

УДК 621.875

Клюфінський В.Б.¹, Сапура І.М.¹ студ, наук. кер. *Блощин М.С.¹*, к.т.н.,
Головко Л.Ф.¹, д.т.н., проф.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: mishafox@gmail.com

ІНДУКЦІЙНЕ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

У порівнянні зі звичайним загартуванням індукційне зміцнення додає сталі більш високу твердість і міцність при відносно меншому зниженні в'язкості, а також більш високу межу витривалості. Ці переваги обумовлені подрібненням зерен аустеніту. Зі збільшенням швидкості нагрівання (з підвищенням ступеня перенагрівання) різко зростає число центрів перліто-аустенітного перетворення. Тому утворюється дуже дрібне початкове зерно аустеніту (через відсутність витримки при температурі зростання зерна не відбувається). Подрібнення зерна аустеніту призводить до зменшення розмірів кристалів мартенситу. Для отримання дрібного зерна аустеніту при індукційній зміцненні необхідно застосовувати сталі, мало схильні до зростання зерна аустеніту, а також піддавати зміцненню деталі з дрібнодисперсною вихідною структурою. Підвищення межі витривалості стали після індукційного загартування пов'язано з розподілом залишкових напружень. У зміцненому шарі - стискаючі залишкові напруження, а за межами зміцненого шару - напруження розтягнення. Причиною втомних руйнувань є тільки напруження розтягу. При роботі напруження стиснення будуть послаблювати розтягуючі (руйнуючі) напруження в результаті дії зовнішніх сил. Тому після індукційного зміцнення межа витривалості підвищується. Робота присвячена дослідженню закономірностей формування зміцненого поверхневого шару металевих матеріалів в результаті обробки їх поверхні з використанням різних технологічних режимів і кінетики цього шару. Актуальність таких досліджень обумовлена з одного боку тим, що більшість відповідальних деталей сучасних машинобудівних конструкцій схильні в процесі їх експлуатації до складного комплексу силових впливів, включаючи й циклічні напруження. З іншого боку, втомне руйнування, що ініціюється в більшості випадків поверхнею матеріалу, обумовлювало завжди підвищений інтерес до її вивчення і пошуку оптимальних режимів обробки, які забезпечували б підвищення характеристик опору втомі і можливості їх обґрунтованого прогнозування. Головною перевагою процесу є особливості нагрівання та контролювання параметрів процесу.

Формування залишкових напружень в матеріалах при їх термічній обробці відбувається по різному. В таких матеріалах, як нержавіючі аустенітні сталі, титанові, мідні та алюмінієві сплави, в яких відсутні при нагріванні - охолодженні поліморфні перетворення, завжди, в тому числі і при

індукційному нагріванні, утворюються розтягуючі залишкові напруження. У вуглецевих сталях процес швидкого індукційного нагрівання супроводжується поліморфними перетвореннями, аналогічними лазерному нагріванню. При нагріванні таких матеріалів вище точки A_{c3} - в них утворюються стискаючі залишкові напруження, нижче точки A_{c1} - розтягуючі, в інтервалі температур A_{c1} - A_{c3} - як стискаючі, так і розтягуючі. Основною ідеєю даної роботи є створення в металевих корпусах на певних ділянках залишкових напружень, рівних по величині й протилежних за знаком, максимальним пружним напруженням, які виникають на цих ділянках при дії робочих навантажень, обумовлених його роботою в процесі експлуатації. Такий спосіб впливу на напружений стан матеріалу корпусу дозволяє значно підвищити його жорсткість і, залежно від пріоритету, - суттєво підвищити його продуктивність, збільшити строк служби або знизити матеріалоемність виробу й таке інше. Для реалізації цієї ідеї запропоновано цілеспрямовано створювати в найбільш напружених ділянках виробів шляхом їх локального швидкого індукційного нагрівання, у тому числі і зі зміною хімічного складу матеріалу, необхідні залишкові напруження. Змінюючи форму, розміри індуктора можна контролювати геометричні параметри зони нагрівання, а змінюючи частоту та потужність, що подаються на індуктор - змінюють глибину зони зміцнення. Простота та мала вартість реалізації процесу доводить конкурентоспроможність даного процесу.

