

Н.С. Дрешняк, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

У роботах [1, 2, 3] розглянуто технологію індукційного нагріву з'єднань циліндричних деталей машин з метою їх демонтажу. У роботах [1,2] викладено умови виконання цієї технологічної операції: забезпечення рівномірності магнітного поля на поверхні втулки та ідентифікація значення контактної теплової провідності. Пристрій для вирівнювання магнітного поля запропонований в роботі [3], а методика експериментального визначення контактної теплової провідності – у роботі [1].

У статті розглянуто результати експериментальних досліджень, виконаних на макеті пристрою. Мета досліджень полягає у перевірці ефективності запропонованих рішень щодо вирівнювання магнітного поля, в оцінці конкретного значення контактної теплової провідності.

Розроблена на основі винаходу [3] експериментальна установка (рис.1) містить у собі сталеву втулку 1 і вал 2. По всій довжині поверхні втулки 1 розташована секціонована вимірювальна обмотка 3, що має суцільну намотку і відпайки a, b, c, d для вимірювання ЕРС, наведених в кожній секції, за допомогою вольтметра 4, що має виведення k, f. Кожна із послідовно з'єднаних секцій обмотки 3 являє собою однакову кількість витків W тонкого ізольованого проводу. На поверхні втулки мається три секції рівної довжини l . Індуктор 5 виконаний у вигляді соленоїда, у середині якого розміщена втулка 1. Індуктор 5 та втулка 1 мають однакову ширину L . Індуктор 5 з'єднаний із джерелом живлення 6. Частота змінного синусоїдального струму джерела живлення становить 50 Гц.

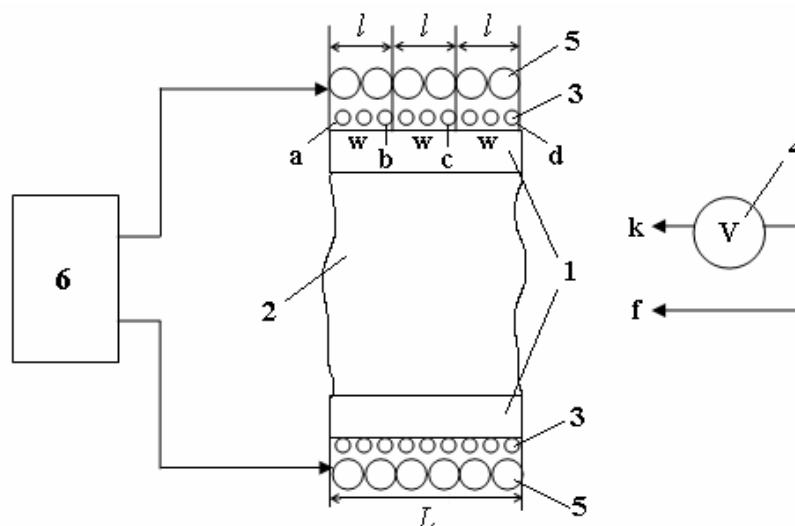


Рис.1. Пристрій для індукційного нагріву деталей

Суть запропонованого винаходу полягає у створенні пристрою, що має секціонувану вимірювальну обмотку, розташовану на поверхні вала. Значення електрорушійних сил (ЕРС), наведених у секціях обмотки, дозволяють контролювати напруженість поля і створюють умови для її вирівнювання шляхом зміни кроку намотування індуктора.

