

М. Б. ИСМАИЛОВ, Ж. М. РАМАЗАНОВА, Г. Б. НИГМЕТЧАНОВА,
С. ТОЛЕНДЫУЛЫ, Л. М. МУСТАФА*

*АО «Национальный центр космических исследований и технологий»,
Алматы, *m.ismailov@spaceres.kz*

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ И СТЕПЕНИ ПОРИСТОСТИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Mg-Al-Zn

Изучены возможности регулирования пористости сплава системы Mg-Al-Zn, полученного плавкой под слоем флюса. В качестве легирующих добавок были выбраны элементы, которые значительно повышают его коррозионную стойкость и жаростойкость, улучшают механическую прочность, а также технологические свойства. Получен диапазон пористости 5,9-14,8 %, впервые для этого диапазона установлена зависимость величины прочности сплава от его пористости. Для сплава с пористостью 14,8 % доля открытых пор составляет 12,8 %, закрытых – 2 %. Микротвердость сплава с данной пористостью составила: в литом состоянии 661 МПа, после гомогенизационного отжига 876 МПа, после процесса искусственного старения 897 МПа. Значение прочности на разрыв составило 235 МПа. Установлено, что пористость сплава обусловлена поглощением водорода из атмосферы расплавом на этапах плавки и литья, а также результатом физического процесса усадки при кристаллизации расплава. Для уменьшения пористости сплава использовали легирование марганцем, обработку расплава кальцием и гексахлорэтаном, а обработку литейных форм – нитридом бора. За счет этих операций пористость образцов снижена до 5,9 %, прочность на разрыв возросла до 240 МПа. Открытая пористость составила 4,5 %, закрытая – 1,4 %. При этом микротвердость литых образцов составляет 867 МПа, после гомогенизационного отжига – 903 МПа, после искусственного старения – 961 МПа. Дальнейшее снижение пористости и повышение прочности магниевых сплавов возможно при использовании вакуумной плавки или плавки в среде инертного газа. Увеличение пористости образцов свыше 14,8 % возможно за счет проведения плавки в атмосфере, содержащей водород.

Ключевые слова: магниевые сплавы, пористость, пределы прочности, текучести, относительное удлинение.

Введение. Магниевые сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов в авиакосмической и автомобильной промышленности, приборостроении. К особым физическим свойствам магниевых сплавов относятся их высокая удельная механическая прочность, способность эффективно поглощать упругие колебания (демпфирующая способность), исключительно высокая вибрационная усталостная прочность. Магниевые сплавы, как правило, пористы. Пористость материала сильно влияет на его прочность и коррозионную стойкость. Наибольшую прочность и коррозионную устойчивость материал имеет при пористости, близкой к нулю, однако технология плавки и литья при этом сильно усложняется. Магний сплав с умеренной пористостью (условный ди-

апазон 6-15 %) также востребован, он дешевле и доступней. В этом случае поры герметизируют пропиткой материала специальными жидкостями [1, 2].

В последнее время возник новый интерес к магниевым сплавам в качестве биodeградирующих материалов, пригодных для создания имплантатов, применяемых в остеосинтезе. Для костных имплантатов желательно использовать пористые материалы. В этом отношении магниевые сплавы обладают большим потенциалом, так как они полностью биосовместимы, имеют механические свойства естественной кости, не вызывают воспалительной реакции и стимулируют рост новой ткани [3, 4]. Однако до сих пор трудно получить магниевые сплавы с высокой пористостью до 75 %, при этом с ис-

ключительно открытой пористостью [5]. Размеры микропор в магниевых сплавах варьируются от 100 до 500 мкм [6]. В настоящее время на рынке представлено несколько магниевых сплавов, обладающих биокоррозионными и механическими свойствами: МЛ-5 и МЛ-10 в российской промышленности и AZ91A, AZ91B, AZ91C, AZ91D, AZ91E, LAE442 на мировом рынке [7]. Установлено, что магниевые сплавы обладают хорошей биосовместимостью, коррозионной устойчивостью и имеют модуль упругости Юнга, максимально приближенный к модулю упругости кортикального слоя кости [8]. Одним из методов получения пористых металлов является метод направленной кристаллизации жидкого металла, насыщенного газом. Этот способ также носит название метода газозвтектической реакции или газар-процесс [9].

Зависимость пористости и прочности магниевого сплава от конкретной технологии плавки и литья изучены недостаточно. Знание этих процессов актуально для создания семейства сплавов различных по критерию «качество – стоимость».

