

СПОСОБИ ЗАПОБІГАННЯ ФРЕТТИНГ-КОРОЗІЇ

Підтверджено електромагнітну природу фреттинг-корозії опорних валків стану 3000 в результаті зближення та зміщення атомів, однакового напрямку мікрострумів електронів контактуючих поверхонь і виникнення міжатомних сил зв'язків.

Встановлено механізм регулювання магнітного поля та розроблено процес намагнічування контактуючих поверхонь із протилежним напрямом силових ліній магнітного поля, концентрації магнітного поля та створення електромагнітних сил та магнітного тиску відштовхування, що запобігає фреттинг-корозію.

Опорні валки, які запобігають прогину та поломиці чавунних робочих валків, працюють в умовах високих питомих тисків. У процесі прокатки тиски різко зростають, внаслідок шорсткості поверхні та нерівномірності питомих тисків. У місці виступів площа контакту зменшується, питомі тиски зростають, що призводить до пластичної деформації, зближення атомів на міжатомну відстань, зварюванню поверхонь, що контактують, і фреттинг-корозії, природа якої повністю не встановлена.

Фреттинг-корозія призводить до зниження втомної міцності металу, тому вивчення природи та розробка способів запобігання фреттинг-корозії є важливою науково-технічною проблемою.

Ключові слова: *фреттинг-корозія, електромагнітна природа, індукція, електромагнітна сила, магнітний тиск, опорний валок.*

Постановка проблеми. Фреттинг-корозію пояснюють високими питомими тисками, під дією яких атоми контактуючих поверхонь зближуються на міжатомну відстань, і відбувається схоплювання [1]. Спочатку, при досягненні межі плинності, відбувається пластична деформація і розвиваються втомні явища, що супроводжуються утворенням мікротріщин. Існує теорія, згідно з якою одним з факторів виникнення фреттинг-корозії є невелика амплітуда відносного ковзання поверхонь, що контактують і реверсивне відносне мікро зміщення. Запропоновано молекулярну теорію фреттинг-корозії. Одним із факторів фреттинг-корозії розглядається кисень та утворення оксидів, що діють як абразив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найімовірніша електромагнітна природа фреттинг-корозії, що полягає у наступному. У процесі прокатки, під дією високих питомих тисків, які різко зростають внаслідок шорсткості поверхонь та зменшення площі контакту опорного валка та втулки-цапфи, при досягненні межі плинності, відбувається пластична деформація та зближення атомів. Під впливом мікрозміщень атоми контактуючих поверхонь зміщуються щодо друг друга. Напрямок мікрострумів електронів атомів контактуючих поверхонь стає однаковим. Створені мікрострумами електронів, що обертаються навколо ядра, магнітні поля протилежних напрямків взаємно знищуються і індукція між атомами контактуючих поверхонь стає рівною нулю. Провідники зі струмами однакового напрямку рухаються у бік меншого магнітного поля та виникають міжатомні сили зв'язку тяжіння, природа яких електромагнітна. Ефективним є заснований на використанні квантових процесів електромагнітної взаємодії атомів спосіб запобігання фреттинг-корозії за рахунок намагнічування контактуючих поверхонь опорного валка та втулки-цапфи з протилежним напрямом силових ліній магнітного поля та створення електромагнітних сил та магнітного тиску відштовхування, які діють на міжатомній відстані 10^{-10} м.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Відповідно до квантової теорії магнетизму [2], електрон володіє внутрішнім власним механічним моментом (спином) та відповідним магнітним моментом, крім звичайного орбітального моменту та відповідного йому магнітного.

За відсутності намагнічування спини електронів розорієнтовані і компенсують один одного. Сумарне магнітне поле при цьому дорівнює нулю. При намагнічуванні спини електронів орієнтуються вздовж силових ліній магнітного поля, створюють результуюче поле і феромагнетик намагнічується.

