

В.А.Шаломеев, Э.И.Цивирко, В.В.Лукинов<sup>(1)</sup>**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЛИТЬЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ***Запорожский национальный технический университет,  
(<sup>1</sup>)ОАО «Мотор-Сич», г.Запорожье*

Проведено порівняльний аналіз структури та властивостей зразків з магнієвих сплавів залежно від способу їх лиття. Одержані дані дозволяють прогнозувати властивості виливків для розробки нових магнієвих сплавів і технологій їх виробництва.

Проведен сравнительный анализ структуры и свойств образцов из магниевых сплавов в зависимости от способа их литья. Полученные данные позволяют прогнозировать свойства отливок для разработки новых магниевых сплавов и технологий их производства.

Интенсивное развитие различных отраслей промышленности поставило задачу создания конструкционных материалов повышенной удельной прочности. Высоколегированные сплавы, применяемые в серийном производстве для изготовления высоконагруженных деталей, не удовлетворяют возрастающим требованиям, предъявляемым к ним. Снижение массы агрегатов и механизмов актуально с точки зрения резкого уменьшения потребления энергоресурсов [1].

Магниевые сплавы привлекательны из-за их малой плотности и относительно высокой прочности при комнатной и повышенных температурах. Растущая потребность в изделиях на основе магния требует разработки и освоения новых технологических процессов их производства. Большая роль при решении этой задачи отводится прогнозированию свойств отливок из магниевых сплавов [2]. Рациональный выбор способа литья для того или иного магниевого сплава является актуальным и позволяет получить качественные отливки с заданным уровнем свойств.

Данная работа посвящена сравнительной оценке структуры и механических свойств образцов из магниевых сплавов Мл-5 и Мл-10, отлитых в песчано-глинистую форму (ПГФ) и под давлением (ЛПД).

Магниевые сплавы Мл-5 и Мл-10 выплавляли в индукционных тигельных печах типа ИПМ-500 по серийным технологиям. Рафинирование расплава осуществляли флюсом ВИ-2 в раздаточных печах, из которых заливали стандартные образцы для механических испытаний в ПГФ. Для получения образцов ЛПД использовали комплексную пробу [3], которую заливали на машине литья под давлением типа Н250D с холодной горизонтальной камерой прессования. Технологические варианты заливки образцов из магниевых сплавов представлены в табл.1.

**Таблица 1** – Технологические варианты заливки образцов из магниевых сплавов

Сплав	Способ литья	Температура формы, °С	Прессование		Допрессовка		
			давление, МПа	скорость, м/с	давление, МПа	характер	Время, мс
Мл-10	ПГФ	20	-	-	-	-	-
	ЛПД	200±20	80	0,2	120	средн.	50
Мл-5	ПГФ	20	-	-	-	-	-

	ЛПД	200±20	80	0,2	120	средн.	50
--	-----	--------	----	-----	-----	--------	----

Для определения показателей прочности и пластичности ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$ ) использовали цилиндрические образцы с длиной рабочей части 40 мм и диаметром 6 мм. Для определения ударной вязкости (KCV) применяли образцы квадратного сечения 10 x 10 мм и длиной 55 мм с литым V-образным концентратором напряжения ( $S_{сеч} = 0,8 \text{ см}^2$ ).

Образцы подвергали термической обработке в печах типа Бельвю и ПАП-4М согласно режиму: закалка от температуры  $415 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  – для сплава Мл-5 и температуры  $540 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  – для сплава Мл-10, выдержка в течение 15 ч, охлаждение на воздухе и старение при температуре  $200 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , выдержка в течение 8 ч и охлаждение на воздухе.

Механические свойства образцов до и после термообработки определяли на разрывной машине «Instron 8801», ударную вязкость – на маятниковом копре КМ-3.

Микроструктуру отливок изучали методом световой микроскопии («Neophot 32») на образцах после травления реактивом, состоящим из 60% этиленгликоля, 20% уксусной кислоты, 19% дистиллированной воды и 1% азотной кислоты.

Химический состав сплавов Мл-5 и Мл-10 различных способов литья удовлетворял требованиям ГОСТ 2856-79 (табл.2).