Цель работы – изучение возможности получения магниевых сплавов системы Mg-Al-Zn с различной степенью пористости.

Методика проведения исследований. В экспериментах изучался хорошо известный литейный магниевый сплав системы Mg-Al-Zn, по химическому составу соответствующий марке МЛ5, его европейским аналогом является сплав AZ91E. Химический состав и прочность этих сплавов приведены в таблице 1.

Легирующие элементы сплава Al и Zn играют роль упрочняющих добавок, а Mn повышает коррозионную стойкость. Изготовление магниевых сплавов системы Mg-Al-Zn с различной степенью пористости осуществлялось по двум схемам.

Схема 1. Плавка осуществлялась при температуре 720 °С с временем выдержки 10 мин.

Таблица 1 – Химический состав и прочность стандартных литейных магниевых сплавов

Сплав	Химический состав, мас. %				Прочность на растяжение σ_B , МПа
	Al	Zn	Mn	Mg	
МЛ5	7,5-9,0	0,2-0,8	0,15-0,5	89,7-92,15	235
Европейский аналог AZ91E	8,7	0,7	0,17	90,43	240

Легирующие добавки – алюминий, цинк, марганец вводили в расплав в виде чистого металла, плавку осуществляли под слоем защитного флюса ВИ2. Рафинирование производили при температуре расплава 720 °С путем перемешивания расплава мешалкой из жаростойкой стали в течение 5 мин и добавлением тонкомолотого просушенного флюса ВИ3. Модифицирование сплава производили путем перегрева при температуре 750 °С, время выдержки 15 мин до прекращения выделения пузырей углекислого газа на поверхности расплава. Расплав выдерживается 10 мин, в течение которых температура снижается до 740 °С, после чего производится литье в графитовые изложницы. Процесс разлива сопровождался пропыливанием струи расплава тонкоразмолотым флюсом ВИ3. Гомогенизационный отжиг литых образцов проводили при температуре 420 °С и времени выдержки 10 ч, закалку осуществляли на воздухе. Искусственное старение проводили при температуре 190 °С в течение 12 ч с охлаждением на воздухе.

Схема 2. Отличается от схемы 1 тем, что вводятся дополнительные мероприятия, снижающие содержание растворенного в расплаве газа:

— антикоррозионная добавка Mn в расплав вводится через лигатуру AlMn₆, поскольку металлический Mn весьма трудно растворим в расплаве магния;

— после операции рафинирования вводится дополнительная операция дегазации, проводимая в два этапа: температура расплава повышается до 750-780 °С, в расплав с помощью специального устройства, выполненного в виде колокольчика, последовательно вводятся металлический Ca в количестве 0,1 % и гексахлорэтан в количестве 0,2 % от массы шихты, время обработки до 10 мин;

— перед разливкой расплава рабочие поверхности графитовых изложниц обрабатываются спиртовым раствором нитрида бора и прокаливаются.

Методы исследования. Исследование микроструктуры сплава проводили на микроскопе Axiovert 200 МАТ методами количественной металлографии и путем сопоставления структуры с заранее составленными шкалами. Для шлифования образцов использовали комплекс пробоподго-

товки BRILLANT 221 с учетом всех характеристик для приготовления образцов из металлических сплавов для исследования структурных составов. Рентгенофазовые исследования проводились на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение α -Cu. Прочностные свойства материала определялись на разрывной машине Shimadzu с компьютерной обработкой. При испытании на прочностные свойства были использованы образцы поперечного сечения. Растяжение образцов производили при комнатной температуре со скоростью 0,5 мм/мин. Величину микропористости сплава определяли на оптическом микроскопе путем расчета площади пор на фотографиях по методике С. А. Салтыкова [10]. Также микропористость определялась весовым методом, путем погружения образца в воду. Третий метод измерения величины микропористости осуществлялся на анализаторе «КАТАКОН SorbtoMeter M», где жидкий азот использовался как адсорбент.

