

Машинобудування і зварювальне виробництво

Under modern conditions of Ukraine's recovery, the issue of increasing the reliability and service life of such components is of particular importance. This is associated with the need to ensure the uninterrupted operation of transport infrastructure, in particular railway transport, which plays a key role in the transportation of goods, materials, and equipment. At the same time, the manufacture of new cylinder heads is a complex and costly process that requires significant material and energy resources.

In this regard, the development and implementation of effective repair technologies for component restoration are of great practical importance, as they allow significant cost reduction, shorter repair times, and increased service life of units.

It is advisable to apply modern methods for modeling the stress-strain state, optimizing thermal operating conditions, as well as implementing effective restoration technologies, in particular cladding, electric arc spraying with heat-resistant materials for repairing the specified structure.

Thus, increasing the durability of cylinder heads is not only a technical issue but also an important economic and strategic task in the context of restoring Ukraine's industrial potential.

Keywords: *locomotive diesel engine, restoration, electric arc spraying, reliability, service life, metallization coating.*

Стаття надійшла 12.03.2026р.

Стаття прийнята 16.03.2026р.

Стаття опублікована 30.04.2026р.

131 – Прикладна механіка

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990312026359298

Щетиніна В.І., Воленко І.В.

ФРЕТТІНГ-КОРОЗІЯ ОПОРНОГО ВАЛКА І ВТУЛКИ-ЦАПФИ

Природа міжатомних зв'язків електромагнітна. Електрони, що обертаються навколо ядра, створюють мікротоки, напрямок яких в сусідніх атомів однаковий. Мікроструми створюють магнітні поля протилежних напрямків, які взаємно знищуються, поле стає рівним нулю, атоми рухаються в сторону меншого магнітного поля і виникають міжатомні зв'язки, які при зменшенні міжатомної відстані зростають. При протіканні по пластинках постійного струму однакового напрямку, пластини притягуються, що підтверджує електромагнітну природу міжатомних зв'язків. При протіканні по пластинках струмів протилежних напрямків, пластини відштовхуються, що попереджує фреттінг-корозію.

Фреттінг-корозія – процес зварювання контактуючих металевих поверхонь, під дією високих питомих тисків і зсувів, що забезпечує зближення атомів, видалення оксидів, орієнтацію мікрострумів однакового напрямку сусідніх атомів, створення магнітних полів протилежних напрямків, взаємне знищення індукції між атомами, виникнення магнітного тиску тяжіння, скорочення міжатомних відстаней та підвищення міжатомних зв'язків. Для попередження фреттінг-корозії, розроблено спосіб електромагнітної обробки опорного валка і втулки-цапфи, при якому контактуючі поверхні намагнічують, з протилежним напрямком силових ліній магнітного поля, що створює магнітний тиск відштовхування і попереджує фреттінг-корозію. Зі зменшенням відстані між атомами контактуючих поверхонь, під дією високих питомих тисків, під час прокатки металу, індукція зростає та в квадратичній залежності зростає магнітний тиск.

Машинобудування і зварювальне виробництво

При електромагнітній обробці вся поверхня розбивається на ділянки, рівні площі магнітопроводу, що концентрує та підвищує магнітну енергію. Зі зростанням перерізу зростає магнітний потік і намагнічування, тому, для підвищення магнітного тиску, необхідно збільшувати перетин магнітопроводу. У процесі електромагнітного намагнічування, при протіканні струму в середині, магнітопровід притягується до поверхні, що обробляється. Спини електронів оброблюваної поверхні орієнтуються вздовж силових ліній магнітного поля, створюваного струмом, що забезпечує намагнічування оброблюваних поверхонь. Збільшення магнітного поля та намагнічування забезпечується за рахунок концентрації магнітного поля, за допомогою магнітопроводу, зменшення зазору, площі електромагнітного тиску розташування магнітопроводу на початку під гострим кутом. Магнітопровід забезпечує замикання силових ліній поля у феромагнетику, зниження магнітного опору та збільшення індукції поля. Зменшення площі підвищує індукцію, електромагнітний тиск і посилює намагнічування оброблюваної поверхні.

