

Исследование и выбор оптимального технологического процесса бесфлюсовой плавки магниевых сплавов*

Рассмотрен технологический процесс плавки и заливки сплава МЛ5 с использованием бесфлюсовой защиты на базе SO_2 . Приведены сравнительные характеристики плавки магниевых сплавов под слоем флюса и бесфлюсовой плавки. Определены оптимальные технологические параметры процесса бесфлюсовой плавки при изготовлении коррозионноустойчивых отливок из сплава на основе магния.

Ключевые слова: магний, бесфлюсовая плавка, полнофакторный эксперимент

Введение. Передовые страны мира уже подошли к такому рубежу развития, когда прирост валового внутреннего продукта отстает от растущих потребностей общества – снижаются темпы роста производительности труда.

Модернизация экономики на базе революционных направлений в посткризисный период стала национальной задачей ведущих стран. Литейное производство, которое является базовой отраслью машиностроения и больше всего пострадавшее за указанный период, стоит на пороге лавинообразного нарастания спроса на его продукцию.

В рамках указанной выше стратегии именно литье магниевых сплавов занимает по праву лидирующую позицию среди новых высокоэффективных энергосберегающих технологий [1].

Характерная особенность магниевых сплавов – малая плотность при сравнительно высоких механических свойствах. Одним из направлений использования магниевых сплавов может быть в некоторых случаях – замена алюминиевых сплавов, а также высококачественного чугуна и даже стали.

Однако, широкое внедрение магниевых сплавов сдерживается их особенностями, такими как легкая окисляемость (возгораемость), образование при температурах выше $700\text{ }^\circ\text{C}$ нитрида магния (Mg_3N_2), интенсивное поглощение водорода, что приводит к образованию таких видов брака в отливках, как микропористость, трещины при затрудненной усадке, газовая и газоусадочная пористость, неметаллические включения. Эти особенности магниевых литейных сплавов необходимо учитывать при плавке и производстве фасонных отливок [2].

Недостатком магниевых сплавов является более низкая коррозионная стойкость по сравнению с алюминиевыми сплавами. Особенно усиленно развивается коррозия на поверхности деталей из магниевых сплавов, если в отливки попадают хлориды магния. Однако при обеспечении надлежащей технологии производства магниевых сплавов, а также защиты от коррозии детали могут длительное время работать в атмосферных условиях. Изделия из магниевых сплавов коррозионно-устойчивы в растворах фторатов,

хроматов, минеральных масел, топлива, щелочах, жидком и газообразном кислороде [3].

В настоящее время в Украине для защиты магниевых сплавов используют флюсы. Флюсы представляют собой смеси хлористых и фтористых солей металлов и некоторых оксидов.

Использование флюсов способствует образованию литейных дефектов в отливках. Появление флюсовых и оксидных включений, газовых раковин и рыхлот обусловлено, в значительной степени, существующими способами плавки магниевых сплавов в открытых печах под слоем покровно-рафинирующих флюсов [4].

Важной задачей является развитие, используемого в промышленных странах, метода бесфлюсовой плавки. Перспективным техническим процессом, способным устранить большинство выше перечисленных отрицательных факторов, является приготовление магниевых сплавов без флюса в защитной газовой среде [5].

В настоящей работе рассмотрен технологический процесс плавки и заливки сплава МЛ5 (аналог AZ91) с использованием бесфлюсовой защиты на базе SO_2 . На коррозионную стойкость Mg сплавов существенное влияние оказывает содержание SO_2 в защитной атмосфере, а также процентное содержание хлора и H_2 в сплаве.

Целью настоящей работы является определение оптимальных технологических параметров процесса бесфлюсовой плавки при изготовлении коррозионно-стойких отливок из сплава МЛ5 [6, 7, 8].

С целью оптимизации факторов, влияющих на коррозионную стойкость магниевых сплавов, был использован метод полнофакторного эксперимента.

