Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт металлургии, машиностроения и транспорта

Кафедра технологии и исследования материалов

МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ *(МНК)*

Выполнил: студент группы 43314/1

Шакиров И.В.

Проверил: доцент

Новиков Е.В.

Санкт-Петербург

2015

МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ *(МНК)*

МНК применяются только для контроля деталей и изделий, изготовленных из ферромагнитных материалов, находящихся в намагниченном состоянии. МНК основаны на регистрации магнит­ных полей рассеяния, возникающих над дефектами, поэтому эти методы позволяют определять только поверхностные и подповерх­ностные дефекты, залегающие в ферромагнетиках на глубинах, не превосходящих 15 мм.

Дефекты наиболее легко обнаруживаются, когда направле­ние намагничивания контролируемой детали перпендикулярно направлению дефекта. Для оптимального выявления дефектов при МНК намагничивание контролируемых изделий производят в двух направлениях, а деталей сложной формы - в нескольких направле­ниях.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Эти методы основаны на регистрации и измерении магнитных полей и их неоднородностей. Магнитное поле существует вблизи проводника с током и постоянных магнитов. Причина его возникновения – упорядоченное движение зарядов в проводнике или электронов в атомах вещества магнита. Характеристики постоянного магнитного поля. Основной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции B. Вектор B направлен по касательной к магнитным силовым линиям, поэтому по их виду можно судить о направлении вектора индукции. Вектор B имеет смысл плотности магнитного потока Ф. Для наглядности представления магнитного поля линии магнитной индукции условно проводят так, чтобы их число, приходящееся на единицу площади перпендикулярной к ним поверхности, было пропорционально магнитной индукции B.

Поэтому магнитный поток Ф через какую-либо поверхность пропорционален общему числу силовых линий, пронизывающих ее. В однородном магнитном поле магнитный поток Ф через площадку S, расположенную перпендикулярно к магнитным линиям, равен произведению магнитной индукции В на площадку. Магнитный поток выражается в веберах, а магнитная индукция – в теслах.

Ф = ВS.

Другой важной характеристикой магнитного поля является вектор напряженности H. Он определяет поле, создаваемое внешним по отношению к данному телу источником. На практике эти поля чаще всего создаются различными намагничивающими катушками или постоянными магнитами. Между индукцией и напряженностью магнитного поля существует зависимость: B = µ0µH, где µ0 – магнитная проницаемость в вакууме, µ0 = 4π·10–7 Гн/м; µ – относительная магнитная проницаемость; Н – напряженность магнитного поля, А/м. Магнитные свойства материала.

Все вещества в той или иной степени обладают магнитными свойствами. Магнитные свойства вещества характеризуются магнитной проницаемостью µ. В зависимости от ее значения все материалы подразделяют на три группы: – диамагнитные, у которых µ на несколько миллионных или тысячных долей < 1 (медь, цинк, серебро и др.); – парамагнитные с µ на несколько миллионных или тысячных долей > 1 (марганец, платина, алюминий); – ферромагнитные, у которых µ достигает десятков тысяч. К таким материалам относят только четыре элемента (железо, никель, кобальт, гадолиний) и некоторые сплавы металлов. Ферромагнитные свойства металлов обусловлены внутренними молекулярными токами, в основном вращением электронов вокруг собственной оси.

Обнаружение дефектов магнитными методами.

Магнитные методы контроля ферромагнитных металлов основаны на обнаружении локальных возмущений поля, создаваемых дефектами в намагниченном изделии. Магнитный поток, распространяясь по изделию и встречая на своем пути поверхностный дефект, огибает его вследствие того, что магнитная проницаемость дефекта значительно ниже (в 1000 раз) магнитной проницаемости основного металла. Это можно пояснить следующим образом. Часть магнитносиловых линий как бы обрывается на одной грани дефекта и снова начинается на другой. Конец линии можно рассматривать как некоторый положительный магнитный заряд, а начало – как отрицательный магнитный заряд. Каждый магнитный заряд создает магнитное поле, направленное из него как из центра. Суммарное поле магнитных зарядов Нd называют полем дефекта. Поле Нd имеет сосредоточенный характер, поэтому результирующее поле, которое складывается из внешнего намагничивающего поля H0 и поля дефекта Нd , становится неоднородным и имеет сложную картину.

МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ МЕТОД

Магнитопорошковая дефектоскопия (МПД) в системе методов НК занимает одно из ведущих мест. Это связано с ее высокой чувствительностью к поверхностным и подповерхностным дефектам, простотой, универсальностью и наглядностью представления результатов контроля. Магнитопорошковый метод применяют для контроля изделий, деталей, сварных соединений конструкций из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью ≥ 40 с целью выявления невидимых невооруженным глазом поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности типа трещин, непроваров.

