

## **ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕМ И КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ПЛОТНОСТЬ ЧУГУНА**

*Аннотация. Анализ известных исследований легирования совмещенного с комплексным модифицированием показал, что много вопросов остается открытыми и требует дальнейшего изучения. В настоящих исследованиях решалась задача получения более дешевого и технологичного чугуна, который бы в определенных условиях эксплуатации обеспечил экономически целесообразный уровень долговечности отливок. В качестве характеристики для оценки механических и эксплуатационных свойств выбрана удельная плотность сплава. Построены двухмерные сечения поверхностей отклика зависимостей плотности от состава модифицирующего комплекса при разных содержаниях алюминия. В результате регрессионного анализа установлено, что лучшей плотностью и соответственно эксплуатационными и механическими свойствами обладают экспериментальные чугуны, модифицированные карбонитридом титана при содержании алюминия 2,0 %.*

*Ключевые слова: половинчатый чугун, легирование, модифицирование, плотность, эксплуатационные свойства.*

Физические методы исследования кристаллизующегося сплава могут быть использованы для расчета и прогнозирования структурообразования и формирования свойств металла отливок из чугуна. Поэтому удельная плотность может быть одним из определяющих свойств сплава, от которого зависят механические и эксплуатационные свойства отливок.

Анализ состояния вопроса. Удельный вес чугуна зависит от большого количества факторов [1, 2]. Одними из самых значимых являются его состав, степень графитизации, а также условия первичной кристаллизации. Почти все элементы, которые содержатся в чугуне, особенно с малым удельным весом (C, Si, Al) уменьшают и его плотность. Отмечено интенсивное влияние элементов способствующих или тормозящих графитизацию. Чем больше углерода и графита, чем

крупнее его выделения и чем больше газовая и усадочная пористость, тем меньше удельный вес чугуна.

Для серого чугуна одной марки в зависимости от химического состава и сечения литой заготовки плотность может колебаться в пределах  $\pm (0,3 - 0,8 \text{ кг/м}^3)$  [3]. Белые чугуны значительно отличаются от серых, они обладают повышенной склонностью к образованию горячих и холодных трещин, что связано с широким интервалом кристаллизации сплава, большой величиной литейной усадки, низкой теплопроводностью. В [3] приведены значения плотности для некоторых белых износостойких чугунов. Анализ факторов влияющих на изменение удельной плотности легированных половинчатых чугунов не приведен.

Выбор отдельных легирующих элементов или их комплексов в чугунолитейном производстве осуществляется исходя из эффективности и экономичности достижения необходимого сочетания свойств [3, 4]. Чаще всего для повышения комплекса свойств отливок применяют хром, титан, алюминий, кроме того эти легирующие элементы не являются дефицитными и при рациональном количестве их использование экономически оправдано.

Свойства чугунов всегда улучшаются при их модифицировании, одновременно с повышением качества и эксплуатационных характеристик литого металла экономятся дефицитные легирующие элементы [5, 6].

По вопросам легирования совмещенного с комплексным модифицированием как средством управления структурой и свойствами отливок существует большое количество исследований. Однако многие вопросы влияния различных элементов остаются открытыми и требуют дальнейших исследований.

Цель настоящих исследований. На основании вышеизложенного удельная плотность выбрана в качестве одной из главных характеристик для оценки экспериментальных чугунов. Целью исследований было получения более дешевого и технологичного чугуна, который бы в определенных условиях эксплуатации обеспечил экономически целесообразный уровень долговечности отливок, без дополнительной тепловой обработки.

Исследовали чугуны, содержащие (% , по массе): углерод 2,8 – 2,9; марганец 0,40 – 0,45; кремний 0,70 – 0,75; хром 0,09 – 0,10;

ферроцерий 0,3 (по присадке). Использовали дисперсные порошки карбонитрида титана (TiCN) и карбида кремния (SiC). Содержание алюминия и модифицирующих присадок варьировали в интервале: алюминий от 2,0 до 6,0 %; TiCN от 0,0 до 0,1 %; SiC от 0,0 до 0,05 %. В дальнейшем анализе рассматривали влияние только варьируемых компонентов. Плавки проводили по схеме полного факторного эксперимента (ПФЭ). Коэффициенты регрессии определяли на основе экспериментальных данных (табл. 1, 2). Подставляя полученные коэффициенты в модельное уравнение, получали математическое описание изучаемого свойства. Отсевание коэффициентов регрессии осуществляли по результатам вычисления доверительного интервала, который должен быть меньше коэффициента регрессии в случае значимого влияния данного фактора на исследуемый параметр.

