Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО – ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

83 – ї Міжнародної наукової конференції студентів університету

12 – 13 квітня 2020 року

Харків

ХНАДУ

2021

УДК 621.785+ УДК 669.017:621.73+ УДК 621.791.311+ УДК 620.22.001.66+ УДК 621.791.037+ УДК 621.791+ УДК 620.17+ УДК 621.791+ УДК 669.017+ УДК 621.791.01+ УДК 629.793+ УДК 621.9.025:621.787+

Збірник наукових праць, 83 Міжнародна наукова конференція студентів університету (12-13 квітня 2021 року, м. Харків), Харків, 2021, ? с.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Глушкова Д.Б. – професор, д.т.н.

Дощечкіна І.В. - професор, к.т.н.

Лалазарова Н.О. - доцент, к.т.

Зміст

1. Вступ……..5
2. Сучасна технологія підвищення довговічності вкладишів підшипників пожежних машин
Гнатюк А.А., Воротинцев М.А…….....……6
3. Застосування електро – іскрового легування для підвищення зносостійкості деталей гідро молота
Гнатюк А.А., Моргунов В.В…... ……..…14
4. Експрес – діагностика якості та підбір зносостійких матеріалів із застосуванням термоелектричного методу контролю
Аліферов О……..……..20
5. Застосування іонно-плазмової технології для підвищення довговічності елементів будівельно-дорожніх машин
Саєнко В.О……26
6. Гідро розподільники автогрейдерів та пропозиції по їх ремонту
Довбиш В.В, Брусов С.О……..…….……..31
7. Підвищення зносостійкості поршневих кілець тепловозів
Подзолков В.С…….……37
8. Підвищення зносостійкості поршневих кілець машин спеціального призначення лазерною обробкою
Лючкова Є.В., Ковальов Б.В……45
9. Забезпечення технологічної пластичності холоднокатаних тонколистових сталей для виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок (Вошунок)
Вошунок І……52
10. Исследование пастеризатора, используемого на предприятии ООО ”GELIBERT”
Тудосан Виктория……56
11. Исследование вальцовых станков для обработки зерна злаковых культур, в том числе и модели ВМП
Талпэ Александрина……..61
12. Рациональное планирование человеческих ресурсов нацеленное на поддержание эффективности производственного процесса электрической проводки DRIVE I01 на предприятии ООО „DRA – DRAEXLMAIER AUTOMOTIVE”
Игорь Фокша…….……66
13. Підвищення зносостійкості поверхонь деталей вузлів тертя методами ЕІЛ
Плужніков Д.О……..……78
14. Підвищення довговічності поршневих кілець будівельно – дорожніх машин
Музиков В.С……84
15. Матеріали для деталей об’ємного гідро привиду та методики досліджень
Шабаршина Є.П……..…….91
16. Деградація металу зварних з’єднань паропроводів
Карпенко Є.С……....97
17. Механізм старіння зварних з’єднань з теплостійких перлітних сталей 115Х1М1Ф
Григор’єв Д.Р…..……100
18. Підвищення корозійної стійкості лопаток парових турбін
Воротинцев М.А……..……...102
19. Підвищення довговічності колінчастого валу дизеля
Кортяк А., Галенко О……..106
20. Исследование и модернизация рассевов применяемых на мукомольных заводах
Трандафил Марина….……112

21. Дослідження впливу термоциклічної обробки і якості поверхневого шару на корозійну стійкість низьколегованої сталі
Омельченко В.В, Кортяк А…….……120
22. Вибір режимів термічного обробляння підвищування експлуатаційних властивостей деталей штампів холодного деформування
Лючкова Є.В., Воротинцев М.А……...126
23. Епіламування поверхні як спосіб пластифікації холоднокатаних авто листових сталей
Семенчук В.В..……136

Вступ

12 – 13 квітня 2021 року на кафедрі технології та металів відбулася 83 Міжнародна наукова конференція студентів університету, яка проводилася онлайн. Цей науковий захід присвячений 91-й річниці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

На конференції розглядалися питання підвищення довговічності деталей машин, які вирішуються в основному за рахунок вибору якісних матеріалів та ефективних способів їх обробки. Широко використовується поверхнева обробка для підвищення зносостійкості та механічних властивостей виробу вцілому – нанесення іоно-плазмових покриттів, іонне бомбардування, поверхневе пластичне деформування, лазерна обробка, іонна імплантація та ін.

Для зміцнення поверхневого шару широко використовують наплавлення робочих поверхонь, модифікування деталей трибо систем із застосуванням висококонцентрованих потоків енергії, до яких відноситься електроімпульсна обробка, що дозволяє одержувати покриття з висоми фізико-механічними й триботехнічними властивостями.

На конференції була приділена увага технологіям зварювання, розвиток яких впливає на прогрес у різних галузях промисловості і будівництва.

Обмін думками з питань, пов’язаних з вирішенням проблем підвищення довговічності машин, вдосконалення методів поверхневої обробки та технологій зварювання, учасниками конференцій є корисним і актуальним.

СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВКЛАДИШІВ ПІДШИПНИКІВ ПОЖЕЖНИХ МАШИН

Гнатюк А.А., ст. гр. МС-41-17, Воротинцев М.А., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Анотація: *встановленні теоретичні і технологічні основи формування прогнозованих структур і властивостей навантажених вкладишів підшипників при високоенергетичному впливі для відновлення та підвищення їх зносостійкості і довговічності.*
Ключові слова: *адгезійна міцність, іонно-плазмове покриття, твердість, багатошарове антифрикційне покриття, шорсткість.*

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ ПОЖАРНЫХ МАШИН

Гнатюк А.А., ст. гр. МС-41-17, Воротинцев М.А., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Аннотация: *установленные теоретические и технологические основы формирования прогнозируемых структур и свойств нагруженных вкладышей подшипников при высокоэнергетическом воздействии для восстановления и повышения их износостойкости и долговечности.*
Ключевые слова: *адгезионная прочность, ионно-плазменное покрытие, твердость, многослойное антифрикционное покрытие, шероховатость.*

STATE-OF-THE-ART TECHNOLOGY TO IMPROVE THE LONGEVITY OF FIRE ENGINE BEARING SHELLS

Gnatiuk A., student of MS-41-17 group, M. Vorotintsev, student of MS-42t1-18 group, KhNAHU

Abstract: *Theoretical and technological bases for formation of predictable structures and properties of loaded bearing shells under high-energy impact to restore and improve their wear resistance and durability have been established.*
Key words: *adhesion strength, ion-plasma coating, hardness, multilayer antifriction coating, roughness.*

Вступ

Розвиток сучасної техніки пред'являє все більш зростаючі вимоги до робочих характеристик конструкційних матеріалів, зниженню металоємності деталей, підвищенню їх економічності та якості. У комплексі проблем підвищення надійності й довговічності машин особливе місце займає питання зносостійкості деталей. Недостатня зносостійкість матеріалів обмежує зростання продуктивності машин і термінів їх експлуатації, збільшує витрати на ремонт і запасні частини.

Статистика свідчить, більше 80% машин та механізмів виходять з ладу через знос деталей, які працюють в умовах тертя до таких деталей відносяться вкладиші підшипників колінчатих валів тяжко навантажених дизелів.

Робота підшипників здійснюється в умовах підвищених температур, змінних тисків та явищ пов`язаних зі змінами режимів тертя, що впливає на термін режимів їх роботи.

Аналіз літературних джерел свідчить про перспективність використання високоенергетичних джерел енергії.

Матеріали та методи досліджень

Нанесення покриттів на вкладиші підшипників і спеціальні зразки здійснювалося методом конденсації речовини в умовах іонного бомбардування (КІБ) на установці « Булат-3т».

Для виготовлення катодів сконструйована, виготовлена й ввведена в експлуатацію силитова піч , що дозволяє підтримувати постійну температуру до 950–1000°С, що працює в автоматичному режимі. У корундовому тиглі, поміщеному в робочому просторі печі, нами проводилося розплавлювання елементів, відповіних складів, наступне їхнє заливання й виготовлення катодів.

Контроль товщини наносимого покриття здійснювали за допомогою не руйнуючого методу контролю по ослабленню інтенсивності відбиття рентгенівського залізного випромінювання від площини підложки залежно від товщини покриття.

Рентгенівський аналіз покриттів проводили на установці «ДРОН-3.0», з використанням $K_{\alpha}C_{u}$ випромінювання.

Міцність з'єднання нанесеного покриття з основним металом визначалась методом нормального відриву плівки.

Для визначення твердості застосовували метод Роквелла, вимірювання мікротвердості поверхні тертя проводиться при різних навантаженнях на алмазну піраміду від 0,02 HV до 2 HV.

Результати досліджень

Проведені випробування показали, що в покриття, отриманого відцентровим литтям, заїдання починається при навантаженні більш 400Н, хіміко-термічне покриття витримує навантаження до 600 Н, гальванічне покриття – 800Н. У той же час покриття, отримане при іонно-плазмовому напилюванні, працює без появи задиров при навантаженні 1000 Н (мал. 2.7). Таким чином, по ступеню підвищення противозадирных властивостей багатошарового покриття вкладиша найбільший ефект дає вакуум-плазмовий метод.

Металографічний аналіз вихідних і дослідних зразків показав, що при терті досвідчених покриттів робоча поверхня після випробувань залишається гладкої, немає глибинних подряпин і рисок, що з'являються при терті гальванічних покриттів. У той час як у гальванічних покриттів спостерігається значне руйнування поверхні, після випробування дослідних зразків немає ознак руйнування, зношування обмежується найтоншим поверхневим шаром і не поширюється вглиб металу.

Ефект підвищення задиростійкости, що досягається при вакуум- плазмовому нанесенні покриття, супроводжується зниженням сил тертя, про що свідчить зміну коефіцієнта тертя.

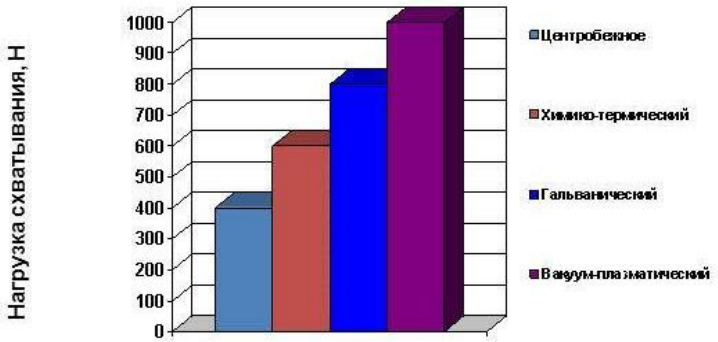


Рис.3.1–Вплив виду нанесення багатошарового покриття
на опір тертю ковзання

Для відцентрових покриттів при терті всуху й навантаженню 200 Н, коефіцієнт тертя 0,4. При збільшенні навантаження до 600 Н, коли з'являються задири, значення коефіцієнта тертя досягає 0,65 (мал.3.1, крива 1). Для гальванічних покриттів хоча й характерні також високі значення коефіцієнта тертя (до 0,6), але при збільшенні навантаження не спостерігається різкого його збільшення й навіть при 800 Н його величина становить 0,63-0,65 (мал.3.1, крива 3). У той же час для покриттів, отриманих хіміко-термічною обробкою, характерно низьке значення коефіцієнта тертя (0,2) при малих навантаженнях – на рівні 200 Н. Зі збільшенням навантаження до 600 Н значення коефіцієнта тертя підвищується до 0,25. При навантаженні вище 600 Н відбувається різке збільшення коефіцієнта тертя – до 0,45 (мал.3.1, крива 2). Це показує, що багатошарові покриття не можуть протистояти високим навантаженням в умовах сухого тертя.

Для іонно-плазмових покриттів при навантаженнях від 200 до 1000 Н коефіцієнт тертя залишається практично постійним – 0,20-0,23. Таким чином, запропонований метод дає можливість в 2,5-3, 0 рази зменшити коефіцієнт тертя в порівнянні з гальванічними покриттями, в 2 рази – у порівнянні з відцентровим литтям.

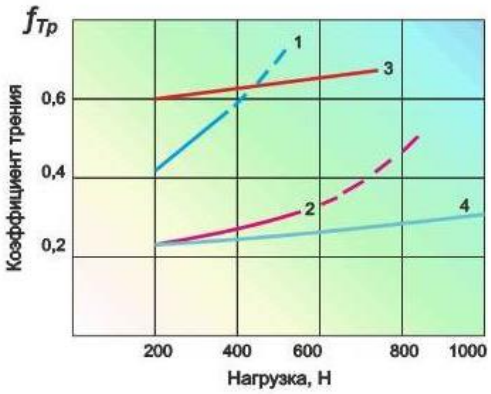


Рис.3.2– Вплив виду нанесення покриття на зміну
коефіцієнта пари тертя: 1 – відцентрове лиття;2 – хіміко-термічна обробка;3 – гальванічний спосіб;4 – іонно-плазмовий метод

Можлива дія іонно-плазмового методу на формування багатошарового покриття може полягати в тому, що в поверхонь не відбувається збільшення сил тертя на ділянках контакту до величини, яка може привести до різкого зростання коефіцієнта тертя.

Контактування мікронерівностей покриття й руйнування окремих мікроконтактів не супроводжується деформуванням прилягаючих ділянок і не переходить у глибинне виривання металу. Завдяки цьому ріст сили тертя затримується, і вона не досягає тих граничних значень, при яких відбувається зміна характеру тертя.

Підвищення противозадирних властивостей іонно-плазмових покриттів забезпечує запобігання заїдання поверхонь тертя при короткочасних навантаженнях при порушенні режиму змащення. Необхідно також знати, наскільки підвищення цих властивостей поліпшує зносостійкість покриття в умовах тривалого стирання. Порівняння противозносних властивостей, отриманих при розглянутих методах нанесення багатошарового покриття, було проведено по інтенсивності зношування.

Залежність інтенсивності зношування від питомого тиску зберігає прямолінійний характер для всіх видів обробки .

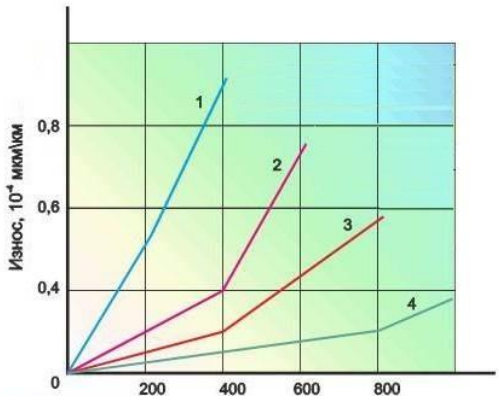


Рис.3.3–Вплив способу нанесення покриттів на лінійне зношування зразків:
1 – відцентрове лиття,2 – хіміко-термічна обробка,
3 – гальванічний метод,4 – іонно-плазмовий метод

Для покриттів отриманих методом відцентрового лиття інтенсивність зношування набагато вище, ніж у хіміко-термічних і гальванічних покриттів, і при навантаженні 400 Н досягає $0{,}85 \cdot 10^{-4}$ мкм/км. Для хіміко-термічних покриттів характерно плавне збільшення зносу до навантаження 400 Н, потім зі збільшенням навантаження до 600 Н спостерігається різке збільшення інтенсивності зносу до 0,78 • 10-4 мкм / км. Це ще раз підтверджує положення про те, що покриття, отримані при хіміко-термічній обробці, в даних умовах незначно підвищують зносостійкість багатошарового покриття.

Покриття, отримані гальванічним методом, мають зношування (0,2·10-4 мкм/км при зростанні навантаження до 800 Н) менший, чому при хіміко-термічній обробці.

Для іонно-плазмових покриттів характерне мінімальне зношування при всіх випробуваних навантаженнях від 200 Н до 800 Н. Зношування перебуває на рівні 0,2–0,39·10-4 мкм/км. Проведені дослідження показали, що іонно-плазмовий метод нанесення багатошарового покриття підвищує зносостійкість матеріалу підшипників ковзання в 1,6-1, 7 рази в порівнянні з гальванічним методом, в 2, 1 рази – з хіміко-термічною обробкою й з відцентровим литтям – в 2,5-2, 7 рази.

Дослідження припрацьованості в промислових умовах затруднене у зв'язку з тим, що після обкатування дизеля необхідно проводити його розбирання для огляду деталей, що змушує нести додаткові матеріальні витрати. У зв'язку із цим припрацьовуваність після різних видів застосовуваної поверхневої обробки попередньо оцінювали за допомогою випробувань на машині тертя.

Аналіз роботи сполучень показує, що для збільшення терміну служби дизеля необхідно скоротити величину початкового зношування до мінімуму, максимально збільшити тривалість тертя, що встановилося, і попередити настання посиленого зношування.

Природно, такі випробування не можуть повністю змоделювати режим обкатування в заводських умовах, однак навантаження й час її зміни, а також загальний час випробування відповідали промисловому режиму обкатування.

У цьому випадку за критерій оцінки впливу покриттів на обкатування деталей шатунно-кривошипної групи ухвалювали:

- стабілізацію моменту тертя;
- інтенсивність зношування.

Зразки після різної обробки випробовували 9 годин під навантаженням, яке змінювали від 300 до 2000 Н через кожні 30 хвилин, по 100 Н. При цьому проводили фіксацію часу, температури масла, моменту тертя. Така методика відповідає методиці, застосовуваної в промисловості.

Як показали випробування, стабілізація моменту тертя наступає швидше в пар тертя з іонно-плазмовим покриттям, чому після інших видів обробки (мал. 3.4).

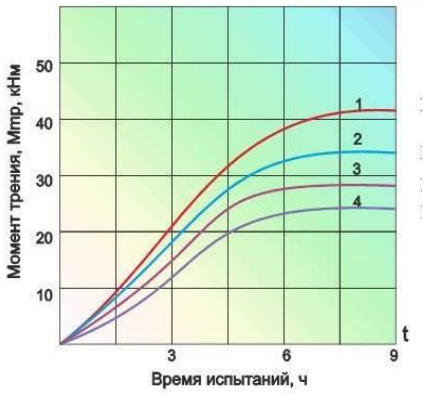


Рис.3.4–Вплив різних методів нанесення покриттів на момент тертя й зношування пари тертя: 1 – відцентрове лиття; 2 – хіміко-термічна обробка; 3 – гальванічний спосіб; 4 – іонно-плазмовий метод

В іонно-плазмових покриттів вона наступає при навантаженні 1400 Н, у покриттів, отриманих хіміко-термічною обробкою – 1600 Н, в отриманих гальванічним способом – 1500 Н. Аналіз кривих залежності зношування пари тертя від тривалості обкатування показує, що найменше зношування при обкатуванні мають покриття, отримані при іонно-плазмовому напилюванні.

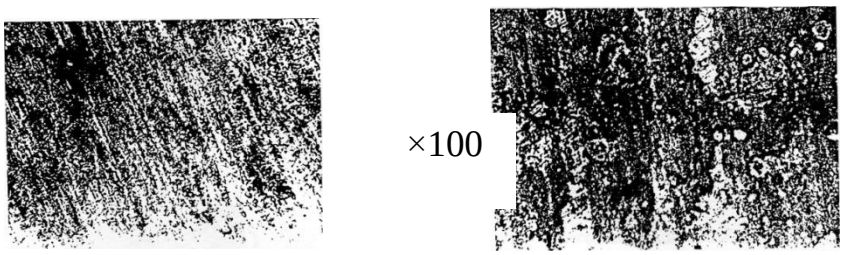
Таким чином, проведені комплексні дослідження припрацьованості, антифрикційних властивостей і зносостійкості багатошарового покриття виявили наступні переваги розробленого методу нанесення покриття в порівнянні з існуючими (відцентрове лиття, хіміко-термічна обробка, гальванічний метод):

- підвищену несучу здатність;
- підвищену зносостійкість;
- зниження коефіцієнта тертя;
- полегшення умов приробітки пари тертя вал-підшипник ковзанням.

Такі істотні переваги дають можливість рекомендувати розроблений спосіб для виготовлення й відновлення корінних і шатунних вкладишів з метою підвищення їх зносостійкості й працездатності

Мікроструктура й фазовий склад покриттів.

На мал.4.1 представлені мікрофотографії вкладишів з боку відновленої поверхні.

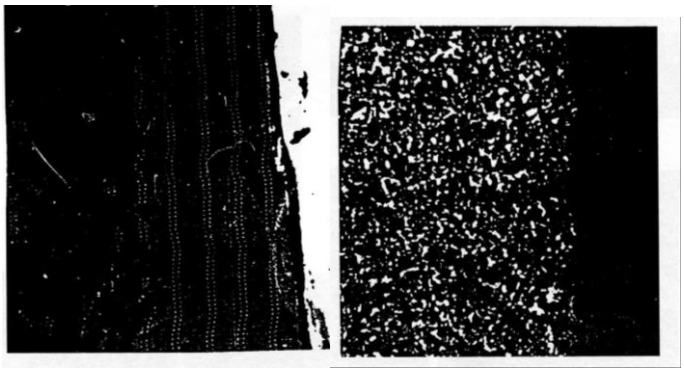


×100 ×100

а б

Рис.4.1 – Мікроструктура вкладишів з боку відновленої поверхні: а – гальванічного покриття; б – іонно-плазмового покриття

Як видно з малюнка, гальванічне покриття створює свою поверхню певної спрямованості. Тоді як на зразках з вакуум-плазмовим покриттям повністю зберігається рельєф основи. Так, при відновленні вкладишів була проведена підготовча механічна обробка поверхні з утвором ребристого рельєфу, який зберігається й після відновлення зношених шарів. Крім цього, на поверхні чітко виявляється краплинна фаза. На мал.4.2 представлені мікрофотографії поперечних шліфів після травлення, де чітко проглядається границя між основою й покриттям, що має різну природу утвору, що пов'язане із застосовуваною технологією



×100

а б

Рис.4.2 – Мікроструктура поперечних зразків, вирізаних з відновлених вкладишів:а – з гальванічним покриттям; б – з іонно-плазмовим покриттям

Для пояснення відмінності утвору перехідної зони в розглянутих об'єктах вивчали розподіл елементів за допомогою рентгеноспектрального аналізу.

У зразків з поверхневим шаром, відновленим гальванічним методом, на границі між основою й покриттям спостерігається перехідна зона (мал.3.2) на відміну від відновлених іонно-плазмовим методом.

У перехідній зоні (мал. 4.1,а), крім міді, свинцю, спостерігається залізо, що дифундує зі сталевої основи. Наявність цієї зони послабляє адгезионное взаємодія між нанесеним покриттям і основою .

Це обумовлене – особливостями ионно-плазменого методу, яке полягає в незначному розігріві деталі при нанесенні покриття й, як наслідок, відсутність перехідної зони між покриттям і основним металом. При нанесенні гальванічного покриття відбувається об'ємний розігрів виробу утвір перехідної зони за рахунок взаємної дифузії елементів покриття в основу й навпаки, що послабляє зчеплення його з основою й приводить до відшаровування.