Магнітне поле посилюється, при зменшенні зазору в магнітопроводі та магнітного опору, тому поверхня виконана по контуру оброблюваної деталі. Для обробки шийок опорного валка, поверхня магнітопроводу виконана увігнутою, а для обробки втулок-цапф – опуклою. Особливо зростає індукція та магнітний тиск, при розташуванні магнітопроводу на оброблюваній поверхні під гострим кутом. При цьому, контакт магнітопроводу з оброблюваною поверхнею здійснюється лише на початку. При включенні струму та створенні магнітного поля, силові лінії концентруються у місці контакту магнітопроводу з оброблюваною поверхнею. В результаті, різко зростає індукція магнітного поля та намагнічування поверхні. При цьому, упор, що утримує другий кінець магнітопроводу, під дією струму видаляється, і магнітопровід притягується до поверхні, що оброблюється, точка контакту і максимум індукції магнітного поля переміщуються вздовж оброблюваної поверхні. Після обробки однієї ділянки, деталь повертається на ширину магнітопроводу і проводиться обробка наступної ділянки всієї поверхні.

Розроблено, спосіб електромагнітної обробки опорного валка і втулки-цапфи, при якому контактуючі поверхні намагнічують, з протилежним напрямком силових ліній магнітного поля, що створює магнітний тиск відштовхування, який при прокатці, під дією високих питомих тисків концентрує магнітну енергію, посилює поле і попереджує фреттінг-корозію, що забезпечує зниження трудомісткості та собівартості металу.

Ключові слова: фреттінг-корозія, опорний валок, втулка-цапфа, електромагнітна природа, магнітна енергія, контактуючі поверхні намагнічують з протилежним напрямком магнітних полів, відштовхування, магнітопровід під гострим кутом, концентрація магнітної енергії, магнітний тиск.

Постановка проблеми. Фреттінг-корозія контактуючих металевих поверхонь, під дією високих питомих тисків і зсувів при прокатуванні товстого металу, призводить до утруднення зняття втулки-цапфи з опорного валка, за допомогою гідропресу. Тому, розробка способу запобігання фреттінг-корозії є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фреттінг-корозія опорного валка і втулки-цапфи в умовах прокатного виробництва відрізняється від найбільш відомих видів. Прокатка товстого металу проводиться при значних питомих тисках, що зближує атоми контактуючих поверхонь на міжатомну відстань. При цьому, зростають міжатомні зв'язки і втулка-цапфа зварюється з опорним валком. Однак, фреттінг-корозію опорного валка і втулки-цапфи досліджено недостатньо [1-7].

Мета досліджень. Дослідження фреттінг-корозії контактуючих металевих поверхонь і розробка способу запобігання фреттінг-корозії при прокатуванні металу.

Основний матеріал дослідження. Магнітне поле при протіканні струму провідником,

Машинобудування і зварювальне виробництво

вивчено Р.М.Уайтом[1] на високому науковому рівні. Природа міжатомних зв'язків електромагнітна [2]. Електрони, що обертаються навколо ядра, створюють мікроструми, напрямок яких в сусідніх атомах однаковий. Мікроструми створюють магнітні поля протилежних напрямків, які взаємно знищуються, поле стає рівним нулю, атоми рухаються в сторону меншого магнітного поля і виникають міжатомні зв'язки, які при зменшенні міжатомної відстані зростають.

На основі дослідження магнітного поля і кінозйомки встановлено, що при протіканні пластинами $(8 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$ м постійного струму однакового напрямку пластини притягуються, що підтверджує електромагнітну природу міжатомних зв'язків.. При протіканні пластинами струмів протилежних напрямків, пластини відштовхуються, що попереджує фреттінг-корозію.

Фреттінг-корозія – процес зварювання контактуючих металевих поверхонь під дією високих питомих тисків і зсувів, що забезпечує зближення атомів, видалення оксидів, орієнтацію мікрострумів однакового напрямку сусідніх атомів, створення магнітних полів протилежних напрямків, взаємне знищення індукції між атомами, виникнення магнітного тиску тяжіння, скорочення міжатомних відстаней та підвищення міжатомних зв'язків. В результаті фреттінг-корозії втулка-цапфа зварюється з конічною шийкою опорного валка і важко зняти втулку-цапфу за допомогою гідропреса. На поверхні залишаються сліди розриву міжатомних зв'язків, які зачищаються шліфмашинкою, що є трудомісткою операцією і посилює фреттінг-корозію, внаслідок нерівності поверхонь. Розбирання опорного валка необхідне для наплавлення та повного видалення тріщин з поверхні перед наплавленням.

Для запобігання прогину та полумок чавунних робочих валків, прокатка металу проводиться з опорними валками (рис.1), що зазнають значних тисків: метал – метал.