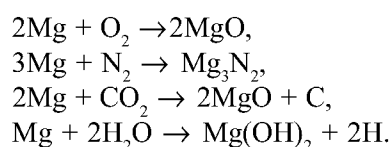
Результаты экспериментов и их обсуждение. Способ получения сплава магния системы Mg-Al-Zn под слоем флюса по схеме № 1 позволил получить сплав с химическим составом, мас. %: Al – 8,3; Zn – 0,56; Mn – 0,013; Mg – остальное. Химический состав полученного сплава соответствует составу серийных сплавов (таблица 1), кроме марганца, содержание которого оказалось значительно ниже. Металлографические исследования показали, что литые образцы имеют дендритную структуру, гомогенизационный отжиг дает переход к кристаллической структуре с размерами зерен 13-15 мкм, после старения размеры зерен уменьшаются до 10-11 мкм. Рентгенофазовый анализ показал, что система Mg-Al-Zn состоит из зерен α -твердого раствора на основе магния и неравновесной двойной эвтектики $\alpha + \gamma$ ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$), которая в результате вырождения представлена включениями неравновесной γ -фазы ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$). Интерметаллидная фаза γ ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$) выделяется в виде светлых включений по границам зерен и дендритных ячеек α -твердого раствора. Цинк не образует в сплаве промежуточных фаз, он растворяется в магнии и частично входит в состав фазы γ (Mg,Zn)₁₇(Al,Zn)₁₂.

При исследовании микроструктуры полученного сплава на фотографиях наблюдаются многочисленные микропоры в виде темных пятен. Результаты по определению микропористости конечных образцов сплава показали, что общая

пористость составляет 14,8 % – величина большая для конструкционных сплавов. При этом пористость по своей структуре состоит из открытых пор – 12,8 % и закрытых пор – 2 %. Общая пористость образована по механизму усадки при кристаллизации расплава – не более 4,4 %, а остальная часть – 10,4 % за счет поглощения расплавом газа.

Микротвердость полученного сплава составила в литом состоянии 661 МПа, после гомогенизационного отжига 876 МПа, после процесса искусственного старения 897 МПа. Прочностные характеристики конечного образца: $\sigma_b = 235$ МПа, $\sigma_{0.2} = 108$ МПа, $\delta = 2,7$ %.

Известно, что микропористость магниевых сплавов является естественным результатом двух физических процессов, появляющихся при кристаллизации жидких сплавов: усадки и поглощения газов [2]. В ходе охлаждения расплава и его кристаллизации вновь образующиеся твердые фазы имеют большую плотность, вследствие чего образцы материала приобретают усадочную пористость. Второй составляющей общей пористости является газовая пористость. Поглощенные газы состоят на 70 % из водорода [11]. Известно, что атмосфера воздуха состоит из газов N_2 , O_2 , H_2O , CO_2 и других составляющих. Расплавленный магний не растворяет эти газы, однако активно реагирует с N_2 , O_2 , H_2O , CO_2 по следующим реакциям:

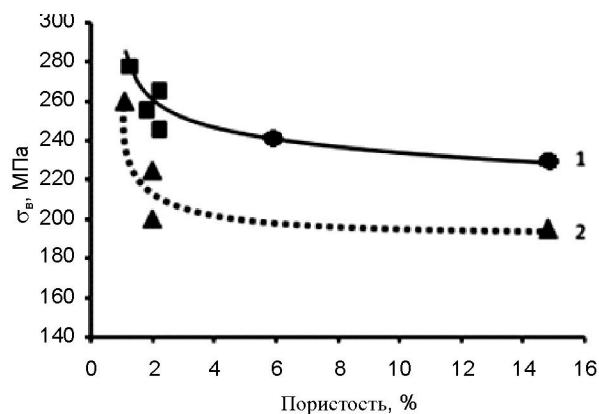


Из образуемых в ходе этих реакций продуктов только атомарный водород активно поглощается расплавом магния. Данный процесс идет с поглощением тепла и понижением температуры расплава. Далее в результате кристаллизации расплава растворимость атомарного водорода падает. Избыточный водород начинает выделяться, образуя пузырьки газов в расплаве. Далее при кристаллизации на месте пузырьков газа возникают микропоры.

Проведение экспериментов по схеме 2 позволило получить следующие результаты. Элементный анализ образцов показал, что химический состав сплава соответствует, мас. %: Al – 7,44, Zn – 0,48, Mn – 0,454; Mg – остальное. Общая пористость составила 5,9 %, в том числе закрытая – 1,4 %, открытая – 4,5 %.

Микротвердость литых образцов составляет 867 МПа, после гомогенизационного отжига – 903 МПа, после искусственного старения – 961 МПа. Это на 7 % выше показателей пористых образцов, изготовленных по схеме 1. Прочностные свойства конечных образцов: $\sigma_b = 240$ МПа, $\sigma_{02} = 110$ МПа, $\delta = 4,2$ %. Эти данные соответствуют характеристикам промышленных образцов сплавов системы Mg-Al-Zn, приведенных в таблице 1.

