

90 лет
БНТУ

The process of modifying of cast iron by diffusing-alloyed steel wire is studied. The peculiarities of structure formation of diffused layer at thermal-cyclic treatment of wire are established.

В. М. КОНСТАНТИНОВ, БНТУ, О. Е. ЛАШКЕВИЧ, Минпром РБ,
М. В. СЕМЕНЧЕНКО, УО «Полоцкий государственный университет»,
Т. В. МИХАЙЛОВСКАЯ, БНТУ

УДК 691.669.14

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА

Введение

Одним из эффективных методов металлургии является модифицирование – глубинный процесс активного воздействия на состояние металлических расплавов путем введения малых добавок веществ, приводящий к изменению размеров и формы структурных составляющих и соответственно к повышению технологических и служебных свойств материалов [1–5].

Наиболее удобным и технически легко осуществимым является модифицирование порошковой проволокой, состоящей из металлической оболочки и шихты. Диаметр проволоки и химический состав шихты зависят от производителя.

При подаче в металл проволоки с необходимой скоростью, обеспечивающей требуемый расход модификатора, процесс модифицирования протекает без дыма и пироэффекта, а степень усвоения легирующего элемента по сравнению с обработкой в ковше увеличивается почти в 1,5–2,0 раза.

Порошковые проволоки, обладая рядом преимуществ, отличаются повышенной стоимостью. Поэтому весьма актуальна задача получения более дешевой экономно-легированной проволоки.

Исследование диффузионного легирования стальной проволоки

Авторами предложена гипотеза о возможности получения проволок для внепечного модифицирования химико-термической обработкой доступной углеродистой проволоки. Возможности ХТО позволяют вводить широкий круг легирующих элементов, а недорогая стальная матрица обеспечивает низкую стоимость и высокую конкурентоспособность проволоки.

Диффузионное насыщение проволоки в традиционных порошковых насыщающих смесях в пе-

чах трудоемко и энергозатратно, требует разработки специальных контейнеров [6], которые к тому же ограничивают длину получаемой проволоки. Формируемый диффузионный слой хрупок, скалывается при незначительном внешнем воздействии. Анализ различных способов интенсификации диффузионного насыщения [7, 8] применительно к проволоке показал, что для проволоки наиболее приемлемой с точки зрения технической реализации является электрохимико-термическая обработка, осуществляемая путем прямого пропускания тока через изделие в режиме термоциклирования. В этом случае обработка может осуществляться непрерывно, оборудование не требует значительных затрат, за небольшой промежуток времени (1–2 с) достигаются значительные температуры (1100–1200 °С и выше) [7]. При этом проволока может быть легирована различными химическими элементами.

Термоциклирование (периодически повторяющиеся нагревы и охлаждения по режимам, учитывающим полиморфные превращения) при совмещении с химико-термической обработкой во многом устраняет основные недостатки традиционной химико-термической обработки, а также способствует интенсификации процесса диффузионного насыщения. Технологические процессы термоциклирования состоят из операций многократных нагревов и охлаждений, режимы которых имеют два характерных отличия от традиционного метода термической обработки: отсутствие выдержки при постоянной температуре нагрева; осуществление многократных нагревов и охлаждений с оптимальными скоростями.

В зависимости от температуры процесса можно выделить низко-, средне- и высокотемпературное термоциклирование; в зависимости от усло-

вий нагрева и охлаждения – маятниковое термоциклирование и термоциклирование с промежуточными охлаждениями до комнатной температуры [9]. Изучение кинетики роста диффузионных слоев свидетельствует о том, что использование маятниковой схемы термоциклирования при борировании приводит не только к сокращению длительности термической обработки, но и к увеличению толщины борированного слоя на 20–25% [8].

На основании сказанного выше предложен способ диффузионного насыщения проволоки [10], основанный на совмещении электроконтактного нагрева и термоциклирования, осуществляемого по маятниковой схеме, который может быть реализован для насыщения проволоки как карбидообразующими, так и некарбидообразующими элементами. Предложенный способ позволяет получить относительно не дорогую проволоку за значительно меньший период времени по сравнению с традиционным насыщением в печи. Время нахождения каждого микрообъема металла проволоки в зоне диффузионного насыщения составляет 2–4 мин.

