

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Власовец В.М., Кобеньяк О.В., Убайтаева М.С-У.

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко)*

Выполнен анализ возможности неразрушающего контроля качества магнитным методом пальцев траков и колечатых осей из стали 38ХСА. Приведены рекомендации по ограничению применения метода вихревых токов для контроля данных деталей.

Актуальность. Конструкционные стали нашли широкое применение при изготовлении деталей машин, используемых в сельском хозяйстве. Среди них особое место занимают доэвтектоидные хромо-кремнистые стали, в частности сталь 38ХСА. Эта сталь, обладая высоким уровнем механических свойств не содержит дефицитных легирующих элементов. Основными недостатками такой стали являются склонность к отпускной хрупкости II-го рода и к обезуглероживанию поверхностного слоя при термической обработке. Традиционные испытания материалов сопряжены с разрушением детали и не обеспечивают возможность 100% контроля. Поэтому важным и актуальным для условий производства является обеспечение контроля деталей с помощью альтернативных – магнитных методов.

Цель исследований – оценить возможность контроля твердости деталей из стали 38ХСА неразрушающим методом с использованием вихревых токов.

Физическая сущность исследуемого метода. При использовании данного неразрушающего метода о качестве деталей судят по свойствам вихревого тока, индуктивно возбуждаемого в исследуемой детали полем переменного тока промышленной частоты.

Магнитный поток внутри катушки датчика формируется из взаимодействующих магнитных потоков: полесоздающей (силовой) катушки Φ_k и вихревых токов Φ_v , формируемых внутри исследуемой детали.

Магнитный поток полесоздающей катушки численно равен:

$$\Phi_k = 0,4I_n \frac{d_k}{l_{эф}} \mu \quad (1)$$

При постоянном режиме питания датчика Φ_k зависит от отношения поперечного сечения d_k к эффективной длине $l_{эф}$ исследуемой детали и магнитной проницаемости μ .

Магнитная проницаемость чувствительна к изменению структуры, прочности и химического состава сплава.

Магнитный поток Φ_k оказывает существенное влияние на вихревые токи. Чем больше магнитный поток, тем сильнее аккумулируются вихревые токи в испытуемом металле или сплаве. Величина вихревого тока и, следовательно, возбуждаемого магнитного потока зависит также и от удельного сопротивления, поперечного сечения исследуемой детали и от магнитной проницаемости.

Электрическая удельная проводимость или удельное электрическое сопротивление отображает локальное нарушение сплошности (трещины, волосовины, закаты, плены и т.п.) и гомогенности структуры (обезуглероживание, неравномерное распределение фаз, вызванное ликвацией химических элементов или неоптимальными режимами термической обработки и т.п.), если они соответствующим образом расположены относительно направлений вихревого тока.

Вихревые токи в исследуемой детали и эталоне возбуждаются с помощью намагничивающих обмоток датчика. При этом в индикаторных обмотках будет возбуждаться ЭДС, определяемая характером вихревых токов. Характер вихревых токов определяется магнитными и электрическими свойствами исследуемой детали, которые зависят как от состояния структуры (μ), так и от появления нарушений сплошности (ρ).

Следовательно, ЭДС индикаторной обмотки, развиваясь под действием вихревых токов, зависит от многих факторов, что может осложнить процесс контроля в производственных условиях. Установление взаимнооднозначного соответствия между контролируемыми свойствами детали и той или иной характеристикой вихревого тока в дефектоскопе достигается:

- выбором оптимальной частоты или тока режима питания датчика;
- конструктивным оформлением датчика и методом эталонирования;
- методическим приемом проведения испытания.

Изменения магнитной проницаемости и геометрических размеров исследуемых деталей приводят к отклонению амплитуды, а изменение электросопротивления – к изменению фазы ЭДС. Это позволяет обеспечить контроль структуры, независимо от наличия трещин, изменения химического состава и свойств металла детали. При исследовании частота намагничивающего тока остается постоянной, а удельная электропроводность зависит от марки сплава и структуры исследуемой детали. Поэтому для повышения возможности отдельного контроля различных свойств можно выбрать такой максимальный токовый режим, а, следовательно, и величину напряженности намагничивающего поля, при котором магнитная проницаемость была бы достаточно большой величины и компенсировала бы электрическое сопротивление. Это условие может быть выполнено лишь в том случае, если удельная электропроводность не менее 7-10 м/ом мм².