В качестве факторов были приняты: расход SO_2 в составе осушенного воздуха; содержание хлора в сплаве; содержание водорода в сплаве.

Уровни параметров приводятся в таблице 1.

Планирование эксперимента для получения линейной модели основано на варьировании факторов на двух уровнях. В том случае, если число факторов известно, можно сразу найти число опытов, необходимых для реализации всех возможных сочетаний уровней факторов. В общем случае эксперимент, в котором

* По материалам X Международной специализированной выставки-конференции «Литье-2014» (27-29 мая, г. Запорожье)

Таблица 1

Уровни параметра	Параметры*					
	состав газовой смеси		содержание водорода		содержание хлора	
	система					
	натуральная, Z_1 , л/мин SO_2 + осушенный воздух	кодированная, X_1	натуральная, $Z_2 \cdot 10^{-3}$ м ³ /кг	кодированная, X_2	натуральная, Z_3 , %	кодированная, X_3
Верхний уровень	0,696 + 22,504	+1	13	+1	0,014	+1
Нижний уровень	0,116 + 23,084	-1	9	-1	0,002	-1
Основной (нулевой уровень)	0,348 + 22,852	0	11	0	0,08	0
Шаг варьирования	0,116	-	1	-	0,04	-

* В качестве выходного (регистрируемого) параметра принимаем фиксируемый параметр – массовый показатель коррозии, г/(м² · ч)

реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом [9].

Проведение экспериментов осуществлялось на действующем оборудовании в цехе литья под давлением при отработке технологии литья биметаллических радиаторов-конвекторов из магниевых сплавов. Комплекс включал машину ЛПД с горячей камерой прессования 400 т.с. Машина оборудована дополнительной системой бесфлюсовой защиты магниевых сплавов с установкой низкого холода для осушки воздуха. В осушенный воздух добавляли SO_2 в соответствии с приведенными выше данными.

Печь с магниевым сплавом герметично перекрывалась, магниевые чушки подавались в подогретом состоянии (до 250 °С) через шлюзовую камеру. В цехе подача жидкого сплава осуществлялась по металлопроводу из плавильной печи в раздаточную [10].

Регулирование содержания хлора в сплаве обеспечивалось повышенной обработкой гексахлорэтаном. Снижение хлора производилось путем фильтрации сплава через прокаленную магнезитовую крошку магнитодинамическим насосом.

Регулирование содержания водорода осуществлялось от его верхнего значения в действующем процессе ($13 \cdot 10^{-3}$ м³/кг) в сторону снижения, путем продувки азотом в течении 30 минут.

При проведении эксперимента особое внимание уделялось содержанию хлора и SO_2 в зоне дыхания. $ПДК_{SO_2} \leq 0,5$ мг/м³, $ПДК_{Cl} \leq 1$ мг/м³ [6].

Для проведения полнофакторного эксперимента использовалась безразмерная система координат. В безразмерной системе координат верхний уровень равен +1, нижний – -1, координаты центра плана равны нулю и совпадают с началом координат осей.

Расширенная матрица планирования полнофакторного эксперимента для трех факторов, с фиктивной переменной, представлена в таблице 2. В этом случае число возможных комбинаций из трех факторов на двух уровнях: $N = n^k = 2^3 = 8$.

Таким образом, построен полнофакторный эксперимент 2^3 . Он состоит из восьми опытов и включает все возможные комбинации уровней трех факторов [11].

