

ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ

Марчук В. І., Ткачук А. А.

Описаны обнаруженные закономерности повышения уровня коррозионной стойкости в ходе обработки упрочняющими технологиями. На основе теоретических аспектов данного процесса разработаны соответствующие рекомендации относительно назначения технологических режимов. Получение благоприятного объединения свойств поверхностного пласта главным образом обеспечивается регулированием силы выглаживания (контактного давления). Обнаружено преобладающее влияние силового параметра над скоростью вращения шпинделя и продольной подачей. Проведенный ряд экспериментальных исследований адекватно подтвердил разработанные теоретические зависимости. Определено влияние технологических факторов на предел коррозионной стойкости и период образования коррозионного налета.

Описані виявлені закономірності підвищення рівня корозійної стійкості в ході оброблення зміцнювально-вигладжувальними технологіями. На основі теоретичних аспектів даного процесу розроблено відповідні рекомендації щодо призначення технологічних режимів. Отримання сприятливого поєднання властивостей поверхневого шару головним чином забезпечується регулюванням сили вигладжування (контактного тиску). Виявлено переважаючий вплив силового параметра над швидкістю обертання шпинделя та поздовжньою подачею. Проведено ряд експериментальних досліджень, які адекватно підтвердили розроблені теоретичні залежності. Визначено вплив технологічних чинників на межу корозійної стійкості та період утворення корозійного нальоту.

The article describes the observed regularities improve corrosion resistance in processing strengthening technology. Based on the theoretical aspects of the process to make appropriate recommendations on the appointment of technological regimes. Obtaining a favorable association properties of the surface layer mainly provides for the regulation of force smoothing (contact pressure). Found the predominant influence of the power setting of the spindle speed and traverse. Conducted a series of experimental studies confirmed adequately developed theoretical dependence. The influence of technological factors on the ultimate corrosion resistance and corrosion during the formation of plaque.

Марчук В. И.

Ткачук А. А.

д-р техн. наук, проф. ЛНТУ

аспирант ЛНТУ

AspirantAA@gmail.com

Вибір оптимальної сили вигладжування доцільно виконувати згідно формули (1), яка враховує фізико-механічні характеристики матеріалів та вид попередньої обробки (шліфувальна або токарна обробка).

$$P_y = 2\pi R_{np} h_{nv} B \varepsilon^c, \quad (1)$$

де R_{np} – профільний радіус індентора;

h_{nv} – приведена висота сегменту, що дорівнює при вигладжуванні шліфованої поверхні 0,01, та під час вигладжування обточеної поверхні 0,013 мм;

$B = 1180$ МПа – дійсне напруження;

$\varepsilon = 1,8$ – відносний зсув в ході зміцнення;

$c = 0,126$ – показник зміцнення сталі ШХ15 ГОСТ 801-78.

В залежності від величини початкової шорсткості Ra_{noch} поверхні приведена глибина проникнення інструменту h_{nv} приймає значення від 0,005 до 0,015 мм. Наприклад, для $Ra_{noch} = 0,2$ мм $h_{nv} = 5$ мкм; для $Ra_{noch} = 2,0$ мм $h_{nv} = 13,5$ мкм; $Ra_{noch} = 5$ мм $h_{nv} = 16$ мкм.

Для вибору оптимальної сили вигладжування у формулі (1) фізико-механічні характеристики B та c , що характеризують опір матеріалу пластичному деформуванню, визначаються за допомогою емпіричних залежностей (2), (3) з урахуванням твердості заготовки HB :

$$B = 1,052 HB^{0,862}, \quad (2)$$

$$c = \frac{3,54}{HB^{0,617}}. \quad (3)$$

В окремих випадках для забезпечення високих значень параметрів деформаційного зміцнення, а також під час оброблення деталей з високолегованих сталей, попередньо оброблених чистовим точінням, рекомендується проводити вигладжування за два проходи.

Результати досліджень параметрів шорсткості, деформаційного зміцнення, залишкових напружень та характеристик опору втомі підтвердили, що під час другого робочого ходу вони змінюються на більшу величину в порівнянні з першим робочим ходом. Тому другий прохід з метою отримання максимальних значень ступеня та глибини зміцнення доцільно виконувати з силою $P_{y2} > P_{y1}$. Силу алмазного вигладжування другого робочого ходу необхідно збільшувати пропорційно до приросту мікротвердості поверхні, отриманої при першому проході. В такому випадку відбувається додаткове зміцнення заготовки й відповідно збільшується межа корозійної стійкості.

