0,1% Sn;
г - 0,05% Pb; *д* - 0,1% Pb

Рисунок 1 – Макроструктура образцов из сплава Мл-5, х 5:

Микроструктура термообработанного сплава Мл-5, отлитого без легирования оловом и свинцом, представляла собой δ-твердый раствор с наличием эвтектики 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).

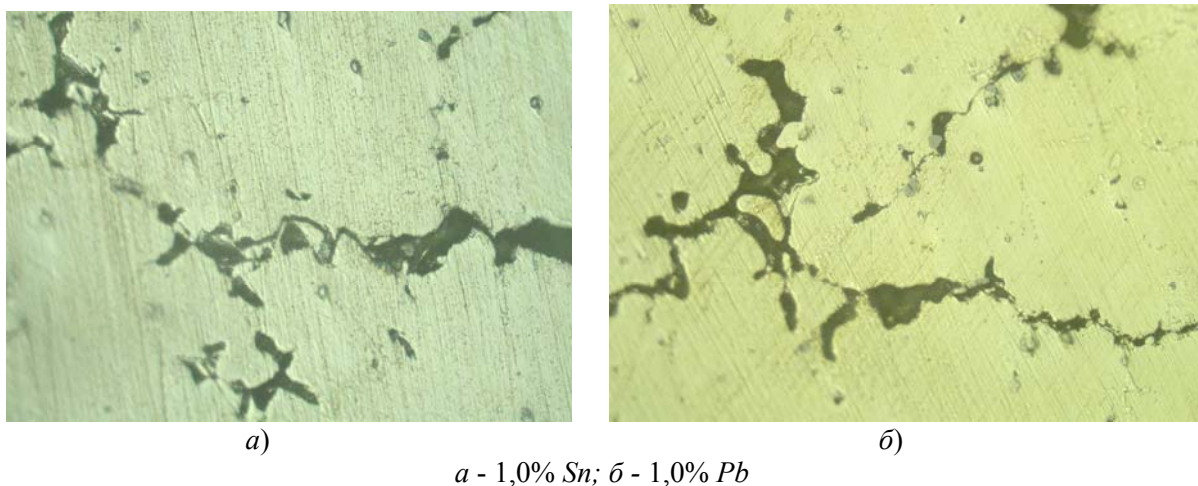


Рисунок 4 – Локальные оплавления по границам зерен в сплаве Мл-5, $\times 500$:

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, τ_p , ч ($T_{исп} = 150\text{ }^\circ\text{C}$; $\sigma = 80\text{ МПа}$)
		без термообработки		после термообработки		
		$\sigma_{в2}$, МПа	δ , %	$\sigma_{в2}$, МПа	δ , %	
-	-	139,0	3,2	215,0	3,5	337 ¹³
олово	0,05	148,0	3,0	220,0	3,4	330 ⁴⁵
	0,1	166,0	3,0	237,0	3,0	271 ²⁴
	1,0	175,0	2,5	249,0	2,6	166 ¹²
свинец	0,05	153,0	3,1	228,0	3,2	272 ⁵⁵
	0,1	180,0	2,5	250,0	2,8	166 ³⁵
	1,0	185,0	2,0	251,0	2,4	79 ¹⁸

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