Для намагнічування деталей невеликих розмірів рекомендують використовувати соленоїд, зробити виток навколо деталі та пропускати струм [3]. Опорний валок стану 3000, діаметр бочки якого 2100 мм, довжина бочки 3000 мм, загальна довжина понад 8000 мм і маса 120 тон, неможливо намагнітити за допомогою соленоїда. У виробничих умовах встановлено, що при пропусканні струму величиною 4800 А по витку навколо опорного валка та з протилежним напрямком втулки-цапфи намагнічування та запобігання фреттинг-корозії не забезпечується.

Мета дослідження. Тому, метою дослідження є вивчення природи процесу та розробка способів запобігання фреттинг-корозії опорних валків стану 3000.

Фреттинг-корозія опорного валка стану 3000 є процесом зварювання. Під дією високих питомих тисків, що перевищують межу плинності, відбувається пластична деформація, видаляються окисні плівки і атоми зближуються на міжатомну відстань. В результаті мікрозміщень контактуючих поверхонь опорного валка і втулки-цапфи, за рахунок люфту в області шпонки, забезпечується зміщення шарів атомів і однаковий напрямок мікрострумів електронів, обертаються навколо ядра. Створені мікрострумами магнітні поля протилежних напрямів взаємно знищуються і індукція стає рівною нулю. Мікроструми рухаються у бік меншого магнітного поля, внаслідок чого виникають міжатомні сили зв'язків, відбувається зварювання та фреттинг-корозія, природа якої електромагнітна.

Основний матеріал дослідження. З аналізу фреттинг-корозії опорних валків стану 3000 випливає, що процес виникає внаслідок концентрації тиску на площі, яка значно менша від загальної площі контакту опорного валка і втулки-цапфи.

Для намагнічування контактуючих поверхонь опорного валка та втулки-цапфи та посилення магнітного поля встановлено механізм регулювання магнітного поля шляхом дослідження впливу на індукцію магнітопроводу зі струмом однакового напрямку.

Дослідження проводили шляхом моделювання процесу (рис.1) при пропусканні

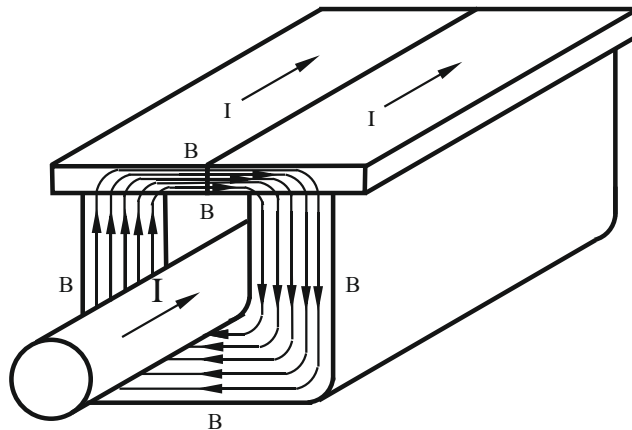


Рисунок 1 – Методика вимірювання поперечного магнітного поля в пластинах зі струмом однакового напрямку в магнітопроводі

Машинобудування і зварювальне виробництво

постійного струму 2100 А по пластинах $(8 \times 40 \times 300) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, з магнітопроводом $(20 \times 66 \times 60 \times 90) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, в якому протікає струм однакового напрямку зі струмом у пластинах та вимірювання індукції поперечного та поздовжнього магнітних полів тесламетром EM4305. Як джерело живлення використовували випрямляч ВМГ5000.

Як встановлено (рис.2), відповідно до принципу суперпозиції і внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля у магнітопроводі, що володіє великою магнітною проникністю, індукція поперечного поля зростає з максимального значення в пластинах 0,08 Т до 0,6 Т.