Бандажований опорний валок стану 3000 – циліндрична конструкція, що складається з осі і бандажа, одягненого з натягом, за рахунок нагрівання і збільшення діаметра бандажа. При охолодженні, діаметр бандажа зменшується, що призводить до виникнення власної напруги і обмежує зварювальні напруги. Діаметр бочки бандажованого опорного валка 2100 мм, мінімально допустимий діаметр 1950 мм, діаметр вісі 1595 мм, довжина бочки 2980 мм, загальна довжина 8350 мм і маса 120 Т .

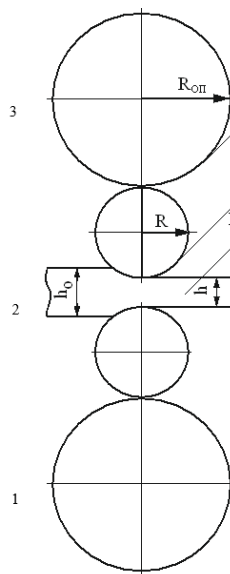


Рисунок 1 – Процес прокатки товстого листа товщиною до 30 мм
де 1 – опорний валок; 2 – робочий валок; 3 – метал, що прокочується

Машинобудування і зварювальне виробництво

Опорні валки експлуатуються в складному напруженому стані, викликаного спільним впливом залишкових напруг, теплових навантажень і крутного моменту.

Відповідно до закону Біо-Сав'яру, індукція магнітного поля, що представляє концентричні кола навколо струму, B прямо пропорційна струму I і обернено пропорційна відстані R від струму [3]:

$$B = \mu \frac{I}{2\pi R}$$

Тиск магнітного поля прямо пропорційний квадрату струму, індукції B та обернено пропорційний магнітній проникності ферромагнетика μ [3]:

$$P_{EM} = \frac{B^2}{2\mu} \text{ Па},$$

Індукція визначає тиск магнітного поля і в значній мірі процес намагнічування.

Для дослідження магнітного поля струму, що тече виробом, розроблено методику, згідно якої до виробу підводяться струмоведучі кабелі. В зазорі стику розміщується зонд тесламетра. Пластинами пропускається струм, проводяться вимірювання індукції магнітного поля тесламетром EM4305. Розміри датчика Холла, діаметром $1 \cdot 10^{-3}$ м і зонда $1 \times 5 \times 80 \cdot 10^{-3}$ м, дозволяють вимірювати величину і розподіл індукції в зазорі стику. Зонд встановлюється таким чином, щоб силові лінії магнітного поля входили в датчик. Напрямок силових ліній магнітного поля визначається за правилом буравчика, з урахуванням напрямку струму від плюса до мінусу.

При дослідженні магнітного поля, за допомогою залізного порошка, який насипається на ватман рівним шаром, при протіканні струму в магнітопроводі, залізний порошок орієнтується вздовж силових ліній магнітного поля, які виходять на поверхню і піднімаються над поверхнею, забезпечує намагнічення і попередження фреттінг-корозії. Напрямок намагнічування визначається напрямком струму, що тече в магнітопроводі, та повинен бути протилежним, при намагнічуванні опорного валка і втулки-цапфи.

Для попередження фреттінг-корозії, розроблено спосіб електромагнітної обробки опорного валка і втулки-цапфи, при якому контактуючі поверхні намагнічують з протилежним напрямком силових ліній магнітного поля, що створює магнітний тиск відштовхування і попереджує фреттінг-корозію. Зі зменшенням відстані між атомами контактуючих поверхонь, під дією високих питомих тисків при прокатці металу, індукція зростає та в квадратичній залежності підвищується відштовхування.

Силові лінії магнітного поля, прагнучі пройти шляхом найменшого опору, замикаються в магнітопроводі з електротехнічної сталі, з низьким магнітним опором. Проведені дослідження магнітного поля дозволили встановити, що найбільш ефективно зростання індукції, при розташуванні струмоведучого елемента в середині магнітопровода, коли всі силові лінії магнітного поля, концентруються в феромагнетик, та індукція поля зростає.

При електромагнітної обробки вся поверхня розбивається на ділянки, рівні площі магнітопроводу, що концентрує та підвищує магнітну енергію. Ширина магнітопроводу визначається перерізом електротехнічної сталі та шириною паза. Зі зростанням перерізу, зростає магнітний потік і намагнічування, тому, для підвищення магнітного тиску, необхідно збільшувати перетин магнітопроводу.

У процесі електромагнітного намагнічування, при протіканні струму всередині, магнітопровід притягується до поверхні, що обробляється. Спини електронів поверхні, що обробляється, орієнтуються вздовж силових ліній магнітного поля, створеного струмом, що забезпечує намагнічування оброблюваних поверхонь. Збільшення магнітного поля та намагнічування забезпечується за рахунок підвищення струму, концентрації магнітного поля,

Машинобудування і зварювальне виробництво

за допомогою магнітопроводу, зменшення зазору, площі електромагнітного тиску розташування магнітопроводу на початку, під гострим кутом.

