

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.79

Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО, д-р. техн. наук,
А.С. СНАРСКИЙ, канд. техн. наук (БНТУ)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА, РАБОТОСПОСОБНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ С НАПЛАВЛЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ, ПО МЕХАНИЧЕСКИМ И МАГНИТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ, ОПРЕДЕЛЕННЫМ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Научная идея проведенных и описанных в статье исследований состоит в том, что существует взаимосвязь между физическими и механическими характеристиками материала, на который проводится нанесение покрытий, и механическими, а также эксплуатационными свойствами полученного износостойкого покрытия, что главным образом и определяет работоспособность и надежность восстановленного или упрочненного объекта. Основной задачей исследований являлся поиск эффективных методов, в первую очередь, неразрушающего контроля, позволяющих оценить качество ответственных деталей после их восстановления с применением наплавки.

Как установлено ранее выполненными исследованиями [1–3], при работе с системой «наплавленное износостойкое покрытие – стальная подложка» целесообразно оценивать трещиностойкость покрытий или предложенный показатель, родственной классической трещиностойкости (своеобразную механическую характеристику покрытия) S [МПа/м·10⁻⁶]:

$$S = 10HV/c,$$

где HV – среднеарифметическое значение твердости, определенной по Виккерсу; c – среднеарифметическое значение длин трещин в углах отпечатка индентора, м·10⁻⁶.

Установлено, что показатель S , имеет прямую взаимосвязь с работоспособностью наплавленных износостойких покрытий и, следовательно, восстановленных деталей и инструментов [1–3]. Кроме того установлена чувствительность данного показателя к материалу подложки, на которую производится нанесение покрытий, что важно для анализа работоспособности системы «наплавленное покрытие – подложка».

С целью создания комплексной методики оценки работоспособности и надежности деталей и инструментов с нанесенными покрытиями произведен поиск дополнительных методов, позволяющих повысить достоверность оценки и оптимального выбора того или иного покрытия. Была проанализирована возможность применения метода оценки напряженно-деформированного состояния материала по уровню коэрцитивной силы (с учетом установленной взаимосвязи между уровнем напряжений в металле и значениями замеренной коэрцитивной силы) по магнитному (коэрцитиметрическому) методу [4]. В качестве инструмента был использован магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М (производство НПФ «Специальные научные разработки» г. Харьков) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид применяемого в исследованиях структуроскопа с образцами для испытаний

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, в Украине и начал использоваться в Республике Беларусь для оценки фактического напряженно-деформированного состояния металла различных металлоконструкций: крановых конструкций; трубопроводов; сосудов, работающих 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 [5, 6]. Сведений об использовании указанного метода для оценки уровня напряжений в покрытиях, а также в восстановленных изделиях, после проведения поиска в литературных источниках, не найдено.

Указанный прибор использован для определения уровня напряжений в наплавленных образцах, полученных электродуговой наплавкой электродами Т-590 и ОЗН-6 (одни из типичных электродов, используемых для наплавки с целью восстановления и/или упрочнения деталей и элементов конструкций).

Длина образцов и наплавленного слоя позволяла применить указанный прибор с учетом особенностей рабочего органа прибора (рисунок 1). Оценивали значения коэрцитивной силы как по наплавленному слою, так и по противоположной поверхности образцов без указанного слоя (по подложке после нанесения на нее покрытия). Полученные значения сведены в таблицу 1.

Как видно из данных таблицы, 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 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.

Таблица 1 – Результаты определения коэрцитивной силы и уровня напряжений в наплавленных образцах

Наплавляемый материал	Материал подложки	Коэрцитивная сила (средняя) по наплавленному слою, А/см	Коэрцитивная сила (средняя) по подложке, А/см	Разница в коэрцитивной силе между слоем и подложкой (разница в уровне напряжений)*
Электрод Т-590 (система Fe–C–Si–Mn–Cr–B)	Сталь Ст3	6,4	4,9	1,31
то же	Сталь 45	9,9	6,5	1,52
то же	Сталь У10	14,2	13,5	1,05
Электрод ОЗН-6 (система Fe–C–Si–Mn–Cr–B)	Сталь Ст3	6,5	5,0	1,30
то же	Сталь 45	11,9	5,8	2,05
то же	Сталь У10	16,3	13,7	1,19
* – показывает во сколько раз значения коэрцитивной силы, а, следовательно, и значения напряжений выше в наплавленном покрытии, чем в подложке				

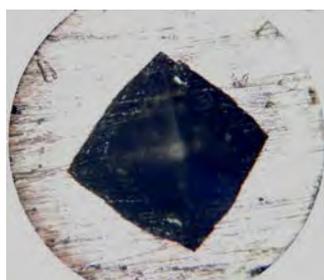
Анализ трещиностойкости покрытий (показателя трещиностойкости), нанесенных именно на подложку из стали 45, показывает также минимальный уровень трещиностойкости всех анализируемых покрытий, нанесенных на сталь 45. Полученные данные по трещиностойкости и коэрцитивной силе полностью согласуются между собой.