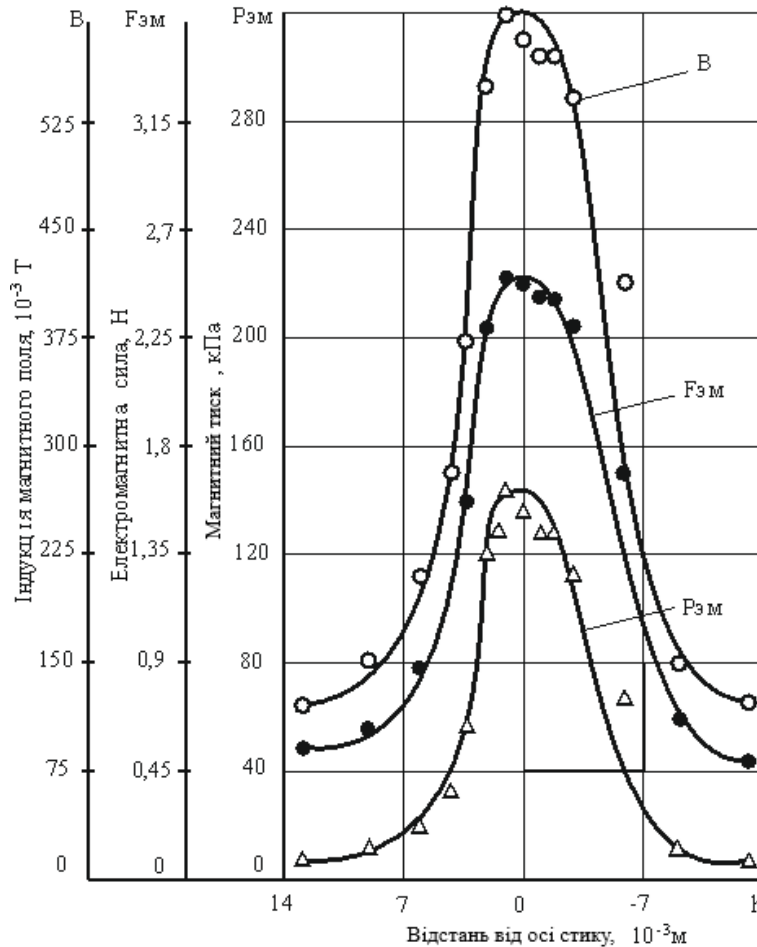


Рисунок 2 – Поперечне магнітне поле в пластинах $(8 \times 40 \times 300) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ зі струмом однакового напрямку у магнітопроводі $(20 \times 66 \times 60 \times 90) \cdot 10^{-3} \text{ м}$: зазор у стику $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; струм 2100 А

Розподіл поля змінюється, напрямок поперечного поля в пластинах не змінюється і максимальне значення індукції досягається на середині товщини пластин, що є результатом замикання силових ліній магнітного поля в магнітопроводі та створення замкнутого контуру. Тому, розподіл індукції в пластинах з магнітопроводом аналогічно трубі значно збільшується магнітний потік, який визначається площею.

Магнітний потік залежить від індукції B та поверхні S , зі збільшенням якої магнітний потік магнітопроводу $\Phi = BS$ зростає [4,5]. При постійному магнітному потоці індукція зі зменшенням площі збільшується. Тому, для підвищення індукції, необхідно зменшувати площу та концентрувати магнітну енергію.

Машинобудування і зварювальне виробництво

При пропусканні струму однакового напрямку в пластинах і магнітопроводі магнітний потік значно збільшується, за рахунок зменшення магнітного опору та принципу суперпозиції мікрострумів феромагнетика та струму, всередині магнітопроводу. При цьому, визначальним є струм усередині магнітопроводу, силові лінії якого замикаються в магнітопроводі, що має низький магнітний опір.

Пропорційно індукції, при протіканні струму однакового напрямку всередині магнітопроводу, зростають електромагнітна сила $F_{EM} = IBL$, Н [6,7] з 0,336 Н до 2,52 Н та у квадратичній залежності магнітний тиск

$$P_{EM} = \frac{B^2}{2\mu_0} \text{ Па [8] з 2,55 кПа до 143,3 кПа.}$$

При розташуванні магнітопроводу зі струмом однакового напрямку під пластинами максимальна індукція поздовжнього магнітного поля (рис.3), внаслідок концентрації силових ліній у магнітопроводі, що володіє великою магнітною проникністю, збільшилася з 0,051 Т до 0,09 Т. Закономірності розподілу поздовжнього і поперечного полів різні.

