

УДК 621.791.92

*А. А. Артемьев, аспирант, Ю. Н. Дубцов, аспирант, Г. Н. Соколов, д-р техн. наук***ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА, УПРОЧНЕННОГО ГРАНУЛАМИ ДИБОРИДА ТИТАНА****Волгоградский государственный технический университет**

(e-mail: weld@vstu.ru)

Исследован характер формирования в процессе электрошлаковой наплавки композиционной структуры износостойкого металла, полученной путем введения в жидкую металлическую ванну тугоплавких гранул диборида титана в составе шихты порошковой проволоки. Определены зависимости твердости и абразивной износостойкости металла от массовой доли порошка диборида титана в шихте порошковой проволоки.

Ключевые слова: композиционная структура, электрошлаковая наплавка, диборид титана, порошковая проволока, абразивная износостойкость.

Character of forming in the process of the electroslag surfacing of composition structure of wear-resistant metal gained by introduction in a welding pool of high-melting granules titanium diboride in a charge makeup of a flux-cored wire is studied. Dependences of hardness and abrasion wear resistance metal from a fraction of total mass titanium diboride in a charge of a flux-cored wire are defined.

Keywords: composition structure, electroslag surfacing, titanium diboride, flux-cored wire, abrasion wear resistance.

Введение

Твердые упрочняющие фазы в наплавленном металле, работающем в условиях абразивного изнашивания, можно получить как путем отдельного легирования карбидо- и боридообразующими элементами, так и применяя комплексный способ легирования путем включения в состав наплавочных материалов порошков тугоплавких соединений [1]. Введение в расплав сварочной ванны макро- и микрогранул боридов, карбидов, нитридов и других тугоплавких соединений, расширяя возможности управления формированием структуры наплавленного металла, способствует получению сплава с максимальной износостойкостью. Перспективным и технологичным наплавочным материалом является порошковая проволока, содержащая в составе шихты порошок диборида титана, сочетающий высокие показатели физико-механических свойств ($T_{пл} = 3193$ °С, $H_v = 34,8$ ГПа) и сравнительно низкую стоимость.

Целью работы является исследование особенностей формирования в процессе электрошлаковой наплавки (ЭШН) композиционной структуры износостойкого сплава, упрочненного гранулами диборида титана, введенными в наплавленный металл в составе шихты порошковой проволоки.

Материалы, оборудование и методы экспериментальных исследований

Экспериментальные порошковые проволоки диаметром 3,8 мм изготавливали из ленты Св-08 кп. Шихту порошковой проволоки состав-

ставляли порошки феррохрома, марганца, никеля, а также порошок диборида титана (TiB_2) с размером гранул 5–30 мкм. Количество TiB_2 в шихте проволоки, исходя из задачи получения качественного износостойкого наплавленного металла, варьировали в диапазоне 8...28 масс. %. Расчетный состав шихты проволоки без порошка TiB_2 обеспечивал при ЭШН матрицу сплава типа 20Х7Г12Н2.

Наплавку экспериментальных образцов производили в токоподводящем кристаллизаторе с использованием двухконтурной схемы электропитания шлаковой ванны постоянным током [4]. Особенностью данного способа является возможность поддержания устойчивого электрошлакового процесса при минимальном тепловыделении в шлаке вблизи электродной проволоки, что способствует снижению растворимости в нем порошка TiB_2 . Также выполняли наплавку с использованием порошковой проволоки, подаваемой в шлак в качестве электротермальной присадки. Старт ЭШН осуществляли заливкой расплавленного флюса АНФ-6 в полость кристаллизатора. Наплавку производили на торцы цилиндров из стали 20 диаметром 30 мм на следующем режиме. Диапазоны токов с токоподводящей секции кристаллизатора и с электродной проволоки 110–130 А и 90–110 А соответственно, значения напряжения на шлаке между секцией кристаллизатора и наплавленным изделием, а также между электродной проволокой и наплавленным изделием 20–25 В и 25–30 В соответственно.