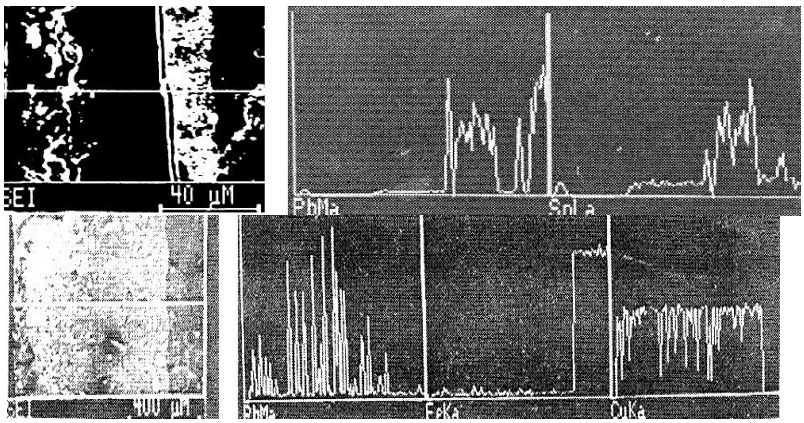


Рис.4.3 –Розподіл елементів у зоні контакту покриття-основа, відновлені різним методами: а - гальванічним методом, б – іонно-плазмовим методом

Розроблені методи й устаткування для зношуваних випробувань зразків і підшипників ковзання на стендах і машинах тертя можуть бути також рекомендовані до застосування для визначення здатності втримання масла й інших технологічних рідин на поверхні ковзання деталей. Використання результатів досліджень дозволило суттєво скоротити витрати засобів і часу від проектних розробок до їхнього впровадження на ГП «Завод ім. Малишева» .

Висновки

1. Установлено, що вкладиші підшипників колінчатих валів важко навантажених дизелів виходять із ладу в результаті тривалого впливу мінливих по величині тисків, підвищеної температури, абразивного зношування. Руйнування проходить по антифрикційному шару.
2. Для іонно-плазмових покриттів характерне мінімальне зношування при всіх випробуваних навантаженнях від 200 Н до 800 Н. Зношування перебуває на рівні 0,2–$0{,}39\cdot10^{-4}$ мкм/км. Проведені дослідження показали, що іонно-плазменний метод нанесення багатошарового покриття підвищує зносостійкість матеріалу підшипників ковзання в 1,6-1,7 рази у порівнянні з гальванічним методом, в 2,1 раза в порівнянні з хіміко-термічною обробкою і в порівнянні з центробежним литтям - в 2, 5-2,7 рази.Методом математичного аналізу показане, що максимальна стійкість вкладишів підшипників може бути отримана при твердості матеріалів 45 HRC, шорсткості поверхні вкладиша, на яку наноситься покриття, R_a = 0,16, і товщині нанесеного плазмового покриття 45 мкм.
3. Результати випробувань свідчать, що стабілізація моменту тертя в пар з іонно-плазмовим покриттям наступає при навантаженні 1400 Н, у покриттів, отриманих хіміко-термічною обробкою, – при навантаженні 1600 Н, у гальванічних покриттів – при навантаженні 1500 Н.
4. Було досягнуто не тільки підвищення зносостійкості матеріалу підшипника приблизно в 2 рази, але й збільшення працездатності вузла тертя вал-підшипник в 1,5- 2 рази, що підтверджене актами впровадження.
5. Після завершення випробувань розроблена технологія впроваджена у виробництво для відновлення зношених підшипників ковзання в ГП «Завод ім. Малишева.

Література

1. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 398 с.

2. Гаркунов Д.Н. Избирательный перенос в узлах трения /

Д.Н. Гаркунов, И.В. Крагельський, А.А.Поляков – М.: Транспорт, 1969. – 104 с.

3. Анисимов М.И. Воздушно-плазменное напыление терми¬ческих порошков / М.И. Анисимов // Сб. ГТНП-91. – 1991 – С. 13–19.

4. Хасуи А. Техника напыления / А. Хасуи. – М.: Машиност¬роение, 1975. – 288 с.

5. Белащенко В.В. Эффективная температура подложки при воздействии высокотемпературной струи в процессе напыления / В.В. Белащенко, В.А. Вахалин, В.В. Кудинов, Ю.Б. Черняк // Физика и химия обработки материалов. – 1984. – № 4–5. – С. 22–26.

6. Семенов А.П. Создание износостойких и антифрикционных покрытий и слоев на поверхностях трения деталей машин новыми методами / А.П. Семенов // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – С. 401–411.

7. Присевок А.Ф. Упрочнение и восстановление быстроизна¬шивающихся деталей самофлюсующимися, твердыми сплавами / А.Ф. Присевок // Долговечность трущихся деталей машин. Сб.статей, под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1987. – Вып. 2. – С. 224–23.

8. Семенов Л.П. Трение и адгезионное взаимодействие тугоп¬лав¬ких материалов при высоких температурах / Л.П. Семенов. – М.: Наука, 1972. – 160 с.

9. Трефилов В.И. Структуры и свойства материалов и покры¬тий из композиций хром-карбид / В.И. Трефилов, Ю.С. Борисов,

Р.А. Алфинцева и др. // Порошковая металлургия. – 1981. – № 11. – С. 74–80.

10. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. – М.: Наука, 1977– 184с.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРО – ІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОМОЛОТА

Гнатюк А.А., ст. гр. МС-41-17, Моргунов В.В., ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Анотація: Аналіз роботи гідромолота показав, що довговічність його експлуатації залежить від основних робочих інструментів: піки, бойка, втулки і корпусу гідромолота. Електроіскрове легування вольфрамом і хромом при потужності обробки 1-1,5 кВт забезпечує локальне зміцнення поверхневих обсягів матеріалу деталей і суттєво впливає на їх твердість.
Ключові слова: міцність, зносостійкість, твердість, шорсткість, мікроструктура, довговічність, мікротвердість.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРО - ИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОМОЛОТА

Гнатюк А.А., ст. гр. МС-41-17, Моргунов В.В., ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Аннотация: *Анализ работы гидромолота показал, что долговечность его эксплуатации зависит от основных рабочих инструментов: пики, бойка, втулки и корпуса гидромолота. Электроискровое легирования вольфрамом и хромом при мощности обработки 1-1,5 кВт обеспечивает локальное укрепление поверхностных объемов материала деталей и существенно влияет на их твердость.*
Ключевые слова: *прочность, износостойкость, твердость, шероховатость, микроструктура, долговечность, микротвердость.*

APPLICATION OF ELECTRIC-SPARK ALLOYING TO IMPROVE WEAR RESISTANCE OF HYDRAULIC HAMMER PARTS

Gnatiuk A., student of MS-41-17 group, V. Morgunov, student in MS-41-17 group, KhNAHU

Abstract: *The analysis of hydraulic hammer operation has shown that the durability of its operation depends on the main working tools: the peak, the striker, the sleeve and the hydraulic hammer body. Electrospark alloying with tungsten and chrome at the processing power of 1-1.5 kW provides local strengthening of the surface volumes of the parts material and significantly affects their hardness.*
Key words: *strength, wear resistance, hardness, roughness, microstructure, durability, microhardness.*

Вступ

Проблема еффективного розвитку галузей промисловості України, особливо, машинобудівного комплексу, включає 2 основних напрямки.

Перше - це розробка нових матеріалів, що поєднують в собі різні властивості, наприклад, високого коефіцієнта тертя з низькою інтенсивністю зношування, високу міцність з пластичністю. Для систем, що працюють в екстремальних умовах, необхідні матеріали з особливими властивостями - корозійно-, зносо-, радіаційно-стійкі.

Другий напрямок - це сучасні технології обробки, за допомогою яких можна забезпечити в деталях необхідне сполучення необхідних властивостей, виходячи з умов експлуатації.

Рішення даної проблеми відкриє широкі можливості прогнозування та управління функціональними характеристиками відповідальних деталей будівельних машин в широкому діапазоні умов експлуатації і забезпечить значне підвищення їх довговічності.

Методики дослідження

Для виявлення змін в поверхневих ділянках, а також контролю якості покриття проводили виміри твердості. Для дослідження застосовували метод Роквелла, який використовується для вивчення термозміцненого матеріалу. Визначення глибини наклепаного шару поверхонь тертя здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3.

Структури вивчали і фотографували на мікроскопі МІМ-7 при збільшенні (70 - 1000) разів. Електроно мікроскопічні дослідження виконували на мікроскопі УЕМ 100 МЛ з використанням лакових реплік.

З метою визначення впливу різних видів зміцнення на довговічність гідромолота його деталі після зміцнення різними методами випробовували на стенді.

Результати досліджень

При мікродослідженні зміцнених ЕІЛ ділянок, які знаходяться поза зоною навантаження при випробуванні, встановлено, що на корпусі і втулки зміцнені ЕІЛ ділянки мають товщину 10-40 мкм і твердість HV 600-650. На бойках вихідна товщина зміцненого шару 20 мкм з твердістю HV 600-650. Зміцнені зони в перетині мають вигляд дугоподібних, впроваджених в поверхневий ні шари металу деталей, фаз. Будь-яких структурних змін під цією зоною в основному металі не відзначається.

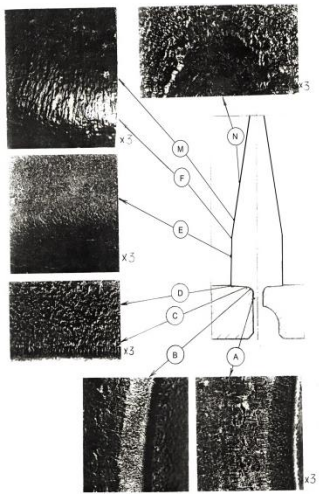
Дослідження зносостійкості деталей, зміцнених ЕІЛ, виконано за стандартною методикою.

Випробування проводили до освіти в порожнинах корпусу і втулки, на бойку і піку картини зносу, аналогічної отриманої на деталях, виготовлених без додаткового зміцнення (див. Рис. 3.2 і 3.3). Початкові ознаки зносу деталей пристрою у вигляді дрібних рисок-задирів виявлені на піку в зонах «M» і «F» (див. Рис. 3.2) після 300 циклів навантаження, на втулці після 450 циклів, на бойку і корпусі відповідно після 350 і 500 циклів.

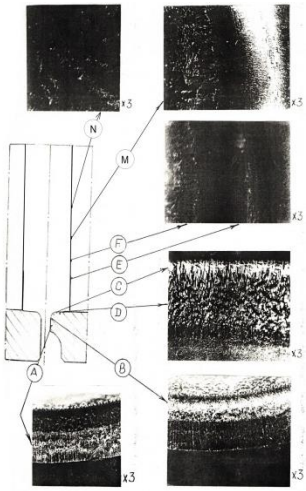
Після 1300 циклів навантаження характер і ступінь пошкодження деталей відповідали отриманим на незміцненому комплекті. Наведений діаметр каналів корпусу в зоні зріза збільшився до 125,5 мм, бойок в зоні «N» (див. Рис. 3.3) зносився на 0,35 мм, в зоні «F» - на 0,55 мм. Знос піки становить відповідно 0,35 і 1,15 мм.

Характеристика пошкоджень деталей, зміцнених електроіскровий обробкою

Загальний вигляд пошкоджень деталей, зміцнених електроіскровою обробкою, в процесі випробувань представлений на рис. 3.2 і 3.3.



x3



x3

Рисунок 3.2 -Пошкодження поверхонь піки і втулки, зміцнених ЕІЛ

Рисунок 3.3 - Пошкодження поверхонь корпусу і бойка, зміцнених ЕІЛ

Зони пошкоджень корпусу і втулки збігаються з відновленими зонами зносу корпусу і втулки, які не були додатково зміцнені (див. Рис. 3.2 і 3.3). Характер пошкоджень також ідентичний тому,що був раніше, але ступінь пошкоджень (наклеп, утворення тріщин, пластична деформація металу, знос з утворенням борозен) істотно більше.

Відзначається менша розвиненість борозен в зоні «В» на корпусі бойка у порівнянні з втулкою. У зонах «С» спостерігається интенсивний знос з утворенням рельєфної поверхні, більш розвиненою на корпусі бойка. Притертість вихідної поверхні у вигляді плям мождиво розглянути у зонах «D».

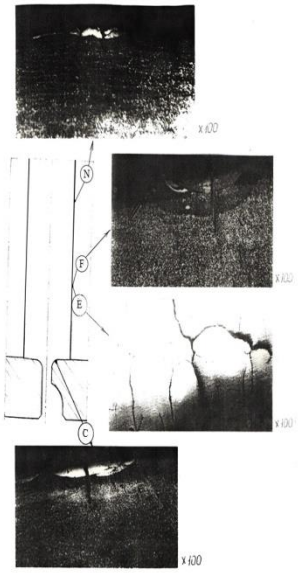
Зона «N» бойка і піки має вигляд круглого плями діаметром близько 14 мм, відрізняється загладженою і наклепанною поверхнею, що переходить у складкообразний Рельф із загальною спрямованістю.

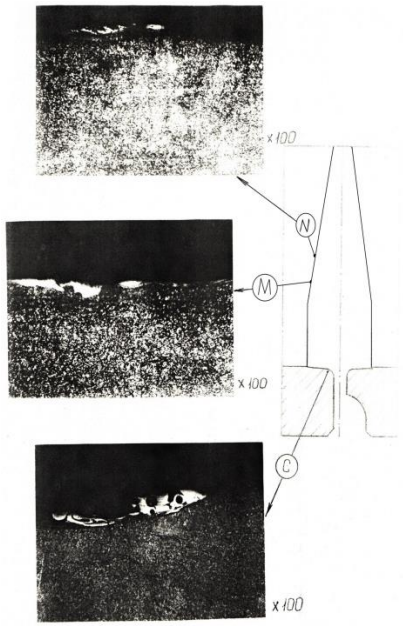
Чітко розвинений рельєф, утворений борознами радіальної спрямованості, характеризує зону «М». При цьому на піку ступінь розвитку рельєфу вище в порівнянні з бойком. Зони «F», які замають близько половини поверхонь, характеризуються наклепом, заглаженності поверхонь.

На піку відзначається деяка шорсткість і лущення поверхневого шару металу. Зона «Е» має ознаки рівномірного зносу і наклепу.

На верхніх деталях (корпусі і бойку) темніші кольори побіжалості і нагару.

Структурний стан матеріалу деталей, зміцнених електроіскровий обробкою





X100 X100

Рисунок 3.4 - Структурні зміни матеріалів втулки і піки

Рисунок 3.5 - Структурні зміни матеріалів корпусу і бойка

На робочих поверхнях випробуваних деталей відзначається зніс зміцнених електроіскровий обробкою поверхневих обсягів металу (рис. 3.4, 3.5). Можливі тріщини; метал по стінках тріщин гладкий, покритий щільним шаром окислів. На корпусі і втулки тріщини глибиною 0,1-0,3 мм зосереджені в зонах «В». На бойку і піку тріщини сітчастої орієнтації глибиною 0,1-0,3 мм відзначаються в зонах «N», «М» і «F». Найбільша глибина тріщин має місце в зонах «М» - 0,3 мм на бойку і 0,1 мм на піку.

На робочих поверхнях всіх деталей зміцнений ЕІЛ шар зберігся лише на окремих ділянках. На корпусі і втулки у зонах «В» і «С» товщиною від 5 мкм до 0,01 мм. На бойку і піці залишки шару завтовшки від 30 мкм до 0,1 мм спостерігаються тільки місцями по поверхнях «F». У зонах «N», «М» і «Е» шар ЕІЛ НЕ проявля- ється.

Основний метал всіх деталей пристрою безпосередньо у робочих пошкоджених поверхонь зазнав змін структури і твердості. На корпусі і втулки зміни структури на глибну 0,1 мм (HV 400-500) спостерігаються у зонах «В» і в зоні «С» піки. У зонах «А» і «D» структурні зміни відсутні.

На бойку і піку структурні зміни відсутні тільки в зонах «Е». У зонах «N», «М» і «F» глибина зон структурних змін становить 0,1-0,3 мм для бойка і 0,05-0,1 мм для піки. Твердість матеріалу в цих зонах бойка HV 420-500, піки HV 400-460. Структура металу - Троостит-мартенситного і Троостит-сорбітного типів.

Аналіз якості матеріалу деталей

По перетину деталей твердість практично постійна і складає:

Корпус-HRC45; бойок - HRC 45; втулка -HRC45; піку - HRC 40.

Мікроструктура основного металу складається з сорбіту. Механічні властивості матеріалу деталей визначали при температурі 20 ° С на зразках, вирізаних в осьовому і тангенціальному напрямках

Таблиця 3.1

Механічні властивості матеріалів досліджуваних деталей, зміцнених ЕІЛ

Найменування деталей	Напрямок вирізки зразків	Механічні			
		$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	ψ, %
1	2	3	4	5	6
корпус бойка	осьове	1475–1485	1430–1510	13,0	56,0
	тангенціальне	1480–1490	1400–1410	12,5–13,0	48,0
1	2	3	4	5	6
бойок	осьове	1485–1400	1360–1375	14,0–14,5	54,0
	тангенціальне	1490	1330–1365	9,0–10,0	29,5
втулка	осьове	1470	1400–1410	12,0–13,0	54,0–59,0
	тангенціальне	1470–1480	1340–1390	12,0–13,0	42,0–51,0
піка	осьове	1070–1080	1015–1035	14,0–15,0	64,0
	тангенціальне	1330–1340	1250–1260	14,0–16,0	38,0–59,0

Механічні властивості матеріалу піки, отримані на зразках, вирізаних в осьовому напрямку, в повному обсязі задовольняють вимогам, що пред'являються.

Висновки

1. Електроіскрове легування вольфрамом і хромом при потужності обробки 1-1,5 кВт забезпечує локальне зміцнення поверхневих обсягів матеріалу деталей на глибину 10-40 мкм і твердість HV 600-650.

2. Результати випробувань деталей, зміцнених ЕІЛ, свідчить, що досягається підвищення зносостійкості деталей приблизно в 1,3 рази в порівнянні з вихідним (без додаткового зміцнення) варіантом.

3. Місця розташування зон ушкоджень і їх характер на деталях, зміцнених ЕІЛ, ідентичні тим ,які спостерігалися на випробуваних деталях, виготовлених без додаткового зміцнення .

4. Для деталей, зміцнених ЕІЛ, відзначається істотно більший ступінь розвитку

пошкоджень у порівнянні з незміцненим варіантом. На корпусі і втулки в зонах «А» (зріз) та «D» (канал) зміцнений шар практично повністю зношений, в інших зонах збереглися лише залишки шару ЕІЛ товщиною від 5 мкм до 0,01 м. На бойках залишки шару ЕІЛ такої ж товщини можна спостерігати тільки в зоні «F».

5. Структурні зміни, що відбуваються в процесі випробування в поверхневих шарах деталей, характерні для явищ вторічного гартування з отриманням більш низького рівня твердості, ніж на деталях попередніх варіантів.

6. Метод впроваджений на ПАТ « Гідромодуль» з економічним ефектом 607 250 грн. у рік.

Література

1. Терао Н. Методы анализа поверхностей / Н. Терао, пер. с англ. – М.: Мир, 2009. – 582 с.
2. Ziegller J.E. The stopping and rangesof ions in matter / J.E. Ziegller. NewYork. – 2007. – p. 307.
3. Ключников А.А. Методы анализа на пучках заряженных частиц / А.А. Ключников, И.М. Пучеров. – Киев: Наукова думка, 2007. – 152 с.
4. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги / И.Г. Кесаев – М.: Наука, 2008. – 243 с.
5. Венцель Е.С., Глушкова Д.Б. Определение оптимальных параметров электроискрового легирования на поверхности режущих элементов землеройно-транспортных машин // Вестник ХНАДУ, 2013.-Вып. 6.-С. 53-58., Глушкова Д.Б. Визуализация поверхностей трения// Наука в Европе-2012: материалы межд. научно-практич. конф. – Варшава, 2012. – Т.46. – С. 60–65., та інші

УДК 621.791

ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТИКА ЯКОСТІ ТА ПІДБІР ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ

Аліферов О. , студент групи МС-11-20, ХНАДУ

Анотація. *В статті розглянуті можливості застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких наплавочних сталей, які забезпечують підвищення довговічності штампового інструменту. Показано, що для підвищення зносостійкості поверхні інструменту штампів бажано застосовувати сплави, в яких у поєднанні з маркою оброблюваного матеріалу сумарна Т. Е. Р. С. прагне до нуля. Встановлено, що застосування термоелектричного експрес-методу неруйнівного контролю дозволяє оперативно визначати найбільш небезпечні локальні місця можливого руйнування.*

Ключові слова: *сталь, зносостійкість, термоелектричний метод неруйнівного контролю.*

ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА И ПОДБОР ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Алиферов О. , студент групы МС-11-20, ХНАДУ

Аннотация. *В статье рассмотрены возможности применения термоэлектрического метода неразрушающего контроля для подбора износостойких наплавочных сталей, обеспечивающих повышение долговечности штампового инструмента. Показано, что для повышения износостойкости поверхности инструмента штампов желательно применять сплавы, в которых в сочетании с маркой обрабатываемого материала суммарная Т. Е. Д. С. стремится к нулю. Установлено, что применение термоэлектрического экспресс-метода неразрушающего контроля позволяет оперативно определять наиболее опасные локальные места возможного разрушения.*

Ключевые слова: *сталь, износостойкость, термоэлектрический метод неразрушающего контроля.*

EXPRESS DIAGNOSTICS OF THE QUALITY AND SELECTION OF WEAR-RESISTANT MATERIALS USING THERMOELECTRIC METHOD OF CONTROL

Aliferov O., student of group MC-11-20, KhNAHU

Abstrac. *The article discusses the possibility of using thermoelectric NDT method for the selection of wear-resistant surfacing of steels that increase the durability of the punching tools. It is shown that to improve the wear resistance of the surface of tool dies is desirable to use alloys that are combined with the brand name of a processed material total T. E. D. S. tends to zero. It is established that the application of thermoelectric Express NDT method allows one to quickly determine the most dangerous local places of potential damage.*

Keywords: *steel, wear resistance, thermoelectric NDT method.*

Вступ

В даний час розробка нових методів дослідження напруженого деформованого стану матеріалів, розширення можливостей існуючих методів неруйнівного контролю набуває все більшого значення. Особливо важливим є розширення використання фізичних методів неруйнівного контролю, заснованих на вивченні внутрішніх процесів, що відбуваються в деформованому матеріалі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із найважливіших засобів підвищення якості надійності виробів, що несуть значні теплові та механічні навантаження, є неруйнівний контроль. Неруйнівний контроль успішно застосовується у виробництві на різних етапах технологічного процесу, а також під час експлуатації готового виробу для оцінки його подальшого ресурсу [1].

Експериментальні методи дослідження напруженого деформованого стану матеріалів є одними з основних при оцінці рівня в деталях і конструкціях як у пружній, так і в пружно-пластичній області деформування.

Поверхневий шар деталей, несучих контактні циклічні навантаження (термічні і механічні), знаходиться в напруженому стані всебічного нерівномірного стиснення, інтенсивність якого періодично змінюється. Крім того, на напружений стан, створений зовнішніми силами, накладаються внутрішні термічні та структурні напруження. При наплавленні легованими сталями до зовнішніх і вищевказаних внутрішніх напружень додатково накладаються залишкові напруження, викликані термічним циклом зварювання і внутрішні напруження, обумовлені розходженням фізичних і механічних властивостей покриття та основи. Поверхневий шар в процесі експлуатації може зазнавати значних пластичних деформацій. Внаслідок цього в більшості випадків руйнування починається з поверхневого шару і, отже, міцність і зносостійкість деталей, несучих контактні навантаження, визначається переважно якістю поверхневого шару [2].

Особливо погіршують якість поверхневого шару різного роду дефекти (неоднорідності, структурні неоднорідності тощо). Вони знижують міцність, зносостійкість і експлуатаційну надійність деталей та інструменту.

Оскільки в процесі динамічного контактного навантаження поверхневі шари металу безпосередньо сприймають основне навантаження, необхідною умовою підвищення контактної міцності і довговічності матеріалу є спрямований вибір їх системи легування і хімічного складу. У зв'язку з цим виникає необхідність у застосуванні різних методів випробування (фізичних, механічних) для співставлення експлуатаційних характеристик, отриманих як при найпростіших навантаженнях (розтяг, стиск, кручення), так і в умовах складного напруженого стану при нормальних і високих температурах. Результати цих випробувань є основною інформацією про матеріалі при розрахунку в умовах дії будь-якої складної системи напружень. При цьому закономірності деформування та руйнування твердих тіл вивчаються, як правило, на основі усереднених характеристик механічних властивостей матеріалу. Експериментальні дослідження при складному напруженому стані, особливо в умовах високих температур, пов'язані з великими труднощами при постановці експерименту.