На основании характеристик образцов, изготовленных по схемам 1 и 2, а также характеристик прочности малопористых образцов из литературных данных [6, 12] построена зависимость прочности магниевого сплава МЛ5 (AZ91E) для диапазона пористости 0-15 % (рисунок 1, кривая 1). При этом на кривой 1 точкам, полученным по литературным данным [6, 12] соответствуют значения пористости в пределах 1-4 %, а точкам, полученными авторами по схемам 1 и 2, соответствуют значения пористости 5,9 % и 14,8 %. На рисунке 1 также приведены литературные данные для сплава АМ60 (рисунок 1, кривая 2) [13]. Ход кривых 1 и 2 качественно одинаков.



1 – МЛ5 (AZ91E), где □ – по данным [6, 12], ■ – по данным авторов; 2 – АМ60 □ – по данным [13]

Рисунок 1 – Зависимость прочности на разрыв магниевых сплавов от пористости

Обе кривые, полученные при малых значениях пористости, имеют более крутую зависимость, а при пористости выше 4 % становятся более пологими. Влияние величины микропористости на прочность значительно ослабевает. Данная зависимость важна, поскольку по ней можно оценить величину прочности сплава по значению пористости. Как видно из данных ри-

сунка 1, для достижения высоких значений прочности микропористость сплава должна составлять менее 4 %. Для получения магниевых сплавов с прочностными характеристиками более 260 МПа необходимо уменьшить значения пористости до 1-3 %. Этого можно достигнуть, используя вакуумные методы плавки, что резко усложняет технологию производства и повышает стоимость сплава.

Очевидно, что повышения пористости магниевых сплавов свыше 15 % с открытыми порами можно достичь путем уменьшения покровного флюса и введения в атмосферу плавочного тигля водорода. Это тематика отдельных исследований.

Выводы. Сплавы системы Mg-Al-Zn с пористостью порядка 6 %, с характеристиками прочности, соответствующими промышленным сплавам МЛ5 (AZ91E), можно получать по технологической схеме 2. Для повышения эксплуатационных характеристик материал пропитывается специальными антикоррозионными жидкостями, которые герметизируют открытые поры.

Сплавы системы Mg-Al-Zn с пористостью порядка 15 % можно получать по схеме 1. Характер пор – открытый. Сплав относительно дешев, применим в качестве конструкционного материала после пропитки герметизирующими жидкостями.

Магниевого сплавы с высокой степенью открытой пористости (до 75 %), востребованы в качестве биodeградирующих имплантатов. В настоящее время идет интенсивный поиск эффективных технологий получения таких материалов. Результаты данной работы показывают, что повышение открытой пористости магниевого сплава возможно плавкой в атмосфере, содержащей водород.

Магниевого сплавы с малой степенью пористости (менее 4-6 %), являются наиболее прочными, они востребованы в качестве конструкционных материалов. Оптимальной технологией их получения является вакуумная плавка или плавка в среде инертного газа.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Донской А.А. Герметики для авиационной промышленности // Клеи. Герметики. Технологии. – 2005. – № 2. – С. 14-27.
- 2 Уридия З.П., Мухина И.Ю. Новые пропитывающие материалы для герметизации отливок из

магниевого и алюминиевого сплавов // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2011. – № 8. – 10 с.

3 Staiger M.P., Pietak A.M., Huadmai J., Dias G. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review // *Biomaterials*. – 2006. – № 27. – P. 1728-1734.

4 Carla Lorenz et al. Effect of surface pre-treatments on biocompatibility of magnesium // *Acta Biomaterialia*. – 2009. – № 5. – P. 2783-2789.

5 Ingrid Morgenthal et al. Highly Porous Magnesium Alloy Structures and Their Properties Regarding Degradable Implant Application // *Advanced Engineering Materials*. – 2014. – Vol. 16., Is. 3. – P. 309-318.

6 Liang Wang, Hongjoo Rhee, Sergio D. Felicelli, Adrian S. Sabau, John T. Berry Oxide film and porosity defects in magnesium alloy AZ91. *Shape Casting: 3rd International Symposium* – 2009. – 348 p.