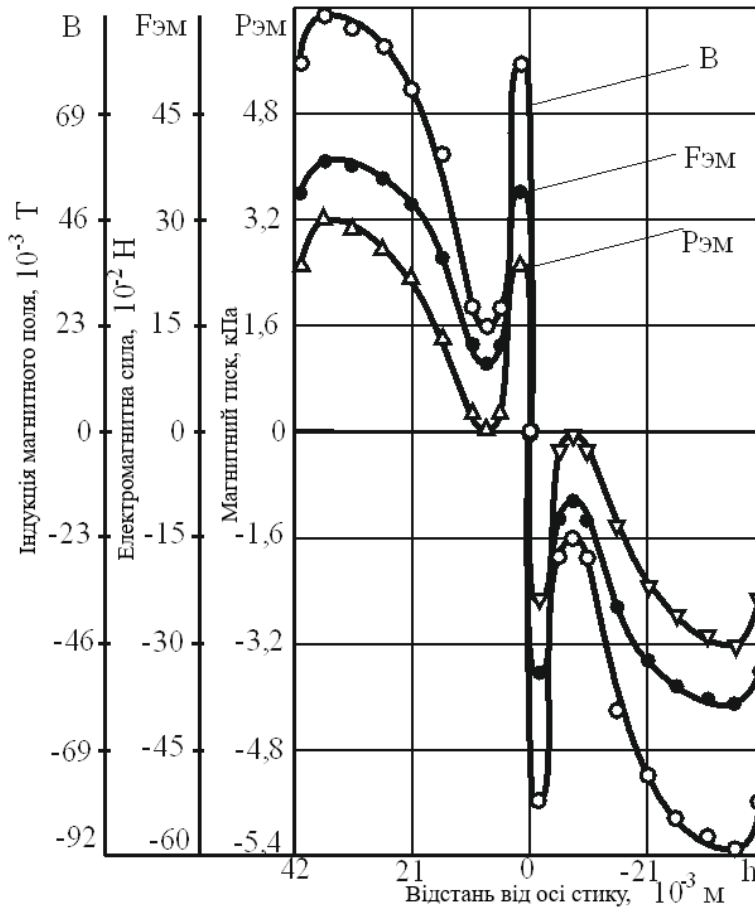


Рисунок 3 – Поздовжнє магнітне поле в пластинах $(8 \times 40 \times 300) \cdot 10^{-3}$ м зі струмом однакового напрямку у магнітопроводі $(20 \times 66 \times 60 \times 90) \cdot 10^{-3}$ м; зазор у стику $2 \cdot 10^{-3}$ м; струм 2100 А

На кромці пластини, внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля на феромагнетиці, індукція поля 0,078 Т. При наближенні до магнітопроводу індукція зростає, так як магнітопровід характеризується більшою магнітною проникністю, ніж пластини і досягає максимального значення на зовнішній кромці магнітопроводу 0,09Т. По товщині

магнітопроводу індукція поздовжнього магнітного поля знижується з 0,09 Т до 0,06 Т. У середині магнітопроводу індукція різко падає до 0,023Т на відстані 0,007 м від осі стику пластин. При наближенні до внутрішньої кромки пластини, внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля у феромагнетиці, індукція різко підвищується і досягає 0,078 Т на внутрішній кромці, як і на зовнішній кромці. При подальшому наближенні до осі стику, внаслідок великого магнітного опору у зазорі, індукція поздовжнього поля різко зменшується і стає рівною нулю на осі стику. При переході через вісь стику індукція змінює напрямок протилежне.

Закономірність розподілу індукції другою пластині аналогічна першій. Пропорційно змінюється величина та напрямок електромагнітної сили, яка на кромках пластини 0,33 Н, на зовнішній кромці магнітопроводу – 0,38 Н, мінімальна електромагнітна сила 0,1 Н. Магнітний тиск на кромках пластини 2,42 кПа, на зовнішній кромці магнітопроводу – 3,22 кПа.

Поздовжнє магнітне поле, яке визначає електромагнітні сили та магнітний тиск відштовхування, значно нижче поперечного поля, тому для намагнічування необхідно збільшити поздовжнє магнітне поле. Посилення магнітного поля, за рахунок підвищення величини струму, обмежене нагріванням кабелів та розплавленням контактів під дією тепла Джоуля-Ленца $Q=I^2Rt$ [5,6].

