
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ

УДК 620.179.1

АДАПТАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ К КОНТРОЛЮ ИЗДЕЛИЙ С НАПЛАВЛЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Пантелеенко Ф.И., Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены вопросы адаптации разработанной авторами методики оценки состояния металлоконструкций к контролю качества восстановленных и упрочненных деталей и инструментов с нанесенными на них износостойкими покрытиями. Подтверждена эффективность применения магнитного (по коэрцитивной силе) и дюрометрического методов неразрушающего контроля для оценки надежности эксплуатации изделий с наплавленными покрытиями. (E-mail: 51_zona@mail.ru)

Ключевые слова: неразрушающий контроль, магнитный метод, дюрометрический метод, износостойкое покрытие.

Введение

Проведенными ранее исследованиями, а также практической апробацией на целом ряде ответственных металлоконструкций (сосудах, работающих под давлением; технологических и магистральных трубопроводах; башенных кранах и др.) установлена эффективность применения разработанной комплексной методики оценки их состояния [1]. Предлагаемая методика позволяет только за счет применения неразрушающих методов контроля эффективно оценить состояние металла практически в любой доступной точке диагностируемой конструкции, а следовательно, и надежность эксплуатации данного объекта. В основе указанной методики лежит обязательность использования двух основных методов неразрушающего контроля:

– магнитного (по коэрцитивной силе), который позволяет оценивать напряженно-деформированное состояние металла за счет определения фактических внутренних напря-

жений в конструкции по значениям замеренной коэрцитивной силы;

– дюрометрического метода, который позволяет определять механические характеристики металла в любой доступной точке диагностируемой конструкции за счет математической обработки геометрических характеристик параметров отпечатка на материале после определения твердости по Виккерсу, в том числе и переносным твердомером.

Результаты исследований

Рассмотрим возможность и эффективность адаптации разработанной методики к контролю деталей и инструментов с наплавленными покрытиями, так как вопросы надежной и безопасной эксплуатации различных дорогостоящих ответственных деталей, формообразующих и металлорежущих инструментов после восстановления с использованием износостойких наплавленных покрытий были и остаются весьма актуальными.

Установлено, что лимитирующими факторами использования большинства наплавленных износостойких покрытий (в первую очередь, борсодержащих на железной основе) являются их трещиностойкость и сопротивление хрупкому разрушению [2]. Поэтому разрабатываемая методика контроля данных покрытий должна эффективно оценивать данные показатели.

Экспериментальная часть работ проводилась на образцах, полученных ручной электродуговой наплавкой покрытыми электродами. Использовали 2 марки электродов: ОЗН-6 (ТУ 14-168-68-88) и Т-590 (ГОСТ 10051-75), широко применяемых в качестве наплавочных для различных деталей и узлов (таблица 1). Электроды ОЗН-6 предусмотрены для наплавки быстроизнашивающихся деталей горнодобывающих, строительных машин и другого оборудования, работающего в условиях интенсивного абразивного изнашивания и значительных ударных нагрузок. Декларируемая изготовителем твердость получаемых покрытий – 62 HRC₃ (840HV). Указанные электроды обеспечивают получение наплавленного металла с повышенной стойкостью к образованию трещин при многослойной наплавке и в условиях эксплуатации [3].

Таблица 1

Типичный химический состав наплавленного металла (% масс)

Марка электрода	Fe	C	Mn	Si	Cr	B
ОЗН-6	Основа	1,0	2,6	3,7	4,4	0,9
Т-590	Основа	3,2	1,2	2,2	25,0	1,0

Электроды Т-590 предусмотрены для наплавки деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками. Твердость получаемых покрытий – 61 HRC₃ (800HV) [3]. При этом указанные электроды обеспечивают получение наплавленного металла с высокой износостойкостью в условиях истирания абразивными материалами.

Как видно из таблицы 1, получаемые покрытия являются борсодержащими, что также определило выбор именно этих электродов с учетом получения устойчивых данных по трещиностойкости, как основному фактору, обуславливающему надежность изделий с этим видом покрытий.

Наплавку проводили на режимах, рекомендуемых изготовителем (электроды диаметром 4 мм; для Т-590: сила сварочного тока 220 А, с обязательной прокалкой перед наплавкой 180–200 °С 2 ч; для ОЗН-6: сила сварочного тока 140 А, с обязательной прокалкой перед наплавкой 340 °С в течение 1 ч).

В качестве подложек под наплавку использовали пластины из 3 марок сталей: сталь Ст3 (0,18–0,22 % углерода), сталь 45 (0,42–0,55 % углерода) и сталь У10 (0,95–1,04% углерода). Выбор указанных сталей обусловлен различным содержанием углерода, разницей в физических и механических свойствах, а также различным поведением указанных сталей при термической обработке (в частности, при закалке). Указанные особенности выбранных сталей позволяют оценить эффективность применения адаптированной методики для изделий с наплавленными покрытиями. Наплавку проводили с формированием наплавленного слоя за 1 проход без предварительного подогрева подложек. После наплавки выполняли плоское шлифование и полирование поверхности наплавленного металла параллельно подложке для последующего изучения.

