

внутриформенном модифицировании уменьшается и во всем диапазоне скоростей охлаждения находится в пределах 11,5-17,5 %. Твердость закономерно возрастает пропорционально росту предела прочности.

Результаты исследований послужили основой для разработки и внедрения технологии получения отливок из высокопрочного чугуна марки ВЧ 400-15. Применение внутриформенного модифицирования предотвращает образование эвтектического цементита, способствует увеличению количества феррита в металлической основе чугуна и, по сравнению с ковшовым модифицированием, обеспечивает снижение расхода модификатора в 1,5-2 раза.

Колебание качества шихтовых материалов может приводить к неоднородной структуре металлической основы с количеством перлита от 20 до 50 %. При этом повышаются показатели предела прочности до 530-630 МПа и снижается относительное удлинение до 4,8-12 %. Применение дополнительного внутриформенного модифицирования силикобарием позволяет стабилизировать структуру и обеспечить получение заданных механических свойств $\sigma_b \geq 400$ МПа; $\delta \geq 15$ % в литом состоянии без проведения термической обработки.

УДК 669.131.7:539.216

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Б. Г. Зеленый, Л. А. Зеленая, Е. А. Ясинская
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПЕРЛИТНОГО КЛАССА

Проведено комплексное исследование взаимосвязи структуры, механических свойств с содержанием химических элементов в зависимости от скорости охлаждения отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (вч). К числу основных факторов, определяющих формирование структуры металлической основы вч, относится скорость охлаждения (толщина отливки), влияние которой сопоставимо с влиянием модифицирования и химического состава. Интенсивность теплоотвода в процессе кристаллизации и охлаждения металла отливок оказывает значительное влияние на структурообразование.

В проведенном исследовании массовая доля химических элементов принята в тех рациональных пределах, которые позволяют регулировать металлическую основу вч в литом состоянии для получения в ней максимального количества перлита

без образования структурно-свободных карбидов. Исследовано влияние концентрации легирующих элементов в следующих пределах: 2,0...3,5 % si; 0,4...1,2 % mn; 0...1,5 % ni; 0...2,0 % cu при постоянном содержании углерода (3,6...3,8 %), хрома (менее 0,1 %), фосфора (менее 0,07 %), серы (менее 0,015 %) и магния (0,035...0,065 %). Толщина клиновидных отливок в зонах вырезки образцов для изучения структуры и механических свойств составляла 8; 20; 30 и 45 мм. Сфероидизирующее модифицирование расплава чугуна осуществляли модификаторами фсмг и жкмк, обеспечивающими степень сфероидизации графита 92...95 %.

После анализа и обобщения результатов опытно-промышленных плавов, позволивших определить предельные концентрации легирующих элементов, для получения перлитной структуры вч в отливках, проведена математическая обработка результатов исследований с использованием пакета программ по статистическому моделированию. Получены уравнения регрессии, описывающие зависимость количества феррита при различном содержании si, mn, cu, ni в зависимости от толщины отливки. Полученные закономерности позволяют с достаточной точностью (коэффициент корреляции $r=0,89...0,96$, среднее квадратичное отклонение $s=5,49...7,07$) определить структуру металлической основы вч в отливках при ковшовом сфероидизирующем модифицировании (без графитизирующей обработки). По уравнениям регрессии построены графические зависимости, анализ которых позволяет количественно оценить вклад каждого из легирующих элементов в формирование литой структуры вч. Ферритизирующее действие si максимально проявляется в отливках толщиной 45 мм при содержании более 2,8 % si. В этом случае количество феррита составляет более 10 % даже при легировании 1,0 % mn и 1,0 % cu. Дополнительное введение в металл 1,0 % ni снижает количество феррита на 10...20 %. С уменьшением толщины образца эффективно влияет повышение содержания mn с 0,4 до 1,0 %, вызывающее уменьшение ферритной составляющей на 30...35 %. Однако при толщине 20 мм в чугуне, содержащем 2,5...2,8 % si и 0,8...1,0 % mn, количество феррита составляет 15...20 % и требуется дополнительное легирование другими элементами для уменьшения доли феррита до 3...10 %. Анализ зависимости количества феррита от массовой доли cu подтверждает высокую её перлитизирующую способность во всем изученном интервале скоростей охлаждения. При содержании меди от 0,8 до 1,5 % количество феррита в металлической основе отливок толщиной 8; 20; 30 мм снижается до уровня менее 8...10 %. А в отливке толщиной 45 мм снижение феррита до уровня менее 15 % достигается при содержании 1,5...2,0 % cu. Легированный медью перлитный вч в зависимости от толщины отливки характеризу-

ється прочністю при растяженні $\sigma_B=750\dots900$ мпа, относителъним удлинением $\delta=3\dots6$ % и твердостью 255...300 нв.

УДК 669.35:537.311/.312

**А. М. Верховлюк, Р.А. Сергієнко, О.А. Щерецький,
О.Г. Потрух, Л.Д. Таранухіна**

Фізико-технологічний інститут металів и сплавів НАН України, м. Київ

ВПЛИВ ФАЗОВОГО СКЛАДУ НА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ЛАТУНІ Cu35Zn

Вплив легуючих елементів на властивості латуней має різноплановий характер: змінюються температури фазових перетворень, властивості фаз, їхнє співвідношення, розміри зерна і т. д. Оціночно вплив елементів характеризується еквівалентною концентрацією цинку X_{Zn} [1] і розраховується за формулою (1.1):

$$X_{Zn} = \frac{Zn + \sum_{i=1}^n C_i K_i}{Zn + Cu + \sum_{i=1}^n C_i K_i}, \quad (1.1)$$

де X_{Zn} – еквівалентна концентрація цинку, %; Cu, Zn – відповідні фактичні концентрації цинку та міді, %; C_i – концентрація легуючого елемента, %; K_i – коефіцієнт еквівалентності ($K_{Si} = 12$; $K_{Ni} = -1,4$; $K_{Mn} = 0,5$; $K_{Al} = 6$; $K_{Fe} = 0,9$).

У литому стані досліджені сплави з еквівалентною концентрацією цинку 33-37 %, мас. част. містять значну кількість β -фази внаслідок нерівноважних умов кристалізації [2]. Дослідження за допомогою металографії та рентгенівського аналізу показали, що алюміній звужує область α -фази і збільшує кількість β -фази сплаву Cu-35Zn. Значення кількісних часток фаз в сплавах Cu35Zn1Al та Cu35Zn3Al з еквівалентними концентраціями цинку 39 %, мас. част. і 46 %, мас. част., відповідно близькі до даних літератури [3] – в литому стані латунь з 40 %, мас. част. Zn має біля 80 % α -фази, а латунь з 45 %, мас. част. Zn – біля 5 %. На мікрофотографіях (рис. 1) представлена структура двофазних латуней світлими кристалами α -фази і темними кристалами β -фази (рис. 1а), які витравлюються сильніше, ніж α -фаза, через більший вміст в них цинку і алюмінію. Кількісна частка β -фази збільшується при легуванні