

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРИ ПОМОЩИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Пантелеенко Ф.И.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Одно из важнейших требований к современным деталям машин, инструменту и оборудованию – способность работать в сложных условиях одновременного воздействия механических нагрузок, изнашивания, высоких температур, агрессивных сред.

Задача высокой надежности и работоспособности названных изделий решается при этом комплексно: наряду с выбором необходимого оптимального материала основы изделия повышенный срок службы обеспечивается выбором оптимальных защитного покрытия, технологии и оборудования для нанесения на рабочую поверхность.

Ведь, как известно, наибольшему воздействию внешних факторов подвергается рабочая поверхность.

Существует целый ряд эффективных способов нанесения защитных покрытий, в том числе химическое или электрохимическое осаждение, наплавка, напыление, химико-термическая обработка, ионно-вакуумные, магнитно-электрические способы и другие.

В практике нанесения различных защитных покрытий все большее применение находят высокоэнергетические концентрированные источники энергии: плазменные, лазерные, электронно-лучевые, магнитно-электрические, электроконтактные, электрохимические и другие.

Анализ нагрева различными высокоэнергетическими технологическими источниками по возрастанию уровня концентрации энергии q ($\text{Вт}/\text{см}^2$) позволяет расположить их в следующий ряд: индукционный → плазменный → электроконтактный → электродуговой → искровой → электронно-лучевой → лазерный непрерывный → лазерный импульсный. В этом ряду наблюдается рост концентрации энергии от 10 до $10^8 \text{ Вт}/\text{см}^2$.

Собственный опыт проведения исследований в области материаловедения защитных покрытий различных систем, а также данные других исследователей позволяют сделать следующие выводы:

- Собственные высокие качества, определяемые химической природой материала покрытия, могут быть значительно повышены структурными: по мере роста концентрации энергии и интенсивности теплового воздействия на материал наблюдается возрастание неравновесности структуры, степени пресыщенности твердорастворных фаз, измельчение зерен и субзерен фазовых составляющих от микро- к ультрадисперсным и наноразмерным. Наконец, максимально высокоэнергетическое воздействие с образованием жидкометаллической фазы и последующими сверхкритическими скоростями охлаждения 10^5 и более $^\circ\text{C}/\text{с}$ в зависимости от природы сплава может вызвать аморфизацию материалов.

- Названные структурные изменения по мере их усиления ведут к желаемому изменению свойств, в том числе к повышению износостойкости и некоторых других эксплуатационных свойств, что имеет важное прикладное значение.

Рассмотрим особенности получения защитных покрытий с помощью высококонцентрированных источников энергии на примере наплавки специальных порошков, которая обеспечивает наилучшее сцепление покрытия с основой. К тому же анализ вопроса свидетельствует о том, что наплавка наиболее распространена в объеме восстановительных технологий в ремонтном производстве. Она занимает около 77%.

Поскольку определяющую роль в восстановительно-упрочнительных технологиях играет наряду с выбором оборудования и выбор эффективных материалов, нами на протяжении

ряда последних лет разработан новый класс специальных наплавочных самофлюсующихся порошков на основе железа (борированные ПР-СЗ и ПЖР-С1 по ТУ 230-130-009-91, ПР-Сталь45Р4, ПР-10Р6М5 борированный, ПР-Х18Н9Р4 по ТУ 230-130-012-91, ПР-Х28Н2РЗ и другие), защищенный более чем 20 патентами и авторскими свидетельствами на изобретения. Разработке тех или иных порошков этого класса, различных технологий получения защитных покрытий из них (плазменных, лазерных, электроконтактных, индукционных, магнитно-электрических и других) посвящены около 20 диссертационных работ. Особенностью этих получаемых из полуфабрикатов или из отходов машиностроительного производства порошков является в отличие от общеизвестных самофлюсующихся объемно-легированных порошков системы Ni-Cr-B-Si-C специфика строения.

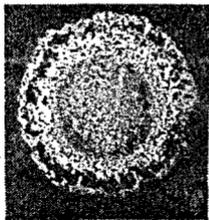


Рисунок 1. Микроструктура диффузионно-легированного порошка стали ПР-Х18Н9Р4. х 500

На рисунке 1 приведен в качестве примера диффузионно-легированный самофлюсующийся порошок нержавеющей стали. Он состоит из ядра и диффузионной оболочки. Последняя,

в свою очередь, может быть двухфазной (FeB, Fe₂B) или однофазной (Fe₂B). Микро-твердость высшего борида составляет 18,3... 22,0 ГПа, низшего 13,6 ... 17,1 ГПа.