У багатьох випадках бажано отримання досліджуваних характеристик матеріалу з мінімальною кількістю зразків, підданих перевірочним руйнівним випробувань. Особливо ця проблема актуальна при дослідженні напруженого стану в зразках і деталях, відновлених наплавленням.

В даний час розробка нових методів дослідження напруженого деформованого стану матеріалів, розширення можливостей існуючих методів неруйнівного контролю набуває все більшого значення. Особливо важливим є розширення використання фізичних

методів неруйнівного контролю, заснованих на вивченні внутрішніх процесів, що відбуваються в деформованому матеріалі.

Формулювання мети дослідження

Обґрунтувати можливість застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких сплавів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Експериментальні дослідження були направлені на вивчення впливу робочих температур штампів і процесів тертя на зносостійкість і контактну міцність наплавочних матеріалів, які умовно можна розбити на чотири групи.

До першої групи віднесені метастабільні аустенітні сталі системи Cr-Mn на основі заліза додатково леговані Ti та Si, до другої – вторинно твердіючі сплави системи Cr-Mn-Mo на основі заліза. В якості основного елемента для зв'язування вуглецю в цих групах прийнятий Ti. До третьої та четвертої групи в якості матеріалів для порівняння прийняті сталі 5ХНМ та 08Х6Н8М7С.

Хімічний склад сталей першої і другої груп варіювали за змістом таких елементів, як C, Mn, Ti. Вміст Cr було прийнято до 3%, Mo ~5-7%. Співвідношення Ti та C підтримували в межах Ti/C=0,24:0,25 ат (%).

Титан в якості основного карбідоутворюючого елемента був прийнятий, виходячи з вимог високої стійкості наплавлювальних сплавів в умовах абразивного зношування і ударних навантажень: структура сплаву повинна складатися з мартенситно-аустенітної або мартенситної матриці і рівномірно розподілених карбідів; твердість карбідів повинна бути максимальною, а їх кількість знаходиться в межах 20 %-30 %.

Орієнтовний хімічний склад наплавленого металу визначали з урахуванням перемішування основного і наплавленого металу, коефіцієнтів засвоєння легуючих елементів та інших величин.

Наплавлення виконували трактором ТС-17М і автоматичною головкою А-1416 на пластини розміром 200х150х25 мм зі сталі 20, 500х300х40 мм із сталі 45 і 400х50х40 зі сталі 5ХНМ. В якості захисного флюсу для наплавлення порошковими дротами з системами легування Cr-Mn-Ti і Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза був прийнятий флюс АН-22. Вихідна основність флюсу АН-22 - В=1,4668, хімічна активність – Аф=0,1819.

Вирізку зразків для дослідження властивостей наплавленого металу виконували абразивними відрізними кругами з наступним шліфуванням і поліруванням.

Лабораторні випробування проводили на машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою “диск-колодка”. Режими тертя: швидкість обертання диска U=0,5 м/с; навантаження – N=25; 50 Н. Матеріал контртіла сталь 40Х термооброблена, HRC 47-49.

В якості основного методу дослідження впливу процесів тертя на міцнісні властивості досліджуваних матеріалів використовувався термоелектричний метод неруйнівного контролю. Даний метод заснований на ефектах, пов'язаних з виникненням у металах термоелектрорушійної сили (Т. Е. Р. С.) [3]. У зв'язку з відсутністю прямої залежності між величиною Т. Е. Р. С. і температурою спаю термопар, вимірювали коефіцієнт Т. Е. Р. С., тобто величину Т. Е. Р. С. на 1 градус.

Для дослідження використовувалися зразки, які випробувані на зносостійкість на установці 2070 СМТ-1, із сталей 50ХНМ, 40Х4Г8Т2С, 08Х6Н8М7С 20Х3Г9М5Т2С.

Крім цього, вимірювався коефіцієнт Т. Е. Р. С. сталі 45 і 35ХГСА (сталь, що застосовується на заводі АТ "Світло шахтаря" для виготовлення сережки).

Схема точок виміру коефіцієнта Т. Е. Р. С, наведена на рис. 1. Точки вимірів коефіцієнтів Т. Е. Р. С. приймалися в місцях можливих змін напруженого стану після випробувань на тертя.

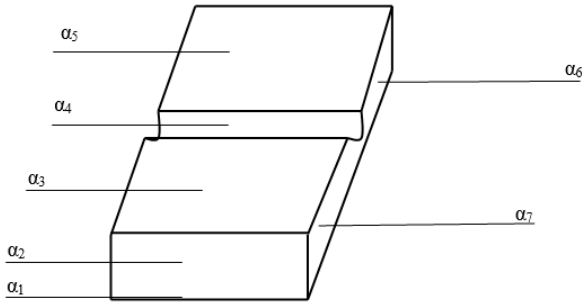


Рисунок 1 - Схема точок виміру коефіцієнта Т. Е. Р. С.

Результати вимірювання коефіцієнтів Т. Е. Р. С. досліджуваних матеріалів наведені в табл. 1.

Значення коефіцієнтів Т. Е. Р. С. сталі 45 і 35ХГСА відповідно склали +3,8-3,9 мкВ/°С і +5,9-6,0 мкВ/°С.

Аналіз результатів значень коефіцієнтів Т. Е. Р. С. показує, що їх значення коливаються в невеликих межах і за їх величиною, з урахуванням різниці температур гарячого і холодного електродів, досліджувані матеріали можна розкласти в термоелектричний ряд відносно міді: 20Х3Г9М5Т2С Е=-433•10-6 В, 40Х4Г8Т2С Е=-389•10-6 В, мідь Е=0 В, сталь 45 Е=+273•10-6 В, 08Х6Н8М7С Е=+315•10-6 В, 50ХНМ Е=+329•10-6 В, 35ХГСА Е=+420•10-6 В.

Таблиця 1 - Значення коефіцієнтів Т. Е. Д. С. досліджуваних матеріалів

Точка виміру	50ХНМ	08Х6Н8М7С	20Х3Г9.М5Т2С	40Х4Г8Т2С
α_1	+4,6-4,7	+4,5-4,6	-6,1-6,2	-5,5-5,6
α_2	+4,4-4,7	+5,6-5,7	-6,0-6,1	-5,2-5,6
α_3	+4,6-4,7	+5,6-5,7	-6,1-6,2	-6,2-6,3
α_4	+4,1-4,2	+5,2-5,3	-5,9-6,0	-6,5-6,7
α_5	+4,4-4,5	+5,1-5,2	-6,0-6,1	-6,6-6,8
α_6	+4,7-4,9	+4,6-4,7	-6,2-6,3	-6,3-6,4
α_7	+4,8-4,9	+4,6-4,7	-6,2.-6,3	-6,6-6,7

Примітка: Знак “+” показує, що струм тече від міді до металу через гарячий електрод, знак “-“ – через холодний електрод.

Знаючи потенціали в зіткненнях металів, можна судити про величину поверхневої енергії на межі їх торкання. Різниця потенціалів контактуючих пар викликає розсіювання тільки тих електронів провідності, постачальником яких є метал з великим хімічним потенціалом. Тобто, в цьому металі акумулюється поверхнева енергія, в той час як з боку іншого металу вона різко знижується. Про механізм провідності сплавів можна також судити по процентному змісту і типу власної провідності легуючих елементів [4]. Підвищення рухливості дислокацій у процесі тертя контактуючих пар обумовлюється не тільки дією напружень, але і підвищенням температури. Це викликає прискорення

пластичної деформації в поверхневому шарі, що впливає на зміну поверхневої енергії. Таким чином, при одних і тих же розмірах контактних плям термострум, що протікає через них, буде різним. Для збільшення довговічності терміну служби бажано, щоб термоток був мінімальний. Отже, при інших рівних умовах повинна бути найменшою і термоелектрорушійна сила, яка обумовлює цей струм. Розрахунок сумарних Т. Е. Р. С. у контурі гарячий електрод (мідь марки М1) – сплав – сталь 45 - холодний електрод (мідь марки М1) з урахуванням знаків показав, що термострум мінімальний в парі сталь 45 – сплав 20Х3Г9М5Т2С, хоча зносостійкість у порівнянні з іншими сплавами вище при лабораторних випробуваннях.

Виробничі випробування відновлених наплавленням матриць гарячого деформування деталей зі сталі 35ХГСА підтвердили отримані результати лабораторних досліджень щодо встановлення кореляції між зносостійкістю і сумарним термострумом контактуючих матеріалів.

Результати лабораторних досліджень і виробничих випробувань цілком узгоджуються з положеннями про електричні явища при терті, викладеними в роботах Костецького Б.В., Крагельського В.В., Постнікова С.Н. Отримані значення коефіцієнтів Т. Е. Р. С. α3, α4, α5 і α6 свідчать про зміни властивостей металу як у поверхневому шарі (α4), так і в підповерхневих його шарах, що також підтверджується вимірюваннями мікротвердості зразків тертя і металографічними дослідженнями.

Отримані результати лабораторних досліджень і виробничих випробувань наплавленого металу свідчать про можливість застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору контактуючих пар, які забезпечують підвищення зносостійкості і довговічності обробного інструменту.

Для дослідження зон концентрації напружень термоелектричним методом використовувалася наплавлена матриця К 49793 із сталі 50ХНМ. Коефіцієнт Т. Е. Р. С. вимірювали переміщенням електродів пристрою по гравюрі матриці (окремо по металу шва і зоні термічного впливу). Потім виконували поперечні переміщення відносно гравюри з амплітудою 10...20 мм у бік основного металу. Показання приладу реєструвалися зі знаками “+” і “-“. За середні значення коефіцієнта Т. Е. Р. С. на гравюрі прийняті виміряні на прямолінійних ділянках. У навколошовній зоні за середнє значення коефіцієнта Т. Е. Р. С. прийняті показання для сталі 50ХНМ. Стрибкоподібна зміна знака і величини коефіцієнта Т. Е. Р. С. вказує на зони концентрації напружень.

Результати розподілу коефіцієнта Т. Е. Р. С. і його точки вимірів показані на рис. 2. Зони максимальних концентрацій напружень показано на лініях зміни знаків коефіцієнтів Т. Е. Р. С.

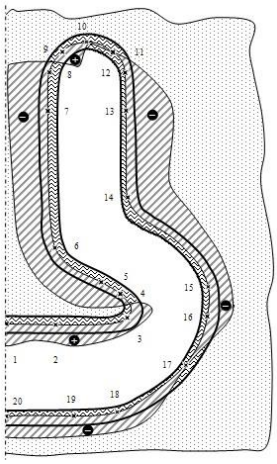


Рисунок 2 - Розподіл середніх значень коефіцієнтів Т. Е. Р. С. в виміряних перетинах гравюри матриці

Аналіз рівнів концентрації напружень показує, що найбільші напруження в наплавленому металі виникають в області точок 9-10, де крім дії дотичних напружень в процесі експлуатації, змінюється характер напруженого стану через геометрію матриці. Це, згідно з критерієм Мізеса-Генки, веде до збільшення напружень, необхідного для виникнення локального течії матеріалу. Внаслідок зміни напруженого стану величина межі плинності досягає межі обмеженої плинності, що спричиняє до виникнення концентрації напружень і деформацій.

В сталях 08Х6Н8М7С і 20Х3Г9М5Т2С в результаті дослідження виявлено більш протяжний зміцнений шар, в структурі якого спостерігаються характерні пластинчасті освіти. Враховуючи численні літературні дані про схильність металів з низькою енергією дефектів пакування до двійникування деформації, можна припустити, що новоутворення, які спостерігаються в зоні тертя, являють собою специфічні двійники деформації, що утворилися в умовах підвищених температур. Додатковий внесок у зміцнення двійникової зони в цих сплавах вносить виділення дисперсних карбідів.

Для всіх досліджених сплавів характерним є поступове зменшення розкиду значень мікротвердості по глибині зони тертя.

Зміна мікротвердості в приповерхневих шарах на стадії усталеного зношування, по всій видимості, обумовлено тим, що паралельно відбуваються процеси взаємної дифузії матеріалів пари тертя, виборчого окислення і термодифузійного перерозподілу зміцнюючої фази під дією деформацій і температур, викликаних тертям.

Перелічені структурні зміни справляють різний вплив на інтенсивність зношування досліджуваних матеріалів. Низька здатність до зміцнення, незважаючи на присутність “білої смуги”, призводить до підвищення темпу зносу і передчасного переходу до стадії усталеного зношування. Двійникування і виділення карбідів по двійникам (сталі 40Х4Г8Т2С, 08Х6Н8М7С 20Х3Г9М5Т2С) підвищує опірність пластичним зсувам при підвищених температурах, ускладнюючи руйнування робочих об'ємів при терті.

З досліджених матеріалів найбільшою зносостійкість має сталь 20Х3Г9М5Т2С. Підвищену зносостійкість цієї сталі можна пояснити, з одного боку, оптимальним фазовим складом, з іншого – низькою енергією дефектів пакування, що забезпечує схильність до деформаційного двійникування при підвищених температурах. Двійникування сприяє зміцненню приконтактних обсягів металу, тим самим знижуючи інтенсивність зношування, що пов'язано з дією механізму Мотта-Набарро. Зміна дислокаційної структури прикордонних областей і характеру старіння (перерозподіл карбідної фази), що відбуваються в результаті дії підвищених температур і деформацій, є одним з основних факторів підвищення контактної міцності і мікропластичності поверхневих шарів сталі 20Х3Г9М5Т2С.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень показана можливість застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких наплавочних сталей, які забезпечують підвищення довговічності штампового інструменту. Встановлено, що для підвищення зносостійкості і довговічності поверхні обробного інструменту штампів гарячого деформування бажано застосовувати сплави, у яких у поєднанні з маркою оброблюваного матеріалу сумарна Т. Е. Р. С. прямує до нуля.

2. Застосування термоелектричного експрес-методу неруйнівного контролю дозволяє оперативно визначати найбільш небезпечні локальні місця, які характеризуються критичними зонами концентрації напружень і своєчасно застосовувати заходи для їх усунення.

Список використаної літератури

1. Троицкий В.А. Неразрушающий контроль качества в Украине на рубеже столетий / В.А. Троицкий // Труды 3 Украинской научно-технической конференции “Неруйнівний контроль та технологічна діагностика 2000”. – Днепропетровск, 2000. – С. 8-16.
2. Узлы и трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
3. Шкилько А.М. Неразрушающие методы контроля металлов и узлов энергетического оборудования / А.М. Шкилько. – К.: ИСИО, 1994. – 180 с.
4. Новые возможности неразрушающего контроля текущего состояния прокатных валков листопрокатных производств по измерению распределения магнитных характеристик рабочего слоя / Г.Я. Безлюдько, И.Л. Казакевич, Л.А. Крутиков, Т.С. Скобло. // Труды III Украинской научно-технической конференции «Неруйнований контроль та технологічна діагностика 2000». – Днепропетровск, 2000. – С. 150-151.

ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН

Саєнко В.О., ст. гр. МС-31-18, ХНАДУ

Анотація: *Досліджені структура, мікротвердість, зносостійкість деталей зубів ковшів екскаваторів до та після запропонованих методик дослідження, та виявлено, що застосування іонно-плазмової технології має найкращі показники та забезпечує роботу зміцнених деталей без сколів і викришувань покриття.*
Ключові слова: *зносостійкість, міцність, іонно-плазмове покриття, твердість, гальванічне хромування, іонне бомбардування.*

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО – ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНО – ДОРОЖНЫХ МАШИН

Саенко В.О., ст. гр. МС-31-18, ХНАДУ

Анотация: *Исследованы структура, микро твёрдость, износостойкость деталей зубьев ковшей экскаваторов до и после предложенных методик исследования, и обнаружено, что применение ионно-плазменной технологии имеет лучшие показатели и обеспечивает работу упрочнённых деталей без сколов и выкрашивания покрытия.*
Ключевые слова: *износостойкость, прочность, ионно-плазменное покрытие, твердость, гальваническое хромирование, ионая бомбардировка.*

APPLICATION OF ION-PLASMA TECHNOLOGY FOR INCREASING THE DURABILITY OF ELEMENTS OF CONSTRUCTION AND ROAD BUILDING MACHINES

V. Saenko, student of MS-31-18 group, KhNAHU

Abstract: *The structure, microhardness, and wear resistance of excavator bucket teeth parts before and after the proposed research methods were studied, and it was found that the use of ion-plasma technology has better performance and ensures the operation of hardened parts without chipping and coating spalling out.*
Key words: *durability, durability, ion-plasma coating, hardness, galvanic chrome plating, ion bombardment.*

Вступ

Технологія машинобудування – область технічної науки, що займається вивченням зв'язків і встановленням закономірностей в процесі виготовлення машин. Вона покликана розробити теорію технологічного забезпечення та підвищення якості виробів машинобудування з найменшою собівартістю їх випуску.

При виборі матеріалу та методів його зміцнення в першу чергу потрібно всебічно розглянути умови його роботи і ранжувати фактори, що впливають на матеріал, за ступенем їх впливу на надійність машини або механізму. Необхідно формувати технічні вимоги до матеріалу на підставі трібологічних випробувань, а також на основі стендових та промислових випробуван.

Правильний вибір матеріалу,для виготовлення розглянутих деталей,а також метод їх зміцнення,є актуальною та важливою задачею.

Матеріали та методика досліджень

Зуби ковшів екскаваторів виготовляють в більшості віпадків зі сталі 09Г2С. Для виявлення змін в поверхневих ділянках, а також контролю якості покриття проводили виміри твердості. Для дослідження застосовували метод Роквелла, який, як правило, використовується для вивчення термозміцненого матеріалу.

Для визначення твердості окремих частинок, а також її анізотропії в різних ділянках покриття в роботі використовували метод виміру мікротвердості. Визначення мікротвердості поверхонь тертя здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3.

Структури вивчали і фотографували на мікроскопі Альтами МЕТ 1 при збільшенні (70 - 1000) разів.

Величину залишкових напружень в приповерхневих шарах визначали на установці ДРОН-2 методом багаторазових похилих зйомок у випромінюванні мідного анода з графітовим монохроматором.

Зйомку рентгенограм для якісного та кількісного аналізів і вимірювання параметрів решітки здійснювали на установках УРС-55, УРС-60 в камерах Дебая з використанням залізного і хромового випромінювання.

Випробування проводили на машині тертя СМЦ-2, яка дозволяє провести порівняння досліджуваних матеріалів по зносостійкості, антифрикційності та їх властивостей у процесі приробляння за схемою «ролик-колодочка».

Процес електролітичного нанесення хрому заснований на методі електролізу металів. Нанесення плазмового покриття здійснювали на установці «Булат-3Т»

Результати дослідження

Для доказу переваг розробленого способу обробки зубів ковшів екскаватора перед іншими методами необхідно провести порівняльні випробування деталей, виготовлених різними методами, які застосовуються в промисловості в цей час.

Перевіряли припрацьовуваність, задиростійкість, зносостійкість, визначали значення коефіцієнтів тертя.

Із усіх змін властивостей поверхонь підвищення опору найбільше наочно виявляється при випробуваннях на машинах тертя.

Проведені випробування показали, що в покритті, отриманим, гальванічним методом задири проявляються при навантаженні 800 Н. У той же час покриття, отримане при іонно-плазмовому напилюванні, працює без появи задирів при навантаженні до 1000 Н. Таким чином, по ступеню підвищення противозадирних властивостей багатошарового покриття зуба, найбільший ефект дає вакуум-плазмовий метод.

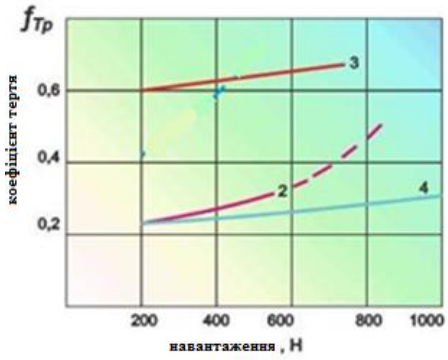
Металографічний аналіз вихідних і дослідних зразків показав, що при терті утворених покриттів робоча поверхня після випробувань залишається гладкою, немає глибинних подряпин і рисок, що з'являються при терті гальванічних покриттів. У той час як у гальванічних покриттів спостерігається значне руйнування поверхні, після випробування дослідних зразків немає ознак руйнування, зношування обмежується найтоншим поверхневим шаром і не поширюється вглиб металу.

Ефект підвищення задиростійкости, що досягається при вакуум- плазмовому нанесенні покриття, супроводжується зниженням сил тертя, про що свідчить зміна коефіцієнта тертя.

Для гальванічних покриттів хоча й характерні також високі значення коефіцієнта тертя (до 0,6), але при збільшенні навантаження не спостерігається різкого його збільшення й навіть при 800 Н, його величина становить 0,63-0,65 (рис.3.7, крива 3). У той же час для покриттів, отриманих обробкою струмами високої частоти, характерно низьке значення коефіцієнта тертя (0,2) при малих навантаженнях – на рівні 200 Н. Зі збільшенням навантаження до 600 Н значення коефіцієнта тертя підвищується до 0,25.

При навантаженні вище 600 Н відбувається різке збільшення коефіцієнта тертя – до 0,45 (рис 3.6, крива 2). Це показує, що багатошарові покриття не можуть протистояти високим навантаженням в умовах сухого тертя.

Для іонно-плазмових покриттів при навантаженнях від 200 до 1000 Н коефіцієнт тертя залишається практично постійним – 0,20-0,23. Таким чином, запропонований метод дає можливість в 2,5-3,0 рази зменшити коефіцієнт тертя в порівнянні з гальванічними покриттями.



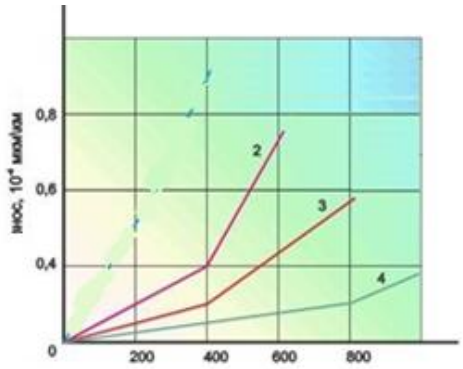
1 – обробка струмами високої частоти; 2 – гальванічний спосіб;
3 – іонно-плазмовий метод
Рисунок 3.7 – Вплив виду нанесення покриття на зміну коефіцієнта пари тертя

Можлива дія іонно-плазмового методу на формування багатошарового покриття може полягати в тому, що в поверхнях не відбувається збільшення сил тертя на ділянках контакту до величини, яка може привести до різкого зростання коефіцієнта тертя.

Контактування мікронерівностей покриття й руйнування окремих мікроконтактів не супроводжується деформуванням прилягаючих ділянок і не переходить у глибинне виривання металу. Завдяки цьому ріст сили тертя затримується, і вона не досягає тих граничних значень, при яких відбувається зміна характеру тертя.

Необхідно також знати, наскільки підвищення цих властивостей поліпшує зносостійкість покриття в умовах тривалого стирання. Порівняння противозносних властивостей, отриманих при розглянутих методах нанесення багатошарового покриття, було проведено по інтенсивності зношування.

Залежність інтенсивності зношування від питомого тиску зберігає прямолінійний характер для всіх видів обробки .



