

УДК 669.2/8-034.7

В.А. Шаломеев, профессор, д.т.н.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ГАЗОИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ

*Запорожский национальный технический университет*

Досліджено вплив газоізостатичного пресування на якість литва з магнієвих сплавів. Показано, що газоізостатичне пресування виливків відповідального призначення з магнієвих сплавів є ефективним способом підвищення їх фізико-механічних характеристик.

Ключові слова: магнієві сплави, дефекти, мікропористість, газоізостатичне пресування, щільність

Исследовано влияние газоизостатического прессования на качество литья из магниевых сплавов. Показано, что газоизостатическое прессование отливок ответственного назначения из магниевых сплавов является эффективным способом повышения их физико-механических характеристик.

Ключевые слова: магниевые сплавы, дефекты, микропористость, газоизостатическое прессование, плотность

Influence of isostatic pressing on the quality of casting for magnesium alloys is investigated. It is shown that isostatic pressing for casting of responsible use from magnesium alloys is an effective method of raising their physical and mechanical characteristics.

Key words: magnesium alloys, defects, microporosity, gasisostatic pressing, closeness

*Введение.* Повышение надежности работы машин и механизмов определяется качеством материалов, из которых они изготовлены [1,2]. При этом на эксплуатационную стойкость и долговечность работы литья из магниевых сплавов значительное влияние оказывают дефекты, образующиеся при изготовлении отливок и их эксплуатации. К дефектам, влияющим на свойства отливок, относятся макро- и микропористость, газовые раковины и неметаллические включения. Наиболее часто встречающимся дефектом литья из магниевых сплавов служат микропоры, поэтому устранение данного вида брака является важной задачей литейного производства [3].

*Состояние вопроса.* Для получения ответственного магниевого литья применяют сплавы МЛ5, МЛ10 и др., производство которых включает в себя выплавку сплава в индукционных, газовых печах, рафинирование жидкого расплава флюсом, заливку форм и термическую обработку. При этом в отливках сложной конфигурации могут встречаться участки с микропористостью, что приводит к отбраковке изделий и влечет за собой снижение выхода годного литья на производстве [4,5]. Одним из перспективных направлений устранения микропористости отливок из магниевых сплавов может быть применение технологии газоизостатического прессования [6-8]. Данная технология опробована и применяется для высоколегированных сплавов на основе никеля и железа. При использовании данной технологии происходит сваривание (захлопывание) стенок микропор в результате высокотемпературной ползучести и диффузии металла. При этом в ряде работ [9,10] отмечено, что газоизостатическое прес-

сование жаропрочных сплавов на основе никеля способствовало измельчению структурных составляющих сплава и более равномерному их распределению в матрице, а также повышению физико-механических свойств металла. Применение газоизостатического прессования магниевых сплавов для исправления дефектов литья до настоящего времени не изучалось. Поэтому опробование технологии газоизостатического прессования отливок из магниевых сплавов для повышения их качества и улучшения физико-механических свойств является актуальной задачей.

*Постановка задачи.* Целью настоящей работы является исследование возможности применения технологии газоизостатического прессования для отливок из магниевых сплавов, а также изучение его влияния на структуру и свойства магниевого литья.

*Основная часть исследования.* Одним из важных условий получения высококачественного магниевого литья является получение металла повышенной плотности без микропористости и рыхлот. Поэтому отливки из магниевых сплавов проходят контроль на гидростатическое испытание, в результате которого часть из них его не выдерживают и отбраковываются. Качество отливок из магниевых сплавов МЛ5 и МЛ10 в промышленных условиях определяли неразрушающими методами контроля: рентгеновским, люминесцентным и цветным.

Рентгеновский контроль дефектов в отливках из магниевых сплавов осуществляли при помощи аппаратов РАП-150/30, РУП 400-5 и МИРА-2Д и регистрацией полученных данных на рентгеновские пленки РМ-1 и РТ-2. Толщина просвечиваемого материала находилась в пределах 11...116 мм.

Люминесцентный контроль отливок выполняли методами ЛЮМ-17-П и ЛЮМ-К, используя капиллярное проникновение люминесцентной жидкости в полость дефекта изделия. На предварительно очищенную поверхность наносили слой индикаторного пенетранта, состоящего из керосина или реактивного топлива ( $85 \pm 5 \%$ ) и масла трансформаторного или МК-8 ( $15 \pm 5 \%$ ). После промывки изделия в технической воде и последующей сушки на контролируемую поверхность наносили проявитель в виде оксида магния. Наличие дефектов устанавливали по свечению в ультрафиолетовом свете, которое создавали облучателем КДЗ-3Л.