7. Грохова М.Л., Беленичев И.Ф., Черный В.Н., Яцун Е.В. Изучение токсического воздействия процесса биодegradации модифицированного сплава МЛ-10 на основе магния на организм лабораторных крыс [Электрон. ресурс]. – URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/march-2013/> (дата обращения 30.03.2015).

8 Черный В.М. Перспективы применения биодegradирующих сплавов на основе магния в остеосинтезе // *Запорожский медицинский журнал*. – 2013. – № 6. – С. 76-79.

9 Карпов В.Ю., Комиссарчук О.В. Структура и механические свойства пористых алюминиевых сплавов, полученных методом направленной кристаллизации [Электрон. ресурс]. – 2014. – URL: <http://www.metaljournal.com.ua>. (дата обращения: 30.03.2015).

10 Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970. – 375 с.

11 Zhang B. J., Shan J.G., Ren J.L., Wen P. Reducing the porosity in die-cast magnesium alloys during laser welding. *Welding journal*. – 2013. – Vol. 92.

12 Moscovitch N., Gertsberg G., Nagar N., Lautzker M., Fantetti N. and Bronfin B. The effect of porosity on the microstructure and mechanical properties of die cast Mg alloys: SAE 2006 World Congress & Exhibition Technical Session Schedule, 2006.

13 Ece Alat «Analysis magnesium addition, hydrogen porosity and T6 heat treatment effects on mechanical and microstructural properties of pressure die cast 7075 aluminum alloy»: master's thesis; 03.09.2012/ Middle East Technical University. – P. 125.

REFERENCES

1 Donskoj A.A. *Germetiki dlya aviatsionnoj promyshlennosti* (Sealants for the aviation industry) *Klei. Germetiki. Tekhnologii = Glues. Sealants. Technologies*. 2005. 2, 14-27 (in Russ.).

2 Uridiya Z.P., Mukhina I. Yu. *Novye propityvayush-*

chie materialy dlya germetizatsii otlivok iz magnievykh i alyuminievykh splovov (New impregnating materials for sealing casting of magnesium and aluminum alloys) *Vse materialy. Ehntseklpedicheskij spravochnik = All materials. Encyclopedic reference*. 2011. 8, 10 (in Russ.).

3 Staiger M.P., Pietak A.M., Huadmai J., Dias G. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. *Biomaterials*. 2006. 27, 1728-1734 (in Eng.).

4 Carla Lorenz et al. Effect of surface pre-treatments on biocompatibility of magnesium. *Acta Biomaterialia*. 2009. 5, 2783-2789 (in Eng.).

5 Ingrid Morgenthal et al. Highly Porous Magnesium Alloy Structures and Their Properties Regarding Degradable Implant Application. *Advanced Engineering Materials*. 2014. 16, 3, 309-318 (in Eng.).

6 Liang Wang, Hongjoo Rhee, Sergio D. Felicelli, Adrian S. Sabau, John T. Berry Oxide film and porosity defects in magnesium alloy AZ91. *Shape Casting: 3rd Intern. Symposium*. 2009. 348 (in Eng.).

7 Grokhova M.L., Belenichev I.F., Cherniy V.N., Yatsun Ye.V. *Izuchenie toksicheskogo vozdeystviya protsessu biodegradatsii modifitsirovannogo splava ML-10 na osnove magniya na organizm laboratornykh kryis* (Research of toxic effects of biodegradation modified magnesium based alloy ML-10 on laboratory rodent's organism) // onlineversion – <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/march-2013/> (submission date 30.03.2015) (in Russ.).

8 Chernyj V.M. *Perspektivy primeneniya biodegradiruyushchikh splovov na osnove magniya v osteosinteze* (Prospects for the use of biodegradable magnesium-based alloys in osteo-synthesis). *Zaporozhskij meditsinskij zhurnal = Zaporozhye Medical Journal*. 2013. 6, 76-79 (in Russ.).

9 Karpov V.Yu., Komissarchuk O.V. *Struktura i mehanicheskie svoystva poristyykh alyuminievykh splovov, poluchennykh metodom napravlennoy kristallizatsii* (Structure and mechanical properties of porous aluminum alloy obtained by directional solidification). [Online version] 2014. URL: <http://www.metaljournal.com.ua/> (the date of treatment – 03.03.2015) (in Russ.).

10 Saltykov S.A. *Stereometricheskaya metallografiya* (Stereometric metallography) Moscow: Metallurgy. 1970. 375 (in Russ.).

11 Zhang B.J., Shan J.G., Ren J.L., Wen P. Reducing the porosity in die-cast magnesium alloys during laser welding. *Welding journal*. 2013. 92 (in Eng.).