Магнітопровід забезпечує замикання силових ліній поля у феромагнетику, зниження магнітного опору та збільшення індукції поля. Зменшення площі підвищує індукцію, електромагнітний тиск і посилює намагнічування оброблюваної поверхні. Магнітне поле посилюється при зменшенні зазору в магнітопроводі та магнітного опору, тому поверхня виконана по контуру оброблюваної деталі. Для обробки шийок опорного валка, поверхня магнітопроводу виконана увігнутою, а для обробки втулок-цапф опуклою.

Для збільшення індукції магнітного поля при намагнічуванні, необхідно використовувати мідні шини, які забезпечують максимальне наближення до поверхні, що обробляється. При протіканні струму провідником, індукція на осі провідника зі струмом максимальна, так як електрони струму, що рухаються, відкидають і орієнтують спини електронів на поверхні в напрямку, що визначається за правилом буравчика. Це впливає з електромагнітної природи міжатомних зв'язків, які виникають на міжатомній відстані і створюються електронами, що рухаються навколо ядра. Зі зменшенням відстані, індукція магнітного поля зростає. Особливо посилюється магнітне поле при зближенні атомів на міжатомну відстань, під дією контактних тисків в області поверхонь втулки-цапфи і опорного валка. При електромагнітній обробці, це дозволяє забезпечити виникнення максимального тиску відштовхування і запобігти фреттінг-корозію втулки-цапфи і опорного валка.

Встановлено, що індукція та магнітний тиск зростають, при розташуванні магнітопроводу на оброблюваній поверхні під гострим кутом. При цьому, контакт магнітопроводу з оброблюваною поверхнею здійснюється лише на початку. При включенні струму та створенні магнітного поля, силові лінії концентруються у місці контакту магнітопроводу з оброблюваною поверхнею. В результаті, різко зростає індукція магнітного поля та намагнічування поверхні. При цьому, упор, що утримує другий кінець магнітопроводу, під дією струму видаляється і магнітопровід притягується до поверхні, що оброблюється, точка контакту і максимум індукції магнітного поля переміщуються вздовж оброблюваної поверхні. Після обробки однієї ділянки, деталь повертається на ширину магнітопроводу і проводиться обробка наступної ділянки всієї поверхні.

Розроблено, заснований на квантових процесах взаємодії атомів, спосіб електромагнітної обробки опорного валка і втулки-цапфи, при якому контактуючі поверхні намагнічують, з протилежним напрямком силових ліній магнітних полів, що створює магнітний тиск відштовхування, який в процесі прокатки, під дією високих питомих тисків, зменшення площі оброблювальної поверхні та магнітопроводу, розташованого під гострим кутом, концентрує магнітну енергію, посилює поле і попереджує фреттінг-корозію, що забезпечує зниження трудомісткості та собівартості метала.

Основна закономірність тиску зварювальної дуги, яка характерна для всіх процесів, зі зменшенням площі тиск зростає, призводить до зварювання втулки-цапфи з опорним валком, утворенню фреттінг-корозії та проблемам зняття втулки-цапфи з опорного валка на гідропресі.

Ефективність концентрації доказана при збільшенні магнітного поля для намагнічування контактуючих поверхонь опорного валка і втулки-цапфи. Для намагнічування валка рекомендується, створити виток навколо і пропустити струм. Однак, магнітне поле при цьому не забезпечує намагнічування поверхні опорного валка.

Для намагнічування контактуючих поверхонь опорного валка і втулки-цапфи використовується магнітопровід з електротехнічної сталі, перетином $50 \times 120 \times 120 \times 245 \times 10^{-3}$ м, з шириною паза 0,02 м і глибиною 0,052 м, який забезпечує розташування струму в середині магнітопроводу з високою магнітною проникністю, замикання силових ліній поля у

Машинобудування і зварювальне виробництво

феромагнетику, зниження магнітного опору та збільшення індукції поля. При електромагнітній обробці вся поверхня розбивається на ділянки $0,12 \times 0,245$ м, що забезпечує зменшення площі і збільшення магнітного тиску відштовхування.