ДюрOMETрический контроль покрытий проводили определением твердости по Виккерсу на твердомере Metcon (производство Германия) при нагрузке 10 Н, а также последующим анализом особенностей пирамидального отпечатка на покрытии (наличие/отсутствие трещин, их длина и др.).

Анализ отпечатков на наплавленном слое, полученном указанными выше наплавочными электродами, показал, что целесообразно оценивать трещиностойкость не количественно, а качественно – путем констатации наличия или отсутствия трещин. Такой вывод обусловлен характером взаимодействия материала покрытия с индентором: на большинстве отпечатков трещины отсутствуют вовсе, что говорит о высокой трещиностойкости покрытий (рисунок 1). Вместе с тем установлено наличие развитых трещин, спровоцированных воздействием пирамидального индентора на материал (характерно для покрытий, полученных наплавкой электродом Т-590 на подложку из стали 45) (рисунок 2). Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Анализ полученных результатов, сведенных в таблицу 2, показывает возможность адаптации дюрOMETрического метода (заключаю-

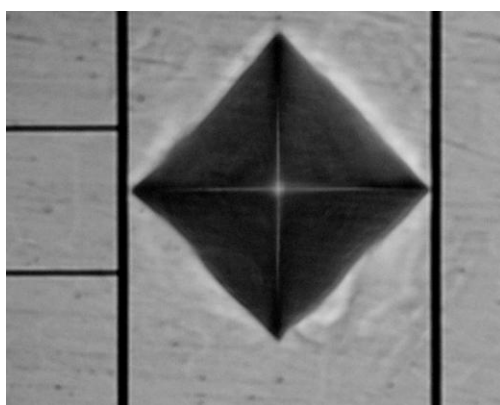
щегося в анализе особенностей пирамидального отпечатка на материале после определения твердости по Виккерсу) к оценке трещиностойкости наплавленных покрытий, полученных электродуговой наплавкой. Так, например, согласно № 1.2 таблицы 2 покрытие, наплавленное на подложку из стали 45, имеет весьма низкую трещиностойкость. О наличии значительных напряжений в покрытии, полученном наплавкой электродом Т-590 на подложку из стали 45,

свидетельствует также его повышенная твердость (см. № 1.2 таблицы 2), которая в среднем в 1,2 раза выше, чем при наплавке на два других вида подложки. Таким образом, анализ № 1.2 таблицы 2 показывает невозможность применения наплавки электродом Т-590 деталей из стали 45 без дополнительных мероприятий (вероятнее всего предварительного и сопутствующего подогрева) по причине весьма низкой его трещиностойкости.

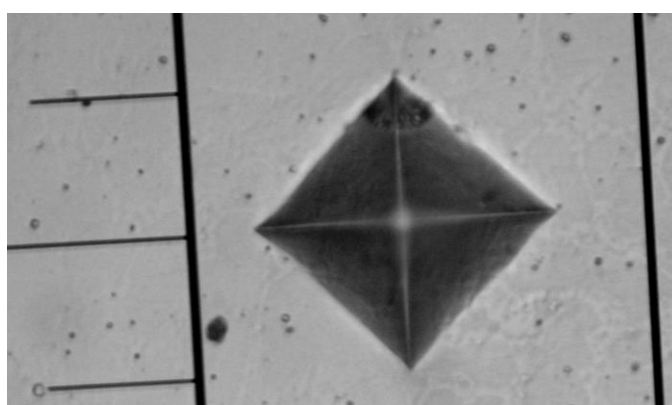
Таблица 2

Твердость и трещиностойкость наплавленных покрытий

№ п/п	Наплавляемый материал	Материал подложки	Твердость HV _{ср}	Наличие трещин	Длина трещин, мкм	Трещиностойкость	Примечание
1.1	Электрод Т-590	Сталь Ст3	531	Нет	0	Высокая	Рисунок 1б
1.2	То же	Сталь 45	639	Присутствуют	55–320	Низкая	Рисунок 2
1.3	То же	Сталь У10	534	Нет	0	Высокая	Рисунок 1б
2.1	Электрод ОЗН-6	Сталь Ст3	665	Нет	0	Высокая	Рисунок 1а
2.2	То же	Сталь 45	803	Нет	0	Высокая	Рисунок 1а
2.3	То же	Сталь У10	704	Нет	0	Высокая	Рисунок 1а



а



б

Рисунок 1 – Типичные отпечатки на наплавленных покрытиях (x400): а – наплавка электродами ОЗН-6 (на все виды подложек); б – наплавка электродами Т-590 (на все виды подложек кроме стали 45)

