

Результаты статистической обработки механических свойств высокопрочного чугуна согласуются с металлографическим анализом и показывают, что ферросилиций различных заводов-поставщиков при применении его в качестве графитизирующего модификатора по-разному влияют на уровень механических свойств ЧШГ при прочих равных условиях, как в литом состоянии, так и после термообработки.

УДК 621.74.042:621.746.6

**Н. А. Жижкина**

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, Луганск

### **ЛЕГИРОВАНИЕ ВАЛКОВОГО ЧУГУНА**

Литье валков характеризуется сложным процессом кристаллизации [1], что изменяет интенсивность влияния легирующих компонентов на затвердевающий металл рабочего слоя. Усложняют технологию легирования валкового чугуна процессы распределения таких компонентов между структурными составляющими. В зависимости от того, в какой фазе сосредоточен легирующий элемент, изменяются свойства валкового чугуна. В результате повышается уровень остаточных напряжений в отливке, что может привести к снижению работоспособности вала. Следовательно, стабильность структуры и обеспечение необходимого уровня свойств в значительной степени определяется содержанием химических компонентов металла и способом его обработки.

Выбор материала рабочего слоя формующего инструмента обусловлен условиями его эксплуатации в стане. Опыт производства валков [2, 3] показал, что для чистовой группы клетей наиболее приемлемы валки с рабочим слоем из чугуна, содержащего до 4,5 % Ni, с мелкодисперсной мартенситной структурой. Вместе с тем такое количество никеля способствует образованию в структуре чугуна значительной доли графита, включения которого в процессе эксплуатации могут быть концентраторами механических и термических напряжений, а также вызвать процесс окисления рабочей поверхности. Для предотвращения графитизации и одновременного повышения уровня твердости в чугун вводят хром, связывающий углерод в карбиды. При этом интенсивность такого процесса возрастает с концентрацией легирующего элемента. Вместе с тем установлено, что хром, характеризуясь большой диффундирующей способно-

стью, при смешивании переходит из металла рабочего слоя в сердцевину, тем самым способствуя увеличению карбидов в ее структуре и снижению прочностных характеристик. Поэтому содержание такого компонента в составе металла рабочего слоя ограничивают 1,5 %.

Изменению структуры способствуют другие химические компоненты – марганец и медь. Марганец, являясь карбидообразующим элементом, препятствует графитизации, но в количестве более 2 % повышает хрупкость чугуна. Действие марганца уравнивает медь, поэтому ее применение взамен никеля для валков, работающих в условиях интенсивного износа, более целесообразно. Медь позволяет получить литейные свойства, аналогичные никелевым чугунам, при этом повышая их прочность. Вместе с тем установлено, что в структуре чугуна, содержащего 3,0-3,5 % Si, отсутствовал мартенсит, а ее однородность обеспечивалась путем дополнительного введения никеля в количестве 0,3-0,4 %. Следовательно, такие компоненты целесообразно применять в качестве добавок, а для повышения эксплуатационных свойств валков - другие компоненты.

Одновременное повышение прочности, износо- и термостойкости рабочего слоя прокатных валков осуществляют путем введения в расплав молибдена. Металлографические исследования образцов из высоколегированного чугуна, отобранных от рабочего слоя валков, показали, что введение молибдена в количестве 0,16 %, практически не изменяя соотношение структурных составляющих и, как следствие, уровень твердости, способствовало получению более мелкозернистой структуры изделия. При повышении молибдена до 0,39 % величина зерна заметно уменьшилась. При увеличении доли легирующего компонента до 0,64 % наряду с измельчающим эффектом проявилось и его карбидообразующее влияние: количество карбидов возросло на 10 % по сравнению с исходной отливкой, тем самым снизилось графитизирующее действие никеля в массивных изделиях.

Повышение уровня твердости наблюдалось при легировании валкового расплава молибденом в комплексе с ниобием, образующим с углеродом стойкие карбиды. Установлено, что введение ниобия в количестве 0,1-0,24 % оказало косвенное модифицирующее воздействие. В обработанном чугуне наблюдались единичные включения шаровидного (компактного) графита по всему сечению шлифа, в то время как в образце из необработанного чугуна - колонии пластинчатого графита утолщенной формы, размер и количество которого возрастали с увеличением глубины. При этом установлено, что первичное зерно ме-

таллической матрицы с увеличением глубины возросло в обоих образцах. Однако его увеличение более интенсивное в необработанном чугуна.