Металлографические исследования наплавленного металла выполняли на оптическом микроскопе Axiovert 40 MAT. ДюрOMETрические исследования проводили на приборах ТП-2 при нагрузке 150 кгс и ПМТ-3 при нагрузках 0,1 и 0,2 кгс. Испытания наплавленного металла на абразивное изнашивание проводили на экспериментальной установке, истирающая поверхность которой представляла собой шлифовальную шкурку зернистостью Р100. Основные параметры испытаний: сечение контактирующей поверхности образцов 3×3 мм, статическая нагрузка 936 МПа, путь трения 30 м. Относительную износостойкость оценивали по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta G_{\text{э}}}{\Delta G_{\text{и}}},$$

где $\Delta G_{\text{э}}$ – потеря массы эталона (сталь 45 в отожженном состоянии), г; $\Delta G_{\text{и}}$ – потеря массы испытуемого образца, г. Потерю массы образцов измеряли с точностью до 0,1 мг на аналитических весах ВСЛ-60/0,1А.

Результаты и их обсуждение

Результаты металлографического анализа нетравленных микрошлифов показали (рис. 1, а), что в структуре наплавленного металла присутствуют равномерно распределенные включения округлой формы с микротвердостью 35 ГПа, что соответствует микротвердости диборида титана. Размер включений варьируется от 2 до 25 мкм, причем с увеличением содержания TiB_2 в шихте порошковой проволоки с 8 до 28 масс. % средний размер включений в наплавленном металле возрастает с 3 до 14 мкм. Эти включения, размер и форма которых коррелируют с параметрами частиц исходного порошка TiB_2 , являются оплавленными гранулами TiB_2 , перешедшими в наплавленный металл из шихты порош-

ковой проволоки. Косвенным подтверждением этого являются результаты ЭШН электро-нейтральной порошковой проволокой, подаваемой в относительно холодную зону шлаковой ванны, что обусловило формирование в наплавленном металле локальных скоплений частиц нерасплавившейся шихты, большая часть которых является тугоплавкими гранулами TiB_2 (рис. 1, б).

Установлено, что объемная доля гранул исходного порошка TiB_2 в наплавленном экспериментальными проволоками металле не превышает 6 %. Значительная часть гранул диссоциирует, и титан с бором переходят в металлический расплав, подвергающийся активной металлургической обработке шлаковым расплавом. Оставшиеся гранулы, частично оплаваясь, переходят в наплавленный металл, армируя его.

При плавлении в шлаке порошковой проволоки расплавленный металл формируется в капли, содержащие тугоплавкие микрочастицы TiB_2 , нагрев которых осуществляется преимущественно за счет конвективного теплообмена с металлом капель. Поскольку температура шлака в области плавления электродной проволоки в ходе эксперимента не превышала 2200 °С, а температура плавления диборида титана составляет 3193 °С, можно предположить, что определяющую роль в процессе диссоциации гранул TiB_2 играет электрохимическое растворение при их межфазном взаимодействии со шлаковым и металлическим расплавами. Наличие в составе шихты хрома, являющегося поверхностно-активным элементом, значительно снижает контактный угол смачивания частиц TiB_2 сталью и активизирует их взаимодействие, которое интенсифицируется с увеличением удель-