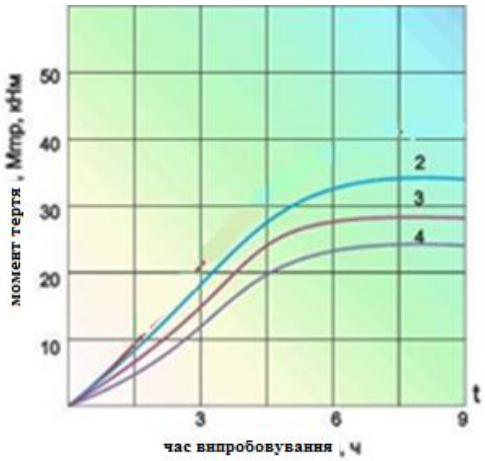
1–обробка струмами високої частоти, 2 – гальванічний метод,
3 – іонно-плазмовий метод
Рисунок 3.8 –Вплив способу нанесення покриттів на лінійне зношування зразків лиття

Для покриттів оброблених струмами високої частоти характерно плавне збільшення зносу до навантаження 400 Н, потім зі збільшенням навантаження до 600 Н спостерігається різке збільшення інтенсивності зносу до 0,78 • 10^{-4} мкм/км. Покриття, отримані при обробці струмами високої частоти, в даних умовах незначно підвищують зносостійкість багатошарового покриття.

Покриття, отримані гальванічним методом, мають зношування ($0{,}2 \cdot 10^{-4}$ мкм/км при зростанні навантаження до 800 Н).

Для іонно-плазмових покриттів характерне мінімальне зношування при всіх випробуваних навантаженнях від 200 Н до 800 Н. Зношування перебуває на рівні 0,2–$0{,}39 \cdot 10^{-4}$ мкм/км. Проведені дослідження показали, що іонно-плазмовий метод нанесення багатошарового покриття підвищує зносостійкість матеріалу в 1,6–1, 7 рази в порівнянні з гальванічним методом, в 2,1 рази – з обробкою струмами високої частоти. Припрацьовуваність після різних видів застосовуваної поверхневої обробки попередньо оцінювали за допомогою випробувань на машині тертя.

Як показали випробування, стабілізація моменту тертя наступає швидше в парах тертя з іонно-плазмовим покриттям, чому після інших видів обробки (рис. 3.9).



1– обробка струмами високої частоти;
2 – гальванічний спосіб; 3 – іонно-плазмовий метод
Рисунок 3.9 – Вплив різних методів нанесення покриттів на момент тертя й зношування пари тертя

В іонно-плазмових покриттів вона наступає при навантаженні 1400 Н, у покриттів, отриманих хіміко-термічною обробкою – 1600 Н, в отриманих гальванічним способом – 1500 Н. Аналіз кривих залежності зношування пари тертя від тривалості обкатування показує, що найменше зношування при обкатуванні мають покриття, отримані при іонно-плазмовому напилюванні.

Таким чином, проведені комплексні дослідження припрацьованості, антифрикційних властивостей і зносостійкості багатошарового покриття виявили наступні переваги розробленого методу нанесення покриття в порівнянні з існуючими (струмами високої частоти, гальванічний метод):

- підвищену несучу здатність;
- підвищену зносостійкість;
- зниження коефіцієнта тертя;

Такі істотні переваги дають можливість рекомендувати розроблений спосіб для обробки зубів ковшів екскаваторів з метою підвищення їх зносостійкості й працездатності.

Висновки

1. Пошкодження деталей характеризується зносом покриття, наклепом металу, утворенням борозен-задирів і тріщин.

2. Результати випробувань зубів ковшів екскаваторів, підсилених іонно-плазмовим хромуванням методом конденсації речовини в умовах іонного бомбардування (КІБ) свідчать, що забезпечується підвищення їх зносостійкості в 1,75 рази порівняно з вихідними, не підданими спеціальному зміцненню.

3. Проведені дослідження дозволили встановити, що оптимальними технологічними параметрами нанесення плазмових покриттів на зуби ковшів екскаваторів являється парціальний тиск азоту 1 Па, температура розігріву поверхні 500–550 С°. Шорсткість поверхні на яку наноситься покриття, Ra = 016 мкм, товщина нанесеного покриття – 5 мкм.

4. Удосконалена технологія іонно-плазмового хромування забезпечує роботу зміцнених деталей без сколів і викришувань покриття.

5. Зносостійкійкість досліджених детелай підвищилась в 1,75 рази.

6. Робота впроваджена на ДП «Харківський механічний завод», в навчальному процесі в курсах «Технологія нанесення покриттів», «Підвищення корозійної та зносостійкості».

Література

1. Сильман, Г.І. Діаграма стану сплавів системи Fe-C-Mn і деякі структурні ефекти в цій системі. Частина 2. Розрахунок і побудова ізотермічних розрізів діаграми Текст. / Г.І. Сильман // Металознавство та термічна обробка. 2005. № 4. С. 3-10.

2. Щасливців, В.М. Роль принципу метастабильности метастабильного аустеніту Богачева-Мінца при виборі зносостійких матеріалів Текст. / В.М. Щасливців, М.А. Філіппов // Металознавство та термічна обробка металів. 2005.№ 1. С. 6-9.

3. Бернштейн, М.Л. Вплив деформації на мартенситних перетворення і будова мартенситу в високовуглецевих сталях Текст. / М.Л. Бернштейн, Л.М. Капуткіна, АМ Глушець // Фізика металів і металознавство. 1977. Т. 43. Вип. 1. С. 152-160.

4. Соловйов, Ю.Г. Визначення основних факторів, що впливають на абразивне зношування труб Текст. / Ю.Г. Соловйов, П.М. Юшкевич, Н.П. Бондар [и др.] // Металознавство та термічна обробка металів. 1986. № 3. С. 41-43.

5. Сагарадзе, В.В. Зміцнення аустенітних сталей Текст. / В.В. Сага-радзе, А.І. Уваров // М .: Наука, 1989. 270 с.

6. Малинов, Л.С. Регулювання мартенситного перетворення при на-навантаженого в хромомарганцевих аустенітних сталях Текст. / Л.С. Малинов,

7. В.І. Коноп // Металознавство та термічна обробка металів. 1978. № 8.1. С.10-16.

8. Виноградов, В.Н. Зносостійкі стали з нестабільним аустенітом для деталей газопромислового обладнання Текст. / В.М. Виноградов, Л.С. Лівшиць, С.І. Платова [и др.] // Вісник машинобудування. 1982. № 1. С. 26-27.

9. Рижков, Ф.Н. Підвищення ефективності поверхневого зміцнення наплавленням шляхом формування комбінованих твердих покриттів Текст. / Ф.Н. Рижков, В.Я. Воротніков, Ю.А. Артеменко [и др.] // Курськ: КДТУ. 2000. 143 с.

10. Vorotnicov, VY, Ivanov SV, Artemenko YA Preventing defects in forced conditions of hardening with a plasma arc // Welding International. 1999. V.13. № 9. P. 740-741

ГІДРО РОЗПОДІЛЬНИКИ АВТОГРЕЙДЕРІВ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ПО ЇХ РЕМОНТУ

Довбиш В.В., ст. гр. МС-42-Т1-18, Брусов С.О., ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Анотація: *Аналіз досвіду експлуатації сучасних об'ємних гідромашини показав, що основною причиною виходу їх з ладу є зношування робочих поверхонь вузлів тертя, що тягне за собою збільшення витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт. Тому вдосконалення основних деталей гідравлічних систем за рахунок вибору матеріалів, а також правильне складення програми механічної обробки поверхні, представляється важливою та актуальною проблемою.*

Ключові слова: *міцність, гідро розподільники автогрейдерів, зносостійкість, корозійна стійкість, плазмове покриття, іонне бомбардування.*

ГИДРО РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ АВТОГРЕЙДЕРОВ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ РЕМОНТУ

Довбиш В.В., ст. гр. МС-42-Т1-18, Брусов С.О., ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Аннотация: *Анализ опыта эксплуатации современных объемных гидромашин показал, что основной предпосылкой выхода их из строя является износ рабочих поверхностей узлов трения, что влечет за собой увеличение затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт. Поэтому совершенствование основных деталей гидравлических систем в счет выбора материалов, а также правильное составление программы механической обработки поверхности представляется важной и актуальной проблемой.*

Ключевые слова: *прочность, гидро распределители автогрейдеров, износостойкость, коррозионная стойкость, плазменное покрытие, ионная бомбардировки.*

HYDRAULIC DISTRIBUTORS OF MOTOR GRADERS AND SUGGESTIONS FOR THEIR REPAIR

V. Dovbish, student of MS-42-T1-18 group, S. Brusov, student of MS-41-17 group, KhNAHU

Abstract: *The analysis of operating experience of modern displacement hydraulic machines has shown that the main cause of their failure is the wear of working surfaces of friction units, which entails increased costs for maintenance and current repairs. Therefore improvement of the main parts of hydraulic systems through the choice of materials, as well as the correct programming of mechanical surface treatment seems to be an important and urgent problem.*

Key words: *strength, hydraulic distributors of motor graders, wears resistance, corrosion resistance, plasma coating, and ion bombardment.*

Вступ

Провідну роль в прискоренні науково-технічного прогрессу України грає машинобудування. Темпи його розвитку в значній мірі залежать від досягнень науки і техніки в області розробки високоефективних технологічних процесів підвищення надійності роботи різних типів деталей машин.

Важливою ланкою роботи в цій галузі є подальше вдосконалення технології виготовлення відповідальних деталей об'ємних гідроприводів, що займають значне місце в машинах різного призначення, в тому числі будівельних машин.

Сучасні об'ємні гідромашини працюють в умовах високих швидкостей, тисків і температурних змін. Наприклад, частота обертання вихідного валу досягає 10000 об/хв і більше, тиск робочої рідини досягає 50 МПа, а її температура змінюється від -50°С до +135°С.

Вибір матеріалів пар тертя, які забезпечують підвищення їх ресурсу вище досягнутого рівня - важливе завдання.

Методи дослідження

Випробування проводили на машині тертя СМЦ-2, яка дозволяє провести порівняння досліджуваних матеріалів по зносостійкості, антифрикційні та властивостей у процесі приробляння за схемою «ролик-колодочка».

Нанесення плазмового покриття здійснювалось на установці «Булат-3Т».

Оцінювали міцність з’єднання покриття з основним металом по методиці основаної на сумісній пластичній деформації покриття і підложки при вдавлюванні індентора твердоміра Роквелла.

Виконання токарно-фрезерних операцій здійснювалися на токарному верстаті з ЧПУ HAAS ST-20Y, який передан нашому навчально-трнінговому центру американською корпорацією « HAAS».

Результати дослідження

На основі аналізу робіт, присвячених використанню плазмових покриттів нами було обрано покриття системи Ti–Cr–N з попередньою іонним бомбардуванням поверхні хромом.

В якості матеріалу для іонного бомбардування був обраний Cr, так як він дає можливість знизити температуру підкладки перед нанесенням покриття і уникнути небезпеки знеміцнення поверхні.

Іонне бомбардування збільшує щільність центрів зародкоутворення, зменшує кількість вакансій і часу, вводить теплову енергію безпосередньо в поверхневу зону, стимулюючи дифузійні процеси.

Іонне бомбардування проводить до зменшення розмірів зерен, сприяє формуванню нанокристалічних плівок. Регулюючи енергію і щільність потоку бомбардують іонів, можна керувати розмірами зерен.

Відомо, що найкращі поєднання міцності і пластичних властивостей має місце при розмірах зерен менше 10 нм[10].

Тому розглядався вплив енергії іонів на розміри зерен при осадженні покриття Ti–Cr–N.

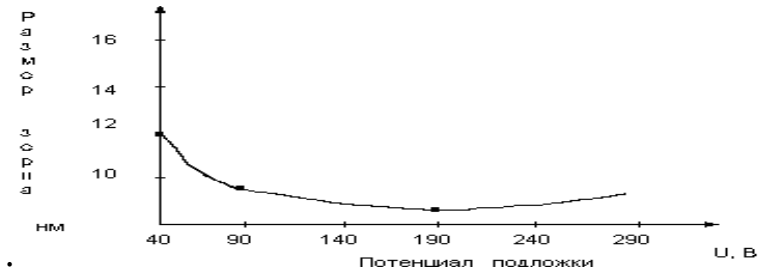


Рис. 4.1- Залежність розмірів зерен покриття Ti–Cr–N від потенціалу підкладки зі сталі 38Х2МЮА. Струм дуги 80 А, тиск азоту 7 Па.

Процес зростання пояснюється збільшенням температури в поверхневому шарі, який розігрівається під дією іонного бомбардування.

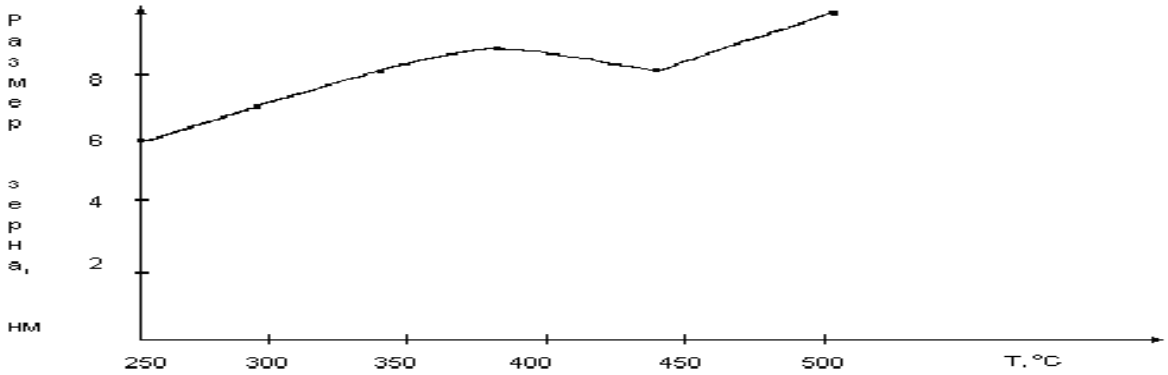


Рис. 4.2 – Залежність розмірів зерен Ti–Cr–N від температури підкладки дуги 80 А

Дослідження показали, що чим менше температура підкладки, тим менше розмір зерна. Тому в кожному конкретному випадку необхідно оптимізувати процес осадження покриття для досягнення бажаних результатів.

За розробленою методикою наносили покриття Ti–Cr–N при наступному співвідношенні інгредієнтів (% по масі) Ti від 10 до 75; Cr – 5 – 70; N від 15 – 21.

Оптимальні режими процесу нанесення покриття TiCrN на робочі поверхні деталей об'ємного гідроприводу наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1– Оптимальні режими процесу нанесення покриття TiCrN на робочі поверхні деталей об'ємного гідроприводу

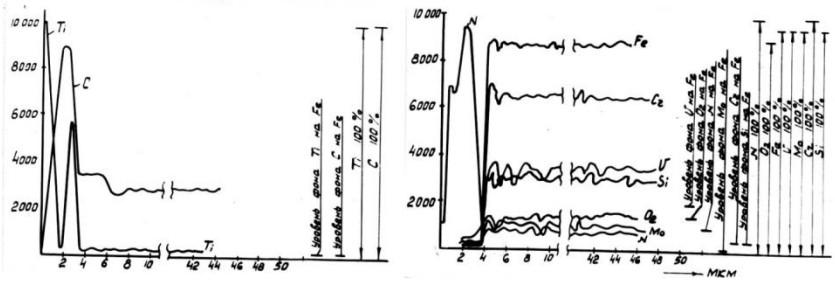
Матеріал эмісійного	Струм дуги, I_1,А	Стум дуги, I_2, А	Напруження U, В	Струм I, А	Тиск P, торр	Час t, хв
катода	1-й етап: очищення, розігрів і активація іонами хрому					
хром	80	-	90	2	$1\cdot10^{-4}$	7
2-й етап: напилювання шару покриття в атмосфері азоту або азотовмісного газу						
2 катоду:						
1-й – хром;	80	70	150	3	$5\cdot10^{-3}$	25
2-й – титан						

На установці УРС 50 методом рентгенівського фазового аналізу визначали склад нанесеного покриття.

На рентгенограмі були присутні лінії наступних фаз: Ti-N,□-Fe, □- Ti.

Не виявлені лінії з'єднань Cr2N і Cr, що не говорить про їх відсутність у покритті, а може бути пов'язано як з недостатньою чутливістю методу, а також з тим, що їх лінії збігаються з лініями інших сполук.

Рис. 4.4 – Аналіз мікрорентгеноспектрального розподілу елементів Ti, Cr, N в розробленому покритті



Згідно дифрактограммам, представленим на рис. 4.4, трикомпонентні покриття містять наступні три фази TiN,T_2N і Cr_3N_4. Найбільші піки дифрактограм відповідають фазі TiN і тому ця фаза, фактично, є основною в розробленому покритті.
У фазі T_2N відповідають максимуми, які в кілька разів менше, ніж у фази TiN. З'єднання хрому з азотом (фаза Cr_3N_4) має тільки один слабкий дифракційний максимум. Але присутність хрому та його сполук забезпечує надійне підвищення корозійної стійкості.

Визначення оптимальних параметрів нанесення покриттів з допомогою теорії планування експерименту

За допомогою теорії планування експерименту було проведено дослідження параметрів нанесення покриттів і встановлено зв'язок між твердістю матеріалу підкладки, шорсткістю поверхні, на яку наноситься покриття, товщиною покриття і зносом.

Тому однієї з задач є визначення шорсткості оброблюваної поверхні, що забезпечує найкращу адгезію покриття з основними металами.

Матеріалом дослідження була сталь 38Х2МЮА. Термічна обробка – поліпшення, що забезпечує найкраще поєднання міцності і пластичних властивостей. Після зазначеної термічної обробки твердість коливається в межах 40 ... 45 HRC.

Товщина покриття, що наноситься змінювалася в межах від 3 до 6 мкм, що відповідає хорошій адгезії, менша товщина не робить істотного впливу на властивості виробу, а в разі товщини більше 6 мікрон спостерігається відшаровування з-за поганої адгезії з підкладкою.

Так як твердість приймає тільки цілі значення, то було вирішено провести п'ять серій експериментів (відповідно даючи значення твердості 42, 43, 44, 45, 46).

Таблиця 4.2– Результати розрахунку коефіцієнтів лінійного рівняння регресії

Значення твердості	b_0	b_1	b_2
42	9,14	-1	2,3
43	11,76	-2,26	2,1
44	8,68	-0,82	1,5
45	7,62	-0,7	1,2
46	5,70	-0,47	1,5

Потім була проведена перевірка за критерієм Фішера при рівні значущості q=0,05 адекватності одержаних рівнянь шляхом порівняння розрахункового критерію Фішера – Fp с табличним Fт. У всіх випадках Fp>Fт, отже, рівняння не є адекватними. Розраховано рівняння регресії:

$$Y = b_0 + b_1 Y_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{22} X_2^2.$$

Результати розрахунку коефіцієнтів представлені в таблиця 4.3.

Таблиця 4.3–Значення коефіцієнтів регресії

Значення твердості	Значення коефіцієнтів регресії					
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{12}	b_{22}
42	11,76	-2,26	2,31	0,35	0,13	-2,77
43	10,82	-2,02	4,01	-0,26	0,14	-2,31
44	7,21	-0,66	3,98	-0,18	0	-2,77
45	7,57	-1,79	-0,99	0,02	0,15	2,91
46	5,25	-0,31	2,3	0	-0,01	-2,31

За одержаними результатами встановлено, що найменше значення зносу має місце при твердості поверхні, на яку наноситься покриття HRC45, шорсткості поверхні 0,16 і товщині покриття, що наноситься 6 мкм.

Висновки

1. Науково обґрунтована і запропонована сталь 38Х2МЮА, яка має суттєві перваги поряд із сталлю 45: збільшення зносостійкості в 2 рази, зменшення коефіцієнта тертя..

2. Були розроблені програми поверхневої механічної обробки деталей гідро розподільника на станках з числовим програмним забезпеченням американської кампанії HAAS, які знаходяться в учбово-тренувальному центрі кафедри технології металів та матеріалознавства Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

3. Розроблено нове покриття системи Ti-Cr-N з попередньою іонним бомбардуванням поверхні Cr, що дає можливість знизити температуру нагріву підкладки перед нанесенням покриття і виключити можливість знеміцнення. Покриття Ti-Cr-N наносимо при наступному співвідношенні інгредієнтів (% по масі) Ti від 10 до 75; Cr 5-70; N від 15-21. Методом рентгенівського фазового аналізу визначаємо склад нанесеного покриття. Новизна розробленого покриття підтверджена патентом №31864 від 25.04.18

5. За допомогою теорії планування експерименту встановлено, що найменше значення зносу має місце при твердості поверхні, на яку наноситься покриття HRC45, шорсткості поверхні 0,16 і товщині покриття, що наноситься 6 мкм.

6. Промислові випробування показали переваги розробленої технології. Робота виконувалась на ООО СКТБ « Гідромодуль» , який співпрацює з іноземними виробниками пожежної. Віпробування показали на 30% підвишення зносостійкості. І очікуваний економічний ефект становить 190 тисяч гривень.

Література

1. Чорновол М.І. Відновлення і зміцнення деталей сільськогосподарської техніки. К: УМК ВО. 1989. – 256 с.

2. Черкун В.Е. Ремонт и долговечность тракторных гидросистем. М., «Колос», 1977. – с. 256

3. Ремонт гидроагрегатов [Электронный ресурс] − [Режим доступа : http://www. gidrostep.ru›remont-gidroagregatov.html - 2018.pdf].

4. Бржозовский Б.М. Бесцентровые суперфинишные станки: учеб. пособие / Б.М. Бржозовский, О.В. Захаров. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011 - 112 с.

5. Lathe. Operator'smanual.HaasAutomationInc.2800 Sturgis Road, Oxnard, CA 93030-8933, U.S.A./HaasCNC. 2018 – 439 p.

6. Vertical&HorizontalMill. Operator'smanual.HaasAutomationInc.2800 Sturgis Road, Oxnard, CA 93030-8933, U.S.A./HaasCNC. 2018 – 384 p.

7. Kyocera .Cuttingtools. Thenewvaluefrontier. Advancing productivity. 2015-2016. Kyocera Unimergo Tooling GmbH. 2015 – 520 c.

8. Офіційний сайт фірми ХААС [Электронный ресурс]. – 2018. - Режим доступу:www.HaasCNC.com.

9. Сайти для фахівців по верстатам з ЧПУ фірми HAAS [Электронный ресурс]. – 2018. - Режими доступу:

atyourservice.haascnc.com,diy.haascnc.com, haasparts.com,www.youtube.com/user/haasautomationwww.facebook.com/HaasAutomationInc, www.twitter.com/Haas_Automation,

10. Аврунин А.Г. Обзор мирового и отечественного рынков гидрооборудования // Мир техники и технологий / А.Г. Аврунин. – 2009. – № 8(93). – С. 10–14.

11. Приймаков А.Г. К вопросу о рациональном выборе допускаемых напряжений в машиностроении / А.Г.Приймаков, А.В. Устиненко // Механіка та машинобудування. – 2004. – №2. – С. 57–63.

12. Нахайчук О.В. Выбор критериев разрушения для оценки деформируемости заготовок / О.В. Нахайчук // Вісник Східно-укр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2006. – № 6. – Ч.2. – С. 24–28.