Магнитопорошковый метод основан на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами в детали при ее намагничивании, с помощью ферромагнитных частиц (магнитного порошка), которые находятся во взвешенном состоянии в исперсионной среде или воздухе. На магнитную частицу в неоднородном магнитном поле дефекта действует сила F, стремящаяся затянуть ее в места наибольшей концентрации силовых линий и приблизить к месту дефекта:

F = µ0χVH∆H/∆x,

где χ – магнитная восприимчивость час-тицы (как тела); µ0 = 4π·10 –7 Гн/м; V – объем частицы, м3 ; ∆H/∆x – градиент поля, А/м2 .

Под действием силы F происходит перемещение частицы и образуется над дефектом валик порошка. Таким образом, эффективность выявления дефекта находится в тесной связи с интенсивностью поля рассеяния и его градиентом, а также зависит от магнитных свойств и размеров используемых частиц.

Величина поля рассеяния и его градиент максимальны, когда дефект выходит на поверхность изделия. В этом случае значительная часть силовых линий выступает на поверхность изделия в окрестности дефекта. Если дефект подповерхностный, то часть вытесненных силовых линий будет принята наддефектной частью изделия и поток рассеяния будет небольшим.

Для обнаружения дефекта с помощью магнитного порошка необходимо, чтобы поле рассеяния Нd превышало некоторое критическое значение Нd кр , начиная с которого, частицы порошка хорошо втягиваются в дефект и осаждаются над ним. Нd определяется отношением индукции материала контролируемого изделия к дифференциальной магнитной проницаемости, а также геометрическими параметрами дефекта.

Результаты контроля оценивают по наличию на контролируемой поверхности валика магнитного порошка, который можно обнаружить невооруженным глазом или с помощью оптических средств, например лупы двух-, четырехкратного увеличения. Валик должен воспроизводиться каждый раз при повторном нанесении магнитной суспензии или порошка.

Четкий нерасплывшийся валик свидетельствует о дефекте, выходящем на поверхность, расплывшийся говорит о наличии подповерхностного дефекта. Длина валика равна протяженности выявленного дефекта с погрешностью, равной ширине валика. Дефект округлой формы с поперечным размером 0,5…1 мм характеризуется линейным осаждением магнитного порошка независимо от направления намагничивающего поля. Осаждение магнитного порошка не всегда указывает на наличие дефекта. Иногда магнитный порошок скапливается над магнитно-неоднородными местами изделия с местным наклепом, структурной неоднородностью и резким изменением площади поперечного сечения. Это явление относят к ложным, или мнимым, дефектам. Осаждение порошка на ложных дефектах, не связанное с нарушением сплошности металла изделия, не является основанием для браковки последнего при магнитном контроле. Чтобы отличить дефекты, выходящие на поверхность, от ложных, можно применять в качестве контрольных капиллярные методы дефектоскопии.

**Чувствительность:**

Практикой установлено, что магни-топорошковым методом выявляются по-верхностные и подповерхностные (на глубине залегания ≤ 2 мм) трещины с рас-крытием от 0,001 мм, глубиной (высотой дефекта) от 0,05 мм и длиной ≥ 0,5 мм.

МАГНИТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

Сущность этого метода заключается в намагничивании контролируемого участка сварного шва и околошовной зоны с одновременной записью магнитного поля на магнитную ленту (рис. 6.12, а ) и последующем считывании полученной информации с нее специальными воспроизводящими устройствами магнитографических дефектоскопов, оснащенных вторичными преобразователями в виде феррозондов или индукционных головок. Этот сигнал после преобразования поступает на экран ЭЛТ.

Методика контроля. Технология магнитографического контроля включает в себя ряд операций (ГОСТ 25225–82).

Назовем их.

1. Осмотр и подготовка поверхности контролируемого изделия. При этом с поверхности контролируемых швов должны быть удалены остатки шлака, брызги расплавленного металла, грязь и т. д.

2. Наложение на шов отрезка маг-нитной ленты. Перед началом работы магнитную ленту подвергают размагни-чиванию. Прижим ленты к шву плоских изделий выполняют специальной эла-стичной "подушкой". При контроле кольцевых швов труб, сосудов и других изделий магнитную лен-ту к поверхности шва прижимают по всему периметру эластичным резиновым поясом.

3. Намагничивание контролируемого изделия при оптимальных режимах в за-висимости от типа намагничивающего устройства, толщины сварного шва и его магнитных свойств.