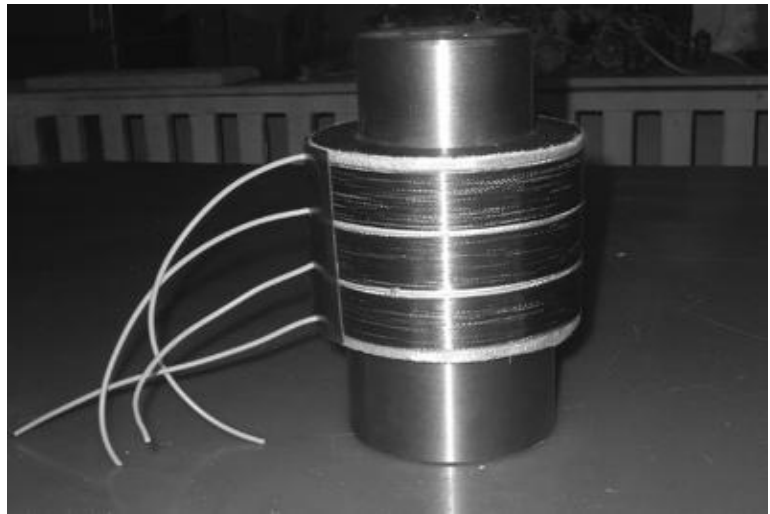


Рис.2. Зовнішній вигляд секціонованої вимірювальної обмотки

Як джерело живлення використано знижувальний трансформатор типу ТСЗІ-2,5УХЛ2. Індуктор приєднується до вторинної обмотки трансформатора напругою 15В через реостат РСП з номінальним струмом 7А. Реостат забезпечує можливість регулювання струму індуктора. Індуктор намотаний мідним ізольованим проводом ПЕВ діаметром 1мм. Кількість витків індуктора при його суцільному намотуванні в один ряд складає 51 од. Вимірювальна обмотка виконана ізольованим проводом ПЕВ діаметром 0,25 мм. Кожна секція обмотки $W=60$ витків. Між зовнішньою поверхнею втулки і вимірювальною обмоткою мається тонка ізоляційна плівка. Між індуктором та вимірювальною обмоткою також розміщена тонка плівка, що виконує роль діелектрика та теплоізолятора.

На рис. 2. наведено зовнішній вигляд секціонованої вимірювальної обмотки. З'єднання деталей виконано по замовленню автора роботи і являє собою втулку, посаджену на вал з натягом.

Діаметр сталюого вала 64 мм. Вал має бурт, діаметр якого складає 80 мм. Посаджена на вал втулка впирається в його бурт. Довжина вала дорівнює 160 мм. Внутрішній та зовнішній діаметри сталюї втулки складають відповідно 64 мм та 94 мм. Довжина зони, на якій зосереджені секції вимірювальної обмотки, $L=66$ мм. Вимірювання напруги на секціях обмотки здійснюється вольтметром Ц4317 випрямної системи. Для вимірювання струму в обмотці індуктора використаний трансформатор струму Т-066У3 та амперметр астатичний електромагнітної системи АСТ.



Рис.3. Зони виміру температури в здовж поверхні втулки вала

Для аналізу температурного режиму нагріву втулки на її боковій поверхні та поверхні вала, що безпосередньо прилягає до зони з'єднання із втулкою, виділені ділянки для вимірювання температури за допомогою інфрачервоного безконтактного пірометра ST20. Зони вимірювання покриті чорною фарбою, що забезпечує необхідну точність результатів вимірювання температури (рис. 3).

Безконтактний пірометр забезпечує точність вимірювання температури $\pm 0,8$ °С, що дозволяє виконувати експеримент у діапазоні порівняно низьких температур.

Перший етап проведення експерименту передбачав створення умов для вирівнювання напруженості поля вздовж поверхні втулки. Для цього здійснено суцільне намотування обмоток індуктора. При цьому загальна кількість витків обмотки склала 51 од. У табл.1 наведено результати вимірювань ЕРС в трьох секціях вимірювальної обмотки при різних значеннях струму в індукторі. Виходячи із існуючого зв'язку між ЕРС і напруженістю електричного поля на поверхні втулки [4], отримано відповідні значення E_e . Слід звернути увагу на те, що незважаючи на рівність кількості витків індуктора і вимірювальної обмотки, віднесених до кожної із секції, спостерігається відмінність виміряних ЕРС. Максимальні значення отримано в центрі втулки (секція II), дещо менші – по її краях, що свідчить про наявність крайового ефекту.