**Таблица 2** – Химический состав магниевых сплавов Мл-5 и Мл-10

Сплав	Вариант	Массовая доля элементов, %				
		Al	Mn	Zn	Zr	Nd
Мл-5	опытный	8,6	0,36	0,5	-	-
	по ГОСТ 2856-79	7,9...9,0	0,15...0,50	0,2...0,8	-	-
Мл-10	опытный	-	-	0,4	0,6	2,7
	по ГОСТ 2856-79	-	-	0,1...0,7	0,4...1,0	2,2...2,8

Макрофрактографическое исследование изломов металла показало, что ЛПД магниевого расплава способствовало получению мелкокристаллической структуры по сравнению с крупнозернистым строением металла при литье в ПГФ как для сплава Мл-5 (рис.1,*а,б*), так и для Мл-10 (рис.1,*в,г*). Макроструктура изломов образцов исследуемых сплавов имела однородный и плотный рельеф.



*а)*



*б)*



б)



з)

(а, б - Мл-5; в, з - Мл-10): х 12  
а, в - заливка в ПГФ; б, з - ЛПД.

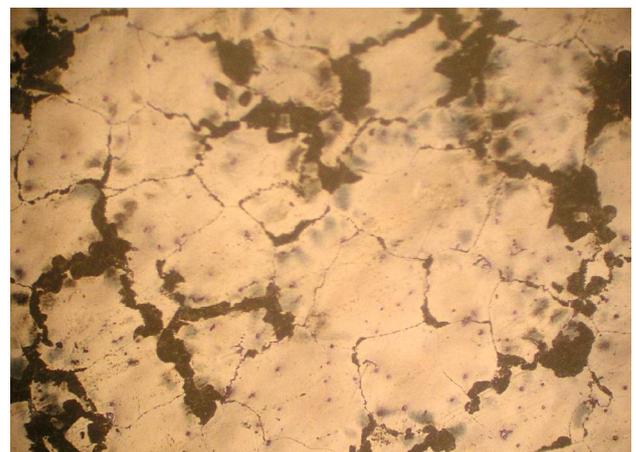
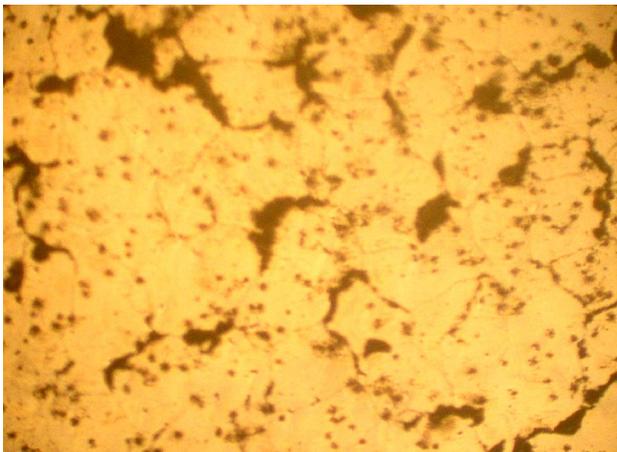
**Рисунок 1** – Макроструктура разрывных образцов магниевых сплавов

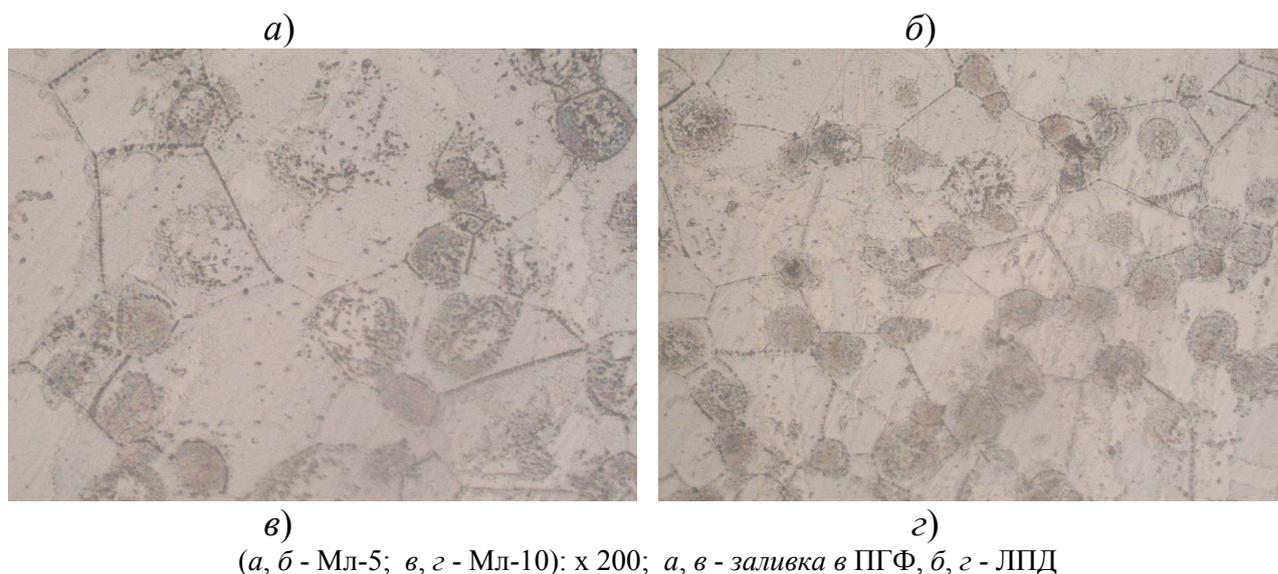
Микроструктура литого сплава Мл-5 представляла собой  $\delta$ -твердый раствор с наличием эвтектики типа  $\delta+\gamma(Mg_{17}Al_{12})$ , располагающейся по границам зерен, интерметаллида  $\gamma(Mg_{17}Al_{12})$  и марганцовистой фазы. После проведения термической обработки в структуре сплава наблюдали пограничные выделения  $Mg_{17}Al_{12}$  в форме вырожденной эвтектики, а также образование эвтектоида  $\delta+\gamma(Mg_{17}Al_{12})$ , имеющего вид чередующихся пластин (рис.2,а,б). Интерметаллидная  $\gamma$ -фаза выделялась в виде частиц глобулярной формы. В процессе термической обработки уменьшалась химическая неоднородность сплава, границы зерен становились более четкими и выравнивались.