При обробці деталей складної форми потрібні конструкції індукторів, розрахунок яких заснований на таких явищах, як ефект близькості, кільцевий ефект, одностороннє витіснення струму магнітопроводами і концентрація ними магнітного поля на окремих ділянках.

Одним з характерних прикладів гартування тіла обертання є гартування зовнішніх або внутрішніх поверхонь, що мають конічну або ступінчасту форму. В цьому випадку необхідно виконувати індуктори так, щоб ділянкам з меншими діаметрами повідомлялася менша потужність. Тільки за такої умови нагрівання буде рівномірним.

Рівномірне нагрівання конічної деталі можливо отримати, застосовуючи багатовитковий циліндричний індуктор. У місцях, де спостерігається перегрівання, слід збільшити крок витків, розсуваючи їх без переробки індуктора. Тоді в цьому місці зменшиться напруженість магнітного поля і, отже, нагрівання. Той же ефект досягається відповідною зміною зазору при постійному кроці витків. Однак цей спосіб гірше, так як ослаблення нагріву досягається за рахунок збільшення зазору на цій ділянці, а отже, за рахунок зниження ККД індуктора. Підгонка зазору пов'язана з корінною переробкою індуктора. При малій різниці в діаметрах у кінців усіченого конуса менший крок витків слід робити у його основи, так як поверхневий ефект однаково різко виражений у всіх точках поверхні.

При великій різниці діаметрів можливі два випадки. У першому, зазвичай відповідає високим частотам, поверхневий ефект яскраво виражений у всіх

точках поверхні. Цей випадок не відрізняється від описаного вище. У другому випадку, зазвичай відповідає середнім частотам, поблизу тонкого кінця поверхневий ефект виражений слабко, ККД індуктора на цій ділянці падає і нагрів слабшає. Для вирівнювання нагрівання необхідно зменшити крок витків у вершини. Якщо підняти температуру тонкого кінця таким чином не вдається, то слід підвищити частоту. При загартуванні внутрішніх поверхонь слід застосовувати магнітопроводи.

При великій різниці діаметрів усіченого конуса чи при ступінчастій формі деталі доцільно застосовувати петльові індуктори також конічної або ступінчастою форми з магнітопроводами. За допомогою останніх можна вирівняти нагрівання. На ділянці з меншим діаметром слід робити зазор більшої величини. Тоді за рахунок слабшого дії ефекту близькості індукований струм розподіляється в більш широкій смузі, внаслідок чого зменшиться його щільність, а отже, і виділяється енергія. Можна також уникнути перегріву, знявши частину магнітопроводу.

Якщо діаметр нагрівання внутрішньої або зовнішньої поверхні змінюється безперервно, то ширина індукуючого дроту також повинна змінюватися безперервно, відповідно до наведеного вище співвідношенню. Це співвідношення дійсно в тому випадку, коли поверхневий ефект різко виражений у всіх ділянках. У загальному випадку можна вказати, що для посилення нагріву ширину дроти на відповідній ділянці слід зменшити, і навпаки.

Якщо проти торцевої поверхні помістити індуктор, що має вигляд широкого кільця, то струм зміститься на внутрішню його бік, внаслідок чого рівномірний нагрів всієї поверхні стане неможливим. Індуктор слід виконувати у вигляді зігзагу, а деталь швидко обертати. Тоді шлях індукованого струму внаслідок ефекту близькості буде повторювати форму шляху струму в індукторі, а в результаті обертання нагрів як би «розтушуй» по всій поверхні.

Для ослаблення поля розсіювання з зовнішньої сторони магнітопроводів встановлюються додаткові мідні екрани ізольовані один від одного і від індуктора. При осьовому зміщенні індуктора край деталі, розташований близько до екрану, нагрівається значно слабкіше. Це пояснюється розмагнічувати дією струмів, індукуватися в екрані, в результаті чого послаблюється не лише зовнішнє поле, а й полі всередині індуктора.

Список використаних джерел:

1. Индукторы для индукционного нагрева / Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е.//Л.: «Энергия», 1974.
2. Индукторы / под ред А.Н. Шамова / Л.: Машиностроение Ленингр. отние, 1989.