Магнітопровід, зі струмоведучим елементом з мідного кабеля чи мідної шини, підводиться до оброблювальної поверхні. По струмоведучому елементу пропускається постійний струм величиною 5000 А, протягом 3-х секунд. При протіканні струму всередині, магнітопровід притягується до оброблювальної поверхні. Спини електронів оброблювальної поверхні орієнтуються вздовж силових ліній магнітного поля, створеного струмом, що забезпечує намагнічування оброблювальних поверхонь.

Після обробки однієї ділянки, магнітопровід відводиться від намагнічуваної поверхні, валок повертається на 0,12 м. Магнітопровід підводиться до оброблювальної поверхні та пропускається струм. Процес повторюється до повної обробки всієї поверхні опорного валка. Аналогічно проводиться обробка поверхні втулки-цапфи. При намагнічуванні поверхонь опорного валка і втулок-цапф напрямки силових ліній магнітного поля повинні бути протилежними, що забезпечує виникнення магнітного тиску відштовхування, під дією якого відштовхуються атоми контактуючих поверхонь і попереджує фреттінг-корозію.

Намагнічування поверхні шийок опорного валка проводиться на вальцетокарному станку важкого типу КЖ-1675-Ф1, на супорті якого встановлено магнітопровід. Електротехнічна сталь магнітопровода, що використовується для обробки поверхонь конічних шийок опорного валка, має вгнуту поверхню, виконану по радіусу шийок. Перед обробкою проводиться розмітка поверхні конічних шийок по периметру, в області більшого діаметра та по довжині. Розмітка проводиться крейдою, шляхом обертання опорного валка. По периметру розмітка проводиться з шириною, рівною ширині магнітопровода – 0,12 м. За допомогою супорта токарного станка, магнітопровід встановлюється в області більшого діаметра конічної шийки, згідно розмітки і магнітопровід впритул підтискається до поверхні, що обробляється.

За допомогою дистанційного керування, при натисканні кнопки "Пуск", вмикається джерело живлення ВМГ-5000, магнітопровід притягується до валку, по магнітопроводу, протягом 3-х секунд, пропускається постійний струм 5000 А і проводиться намагнічування поверхні конусної шийки, з напрямком силових ліній, протилежним напрямку силових ліній намагнічування втулки-цапфи. Натисканням кнопки "Стоп" виключається джерело живлення, супорт відводиться від поверхні і переміщується по довжині конічної шийки, для обробки наступної ділянки. Після обробки поверхні по всій довжині, супорт повертається в вихідне становище в області більшого діаметра конічної шийки. Валок обертається і встановлюється згідно розмітки. Аналогічно проводиться обробка конічної шийки опорного валка по всієї поверхнею. Після обробки однієї шийки проводиться обробка другої шийки і опорний валок подається на зборку з втулками-цапфами.

Електромагнітна обробка поверхні втулки-цапфи проводиться на площі токарного станка, за допомогою поворотної консолі та тельфера. Магнітопровід з випуклою поверхнею електротехнічної сталі кріпиться на тельфері в вертикальному положенні таким чином, щоб виводи мідних шин розташовувались вверху. Підключення кабелей проводиться до мідних шин, з урахуванням напрямку струму від плюса до мінусу та намагнічування поверхні втулки-цапфи, з протилежним напрямком силових ліній, намагнічування конічних шийок опорного валка. Поверхня втулки-цапфи попередньо розмічається по периметру з боку більшого діаметра з розміром, рівним ширині магнітопровода і по висоті з розміром, рівним довжині магнітопровода.

Магнітопровід за допомогою тельфера вводиться в середину втулки-цапфи, встановлюється, згідно з розміткою і підтискається дерев'яним упором до поверхні, що обробляється. По магнітопроводу пропускається струм величиною 5000 А протягом 3-х секунд, і проводиться намагнічування поверхні. Після намагнічування однієї ділянки

Машинобудування і зварювальне виробництво

магнітопровід піднімається вертикально нагору, встановлюється на наступну ділянку і аналогічно проводиться намагнічування цієї ділянки. Після обробки всієї вертикальної поверхні, магнітопровід опускається вниз і зміщується по периметру, згідно з розміткою. Аналогічно проводиться намагнічування всієї поверхні та іншої втулки-цапфи.