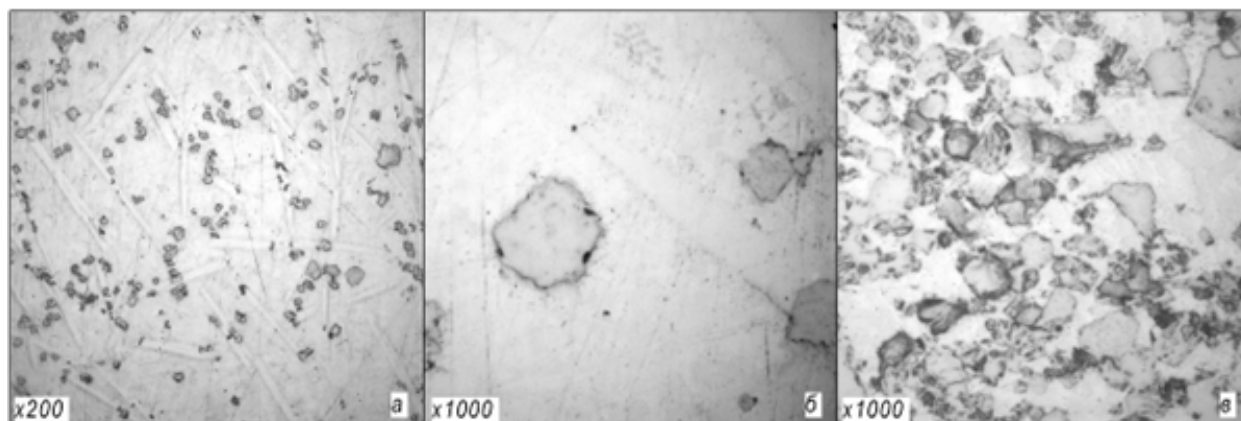


Рис. 1. Микроструктуры металла, наплавленного с использованием порошковой проволоки, содержащей в шихте 28 масс. % TiB_2 , в качестве электрода (а, б) и в качестве электронейтральной присадки (в)

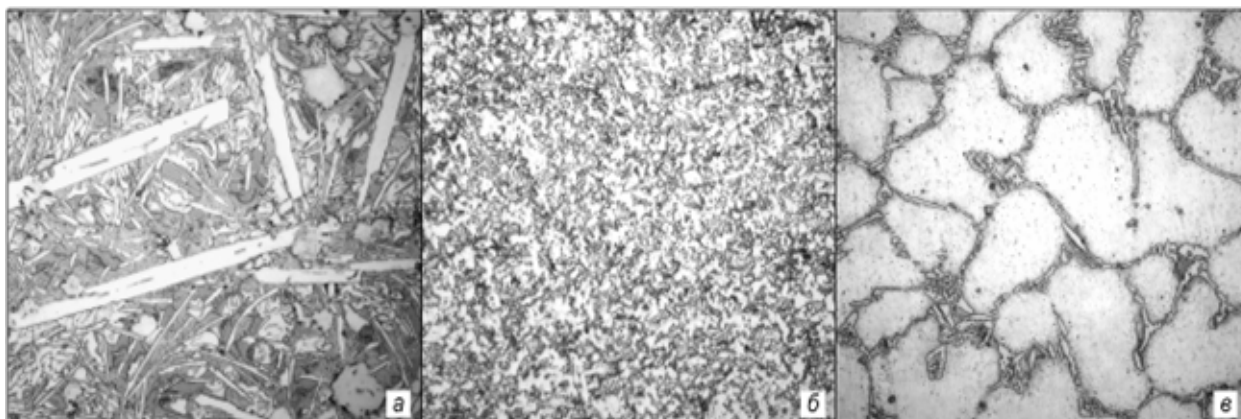


Рис. 2. Микроструктуры металла, наплавленного порошковой проволокой, содержащей в шихте TiB_2 в количестве (масс. %): 28 (а), 18 (б) и 8 (в) (x 500)

ной поверхности порошка борида, пропорциональной его дисперсности. Поэтому с целью снижения степени растворения тугоплавких гранул TiB_2 для производства порошковых проволок можно рекомендовать использовать порошок TiB_2 с дисперсностью 50–100 мкм.

Анализ микроструктуры шлифов, подвергнутых травлению в растворе 30 % HNO_3 + 70 % HCl , показал, что структурный состав наплавленного металла с разным количеством введенного порошка TiB_2 существенно различается. Так, при содержании TiB_2 28 масс. % наблюдается заэвтектическая структура, в которой, наряду с включениями округлой формы, присутствуют избыточные выделения боридов и карбоборидов в виде светлых игл (рис. 2, а). Микротвердость эвтектики варьируется в пределах 12,0–15,5 ГПа. Твердость крупных игл в среднем составляет 14,6 ГПа, более мелких – 19,7 ГПа. Достаточно большая объемная доля упрочняющей твердой фазы (около 24 %) и высокая микротвердость матрицы предопределили повышенную твердость наплавленного металла, которая составила 58–61 HRC (рис. 3).

