

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БОРСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ, НАПЛАВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ, ВЫВЕДЕННЫМ В ВОЗДУШНУЮ АТМОСФЕРУ*

Е.А. ДРОБЯЗ, канд. техн. наук, доцент

Д.С. КРИВЕЖЕНКО, аспирант

И.А. ПОЛЯКОВ, аспирант

С.Ю. НАГАВКИН, студент

*В.В. ИВАНЦОВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 12 ноября 2012 года

Дробяз Е.А. – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет, e-mail: ekaterina.drobjaz@ya.ru

С использованием методов структурного анализа изучено строение покрытий, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки борсодержащих порошковых смесей. Показано, что в процессе наплавки формируется сложная структура, содержащая бориды и эвтектику. Высокая концентрация боридов в поверхностных слоях способствовала двукратному повышению износостойкости наплавленных покрытий.

Ключевые слова: высокоскоростной нагрев, бор, покрытие, износостойкость.

Введение

Особое место среди методов поверхностного упрочнения конструкционных сталей занимает борирование. Эта технология обеспечивает формирование покрытия, отличающегося высокой твердостью, прочностью, коррозионной стойкостью, а также высоким сопротивлением к изнашиванию [1]. В настоящее время существуют десятки разновидностей борирования, характеризующиеся различными режимами реализации и структурой формируемых слоев. Для наиболее распространенных методов борирования характерны недостатки, ограничивающие их применение при поверхностном упрочнении быстроизнашиваемых изделий. К ним относятся: достаточно низкая производительность процессов борирования, малая толщина упрочненных слоев и сложность обработки крупногабаритных изделий.

Избегать отмеченных недостатков позволяют различные методы наплавки, основанные

на применении высококонцентрированных потоков энергии. Среди них следует выделить технологию вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Достоинствами данного метода являются: высокая мощность оборудования (100 кВт), вывод электронного пучка в воздушную атмосферу, возможность обработки крупногабаритных изделий с высокой производительностью [2–4].

Процесс формирования боридного покрытия при вневакуумной электронно-лучевой обработке определяется скоростью нагрева и плавления основного металла и порошковой смеси, скоростью их перемешивания в жидком состоянии и условиями кристаллизации расплава. Целью данной работы является изучение структуры и свойств боридных покрытий, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки борсодержащих порошковых смесей на низкоуглеродистую сталь.

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Методика проведения исследований

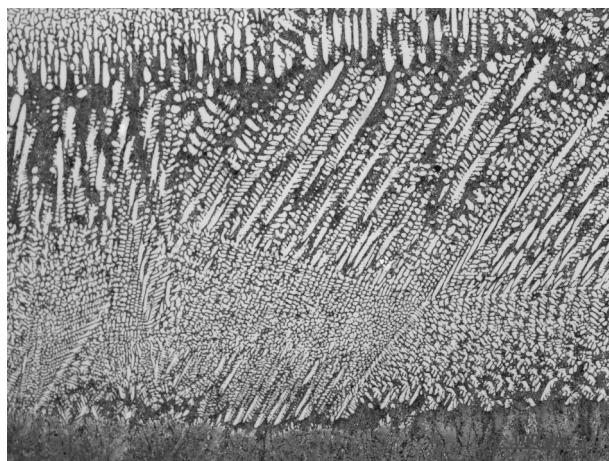
В качестве объекта исследования нами были рассмотрены покрытия, полученные методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей на подложку из низкоуглеродистой стали 20. Для наплавки использовали порошковую смесь, состоящую из аморфного бора и флюса MgF_2 с плотностью насыпки $0,2 \text{ г/см}^2$. Вневакуумную электронно-лучевую обработку проводили на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 в Институте ядерной физики СО РАН по следующим режимам: ток пучка $I - 3 \dots 6 \text{ мА}$, диаметр пучка $d - 10 \text{ мм}$, скорость перемещения электронного пучка $v - 10 \text{ мм/с}$, расстояние от выпускного окна до обрабатываемой поверхности $h - 90 \text{ мм}$. Структуру наплавленного покрытия оценивали с помощью оптического микроскопа Carl Zeiss AxioObserver Z1m; твердость покрытий – при помощи микротвердомера WolpertGroup 402MVD. Износостойкость покрытия оценивали в условиях трения о закрепленные частицы абразива в соответствии с ГОСТ 17367. В качестве эталонов при проведении всех испытаний на износостойкость использовались образцы с покрытием, полученным методом традиционного печного борирования.