Збільшення сили вигладжування лімітується можливістю перенаклепу тонкого поверхневого шару, що пояснюється насиченням металу дислокаціями та вичерпанням запасу пластичності. Аналіз експериментальних даних показав, що діапазон сил P_y , що забезпечує отримання найбільших значень параметрів зміцнення є досить широким. Небезпека перенаклепу практично відсутня. Перенаклеп може мати місце при значному перевищенні сили вигладжування, також було виявлено, що існує небезпека руйнування поверхневого шару (розтріскування, відшарування) при повторних робочих ходах. Перенаклеп настає при визначеному числі циклів деформації N :

$$N = \left(\frac{a}{S} \right)^i, \quad (4)$$

де a – ширина зони контакту;
 i – число робочих ходів інструменту;
 S – подача.

Пошкодження поверхні (через явище мало циклової втоми) деталей із загартованих сталей мартенситної структури настає після високих значень циклів деформування у порівнянні з сталями перлітної або сорбітної структури. Рекомендується використовувати наступне відношення, для виключення можливості пошкодження поверхні та збільшення запасу корозійної стійкості:

$$B \geq pN^b, \quad (5)$$

де B – коефіцієнт, що характеризує властивості матеріалу;
 p – середній контактний тиск;
 b – показник степеня.

Визначну роль в підвищенні опору втомі деталей з напруженими втулками, перехідними поверхнями, концентраторами напружень відіграють залишкові напруження стиску, глибина і характер яких залежить від параметрів зміцнення.

Для отримання найбільших приростів межі корозійної стійкості деталей з концентраторами напружень доцільно проводити вигладжування по зміцнювальному режимі за рахунок збільшення сили P_y або числа робочих ходів з одночасним збільшенням сили вигладжування на другому проході.

Результати випробувань на корозійну стійкість показали, що вигладжування на зміцнювальному режимі забезпечує приріс межі стійкості за рахунок переведення осередку втомних тріщин в під шарову область.

Для вибору режиму вигладжування деталей, які працюють в умовах підвищених температур, необхідно враховувати агресивність середовища, рівень діючих температур та регламентований ресурс.

Сприятливим слід вважати режим вигладжування, що забезпечує залишкові напруження стиску високого рівня при мінімальному ступені деформаційного зміцнення. Таке поєднання властивостей поверхневого шару забезпечує вигладжуючий режим обробки (один прохід, мінімальне значення сили вигладжування та висока подача) при умові забезпечення регламентованого параметра шорсткості.

Для ресурсів та температур, які не перевищують температуру рекристалізації металу, слід використовувати зміцнювальний режим, що забезпечує високий рівень зміцненого шару, що сприяє переведенню осередку деформації зародження втомної тріщини в глибину деталі. В такому випадку залишкові напруження стиску гальмують розвиток втомних тріщин по мірі просування до поверхні деталі.

Величина радіусу сфери індентора залежить від механічних характеристик оброблюваного матеріалу, регламентованих параметрів зміцнення та пов'язана з силою вигладжування P_y . Зі зменшенням сили вигладжування необхідно зменшувати радіус сфери індентора з метою забезпечення стійкості величини контактного тиску.

Для обробки деталей слід застосовувати наступні радіуси робочої частини індентора: для загартованих та азотованих сталей (58...64HRC) – 0,8...1,5 мм; для загартованих сталей (40...58 HRC) – 1,5...2,5 мм; для сталей середньої твердості – 2,5...3,5 мм; для кольорових металів та сплавів – 2,0...3,0 мм [1].

Варто відмітити, що при виборі радіусу профілю індентора необхідно враховувати й інші фактори (подачу, параметр шорсткості початкової поверхні, жорсткість деталі), які також впливають на його величину. Так, під час вигладжування загартованих деталей найбільш доцільним за параметрами шорсткості та продуктивності виявився індентор з радіусом сфери 2 мм.

Значення подачі інструменту здебільшого визначає величину та характер шорсткості вигладженої поверхні, та в меншій мірі – ефективність зміцнення. Рекомендується виконувати операцію вигладжування з подачами 0,04...0,12 мм/об. При застосуванні високих сил вигладжування P_y та радіусу сфери відповідно потрібно збільшувати і подачу, що в свою чергу збільшує продуктивність обробки.

Величина критичного зміцнення, при якому відбувається корозійне руйнування, описується наступною залежністю [2]:

$$\sigma_{кр} = (B - K_1 \sigma_{зал}) / C, \quad (6)$$

де B , C та K_1 – коефіцієнти, для конкретного матеріалу.