13.Рыжков Ю.В. Повышение эксплутацационных характеристик деталей гидропередач / В.А. Карпенко, Д.Б. Глушкова, Ю.В. Рыжков // Мир техники и технологий. – 2009. – №8(93). – С. 16–17.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ТЕПЛОВОЗІВ

Подзолков В.С., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Анотація: *В даний час однією з проблем машинобудування є підвищення зносостійкості поршневих кілець, виготовлених з високоміцного чавуну. Широко використовуються в практиці вітчизняного та зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому в ряді випадків не досить добре задовольняють вимогам, що пред'являються до поршневих кілець. Маючи твердість Н900-1000, хромові покриття забезпечують стійкість проти абразивного зношування, володіють високою адгезійною міцністю, відносно низьким коефіцієнтом тертя, задовільною припрацьовуваністю та масло поглинанням, високою теплопровідністю.*

Ключові слова: *зносостійкість, надійність, міцність, хромування, теплостійкість, твердість, мікротвердість.*

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ТЕПЛОВОЗА

Подзолков В.С., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Аннотация: *В настоящее время одной из проблем машиностроения является повышение износостойкости поршневых колец, изготовленных из высокопрочного чугуна. Широко используются в практике отечественного и зарубежного машиностроения покрытия из электролитического хрома в ряде случаев недостаточно хорошо удовлетворяют требованиям, предъявляемым к поршневым кольцам. Имея твердость Н900-1000, хромовые покрытия обеспечивают устойчивость против абразивного износа, обладают высокой адгезионной прочностью, относительно низким коэффициентом трения, удовлетворительной прирабатываемостью и масло поглощением, высокой теплопроводностью.*

Ключевые слова: *износостойкость, надежность, прочность, хромирование, теплостойкость, твердость, микротвердость.*

IMPROVING WEAR RESISTANCE OF LOCOMOTIVE PISTON RINGS

Podzolkov V., student of MS-42t1-18 group, KhNAHU

Abstract*: At present one of the problems of mechanical engineering is the increase in wear resistance of piston rings made of high-strength cast iron. Widely used in the practice of domestic and foreign mechanical engineering coatings made of electrolytic chromium in some cases do not sufficiently meet the requirements for piston rings. Having hardness H900-1000, chrome coatings provide stability against abrasive wear, possess high adhesive strength, relatively low friction coefficient, satisfactory running-in and oil absorption, high thermal conductivity.*

Key words: *wear resistance, reliability, durability, chrome plating, heat resistance, hardness, microhardness.*

Вступ

Деталі циліндро-поршневої групи відносяться до найбільш відповідальних, які визначають надійність тепловозів в цілому. Збільшення питомої потужності дизелів супроводжується посиленням умов експлуатації.

У комплексі проблем підвищення надійності й довговічності машин особливе місце займає питання зносостійкості деталей. Недостатня зносостійкість матеріалів обмежує зростання продуктивності машин і термінів їх експлуатації, збільшує витрати на ремонт і запасні частини. Далеко не завжди необхідний комплекс властивостей виробів може бути сформований традиційними методами термічної і хімічної обробок [1-2].

В даний час однією з проблем машинобудування є підвищення зносостійкості поршневих кілець, виготовлених з високоміцного чавуну.

Широко використовуються в практиці вітчизняного та зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому в ряді випадків не досить добре задовольняють вимогам, що пред'являються до поршневих кілець. Маючи твердість Н900-1000, хромові покриття забезпечують стійкість проти абразивного зношування, володіють високою адгезійною міцністю, відносно низьким коефіцієнтом тертя, задовільною припрацьовуваністю та маслопоглинанням, високою теплопровідністю.

Однак пористий шар хрому товщиною 40-50 мкм за кілька сот годин спрацьовується, і тоді починає зношуватися тверда основа. Електролітичний хром незадовільно працює на тертя і зношування при високих температурах, що призводить до знеміцнення; в певних умовах він розташований до вологої корозії.

У зв'язку з цим розробка високоефективних покриттів поршневих кілець представляється досить важливою і актуальною.

Методи дослідження

Досліджувалися поршневі кільця виконані, з сірого та високоміцного чавуну. Лазерна обробка чавуну здійснювалася з використанням безперервного випромінювання CO_2 - лазера ЛТ-1. Параметри лазерної обробки вибирали з метою отримання оптимальних значень твердості, глибини і структури загартованого шару. ЛТО на поверхнях деталей, що зміцнювались виконували у вигляді системи концентричних кіл.

Для визначення твердості застосовували метод Роквелла, який, як правило, використовується для вивчення термозміцненого матеріалу.

Визначення глибини наклепаного шару поверхонь тертя здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3.

Мікроструктура досліджуємих матеріалів, а також поверхонь тертя роликів і колодочок вивчали з допомогою портативного металографічного мікроскопу Альтамі МЕТ 1. Металографічні дослідження проводились також на оптичному мікроскопі МІМ-8 та на електронному мікроскопі.

Випробування на тертя і знос проводилися на машині тертя СМЦ-2, за схемою «ролик-колодочка».

Результати дослідження

Дослідження структури і властивості чавуну після лазерної обробки

У дослідженому діапазоні режимів лазерної обробки в опроміненому чавуні утворюються шари з виходом на поверхню зон загартованих з розплавленого стану - шари з зоною оплавлення і шари з виходом на поверхню зон, загартованих від температур, менших температури солідусу, металевої основи - шари з зоною гарту. Поверхня чавуну оплавлюється на всій площі контакту з променем при швидкості опромінення 5,4 мм/с, частково - при швидкостях опромінення 6,5; 7,6 мм/с; при швидкості ж 11 мм/с спостерігається лише гарт поверхневого шару. Глибина шару при цьому зменшується зі збільшенням швидкості опромінення по параболічному закону (рис. 3.1). При швидкості опромінення 11 мм/с вона становить0,5 мм, При 5,4 мм/с - 1,3 мм.

Структура оплавлених зон неоднорідна за обсягом лінії опромінення і в загальному випадку побудована трьома структурними елементами: загартованим з розплаву білим чавуном (рис. 3.1.2), загартованої з розплаву високовуглецевого сталлю (рис. 3.2, б, в), графітом. Неоднорідність обумовлена короткочасністю лазерного впливу, що не дозволяє отримувати однорідний за складом рідкий розчин в розплавленому гетерогенному обсязі. Сприяє цьому і неодночасне розплавлення що знаходиться при кожній даній ізотермі ділянок гетерогенної структури.

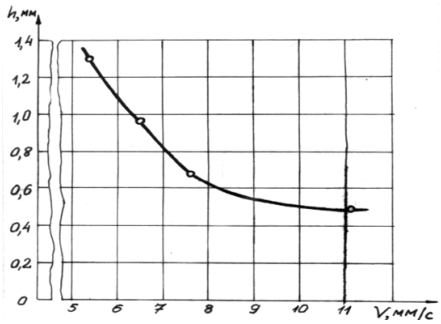
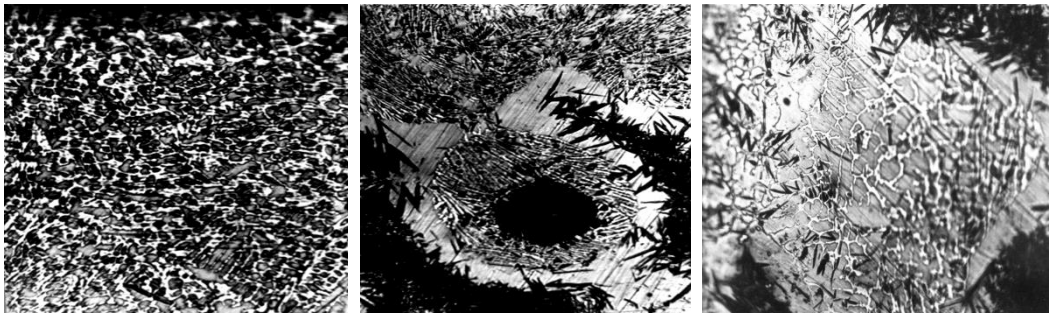


Рисунок 3.1 - Вплив швидкості лазерного опромінення на глибину шару

Структура кожної складової, її частка і локалізація в оплавленої зоні залежать від режиму опромінення. При зменшенні швидкості опромінення зростає частка структури білого чавуну з доевтектичною будовою і зменшується частка ділянок зі структурою високовуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю. Рентгенографічно в оплавлених зонах реєструються аустенит, мартенсит і цементит в різних кількісних співвідношеннях. Кількість аусеніту і цементиту збільшується зі зменшенням швидкості опромінення.

Мікротвердість зони оплавлення відповідно до її структури дуже неоднорідна. Найбільшу твердість мають ділянки з квазіевтектичною структурою (HV 9500 - 8500 МПа), найменшу - аустеніт (HV 5700 - 4200 МПа). Характерно, що твердість аустеніту досить висока, очевидно, внаслідок сильного наклепу при швидкісний кристалізації і фазових перетвореннях. Мікротвердість мартенсито-аустенітної структури становить HV 8500 - 6300 і намічається тенденція до зменшення її зі зниженням швидкості опромінення. Це може бути пов'язано як зі збільшенням частки аустеніту в ній, так і з деяким відпустком мартенситу.



а б

Рисунок 3.2 – Структурні елементи зони оплавлення:
а, б – ділянки білого чавуну;× 400

У зонах шару, загартованих від температур, менших за температури солідуса металевої основи, але великих евтектичних температур, спостерігається часткове оплавлення матриці навколо графіту і утворення структури загартованого білого чавуну, високої мікротвердості (рис. 3.2). У зонах, загартованих від температур, менших евтектичною, вплив графіту може позначитися тільки через дифузію вуглецю в аустеніт.

У зв'язку з короткочасністю лазерного впливу, відстані на які дифундує вуглець з графіту, малі і окремі обсяги матриці додатково не насичуються вуглецем. Отже, графіт не повинен впливати на її структуру і властивості при загартуванні. У зоні гарту, в залежності від температури нагріву, можуть утворюватися при охолодженні структури голчастого мартенситу або бесструктурного мартенситу. HV 8500-7300 МПа.

Швидше за все, що високе легування аустеніту в ліквацiйній зоні і насиченість вуглецем знижує його нижче кімнатних температур. У високотемпературній зоні гарту відбувається розплавлення матриці близько цементиту. Наведений аналіз структури і властивостей опромінених шарів чавуну показує, що і в разі оплавлення, і в разі гарту відбувається істотне зміцнення поверхневого шару.

Мікротвердість неопроміненого чавуну складає HV 3600-2200 МПа.

Лазерна обробка не призводить до істотної зміни чистоти і конфігурації поверхні поршневого кільця (рис. 3.3).

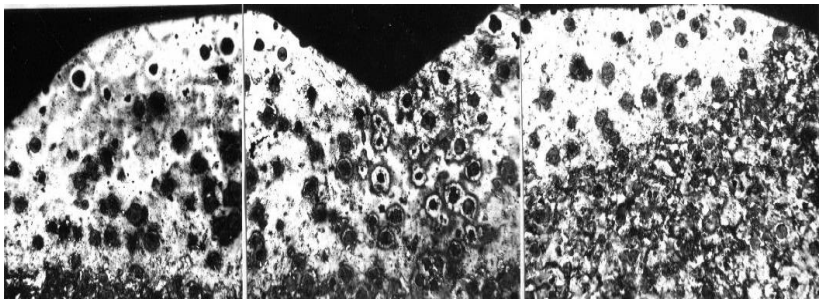


Рисунок 3.3 – Профіль поршневого кільця після опромінення

Вплив експлуатаційного нагріву на знос, структуру і властивості зміцнених шарів

Дослідження впливу нагріву на зміну структури і властивостей опроміненого чавуну виконано на зразках з частковим оплавлюванням поверхні, що дозволило простежити за поведінкою різних структурних елементів шару.

Характерною особливістю структур відпуску при 200-400 °С є практично повне збереження залишкового аустеніту, яке визначається рентгенографічними (рис. 3.4) і мікроструктурними дослідженнями (рис. 3.5). При цьому аустеніт не зазнавав розпаду як в зоні оплавлення, так і в ліквацiйних областях зони гартування. Не змінюється і діапазон значень мікротвердості цієї складової.

Помітна зміна кількості залишкового аустеніту реєструється рентгенографічно лише після відпуску при 500 ° С. Так, в зразках з загартованою поверхнею воно знижується з 37% після лазерного гарту , до 12% після відпуску. Твердість колишніх аустенітних ліквацiйних зон при цьому різко зростає до HV 8500-9500. Металографічно в ліквацiйних ділянках виявляється нова орієнтована голчата складова, яку можна трактувати як карбідну фазу бейнітного походження (рис. 3.5). Збіднений вуглецем аустенит при охолодженні зазнає вторинного гартування. Обидва процеси викликають зростання твердості ліквацiйних ділянок.

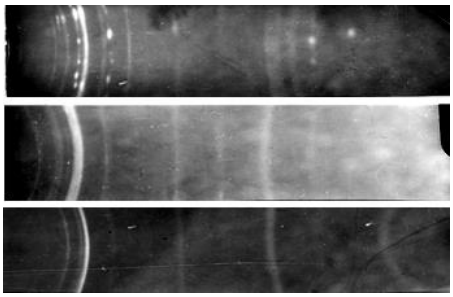


Рисунок 3.4 - Рентгенограми поршневих кілець: а, б - зона оплавлення; в - зона гартування; а, в - після відпуску при 200 °С; б - після відпуску при 400 ° С

Мартенситна складова практично не змінює твердості при нагріванні до 250 °С, а в подальшому її твердість знижується порівняно повільно до HV 6300-5000 МПа при температурі відпуску 500 ° С. Голчасте орієнтування структури по мартенситу зберігається і після відпуску при 500 ° С. Отримані дані про вплив температури відпуску на властивості мартенситу в чавуні після лазерної обробки відповідають літературним даним[10].

Незначне зниження твердості квазіевтектичних і доевтектичних структур в зоні оплавлення зумовлено також відпуском, що входить до складу мартенситу.

Таким чином, отримані після лазерного опромінення структури чавуну проявляють високу стійкість проти відпуску, забезпечуючи високу твердість і зберігаючи гетерогенність структури в робочому діапазоні температур (до 350°С). Дослідження структури і властивостей опромінених з оплавленої поверхні і загартованої поверхні поршневих кілець після випробувань на знос свідчить, що їх зміни не виходять за межі впливу температури, меншою 350 ° С. Припрацьоване покриття при цьому також не позначається на властивостях приповерхневого опроміненого шару в процесі зносу.

Дані випробувань на знос, виконаних на машині тертя СМЦ-2 в умовах граничного змащення, при навантаженні 1000 Н і часу випробування 2 ч, наведені в табл. 3.1.

Аналіз експериментальних даних показує, що лазерна обробка і з оплавленням і загартуванням поверхні забезпечує високу зносостійкість кільця, значно перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець. Це підтверджується і станом поверхонь зносу відповідних кілець (рис. 3.6). Важливо при цьому, що істотно зменшується і знос контртіла - гільзи. Дещо більший знос кілець з опалювальною поверхнею в порівнянні з загартуванням, очевидно, обумовлене більшою часткою аустенітних ділянок, що виходять на поверхню тертя, а підвищений знос гільзи - більш твердих ділянок білого загартованого чавуну. Важливу роль при цьому відіграє і зменшення частки графіту, що виходить на поверхню, тобто його змащуючої дії.

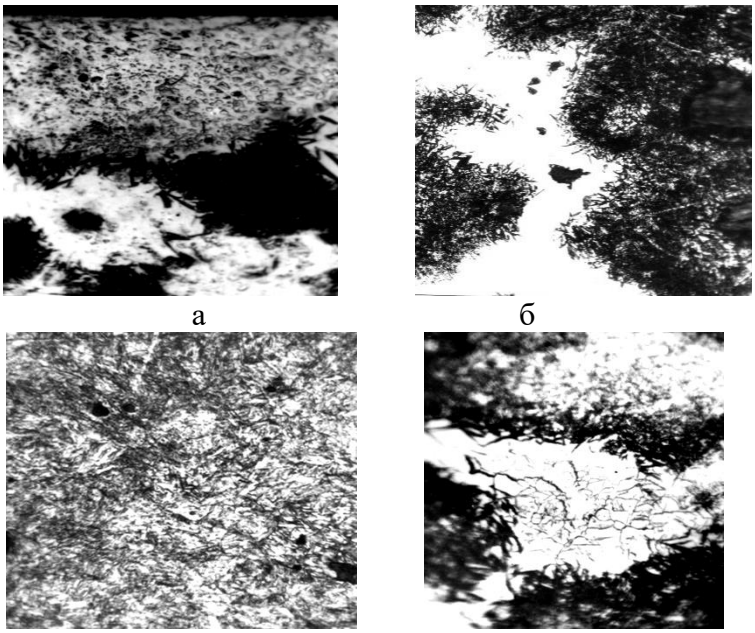
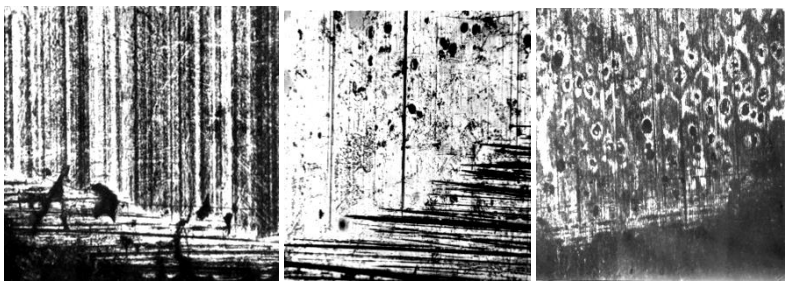


Рисунок 3.5 - Структура опроміненого шару після відпуску: а - зона оплавлення після відпуску при 400 ° С; б - зона гарту після відпуску при 400 ° С; в, г - зона гарту після відпуску при 500 ° С,× 1000



а б в

Рисунок 3.6 - Стан поверхні поршневих кілець після випробувань на зношування: а - хромоване кільце, б - кільце з лазерною опалювленою поверхнею; в - кільце з лазерним загартуванням поверхні × 400.

Таблиця 3.1

Зносостійкість пари «кільце-гільза»

Обробка	Знос, мг		Коефіцієнт тертя, f
	кільце	ролик (гільза)	
Серійне хромоване з приробним покриттям	2,2	27,4	0,09
лазерний гарт	0,2	10,7	0,09
Лазерний гарт з приробочним покриттям	0,4	10,7	0,07-0,09
лазерне оплавлення	0,3	17,0	0,09-0,10
Лазерне оплавлення з приробним покриттям	1,0	13,3	0,08-0,09
Лазерне гартування і відпуск при 400 ° С при 500 ° С	 0,8 1	 7,1 11,8	Не випробувалось

Очевидно, що при лазерній обробці поршневих кілець перевагу має опромінення з загартуванням поверхні (так як вона практично не змінює чистоту поверхні опромінення). При цьому порушення режиму, що викликає часткове оплавлення поверхні, не повинно бути підставою для відбраковування виробів. Отже, з досліджених режимів опромінення при потужності 0,6 кВт, рекомендована обробка в діапазоні швидкостей 7,6-11 мм/с.

Висновки

1. Методами оптичної та електронної мікроскопії, рентгеноструктуроного аналізу, вимірювання мікротвердості, лабораторних та експлуатаційних випробувань на зношування вивчені структури і властивостей поршневих кілець дизелів тепловозів після лазерної обробки з метою визначення можливості використання цього методу обробки для їх зміцнення.

2. Встановлено, що процеси осадження гальванічного хрому малопродуктивні, мають низький вихід хрому, по струму, а відходи виробництва небезпечні для навколишнього середовища. Що вимагає створення дорогих спеціальних очисних споруд для уловлювання відходів гальванічних процесів. Метод же лазерної обробки характеризується, високою продуктивністю, економічністю. Отримані результати свідчать про перспективність застосування лазерної обробки для захисту поршневих кілець від зносу і корозії.

3. Аналіз експериментальних даних показав, що лазерна обробка з оплавленням і загартуванням поверхні забезпечує високу зносостійкість кілець, яка значно перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець.

4. Важливим отриманим результатом є значне зменшення спрацювання контр тіла – гільзи. Встановлено, що більше спрацювання кілець з оплавленням поверхні порівняно із загартуванням зумовлене формуванням аустенітних ділянок на поверхні тертя, а підвищення спрацювання гільзи – утворенням твердіших ділянок білого загартованого чавуну. Немало важливу роль при цьому відіграє зменшення частки графіту, що виходить на поверхню тобто його змащувальна дія.

5. Вивчено вплив режимів лазерної обробки на глибину, структуру, фазовий склад і властивості опроміненого шару в поршневих кільцях. Встановлено діапазони швидкостей опромінення, що створюють шари з повним, частковим опалювальному і загартуванням поверхні. Визначено режими опромінення, що виводять на поверхню шари з різним співвідношенням аустенітної, мартенситної і карбідної складової з властивостями, що забезпечують високу зносостійкість.

6. Встановлено, що зміцнений лазерною обробкою чавун характеризується високою стійкістю до відпуску при нагріванні до 400 ° С, зумовленої впливом кремнію та інших легуючих елементів.

7. Показано, що найкращою зносостійкістю, що перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець, характеризуються кільця, опромінені по режиму: W = 0,6 кВт, Vобл. = 10-11 мм / с.

8. Результати роботи впроваджені на ДП «Завод ім.. В.О. Малишева».

Література

1. Пожарные аварийно-спасательные. и специальные машины: Учебное пособие / Б. Л. Кулаковский, В. И. Маханько, А. В. Кузнецов. - Мн.: Технопринт, 2002 - 382 с

2. Справочное пособие по работе на специальных пожарных автомобилях (гдзс, пд, асо, аса) / волков в.д., ерохин с.п., орлов л.а. и др. - м.: вниипо, 1999. - 237 с.

3. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 398 с.

4. Гаркунов Д.Н. Избирательный перенос в узлах трения / Д.Н. Гаркунов, И.В. Крагельський, А.А.Поляков – М.: Транспорт, 1969. – 104 с.

5. Анисимов М.И. Воздушно-плазменное напыление термических порошков / М.И. Анисимов // Сб. ГТНП-91. – 1991 – С. 13–19.

6. Хасуи А. Техника напыления / А. Хасуи. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.

7. Белащенко В.В. Эффективная температура подложки при воздействии высокотемпературной струи в процессе напыления / В.В. Белащенко, В.А. Вахалин, В.В. Кудинов, Ю.Б. Черняк // Физика и химия обработки материалов. – 1984. – № 4–5. – С. 22–26.

8. Семенов А.П. Создание износостойких и антифрикционных покрытий и слоев на поверхностях трения деталей машин новыми методами / А.П. Семенов // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – С. 401–411.

9. Присевок А.Ф. Упрочнение и восстановление быстроизнашивающихся деталей самофлюсующимися, твердыми сплавами / А.Ф. Присевок // Долговечность трущихся деталей машин. Сб.статей, под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1987. – Вып. 2. – С. 224–23.

10. Семенов Л.П. Трение и адгезионное взаимодействие тугоплавких материалов при высоких температурах / Л.П. Семенов. – М.: Наука, 1972. – 160 с.

11. Трефилов В.И. Структуры и свойства материалов и покрытий из композиций хром-карбид / В.И. Трефилов, Ю.С. Борисов, Р.А. Алфинцева и др. // Порошковая металлургия. – 1981. – № 11. – С. 74–80.

12. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. – М: Наука, 1977.– 184с.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ МАШИН СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЛАЗЕРНОЮ ОБРОБКОЮ

Лючкова Є.В., ст. гр. МС-41-17, Ковальов Б.В., ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Анотація: *дослідження однієї з проблем в машинобудуванні, підвищення зносостійкості поршневих кілець, виготовлених з високоміцного чавуну лазерним методом зміцнення.*
Ключові слова: *надійність, зносостійкість, адгезія, міцність, хромування, теплостійкість, твердість, лазерна обробка, мікротвердість.*

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ МАШИН СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Лючкова Є.В., ст. гр. МС-41-17, Ковальов Б.В., ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Аннотация: *исследования одной из проблем в машиностроении, повышение износостойкости поршневых колец, изготовленных из высокопрочного чугуна лазерным методом укрепления.*
Ключевые слова: *надежность, износостойкость, адгезия, прочность, хромирование, теплостойкость, жесткость, лазерная обработка, микротвердость.*

IMPROVING THE WEAR RESISTANCE OF PISTON RINGS OF SPECIAL-PURPOSE MACHINES BY LASER TREATMENT

Lyuchkova Є., student of MS-41-17 group, Kovalov B., student of MS-41-17 group, KhNAHU

Abstract: *research one of the problems in mechanical engineering, increasing the wear resistance of piston rings made of high-strength cast iron by laser strengthening method.*
Key words: *reliability, wear resistance, adhesion, strength, chrome plating, heat resistance, toughness, laser treatment, microhardness.*

Вступ

В даний час однією з проблем машинобудування є підвищення зносостійкості поршневих кілець, виготовлених з високоміцного чавуну.

Широко використовуються в практиці вітчизняного та зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому в ряді випадків не досить добре задовольняють вимогам, що пред'являються до поршневих кілець. Маючи твердість HV 900-1000, хромові покриття забезпечують стійкість проти абразивного зношування, володіють високою адгезійною міцністю, відносно низьким коефіцієнтом тертя, задовільною припрацьовуваністю та маслопоглинанням, високою теплопровідністю.

Однак пористий шар хрому товщиною 40-50 мкм за кілька сот годин спрацьовується, і тоді починає зношуватися тверда основа. Електролітичний хром незадовільно працює на тертя і зношування при високих температурах, що призводить до знеміцнення; в певних умовах він схильний до вологої корозії.

У зв'язку з цим розробка високоефективних покриттів поршневих кілець представляється досить важливою і актуальною.

Матеріал та методика дослідження

В машинах спеціального призначення велика увага приділяється довговічності деталей циліндро-поршневої групи, зокрема поршневих кілець. Досліджувалися поршневі кільця виконані, з сірого та високоміцного чавуну.

Лазерна обробка чавуну здійснювалася з використанням безперервного випромінювання CO_2 - лазера ЛТ-1.

Для дослідження твердості застосовували метод Роквелла, який, як правило, використовується для вивчення термозміцненого матеріалу.

Визначення глибини наклепаного шару поверхонь тертя здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3.

Мікроструктура досліджуємих матеріалів, а також поверхонь тертя роликів і колодочок вивчали з допомогою портативного металографічного мікроскопу Альтамі МЕТ 1.

Металографічні дослідження проводились також на оптичному мікроскопі МІМ-8 та на електронному мікроскопі.

Випробування на тертя та знос проводилися на машині тертя СМЦ-2, яка дозволяє провести порівняння випробовуваних матеріалів по зносостійкості, антифрикційним властивостям і властивостями в процесі припрацьовування за схемою «ролик-колодочка»

Результати дослідження

У дослідженому діапазоні режимів лазерної обробки в опроміненому чавуні утворюються шари з виходом на поверхню зон загартованих з розплавленого стану - шари з зоною оплавлення і шари з виходом на поверхню зон, загартованих від температур, менших температури солідусу, металевої основи - шари з зоною гарту. Поверхня чавуну оплавлюється на всій площі контакту з променем при швидкості опромінення 5,4 мм/с, частково - при швидкостях опромінення 6,5; 7,6 мм/с; при швидкості ж 11 мм/с спостерігається лише гарт поверхневого шару. Глибина шару при цьому зменшується зі збільшенням швидкості опромінення по параболічному закону (рис. 3.1). При швидкості опромінення 11 мм/с вона становить0,5 мм, При 5,4 мм/с - 1,3 мм.

Структура оплавлених зон неоднорідна за обсягом лінії опромінення і в загальному випадку побудована трьома структурними елементами: загартованим з розплаву білим чавуном (рис. 3.1.2), загартованої з розплаву високовуглецевого сталлю (рис. 3.2, б, в), графітом. Неоднорідність обумовлена короткочасністю лазерного впливу, що не дозволяє отримувати однорідний за складом рідкий розчин в розплавленому гетерогенному обсязі. Сприяє цьому і неодночасне розплавлення що знаходиться при кожній даній ізотермі ділянок гетерогенної структури.

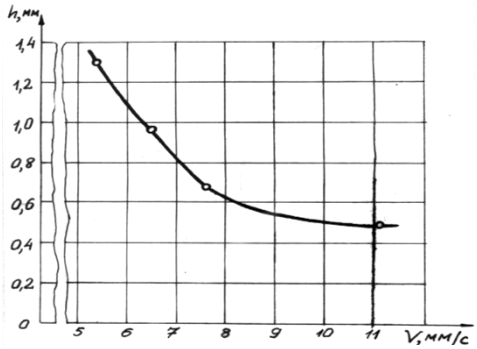
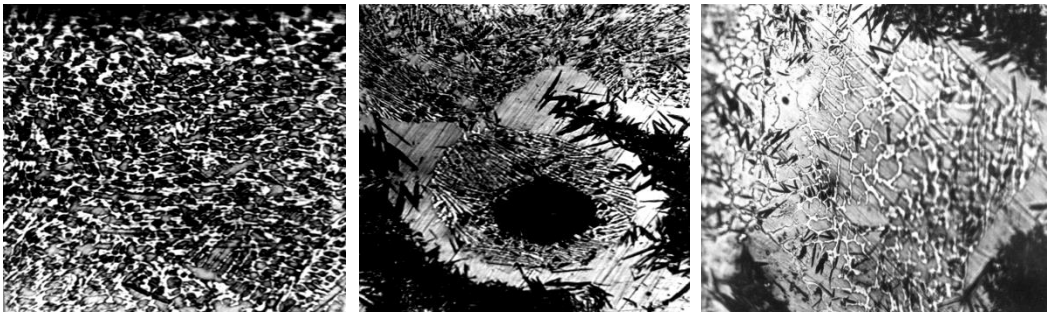


Рисунок 3.1 - Вплив швидкості лазерного опромінення на глибину шару

Структура кожної складової, її частка і локалізація в оплавленої зоні залежать від режиму опромінення. При зменшенні швидкості опромінення зростає частка структури

білого чавуну з доевтектичною будовою і зменшується частка ділянок зі структурою високовуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю. Рентгенографічно в оплавлених зонах реєструються аустенит, мартенсит і цементит в різних кількісних співвідношеннях. Кількість аусеніту і цементиту збільшується зі зменшенням швидкості опромінення.

Мікротвердість зони оплавлення відповідно до її структури дуже неоднорідна. Найбільшу твердість мають ділянки з квазіевтектичною структурою (HV 9500 - 8500 МПа), найменшу - аустеніт (HV 5700 - 4200 МПа). Характерно, що твердість аустеніту досить висока, очевидно, внаслідок сильного наклепу при швидкісний кристалізації і фазових перетвореннях. Мікротвердість мартенсито-аустенітної структури становить HV 8500 - 6300 і намічається тенденція до зменшення її зі зниженням швидкості опромінення. Це може бути пов'язано як зі збільшенням частки аустеніту в ній, так і з деяким відпустком мартенситу.



а б

Рисунок 3.2 – Структурні елементи зони оплавлення:
а, б – ділянки білого чавуну;× 400

У зонах шару, загартованих від температур, менших за температури солідуса металевої основи, але великих евтектичних температур, спостерігається часткове оплавлення матриці навколо графіту і утворення структури загартованого білого чавуну, високої мікротвердості (рис. 3.2). У зонах, загартованих від температур, менших евтектичною, вплив графіту може позначитися тільки через дифузію вуглецю в аустеніт. У зв'язку з короткочасністю лазерного впливу, відстані на які дифундує вуглець з графіту, малі і окремі обсяги матриці додатково не насичуються вуглецем. Отже, графіт не повинен впливати на її структуру і властивості при загартуванні. У зоні гарту, в залежності від температури нагріву, можуть утворюватися при охолодженні структури голчастого мартенситу або бесструктурного мартенситу. HV 8500-7300 МПа.

Швидше за все, що високе легування аустеніту в ліквацiйній зоні і насиченість вуглецем знижує його нижче кімнатних температур. У високотемпературній зоні гарту відбувається розплавлення матриці близько цементиту. Наведений аналіз структури і властивостей опромінених шарів чавуну показує, що і в разі оплавлення, і в разі гарту відбувається істотне зміцнення поверхневого шару.

Мікротвердість неопроміненого чавуну складає HV 3600-2200 МПа.

Лазерна обробка не призводить до істотної зміни чистоти і конфігурації поверхні поршневого кільця (рис. 3.3).

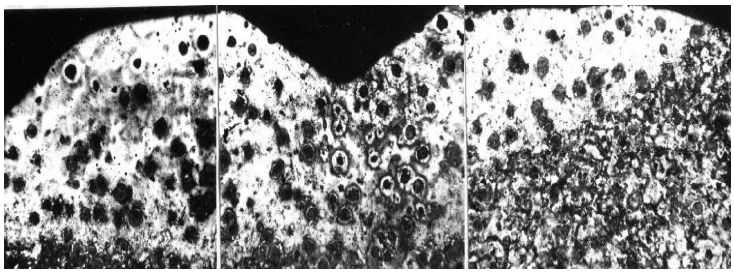


Рисунок 3.3 – Профіль поршневого кільця після опромінення

3.2 Вплив експлуатаційного нагріву на знос, структуру і властивості зміцнених шарів

Дослідження впливу нагріву на зміну структури і властивостей опроміненого чавуну виконано на зразках з частковим оплавлюванням поверхні, що дозволило простежити за поведінкою різних структурних елементів шару.

Характерною особливістю структур відпуску при 200-400 °С є практично повне збереження залишкового аустеніту, яке визначається рентгенографічними (рис. 3.4) і мікроструктурними дослідженнями (рис. 3.5). При цьому аустеніт не зазнавав розпаду як в зоні оплавлення, так і в ліквацiйних областях зони гартування. Не змінюється і діапазон значень мікротвердості цієї складової.

Помітна зміна кількості залишкового аустеніту реєструється рентгенографічно лише після відпуску при 500 ° С. Так, в зразках з загартованою поверхнею воно знижується з 37% після лазерного гарту , до 12% після відпуску. Твердість колишніх аустенітних ліквацiйних зон при цьому різко зростає до HV 8500-9500. Металографічно в ліквацiйних ділянках виявляється нова орієнтована голчата складова, яку можна трактувати як карбідну фазу бейнітного походження (рис. 3.5). Збіднений вуглецем аустенит при охолодженні зазнає вторинного гартування. Обидва процеси викликають зростання твердості ліквацiйних ділянок.

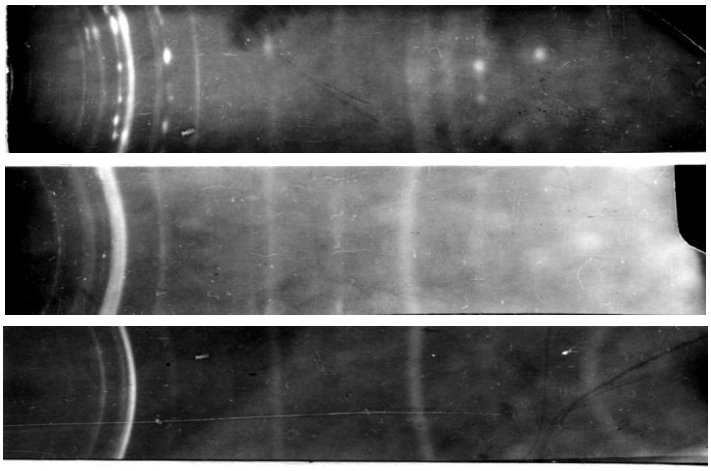


Рисунок 3.4 - Рентгенограми поршневих кілець: а, б - зона оплавлення; в - зона гартування; а, в - після відпуску при 200 °С; б - після відпуску при 400 ° С

Мартенситна складова практично не змінює твердості при нагріванні до 250 °С, а в подальшому її твердість знижується порівняно повільно до HV 6300-5000 МПа при температурі відпуску 500 ° С. Голчасте орієнтування структури по мартенситу зберігається і після відпуску при 500 ° С. Отримані дані про вплив температури відпуску на властивості мартенситу в чавуні після лазерної обробки відповідають літературним даним[10].

Незначне зниження твердості квазіевтектичних і доевтектичних структур в зоні оплавлення зумовлено також відпуском, що входить до складу мартенситу.

Таким чином, отримані після лазерного опромінення структури чавуну проявляють високу стійкість проти відпуску, забезпечуючи високу твердість і зберігаючи гетерогенність структури в робочому діапазоні температур (до 350°С). Дослідження структури і властивостей опромінених з оплавленої поверхні і загартованої поверхні поршневих кілець після випробувань на знос свідчить, що їх зміни не виходять за межі

впливу температури, меншою 350 ° С. Припрацьоване покриття при цьому також не позначається на властивостях приповерхневого опроміненого шару в процесі зносу.

Дані випробувань на знос, виконаних на машині тертя СМЦ-2 в умовах граничного змащення, при навантаженні 1000 Н і часу випробування 2 ч, наведені в табл. 3.1.

Аналіз експериментальних даних показує, що лазерна обробка і з оплавленням і загартуванням поверхні забезпечує високу зносостійкість кільця, значно перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець. Це підтверджується і станом поверхонь зносу відповідних кілець (рис. 3.6). Важливо при цьому, що істотно зменшується і знос контртіла - гільзи. Дещо більший знос кілець з опалювальною поверхнею в порівнянні з загартуванням, очевидно, обумовлене більшою часткою аустенітних ділянок, що виходять на поверхню тертя, а підвищений знос гільзи - більш твердих ділянок білого загартованого чавуну. Важливу роль при цьому відіграє і зменшення частки графіту, що виходить на поверхню, тобто його змащуючої дії.

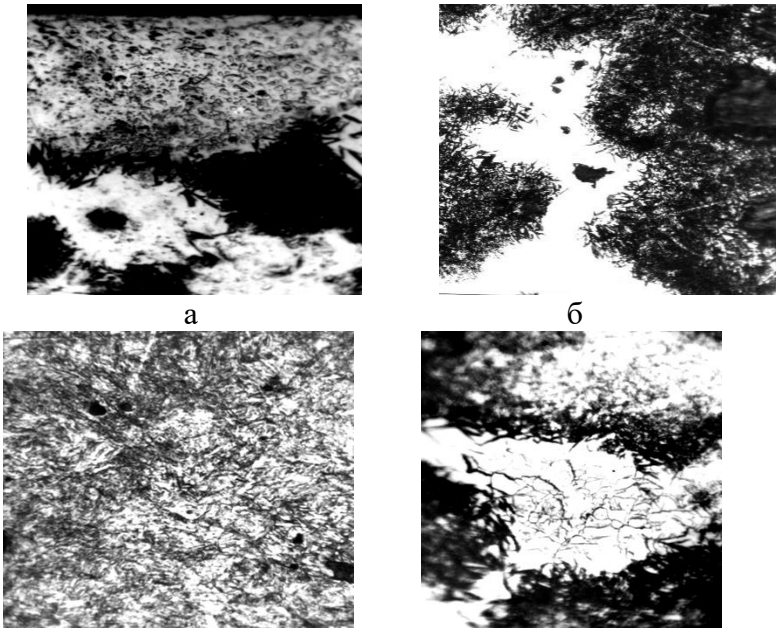


Рисунок 3.5 - Структура опроміненого шару після відпуску: а - зона оплавлення після відпуску при 400 ° С; б - зона гарту після відпуску при 400 ° С; в, г - зона гарту після відпуску при 500 ° С,× 1000

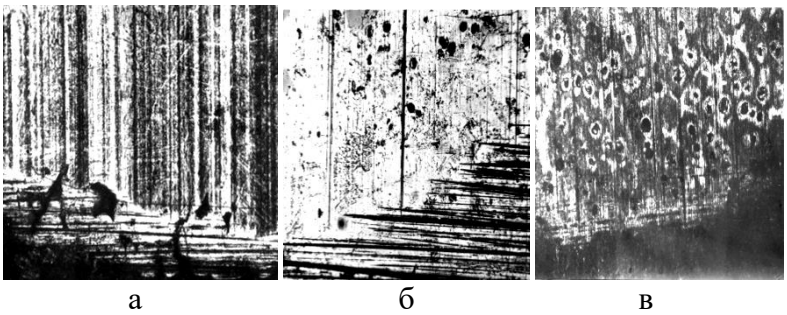


Рисунок 3.6 - Стан поверхні поршневих кілець після випробувань на зношування: а - хромоване кільце, б - кільце з лазерною опалювленою поверхнею; в - кільце з лазерним загартуванням поверхні × 400.

Таблиця 3.1

Зносостійкість пари «кільце-гільза»

Обробка	Знос, мг		Коефіцієнт тертя, f
	кільце	ролик (гільза)	
Серійне хромоване з приробним покриттям	2,2	27,4	0,09
лазерний гарт	0,2	10,7	0,09
Лазерний гарт з приробочним покриттям	0,4	10,7	0,07-0,09
лазерне оплавлення	0,3	17,0	0,09-0,10
Лазерне оплавлення з приробним покриттям	1,0	13,3	0,08-0,09
Лазерне гартування і відпуск при 400 ° С при 500 ° С	 0,8 1	 7,1 11,8	Не випробувалось

Очевидно, що при лазерній обробці поршневих кілець перевагу має опромінення з загартуванням поверхні (так як вона практично не змінює чистоту поверхні опромінення). При цьому порушення режиму, що викликає часткове оплавлення поверхні, не повинно бути підставою для відбраковування виробів. Отже, з досліджених режимів опромінення при потужності 0,6 кВт, рекомендована обробка в діапазоні швидкостей 7,6-11 мм/с.

Висновки

1. Методами оптичної та електронної мікроскопії, рентгеноструктуроного аналізу, вимірювання мікротвердості, лабораторних та експлуатаційних випробувань на зношування вивчені структури і властивостей поршневих кілець машин спекціаотного призначення після лазерної обробки з метою визначення можливості використання цього методу обробки для їх зміцнення.

2. Встановлено, що процеси осадження гальванічного хрому малопродуктивні, мають низький вихід хрому, по струму, а відходи виробництва небезпечні для навколишнього середовища. Що вимагає створення дорогих спеціальних очисних споруд для уловлювання відходів гальванічних процесів. Метод же лазерної обробки характеризується, високою продуктивністю, економічністю. Отримані результати свідчать про перспективність застосування лазерноі обробки для захисту поршневих кілець від зносу і корозії.

3. Аналіз експериментальних даних показав, що лазерна обробка з оплавленням і загартуванням поверхні забезпечує високу зносостійкість кілець, яка значно перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець.

4. Важливим отриманим результатом є значне зменшення спрацювання контр тіла – гільзи. Встановлено, що більше спрацювання кілець з оплавленням поверхні порівняно із загартуванням зумовлене формуванням аустенітних ділянок на поверхні тертя, а підвищення спрацювання гільзи – утворенням твердіших ділянок білого загартованого чавуну. Немало важливу роль при цьому відіграє зменшення частки графіту, що виходить на поверхню тобто його змащувальна дія.

5. Вивчено вплив режимів лазерної обробки на глибину, структуру, фазовий склад і властивості опроміненого шару в поршневих кільцях. Встановлено діапазони швидкостей опромінення, що створюють шари з повним, частковим опалювальному і загартуванням поверхні. Визначено режими опромінення, що виводять на поверхню шари з різним співвідношенням аустенитной, мартенситной і карбідної складової з властивостями, що забезпечують високу зносостійкість.

6. Встановлено, що зміцнений лазерною обробкою чавун характеризується високою стійкістю до відпуску при нагріванні до 400 ° С, зумовленої впливом кремнію та інших легуючих елементів.

7. Показано, що найкращою зносостійкістю, що перевищує зносостійкість серійних хромованих кілець, характеризуються кільця, опромінені по режиму: W = 0,6 кВт, Vобл. = 10-11 мм / с.

8. Результати роботи впроваджені в навчальний процес ХНАДУ і використовуються при читанні лекцій, проведенні лабораторних і практичних занять по дисциплінам «Технологія нанесення покриттів», «Конструкційна міцність та способи її підвищення».

Література

1. Пожарные аварийно-спасательные. и специальные машины: Учебное пособие / Б. Л. Кулаковский, В. И. Маханько, А. В. Кузнецов. - Мн.: Технопринт, 2002 - 382 с

2. Справочное пособие по работе на специальных пожарных автомобилях (гдзс, пд, асо, аса) / волков в.д., ерохин с.п., орлов л.а. и др. - м.: вниипо, 1999. - 237 с.

3. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 398 с.

4. Гаркунов Д.Н. Избирательный перенос в узлах трения / Д.Н. Гаркунов, И.В. Крагельський, А.А.Поляков – М.: Транспорт, 1969. – 104 с.

5. Анисимов М.И. Воздушно-плазменное напыление термических порошков / М.И. Анисимов // Сб. ГТНП-91. – 1991 – С. 13–19.

6. Хасуи А. Техника напыления / А. Хасуи. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.

7. Белащенко В.В. Эффективная температура подложки при воздействии высокотемпературной струи в процессе напыления / В.В. Белащенко, В.А. Вахалин, В.В. Кудинов, Ю.Б. Черняк // Физика и химия обработки материалов. – 1984. – № 4–5. – С. 22–26.

8. Семенов А.П. Создание износостойких и антифрикционных покрытий и слоев на поверхностях трения деталей машин новыми методами / А.П. Семенов // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – С. 401–411.

9. Присевок А.Ф. Упрочнение и восстановление быстроизнашивающихся деталей самофлюсующимися, твердыми сплавами / А.Ф. Присевок // Долговечность трущихся деталей машин. Сб.статей, под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1987. – Вып. 2. – С. 224–23.

10. Семенов Л.П. Трение и адгезионное взаимодействие тугоплавких материалов при высоких температурах / Л.П. Семенов. – М.: Наука, 1972. – 160 с.

11. Трефилов В.И. Структуры и свойства материалов и покрытий из композиций хром-карбид / В.И. Трефилов, Ю.С. Борисов, Р.А. Алфинцева и др. // Порошковая металлургия. – 1981. – № 11. – С. 74–80.

12. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. – М.: Наука, 1977. – 184 с.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ХОЛОДНОКАТНИХ ТОНКОЛИСТОВИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДВОШАРОВИХ ЗГОРНУТО ПАЯНИХ ТРУБОК

Вошунок І., ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Анотація: *Проблема підвищення якості тонколистової прокатної металопродукції передбачає створення більш досконалого виду обладнання, впровадження нових прогресивних технологій, поліпшення якості і підвищення службових характеристик ефективних видів металопрокату, серед яких до 90% складає листовий прокат.*
Ключові слова: *пластичність, холодне штампування, міцність, рекристалізація, мікроструктура, старіння, швидкість охолодження.*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ХОЛОДНОКАТАННЫХ ТОНКОЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ СВЕРНУТО - ПАЯННЫХ ТРУБОК

Вошунок И, ст. гр. МС-41-17, ХНАДУ

Аннотация: *Проблема повышения качества тонколистовой прокатной металлопродукции предусматривает создание более совершенного вида оборудования, внедрения новых прогрессивных технологий, улучшения качества и повышения служебных характеристик эффективных видов металлопроката, среди которых до 90% составляет листовой прокат.*
Ключевые слова: *пластичность, холодная штамповка, прочность, рекристаллизация, микроструктура, старение, скорость охлаждения.*

ENSURING THE TECHNOLOGICAL PLASTICITY OF COLD-ROLLED THIN SHEET STEELS FOR THE MANUFACTURE OF TWO-LAYER COILED-SOLDERED TUBES

Voshunok I, student of MS-41-17 group, KhNAHU

Abstract: *The problem of improving the quality of thin-sheet rolled metal products involves the creation of a better type of equipment, the introduction of new advanced technologies, improving the quality and increasing the service characteristics of effective types of rolled metal products, among which up to 90% is rolled sheet metal.*
Key words: *ductility, cold forming, strength, recrystallization, microstructure, aging, cooling rate.*

Вступ

Проблема підвищення якості тонколистової прокатної металопродукції передбачає створення більш досконалого виду обладнання, впровадження нових прогресивних технологій, поліпшення якості і підвищення службових характеристик ефективних видів металопрокату, серед яких до 90% складає листовий прокат.