Найбільш ефективною є ідея та розроблені П.Л. Капицею [9] способи отримання сильних імпульсних магнітних полів, що дозволило підвищити індукцію до 50 Т. Розряджаючи батарею конденсаторів на соленоїд діаметром 0,001 м, П.Л. Капиця при струмі 7000 А і потужності 1000 кВт за 0,003 частки секунди, поки соленоїд не зруйнувався, отримав магнітне поле 50 Т. Основним способом посилення магнітного поля є концентрація магнітних полів за рахунок зменшення площі [9].

Для збільшення поздовжнього магнітного поля розроблено подвійний магнітопровід (рис.4), що складається з електротехнічної сталі зі струмом всередині, розташованого зверху і знизу пластин, по яких протікає струм однакового напрямку з магнітопроводом $(20 \times 66 \times 60 \times 90) \cdot 10^{-3}$ м. Для концентрації магнітного поля пластини розташовувалися одна над іншою, що зменшувало площу контакту пластин з магнітопроводом.

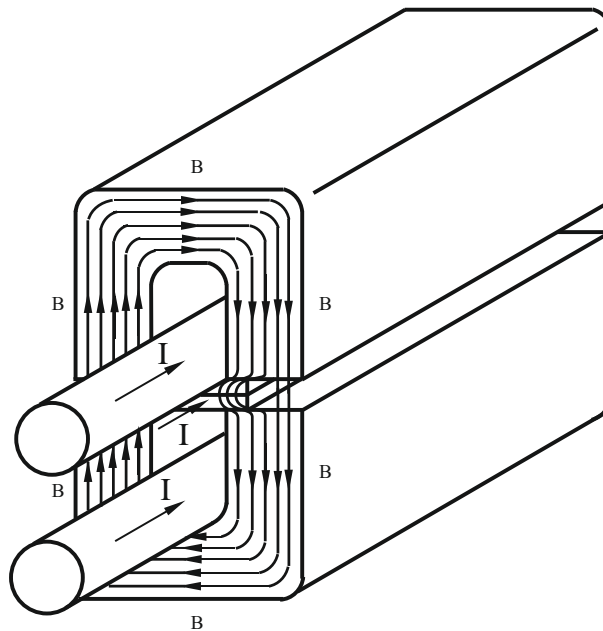


Рисунок 4 – Модель подвійного магнітопроводу

Машинобудування і зварювальне виробництво

При зменшенні площі контакту максимальна індукція магнітного поля зростає (рис.5), внаслідок концентрації силових ліній на феромагнітній пластині.

