

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, НАПЛАВЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ДО И ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

Левашова Елена Евгеньевна, Князьков Виктор Леонидович,
Абабков Николай Викторович, Пимонов Максим Владимирович

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени
Т.Ф. Горбачева», pee5152@rambler.ru

Введение

Износ деталей горных машин и оборудование является основной причиной простоя оборудования. Основным способом и самым распространенным для восстановления рабочей поверхности является наплавка.

Большинство высокоуглеродистых материалов после наплавки образуют сеть трещин. При существующих технологиях ремонта дефектом это не является. Наоборот, это явление положительное, потому что снимает напряжение на границе наплавленного металла и металла основы, предотвращая растрескивание последнего. Однако, если поверхность с сеткой трещин будет подвергаться при эксплуатации тяжелым ударам и, соответственно, выкрашиванию, то рекомендуется предварительная наплавка на металл основы пластичного буферного слоя, что не всегда удается сделать в реальных условиях [1]. Для решения данной проблемы использовалось электродуговое термическое упрочнение (ЭТУ) наплавленного слоя. С целью оценки напряженного состояния поверхности после наплавки и электродугового упрочнения предлагается использовать акустические и магнитные методы неразрушающего контроля.

Магнитошумовой метод или метод измерения шумов Баркгаузена основан на связи между намагничиванием ферромагнетика и величиной механических напряжений. Эффект проявляется в перемещении стенок магнитных доменов, представляющих собой области спонтанной намагниченности, каждая из которых намагничена практически до насыщения, при приложении механического усилия к материалу. Энергетический спектр шумов Баркгаузена находится в диапазоне частот, начинающемся от частоты внешнего намагничивающего поля и расширяющемся в большинстве материалов до 250-500 кГц. Основными факторами, определяющими глубину, на которой заметен эффект, являются электропроводность и магнитная проницаемость испытываемого материала, а также частотный диапазон, выбранный для анализа (для стали эта глубина варьируется от 0,01 до 3 мм). Интенсивность шумов Баркгаузена зависит от приложенного усилия и микроструктуры материала. Точность определения одно- и двухосных поверхностных напряжений зависит от соответствия микроструктуры калибровочного и испытываемого образцов [2].

Спектрально-акустический метод контроля основан на измерении характеристик поверхностных волн Релея. Ранее было установлено [3–6], что

спектрально-акустический метод контроля является чувствительным методом оценки локальных полей внутренних напряжений и параметров микроструктуры (плотности дислокаций, кривизны-кручения кристаллической решетки и т.д.). Кроме того, акустические характеристики материалов (скорость распространения упругих волн, затухание и дисперсия, акустический импеданс) имеют связь с механическими свойствами материалов. Это позволяет по акустическим характеристикам материала судить о его механических свойствах.

Оба метода имеют следующие достоинства: оперативность и простота процедур измерений, относительно невысокие требования к подготовке поверхности области контроля.

Таким образом, целью работы является выявление закономерностей изменения акустических и магнитных показателей после поверхностного ЭТУ наплавленного слоя.

Материал и методики исследований

Объект исследования – наплавленные образцы в количестве трех наплавов в два слоя в среде защитного газа (CO₂) порошковой проволокой 30X5ГНФВМ на подложку из стали 40X, диаметром 200 мм, режимы наплавки: I_{св}=170-250А, U=15-18В. Для наплавки использовали сварочное оборудование КЕМРПИ Fast Mig MXF65. Перед наплавкой выполнили предварительный подогрев детали, для предотвращения образования горячих трещин, до 300°С, после наплавки проводили отпуск при температуре 250°С с охлаждением в печи.

ЭТУ проводили на нескольких режимах (табл. 1). В качестве присадочного материала применяли вольфрамовый электрод на прямой полярности, защитных газ – аргон, охлаждающая жидкость – вода, шаг электродугового термического упрочнения составлял 1 мм (рис. 1).