Завдяки своїм експлуатаційним і технологічними властивостями, а також за економічними показниками листовий прокат сталей широко використовуєтьсяв транспортному машинобудуванні, суднобудуванні, будівництві та інших галузях для виготовлення металоконструкцій і деталей, при виробництві зварних труб і гнутих профілів.Тому особливості його виробництва і проблеми покращення якості є під постійною пильною увагою як виробників, так і споживачів.

До числа найбільш прогресивних методів пластичної формозміни відноситься листове штампування, яке вимагає від матеріалу високих показників пластичності (отже здатності до якісного штампування). Традиційним способом знеміцнення холоднокатаного прокату в нашій країні є тривалий рекристалізаційний відпал в ковпакових печах, що має значні недоліки: значна тривалість процесу, нерівномірність нагріву рулону і, отже, отримання неоднорідної структури, необхідність захисної атмосфери зі штучною циркуляцією і прокладками між рулонами, значні енерговитрати (від 300 до 700 вКт/ч). Розширення виробництва холоднокатаного листового прокату і поліпшення його властивостей з використанням малопродуктивних садочних ковпакових печей періодичної дії неможливе.

Прогресивним методом пом'якшувальної термообробки є рекристалізаційний відпал в протяжних печах безперервної дії, що дозволяє істотно скоротити час обробки, значно підвищити продуктивність, поліпшити якість металу. Як відомо, висока пластичність і хороша штампуємість холоднодеформованих низьковуглецевих листових сталей досягається за рахунок подрібнення феритного зерна, а також повного очищення твердого розчину від домішок проникнення. Обидва ці процеси вимагають часу і тому печі повинні бути великої довжини, що потребує значної виробничої площі. Крім того, необхідна регульована система транспортування, що оберігає лист від пошкодження. Це потребує значних капітальних витрат.

Подальший розвиток процесів безперервної термообробки листового прокату вимагає інтенсифікації процесів нагрівання та охолодження, вдосконалення та спрощення конструкцій агрегатів. В останні роки за кордоном в безперервних лініях швидкісної термообробки успішно використовують контактний спосіб нагріву і охолодження металу. В нашій країні таких агрегатів не існує і на найбільших металургійних комбінатах, таких як «Запоріжсталь» і Маріупольський комбінат ім. Ілліча, відпал холоднокатаного листового прокату здійснюється в ковпакових печах [1].

З тонколистового прокату виготовляють двошарові згорнуто паяні трубки для гальмівних і паливних систем тракторів, автомобілів, інших машин, а також для багатьох пристроїв і агрегатів побутового використання.Технологія виготовлення трубок потребує різних видів пластичної деформації - розтягування, стиснення, згинання, обтиснення Для цього сталь повинна мати високу технологічну пластичність [1].Однак метал після відпалу в ковпакових печах за своїми властивостями не придатний для виробництва згорнуто паяних трубок малого діаметра, які експлуатуються в умовах великого тиску.

В роботі вирішувалися актуальні питання забезпечення холоднокатаній тонкій смузі зі сталі 08кп високої технологічної пластичності при достатній міцності (за умовами споживача) та запобігання природного старіння метала, призначеного для виготовлення згорнуто паяних трубок,які працюють під великим тиском.

Мета роботи

Мета роботи – підвищення технологічної пластичності при збереженні міцності холоднокатаного тонкого листа зі сталі 08кп для бездефектного виготовлення згорнуто паяних трубок малого діаметра, що експлуатуються в умовах великого тиску.

Для реалізації мети вирішувалися наступні задачі: визначення оптимальних параметрів (нагріву, видержки та умов охолодження) швидкісного циклічного рекристалізаційного відпалу і наступного перестарювання тонких стрічкових заготовок для упередження їх природного старіння.

Методи дослідження

Дослідженню підлягала холоднокатана низьковуглецева листова сталь 08кп товщиною 0,5 мм серійної плавки Маріупольського металургійного комбінату.

Для отримання високої технологічної пластичності холоднокатані стрічки зі сталі 08 кп піддавали швидкісному рекристалізаційному відпалу при температурах 650 - 720 ° С на установці з теплообмінними контактними барабанами.

Вивчали мікроструктуру у відбитому світлі за допомогою металографічного мікроскопа UIT MicroMet – I–102 BD та електронному мікроскопі ЕЕМ-106 при збільшеннях від 300 до 15000 разів.

Мікротвердість вимірювали на приборі ПМТ-3 під навантаженням 50 г за стандартною методикою.

Для підрахунку розміру зерен і визначення дисперсії в їх розподілі за величиною була залучена спеціальна комп'ютерна програма.

Результати дослідження

Після холодної прокатки з обтиском 60% сталь мала яскраво виражену текстуру деформації(рис.4.1). Така структура вказує та наявність наклепу і, як наслідок, на підвищені властивості міцності матеріалу в поєднанні з дуже малою пластичністю, а також свідчить про низьку технологічність матеріалу, який призначений для виробництва виробів методами холодної пластичної деформації.Середній розмір феритного зерна 60 - 70 мкм.

Рисунок 4.1 – Мікроструктура сталі 08 кп у вихідному холоднокатаному стані; ×500

Рекристалізаційний відпал холоднокатаного листа знімає наклеп, забезпечує рівноважну структуру з певним розміром зерна та мінімальною кількістю дефектів кристалічної будови, і знеміцнює сталь, що гарантує їй ефективну якісну обробку при виготовленні виробів способами холодного штампування.В літературних джерелах рекомендується розмір рекристалізованого зерна, що відповідає 7 або краще 8 номеру шкали. При дуже дрібному зерні при деформуванні виникає пружний ефект, що суттєво утруднює процес деформування та призводить до значного і швидкого зношування обладнання. Велике зерно призводить до зниження ударної в`язкості та окрихчення сталі. Розмір рекристалізованого зерна залежить як від температури нагріву і часу видержки, щоб процеси рекристалізації пройшли до кінця, так і від швидкості нагріву - чим вона менше, тим буде більше зерно в сталі і гірші її властивості та штампуємість.

Висновки

1. Швидкісний (V = 100 ^{0}C /с) циклічний рекристалізаційний відпал при 700 $^\circ$C з видержкою 12 с забезпечує холоднокатаній тонколистовій сталі 08 кп комплекс властивостей, які відповідають згідно з ГОСТ 9045-93 категорії ВГ, тобто здатності сталі до холодного деформування з вельми глибоким витягуванням.

2. Подальше природне старіння протягом місяця відпаленої за оптимальним швидкісним режимом сталі 08 кп призводить до різкого падіння пластичності (δ в 2,5 рази) і підвищення міцності.

3. Режим охолодження після рекристалізаційного відпалу впливає на зміну властивостей під час природного старіння. Охолодження між циклами з піччю до 400° С і кінцеве до кімнатної температури на повітрі забезпечує стабільність властивостей, отриманих після відпалу, протягом 5 діб вилежування сталі.

4. Двоступенева знеміцнювальна термічна обробка, що складається з рекристалізаційного відпалу при 700 ^{0}C з видержкою 12 с і подальшого перестарювання при 400 ^{0} С протягом 5 хв забезпечує холоднокатаній сталі 08 кп властивості ($б_{В,}$= 335 МПа, $б_т$=305МПа, δ = 34,7 %),які відповідають вимогам споживача – замовника, та запобігає старінню сталі при вилежуванні протягом одного місяця.

5.Згорнуто паяні двошарові трубки малого діаметру, що були виготовлені із сталевих смуг, оброблених за розробленими режимами знеміцнення, успішно пройшли 100 %контроль якості в умовах виробництва.

Література

1.Прудникова О. Р., Щербаков Э.Д., Лапин В.П. Выбор стали и технологии производства при изготовлении тонкостенных электросварных труб и изделий из них. Литьё и металлургия. 2011. № 3 (51). С. 216 – 221.

2. Конспект лекцій з дисципліни "Вступ до спеціальності. Розділ «Обробка металів тиском»»" / Укладач С.В. Єршов. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015.92 с.

3. Гусева С. С., Гурено В. Д, Зварковский Ю. Д. Непрерывная термическая обработка автолистовой стали. Москва: Металлургия, 1979. 224 с.

4.Уваров В. В., Носова Е. А. Структура и свойства листовых сталей для холодной штамповки: Учебное пособие. Под общ .ред. Гречникова Ф. В. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2003. 74 с.

5. Ніколаєв В. О. Технологія виробництва сортового та листового прокату: підручник, частина 1. Запоріжжя: ЗДІА, 2000. 258 с.

6. Гладченкова Ю. С. Управление структурой и свойствами проката из низкоуглеродистых и низколегированных сталей для получения изделий методами штамповки: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.01. Москва, 2016.147 с.

7. Матюк В. Ф. Влияние технологии производства листового проката низкоуглеродистых качественных сталей на их структурное состояние и взаимосвязь между механическими и магнитными свойствами (обзор) Неразрушающий контроль и диагностика. 2011, .№ 1. С. 3 – 31.

8.Производство качественной низкоуглеродистой листовой стали / Бочков Н. Г. и др. Москва: Металлургия, 1983. 184 с.

9.Лукин А. С. Формирование структуры и текстуры при отжиге автолистовых сталей в колпаковых печах: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.01. Липецк, 2002. 83 с

10. Башнин Ю. А., Ушаков Б.К.,Секей А.Г. Технология термической обработки стали . Москва: металлургия, 1986. 424 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАСТЕРИЗАТОРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО ”GELIBERT”

Государственный Университет имени “Alecu Russo” г. Бэлць
Тудосан Виктория, студентка 3-го курса,
факультет реальных, экономических и экологических наук,
кафедра физико-инжинерных наук

СОДЕРЖАНИЕ:

1. Поиск источников в научно-технической литературе, патентах, положениях, инструкциях, нормативных документах и др. в данной области.

2. Технико-технологическое обоснование выбора пастеризатора TPP_1500.

4. Технология производства

4.1 Характеристики сырья и вспомогательных материалов, используемых при производстве безалкогольных напитков

4.2 Разработка технологической схемы участка купажирования на ООО Gelibert

4.3 Устройство и принцип работы пастеризационной установки TPP_1500

5. Расчетные элементы пастеризационной установки TPP_1500

5.1 Расчет пастеризационной установки TPP_1500

5.2. Предложения по модернизации пастеризационной установки TPP_1500

6. Охрана труда. Техника безопасности

6.1 Требования безопасности при работе на установке пастеризации TPP_1500

Вводы

Библиографические ссылки

ВСТУПЛЕНИЕ

Для реализации курсового проекта, в начале ознакомились с действующей установкой- пастеризатор компании ООО ”Gelibert”- TPP_1500, представляющая собой пластинчатый пастеризатор-охладитель.

Были поставлены следующие задачи, исследовать:

- **Установку- пастеризатор TPP_1500.**
- **Поддержание необходимой температуры в секциях регенерации и пастеризации;**
- **Возможность поддержания, изменения (повышения и понижения) температуры в секциях с помощью увеличения, уменьшения расхода в трубах реагентов;**
- **Выбор подходящего материала для изготовления данного устройства с максимально рациональным и высоким качеством обработки;**
- **Давление в приборе должно соответствовать рабочей среде.**

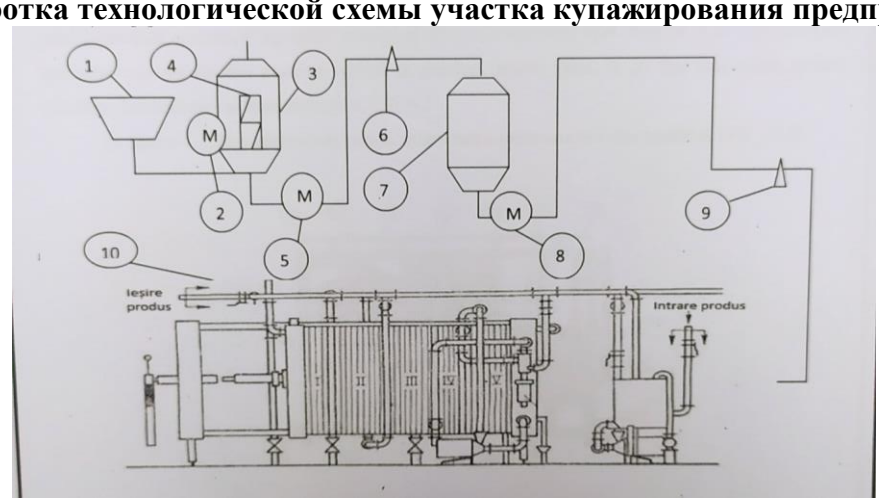
ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИССЛЕДУЕМОЙ УСТАНОВКИ ТРР_1500

Нормальная промышленная работа любого теплообменника направлена, прежде всего, на поддержание оптимального теплового режима. Под оптимальным тепловым режимом понимается режим, при котором выполняются все требования технологического процесса, с минимально возможным расходом теплоносителя. В таком устройстве технологический режим и тепловой режим должны быть тесно связаны. Данная установка, представляющая собой пластинчатый теплообменник, была выбрана потому, что продукт ООО ”Gelibert” разливается в ПЭТ тару, соответственно нет возможности пастеризовать фасованный продукт.

Но существует ряд преимуществ этих типов пастеризаторов:

- создает турбулентный режим потока при низких значениях Рейнольдса, что приводит к высоким коэффициентам теплопередачи, таким образом, улучшенному тепловому потоку;
- рекуперация тепла путем нагревания необработанного продукта с уже пастеризованным, что означает значительное сокращение нагрева и охлаждающего агента;
- компактная компоновка, позволяющая уменьшить большие площади теплообмена;
- стабильность при высоком давлении;
- высокая коррозионная стойкость;
- простота сборки и разборки;
- высокая эффективность мойки закрытого типа(CIP).

Разработка технологической схемы участка купажирования предприятия



Технологическая схема приготовления безалкогольных напитков в ООО ”Gelibert”:

1 - бункер смесителя; 2, 5, 8 - электродвигатель; 3 - смеситель; 4 - мешалка с пропеллером; 6, 9 - фильтр для сиропа; 7 - промежуточный бак; 10 - установка пастеризации ТПП_1500.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕНОСТИ ПАСТЕРИЗАТОРА ТРР_1500

Теплообменник состоит из множества отдельных пластин, смонтированных в металлической опорной раме и затянуты болтами. Каждая пара соседних пластин образует канал потока, так что в двух соседних каналах направление потока двух жидкостей всегда противаточно. Пластины изготовлены из тонких металлических листов из нержавеющей стали и снабжены гофрами, образованными прессованием, как для увеличения жесткости, так и для улучшения теплопередачи за счет увеличения турбулентности жидкостей. Уплотнение между пластинами предотвращает смешение теплоносителей и их утечку наружу и выполняется с помощью прокладок.

Теплообменники этого типа компактны, при заданном объеме обеспечивают большую поверхность теплообмена, поверхность теплообмена можно увеличивать или уменьшать по мере необходимости, добавляя или удаляя пластины, имеют низкие производственные затраты и легко чистятся. Но у них есть и недостатки. Болты В процессе работы могут частично открутиться, и в этом случае утечки возникают рядом с прокладками, но утечки происходят снаружи, а не при смешивании жидкостей. У них относительно большие перепады давления, что увеличивает расходы на перекачку. При возникновении неисправности ремонт занимает много времени.

РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОБНОЙ УСТАНОВКИ TPP_1500

Из-за того, что безалкогольные напитки имеют низкий уровень pH, ≤ 4,5, и микроорганизмы, которые могут влиять на них, не образуют спор, пастеризация безалкогольных напитков может проводиться в более легком режиме, чем другие продукты. Чтобы измерить эффект уничтожения микроорганизмов в безалкогольных напитках, используются «единицы пастеризации-PU», которые соответствуют эффекту, полученному при нагревании безалкогольного напитка до 80°C в течение 1 минуты. Зависимость между температурой пастеризации и временем пастеризации является логарифмической функцией.

Для безопасности процесса достаточно пастеризации, эквивалентной 1 ... 5 PU для газированных продуктов и 3 ... 8 PU для негазированных продуктов, соответственно поддержание 1-5 минут для газированных напитков и 3 -8 минут для напитков негазированных при температуре 80°C. Для безалкогольных напитков, пастеризованных в установке пастеризации TPP_1500, достигается 13 PU.

Предложения по модернизации установки пастеризации TPP_1500

На исследуемой установки пастеризации TPP_1500 достигается 13 PU, что позволяет увеличить производительность без изменения диаметра змеевика, который служит теплообменником.

В этом случае увеличиваем производительность насоса до 2800 л / ч и, соответственно, мощность электродвигателя с 1,5 кВт ... до 2,2 кВт, чтобы позволить достигнуть более высокую скорость прохождения жидкости через данную установку.

При завершении процесса, рассчитываем количество единиц пастеризации безалкогольных напитков, достигнув повышенную производительность 2800л / час:

$$PU = 0{,}43 * 1{,}2589^{(92-80)} = 0{,}43 * 1{,}2589^{12} = 6{,}8\ PU$$

ВЫВОДЫ

Технологическую эффективность процесса пастеризации определяли в производственных условиях путем проведения микробиологического анализа безалкогольных напитков (соков) с помощью системы TransFast® Gel System. В

проанализированных образцах не было обнаружено неспецифических микроорганизмов безалкогольных напитков, поэтому можно сказать, что процесс пастеризации эффективен, соответственно безалкогольные напитки могут быть отправлены на продажу. Развитие всех этих технологий без нежелательного использования химических соединений - синтетических консервантов, так или иначе, основано на совершенствовании методов контролируемой термообработки продукта, а именно на использовании пластинчатого пастеризатора. Развитие пастеризационного оборудования направлено на незначительные улучшения процессов пастеризации и асептики, оставаясь на том же концептуальном уровне и уже достигнув пика развития с точки зрения эффективности и скорости линий розлива. Модернизация требует значительных капитальных затрат на оборудование и затрат энергии не только на быстрый нагрев жидкого продукта, но и на его быстрое охлаждение. Но со временем эти вложения окупятся.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАЛЬЦОВЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР, В ТОМ ЧИСЛЕ И МОДЕЛИ ВМП

Государственный Университет имени “Alecu Russo” г. Бэлць
Талпэ Александрина, студентка 3-го курса,
факультет реальных, экономических и экологических наук,
кафедра физико-инжинерных наук

Мною был разработан курсовой проект, по изучаемой дисциплине «Технологическое оборудование», на третьем курсе обучения.

Проведено изучение литературы в области пищевой промышленности, в частности в области процессов измельчения (дробления) твердых частиц. В источниках научно-технического направления указано, что использование для этих целей измельчающего оборудования, по своим эксплуатационным качествам (производительность, технологичность, безопасность в эксплуатации и т. д.) не соответствуют требованиям ведущих компаний, занимающихся измельчением зерновых и продуктов их переработки. Недостаточная технологичность и производительность используемого морально-устаревшего оборудования, можно объяснить несоответствием режимов механического воздействия рабочего тела и характером сил сопротивления со стороны твердых частиц.

Дополнительно проведен поиск в научно-технической литературе, патентах, журналах, положениях, инструкциях, нормативных документах и др. в области переработки зерна. Проведено практическое ознакомление с измельчающими машинами, в частности с вальцовыми станками модели БВ-2 и А1-БЗ-3Н, на действующем предприятии по переработки пшеницы и продуктов их переработки.

При производстве муки, процесс измельчения зерен пшеницы и их производных на всех этапах, является одним из основных, поскольку в значительной степени влияет на выход и качество готовой продукции. Измельчение зерна пшеницы, ржи, тритикале и других злаковых - одна из самых затратных по энергозатратности операций. Технологические приемы и применяемые в процессе измельчения станки во многом определяют технико-экономические показатели мукомольного предприятия.

На мукомольных предприятиях, измельчение зерна злаков и продуктов их переработки, осуществляется в вальцовых станках разных моделей – БВ-2, А1-БЗН и другие модели. Вальцовый станок - первое технологическое оборудование в размольном отделении, которое во многом определяет производительность, технологичность и стабильность работы следующего технологического и транспортного оборудования согласно технологической схеме.

В настоящее время, кроме вальцовых станков моделей ZM 2, BV 2, A1-BZN, также известны и другие модели - A1-BZ-2N, A1-BZ-3N, R6-BZ-5N, R6-BZ-6N, MDDB и другие.

Вальцовый станок (к примеру модель БВ-2) состоит из станины, образованной из двух рабочих самостоятельных половинок. Каждая половина оснащена парой рабочих вальцов, дозирующими валиками, аспирационным устройством, механизмом грубого привала вальцов, механизмом настройки и выравнивания подвижного вальца, электродвигателем (1), клиноременной передачей (2), межвальцовой передачей (зубчатой передачей 3), приемной трубой (4), трубами пневматического транпортера (5) и другими вспомогательными устройствами.

Ниже приведен чертеж вальцового станка модели БВ-2.

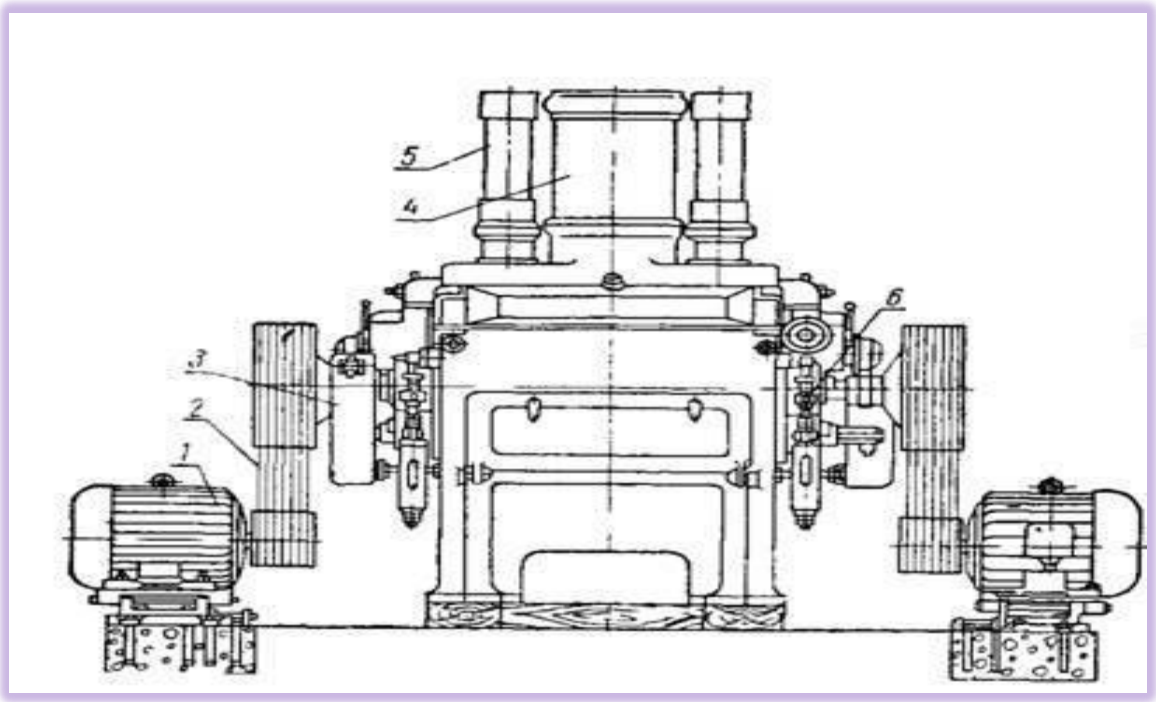


Рис. Вальцовый станок модели БВ-2.