На підставі дослідно-промислової експлуатації оброблених втулок-цапф та опорного валка, який прокатав у чистовій кліті 91 878 000 кг металу, встановлено, що намагнічування контактних поверхонь з протилежним напрямом силових ліній запобігає фреттінг-корозії. Після експлуатації, при розбиранні опорного валка, втулки-цапфи знялися легко при тиску 7,84 МПа, що значно менше граничного значення, необхідного для розбирання опорних валків без фізичної обробки контактних поверхонь. Контактні поверхні опорного валка та втулок-цапф після експлуатації гладкі, чисті, без фреттінг-корозії. Це підтверджує ефективність намагнічування для запобігання фреттінг-корозії. Після підготовки опорний валок завалений в кліть без додаткової обробки контактних поверхонь. Застосування розробленого процесу намагнічування контактних поверхонь, з протилежним напрямом магнітних полів, запобігає фреттінг-корозію, знижує трудомісткість і собівартість металу.

Ефект зварювання під дією високих тисків доцільно використовувати для виготовлення двошарової сталі. По розташованим під гострим кутом вуглецевої та плакуючої сталі пропускають постійний струм однакового напрямку, виникає магнітний тиск тяжіння, атоми зближуються на міжатомну відстань, і утворюється двошарова сталь.

Встановлені закономірності, з урахуванням регулювання магнітного поля дуги, теоретичних основ магнітного поля та механізму підвищення тріщиностійкості, рекомендується використовувати для розробки нових процесів зварювання та наплавлення.

Розроблено спосіб електромагнітного намагнічування поверхонь, з протилежним напрямком силових ліній та виникненням магнітного тиску відштовхування, що зростає при прокатці, забезпечує концентрацію магнітної енергії, виникнення магнітного тиску відштовхування та запобігає зварюванню.

ВИСНОВКИ

Природа міжатомних зв'язків електромагнітна. Електрони, що обертаються навколо ядра, створюють мікротоки, напрямом яких у сусідніх атомів однаковий. Мікроструми створюють магнітні поля протилежних напрямків, які взаємно знищуються, поле стає рівним нулю, атоми рухаються в сторону меншого магнітного поля і виникають міжатомні зв'язки, які при зменшенні міжатомної відстані зростають. При протіканні пластинами постійного струму однакового напрямку, пластини притягуються, що підтверджує електромагнітну природу міжатомних зв'язків.. При протіканні пластинами струмів протилежних напрямків, пластини відштовхуються, що попереджує фреттінг-корозію.

Фреттінг-корозія – процес зварювання контактуючих металевих поверхонь, під дією високих питомих тисків і зсувів що забезпечує зближення атомів, видалення оксидів, орієнтацію мікрострумів однакового напрямку сусідніх атомів, створення магнітних полів протилежних напрямків, взаємне знищення індукції між атомами, виникнення магнітного тиску тяжіння, скорочення міжатомних відстаней та підвищення міжатомних зв'язків. В результаті фреттінг-корозії втулка-цапфа зварюється з опорним валком і її важко зняти за допомогою гідропреса. На поверхні залишаються сліди, що посилює фреттінг-корозію.

Для попередження фреттінг-корозії, розроблено спосіб електромагнітної обробки опорного валка і втулки-цапфи, при якому контактуючі поверхні намагнічують з протилежним напрямком силових ліній магнітного поля, що створює магнітний тиск відштовхування і попереджує фреттінг-корозію. Зі зменшенням відстані між атомами контактуючих поверхонь, під дією високих тисків при прокатці металу, індукція зростає та в квадратичній залежності

Машинобудування і зварювальне виробництво

підвищується відштовхування. При електромагнітній обробці вся поверхня розбивається на ділянки, рівні площі магнітопроводу, що концентрує та підвищує магнітну енергію. Для підвищення магнітного потоку, тиску і намагнічування, необхідно збільшувати перетин магнітопроводу.

У процесі електромагнітного намагнічування, при протіканні струму всередині, магнітопровід притягується до поверхні, що обробляється. Спири електронів поверхні, що обробляється, орієнтуються вздовж силових ліній магнітного поля, створюваного струмом, що забезпечує намагнічування оброблюваних поверхонь. Збільшення магнітного поля та намагнічування забезпечується за рахунок зростання струму, концентрації магнітного поля, за допомогою магнітопроводу, зменшення зазору, площі електромагнітного тиску і розташування магнітопроводу на початку, під гострим кутом.

Магнітопровід забезпечує замикання силових ліній поля у феромагнетику, зниження магнітного опору та збільшення індукції поля. Зменшення площі підвищує індукцію, електромагнітний тиск і посилює намагнічування оброблюваної поверхні. Магнітне поле посилюється при зменшенні зазору в магнітопроводі та магнітного опору, тому, поверхня виконана по контуру оброблюваної деталі. Для обробки шийок опорного валка, поверхня магнітопроводу виконана увігнутою, а для обробки втулок-цапф опуклою.