Таблица 1 - Режимы ЭТУ

№ п.п.	Сила тока, А	Плотность тока, А/мм ²	Напряжение на дуге, В	Погонная энергия, КДж/мм	Скорость вращения детали, м/с	Угол заточки электрода, °	Маркировка
1	60-70	19,1	22,1-22,5	0,06	0,47	30	2.1
2	40-50	12,7	22,1	0,29	0,09	60	2.2
3	80-90	25,5	22,8-23,2	0,19	0,21	60	2.3

Для выявления зон с измененной структурой, а также степени ее изменения применяли спектрально-акустический анализ, с автоматизированной акустической системой «АСТРОН», измерения проводили на поперечном образце в 11 точках на расстоянии 9 мм между точками. С помощью датчика поверхностных акустических волн (волн Релея) определялись следующие характеристики:

- время задержки поверхностной акустической волны, нс;
- коэффициент затухания, 1/мкс;
- амплитуда принятого сигнала, мм·10⁻¹; [7]

Для обнаружения таких поверхностных дефектов, как трещины, поры и др., использовалась оценка по времени задержки поверхностной акустической

волны; для выявления зон изменения структуры использовалась оценка по величине коэффициента затухания и амплитуды принятого сигнала.



Рисунок 1 – проведение электродугового термического упрочнения, *а* – установка образца в патрон станка, *б* – поверхность образца после испытания

Магнитошумовой метод контроля выполняли прибором «INTROSCAN», с анализатором напряжений и структуры металлов. Исследования проводили на поперечном образце в 9 точках на равном расстоянии друг от друга.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2, *а-в* представлены результаты измерений значений поверхностных акустических задержек (ПАВ), коэффициента затухания и размаха амплитуды сигнала ПАВ, измерения проводили на образцах до и после электродугового термического упрочнения, по поверхности упрочненного слоя в восьми точках по окружности.

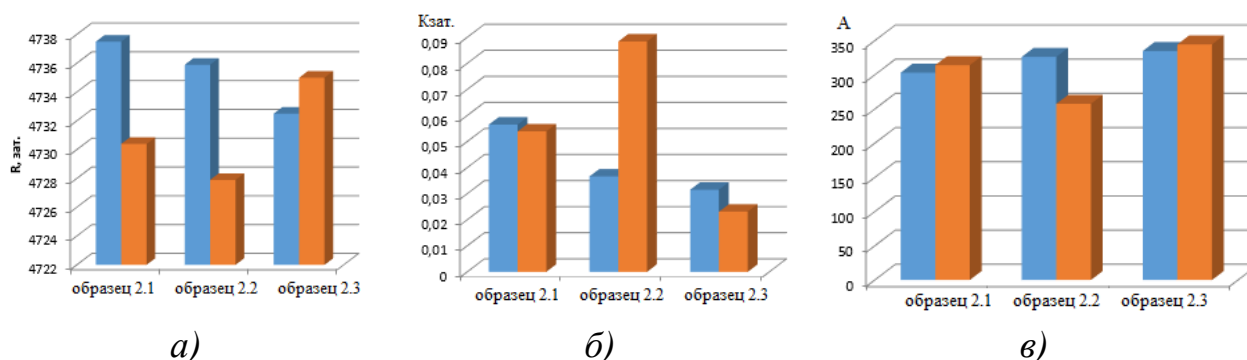


Рисунок 2 - Гистограммы сопоставления акустических характеристик для состояний металла после наплавки и после наплавки и электродугового термического упрочнения:

а – средние значения времени задержки; *б* – средние значения коэффициента затухания; *в* – средние значения размаха амплитуды сигнала

Для наплавки 2.1 и 2.2 наблюдается уменьшение времени задержки ПАВ на 8 нс после проведения электродугового термического упрочнения. Для наплавки 2.3, наоборот, увеличение, но незначительное – на 3 нс (рис. 2, а).

Анализ значений коэффициента затухания (рис. 2, б) и размаха амплитуды сигнала ПАВ (рис. 2, в) показал, что для наплавки 2.1 и 2.3 установлено уменьшение коэффициента затухания и увеличение амплитуды, тогда как для наплавки 2.2, наоборот, увеличение коэффициента затухания и уменьшение размаха амплитуды.

В результате проведения магнитошумового метода контроля были определены зависимости магнитных характеристик от электродугового термического упрочнения (рисунок 3). Видно, что в наплавленных образцах после электродугового термического упрочнения выше на 50-130 единиц, что свидетельствует в наплавленных образцах до ЭТУ большого количества сжимающих напряжений, после ЭТУ напряжения уменьшаются.