Таким образом, можно аргументировано утверждать о возможности использования метода определения уровня напряжений в наплавленном покрытии по магнитным характеристикам для системы «наплавленное ферромагнитное покрытие – стальная подложка». При этом следует оценивать разницу в коэрцитивной силе между покрытием и подложкой после нанесения покрытия (она должна быть минимальной). Это позволит оптимально подобрать материал наносимого покрытия под конкретную марку материала подложки (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 т.п.

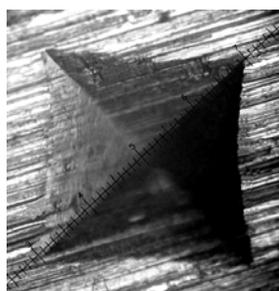
Особый интерес (с учетом объекта исследований – системы «покрытие – подложка») представляет собой установление связи между механическими свойствами материала и результатами экспериментов, полученными при внедрении в материал четырехгранной алмазной пирамиды с углом между противоположными гранями 136° , при определении твердости по Виккерсу (наличие/отсутствие трещин, их протяженность; вид и форма отпечатка; параметры волны вокруг отпечатка и т.д.).

Проведенные собственные исследования действительно показали влияние структуры, свойств материала и термической обработки на вид и форму отпечатков, получаемых на материале после внедрения в нее четырехгранной пирамиды (рисунок 2).



a

медь (выпуклый отпечаток)



б

сталь 20 (вогнутый)

Рисунок 2 – Типичные формы отпечатков пирамидального индентора на различных материалах, $\times 400$

Указанные особенности взаимодействия различных материалов с пирамидальным индентором планируется использовать в дальнейших исследованиях для дополнительной оценки работоспособности различных износостойких покрытий.

Проведенными исследованиями также установлено, что контроль качества нанесения покрытий, их структуры, твердости и трещиностойкости, работоспособности и надежности системы

«нанесенное покрытие – подложка» целесообразно выполнять на контрольных образцах (КО), то есть образцах, максимально близких к восстанавливаемому или упрочняемому изделию [2].

В качестве основных методов контроля качества КО (методов разрабатываемой методики) предлагается использовать следующие:

– визуальный контроль (внешний осмотр на наличие недопустимых дефектов: трещин, несплавлений, избыточной пористости, отслоений покрытия и т.п.);

– магнитный (коэрцитиметрический) метод контроля (контроль по уровню значений коэрцитивной силы при выборе материала покрытия под конкретную марку подложки);

– контроль по твердости (контроль покрытия на соответствие требуемого диапазона значений по твердости);

– контроль по трещиностойкости (для выбора материала для нанесения покрытий по максимальному уровню трещиностойкости (или показателя трещиностойкости)).

Таким образом, экспериментально доказано, что, используя указанные выше рекомендации, можно 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.

Литература

1. Пантелеенко, Ф.И. Разработка эффективной методики контроля восстановленных и формообразующих инструментов с износостойкими покрытиями / Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский // Сб. трудов Международной НТК «Материалы для работы в экстремальных условиях». – Киев: НТУУ, 2008. – С. 73–76.

2. Пантелеенко, Ф.И. Основные положения и технологические приемы разрабатываемой методики контроля качества наплавленных покрытий покрытиями / Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский // Сб. материалов II Международной НПК «Инженерия поверхностного слоя деталей машин». – Минск: БНТУ, 2010. – С. 248–250.

3. Пантелеенко, Ф.И. Оценка работоспособности деталей и инструментов с нанесенными износостойкими покрытиями по уровню

трещиностойкости покрытий покрытиями / Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский // Сб. трудов Международной НТК «Материалы для работы в экстремальных условиях-2». – Киев: НТУУ, 2009. – С. 106–109.

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. – № 9, т. 65. – С. 53–57.

5. Пантелеенко, Ф.И. Методология выявления слабых, критических мест сосудов, работающих под давлением покрытиями / Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский // Сб. научных трудов VII Международной НТК: в 3 т. / под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. – Новополюк: ПГУ, 2009. – Т. 3. – С. 78–81.

6. 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.

УДК 620.17: 621.79

Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО, д-р. техн. наук,
А.С. СНАРСКИЙ, канд. техн. наук,
В.А. ПИСАРЕВ (БНТУ),
А.В. КРЫЛЕНКО, канд. техн. наук (ОАО «НАФТАН»)

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ НА КРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Одной из основных причин разрушений металлоконструкций грузоподъемных кранов является деградация и старение металла, в первую очередь, сварных соединений, определяющих эксплуатационные характеристики крана [1]. Изменение физико-механического состояния металла при длительной эксплуатации, его старение и охрупчивание под воздействием ряда факторов, в том числе за счет