Глубина проникновения магнитного потока и глубина развития вихревых токов δ при возбуждении их полем промышленной частоты f зависит от удельного электросопротивления ρ и магнитной проницаемости μ :

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (2)$$

Магнитная проницаемость является не постоянной величиной, а экстремальной функцией (с одним максимумом), зависящей от напряженности магнитного поля. Поэтому глубина проникновения магнитного потока Φ_k и глубина развития вихревых токов могут возрастать как при увеличении, так и при уменьшении тока питания датчика вследствие уменьшения магнитной проницаемости.

Глубина проникновения магнитного потока и глубина развития вихревых токов также зависят от геометрических факторов исследуемых деталей. Глубина проникновения возрастает у коротких деталей, так как интегральная магнитная проницаемость в результате размагничивающего влияния свободных концов исследуемых деталей сильно снижается по сравнению с истинной магнитной проницаемостью сплава или металла.

С помощью данного метода можно исследовать и контролировать лишь верхние слои исследуемых деталей в пределах эффективной глубины проникновения вихревых токов и если электрическое сопротивление не слишком велико. При средних условиях проведения испытаний эффективная глубина проникновения равна 3-4 мм, но в ряде случаев возможен подбор режимов, позволяющий контролировать толщины вплоть до 8 мм.

Различие в магнитной проницаемости детали и эталона в простейшем случае на дисплее дефектоскопа отображается синусоидальной кривой с различными амплитудами. Различие в электрической проводимости отображается смещением синусоиды в горизонтальном направлении. Двум физическим параметрам соответствует два - геометрических. Такой характер кривых соответствует случаю, когда изменение магнитной проницаемости и электропроводности исследуемой детали под влияние внешнего поля происходит в области линейных изменений. В большинстве практических случаев магнитные и электрические параметры являются нелинейными функциями, вследствие чего кривые на дисплее принимают сложные формы и переходят из класса двухпараметровых в класс кривых с большим числом геометрических параметров. Такого рода кривые после гармонического анализа можно представить в виде многопараметрового семейства кривых.

Выбор эталонов, типа датчиков и фиксаторов, а также настройка дефектоскопа на необходимый режим контроля определяется в процессе исследования для каждой детали, в зависимости от поставленной задачи.

Экспериментальная часть. Для определения возможности неразрушающего контроля качества термической обработки стали 38ХСА с использованием вихревых токов было проведено исследование пальцев звена гусеницы и коленчатых осей.

Пальцы звена гусеницы по принятому технологическому процессу проходят объемную закалку при температуре $910 \pm 10^\circ\text{C}$ в течении 60 мин., среда охлаждения – масло, последующий отпуск при температуре $425 \pm 25^\circ\text{C}$ в течении 80 мин., среда охлаждения - вода. Структура нормально обработанных деталей – троостосорбит.

Для установления допусков на контроль и определения погрешности измерений было произведено градуирование прибора. Для этого выбрали интервал из шести температур (1 - без отпуска, 2 – 400°C , 3 – 450°C , 4 - 500°C , 5 –

550°C, 6 – 630°C). Градуирование производили на трех образцах при каждой температуре (табл.1).

Таблица 1. Исследуемый интервал температур стали 38ХСА

Номера образцов	Температура закалки, °С	Температура отпуска, °С	Твердость ¹ , HRC
1, 2, 3	910	без отпуска	59
4, 5, 6	910	400	49
7, 8, 9	910	450	47
10, 11, 12	910	500	46
13, 14, 15	910	550	43
16, 17, 18	910	630	36

Примечание. 1. Приведено принятое среднее значение измерения трех образцов, соответствующее измеряемому диапазону. 2. Согласно ТУ на коленчатую ось твердость годных деталей составляет 40-47 HRC (структура металла - сорбит), пальцев звена гусеницы 38-45HRC (структура металла на нижнем пределе троостосорбит, на верхнем - троостомартенсит). 2. Химический состав изменялся в пределах марочного состава стали 38ХСА (ГОСТ 4543) и составил, %: 0,38-0,42С, 1,10-1,30 Si, 0,40-0,53 Mn, 1,32-1,59 Cr, 0,004-0,020 S, 0,016-0,021 P, до 0,20 Cu, до 0,25 Ni.

Твердость образцов измеряли на шлифованных поверхностях. Разброс по твердости для каждой температуры отпуска лежит, в основном, в пределах погрешности измерения. При градуировании было выявлено и учтено влияние:

- допусков на размеры деталей по диаметру и длине;
- допусков на химический состав стали;
- допусков на температуру закалки стали.