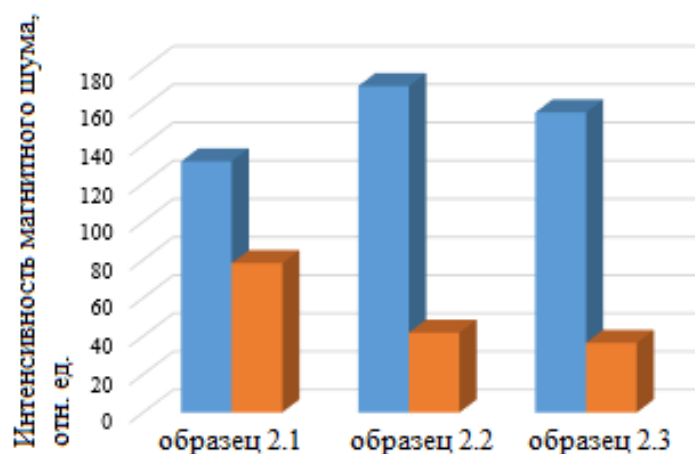


Рисунок 3 – Гистограмма сопоставления средних значений магнитных характеристик для двух состояний наплавленного металла: до и после электродугового термического упрочнения

Выводы

1. Выполнена оценка напряженного состояния поверхности после наплавки и ЭТУ предлагается использовать акустические и магнитные методы неразрушающего контроля. Выявлены закономерности изменения акустических и магнитных показателей после поверхностного ЭТУ наплавленного слоя.

2. Магнитные характеристики в наплавленных образцах после ЭТУ выше на 50-130 единиц, что свидетельствует о наличии в наплавленных образцах до ЭТУ большого количества сжимающих напряжений, после ЭТУ напряжения уменьшаются, что в конечном итоге снижает вероятность образования сетки трещин на поверхности после ремонта. Установлены режимы ЭТУ, которым соответствуют максимальные и минимальные значения акустических характеристик (время задержки, коэффициент затухания и значения размаха амплитуды сигналов ПАВ).

Список литературы

1. Петрова, Е.Е. Исследования характера повреждения деталей машин с целью оптимизации технологии их восстановления / В.Л. Князьков, М.В. Пимонов, Н.В. Мелкозерных // Сборник трудов Инновации в топливно-энергетическом комплексе в машиностроении.: Кемерово, 2017. – С. 92–97.
2. Никитина, Н. Е. Преимущества метода акустоупругости для неразрушающего контроля механических напряжений в деталях машин / Н. Е. Никитина, С. В. Казачек // Вестник научно-технического развития. – 2010. – №4 (32). – С. 18–28.
3. Смирнов, А. Н. Анализ физико-механических показателей и состояния длительно работающего металла энергооборудования / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, А. С. Глинка и др. // Упрочняющие технологии и покрытия, 2011. – № 11 (83). – С. 40–48.
4. Смирнов, А. Н. Критерии оценки состояния и ресурса длительно работающих барабанов котлов высокого давления / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Сварка и диагностика, 2013. – № 4. – С. 55–59.
5. Смирнов, А. Н. Структурно-фазовое состояние, поля внутренних напряжений и акустические характеристики в длительно работающем металле поврежденного барабана котла высокого давления / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. // Контроль. Диагностика. – 2012. – №7. – С. 13–17.
6. Абабков, Н. В. Современное методическое обеспечение для оценки состояния металла потенциально опасного оборудования. Часть 2. Спектрально-акустический метод контроля / Н. В. Абабков, А. В. Бенедиктов, А. Н. Смирнов и др. // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 5. – С. 101–106.
7. Смирнов А. Н. Механические и акустические характеристики наплавленного и основного металла деталей машин карьерного транспорта / Смирнов А. Н., Князьков В. Л., Левашова Е. Е. и др. // в сборнике: Структура. Напряжения. Диагностика. Ресурс сборник научных трудов, посвященный 70-летию доктора технических наук, профессора А. Н. Смирнова.: Кемерово, 2017. – С. 88–103.