4. Расшифровка результатов контроля, для чего магнитную ленту устанавли-вают в считывающее устройство дефектоскопа и по сигналам на его экранах выяв-ляют дефекты. Перед воспроизведением

**Структурная схема**

магнитографического дефектоскопа:

1 – электродвигатель; 2 – блок головок; 3 –

магнитная лента; 4 – усилитель; 5 – генератор

развертки; 6 – ЭЛТ

Считывание результатов контроля с магнитной ленты выполняют магнитографическими дефектоскопами. Простейшая структурная схема магнитографического дефектоскопа изображена на рис. 6. Он имеет электродвигатель, приводящий во вращение барабан с несколькими магнитными головками. Последние перемещаются поперек магнитной ленты. Электрические сигналы с головки поступают в усилитель, усиливаются в нем и попадают на ЭЛТ.

**Чувствительность** магнитографического метода к поверхностным дефектам примерно такая же или несколько хуже, чем у магнитопорошкового. Чем глубже расположен дефект от поверхности изделия, на которую укладывается магнитная лента, тем хуже он выявляется. Современная аппаратура позволяет находить дефекты с вертикальным размером 10…15 % от толщины изделия на глубине залегания до 20…25 мм.

ФЕРРОЗОНДОВЫЙ МЕТОД

Феррозондовый метод основан на обнаружении полей дефектов с помощью магниточувствительных элементов – феррозондов. Феррозонд состоит из двух полузондов: двух совершенно одинаковых пермаллоевых магнитопроводов, каждый из которых окружен первичной и вторичной обмотками, распределенными по его длине. На практике применяют феррозондыполемеры и феррозондыградиентомеры. Их принципиальное отличие состоит в том, что у первых первичные обмотки соединены последовательно навстречу друг другу, а во вторых такая схема включения реализована во вторичных обмотках (рис. 6.14).

Феррозондполемер функционирует следующим образом (рис. 6.14, а). Первичные обмотки w 1 и 1 w′ , включенные последовательно (дифференциально), питаются переменным током с такой амплитудой, при которой материал магнитопровода доводится до насыщения. Вторичные обмотки w 2 и 2 w′ , образующие индикаторную цепь, соединены последовательно так, что наводимые в них ЭДС при отсутствии постоянного магнитного поля взаимно компенсируются. При наличии постоянного магнитного тока в индикаторной цепи возникают гармоники. Их амплитуда пропорциональна напряженности измеряемого постоянного поля. В схеме феррозондаградиентомера первичные обмотки соединены последовательно, образуя цепь возбуждения; вторичные, включенные навстречу друг другу, образуют индикаторную цепь. Если на катушки наряду с одинаковыми переменными полями будут действовать и одинаковые постоянные намагничивающие поля, то ЭДС на выходе индикаторной цепи будет равна нулю. При наличии дефекта постоянная составляющая магнитного поля будет разная в обеих катушках, что приведет к возникновению ЭДС во вторичной обмотке. По сравнению с феррозондом-полемером градиентомер обладает преимуществом в том, что на его показания не влияют посторонние магнитные поля, имеющие гораздо меньший градиент, чем поле дефекта.

Для механизированного контроля основного металла и сварных швов обечаек, котлов и корпусов реакторов с целью обнаружения в них поверхностных и подповерхностных дефектов (на глубине 5 мм) применяют установку "Радиан1М". Изделие намагничивают переменным магнитным полем, а обнаружение полей дефектов осуществляют с помощью феррозондов градиентомеров.

Феррозондовый метод применяют также в толщинометрии, структуроскопии и для определения степени размагниченности изделий после магнитного контроля.

НЕКОТОРЫЕ (НОВЫЕ) МЕТОДЫ

МАГНИТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Методы магнитной дефектоскопии, как мы уже отмечали, различаются по средствам преобразования магнитного поля (дефекта) в электрический или оптический сигналы. Ниже рассмотрим использование некоторых, в том числе новых, преобразователей.

Полупроводниковые преобразователи магнитного поля. В последнее время появилось много новых преобразователей магнитного поля в электрический сигнал, которые отличаются принципом действия, чувствительностью, габаритными размерами, но имеют одну общую черту: используют процессы, происходящие в полупроводниках. Вследствие этого им присущи некоторые общие свойства: высокая механическая прочность, надежность, дешевизна при массовом производстве, но и сложность изготовления, значительный разброс параметров, чувствительность к вибрациям, радиации и колебаниям температуры.