Таблиця 1

Результати вимірювань напруженості електричного поля E_e

Сила струму в індукторі	Параметри режиму	Секція вимірювальної обмотки		
		I	II	III
$I = 2$ А	Значення ЕРС, В	0,52	0,65	0,535
	Напруженість E_e , В/м	0,029	0,037	0,03
$I = 4$ А	Значення ЕРС, В	1,05	1,3	1,07
	Напруженість E_e , В/м	0,059	0,073	0,06

Крім того, відрізняються значення ЕРС двох крайніх секцій, що зумовлено наявністю бурта на валу, розташованого з боку секції III. Виходячи з того, що напруженості поля в секціях I та II відрізняються на 27% , то питомі потужності в цих зонах (вони пропорційні квадратам напруженостей) відрізняються на 61%. Це підтверджує доцільність процедури вирівнювання напруженості поля на поверхні втулки. Ступінь нерівномірності поля C_n [2] визначається за формулою:

$$C_n = \frac{\mathcal{E}_{u.макс} - \mathcal{E}_{u.мін}}{\mathcal{E}_u} \cdot 100\% ;$$

$$\mathcal{E}_u = \mathcal{E}_{uI} + \mathcal{E}_{uII} + \mathcal{E}_{uIII},$$

де $\mathcal{E}_{u.макс}$, $\mathcal{E}_{u.мін}$ – максимальне та мінімальне значення ЕРС, зміряних на окремих ділянках втулки; \mathcal{E}_u – ЕРС, наведена у вимірювальній обмотці.

Відповідно до табл.1 C_n склала: при струмі $I = 2$ А $C_n = 7,6\%$, при $I = 4$ А $C_n = 7,3\%$. Як бачимо, при різних струмах I , значення C_n практично не зміню-

ється. Врахуємо існуючу функціональну залежність між напруженостями електричного E_e та магнітного H_e поля на поверхні втулки:

$$\frac{E_e}{H_e} = \sqrt{2} \frac{r}{\Delta_e} \cdot f_2(n),$$

де r – питомий опір матеріалу втулки; Δ_e – глибина проникнення електромагнітної хвилі в циліндричну поверхню втулки; $f_2(n) = \sqrt[4]{2n|(n+1)}$; $n = 9,4$ (для вуглецевих сталей).

Оскільки в рамках проведеного експерименту (при однаковому струмі I) значення r , Δ_e не змінюються, то співвідношення між напруженостями електричного і магнітного полів не змінюються, тобто наведені значення нерівномірностей характерні не тільки для електричного поля, але й для магнітного.

Використовуючи методику отримання одновимірного магнітного поля, викладену в роботі [2], було розраховано необхідну кількість витків в окремих секціях індуктора і виконано його перемотування. Після завершення цієї операції здійснено вимірювання напруженостей електричного поля E_e при струмі в індукторі $I = 4$ А. Результати вимірювань занесено до табл. 2.

Таблиця 2

Напруженість електричного поля E_e після перемотування індуктора

Параметри режиму	Секція вимірювальної обмотки		
	I	II	III
Значення ЕРС, В	0,9	1	0,95
Напруженість E_e , В/м	0,051	0,056	0,054

Отже, розбіжності в значеннях E_e для секцій вимірювальної обмотки після перемотування індуктора зменшилися, а це свідчить про підвищення рівномірності напруженості поля. Визначена ступінь нерівномірності поля для отриманих значень E_e , тобто $C_n = 3,5\%$. Це свідчить про те, що значення C_n зменшилися удвічі одновимірність поля практично досягнута. При цьому кількість витків індуктора в секції II склала 7, а в секції III – 16, тобто крок намотування обмотки індуктора в цих секціях збільшено.

Виконані в лабораторних умовах експериментальні дослідження щодо забезпечення одновимірності магнітного поля на поверхні втулки підтверджують прийнятність розробленої методики для виконання практичних завдань безпосередньо в умовах проведення демонтажних робіт.