Індукція та магнітний тиск зростають при розташуванні магнітопроводу на оброблюваній поверхні, під гострим кутом. Контакт магнітопроводу з оброблюваною поверхнею здійснюється лише на початку. При включенні струму та створенні магнітного поля, силові лінії концентруються у місці контакту магнітопроводу з оброблюваною поверхнею. В результаті, різко зростає індукція магнітного поля та намагнічування поверхні. Упор, що утримує другий кінець магнітопроводу, під дією струму видаляється і магнітопровід притягується до поверхні, що оброблюється, точка контакту і максимум індукції магнітного поля переміщуються вздовж оброблюваної поверхні. Після обробки однієї ділянки, деталь обертається на ширину магнітопроводу і проводиться обробка наступної ділянки всієї поверхні.

Розроблено, заснований на квантових процесах взаємодії атомів, спосіб електромагнітної обробки опорного валка і втулки-цапфи, при якому контактуючі поверхні намагнічують з протилежним напрямком силових ліній магнітних полів, що створює магнітний тиск відштовхування, який в процесі прокатки, під дією високих питомих тисків, концентрує магнітну енергію, посилює поле і попереджує фреттинг-корозію, що забезпечує зниження трудомісткості та собівартості металу

Список використаних джерел

1. Уайт Р.М. Квантова теорія магнетизму / Р.М.Уайт. - К.: Світ, 2002. - 306с.
2. Фролов В.В. Теоретичні основи зварювання/В.В. Фролов, В.А.Вінокуров. - К.: Вища школа, 2004. - 591 с.
3. Акулов А. І. Утримання рідкого металу зварювальної ванни поперечним магнітним полем/А.І. Акулов, А.М. Рибачук // Зварювальне виробництво. - 2002. - № 2. - С. 3 - 4.
- 4.Зварювання з електромагнітним перемішуванням/В.П. Черниш, В.Д.Кузнецов, А.Н.Брисман, Г.М.Шеленков.-К.: Техніка, 2003. - 127с.
5. Рижов Р.М. Магнітне керування якістю зварних з'єднань /Р.М. Рижов, В.Д. Ковалів. - К.: Екотехнологія, 2010. - 288 с.
6. Черниш В.П., Рижов Р.М. Залежність параметрів керуючого магнітного впливу від енерговкладання встик при дуговому зварюванні / В.П. Черниш, Р.М. Рижов // Автоматичне зварювання. - 1998. - №5. - С.49 -51.

Машинобудування і зварювальне виробництво

7.Рижов Р.Н Застосування шестиполусної електромагнітної системи для управління параметрами формування швів при зварюванні електродом, що не плавиться/Р.М. Рижов, В.Д. Кузнєцов, А.В. Малишев // Автоматичне зварювання. - 2004. - №2. - С.45 -49.

Shchetynina V.I., Volenko I.V.

FRETTING CORROSION OF THE SUPPORT ROLL AND JOURNAL BUSHING

The nature of interatomic bonds is electromagnetic. Electrons rotating around the nucleus create microcurrents, the direction of which is the same for neighboring atoms. Microcurrents create magnetic fields of opposite directions, which cancel each other out, the field becomes zero, and the atoms move in the direction of the smaller current. magnetic field and interatomic bonds arise, which increase with decreasing interatomic distance. When direct current of the same direction flows through the plates, the plates are attracted, which confirms the electromagnetic nature of interatomic bonds. When currents of opposite directions flow through the plates, the directions of the plates repel each other, which prevents fretting corrosion.

Fretting corrosion – welding process of contacting metal surfaces under the influence of high specific pressures and displacements, which ensures the convergence of atoms, the removal of oxides, the orientation of microcurrents of the same direction of neighboring atoms, the creation of magnetic fields of opposite directions, mutual destruction of induction between atoms, the emergence of magnetic pressure of attraction, a reduction in interatomic distance and an increase in interatomic bonds.

To prevent fretting corrosion, a method for electromagnetic treatment of the support roll and journal sleeve has been developed, in which the contacting surfaces are magnetized with opposite directions of the magnetic field lines, which creates a magnetic repulsive pressure and prevents fretting corrosion. As the distance between the atoms of the contacting surfaces decreases, under the high specific pressures of metal rolling, the induction and magnetic repulsive pressure increase in a quadratic relationship. During electromagnetic processing, the entire surface is broken down into sections equal to the area of the magnetic circuit. This concentrates and increases magnetic energy. The width of the magnetic core is determined by the cross-section of the electrical steel and the slot width. As the cross-section increases, so does the magnetic flux and magnetization, so to increase the magnetic pressure, it is advisable to increase the cross-section of the magnetic core.