Датчики Холла. Эффект Холла, как известно, заключается в том, что при помещении проводника с током I в магнитное поле с индукцией В на носители заряда действует сила Лоренца, отклоняющая заряды на поверхность проводника. Возникающая при этом разность потенциалов Ux = kBI (где k – магнитная чувствительность), т.е. пропорциональна току и величине индукции, а также зависит от размера проводника в направлении поля и свойств материала. Соответствующий анализ показывает, что заметную разность потенциалов можно получить лишь в полупроводниках с высокой подвижностью носителей заряда, например в германии, кремнии. Достоинствами датчиков Холла являются малые размеры (0,7 × 0,7 × 25 мм), линейность характеристики в очень широком интервале полей (до нескольких тесла), что позволяет размещать их прямо между полюсами электромагнита; отсутствие ферромагнитных элементов в конструкции, искажающих исследуемое поле. Однако имеется и существенный недостаток – малая чувствительность. Лучшие датчики дают пока 90 мВ/(А·Тл), что при номинальном токе соответствует реальной чувствительности < 1 мВ/(А/См). Тем не менее при контроле на предмет поверхностных дефектов индикаторы этого типа уже нашли применение.

Магнитодиоды. Если через диод пропускать ток в прямом направлении, то в отсутствие магнитного поля инжектированные в базу носители заряда уменьшат ее сопротивление, и включением поля перпендикулярно к току сила Лоренца будет отклонять электроны и дырки на одну и ту же поверхность диода. Вследствие этого велика вероятность рекомбинации; кроме того, грани специально обрабатываются для катализации поверхностей рекомбинации. В итоге число носителей в базе резко падает, что увеличивает ее сопротивление и добавочно уменьшает ток.

Процесс снижения тока диода под действием магнитного поля идет лавинообразно. Это обеспечивает гораздо более высокую по сравнению с датчиками Холла чувствительность в столь же широком интервале полей, однако характеристика прибора значительно нелинейна. Лучшие лабораторные образцы (Sмагнитодиоды) при низких температурах дают 5 × 10 5 В/(А ⋅ Тл), что соответствует реальной чувствительности 200 мВ/(А/См), т.е. не хуже, чем феррозонды такого же размера. Однако у серийных образцов КД 301 при 25 °С она равна только 4 мВ/(А/см).

Как показал зарубежный опыт, эти приборы пригодны для контроля в условиях производства, несмотря на три недостатка: нелинейность характеристики, высокую температурную нестабильность

и необходимость сложных схем выравнивания чувствительности для системы датчиков.

В магниторезисторах используется эффект Гаусса, суть которого заключается в изменении сопротивления проводника или полупроводника с изменением воздействующего на него магнитного поля.

В качестве материалов для изготовления магниторезисторов используют антимонид (InSb) и арсенид индия (InAs), эвтектические сплавы типа InSb–NiSb и InSb–GaSb, а также германий (Ge), теллурид (HgTe) и селенид ртути (HgSe), антимонид и арсенид галлия (GaSb, GaAs) и др.

Прочие полупроводниковые датчики. Сейчас предложено большое количество других магниточувствительных элементов на полупроводниковой основе: биполярные магнитотранзисторы, магнитотиристоры, мадисторы и т.д.

Методы визуальной и оптической индикации полей

Визуализация магнитной жидкостью. Магнитная жидкость представляет собой очень стойкую взвесь тонко измельченных ферромагнитных частиц в среде такой вязкости, что при взаимодействии с магнитным полем перемещаются не только частицы, но и вся жидкость. Соответственно, на ровной поверхности жидкость в области дефекта будет деформироваться, что можно обнаружить по интерференционной картине или голограмме.

Предполагается, что интерференционная картина будет зависеть от величины поля дефекта. Однако были выполнены только предварительные опыты, поэтому судить о возможности практической реализации этих идей трудно.

Визуализация жидкими кристаллами. Известно, что некоторые жидкокристаллические вещества реагируют на магнитное поле изменением окраски. Это позволяет установить количественные критерии для оценки полей дефектов; кроме того, жидкие кристаллы немагнитны и при контроле сварных швов не будут стягиваться на края валика. Но даже предварительных экспериментов применительно к НК, насколько нам известно, пока не проводилось.

Магнитооптический метод индикации. Практически реализованный в лабораторной установке метод основан на вращении плоскости поляризации луча света, отраженного поверхностью тангенциально намагниченной ферромагнитной пленки (экваториальный эффект Керра), хотя могут быть использованы и другие магнитооптические эффекты. Если пленку поместить в исследуемое поле, то изменение намагниченности приведет к вращению плоскости поляризции, что улавливается анализатором.

Главное достоинство метода – возможность использования преобразователя очень малых размеров. В описанной установке преобразователь представляет собой пленку толщиной 0,2 и диаметром 3 мкм, освещаемую лучом лазера с дополнительной фокусировкой. Это позволяет измерить поля наружных дефектов вплотную к поверхности металла с малым усреднением. Например, имеется описание исследования топографии поля индукционной головки записи со щелью шириной 7 мкм на высоте 5 мкм. Однако чувствительность метода мала, требуются сложные усилители, и для успешного использования магнитооптического метода в практике НК потребуются значительные усилия.