Таблица 2

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе			Факторы в безразмерной системе координат				Выходной параметр, г/(м ² · ч) · 10 ⁻³
	Z_1	Z_2	Z_3	X_0	X_1	X_2	X_3	
1	0,116 + 23,084	9	0,002	+1	-1	-1	-1	7
2	0,696 + 22,504	9	0,002	+1	+1	-1	-1	11
3	0,116 + 23,084	13	0,002	+1	-1	+1	-1	8
4	0,116 + 23,084	13	0,002	+1	+1	+1	-1	13
5	0,696 + 22,504	9	0,014	+1	-1	-1	+1	12
6	0,116 + 23,084	9	0,014	+1	+1	-1	+1	16
7	0,696 + 22,504	13	0,014	+1	-1	+1	+1	9
8	0,116 + 23,084	13	0,014	+1	+1	+1	+1	20

Для полного факторного эксперимента типа 2^3 уравнение регрессии с учетом эффектов взаимодействия можно представить следующим выражением:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{j,i=1 \\ j < i}}^n b_{ji} x_j x_i \quad (1)$$

или

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (2)$$

где b_0 – свободный член уравнения регрессии; b_i – коэффициент линейного эффекта, b_{ji} – коэффициент эффекта парного взаимодействия, n – число факторов, x_j и x_i – факторы эксперимента.

По результатам эксперимента получены значения неизвестных коэффициентов в уравнении 2.

Все коэффициенты регрессионного уравнения больше доверительного интервала (что говорит об их значимости). Проверка адекватности уравнения осуществлялась с использованием критерия Фишера. Уравнение регрессии примет вид:

$$Y = 48 + 12x_1 + 2x_2 + 9x_3 + 4x_1x_2 + 3x_1x_3 - x_2x_3 + 3x_1x_2x_3. \quad (3)$$

Из уравнения регрессии видно, что наибольшее влияние на результат оказывает состав смеси.

С помощью построенной регрессионной модели можно не только анализировать какой-либо процесс, но и прогнозировать значения зависимой переменной при каких-либо заданных значениях факторов.

Провели точечный прогноз путем подстановки соответствующих значений безразмерных x в уравнение регрессии (3) согласно матрице планирования полнофакторного эксперимента с эффектом взаимодействия первого порядка (табл. 3). Используя указанное положение, рассчитывали точечные значения по уравнению регрессии [11].

Результаты точечного прогноза представлены в таблице 3.

Таблица 3

Номер опыта	Значение Y
1	34
2	58
3	38
4	56
5	52
6	70
7	50
8	80

Наилучший обобщенный показатель соответствовал первому опыту, при котором содержание SO_2 было минимальное, так же как и наименьшие показатели содержания водорода и хлора. При таких факторах продолжать решение поставленной задачи

в направлении снижения SO_2 не представляется возможным из-за ограничения по возгоранию сплава.

Специализированной лабораторией климатических испытаний были проведены ускоренные испытания. Эти два вида испытаний проводились с целью получения расчетных зависимостей для определения ресурсных показателей коррозионной стойкости.

На рис. 1 представлены результаты ускоренных испытаний двух технологических процессов изготовления сплава МЛ5.

Режимы испытания:

– температура 40 °С при относительной влажности 100 % – 12 часов;

– температура 25 °С при относительной влажности 95 % – 10 часов;

– выдержка на воздухе при комнатной температуре 2 часа.

– длительность испытаний – 4 цикла;

– один цикл составлял 24 часа.

Оценка коррозионного состояния производилась после окончания испытаний внешним осмотром.

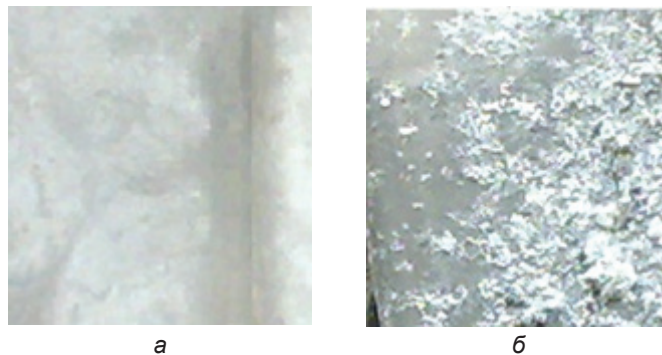


Рис. 1. Антикоррозионные испытания двух технологических процессов: бесфлюсовой плавки (а), плавки под слоем защитного флюса ВИ2 (б), X0,5

Результаты испытаний: деталь а – на поверхности коррозии не обнаружено; деталь б – на поверхности имеет место рыхлый налет белого цвета, представляющий собой продукты коррозии основного металла, площадь поражения коррозией – 80 %.