12 Moscovitch N., Gertsberg G., Nagar N., Lautzker M., Fantetti N. and Bronfin B. The effect of porosity on the microstructure and mechanical properties of die cast Mg alloys. *SAE 2006 World Congress & Exhibition Technical Session Schedule*. 2006. (in Eng.).

13 Ece Alat. Analysis magnesium addition, hydrogen porosity and T6 heat treatment effects on mechanical and microstructural properties of pressure die cast 7075 aluminum alloy: master's thesis; Middle East Technical University. 03.09.2012, 125. (in Eng.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Флюс қабаты астында ерітуден алынатын Mg-Al-Zn қорытпасы жүйесінің кеуектілігін реттеу мүмкіндігі зерттелді. Қорытпадағы қоспалаушы ретінде алынған элементтер коррозияға төзімділігі мен жылу төзімділігін көтеру арқылы механикалық беріктігін және технологиялық қасиеттерін жақсартады. 5,9-14,8 % кеуектілік диапазоны алынды, осы диапазон үшін алғаш рет қорытпа беріктілігі шамасының оның кеуектілігіне тәуелді екендігі анықталды. 14,8 % кеуекті қорытпа үшін ашық тесіктер үлесі 12,8 %, жабықтары 2 % құрайды. Қорытпаның кеуектілікпен алынған микроқаттылығы: құю кезінде 661 МПа, біртекті өңдеуде 876 МПа, жасанды ескіру үрдістен кейін 897 МПа. Үзілу кезінде беріктік 235 МПа құрады. Қорытпаның кеуектілігі еріту мен құю кезеңдерінде атмосферадағы сутегінің құймалармен жұтылуымен түсіндіріледі. Құйманың кеуектілігін азайту үшін марганецпен қоспалау, құйманы кальциймен және гексохлорэтанмен өңдеу пайдаланылады, ал құю қалыптары бор нитридімен өңделеді. Осы операциялар есебінен үлгілердің кеуектілігі 5,9 % дейін төмендеді, ал үзілу беріктілігі 240 МПа дейін артты. Ашық кеуектілік 4,5 %, жабықтары 1,4 % құрады. Құюдан кейін алынған үлгілердің микроқаттылығы 867 МПа құрады, біртекті өңдеуден кейін 903 МПа, жасанды ескіруден кейін 961 МПа. Кеуектілікті әрі қарай төмендету және магний қорытпаларының беріктілігін арттыру вакуумды құюды пайдалану арқылы немесе инертті газды ортада құю арқылы мүмкін. Құрамында сутегі бар атмосферада құю есебінен үлгілердің кеуектілігін 14,8 % жоғары көбейтуі мүмкін.

Түйінді сөздер: магний қорытпалары, кеуектілік, беріктілік шегі, салыстырмалы ұзару, ағымдылық.

SUMMARY

Possibilities for controlling porosity of Mg-Al-Zn system's alloy obtained by melting under flux were studied. Additives which significantly increase corrosion and heat resistance, enhance mechanical strength and handling quality of the alloy were used for alloying. The range of void ratio of 5.9-14.8 % was reached, for the first time for such range relation between alloy's strength and its void ratio was found. For the alloy with void ratio 14.8 % open pores amount to 12.8 % and closed – 2 %. Microhardness of alloy with such porosity reached: 661 MPa for material without processing, 876 MPa after diffusion annealing, 897 MPa after artificial aging. Tensile strength equals 235 MPa. It was established that alloy's void ratio is conditioned by hydrogen which absorbed from atmosphere during melting and casting and also by physical process of shrinkage at melt crystallization. In order to decrease void ratio it was used manganese alloyage, melt-alloy treatment with calcium and hexachlorine-ethane and mould treatment with boron nitride. As a result of these operations void ratio was reduced to 5.9 %, tensile strength was increased up to 240 MPa. Amount of open pores equaled to 4.5 % and closed – to 1.4 %. While microhardness equals 867 MPa for material without processing, 903 MPa – after diffusion annealing, 961 MPa – after artificial aging. Further reduction of void ratio and increase of strength of magnesium alloy's can be reached by using vacuum melting or melting in inert gas medium. In order to increase void ratio above 14.8 % hydrogen rich atmosphere should be used during melting.

Key words: magnesium alloys, void ratio, strength, tensile strength, percentage elongation.

Поступила 21.04.2015