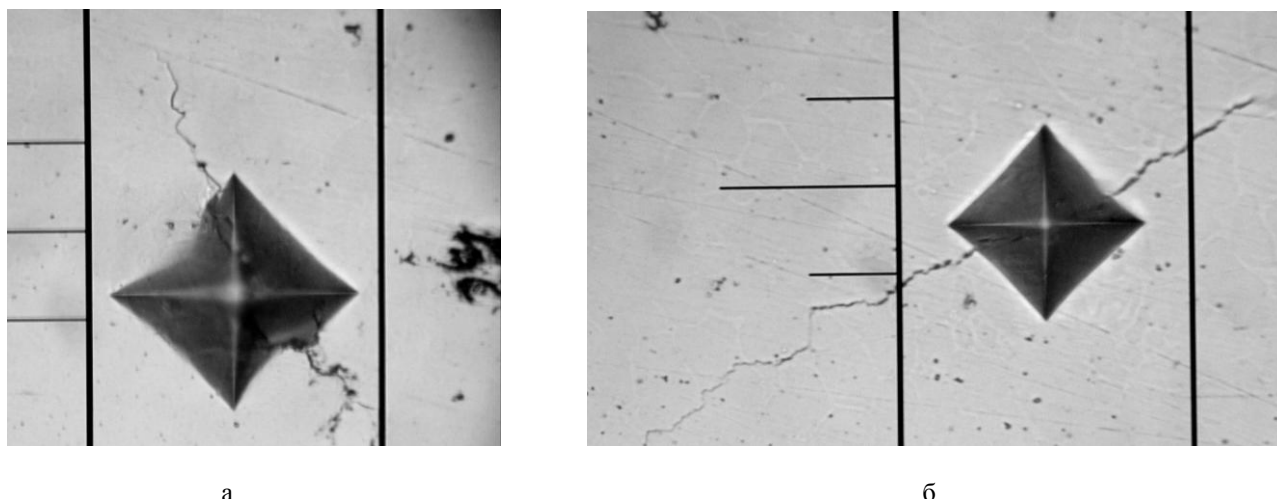


Рисунок 2 – Типичные отпечатки на наплавленных покрытиях при наплавке электродами Т-590 на подложку из стали 45(х400): а, б – возможные виды трещинообразования, выявленные при воздействии пирамидального индектора на указанные наплавленные покрытия

Рассмотрим возможность применения магнитного (коэрцитиметрического) метода к анализу качества наплавленных покрытий. В работе был использован магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М (производство НПФ «Специальные научные разработки», г. Харьков, Украина).

В основе метода лежит устойчивая взаимосвязь между значением коэрцитивной силы и уровнем деформаций и напряжений в анализируемом ферромагнитном материале [4]. Указанный способ и прибор с успехом применяется в России, Украине и начал использоваться в Беларуси для оценки фактического напряженно-деформированного состояния металла различных металлоконструкций: крановых конструкций; трубопроводов; сосудов, работа-

ющих под давлением, и др.; для поиска слабых критических мест конструкции с максимальным уровнем напряжений (по максимальному значению коэрцитивной силы).

Указанный метод и прибор хорошо зарекомендовал себя и в рамках собственных исследований по оценке состояния различных металлоконструкций [1]. Сведений об использовании указанного метода для оценки уровня напряжений в покрытиях, а также в восстановленных изделиях, после проведения поиска по литературным источникам не найдено.

Значения коэрцитивной силы оценивали как по наплавленному слою, так и по противоположной поверхности образцов без указанного слоя (по подложке после нанесения на нее покрытия). Данные сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты определения коэрцитивной силы и уровня напряжений в наплавленных образцах

№ п/п	Наплавляемый материал	Материал подложки	Коэрц. сила (средняя) по наплавленному слою, А/см	Коэрц. сила (средняя) по подложке, А/см	Разница в коэрцитивной силе между слоем и подложкой (разница в уровне напряжений)*
1.1	Электрод Т-590	Сталь Ст3	6,4	4,9	1,31
1.2	То же	Сталь 45	9,9	6,5	1,52
1.3	То же	Сталь У10	14,2	13,5	1,05
2.1	Электрод ОЗН-6	Сталь Ст3	6,5	5,0	1,30
2.2	То же	Сталь 45	11,9	5,8	2,05
2.3	То же	Сталь У10	16,3	13,7	1,19

* – Показывает, насколько значения коэрцитивной силы, а следовательно, и значения напряжений выше в наплавленном покрытии, чем в подложке.