During electromagnetic magnetization, a current flows through the magnetic core, attracting it to the workpiece. The electron spins of the workpiece are aligned with the magnetic field lines generated by the current, resulting in magnetization of the workpiece. The increase in magnetic field and magnetization is achieved by concentrating the magnetic field using a magnetic circuit, reducing the gap, the area of electromagnetic pressure, and positioning the magnetic circuit at the beginning at an acute angle.

The magnetic core ensures the closure of the field lines in the ferromagnet, reducing magnetic resistance and increasing the field induction. Reducing the area increases the induction, electromagnetic pressure, and enhances the magnetization of the workpiece. The magnetic field increases as the gap in the magnetic core and magnetic resistance decrease, so the surface is machined to the contour of the workpiece. For machining the journals of the support roll, the magnetic core surface is concave, while for machining the journals, it is convex.

Induction and magnetic pressure increase especially when the magnetic core is positioned at an acute angle to the workpiece. In this case, contact between the magnetic core and the workpiece occurs only at the beginning. When the current is turned on and a magnetic field is created, the lines of force are concentrated in the area. Contact of the magnetic circuit with the workpiece. As a result,

Машинобудування і зварювальне виробництво

the magnetic field induction and surface magnetization increase sharply. At the same time, the stop holding the other end of the magnetic circuit is removed by the current, and the magnetic circuit is attracted to the workpiece, the contact point and the maximum magnetic field induction moves along the surface being processed. After processing one section, the part is rotated by the width of the magnetic circuit, and the next section of the entire surface is processed.

The electromagnetic nature of fretting corrosion has been established and a new method for electromagnetic treatment of a support roll and journal sleeve, based on quantum processes of atomic interaction, has been developed, in which the contacting surfaces are magnetized in the opposite direction. magnetic field lines, which creates a repulsive magnetic pressure, which, during the rolling process under the influence of high specific pressures, a decrease in the area of the processed surface and a magnetic circuit located at an acute angle, concentrates the magnetic energy, strengthens the field and prevents fretting corrosion, which reduces labor intensity and metal cost.

Keywords: *fretting corrosion of the support roll and journal bushing, electromagnetic nature, magnetic energy, contacting surfaces are magnetized in the opposite direction. creates a repulsive magnetic pressure, electromagnetic nature of fretting corrosion, magnetic core located at an acute angle, concentrates the magnetic energy.*

Стаття надійшла 15.03.2026р.

Стаття прийнята 19.03.2026р.

Стаття опублікована 30.04.2026р.

131 – Прикладна механіка

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990312026359306

Аришин О.В., Макаров О.В., Михайлів Ю.В., Трофуненко І.С.

ПРИРОДА УТВОРЕННЯ ГАРЯЧИХ ТА ХОЛОДНИХ ТРІЩИН ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ ЗВАРЮВАННІ ТА НАПЛАВЛЕННІ

На основі рентгеноструктурного аналізу, що проводився на дифрактометрі ДРОН-3 встановлено, що при електродуговому наплавленні, під дією дуги та термодформаційного циклу, в наплавленому металі порушується рівновага, виникають мікростворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій і утворюються зварювальні напруги. Мікронапруги призводять до інтенсивного утворення і зростання тріщин. Природа утворення тріщин електромагнітна. Гарячі та холодні тріщини утворюються, коли зварювальні напруги стають більше за межу міцності, тому для підвищення тріщиностійкості необхідно забезпечити мінімальні зварювальні напруги. Кристалізаційні чи гарячі тріщини утворюються в інтервалі температур $T_l - T_c$, ліквідус – солідус, близьких до лінії солідус, внаслідок виникнення легкоплавкої евтектики FeS, температура плавлення якої $T_{FeS}=1150^0$ С. Гарячі тріщини утворюються в температурному інтервалі крихкості ТІК, в якому значно знижується межа міцності. Для запобігання утворення гарячих тріщин і підвищення тріщиностійкості високовуглецевих сталей, рекомендується проводити наплавлення буферного шару низьковуглецевим кремнемарганцевим дротом Зв08Г2С, який забезпечує зменшення температурного інтервалу крихкості, за рахунок зниження вмісту сірки, шляхом зв'язування сірки в з'єднання MnS і високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, що знижує зварювальні напруги і подрібнює мікроструктуру, внаслідок зростання швидкості кристалізації. При наплавленні високовуглецевих сталей, для запобігання утворення холодних і гарячих тріщин рекомендується спочатку проводити