Для реализации указанного способа разработана, собрана и опробована лабораторная установка для электрохимико-термической обработки проволоки (рис. 1) [11]. Нагрев проволоки осуществляется путем непосредственного пропускания тока через изделие. Формирователь управляющих импульсов (задает амплитуду (силу тока), продолжительность импульса и длительность паузы между импульсами) обеспечивает реализацию термоциклирования. Длина зоны диффузионного насыщения может изменяться в зависимости от требуемого общего времени обработки и количества тепла, необходимого для реализации процесса диффузионного насыщения. Проволока в зону диффузионного насыщения подается непрерывно с постоянной скоростью. Для реализации термоциклирования по маятниковой схеме электрический ток пропускали через проволоку с длительностью импульса 1–10 с и длительностью паузы 1–3 с. Свойства полученной диффузионно-легированной проволоки исследовали по известным методикам. Приготовление шлифов проводили согласно ГОСТ 9.302-88, измерение микротвердости – по ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3. Измерение толщины диффузионного слоя осуществляли с помощью микроскопа прибора ПМТ-3.

Исследовали возможность насыщения проволоки СВ08Г2С (ГОСТ 2246-80) диаметром 1,2 мм бором, титаном и алюминием [12, 13]. Диффузионное насыщение проволоки указанными элементами обусловлено тем, что введение бора и тита-

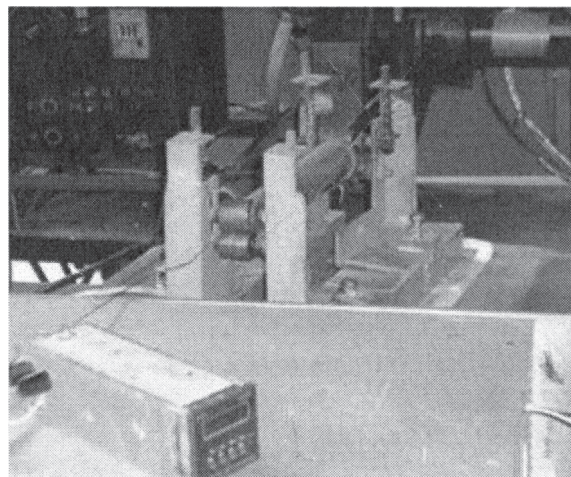


Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки для электрохимико-термической обработки стальной проволоки

на, являющихся карбидо- и нитридообразующими элементами, ведет к снижению в модифицируемом растворе концентрации серы, кислорода, азота, а также к развитию сложных физико-химических процессов образования карбидов, нитридов, карбонитридов и других промежуточных соединений, следствием чего становится измельчение первичного аустенита за счет повышения числа центров кристаллизации и увеличения склонности чугуна к графитизации за счет снижения в растворе карбидостабилизирующих элементов [1]. Образовавшиеся при этом соединения играют роль дополнительных центров кристаллизации графита. Однако, как отмечено в работе [14], применение титана в небольших количествах с целью усиления графитизации и размельчения графита при производстве мелких отливок не может быть использовано при производстве крупных отливок. В крупных отливках из чугуна, содержащего около 3,5% углерода, вследствие замедленного их охлаждения титан в количестве 0,06% вызывает повышенную склонность к интенсивной графитизации и, как следствие, приводит к ухудшению характера морфологии графитной фазы, сопровождающемуся падением прочности.

Введение алюминия в расплав способствует тому, что в период эвтектической кристаллизации уменьшается растворимость углерода в растворе, повышается его активность и снижается относительное переохлаждение при эвтектической кристаллизации. Все это способствует активации образующихся при модифицировании неметаллических включений в качестве центров кристаллизации графита, изменению формы графитовых включений и повышению графитизирующей способности чугуна.