Как видно из таблицы 3 значения коэрцитивной силы в наплавленном покрытии, а следовательно, и уровень напряжений в нем однозначно зависят от материала подложки (чем больше углерода в подложке и выше ее прочность, тем выше и полученные значения). Особенно следует отметить результаты анализа разницы в коэрцитивной силе между слоем и подложкой (разницы в уровне напряжений). Для всех видов подложки и двух видов полученных покрытий уровень напряжений в покрытии всегда выше, чем в подложке. Наибольший градиент между напряжениями в покрытии и подложке (превышение в 1,52–2,05 раза) наблюдается при использовании подложки из стали 45. Анализ трещиностойкости покрытий, нанесенных именно на подложку из стали 45 (рисунок 2 и таблица 2) показывает также минимальный уровень трещиностойкости анализируемых покрытий, нанесенных на сталь 45. Полученные данные по трещиностойкости и коэрцитивной силе полностью согласуются между собой, что говорит об однотипности оценки качества указанными двумя методами.

Заключение

1. Анализ представленных экспериментальных данных показывает возможность и эффективность адаптации разработанной методики оценки состояния металлоконструкций к контролю качества и надежности эксплуатации восстановленных и упрочненных деталей и инструментов различного материального и конструктивного исполнения с нанесенными на них износостойкими покрытиями.

2. ДюрOMETрический метод для изделий с наплавленными покрытиями можно эффективно адаптировать для оценки трещиностойкости покрытий, а следовательно, работоспособности и надежности изделия в целом. При этом существует возможность оценивать трещиностойкость как качественно (высокая – при отсутствии трещин на поверхности покрытия, спровоцированных пирамидальным индентором, или низкая – при наличии трещин), так и количественно (по длине трещины). Также трещиностойкость возможно оценивать и на самом изделии за счет применения переносных твердомеров.

3. Магнитный (коэрцитиметрический) метод контроля образцов или изделий с наплавленными покрытиями позволяет определять

уровень напряжений в наплавленном покрытии. При этом рекомендуется оценивать разницу в коэрцитивной силе между покрытием и подложкой после нанесения покрытия (она должна быть минимальной), что позволит оптимально подобрать материал наносимого покрытия под конкретную марку материала подложки (так как при восстановлении подложка – это восстанавливаемое изделие, изготовленное из материала строго определенной марки), а также скорректировать технологические режимы и особенности нанесения покрытий, в том числе предварительный и сопутствующий подогревы, их температуру, количество слоев, проходов и др.

4. Указанный пример показывает хорошие возможности для адаптации разработанной методики контроля практически для любого вида ответственных изделий, в том числе и для объектов, восстановленных наплавкой. Используя указанные выше рекомендации, возможно максимально эффективно подобрать вид и марку материала для восстановления конкретного изделия, а также скорректировать технологические режимы и приемы нанесения покрытия на изделие с позиции оценки качества системы «покрытие-подложка» и потенциальной ее работоспособности и надежности.

Список использованных источников

1. *Пантелеенко, Ф.И.* Методология оценки состояния материала ответственных металлоконструкций: монография / Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский. – Минск: БНТУ, 2010. – 196 с.
2. *Пантелеенко, Ф.И.* Закономерности электронно-лучевого воздействия на борсодержащие материалы и принципы оптимизации электронно-лучевого оборудования и технологий упрочнения и восстановления: монография / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Груздев, А.С. Снарский, В.Г. Залесский, В.И. Сороговец. – Минск: Технопринт; Полоцк: ПГУ, 2005. – 120 с.
3. *Буйкус, К.В.* Упрочнение и восстановление поверхностей деталей. Лабораторный практикум: учебное пособие / К.В. Буйкус [Снарский А.С. и др.]; под ред. Ф.И. Пантелеенко. – Минск: БНТУ, 2010. – 344 с.
4. *Безлюдько, Г.Я.* Магнитный контроль (по коэрцитивной силе) напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций / Г.Я. Безлюдько, В.Ф. Мужичкий, Б.Е. Попов //

Заводская лаборатория. Диагностика металлов. – 1999. Т. 65. – № 9. – С. 53–57.

5. *Пантелеенко, Ф.И.* Концепция системы неразрушающего контроля и оценки потенциальной надежности и безопасности

ответственных изделий / Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский. // сб. научных трудов Международной НТК «Инженерия поверхностного слоя деталей машин». – Кемерово: КузГТУ. – 2009 – С. 312–318.

Panteleenko F.I., Snarsky A.S.

Adaptation of developed technique of the metalware condition estimation for the welding-covered parts control

The technique of metalware condition estimation is worked out by authors. Questions of its adaptation to the quality assurance of restored and strengthened details and tools with the wearresistant coatings deposited are discussed. Magnetic and durometrie methods of nondestructive control used in order to estimate the exploitation reliability of details with welded coatings. Efficiency of this methods is confirmed. (E-mail: 51_zona@mail.ru)

Key words: nondestructive control, magnetic method, durometrie method, wearresistant coating.

Поступила в редакцию 02.12.2011.