Таблица 1

Подматрица планирования ПФЭ и плотность отливок из экспериментальных сплавов

Номер опыта	Номер плавки	Натуральный масштаб, % по массе			Плотность,
		SiC	TiCN	алюминий	
1	8	0,05	0,1	6,0	6600
2	3	-	0,1	6,0	6700
3	7	0,05	-	6,0	6100
4	2	-	-	6,0	6400
5	5	0,05	0,1	2,0	7000
6	6	-	0,1	2,0	7300
7	4	0,05	-	2,0	7100
8	1	-	-	2,0	6800

Таблица 2

Коэффициенты регрессии

Параметр	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Плотность	6750	- 50	+ 150	- 300	- 50	- 50	50

Все экспериментальные чугуны являлись половинчатыми (рис.1), поэтому для них подтвердились основные результаты, полученные в предыдущих исследованиях [7, 8]. Количество графита (Г) не оказывало влияния на плотность. Образцы с 2,0 алюминия (рис. 2) имели более высокую плотность, чем их аналоги с 4,0 % (рис. 3) и 6,0 % (рис. 4), несмотря на то, что количество Г в них было выше.

Алюминий влияет на образование междендритного графита, и с увеличением его количества плотность уменьшается.

С измельчением структурных составляющих плотность всех слитков увеличивается.

Для половинчатого чугуна самым значимым по результатам предыдущих исследований оказалось количество ледебурита и это подтверждается на полученных экспериментальных отливках.

Однозначной взаимосвязи между твердостью и плотностью не выявлено.

Лучшая плотность и соответственно эксплуатационные и механические свойства были у экспериментальных чугунов, модифицированных карбонитридом титана.

Анализ полученных результатов позволит установить следующее:

- с повышением содержания алюминия плотность уменьшалась;

- при 6,0 % алюминия с увеличением количества карбида кремния и карбонитрида титана плотность увеличивалась;

- при 4,0 % Al плотность увеличивалась с увеличением количества карбонитрида титана и при его содержании выше 0,050 % влияние карбида кремния на плотность становилось более выраженным;

- при 2,0 % Al карбонитрид титана способствовал увеличению плотности и с увеличением его количества свыше 0,050 % карбид кремния также способствовал её увеличению.

Выводы. Установлено, что при всех концентрациях алюминия модифицирование карбонитридом титана повышало плотность отливок. Карбид кремния способствовал увеличению плотности при содержании TiCN выше 0,05 %. Повышение содержания алюминия в исследуемых пределах приводило к снижению этого показателя.

Отливки из разработанных половинчатых чугунов прошли испытания в промышленных условиях ЧНПП «КАРИОН-СЕРВИС» (Днепропетровск), где были использованы в качестве литых коробов для спекания керамических стержней в электропечах камерного типа и показали удовлетворительную стойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по чугуному литью / под ред. Н.Г. Гиршовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 758 с.: ил., табл., библиогр. – С. 741-753.
2. Леви Л.И. Литейные сплавы / Л.И. Леви, С.К. Кантеник – М. : Высшая школа, 1967. – 433 с.
3. Чугун / [Шерман А.Д., Жуков А.А., Абдулаев Е.В. и др.]; под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. – 1-е изд. – М. : Metallurgia, 1991. – 576 с.
4. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны / Ю. Г. Бобро. – М. : Metallurgia, 1976. – 288 с.
5. Калинин В. Т. Научные основы прогрессивных технологий модифицирования и легирования чугунов для отливок металлургического оборудования: дис. ... доктора техн. наук: 05.16.04 / Калинин Василий Тимофеевич. – Д., 2005. – 399 с.
6. Найдек В. Л. Процессы внеагрегатной обработки металлических расплавов массового назначения // Сучасне матеріалознавство ХХІ ст. : зб. наук. Праць НАН України. – К. : Наукова думка, 1998. – С. 285-296.
7. Матвеева М. О. Влияние хрома на плотность белого и половинчатого чугуна / М. О. Матвеева, О. М. Шаповалова // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - № 5. – С. 37-41.
8. Матвеева М.О. Анализ влияния титана и характеристик шихты на удельную плотность отливок / М. О. Матвеева // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні.–2009.–№ 2. – С. 64-69.