Після зміцнення ППД максимальні залишкові напруження стиску в поверхневому шарі близькі до межі текучості матеріалу, що в свою чергу підвищує величину $\sigma_{кр}$, тобто зменшує схильність матеріалів до корозійного розтріскування. Зміцнювальні технології створюють інтенсивне залишкове стиснення, яке в два рази перевищує величину межі корозійного розтріскування високоміцних сталей.

Алмазне вигладжування суттєво підвищує стійкість до корозії під навантаженням сталі ШХ15, так зміцнена поверхня після гартування та штучного старіння підвищує довговічність при дії корозії під напруженням з 2,5 год до 30 год в порівнянні з обробкою шліфуванням. Дослідження проводились шляхом періодичного занурення навантажених зразків $\sigma = 150$ МПа, в розчин NaCl 3 % та H_2O_2 1 %. Варто відмітити, що стійкість зразків з травленою поверхнею складає 1 год. Стійкість до корозії під навантаженням тим більша, чим більше деформована поверхня після зміцнення внаслідок збільшеного спотворення кристалічної ґратки та розмивання міжкристалічних меж на яких зазвичай утворюються, а потім розвиваються тріщини. Для досягнення такого ефекту в якості робочих елементів набули широкого застосування сферичні індентори.

Під час проведення досліджень витривалості з'єднання вісь – втулка, в якому втулка напесована на вісь виготовлену із сталі 40Х ГОСТ 4543-88, виявлено, що вигладжування сферичним індентором підвищує межу стійкості приблизно в два рази. Як встановлено в [3], під час використання ППД мають місце всі характерні для фретингу процеси руйнування матеріалу, але їх інтенсивність сповільнена стискаючими залишковими напруженнями.

Тому вигладжувальне зміцнення повинно застосовуватись в тих місцях конструкцій, де діє фретинг-корозія, причому інтенсивність зміцнення повинна бути максимально можливою, з врахуванням схильності матеріалу до перенаклепу, котрий недопустимий та особливостей конструкції.

Хоча корозійна втома не відіграє значної ролі в ресурсі підшипникових конструкцій, проте застосування ППД буде досить ефективним в такому випадку.

Нижче наведено дані щодо впливу різних способів зміцнення на межу стійкості при чистому симетричному згині високоміцних сталей у воді (табл. 1).

Зміцнення ППД значно підвищує опір загальній, міжкристалічній та іншим видам корозії, які протікають під дією навантаження та без нього.

Таблиця 1

Вплив технологічних операцій на межу корозійної стійкості

Шліфування	100 МПа
Віброшліфування	200 МПа
Віброударне зміцнення	600 МПа
Дробоударне зміцнення	500 МПа
Обкатування кулькою	740 МПа
Алмазне вигладжування	770 МПа

В табл. 2 показано, що період до виникнення нальоту та осередків продуктів загальної корозії в умовах 98 % вологості на поверхні зразків із сталі ШХ15 значно зростає, якщо дані зразки пройшли операцію зміцнювального вигладжування.

Час розповсюдження корозійного ураження на поверхні після такого зміцнення на один-два порядки нижче в порівнянні з токарною обробкою та шліфуванням.

Таблиця 2

Характеристика періоду утворення корозії

Обробка поверхневого шару	Період до появи нальоту корозії, діб	Період до утворення корозійних осередків, діб
Токарна обробка	3	9
Шліфувальна обробка	6	12
Алмазне вигладжування	12	21

Відповідно для підвищення рівня корозійної стійкості конструкцій пропонується вводити до широко використовуваних технологічних схем захисних операцій поверхневе пластичне деформування.

ВИСНОВКИ

Подані рекомендації підтвердились адекватними результатами експериментальних досліджень. Таким чином, для забезпечення необхідної корозійної стійкості поверхневого шару деталі у фізичному (поверхневі напруження, енергія деформованого шару, текучість та марка матеріалу) та геометричному (шорсткість) змісті необхідно керуватися запропонованою методикою призначення технологічних режимів оброблення деталі, яка є придатною для застосування в умовах виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев П. Г. *Машинам быть долговечными* / П. Г. Алексеев. – Тула : Приок. кн. изд-во, 1973. – 136 с.
2. Аскинази Б. М. *Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой* / Б. М. Аскинази. – Л. : Машиностроение, 1977. – 184 с.
3. Балтер М. А. *Упрочнение деталей машин* / М. А. Балтер. – М. : Машиностроение, 1978. – 184 с.
4. Дёмкин Н. Б. *Качество поверхности и контакт деталей машин* / Н. Б. Дёмкин, Э. В. Рыжов. – М. : Машиностроение, 1981. – 244 с.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2012 р.