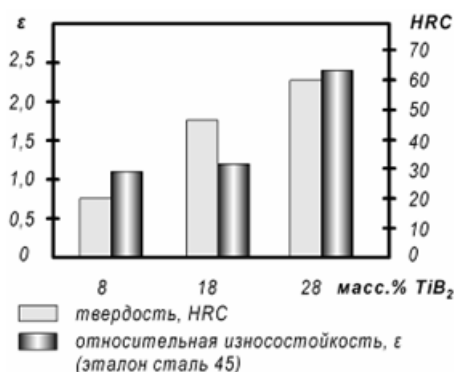


Рис. 3. Твердость HRC и относительная износостойкость ϵ наплавков в зависимости от содержания TiB_2 в шихте экспериментальных проволок

Снижение массовой доли порошка TiB_2 в проволоке до 18 масс. % приводит к значительному изменению микроструктуры (рис. 2, б). При этом эвтектика характеризуется значительной дисперсностью и пониженной микротвердостью (6,4–7,7 ГПа). Крупных избыточных выделений твердой фазы не наблюдается. Твердость наплавленного металла составляет 45–48 HRC.

При уменьшении содержания TiB_2 в шихте порошковой проволоки до 8 масс.% структура наплавленного металла представляет собой зерна аустенита с микротвердостью 4–5 ГПа, окруженные раздробленной карбоборидной эвтектикой. Небольшая объемная доля карбоборидной эвтектики в совокупности с аустенитной матрицей определили невысокую (17–20 HRC) твердость образцов наплавленного металла.

Испытания на абразивное изнашивание показали (рис. 3), что наиболее высокой износостойкостью характеризуется металл, наплавленный проволокой, содержащей в шихте 28 масс. % TiB_2 . Высокая микротвердость и значительное количество упрочняющей твердой фазы, состоящей из гранул диборида титана и первичных выделений боридов и карбоборидов, обуславливают достаточно высокую твердость и износостойкость наплавленного металла. Вместе с тем твердая и хрупкая матрица сплава не обеспечивает надежного закрепления частиц твердой фазы, которые склонны к выкрошиванию под действием абразива, что понижает износостойкость материала.

Выводы

Формирование в процессе ЭШН порошковой проволокой, содержащей в составе шихты порошок диборида титана, композиционной структуры наплавленного металла повышает

износостойкость наплавленного металла. Улучшить его износостойкость можно как за счет снижения содержания в металлическом расплаве бора, применяя порошок диборида титана дисперсностью 50...100 мкм, что уменьшит степень его растворения, так и за счет повышения пластичности матрицы сплава, увеличивая количество углерода и никеля, расширяющих область существования γ -фазы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каковкин, О. С.* Особенности легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке / О. С. Каковкин, Ю. Д. Дарахвелидзе,

Г. Г. Старченко // *Технология металлов.* – 2009. – № 1. – С. 33–34.

2. Исследование структуры покрытий на железоуглеродистых сплавах, полученных по усовершенствованной технологии электрошлаковой наплавки / В. Д. Орешкин [и др.] // *Металловедение и прочность материалов: межвуз. сб. науч. тр.;* ВолгГТУ. – Волгоград, 2001. – С. 47-53.

3. *Гринберг, А. Н.* Износостойкие наплавочные и композиционные материалы для упрочнения трущихся поверхностей в условиях абразивного и гидроабразивного изнашивания / А. Н. Гринберг, А. Б. Арабей // *Сварочное производство.* – 1992. – № 5. – С. 7–9.

4. *Соколов, Г. Н.* Электрошлаковая наплавка в секционном кристаллизаторе торцов оправок трубопрошивного стана / Г. Н. Соколов, А. Н. Михеев, А. А. Павлов // *Сварочное производство.* – 2002. – № 6. – С. 31–34.