Для дефектоскопии изделий цветным методом ЦМ15-В на предварительно очищенную поверхность изделия наносили слой индикаторного пенетранта. После выдержки, в результате которой пенетрант заполняет поверхностные дефекты, поверхность обрабатывали жидкостью ОЖ-2, выявляющей указанные дефекты, и удаляли ее смесью 70 % трансформаторного масла или МС-8П и 30 % топлива ТС-1 или РТ. Для фиксации дефекта использовали проявитель.

Образцы для металлографического контроля и определения механических свойств изготавливали из отливок, содержащих микропористость, до и после газоизостатического прессования. Газоизостатическое прессование выполняли в газостате модели «*QUINTUS*» при температуре  $395 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении 9,2 МПа в течение 1,5 ч.

Предел прочности и относительное удлинение образцов определяли на разрывной машине Р5 при комнатной температуре. Длительную прочность при температуре  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  и напряжении 80 МПа определяли на разрывной машине АИМА 5-2 на образцах с рабочим диаметром 5 мм по ГОСТ 10145-81. Макро- и микроструктуру исследуемых сплавов изучали при помощи световых микроскопов «*Neophot 32*» и «*OLYMPUS IIX 70*».

Участки отливок из сплавов МЛ5 и МЛ10 с пониженной плотностью (рис. 1) имели однородную мелкодисперсную макроструктуру. При этом микрорыхлоты в отливках из магниевых сплавов были разделены участками с нормальной плотностью и имели равномерное понижение плотности в местах их расположения, что позволяет классифицировать их как концентрированные хлопьевидные (рис. 2) [11].



**Рисунок 1** – Микропористость в отливках из магниевых сплавов, х 200



**Рисунок 2** – Хлопьевидные микрорыхлоты в участках отливок из магниевых сплавов х 500

Микроструктура термообработанного сплава МЛ10 представляла собой  $\delta$ -твердый расплав с наличием эвтектики  $[\delta+\gamma(\text{MgZr}_{12}\text{Nd})]$  сферической формы. Микроструктура сплава МЛ5 характеризовалась наличием  $\delta$ -твердого раствора, эвтектики  $\delta+\gamma(\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12})$  и интерметаллидов  $\gamma(\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12})$ . Размер интерметаллидной фазы составлял 0,5...2,0 мкм, а расстояние между осями дендритов второго порядка – 6...10 мкм.

Металлографический анализ показал, что газоизостатическое прессование не оказывает влияния на размеры макро- и микрзерна отливок из магниевых сплавов. При этом наблюдали уплотнение металла и микропоры закрывались. Газоизостатиче-

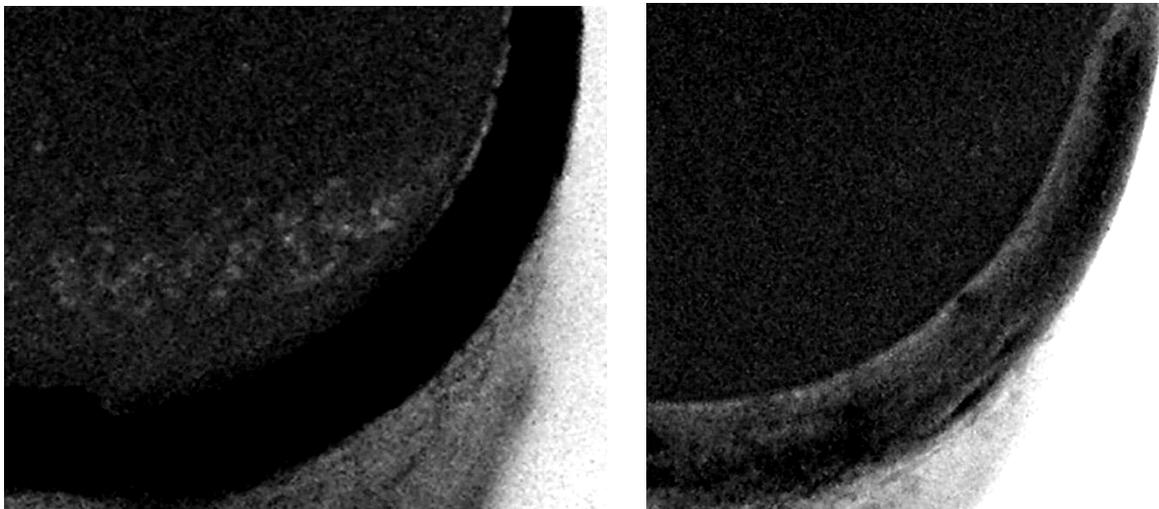
ское прессование способствует упрочнению металла поверхностных слоев отливок за счет их деформации. Микротвердость металла в поверхностной зоне отливок была значительно выше ее в центральной части. Определение свойств исследуемых сплавов показало улучшение физико-механических характеристик и жаропрочности после газоизостатического прессования (табл. 1).