Погрешность измерения из-за влияния этих факторов устанавливали по дополнительным образцам.

Для обеспечения максимальной чувствительности контроля детали укладывали в датчиках всегда в одинаковом положении. Для выбора этого положения искали при малой чувствительности экстремум амплитуды сигнала, в котором переменное электрическое взаимодействие между катушкой и деталью было максимальным. Найдя положение, фиксировали деталь соответствующим упором. С помощью ручек компенсаторов настраивали прибор таким образом, чтобы при максимальной чувствительности прибора получить приблизительно ровную линию на экране дисплея.

Далее был выбран такой режим работы прибора для контроля деталей, чтобы магнитная проницаемость была достаточно большой величины, компенсировала электрическое сопротивление и определялась возможностью контроля твердости по величине магнитной проницаемости, влияющей на амплитуду вихревых токов. Таким образом, по изменению амплитуды кривой вдоль вертикальной шкалы дисплея определяли твердость деталей.

Положение датчиков в процессе контроля было строго постоянным. Чтобы избежать влияния внешних магнитных полей на показания дефектоскопа в радиусе 800 мм вокруг него не было ферромагнитных тел.

На серии деталей, термообработанных по разным режимам устанавливали границы сортировки, при этом на экране была получена совокупность кривых,

дающих некоторую полосу разброса, по которой судили о возможности контроля.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования пальцев звена гусеницы и коленчатых осей из стали 38ХСА представлены на рис.1,2.

В диапазоне температур отпуска 400-630°C наблюдается однозначная зависимость между твердостью и температурой отпуска для данной стали. Как показывают осциллографические кривые исследованных образцов стали 38ХСА для нескольких максимальных значений тока поля 0,12; 0,6; 1,5 и 1,8 А (см. рис.1 для пальцев звена гусеницы и рис.2 для коленчатых осей) корреляция показаний прибора и твердости в данном диапазоне температур отсутствует.

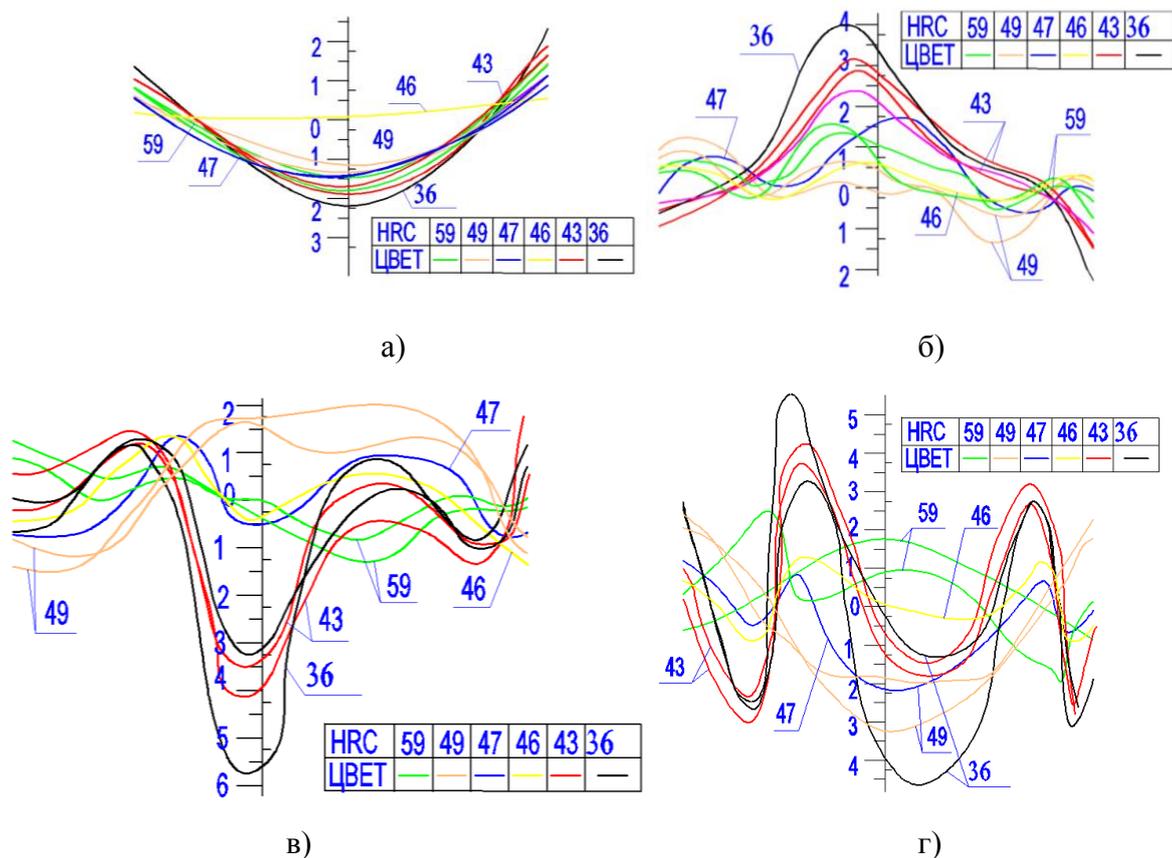


Рис. 1. Изменение амплитуды кривых пальцев звена гусеницы из стали 38ХСА в зависимости от твердости при токе поля: а - 0,12 А; б - 0,6 А; в - 1,5 А; г - 1,8 А.

Длительные испытания при больших токах возбуждения поля из-за действия вихревых токов вызывают значительный разогрев детали-эталона, вследствие чего появляется погрешность при измерении, обусловленная изменением при нагреве физических характеристик эталонного образца. Учитывая влияние этого фактора и влияние на показания прибора химического состава, а также большого разнообразия различных структурных составляющих допускается сдвиг пределов изображенных на рисунках на 1-2 деления в ту и другую сторону от установленных границ.

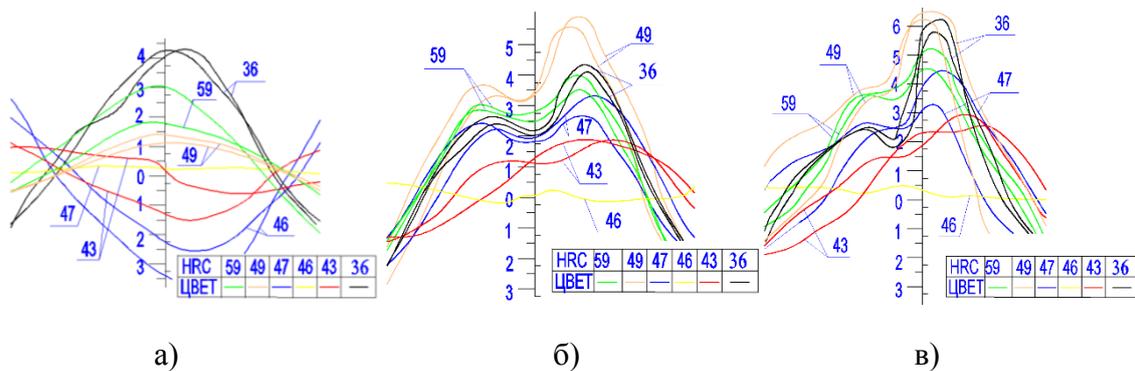


Рис. 2. Изменение амплитуды кривых коленчатых осей из стали 38ХСА в зависимости от твердости при токе поля: а - 0,12 А; б – 0,6 А; в – 1,0 А.

Выводы:

1. Для контроля качества коленчатых осей и пальцев звена гусеницы, изготовленных из стали 38ХСА и подвергнутых согласно технологическому процессу объемной закалке при температуре $910 \pm 10^\circ\text{C}$ с последующим отпуском при различных температурах для получения различных структур – троостомартенсита, троостосорбита и сорбита отпуска применение метода вихревых токов на данном приборе не представляется возможным.

Список использованных источников

1. Мельгуй М.А., Шидловская Є.А. Новые физические методы и средства контроля промышленных изделий. – Мн.: БГУ, 1978. с.30

Анотація

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ МАГНІТНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ІЗ СТАЛІ 38ХСА

Власовец В.М, Кобеняк О.В., Убайтаєва М.С-У.

Виконано аналіз можливості неруйнівного контролю якості магнітним методом пальців траків та колінчастих осей з вуглецевої сталі. Надані рекомендації щодо обмежень застосування методу віхрових струмів до контролю вищезгаданих деталей.

Abstract

ESTIMATION OF MAGNETIC CHECKING FEATURE OF QUALITY OF DETAILS FROM HROMOSELICON STEEL

Vlasovets V.M., Kobenyak O.V., Ebaitaieva M.S-U.

The analysis of nondestructiv checking feature of quality is executed by the magnetic method of fingers of trakov and knee axes from hromoselicon steel. Recommendations on limitation of application of method of vortical currents for the control of the given details are resulted.