Проведенные металлографические исследования проволоки, подвергнутой диффузионному насыщению бором, показали, что на поверхности

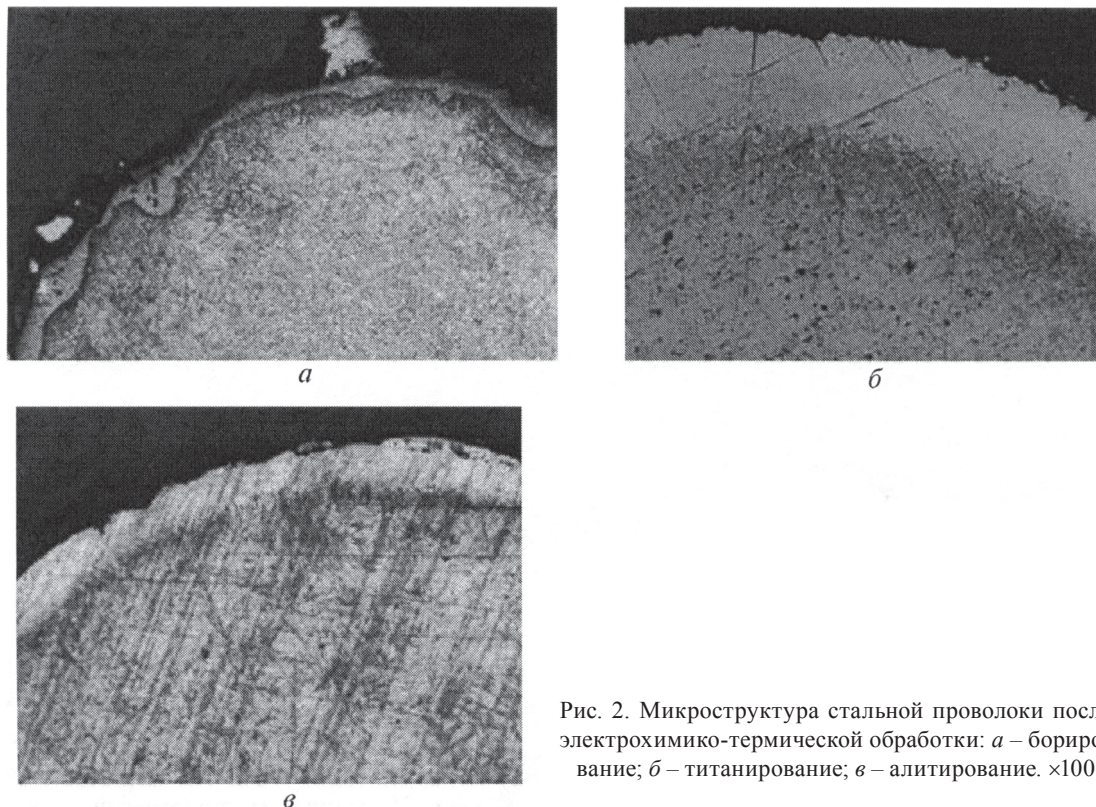


Рис. 2. Микроструктура стальной проволоки после электрохимико-термической обработки: *а* – борирование; *б* – титанирование; *в* – алитирование. $\times 100$

проволоки формирования химического соединения (FeB и FeB_2) не происходит. Микротвердость диффузионного слоя на расстоянии 10 мкм от поверхности достигает 4000 МПа, а в ряде случаев только 3000 МПа. Это соответствует микротвердости твердого раствора бора в α -железе. Микротвердость по сечению проволоки уменьшается постепенно. Микротвердость сердцевины составляет порядка 1150–1300 МПа. Это, вероятно, обусловлено применением внутреннего источника нагрева, при котором температура проволоки выше температуры окружающей среды, а скорость диффузии легирующего элемента в ненасыщенную основу значительно превосходит скорость его осаждения на поверхность проволоки. Это способствует тому, что проволока, полученная предложенным способом, отличается более высоким качеством поверхности по сравнению с традиционным диффузионным насыщением в печи и более низким градиентом концентрации легирующего элемента по поперечному сечению. Следует отметить, что при определенных режимах диффузионного насыщения не наблюдается характерной игольчатости борированного слоя (рис. 2, *а*). Это обусловлено значительным разогревом поверхности (до формирования жидкой фазы), при котором насыщающий порошок, попав на поверхность проволоки, расплавляется в основном металле.