Другий етап проведення експерименту передбачає визначення (ідентифікацію) контактної теплової провідності a_e між втулкою і валом. Алгоритм ідентифікації цього параметра викладений в роботі [1]. Для визначення a_e здійснювався нагрів вала шляхом пропускання через індуктор струму частотою 50 Гц. Використаний індуктор із змінним кроком намотування обмотки, тобто з раніше отриманим значенням $C_n = 3,5\%$. Струм в індукторі $I = 7$ А.

Значення a_g повинно визначитися в стаціонарному режимі нагріву. Тому нагрівання здійснювалося протягом 30 хв, і потім з інтервалом у 10 хв вимірювалися температури $T_3, T_6, T_{6л}$ у визначених точках. Вимірювання здійснювалося безконтактним методом за допомогою пірометра з інфрачервоним променем. При проведенні експерименту температура нагріву втулки не перевищувала 50°C , тобто вимірювалися низькотемпературні режими. Результати визначення коефіцієнта a_g згідно з роботою [1] наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати вимірювання значень a_g в стаціонарному режимі нагріву

Тривалість нагріву, хв	30	40	50	60
Значення a_g , Вт/м ² ·°C	5500	5900	6600	6054

Із табл. 3 видно, що значення a_g в стаціонарному режимі нагріву практично не змінюється, а його коливання відносно середнього рівня ($a_g = 6014$ Вт/м²·°C) відбувається завдяки похибці, що виникає у процесі вимірювання. Таким чином, викладений в роботі [1] алгоритм ідентифікації параметра a_g слід вважати прийнятним для використання в практиці демонтажу з'єднань деталей.

Отримане із експерименту середнє значення параметра a_g свідчить про те, що в низькотемпературному режимі нагріву при значному натягу посадки існують сприятливі умови для передачі тепла від втулки до вала. Значення a_g значно (на два порядки) перевищує значення тепловіддачі із зовнішньої поверхні втулки a_3 , що дозволяє зробити припущення про відсутність втрат тепла з поверхні втулки і здійснювати на цій основі розрахунок необхідного значення питомої поверхневої потужності P_0 [1].

Висновки

1. Створення макету установки на конструктивній основі розробленого пристрою забезпечило можливість вирівнювання напруженості поля на поверхні втулки, ідентифікації значення контактної теплової провідності зони з'єднання втулки з валом. За результатами експерименту ступінь нерівномірності поля зменшилась вдвічі, а середнє значення контактної теплової провідності $a_g = 6014$ Вт/м²·°C.

2. Вимірювання значень температур на макеті установки в стаціонарному режимі нагріву з'єднання деталей і використання розробленого алгоритму розрахунку контактної теплової провідності між втулкою і валом забезпечує ідентифікацію цього параметра в умовах низькотемпературного нагріву, що важливо для застосування цього підходу при проведенні ремонтних робіт із демонтажу з'єднань.

Список літератури

1. Випанасенко Н.С. Определение удельной поверхностной мощности индукционного нагрева соединений деталей, выполненных посадкой с натягом [Текст]/ Н.С. Випанасенко // Вісн. Приаз. держ. техн. ун-ту. – 2008. – Вип. 18, ч.2. – С. 131– 136.
2. Дрешпак Н.С. Методика забезпечення однорідності магнітного поля в процесі демонтажу з'єднань циліндричних деталей [Текст]/ Н.С. Дрешпак // Гірн. електро-механіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2009. – Вип.82. – С. 21–27.
3. Пристрій для індукційного розпресовування деталей [Текст]: пат. 43365 Україна: МПК В23Р19/02 / Г.Г. Півняк, Н.С. Дрешпак; заявник та патентовласник Національний гірничий університет. – № u 2009 03180; заявл. 03.04.2009; опубл. 10.08.2009, Бюл.№15. – 4 с.
4. Немков В.С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева [Текст]/ В.С. Немков, В.Б. Демидович.-Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 280 с.

Рекомендовано до друку: доцентом Тарасенко В.Г.