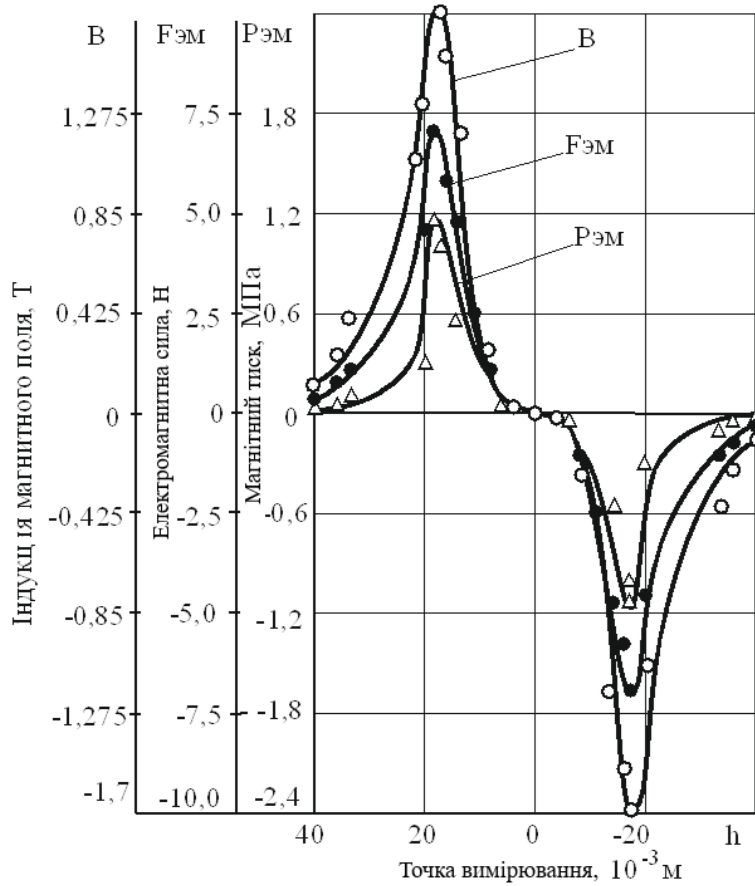


Рисунок 5 – Концентрація поздовжнього магнітного поля:
магнітопровід $(20 \times 66 \times 60 \times 90) \cdot 10^{-3}$ м; величина струму 2100 А;
пластини $(3,0 \times 40 \times 300) \cdot 10^{-3}$ м; повітряний зазор $6 \cdot 10^{-3}$ м

На відстані $7 \cdot 10^{-3}$ м від зовнішньої сторони магнітопроводу індукція поздовжнього магнітного поля дорівнює 0,15 Т. При наближенні до магнітопроводу індукція зростає, досягає на зовнішній стороні магнітопроводу 0,42 Т. При наближенні до кромки пластин індукція, внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля на феромагнітних пластинах, зростає до 1,05 Т та до 1,3 Т на кромці пластин. У місці контакту магнітопроводу з пластинами на відстані $3,5 \cdot 10^{-3}$ м від кромки пластин індукція різко зростає до 1,7 Т, а потім знижується до 1,15 Т на внутрішній стороні магнітопроводу і до нуля на осі магнітопроводу. Незважаючи на низьку магнітну проникність, частина силових ліній магнітного поля проходить повітрям. При переході через вісь магнітопроводу індукція змінює напрямок на протилежний і розподіляється аналогічно першій стінці магнітопроводу.

При розташуванні магнітопроводів зверху та знизу пластин, пропускання струму по двох пластинах $(3,0 \times 40 \times 300) \cdot 10^{-3}$ м та величині повітряного зазору $6 \cdot 10^{-3}$ м індукція

поздовжнього магнітного поля зросла з 0,09 Т до 1,7 Т (рис.5), що є результатом зменшення площі контакту пластин з магнітопроводом, концентрації силових ліній магнітного поля, принципу суперпозиції та зменшення магнітного опору в магнітопроводі. Максимальна індукція при цьому знаходиться на середині контакту магнітопроводу з пластинами. Крім того,

Машинобудування і зварювальне виробництво

при розташуванні магнітопроводу зверху і знизу в місці контакту пластин з магнітопроводом, відсутнє поперечне і створюється лише поздовжнє поле. Внаслідок концентрації, електромагнітна сила поздовжнього поля підвищилася з 0,38 Н до 7,14 Н, магнітний тиск зріс з 3,22 КПа до 1,15 МПа.

Таким чином, встановлені основні закономірності та механізм регулювання магнітного поля при протіканні постійного струму по виробу. Для збільшення поздовжнього магнітного поля розроблена конструкція подвійного магнітопроводу зі струмом всередині, розташованого зверху і знизу пластин, якими протікає струм однакового напрямку зі струмом в магнітопроводі. При цьому зменшується площа контакту пластин з магнітопроводом і різко зростає індукція поздовжнього магнітного поля, яке визначає електромагнітні сили, магнітний тиск відштовхування та запобігає фреттинг-корозію опорного валка та втулки-цапфи.

На підставі проведених досліджень встановлено закономірності та розроблено механізм регулювання магнітного поля, які дозволили використовувати квантові процеси електромагнітного відштовхування для запобігання заварюванню, шляхом намагнічування контактуючих поверхонь опорного валка та втулок-цапф із протилежним напрямком силових ліній.