При диффузионном насыщении проволоки титаном происходит формирование сплошного слоя

(рис. 2, *б*). Значение микротвердости диффузионного слоя в продольном направлении проволоки изменяется незначительно, в поперечном направлении плавно снижается от 3500–4200 МПа на поверхности образца до 1200–1500 МПа на видимой границе раздела слой-сердцевина. Проведенные металлографические исследования проволоки, подвергнутой диффузионному насыщению алюминием (рис. 2, *в*), позволили установить, что микротвердость диффузионного слоя составляет 2100–2300 МПа. Толщина диффузионного слоя в зависимости от режима диффузионного насыщения достигала 120–150 мкм.

Исследование модифицирования чугуна диффузионно-легированной проволокой

Было проведено ковшовое модифицирование расплава серого чугуна СЧ20 (ГОСТ 1412) проволокой, подвергнутой диффузионному насыщению алюминием, в условиях РУП «Минский тракторный завод» и ОАО «Технолит-Полоцк». Введение алитированной проволоки в расплав оказало влияние на механические характеристики чугуна. Временное сопротивление при растяжении у чугуна, отлитого в песчано-глинистую форму и модифицированного алюминием, снизилось с 176 до 126 МПа. Также произошло значительное понижение твердости – с 171 до 143 НВ. Твердость чугуна тонкостенной отливки, отлитой в кокиль и модифицированного алюминием, составляет 23–24 HRC в отличие от немодифицированного чугуна, твердость

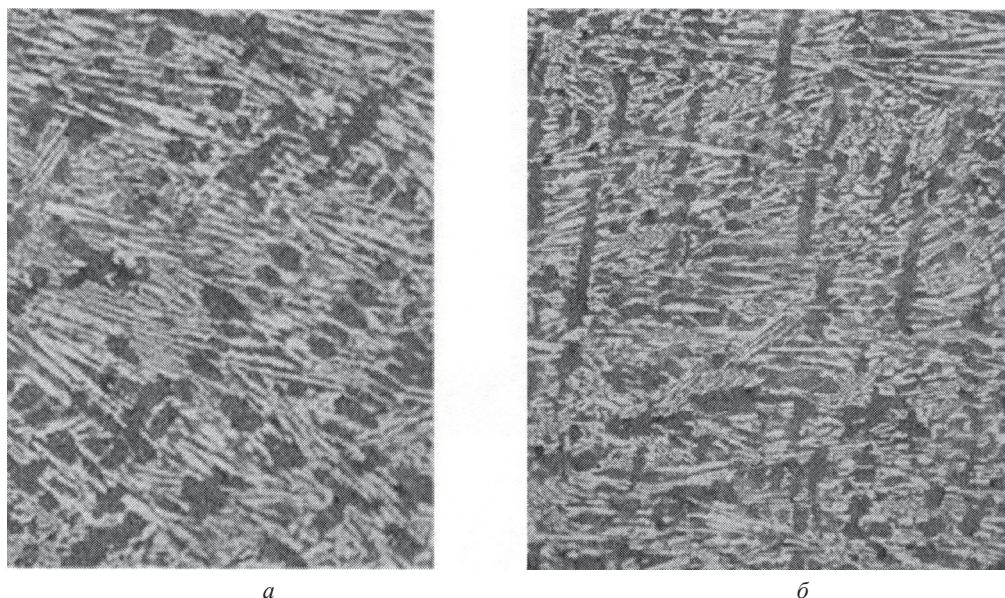


Рис. 3. Микроструктура чугуна ИЧХ16НМФТ: *а* – немодифицированный чугун; *б* – модифицированный бором чугун. $\times 200$