Микроструктура литого сплава Мл-10 представляла собой  $\delta$ -твердый раствор с располагающейся по границам зерен в виде пленочных выделений эвтектики  $\delta+(MgZr)_{12}Nd$  и интерметаллидной фазы  $(MgZr)_{12}Nd$ .

После проведения термической обработки в структуре сплава Мл-10 наблюдали выделение эвтектоида  $\delta+(MgZr)_{12}Nd$  в виде областей сферической формы (рис.2,в,г). В процессе термической обработки также уменьшалась химическая неоднородность сплава, границы становились более четкими и тонкими.

При литье под давлением происходило большее измельчение зерна, чем при литье в песчано-глинистую форму. При этом размер микрзерна как для сплава Мл-5, так и для Мл-10 уменьшился в 1,5 раза (рис.2).





**Рисунок 2** – Микроструктура образцов термообработанных магниевых сплавов

Механические испытания образцов из сплавов Мл-5 и Мл-10 показали, что в зависимости от способа литья механические свойства металла изменялись (табл.3).

**Таблица 3** – Механические свойства (средние значения) термообработанных образцов из магниевых сплавов

Сплав	Способ литья	Механические свойства *			
		$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$KCV$ , кДж/м <sup>2</sup>
Мл-5	ПГФ	234	140	3,0	3,0
	ЛПД	251	152	3,8	3,4
	ГОСТ 2856-79	226	-	2,0	-
Мл-10	ПГФ	246	148	4,0	4,6
	ЛПД	263	156	4,8	5,4
	ГОСТ 2856-79	226	137	3,0	-

При переходе от литья в ПГФ к ЛПД происходило повышение механических свойств сплавов Мл-5 и Мл-10 за счет получения плотной структуры металла и измельчения его зерна.

#### Выводы

1. ЛПД заметно измельчает макро- и микроструктуру образцов из сплавов Мл-5 и Мл-10 по сравнению с ПГФ.
2. Термическая обработка магниевых сплавов способствует уменьшению химической неоднородности металла, выравниванию границ зерен независимо от способа литья.
3. Прочностные, пластические характеристики и ударная вязкость магниевых сплавов при ЛПД выше, чем при литье в ПГФ.
4. Метод литья под давлением по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы позволяет получать отливки с более высокими физико-механическими свойствами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шанин Н.Д. Получение полуфабрикатов из материалов на основе гранулированных магниевых сплавов // *Металлургия машиностроения*. - 2006. - № 1. - С.15-17.
2. Никулин Л.В., Липчин Т.Н., Заславский М.Л. *Литье под давлением магниевых сплавов*. - М.: Машиностроение, 1978. - С.53-54.

3. *Жеманюк П.Д., Клочихин В.В., Цивирко Э.И., Драчевский А.Ю.* Комплексная проба для оценки качественных показателей магниевых сплавов, отлитых под давлением // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. - 2002. - № 2. - С.41-45.

Стаття надійшла до редакції 02.10.2008 р.

Рецензент, проф. В.І.Гонтаренко