Параллельно с ускоренными испытаниями проводились атмосферные сроком 1 месяц. На рис. 2 представлены результаты атмосферных испытаний образцов двух технологических процессов сплава МЛ5: бесфлюсовая плавка и плавка под слоем защитного флюса ВИ2. Атмосферные испытания проводились на базе ГП «ИЦЛПД» в условиях неотапливаемого помещения в зимний период. Для испытаний использовались образцы размером 40 x 40 x 1 мм.

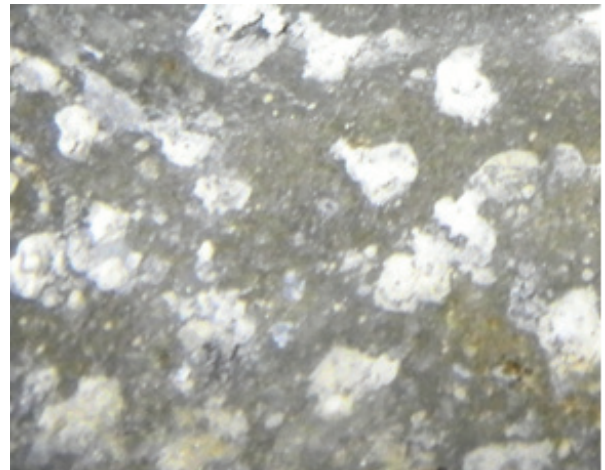
Как видно из рис. 5. площадь поверхности испытываемого образца а поражена на 1,6 %, а поверхность образца б поражена на 40 %.

Выводы

Все предприятия Украины, работающие в области литья магниевых сплавов, в том числе предприятия выпускающие исключительно ответственные детали, используют при плавке флюсовую защиту.



а



б

Рис. 2. Результаты атмосферных испытаний образцов двух технологических процессов: а – плавка в защитной газовой среде; б – плавка под слоем защитного флюса ВИ2, увеличение X0,5

Отливки, изготовленные с флюсовой защитой, при плавке обладают сопутствующими пороками: низкой коррозионной стойкостью, низкой долговечностью из-за межкристаллической коррозии, снижение при эксплуатации механических свойств.

Плавка с флюсовой защитой требует завышенного энергопотребления, в связи с увеличенным временем цикла и необходимостью расхода энергии на параллельную плавку флюса.

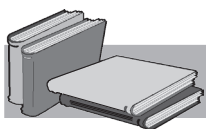
При литье магниевых сплавов на Украине отсутствуют высоконадежные антикоррозионные покрытия для деталей.

Применение бесфлюсовой плавки поможет достичь следующих результатов:

- повышение коррозионной стойкости (коэффициент коррозии) детали в два и более раза;
- повышение долговечности детали за счет устранения содержания ионов хлора, и, как следствие, межкристаллической коррозии;

- сокращение донного осадка на 30 %;
- снижение безвозвратных потерь сплава на 5 %;
- повышение производительности плавки на 10-15 %;
- снижение себестоимости плавки на 10-15 %, в том числе по расходу электроэнергии;
- сокращение вредных выбросов газов в 20 раз – резкое улучшение санитарно-гигиенических условий.

Апробированный процесс плавки под защитой (SO_2 + сухой воздух) является наиболее практичным в производстве по экономике, по обслуживанию и по технике безопасности. Незначительная доза SO_2 0,116 л/мин. обеспечивает производство с уровнем вредной загазованности ниже уровня ПДК в зоне дыхания обслуживающего персонала. Использование осушенного воздуха позволяет технически решить проблему капитального характера, тем самым исключая работы связанные с переработкой большого количества баллонов инертного газа.