Фазовый состав оболочки на частицах зависит от ряда факторов, в том числе, в значительной степени от природы материала и температурно-временных параметров диффузионного легирования.

Диффузионные процессы, протекающие в микрообъектах (частицах диаметром 50... 500 мкм), имеют существенные отличия от процессов, протекающих при химико-термической обработке макрообъектов. Причем по мере увеличения степени легированности порошка эта специфика усиливается.

Фронтом диффундирующих с поверхности частицы элементов, бора в частности, углерод оттесняется внутрь частицы, что способствует образованию микро- и наноразмерных включений карбидов, σ -фазы, ферритизации в случае порошка ПР-Х18Н9Р4, графитизации в случае белого чугуна.

После диффузионного легирования, благодаря введению в оболочку частицы бора и кремния, частицы приобретают свойства самофлюсуемости. Преимущественная доля бора, однако, сохраняется в виде боридов после наплавки с помощью высококонцентрированного источника энергии.

Анализ состояния высококонцентрированных источников применяемых в Республике Беларусь для восстановительно-упрочнительных технологий показывает, что такое оборудование имеется в академических институтах НАН Б, в том числе ФТИ, ИПМ, ИТА, ИММС, университетах БГУ, БНТУ, ГГУ, БрГТУ, ГГТУ, ПГУ, промышленных предприятиях МТЗ, МАЗ, ряде ремонтных предприятий.

Так, для плазменной наплавки широко применяются установки УПНС-304 [1], для лазерной наплавки – импульсные и непрерывные лазеры мощностью 0,8 ... 1,2 кВт [2], для газотермических методов наплавки и напыления – широкая гамма оборудования [3], для электронно-лучевой наплавки – установки типа ЛА-15 и электронно-лучевые энергокомплексы на базе пушки с плазменным эмиттером [4], для магнитно-электрического нанесения покрытий – специальные установки [5].

После плазменной и лазерной наплавки покрытия могут быть как дозвтектическими, так и заэвтектическими (с белыми включениями избыточных боридов) – рисунок 2.



Рисунок 2. Микроструктура заэвтектических наплавленных покрытий: плазменного а), лазерного б) Сталь ПР-Х18Н9Р4 x 500

Следует отметить, что с увеличением мощности источника растет дисперсность вторичных фаз и эвтектики. Это наглядно подтверждают в сравнении структуры покрытий, наплавленных с помощью плазменного и лазерного концентрированных источников (см. рисунок 2).

Установлено, что с увеличением дисперсности фаз, вызванной ростом мощности высококонцентрированного источника энергии, а также с увеличением содержания бора и избыточных боридных фаз в диффузионнолегированном порошке растет износостойкость наплавленных покрытий (рисунок 3).

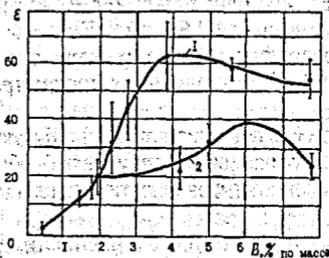


Рисунок 3. Влияние содержания бора в ДЛП ПР – Х18Н9Р4 при различных способах наплавки на износостойкость при трении скольжения: 1 – лазерный, 2 – газопламенный

Практика применения наплавленных газопламенных, плазменных, лазерных и магнитно-электрических покрытий при восстановлении и упрочнении широкой номенклатуры различных деталей машин (штоков, валов, шпинделей, пальцев, режущих элементов сельскохозяйственной техники и др.) в нефтехимии, теплотехнике, машиностроении, ремонте, целлюлозно-бумажном производстве, агропромышленном комплексе, показала высокую эффективность и перспективность использования высококонцентрированных источников энергии и диффузионно-легированных порошков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них - Мн.: Технопринт, 2001.-300с.
2. Девойно О.Г. Технология формирования износостойких поверхностей лазерным легированием. – Мн.: Технопринт, 2001.-180с.
3. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.Н. Восстановление деталей машин. Справочник. / Под ред. В.П. Иванова- М.: Машиностроение. 2003. – 672с.
4. Пантелеенко Ф.И., Груздев В.А., Снарский А.С., Залесский В.Г., Сороговец В.И. Закономерности электронно-лучевого воздействия на борсодержащие материалы и принципы оптимизации электронно-лучевого оборудования и технологий упрочнения и восстановления.-Мн.: Технопринт; Полоцк ПГУ, 2005.-120с.
5. Пантелеенко Ф.И., Петришин Г.В., Пантелеенко Е.Ф. Технологические режимы МЭУ с использованием диффузионно-легированного стального порошка./ /Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение.-2006.№4.с.69-75