Виникнення електромагнітних сил відштовхування підтверджено при моделюванні за допомогою феромагнітного порошку, який встановлюється вздовж силових ліній магнітного поля. При наближенні однойменних полюсів феромагнітний порошок, унаслідок протилежного напрямку силових ліній відхиляється і полюси відштовхуються один від одного. Зі зменшенням відстані між полюсами електромагнітна сила відштовхування зростає і в квадратичній залежності підвищується магнітний тиск відштовхування, що свідчить про ефективність намагнічування поверхонь, що контактують.

На підставі проведених досліджень встановлено, що найбільш ефективно підвищується магнітне поле при протіканні струму всередині та концентрації силових ліній у подвійному магнітопроводі. В результаті зростають електромагнітна сила і магнітний тиск (рис.6), який визначає електромагнітне відштовхування, запобігає заварюванню поверхонь, що контактують і фреттинг-корозію.

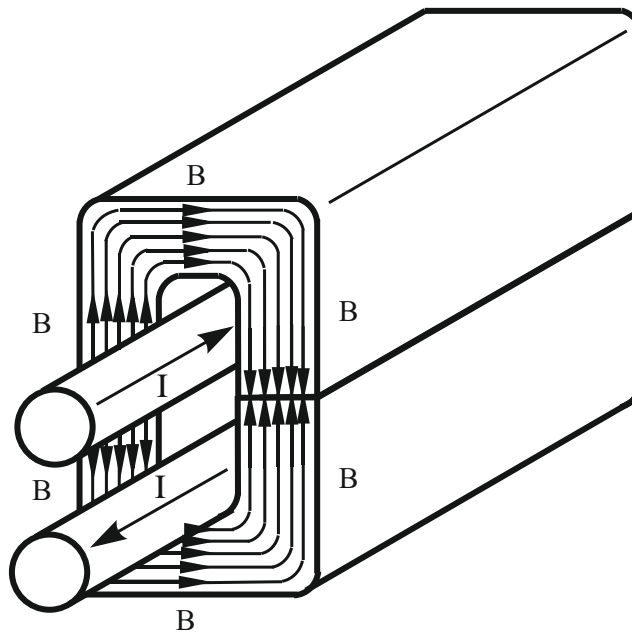


Рисунок 6 – Силові лінії магнітного поля відштовхування

Машинобудування і зварювальне виробництво

Для концентрації магнітного поля та електромагнітної обробки контактуючих поверхонь опорного валка та втулки-цапфи намагнічування проводиться ділянками, розміри яких дорівнюють довжині та ширині магнітопроводу.

Ефективність електромагнітного запобігання фреттинг-корозії підтверджена у виробничих умовах обробки опорного валка та втулки-цапфи стану 3000.

ВИСНОВКИ

1. Підтверджена електромагнітна природа фреттинг-корозії, під дією високих питомих тисків, що зростають внаслідок зменшення площі контакту в місці виступів, мікрозміщень атомів контактуючих поверхонь, однакового напрямку мікрострумів електронів, що обертаються навколо ядра, взаємного знищення магнітних полів, руху електронів у бік меншого магнітного поля та виникнення міжатомних сил зв'язків.

2. Ефективним способом підвищення індукції поздовжнього поля, електромагнітної сили та в квадратичній залежності магнітного тиску є концентрація силових ліній за рахунок зменшення площі та магнітного опору, за допомогою подвійного магнітопроводу, всередині якого протікає струм, так як при цьому всі силові лінії концентруються в магнітопроводі, що володіє великою магнітною проникністю.

3. Розроблено спосіб запобігання фреттинг-корозії, за рахунок створення електромагнітних сил відштовхування, шляхом намагнічування контактуючих поверхонь опорного валка і втулки-цапфи з протилежним напрямком силових ліній магнітного поля, за допомогою концентрації поля, що в квадратичній залежності посилює магнітний тиск відштовхування і ефективно запобігає фреттинг-корозію.