ЛИТЕРАТУРА

1. Колачев Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – М. : МИСИС, 2005. – 428 с.
2. Крейцер К. А. Проблема коррозионной стойкости магниевых сплавов / К. А. Крейцер, А. А. Крейцер // Оборудование для профессионалов: Киев, 2011. – С. 15
3. Щетинин А. А. Производство отливок из специальных сталей и сплавов цветных металлов: учеб. пособие / А. А. Щетинин, Т. И. Сушко, В. П. Дорошенко. – Воронеж : Ворон. гос. техн. ун-т, 2003. – 185 с.
4. Лисенко Т. В. Преимущества производства отливок из магниевых сплавов / Т. В. Лисенко, К. А. Крейцер // Международная специализированная выставка-конференция, доклад. – 2010.
5. Шаров М. В. Исследование защитных газовых сред при плавке некоторых магниевых сплавов / М. В. Шаров, Б. Л. Бобрышев, Л. В. Кузьмичев, Ю. П. Александрова. – Ярославль, 1976. – С. 51-57.
6. Парашенко В. М. Технология литья под давлением / В. М. Парашенко, М. М. Рахманкулов, А. П. Цисин. – М.: Металлургия, 1996. – 240 с.
7. Мухина И. Ю. Основы бесфлюсовой плавки магниевых сплавов / И. Ю. Мухина, Н. А. Сарыгин, В. Н. Репин. – М.: ДНТП, 1978. – 98 с.
8. Якимов В. И. Исследование газовых защитных атмосфер, разработка технологического процесса и конструкторской документации для бесфлюсового приготовления магниевых сплавов / В. И. Якимов, А. Т. Калинин. – Комсомольск-на-Амуре: НИАТ, 1989. – 46 с.
9. Кривошеев А. Е. Основы научных исследований и литейном производстве. – Киев, 1979. – 168 с.
10. Вассерман А. М. Методы контроля и исследования легких сплавов. – М: Металлургия, 1985. – 510 с.
11. Саушев А. В. Планирование эксперимента. – Санкт-Петербург. – СПб. : СПГУВК, 2001. – 97 с.

Анотація

Лисенко Т. В., Крейцер К. А., Бабілунга А. В.

Дослідження і вибір оптимального технологічного процесу безфлюсової плавки магнієвих сплавів

Розглянуто технологічний процес плавки і заливки сплаву МЛ5 з використанням безфлюсового захисту на базі SO_2 . Наведено порівняльні характеристики плавки магнієвих сплавів під шаром флюсу та безфлюсової плавки. Визначено оптимальні технологічні параметри процесу безфлюсової плавки при виготовленні корозійностійких виливків зі сплаву на основі магнію.

Ключові слова

магній, безфлюсовая плавка, повнофакторний експеримент

Summary

Lysenko T. V, Kreitser K. A, Babilunga A. V.

Research and selection of optimal fluxless magnesium alloys smelting process

It was considered process of melting and casting alloy ML5 using flux-free protection on the basis of SO_2 . In this article comparative characteristics of magnesium alloy melting under a layer of flux and flux-free heat are shown. Also was defined the optimal technological parameters of flux-free smelting in the manufacture of corrosion resistant casts of magnesium-based alloys.

Keywords

magnesium, fluxless melting, full-factor experiment

Поступила 23.04.14

**Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу
Вашей продукции или рекламный материал
о Вашем предприятии**

Расценки на размещение рекламы
(цены приведены в гривнах с учетом налога на рекламу)

2, 3 страницы обложки		страница внутри журнала	
цветная	1400	цветная	1050
черно-белая	700	черно-белая	500
1/2 страницы формата А4		1/2 страницы формата А4	
цветная	900	цветная	800
черно-белая	500	черно-белая	450
1/4 страницы формата А4		1/4 страницы формата А4	
цветная	550	цветная	300
черно-белая	300	черно-белая	200

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %