

УДК 537.82

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-19>

Л.В. Ящинський, Д.А. Захарчук, Ю.В. Коваль, Л.І. Панасюк

Луцький національний технічний університет

ДІАГНОСТИКА ЯКОСТІ ГАРТУВАННЯ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЯВИЩА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ

Розроблена та випробувана дешева, проста і достатньо точна методика та експериментальна установка для контролю якості гартування сталевих виробів циліндричної форми в реальному часі, тобто відразу при виході готових виробів з процесу гартування.

Досліджено вплив певного ступеня гартування кілець підшипників на електрорушійну силу взаємної індукції у вимірjuвальній котушці. Отримано експериментальні результати значень електрорушійної сили взаємної індукції для кілець різних серій.

За експериментальними даними визначено інтервали значень електрорушійної сили взаємної індукції для якісно загартованих кілець різних серій. Показано методику відбору якісно загартованих кілець підшипників за відомими параметрами для певної серії зразків.

Ключові слова: електромагнітна індукція, взаємна індукція, змінне магнітне поле, поверхневий електричний опір, гартування.

Вступ. При виробництві різноманітних механічних систем, що обертаються, постійно існує необхідність контролю якості гартування сталевих зубчатих коліс, втулок та підшипників.

Метою термічної обробки є надання сталевим деталям таких властивостей, які забезпечують їх тривалу роботу без руйнування. Якість деталей в результаті термічної обробки залежить від ряду причин, до яких можна віднести наступні:

1) вміст вуглецю, що впливає на твердість при гартуванні деталей струмами високої частоти [1]. Залежно від вмісту вуглецю в сталі при загартуванні отримують різну кількість мартенситу і, отже, різну твердість. Крім того, підвищений вміст вуглецю в сталевих виробах може привести до збільшення їх крихкості через підвищення твердості серцевини понад встановлену норму. Знижений вміст вуглецю в гартованих сталях приводить до неповного загартування. В результаті цього, після відпуску, деталь може мати твердість, передбачену технічними умовами експлуатації, проте межа витривалості буде знижена через наявність в структурі сталі фериту – слабкої за механічними властивостями складової;

2) відхилення вмісту інших елементів, що входять до складу найбільш уживаних сталей, таких як хром, нікель, марганець, кремній, в діапазоні 0,1-0,2% [2, 3], також впливає на якість виробу;

3) наявність в металі тріщин, раковин, шлакових включень, що порушують однорідність металу, створюють в місцях їх знаходження осередків руйнування;

4) температурний режим процесу, від якого залежить структура сталевих виробів.

Відомо, що надійними та науково обґрунтованими методами контролю якості гартованих сталевих виробів є металографічний контроль та рентгеноструктурний аналіз. Проте, використання цих методів передбачає великі затрати часу, як на підготовку зразків, так і на сам контроль якості. Тому дані методи використовуються для окремих виробів з серії чи з певного технологічного процесу.

Зважаючи на вищесказане, метою роботи була розробка дешевої, простої, достатньо точної методики та експериментальної установки для контролю якості гартування сталевих виробів циліндричної форми певної серії в реальному часі, тобто відразу при виході готових виробів з процесу гартування.

Теоретична частина.

При проходженні по провіднику змінного струму, навколо нього виникає змінне магнітне поле. Побудуємо пристрій, який складається з двох котушок, що знаходяться на одому сердечнику поблизу одна до одної (рис. 1).

Котушка I із змінним струмом створює змінне магнітне поле, а отже і змінний магнітний потік через котушку II [4].

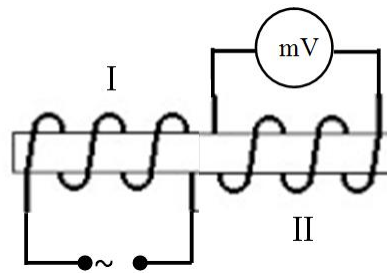


Рис. 1. Пристрій для демонстрації явища взаємної індукції

У відповідності із законом Фарадея у другій котушці індукуються електрорушійна сила взаємної індукції, яка визначається за формулою:

$$\varepsilon_2 = -M_{1,2} \frac{dI_1}{dt}, \quad (1)$$

де $\frac{dI_1}{dt}$ – зміна з часом величини сили струму в першій котушці, $M_{1,2}$ – коефіцієнт взаємної індукції або взаємна індуктивність котушок I і II.

Якщо розмістити на спільному сердечнику між котушками I і II замкнутий провідник (рис. 2), то змінний магнітний потік ($\Phi_{m,1}$), створений змінним струмом першої котушки, індукуює у замкнутому провіднику (сталюму кільці – К) змінний струм, який за правилом Ленца створить власний магнітний потік ($\Phi_{m,K}$) протилежного напрямку.

Виходячи з вище сказаного, другу котушку буде перетинати сумарний магнітний потік, який в кожний момент часу чисельно рівний: $\Phi_{m,2} = \Phi_{m,1} - \Phi_{m,K}$.

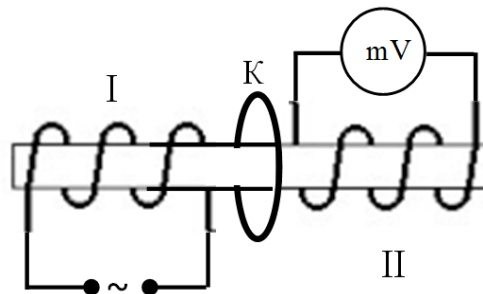


Рис. 2. Пристрій для демонстрації впливу додаткового замкнутого провідника на електрорушійну силу взаємної індукції у другій котушці

Зменшення сумарного змінного магнітного потоку через другу котушку, відповідно до закону Фарадея, приведе до зменшення електрорушійної сили взаємної індукції у другій котушці, що формально означає зменшення коефіцієнта взаємної індукції або взаємної індуктивності котушок I і II.

Зауважимо, що величина індукваного змінного струму у сталюму кільці також залежить від електричного опору його поверхневого шару, так як зовнішнє змінне магнітне поле проникає у сталь лише на певну глибину [5] (див. таблицю 1).

Таблиця 1

Глибина проникнення змінного магнітного поля у сталь

Частота, Гц	Глибина проникнення, мм
50	1,8
100	1,1
1000	0,35

У свою чергу, опір поверхневого шару сталюого кільця залежить від його структури, яка визначається якістю гартування.

Експериментальна частина. Для експериментів вибрано зразки зовнішніх кілець різної конфігурації для підшипників кочення [6]. Набір зразків складався з чотирьох серій кілець різної конфігурації: 1.1 – 1.6; 2.1 – 2.6; 3.1 – 3.4; 4.1 – 4.6. Кожна серія включає в себе: а) негартовані зразки: 1.1, 2.1, 3.1, 4.1; б) недостатньо загартовані зразки: 1.2, 2.2, 3.2, 4.2; в) якісно загартовані зразки з допустимим розкидом умов гартування (по три з кожної серії): 1.3 – 1.5, 2.3 – 2.5, 3.3 – 3.5, 4.3 – 4.5; г) перегартовані зразки: 1.6, 2.6, 3.6, 4.6.

Зовнішній вигляд окремих зразків різних серій представлений на рис. 3.



Рис. 3. Зовнішній вигляд окремих зразків різних серій

Ступінь гартування кожного із зразків визначалась у заводській лабораторії відповідними методами металографічного контролю і була надана нам у готовому вигляді.

У відповідності з експериментальними результатами металографічного контролю, ступінь гартування кілець підшипників суттєво впливає на структуру поверхневого шару сталі, а отже і на його опір. У свою чергу, опір поверхневого шару кільця визначає (при інших однакових умовах) величину індукційного струму у ньому, який за правилом Ленца впливає на сумарний змінний магнітний потік через котушку II.

Виходячи з вище сказаного, була створена експериментальна установка для вимірювання електрорушійної сили взаємної індукції у котушці II при введенні на спільний сердечник кільця з відповідним гартуванням його поверхневого шару, а також без такого введення.

Експериментальна установка представлена на рис. 4.

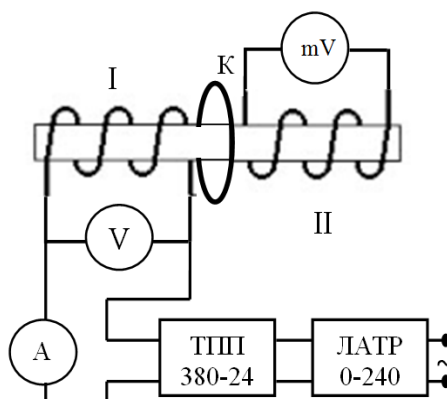


Рис. 4. Електрична схема дослідної установки

Використано довгий сердечник, на який намотано дві котушки (I і II). Котушка I має 50 витків мідного дроту діаметром 1,2 мм, котушка II – 12 витків мідного дроту діаметром 0,3 мм. Намагнічуюча котушка II ввімкнена в побутову мережу змінного струму частотою 50Гц через трансформатор ТПП 380-24 за допомогою лабораторного автотрансформатора ЛАТР 0-240. Для контролю живлення намагнічуючої котушки використано амперметр (А) та вольтметр (V) ВР-11, а для вимірювання електрорушійної сили взаємної індукції у котушці II використано мілівольтметр (mV) В7-35 з великим вхідним опором.

Понижуючий трансформатор ТПП 380-24 використаний тому, що такі трансформатори (а також і ЛАТР 0-240) при вхідній напрузі 380 В (для ЛАТРа – 220 В) працюють при індукції близькій до насичення [7]. При цьому напруга на виході таких приладів має високий рівень гармонік, що знижує точність вимірювання.

Подаючи лабораторним автотрансформатором (ЛАТР 0-240) на вхід трансформатора (ТПП 380-24) напругу порядку 100 В, на виході одержуємо змінну напругу із значно меншим спотворенням синусоїдальної форми. Крім того, напруга менше 24 В у колі дослідної установки є безпечною для використання.

Методом підбору для отримання найбільшого значення ЕРС взаємної індукції, намагнічуюча (I) та вимірювальна (II) котушки розміщувались на сердечнику діаметром 2 см на відстані 5,5 см одна від одної. Кільця, висотою від 2 см до 4,5 см, встановлювались так, щоб їх верхній край знаходився на рівні нижнього краю котушки II.

Величину струму у намагнічуючій котушці підбирали такою (2-2,7 А), щоб величина ЕРС взаємної індукції у вимірювальній котушці без впливу кільця була рівна 800 мВ.

Результати експерименту.

I. Вимірюючи електрорушійну силу взаємної індукції у вимірювальній котушці для усіх кілець різних серій отримані експериментальні результати, які для першої серії кілець підшипників представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальні результати ЕРС взаємної індукції

№ серії та кільця	ЕРС взаємної індукції без кільця (мВ)	ЕРС взаємної індукції з кільцем (мВ)	Якість гартування
1.1	800	634	не гартоване
1.2	800	647	недостатньо загартоване
1.3	800	661	якісно загартоване
1.4	800	667	якісно загартоване
1.5	800	674	якісно загартоване
1.6	800	728	перегартоване
...			

Аналіз експериментальних результатів, які представлені у таблиці показує, що зі збільшенням ступеня гартування для кілець усіх серій значення електрорушійної сили взаємної індукції у вимірювальній котушці зростає. Це пояснюється тим, що при гартуванні змінюється кристалічна структура поверхневого шару (1-2 мм) кільця, що передбачає зміну відсоткового вмісту атомів вуглецю в такій структурі. Такі зміни приводять до зростання електричного опору поверхневого шару кільця, а значить до зменшення величини індукційного струму в ньому. У відповідності з правилом Ленца, зменшення індукційного струму у кільці приводить до зменшення компенсації змінного магнітного потоку створеного котушкою I, а значить до збільшення сумарного магнітного потоку через вимірювальну котушку (II). Вище описаний механізм і приводить до зростання ЕРС взаємної індукції у вимірювальній котушці при зростанні ступеня гартування кілець підшипників.