Список використаних джерел

1. Голєго Н.Л., Аляб'єв А.Я., Шевеля В.В. Фреттинг-корозія металів. - К.: Техніка, 1974. - 272 с.
2. Уайт Р. Квантова теорія магнетизму. Пров. з англ. - К.: Світ, 1985. - 304с.
3. Вонсовський С.В. Магнетизм. - К.: Наука, 1984. - 208с.
4. Бінс К. та Лауренсон П. Аналіз та розрахунок електричних та магнітних полів. Перкл. з англ. К.: Енергія. - 1970. - 376с.
5. Зільберман Г.Є. Електрика та магнетизм. - К.: Наука, 1970. - 383с.
6. Безсонов Л.А. Теоретичні засади електротехніки. Електромагнітне поле. - К.: Гардаріки, 2001. - 317 с.
7. Абрамович Г.П. Прикладна газова динаміка - К.: Наука, 1969. - 824с
8. Паркінсон Д., Малхолл Б. Отримання сильних магнітних полів - К.: Атоміздат, 1971. - 198 с.
9. Електротехніка / За ред. В.С. Пантюшина. - К.: Машинобудування, 1976. - 560 с.

Volenko I.V., Shchetynina V.I., Shchetynin S.V., Desyatskyi S.P.

METHODS OF FRETTING-CORROSION PREVENTION

The electromagnetic nature of fretting corrosion of the support rolls of the 3000 mill has been confirmed as a result of the convergence and displacement of atoms, the same direction of the electron microcurrents of the contacting surfaces and the emergence of interatomic bonding forces.

A mechanism for regulating the magnetic field has been established and a process for magnetizing the contacting surfaces with the opposite direction of the magnetic field lines, concentrating the magnetic field and creating electromagnetic forces and magnetic repulsion pressure, which prevents fretting corrosion, has been developed.

Support rolls, which prevent deflection and breakage of cast iron work rolls, operate under conditions of high specific pressures. During the rolling process, the pressures increase sharply due to surface roughness and uneven specific pressures. At the location of the protrusions, the contact area decreases, the specific pressures increase, which leads to plastic deformation, the convergence of atoms to the interatomic distance, welding of the contacting surfaces, and fretting corrosion, the nature of which has not been fully established.

Fretting corrosion leads to a decrease in the fatigue strength of the metal, therefore, studying the nature and developing methods for preventing fretting corrosion is an important scientific and technical problem.

Keywords: *fretting corrosion, electromagnetic nature, induction, electromagnetic force, magnetic pressure, support roll.*

Стаття надійшла 20.10.2024р.

УДК 544.537:669.715

doi.org/10.31498/2522-9990282024318351

Лютова О.В., Капустян О.Є.

ПІДВИЩЕННЯ ЛИВАРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ

Робота присвячена підвищенню ливарних властивостей вторинних силумінів. Розглянуто вплив вмісту стружки в шихті, кількості заліза в сплаві та модифікатора, що використовується для обробки рідкого розплаву, на рідину, лінійну усадку, тріщиностійкість і бал пористості силуміну АК9М2. Алюміній є ключовим матеріалом сучасної промисловості, який активно використовується в багатьох галузях завдяки своїм унікальним властивостям: легкості, високій корозійній стійкості, питомій міцності, теплопровідності та технологічності. Його застосування охоплює автомобілебудування, авіацію, будівництво, електротехніку та інші сфери. Однак виробництво первинного алюмінію пов'язане зі значними витратами енергії та високим рівнем екологічного забруднення. У зв'язку з цим усе більшої ваги набуває вторинна переробка алюмінію, особливо у виготовленні силумінів — сплавів на основі алюмінію з кремнієм, що відзначаються широкими можливостями застосування.

Однак вторинні алюмінієві сплави мають певні недоліки. Через наявність домішок, таких як залізо, кальцій чи інші неметали, їх механічні та технологічні властивості можуть бути значно обмеженими. Для покращення характеристик таких сплавів застосовують рафінування й модифікування. Методи рафінування спрямовані на очищення металу від неметалевих включень і розчинених газів. Серед основних підходів — відстоювання, обробка флюсами, продування інертними газами й фільтрація через спеціальні системи.

Модифікування структури сплаву відбувається за допомогою введення легувальних компонентів, зокрема перехідних металів, стронцію, титану, бору, сурми. Такі добавки дозволяють контролювати процес кристалізації, зменшуючи розміри зерен і рівномірно розподіляючи частинки зміцнюючої фази, що позитивно впливає на міцність, пластичність і ливарні властивості.