

ЗМІЦНЕННЯ ДОВГОМІРНИХ ОТВОРІВ КАРБОАЗОТУВАННЯМ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Хмельницький національний університет

Анотація

У роботі обґрунтовано спосіб безводневого карбоазотування в тліючому розряді для зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних отворів у конструкційних сталях. Розглянуто три технологічні режими насичення азотом і вуглецем. Досліджено вплив температури, тиску, складу середовища і тривалості процесу на глибину, твердість, структуру й фазовий склад зміцненого шару. Встановлено, що одночасне насичення забезпечує оптимальну якість при меншій товщині шару, підвищуючи зносостійкість поверхні без утворення ϵ -фази.

Ключові слова: карбоазотування, тліючий розряд, довгомірні отвори, конструкційні сталі, зносостійкість.

Метою роботи є обґрунтування способу і технологічних режимів безводневого карбоазотування в тліючому розряді (температури, складу насичувального середовища, його тиску, часу насичення) при яких досягаються оптимальні результати фізико-хімічних характеристик внутрішніх поверхонь довгомірних отворів в конструкційних сталях залежно від вимог експлуатації. Майже всі кінематичні пари тертя з поступальним рухом конструктивно підпадають під категорію довгомірних отворів, тобто відношення довжини (глибини) отвору до його діаметра перевищує значення чотирьох [1]. Цей показник, прийнятий в якості критерію геометричних співвідношень, обґрунтовується тим, що процес азотування подібних конструктивних елементів аналогічний за своєю природою розряду з пустотілим катодом [2]. З теорії цього процесу відомо, що реально поле проникає всередину отворів на глибину не більше двох його діаметрів. Числовий критерій карбоазотування до категорії довгомірних отворів в кількості чотирьох діаметрів стосується конструкцій, в яких отвори наскрізні. Для глухих заглиблень або отворів значення критерію може бути зменшене до двох.

Практичне значення вирішення поставленої задачі надзвичайно велике, оскільки в машинобудуванні використовується безліч деталей з довгомірними отворами, внутрішня поверхня яких є робочою і зносостійкість якої має принципове значення для підвищення ресурсу деталей та її працездатності і терміну нормальної роботи. Прикладами таких деталей можуть служити внутрішні поверхні пневмо- та гідроциліндрів, внутрішні поверхні матеріальних циліндрів термопластавтоматів, внутрішні поверхні плунжерних насосів паливної апаратури двигунів тощо. З метою виявлення впливу варіанту технологічного процесу карбоазотування на фазову структуру та фізико-механічні характеристики конструкційних сталей проведено три варіанти технологічного процесу зміцнення: 1) насичення вуглецем ($\tau = 120$ хв, середовище – 88 % Ar + 12 % C_3H_8) + насичення азотом ($\tau = 120$ хв, середовище – 25 % Ar + 75 % N_2); 2) насичення азотом ($\tau = 120$ хв, середовище – 25 % Ar + 75 % N_2) + насичення вуглецем ($\tau = 120$ хв, середовище – 88 % Ar + 12 % C_3H_8); 3) сумісне насичення поверхні азотом і вуглецем ($\tau = 240$ хв, середовище – 88 % (Ar + N_2) + 12 % C_3H_8). Дослідження проводилися на сталях марок: 12ХН3А, 40Х, 45, ХВГ. Завданням досліджень було визначення залежності характеристик карбоазотованого шару (глибини, твердості, структури, фазового і хімічного складу) від основних параметрів технологічного процесу (тиску, складу насичуючого середовища, температури і тривалості процесу). У якості робочих газів застосовувалися суміші азоту і аргону (75 % N_2 + 25 % Ar) і пропану C_3H_8 , температура насичення змінювалася від 480 °С до 600 °С, тиск газової суміші в процесі дифузійного насичення – від 80Па до 400Па, тривалість процесу – від 20хв до 240хв.

Як показали проведені дослідження, варіант технологічного процесу зміцнення значно впливає на фізико-механічні характеристики зміцненого шару. У всіх варіантах технологічного процесу зміцнений шар складається із поверхневої карбонітридної зони та дифузійної зони внутрішнього азотування, але властивості цих зон при різних варіантах технологічного процесу різні. Так, при зміцненні сталей по першому режиму товщина карбонітридної зони максимальна, а зона внутрішнього азотування має невелику товщину. Це пояснюється тим, що створений на поверхні сталі карбонітридний шар на першому етапі обробки виконує функцію екранування поверхні від проникнення в поверхневий шар металу іонів азоту. При зміцненні по другому режиму як карбонітридна зона, так і зона внутрішнього азотування мають найбільшу товщину, але при такому зміцненні в дифузійній зоні утворюються карбонітридні включення у вигляді сітки, які значно знижують пластичність шару і при динамічних навантаженнях являються центрами зародження мікротріщин. При карбоазотуванні по третьому режиму на поверхні сталі утворюється композиційний шар, який складається із зовнішньої карбонітридної зони і розвинутої дифузійної зони без виділення по межах зерен ϵ -фази, що підвищує опір абразивному і адгезійному зношуванню. Товщина карбонітридної зони і зони внутрішнього азотування при одночасному насиченні поверхневого шару азотом і вуглецем мають меншу товщину ніж при поетапному зміцненні, але характеризуються більш якісними фізико-механічними характеристиками (поверхневою твердістю, пластичністю) та більш плавним зниженням твердості по глибині шару.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Stechyshyn, M.S., Stechyshyna, N.M., Martynyuk, A.V., Luk'yanyuk, M.M. (2018). Strength and Plasticity of the Surface Layers of Metals Nitrided in Glow Discharge. *Materials Science*. 54 (5). 55 – 60.
2. M. Stechyshyn, M. Macko, O. Dykha, S. Matiukh, J. Musial. *Tribotechnologies of strengthening and wear modeling of structural materials*. Bydgoszcz: Foundation of Mechatronics Development, 2023. 196p.
3. Патент № 156072 України «Пристрій для контролю якості азотування внутрішніх поверхонь довгомірних отворів» / Стечишин М.С., Люховець В.В., Стечишина Н.М. Здоренко Д.В. Заявл. № u 202301843 від 19.04.23; опубл. 08.05.2024.

Стечишин Мирослав Степанович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, miro@gmail.com

Диха Олександр Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, tribosenator@gmail.com

Здоренко Денис Вікторович, аспірант кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, dzdorenko@gmail.com

Бабак Олег Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, angbabak@gmail.com

STRENGTHENING OF LONG HOLES BY CARBONITROZING IN AGLOW DISCHARGE

Abstract

This study substantiates a hydrogen-free carbo-nitriding method using glow discharge to strengthen the inner surfaces of elongated holes in structural steels. Three technological regimes of nitrogen and carbon saturation were analyzed. The effects of temperature, pressure, atmosphere composition, and process duration on layer depth, hardness, structure, and phase composition were studied. It was found that simultaneous saturation yields optimal properties with thinner layers, enhancing wear resistance without ϵ -phase formation.

Keywords: carbo-nitriding, glow discharge, elongated holes, structural steels, wear resistance.

Stechyshyn Myroslav, D.Sc., Prof., Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Agricultural Engineering, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, miro@gmail.com

Dykha Oleksandr, D.Sc., Prof., Head of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, tribosenator@gmail.com

Zdorenko Denys, Postgraduate Student of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Agricultural Engineering, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, dzdorenko@gmail.com

Babak Oleh, PhD, Ass. Prof., Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, angbabak@gmail.com