Отримані експериментальні результати дозволили одержати інтервали значень електрорушійної сили взаємної індукції для якісно загартованих кілець підшипників різних серій: серія 1 (зразки 1.1 – 1.6): 661-674 (мВ); серія 4 (зразки 4.1 – 4.6): 645-658 (мВ).

II. Маючи наперед відомі значення інтервалу ЕРС взаємної індукції для якісно загартованих кілець підшипників певної серії та провівши вимірювання за вище описаною методикою можна з достатньою достовірністю в режимі реального часу відібрати якісні зразки з великої кількості кілець даної серії.

Висновки.

1. Розроблена та випробувана дешева, проста і достатньо точна методика та експериментальна установка для контролю якості гартування сталевих виробів циліндричної форми в реальному часі, тобто відразу при виході готових виробів з процесу гартування.

2. Досліджено вплив певного ступеня гартування кілець підшипників на електрорушійну силу взаємної індукції у вимірювальній котушці.
3. Отримано експериментальні результати значень ЕРС взаємної індукції для кілець різних серій.
4. За експериментальними даними визначено інтервали значень ЕРС взаємної індукції для якісно загартованих кілець різних серій.
5. Показано методику відбору в режимі реального часу якісно загартованих кілець підшипників з великої їх кількості за відомим інтервалом значень ЕРС взаємної індукції для якісних зразків даної серії.

Інформаційні джерела

1. Пташенчук В.В., Денисюк В.Ю., Заблоцький В.Ю., Захарчук Д.А. Підвищення ефективності оброблення торців кілець роликотпідшипників методом переривчастого шліфування. – Луцьк: Вежа-друк, 2017. – 128 с.
2. Електронний ресурс: <http://obrobka.pp.ua/2055-kontrol-yakost-termchnoyi-obrobki-stalevih-detaley.html>.
3. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах. – М.:Машиностроение, 1990. – 268 с.
4. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Либідь, 2006.- 487 с.
5. Електронний ресурс: <http://www.ntpo.com/fizika/38797-materialy-dlya-magnitnyh-ekranov.html>.
6. Ящерицын П.И. Планирование эксперимента в машиностроении. – Минск: Высшая школа, 1985. – 200 с.
7. Електронний ресурс: <https://samelectrik/elektrosnabzhenie/elektrolab.html>.

Л.В. Ящинский, Д.А. Захарчук, Ю.В. Коваль, Л.И. Панасюк.

ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА ЗАКАЛИВАНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Разработана и испытана дешевая, простая и достаточно точная методика и экспериментальная установка для контроля качества закаливания стальных изделий цилиндрической формы в реальном времени, то есть сразу при выходе готовых изделий из процесса закаливания.

Исследовано влияние определенной степени закаливания колец подшипников на электродвижущую силу взаимной индукции в измерительной катушке. Получены экспериментальные результаты значений ЭДС взаимной индукции для колец разных серий.

По экспериментальным данным определены интервалы значений ЭДС взаимной индукции для качественно закаленных колец разных серий. Показано методику отбора качественно закаленных колец подшипников по известным параметрам для определенной серии образцов.

Ключевые слова: электромагнитная индукция, взаимная индукция, переменное магнитное поле, поверхностное электрическое сопротивление, закаливание.

L.V. Yashchynskyy, DA Zakharchuk, Yu.V. Koval, L.I. Panasyuk

DIAGNOSIS OF QUALITY OF HARDENING OF BEARING RINGS USING THE PHENOMENON OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION

The inexpensive, simple and sufficiently accurate methodology and experimental setup for controlling the quality of hardening of steel products of cylindrical shape in real time, that is, at the time of leaving the finished products from the tempering process, has been developed and tested.

The influence of a certain degree of hardening of the bearing rings on the electromotive force of mutual induction in the measuring coil is investigated. The experimental results of values of electromotive force of mutual induction for rings of different series were obtained.

According to the experimental data, the intervals of values of electromotive force of mutual induction for qualitatively tempered rings of different series were determined. The technique of selection of qualitatively hardened bearing rings from a large number of them by known parameters for a certain series of samples is shown.

Keywords: electromagnetic induction, mutual induction, alternating magnetic field, surface electrical resistance, quenching.