Металлическая основа образца с ниобием характеризовалась более дисперсными продуктами распада аустенита (бейнитом и мартенситом) по сравнению с необработанным чугуном. Общее количество карбидов в сравниваемых образцах одинаковое и составило 25-30 %, что способствовало формированию равного уровня твердости (76 HSD).

Вместе с тем образец, обработанный ниобием, характеризовался неравномерностью структуры вдоль образца. Наблюдались участки, где преобладали металлическая матрица или игольчато-розеточные колонии карбидно-мартенситной эвтектики. В результате отливки с рабочим слоем, легированным ниобием, характеризовались более высоким уровнем напряжений по сравнению с изделиями, для изготовления которых использован хром-никель-молибденовый чугун.

**Выводы.** 1. Высокий уровень твердости и стойкости износа характерен для формующего инструмента с рабочим слоем из хромоникелевого чугуна. Вместе с тем выявлено, что содержание в чугуна никеля до 4,5 % способствует образованию значительной доли графита в структуре рабочего слоя, что снижает его отбеливаемость, а следовательно, и эксплуатационные показатели.

2. Экспериментальные исследования влияния различных химических компонентов на структуру и уровень свойств валкового чугуна показали, что в качестве добавок, улучшающих эксплуатационные характеристики формующего инструмента, целесообразно применять марганец в количестве до 2%, препятствующий графитизации расплава, и медь до 0,3%, повышающую прочностные и литейные свойства материала.

3. Установлено, что дополнительное легирование хромоникелевого чугуна молибденом в количестве до 0,6 % способствовало повышению прочности, износо- и термостойкости рабочего слоя за счет уменьшения зерна структуры и увеличения количества карбидов в ней на 10 %.

4. При легировании валкового расплава молибденом совместно с ниобием в количестве 0,1-0,24% получено повышение уровня твердости рабочего слоя за счет измельчения структурных составляющих и формирования шаровидной формы графита. Вместе с тем такие отливки характеризовались неравномерной микроструктурой и, как следствие, более высоким уровнем напряжений по сравнению с изделиями, дополнительно легированными только молибденом.

## Список литературы

1. *Жижкина Н. А.* Исследование процесса кристаллизации центробежных валков / Н. А. Жижкина // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 2 (191), ч. 1. – С. 59-62.
2. *Будагьянц Н. А.* Литые прокатные валки / Н. А. Будагьянц, В. Е. Карсский. – М.: Металлургия, 1983. – 175 с.
3. *Жижкина Н. А.* Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем: монография / Н. А. Жижкина. – Луганск: «Ноулидж», 2011. – 167 с.

УДК 621.745.5.06./07:536.5

**Л.Ф. Жуков, А.Л. Гончаров, А.Л. Корниенко, М.И. Смирнов,  
В.П. Школяренко, В.В. Батальянец, Г.О. Антонов, В.В. Дроздовский**  
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **НЕПРЕРЫВНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НА ВЫПУСКЕ И СЛИВЕ ИЗ ВАГРАНОК И ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ**

Оснащение металлургических и нагревательных печей и агрегатов малой емкости и производительности стационарными системами непрерывного автоматического термоконтроля не всегда технически и экономически оправдано. Наиболее целесообразным здесь является периодический контроль температуры переносными контактными и бесконтактными термометрами. Для реализации такого контроля ФТИМС НАН Украины разработан комплекс переносных термоэлектрических и оптических термометров.

Комплекс построен по модульному принципу на единой элементной базе и предназначен для периодического контроля температуры твердых, жидких и газовых сред, в том числе металлических расплавов и сплавов, в металлургическом и литейном производствах.

Методы термометрии основаны на:

- погружении контактных термопреобразователей в термометрируемую жидкую или газовую среду или механическом их контакте с твердой термометрируемой поверхностью;