

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Mg-Gd-Nd-Y-Zn-Zr ЛЕГИРОВАННЫХ Yb, Sm

Баранов И. И.¹, Колтыгин А. В.¹

¹НИТУ МИСИС, Москва, Россия

baranov.ii@misis.ru

Ключевые слова: магниевые сплавы, литейные свойства, редкоземельные металлы.

Введение.

Магниевые сплавы благодаря их низкой плотности и высокой удельной прочности являются перспективными материалами для создания на их основе изделий в аэрокосмической и автомобильной промышленности. Хотя за последние десятилетия были достигнуты значительные успехи в оптимизации составов магниевых сплавов, их применение все еще ограничено. Одной из причин ограничения использования промышленных магниевых сплавов является способность возгораться при повышенных температурах и относительно низкая прочность. Ранее проведенные исследования показали, что добавление редкоземельных металлов (РЗМ) в сплавы на основе магния может существенно улучшить их механические свойства как при комнатной температуре, так и в условиях повышенной рабочей температуры. Температура возгорания магниевых сплавов с добавлением РЗМ сильно возрастает, особенно при добавлении самария или иттербия. Зачастую магниевые сплавы легируют Gd, Y и Nd в качестве элементов-упрочнителей. Так, например, в работе [1] было показано, что сплав GEWZ522K (химический состав представлен в таблице 1) системы Mg-Gd-Y-Nd-Zn-Zr способен значительно упрочняться в процессе термической обработки по режиму Т6. После термообработки сплав имеет предел прочности на разрыв около 300 МПа при относительном удлинении до 4%. Однако этот сплав не продемонстрировал значительного повышения технологических и эксплуатационных по сравнению с промышленными литейными магниевыми сплавами, содержащими значительное количество РЗМ. Для этого было предложено дополнительное легирование сплава добавками Yb и Sm. Однако, влияние этих добавок на технологические свойства сплава требуют дополнительного изучения.

Как известно [2], одним из способов повышения свойств магниевого сплава является его легирование РЗМ. Данное явление обусловлено тем, что РЗМ могут уменьшить температурный интервал кристаллизации магниевого сплава и увеличивать содержание эвтектики, что благотворно влияет на жидкотекучесть сплава [3]. Механизм влияния РЗМ на жидкотекучесть магниевых сплавов может носить комплексный характер. Известно, что сродство РЗМ к кислороду больше, чем у магния [4]. Таким образом, на поверхности расплава образуется оксидная пленка, обогащенная РЗМ, такая оксидная пленка прочнее по сравнению с пленой чистого магния, что в свою очередь, может снизить жидкотекучесть магниевого сплава. Снижение литейных свойств сплавов особенно критично для тонкостенных отливок, поэтому важно контролировать количество вводимых РЗМ и толщину оксидной пленки. Также известно, что увеличение количества эвтектики в сплаве благотворно сказывается на показателях его горячеломкости, что важно для получения геометрически сложных отливок [5].

Целью этой работы является определение горячеломкости и жидкотекучести магниевого сплава системы Mg-Zn-Zr-Y-Nd-Gd, легированного добавками Sm или Yb.

Материалы и методики.

В работе в качестве шихтовых материалов были использованы магний Mg90, цинк ЦВ0, лигатура Mg-Zr Л4 (COM3), Mg-20Y и Mg-20Nd (Метагран), и лигатура Mg-25, Gd,

Mg-20Sm, Mg-20Yb собственного производства. Плавка сплава проводилась в индукционной печи в стальном тигле в защитной атмосфере диоксида серы. Химический состав экспериментальных сплавов представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав сплавов

Название	Содержание компонентов в сплаве, масс. %							
	Mg	Gd	Nd	Y	Zr	Zn	Yb	Sm
GEWZ	Осн.	4,8	2,1	1,6	0,6	0,4	-	
GEWZ+Sm	Осн.	4,9	1,4	2,9	0,4	0,55	-	2,5
GEWZ+Yb	Осн.	4,8	1,5	2,8	0,5	0,45	0,6	-

Жидкотекучесть сплавов исследовали с помощью модифицированной спиральной пробы по ГОСТ 16438-70 (рис. 1 а, б), отличающейся от стандартной пробы точкой подвода металла в центр спирали. Формы (2) изготавливались из холоднотвердеющей смеси по Per-set процессу с наполнителем из кварцевого песка 2K₁O₃016 ГОСТ 2138-91. Контроль напора расплава (3) при заливке осуществлялся с помощью литниковой чаши (1) и графитового стопора (4). В заливочную чашу расплав подавали при температуре 790 °С. После полного заполнения чаши и достижения температуры расплава 730 °С стопор поднимался и осуществлялась заливка. В ходе всего исследования контроль за температурой осуществлялся с помощью хромель-алюмелевой термопары.

Горячеломкость исследуемых сплавов определяли с помощью пробы «Арфа». Схема представлена на рис. 1 в. Горячеломкость сплавов оценивалась по максимальной длине ветви полученной отливки без трещин. Для определения среднего значения горячеломкости заливку пробы повторяли 4 раза.