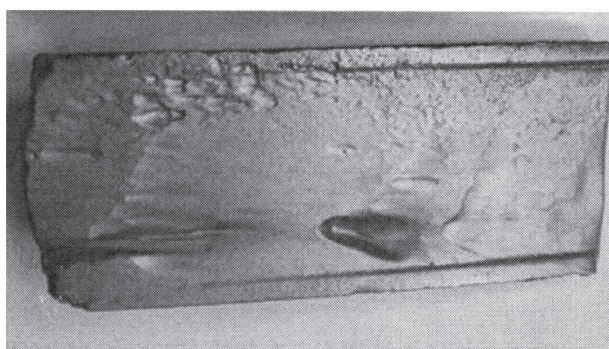


Рис. 4. Дробеметная лопатка из модифицированного чугуна ИЧХ16НМФТ после 3,5 смен непрерывной работы

которого равна 54–55 HRC. Таким образом, удалось устранить отбел тонкостенной отливки за счет модифицирующего действия алюминия по указанным выше причинам.

В условиях РУП «МТЗ» выполнено внепечное модифицирование партии дробеметных лопаток из чугуна ИЧХ16НМФТ борированной проволокой. Расчетное содержание бора в чугуне составляет 0,023%, а экспериментально полученное – 0,02%, следовательно, коэффициент усвоения бора чугуном 0,87. Бор обеспечил некоторое измельчение структурных составляющих и повышение твердости (рис. 3). Производственные испытания, проведенные в литейном цехе № 3, подтвердили

эффективность модифицирования. Износ модифицированных лопаток на 35–40% меньше, чем стандартных (рис. 4). Повышение износостойкости обусловлено тем, что микродобавка бора вызвала уменьшение размера аустенитного зерна, а также увеличила дисперсность вторичных карбидов. Из данных металлографического анализа следует, что бор в основном растворился в карбидной фазе и увеличил ее количество.

Выводы

1. Предложен и апробирован в производстве новый подход к внепечному модифицированию чугуновых отливок, состоящий в получении диффузионно-легированной проволоки с требуемым количеством легирующего элемента и последующим введением проволоки в расплав.

2. Электрохимико-термическая обработка, реализуемая путем совмещения электроконтактного нагрева и термоциклирования, является наиболее эффективным способом получения доступной экономно-легированной проволоки для модифицирования расплава. Особенности структурообразования диффузионного слоя при термоциклировании обеспечивают высокую степень усвоения модифицирующего элемента расплавом.

Литература

1. Тенденции развития составов модификаторов для чугуна и стали: www.ics2.ru/articles.
2. Каргин В. П., Кураков Ю. Г., Чайкин В. А. и др. Улучшение комплекса мехсвойств серых чугунов модифицированием / www.lityo.com.
3. Дынин А. Я., Быцько В. И., Либерг И. Г. Модификаторы для производства чугунного и стального литья / www.lityo.com.
4. Шамов М. Ю. Эффективное модифицирование чугуна в форме: www.lityo.com.
5. Техническая информация. Способы модифицирования чугуна: www.npp.ru.
6. Контейнер для химико-термической обработки проволоки: Пат. РФ № 695В 21F 21/00.

7. Андрюшечкин В. И., Волков В. А., Хомин А. С., Кидин И. Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия. 1978.
8. Федюкин В. К., Смагоринский М. Е. Термоциклическая обработка металла и деталей машин. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989.
9. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов / Под ред. М. Х. Шорошова. М.: Наука, 1984.
10. Способ диффузионного насыщения стальных образцов, преимущественно проволоки: С23С8 00.
11. Установка для электротермической обработки проволоки: Пат. № 696:МПК 7 С21D 1/40.
12. Константинов В. М., Семенченко М. В., Дашкевич В. Г., Губанов А. С. Электрохимико-термическое насыщение стальной проволоки для защитных покрытий // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 75-летию ФТИ. Мн., 2006. С. 428–434.
13. Семенченко М. В. Электрохимико-термическая обработка как перспективный способ получения диффузионно-легированной проволоки для защитных покрытий // Сб. науч. тр. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин». Новополоцк, 2007. Т. 1. С. 132–134.
14. Давыдов С. В., Мельников В. П. Влияние титана на структурообразование в сером чугуна // Литейное производство. 2006. № 3.