

впровадження переміщуються в області утворення мікропор, на внутрішні поверхні розриву, а при температурі 550°C відбувається міжкристалітна внутрішня адсорбція домішок, проникнення і заміщення на нерівноважних границях зерен, які мають більшу адсорбційну здатність.

При певних концентраціях домішок співвідношення поверхневих енергій вільних поверхонь і границь зерен змінюється так, що зародження тріщин відбувається на границях. Вирішальну роль в утворенні міжзеренних пошкоджень відіграє енергія міжзеренного зчеплення  $\gamma$ , яка визначається із співвідношення  $\gamma = \gamma_s - (1/2) \cdot \gamma_v$ , де  $\gamma_s$  – істина поверхнева енергія,  $\gamma_v$  – поверхнева енергія границі зерна.

Вважаючи, що утворення міжзеренного пошкодження відбувається крихко, критичний розмір зародкової тріщини, визначений із співвідношення Гріффітса  $\sigma_B = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi c}}$ , є менший  $1,4 \cdot 10^{-6}$  м. Отримане значення відповідає експериментально виявленому зернограничному зсуву, що спостерігається в поверхневих шарах заготовок після прокатування.

Дослідження розсіяння значень твердості в зоні рівномірного видовження зразків після розтягу показали зменшення коефіцієнта  $m$ , що вказує на формування додаткової пошкодженості при дії зовнішнього навантаження у порівнянні з пошкодженістю, яка була отримана в результаті прокатування.

Після відпалу при 550 °C пошкодженість при випробовуваннях на розтяг суттєво зростає, що вказує на формування при нагріванні локальних мікрооб'єктів матеріалу здатних до руйнування.

Зміна механічних властивостей досліджуваної сталі пов'язана з впливом її внутрішньої будови на утворення пошкоджень в умовах технологічних обробок і зовнішніх навантажень. На основі проведених досліджень були розроблені режими технологічних обробок для підвищення функціональних властивостей деталей, які отримують із холоднокатаних заготовок маловуглецевої сталі.

### Керування процесами зношування зміною параметрів мікроструктури економнолегованих сталей

Кузін О.А.<sup>1</sup>, Мещерякова Т.М., Кузін М.О.<sup>2</sup>

1 – Національний університет «Львівська політехніка», 2 – Львівська філія ДНУЗТ

The influence of quenching between the critical temperature range of hardness and wear processes of highly tempered steel 40X defined quantitative parameters of the microstructure, in which increases its durability.

Економнолеговані сталі широко використовуються для виготовлення деталей рухомого складу залізниць, що працюють в умовах контактної взаємодії і тертя. При дії зовнішніх навантажень відбувається їх зношування. Для відновлення геометричних розмірів таких деталей використовують наплавлення поверхонь. В умовах наплавлення формується функціонально-градієнтна структура, яка характеризується зміною структурно-фазового стану по перерізу деталей. Основними структурними складовими, які утворюються при напавленні простих вуглецевих або економнолегованих сталей, є продукти розпаду аустеніту – ферит і перліт. Структура поверхневих шарів залежить від технологічних режимів наплавлення. Параметри структури сталей, зокрема процентний вміст складових, їх геометричні характеристики, розміщення, орієнтації у просторі, можуть змінювати характеристики поведінки матеріалів в умовах контактної взаємодії в широких межах. В зв'язку з цим вивчення впливу параметрів структури на зносостійкість сталей в умовах сухого тертя є актуальним.

Дослідження проводили на сталі 40X після неповного гартування. З прокату сталі вирізали заготовки, які обробляли за наступними режимами: нормалізація від температури 850°C, гартування у воді від температур 850°C...750°C, відпуск при 600°C. Тривалість витримки під нормалізацію і гартування складала 25 хвилин.

Результати вимірювань твердості показали, що найменша твердість спостерігається після гартування від температури 750°C. Із зростанням температури гартування відповідно підвищується твердість сталі, яка виходить на постійне значення (HRC 55) вище температури 810°C, що знаходиться у відповідності з критичними точками дослідженої сталі і кількістю фериту.

Мікроструктурні дослідження виявили, що після гартування від температури 850°C структура представляє собою мартенсит. Гартування від 800°C приводить до появи окремих ділянок фериту в мартенситі. При зниженні температури гартування кількість фериту зростає, його об'єми утворюють як окремі часточки, так і цілі конгломерати розділені границями зерен. Після гартування від 750°C утворюються суцільні феритні прошарки навколо ділянок мартенситу. Кількість фериту зростає від 5...7 % після гартування від 800°C до 32...34% після гартування від 750 °C.

Так як економнолеговані сталі використовують після нормалізації або покращення зразки, які пройшли гартування від різних температур, відпускали при 600 °C. Заміри твердості показали, що температура гартування є вирішальним фактором, що визначає твердість після відпуску: найвища твердість спостерігається в зразках, які пройшли повне гартування від 850 °C, а найнижча - після гартування від 750 °C. Зміна твердості після відпуску пов'язана з впливом фериту, який є м'якою складовою сталі. Із зростанням кількості фериту до 34% твердість після відпуску зменшується від HB 321 до HB 170.

Випробовування на зношування проводили за методом диск-колодка з використанням контртіла зі сталі 45 з твердістю HRC 48 при швидкості обертання 160 об/хв і питомому навантаженні 5 МПа.