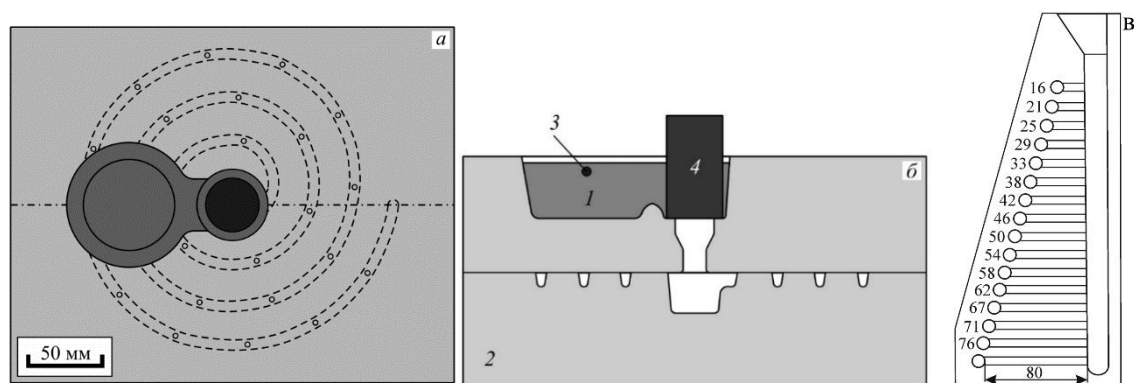


Рис. 1. – Схема заливки спиральной пробы на жидкотекучесть:

вид сверху (а), разрез (б), где:

- 1 – литниковая чаша, 2 – форма из ХТС, 3 – расплав,
4 – стопор, (в) проба для определения горячеломкости

Результаты.

В результате исследования было установлено, что среднее значение жидкотекучести сплава GEWZ522K составило 507±37 мм. Жидкотекучесть сплава GEWZ+Sm составила 535±17, а у сплава GEWZ+Yb – 457±16. Таким образом жидкотекучесть сплава, легированного самарием выше, чем у сплава с иттербием или без добавки этих элементов. Для сравнения, жидкотекучесть популярного промышленного сплава МЛ5 в аналогичных условиях заливки была получена на уровне 450 мм [6].

Горячеломкость исследуемого сплава GEWZ522K составила 67 мм против 50 мм для сплава МЛ5 в аналогичных условиях. Для сплава GEWZ+Sm наблюдалось полное отсутствие трещин, что говорит о минимальной горячеломкости. У сплава GEWZ+Yb горячеломкость определённая по пробе «Арфа» составляет 62. Таким образом, можно

сделать вывод, что сплав, дополнительно легированный самарием, обладает более высокими литейными свойствами среди исследуемых сплавов, а также по этим свойствам он превосходит промышленный сплав МЛ5.

Список литературы

1. A.V. Koltygin, A.V. Pavlov, V.E. Bazhenov, O.D. Gnatyuk, I.I. Baranov, V.D. Belov Microstructure and properties of the GEWZ522K casting magnesium alloy based on the Mg–Gd–Nd–Y–Zn–Zr system //Известия вузов. Цветная металлургия. – 2023. – Т. 29. – №. 5. – С. 34-46.
2. Qudong W., Yizhen L., Xiaoqin Z., и др. Study on the fluidity of AZ91+ xRE magnesium alloy //Materials Science and Engineering: A. – 1999. – Т. 271. – №. 1-2. – С. 109-115.
3. Патент RU2687359C1 Литейный магниевый сплав А. В. Колтыгин, В. Е. Баженнов, В. Д. Белов, С. В. Матвеев.
4. Li Y., Wu G., Chen A и др. Effects of processing parameters and addition of flame-retardant into moulding sand on the microstructure and fluidity of sand-cast magnesium alloy Mg-10Gd-3Y-0.5 Zr //Journal of materials science & technology. – 2017. – Т. 33. – №. 6. – С. 558-566.
5. Zhu J. et al. Manipulating intrinsic eutectic for hot cracking suppression and synchronous strengthening via segregation engineering in an additively manufactured superalloy //Acta Materialia. – 2025. – С. 121668.
6. Bazhenov V.E., Koltygin A.V., Sung M.C., Park S.H., Titov A.Yu., Bautin V.A., Matveev S.V., Belov M.V., Belov V.D., Malyutin K.V. Design of MgZnSiCa casting magnesium alloy with high thermal conductivity //Journal of Magnesium and Alloys. – 2020. – Т. 8. №. 1. – С. 184-191.

CASTABILITY OF THE MAGNESIUM ALLOY FROM THE MG-GD-Y-ND-ZN-ZR SYSTEM WITH WITH YTTERBIUM OR SAMARIUM

Baranov I.I.¹, Koltygin A.V.¹

¹NUST MISIS, Moscow

m1706075@edu.misis.ru

Keywords: magnesium alloys, castability, rare earth metals.

A study was conducted on the castability of the magnesium alloy from the Mg-Gd-Y-Nd-Zn-Zr system with with ytterbium or samarium. The hot-tearing tendency and fluidity of these alloys were investigated. It was found that the average fluidity by spiral test of alloys with Sm is 535 ± 17 mm. The alloy exhibits good resistance to hot-tearing tendency in dog-bone test result is above 80 mm. The results achieved significantly exceed the casting qualities of the popular commercial alloy AZ91. At the same time, additional alloying with ytterbium did not improve the alloy's processing properties. Thus, its high processing properties allow the samarium-alloyed alloy to be used for casting parts. Combined with good mechanical properties in casting, the alloy may be a promising material for the manufacture of cast aircraft components.