Результаты исследований

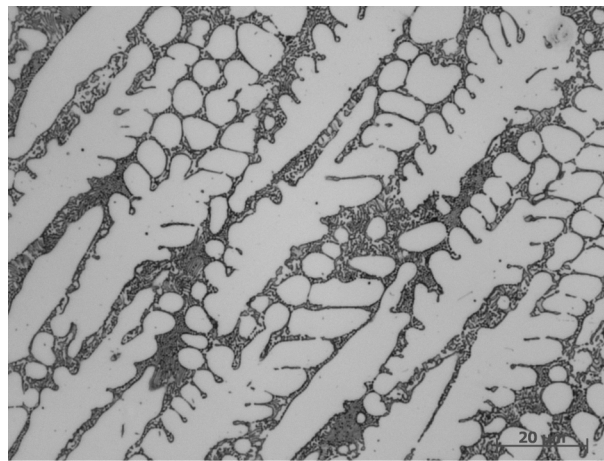
Формирование покрытий при воздействии электронного пучка, выведенного в воздушную атмосферу, происходит в условиях непрерывно повышающейся температуры с последующим

ускоренным охлаждением. Результаты структурных исследований показали, что в процессе наплавки формируются покрытия, толщина которых составляет $\sim 1000 \text{ мкм}$. Наплавленные слои, сформированные при наплавке борсодержащих порошковых смесей, отличаются явно выраженной градиентной структурой (см. рисунок). В покрытии наблюдаются крупные кристаллы первичных боридов и эвтектика $Fe_2B + Fe$, что соответствует структуре заэвтектического типа. Бориды располагаются разрозненно и достаточно равномерно по всему объему наплавки. Однако на некоторых участках, расположенных непосредственно вблизи поверхности образца, зафиксирована высокая плотность кристаллов боридов железа, что свидетельствует о повышенном содержании бора в материале. В переходной зоне между наплавкой и основным металлом наблюдается эвтектическая структура.

Испытания боридных покрытий при трении о закрепленные абразивные частицы в определенной степени моделируют условия, возникающие при контакте деталей машин и элементов конструкций с монолитной породой. Интенсивное воздействие закрепленного абразива на материал обусловлено тем, что твердые зерна выполняют функцию своеобразных режущих микроэлементов. Полученные результаты хорошо соотносятся с твердостью и толщиной покрытия. Микротвердость наплавки находится на уровне $\sim 1,3 \text{ ГПа}$. При этом средняя микротвердость крупных боридных кристаллов составила $\sim 1,6 \text{ ГПа}$, а средняя микротвердость эвтектической составляющей $\sim 0,7 \text{ ГПа}$. Повы-



а



б

Строение поверхностных слоев, полученных по технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси “B-MgF₂”

шение концентрации боридов в поверхностных слоях в значительной степени способствует повышению износостойкости покрытия. Результаты проведенных триботехнических испытаний показали, что относительная износостойкость стали 20, борированной с использованием технологии печного нагрева, составляет 3,1. Наибольший уровень относительной износостойкости ($\sim 4,2 \dots 4,6$) имеют стали с покрытиями, полученными по технологии вневакуумной электронно-лучевой обработки. Эти данные свидетельствуют об эффективности использования высокопрочных наплавленных покрытий для повышения стойкости поверхностных слоев сталей в условиях абразивного изнашивания.

Заключение

На основании проведенных экспериментов было показано, что вневакуумная электронно-лучевая наплавка является эффективным и высокопроизводительным методом борирования. Боридные слои, формируемые по данной технологии, имеют значительно большую толщину по сравнению с технологией печного борирования.

Испытания на износостойкость при воздействии закрепленных частиц абразива показали, что покрытия, полученные по технологии электронно-лучевой наплавки, обладают более высоким комплексом механических свойств по сравнению с покрытиями, формируемыми в результате печного борирования. Преимущества наплавленных покрытий обусловлены также большой толщиной сформированных покрытий.

Список литературы

1. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. – М.: Физматлит, 2010. – 384 с.
2. Полетика И.М., Крылова Т.А., Макаров С.А. Использование электронно-лучевой обработки для создания упрочняющих покрытий // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 2. – С. 94–98.
3. Teplykh A.M., Golkovskiy M.G., Bataev A.A. Boride Coatings Structure and Properties, Produced by Atmospheric Electron-Beam Cladding // Advanced Materials Research Vols. 287-290 (2011), pp 26–31.
4. Теплых А.М. Использование электронно-лучевого нагрева для формирования на сталях износостойких поверхностных слоев // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. – 2011. – № 3(52). – С. 91–94.

Structure and properties of boron-containing coatings, deposited by non-vacuum electron beam

E.A. Drobyaz, D.S. Krivezhenko, I.A. Polyakov,
S.Yu. Nagavkin, V.V. Ivantsivskiy

The method of structural analysis was used to study the structure of coatings obtained by non-vacuum electron beam deposition of boron-containing powder mixture. It is shown that a complicated structure containing borides and eutectic formed during the process of surfacing. The high concentration of borides in the surface layers promoted twofold increase in wear resistance of deposited coatings.

Key words: high-speed heating, boron, coating, wear resistance.