**Таблица 1** – Физико-механические свойства и жаропрочность термообработанных образцов из магниевых сплавов до (1) и после (2) газоизостатического прессования

Свойства сплавов									
МЛ5					МЛ10				
$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$HV_{\text{матр}}$ , МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\tau_{270}^{80}$ , Ч	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$HV_{\text{матр}}$ , МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\tau_{270}^{80}$ , Ч
228,0	3,6	$\frac{1200,8^*}{1065,7}$	1,562	141,1	235,0	3,6	$\frac{1290,5}{1261,0}$	1,754	47,5
248,4	4,2	$\frac{1396,7}{1325,6}$	1,798	158,4	262,1	4,8	$\frac{1426,6}{1354,3}$	1,881	61,4

Примечание\*: в числителе представлены данные по краю отливки, в знаменателе – в ее центральной части

Газоизостатическое прессование отливок из магниевых сплавов, содержащих микропористость, позволяет устранить ее (рис. 3) и получить металл с механическими и эксплуатационными свойствами, удовлетворяющими требованиям нормативно-технической документации.



**Рисунок 3** – Макроструктура отливки из сплава МЛ5, х 50:  
 а - до газоизостатического прессования,  
 б - после газоизостатического прессования

**Выводы.** Установлено, что газоизостатическое прессование является эффективной технологией для устранения некоторых дефектов в отливках из магниевых сплавов. Показано, что применение газоизостатического прессования устраняет микропористость в отливках из сплавов МЛ5 и МЛ10, повышает их плотность на 10...15 %, предел прочности на ~ 10 %, пластичность на ~ 20 % и жаропрочность на ~ 10...20 %.

Применение данной технологии позволяет снизить процент брака и повысить выход годного.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богуслаев, В. А.* Авиационно-космические материалы и технологии [Текст] / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, Н. Е. Калинина. – Запорожье. : ОАО «Мотор Сич», 2009. – 382 с. – Библиогр. : с. 376-378. – ISBN 966-2906-01-0.
2. *Rourke, D. J.* Magnesium- current status and future prospects [Текст] / D. J. Rourke // Proc. Intern. Magnesium Conf. in conjunction with METER 2000 : Magnesium New Business Opportunities. – Brescia. – 2000. – С. 14-23.
3. *Сон, К. Е.* Исследования и разработки применения магниевых сплавов в Южной Корее [Текст] / К. Е. Сон, М. Ч. Канг, К. Х. Ким // Литейное производство. – 2006. – № 1. – С. 8-10.
4. *Шалин, Р. Е.* Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов [Текст] / Р. Е. Шалин, И. Л. Светлов, Е. Б. Качанов. – М. : Машиностроение, 1977. – 336 с. – Библиогр. : с. 331-334. – ISBN 978-953-307-106-0.
5. *Каблов, Е. Н.* Жаропрочность никелевых сплавов [Текст] / Е. Н. Каблов, Е. Р. Голубовский. – М. : Машиностроение, 1998. – 464 с. – Библиогр. : с. 459-462. – ISBN 5-217-02883-1.
6. *Богуслаев, В. А.* Конструкция и техническое обслуживание авиационных двигателей [Текст] / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. Ф. Мозговой. – Запорожье : Мотор Сич, 2008. – 560 с. – Библиогр. : с. 553-554. – ISBN 966-7108-99-6.
7. *Богуслаев, В. А.* Прочность деталей ГТД [Текст] / В. А. Богуслаев, В. Б. Жуков, В. К. Яценко. – Запорожье : Мотор Сич, 2003. – 527 с. – Библиогр. : с. 511-519. – ISBN 966-7108-74-0.
8. *Edgar, R. L.* Magnesium Alloys and their Applications / R. L. Edgar, Ed. Kainer K.U. : Wiley-Weinheim-New York. – Chichester – Brisbane – Singapore-Toronto. VerlagGmbH. – 2000. – P. 3-8.
9. *Клочихин, В. В.* Структура и свойства отливок из никелевого сплава после горячего изостатического прессования [Текст] / В. В. Клочихин, П. Д. Жеманюк, Э. И. Цивирко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2000. – № 2. – С. 20-23.
10. *Burt, H.* The Effect of Hot Isostatic Pressing of the Creep and Fracture Behavior of the Cast Superalloy Mar-M002 [Текст] / H. Burt, J. Dennison, J. Elliot // Materials Science and Engineering. – 1982. – No 53. – P. 245-250.
11. *Вайнблат, Ю. М.* Паукообразные дефекты в слитках сплава Mg-Al-Zn [Текст] / Ю. М. Вайнблат, Б. И. Бондарев, Т. А. Мухина // Технология легких сплавов. – 1999. – № 2. – С. 15-18.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2013 р.  
Рецензент, проф. Є.І. Цивірко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>