Дослідження тривалості зношування 30 хвилин показали, що найвища зносостійкість є характерна для сталі загартованої від температури 850 °C і відпущеної при 600 °C. Зі зниженням температури гартування зносостійкість зменшується. Слід відмітити, що не у всіх випадках спостерігається кореляція між твердістю і зносостійкістю сталі. Так після гартування від температури 800 °C спостерігається зростання зносостійкості, хоча твердість знижується від HB 321 до HB 285. Після гартування від температури 760 °C зносостійкість сталі зростає, хоча її твердість знижується до HB 179.

Аналіз зносостійкості при випробовуваннях на протязі 90 хвилин підтвердив, що твердість сталі 40X після гартування від різних температур і відпуску при 600 °C не є основним параметром, який визначає її зносостійкість. Так, після гартування від температур 760°C і 750 °C при твердості HB 179 і HB 170 зносостійкість зразків є вищою, ніж зразків загартованих від температур 800 °C і 780 °C, що мають твердість HB 321 і HB 217 відповідно. Це свідчить, що при наявності двохфазної структури (ферит і сорбіт) вирішальним фактором, який визначає зносостійкість зразків, є кількісні параметри мікроструктури. Дослідження після випробовувань на протязі 30 хвилин показали зростання зносостійкості сталі 40X при наявності в структурі 18...20% фериту. Причому зносостійкість сталі з такою кількістю фериту є вищою ніж сталі, яка містить 5...7% фериту і сталі, яка містить 23...25% фериту. В сталі з підвищеною зносостійкістю після гартування від 780°C і відпуску ділянки фериту мають розміри 20...30 мкм. В сталі з меншою зносостійкістю, яка пройшла гартування від температури 800°C, розміри ділянок фериту є в 3...5 раз менші, ніж в сталі загартованої від температури 780°C. Після гартування від температури 760°C ферит утворює ланцюжки по границях сорбітних ділянок, що негативно впливає на опір руйнуванню в умовах тертя і зношування. Гартування від 750°C приводить до збільшення кількості фериту понад 30% і супроводжується зменшенням зносостійкості, що пов'язано

з утворенням суцільних феритних прошарків по границях сорбітних ділянок. Результати випробовувань на протязі 90 хвилин підтвердили отримані закономірності.

Дослідження показали, що в умовах інтенсивного зношування тіла зношування контртіла стає меншим. При наявності в сталі 5...7% фериту інтенсивність зношування контртіла зростає, що пов'язано з реалізацією поряд з абразивним адгезійного механізму зношування. Цьому сприяє розмір феритних ділянок, який є менший від розміру плям контакту. В результаті переміщення плям контакту на ділянки фериту, які не встигають розсіювати енергію, що виникає при терті, в них відбувається підвищення температури, яке сприяє адгезійній взаємодії тіла і контртіла і його зношуванню. При збільшенні розмірів ділянок фериту розсіювання енергії відбувається більш інтенсивно і механізм зношування знову стає абразивним. Зростання інтенсивності зношування контртіла при 34% фериту пов'язано із підвищенням кількості продуктів зношування тіла в зоні контактної взаємодії.

На основі комплексних досліджень встановлено, що температура гартування суттєво впливає на твердість, кількість фериту, його розмірні характеристики і характер розміщення в сталі. Зносостійкість сталі визначається не тільки твердістю, але і особливостями мікроструктури. Присутність в структурі оптимальної кількості фериту приводить до підвищення зносостійкості сталі, коли розміри його ділянок відповідають розмірам плям контакту. Ферит у вигляді прошарків на границях ділянок сорбіту має негативний вплив на опір руйнуванню в умовах зношування сталі. Дослідження процесів знеміцнення з використанням імітаційних моделей структури і розробленого програмного комплексу дозволили провести чисельну оцінку лінійної інтенсивності зношування за вмістом твердої складової, визначити параметри мікроструктури, при яких зростає зносостійкість сталі, показали співпадіння їх чисельних значень з отриманими експериментальними результатами.

### Повышение эксплуатационной надёжности колесных центров

Кузьмичёв В.М., Перков О.Н.  
Институт черной металлургии НАН Украины

The recommendations for raising of wheel centers operational reliability level are given. Results are achieved at the expense of residual stresses value lowering by hub and rim of centre cooling speed synchronization.

Всё большее значение приобретают в настоящее время проблемы обеспечения технической надёжности различных механизмов и устройств.

Колёсный центр является составной частью составного локомотивного или вагонного колеса. Он имеет специфическую геометрическую форму и его составные части: обод, диск, ступица – существенно отличаются от стандартного вагонного колеса по размерам и массе. В первую очередь, это относительно массивная ступица. Масса ступицы электро-возного колеса составляет до 40% от массы всего черного изделия, масса ступицы центра тепловозного колеса - 35%, в ступице же вагонного колеса сосредоточено менее 17% массы колеса.

Для улучшения структурного состояния металла и обеспечения нужного комплекса механических свойств колесные центры подвергают нормализации - нагреву до температуры аустенитизации и охлаждению на воздухе. При этом в результате градиента температур, возникающего при охлаждении разных по массе элементов центра (ступицы и обода с диском) на воздухе с различной скоростью, образуются неблагоприятные растягивающие остаточные напряжения, которые снижают надёжность колесного центра в эксплуа-