Также был исследован питающий механизм вальцового станка модели БВ-2.

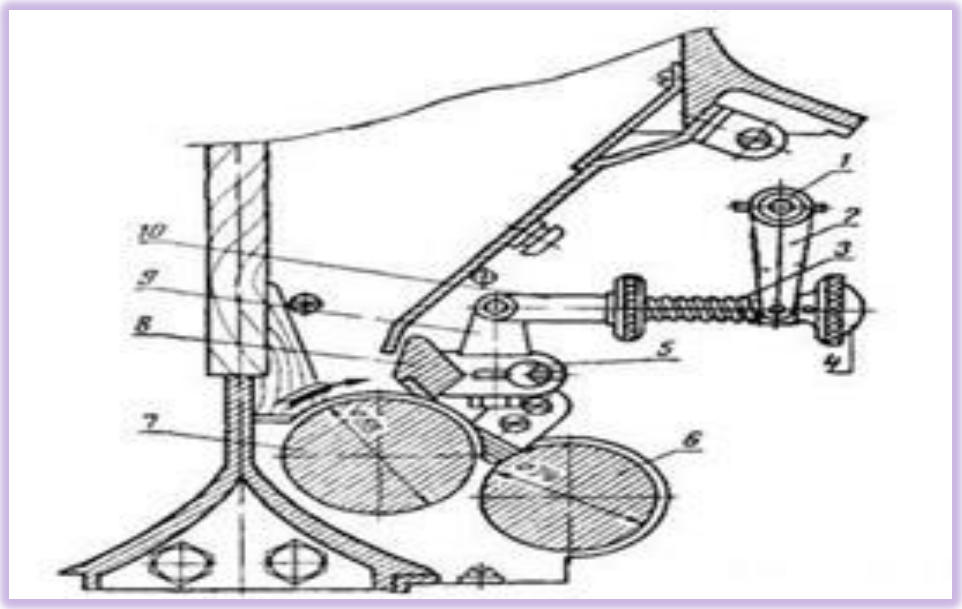


Рис. Питающий механизм вальцового станка модели БВ-2.

Питающий механизм вальцового станка модели БВ-2 состоит из корпуса втулки (1), рычага (2), пружины (3), кривошипа (4); втулки эксцентриковой (5); ролика подачи продукта (6); валика (ролика) дозирования продукта (7); заслонки (8); опорной ручки (9).

Также была изучена ***кинематическая схема*** вальцового станка модели БВ 2, содержащая следующие элементы:

1 - нажимная гайка, 2 - шайба; 3, 22, 23, 35, 41, 46 - пружины, 4, 9 - стержни; 5 - стакан 6, 8 - гайки, 7 - винтовой механизм; 10 - эксцентриковый вал, 11, 27, 50, 51 - рычаги, 12, 13, 48 - маховики, 14, 18 - регулировочные винты, 15 - поплавок; 16, 17 - рычажные системы, 19 - ролики, 20, 21 - штанги, 24 - защелка, 25 - ось, 26, 32 - рычаги, 28 - штифт, 29, 34, 47 -

валы, 30 - поворотный рычаг, 31 - диск, 33, 39, 43, 44 - шестерни, 36 - кулачок; 37 - сектор, 38 - упор, 40 - палец, 42 - шкив, 45 - полумуфта, 49 - микровыключатель, 52 - шатун, 53 - эксцентриковый диск, 54 - вал; 55 - боковой кулачок.

Ниже приведена **кинематическая схема** вальцового станка модели БВ-2.

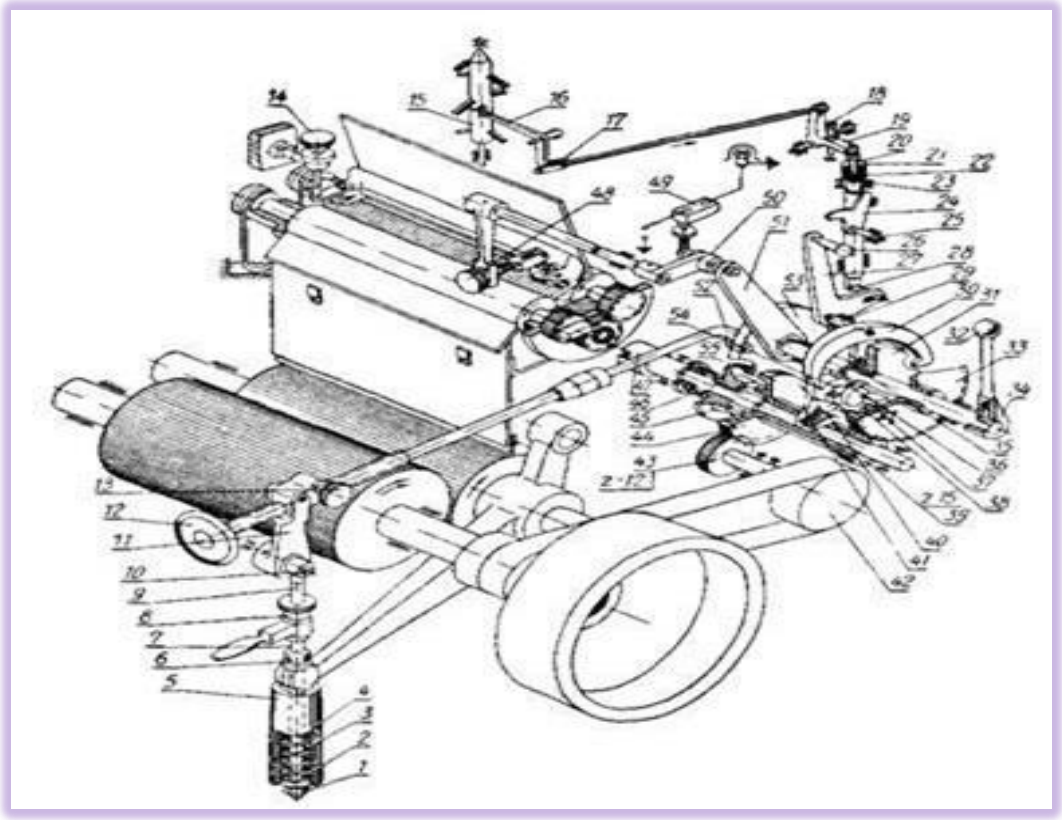


Рис. **Кинематическая схема** вальцового станка модели БВ-2.

В курсовом проекте разработали технологическую схему размольного отделения и принцип работы технологического оборудования измельчения партии зерна.

Измельчение - это операция разрушения зерна злаков на частицы разного размера с целью получения муки, отрубей и зародышей. Оно основано на механическом воздействии измельчающих валков на зерна до тех пор, пока все ядро не превратится в муку. Измельчение осуществляется путем дробления зерен, которые, пройдя несколько раз через валки, достигают все более мелкой грануляции, между измельчениями промежуточных продуктов осуществляется разделение полученных фракций путем просеивания. По размеру гранул, при измельчении, могут быть получены следующие фракции: различные крупы (крупная, средняя, мелкая крупки), манная крупа, дунст и мука, соответственно отруби.

В соответствии с требованиями Правил организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах рекомендуется применять следующие параметры для мелющих вальцов:

• Периферийные скорости быстровращающихся вальцов - от 5,0 до 6,0 м / с;

• Для улучшения качества дунста и муки, извлекаемой на IV драной системе измельчения, рекомендуется окружная скорость быстровращающихся вальцов 4,0… 4,5 м / с;

• Угол наклона рифлей - от 4% на I-ой драной системы до 6… 8% на IV-ой драной системы измельчения (максимальные значения используются в процессе переработки зерна мягкой пшеницы;

• Количество рифлей, нарезанных на 1 см окружности вальца - от 4-х рифлей на первой драной системы до 10… 11 рифлей на четвертой драной системы, при их увеличении от системы к системе на 1,5… 2-х рифлей приходящихся на 1 см (или 10 мм) окружности вальца;

• Взаимное расположение рифлей на системах предпочтительно «*спинка по спинке*».

Для предприятий относительно малой производительности (к примеру 35…45 т/сутки) предпочтительно применять вальцовые станки модели ВМП.

В качестве объекта исследования в курсовом проекте выбрали вальцовый станок модели ВМП. Вальцовый станок модели ВМП спроектирован и выполнен малых габаритов, предназначен для мельниц малой мощности, обслуживается внутренним пневмотранспортом для транспортировки зерна и измельченной продукции. Мелющие вальцы имеют диаметр 185 мм и длину 400 мм, установлены горизонтально. Вальцовый станок модели ВМП оборудован механическим устройством для разъединения (отвала) медленновращающегося вальца. Привал вальца производится вручную. Вальцовый станок модели ВМП приводится в движение электродвигателями, соосно соединенными муфтами с быстроходными роликами.

Ниже приведен чертеж вальцового станка модели ВМП.

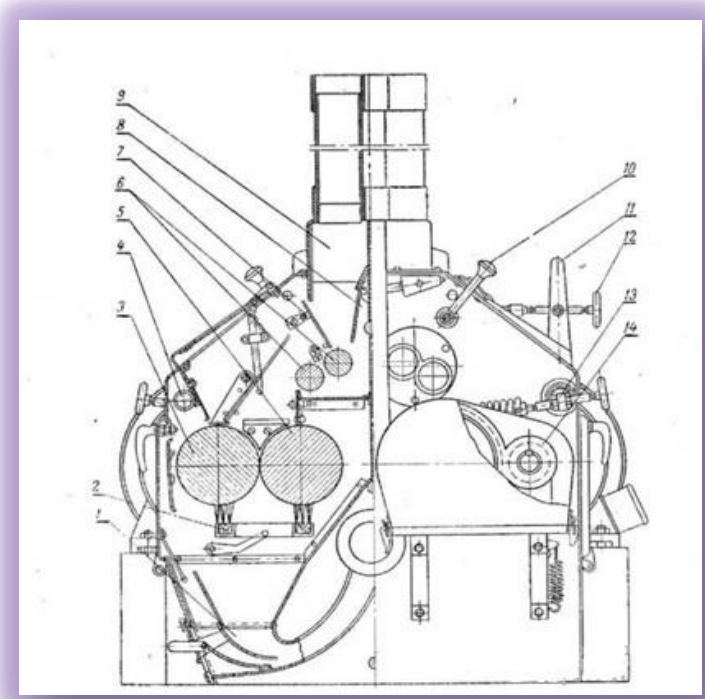


Рис. Вальцовый станок модели ВМП
1 - пневмоприемник; 2 - щетки; 3 - быстровращающийся мелющий валец; 4 - эксцентриковый ролик; 5 - медленновращающийся мелющий валец; 6 - подающие валики (ролики); 7 - механизм регулирования подачи продукта; 8 - клапан механизма отключения ролика; 9 - приемная горловина продукции; 10 - ручка механизма регулировки подачи продукта; 11 - рычаг ручного привала и отвала вальцов; 12 - механизм регулировки вальцов; 13 - механизм регулировки параллельности мелющих валков; 14 - зубчатая передача между валками.

Предложения по модернизации вальцового станка модели ВМП.

Предлагается модернизировать механизм привала и отвала мелющих валков.

В случае запуска ***вальцового станка*** модели ВМП, рассмотренной в проекте, для реализации процесса измельчения, привал и отвал одного из валков (например, медленного валка) необходимо производить под действием автоматического гидравлического устройства (не ручного), в этом случае движение поршня вызовет осевое перемещение штока 12. (шток 12 механизма привала-отвала, шарнирно соединенный 11 с поршнем, через канал 6 будет перемещаться масло, соответственно поршни 4 и 5 переместятся вправо и приведут в действии мелющие вальцы - смотри рисунок).

Ниже на чертеже приведена кинематическая схема автоматического гидроавтомата.

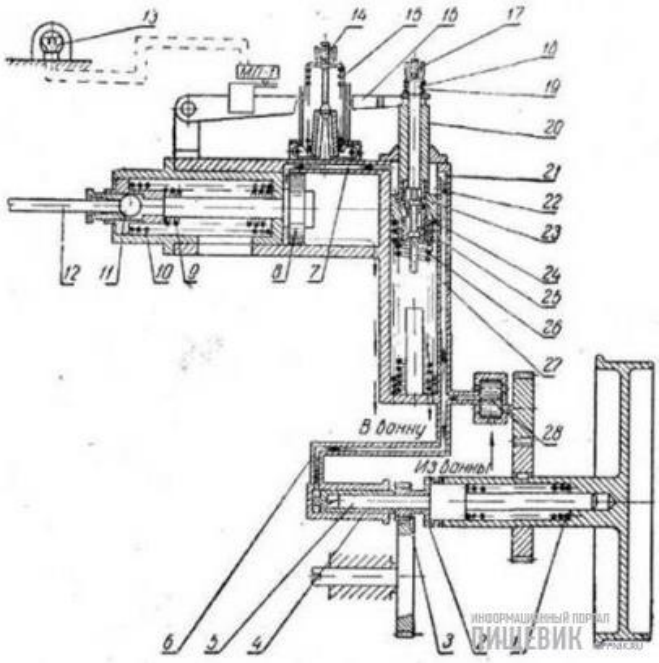


Рис. Кинематическая схема автоматического гидроавтомата

Вальцовые станки модели ВМП, после модернизации, оснащенные автоматическим гидроавтоматом, смогут обеспечить выполнение следующих операций:

— автоматический отвал и привал подвижного вальца;

— выключение и включение вращения питающих валиков;

— закрытие и открытие секторной заслонки.

Библиография:

1. А.Б. ДЕМСКИЙ, Е.В. ТАМАРОВ, А.С. ЧЕРНОЛИХОВ. *Оборудование для производства муки и крупы*. Справочник – Москва: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
2. Птушкина Г.Е., Товбин Л.И. Высокопроизводительное оборудование мукомольных заводовю – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.
3. А.Я. СОКОЛОВ, В.Ф. ЖУРАВЛЕВ, В.Н. ДУШИН и др *Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна* /., под ред. А.Я. Соколова. – Москва: Колос, 1984. – 445 с.
4. Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах. М.: ВНПО Зернопродукт, 1991. Часть 1 и 2.
5. https://mppnik.ru/publ/770-valcovye-stanki.html, accesată la data de 03.09.2020.
6. https://znaytovar.ru/s/Valcovye_stanki.html, accesată la data de 11.04.2021.

«Рациональное планирование человеческих ресурсов нацеленное на поддержание эффективности производственного процесса электрической проводки DRIVE I01 на предприятии ООО „DRA – DRAEXLMAIER AUTOMOTIVE”»

Игорь ФОКША, *студент группы TI11M.*
Специальность магистратуры: Технологии обучения и производства.
Факультет: Реальных наук, экономики и окружающей среды.
Бельцкий Государственный университет имени Алеку Руссо, Республика Молдова.
Научный руководитель: **Владислав РУСНАК,** *доктор, конференциар.*

Abstract: *This scientific article describes the process of rational planning of human resources at the enterprise "DRA - DRAEXLMAIER AUTOMOTIVE". The main target of planning is to maintain the efficiency of the production process. The article analyzes the production process of electrical wiring DRIVE I01. This type of wiring connects the engine of the BMW i3 to the wiring segments of the cabin, cockpit and doors. The focus on maintaining efficiency described in the context of this article is a rational method of adapting the production process to an external factor - changing the number of daily orders.*

Keywords*: production, wiring, efficiency, production personnel, planning, production time, automotive industry.*

Введение

Понятие *«производственный процесс»* отражает функциональную сторону производства, т.е. его динамику, и представляет собой целенаправленное изменение состояний предметов труда (изменяющих свои физические или химические свойства, геометрические размеры), средств труда (изменяются режимы работы оборудования для выполнения тех или иных операций по обработке предметов труда) и рабочей силы, в результате чего из исходного сырья получают готовый продукт [1, с. 5].

Для предприятия *план* – это четко сформулированная и количественно выраженная цель. Сущность планирования состоит в обоснованном определении средств её достижения. Эффективная деятельность предприятия в значительной степени зависит от того, насколько реально можно предвидеть перспективу развития, т.е. прогнозирования [2, с. 156].

Эффективность производства — категория, которая характеризует отдачу, результативность производства. Она свидетельствует не о темпах прироста объемов производства, а о том, какой ценой, какими затратами ресурсов достигается этот прирост, то есть свидетельствует о качестве экономического роста. Эффективность производства является одной из главных характеристик хозяйственной деятельности человека [3].

Персонал предприятия (кадры, трудовой коллектив) – это совокупность работников, входящих в его списочный состав. Все работники предприятия делятся на две группы: *промышленно-производственный персонал*, занятый производством и его обслуживанием; непромышленный персонал, занятый в основном в социальной сфере деятельности предприятия. По характеру выполняемых функций промышленно-производственный персонал (ППП) подразделяется на четыре категории: рабочих, руководителей, специалистов и технических исполнителей (служащих). *Рабочие* – это работники, непосредственно занятые производством продукции (услуг) [4].

Цель статьи заключается в анализе и оптимизации производственного процесса путем изменения количества промышленно-производственного персонала, необходимого для производства электрической проводки DRIVE I01 для автомобиля BMW i3 в рамках ООО „DRA DRAEXLMAIER – AUTOMOTIVE”.

Задачи необходимые для достижения цели:

1. Рассчитать количество времени, затрачиваемого на производство одной электрической проводки типа DRIVE I01;
2. Определить объемы дальнейшего производства;
3. Вычислить количество промышленно-производственного персонала, необходимого для нового объема производства.

Методы исследования, использованные для выполнения данной статьи: анализ, синтез и математико-статистические методы. Анализ и синтез используются для оценки обработанной информации и материалов, а также для того, чтобы сделать соответствующие выводы.

1. Основные положения о проекте BMW I01

BMW I01 - проект, который стартовал в локации DRA2 в Бельцах в 2012 году. Этот проект связан с производством электропроводки для автомобиля BMW i3. BMW i3 - модель, с которой немецкий производитель дебютировал в сегменте электромобилей. BMW i3 относится к концепции MCV.

Рис. 4. Автомобиль BMW i3 [11].

MCV - инвестиционный проект *(англ. Megacity Vehicle)* компании BMW, который подчеркивает необходимость использования композитных материалов при строительстве автомобилей нового поколения. Этот проект предполагает производство электромобиля BMW i3, первого в мире автомобиля с салоном из углеродного волокна.

Рис. 5. Эволюция логотипа BMW [12].

BMW I01 включает производство четырех типов электропроводки *(Life, Drive, Cockpit и Türen)*. Тип *Life* – представляет собой электропроводку салона автомобиля. *Drive* – представляет собой электропроводку, которая соединяет двигатель автомобиля с остальными типами электропроводки. *Cockpit* – это электропроводка, отвечающая за работоспособность панели управления. *Türen* – это электропроводка, отвечающая за работоспособность дверей автомобиля. Окончательный процесс сборки всех компонентов электромобиля BMW i3 осуществляется на заводе BMW в Лейпциге, Германия.

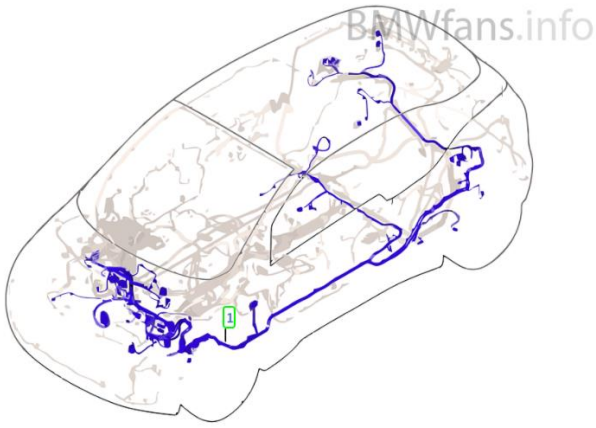


Рис. 6. Электропроводка Drive I01 в 3D-проекции BMW [13].

2. Особенности производства электропроводки Drive I01

Электропроводка BMW Drive I01 изготавливается с помощью сборочной линии. *Сборочная (конвейерная) линия* – представляет собой набор рабочих постов, расположенных в определенной последовательности, необходимых для выполнения соответствующих рабочих операций. Линия состоит из десяти рабочих постов, каждый из которых оснащен одним планшетом. *Планшет (нем. das Baubrett)* – представляет собой рабочий стол, на поверхности которого расположен технический чертеж масштаба 1:1.

На рис. 9 и рис. 10 представлены технические чертежи электропроводки типов BMW Drive I01 LL и BMW Drive I01 RL. Высота планшета составляет 1000 мм, длина 6000 мм. Планшеты расположены в вертикальной плоскости. После того, как электропроводка проходит последний этап производства в сборочной линии, электропроводка тестируется на проверочной электрической станции.

Рис. 7. Вид конвейерной линии Drive I01.

Рис. 8. Станция электрической проверки Drive I01.

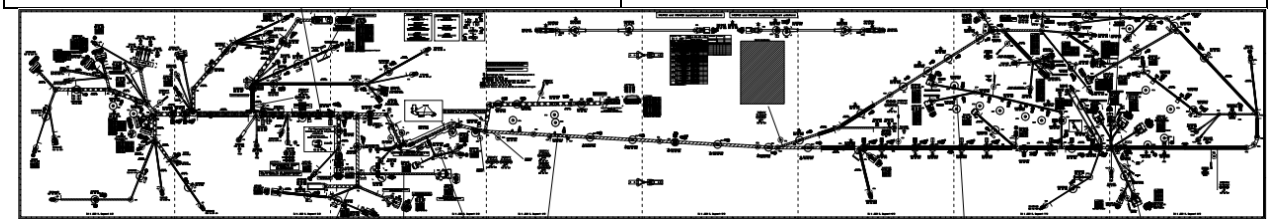


Рис. 9. Технический чертеж электропроводки BMW Drive I01 LL.

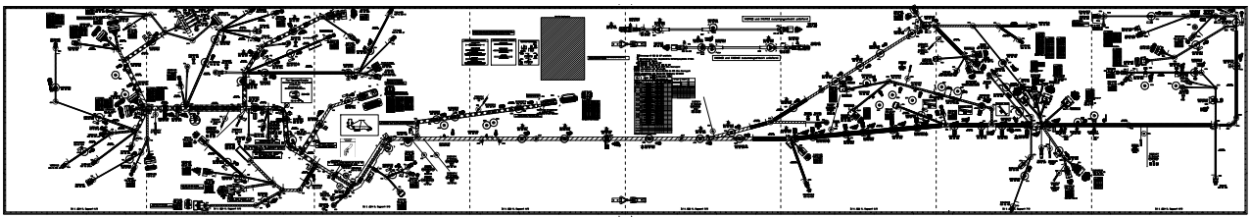


Рис. 10. Технический чертеж электропроводки BMW Drive I01 RL.

3. Определение объема производства

В производственном процессе особое внимание необходимо акцентировать на трудовом процессе. Необходимо правильно планировать нужное количество промышленно-производственного персонала, то есть определять количество рабочих, которые напрямую связаны с производственным процессом.

Чтобы узнать, какое количество проводки необходимо производить в будущем, используется файл Kammlinie. *Kammlinie* – представляет собой производственный план сроком на один год. Этот файл содержит информацию о количестве электропроводки, которую необходимо производить каждый день и каждую неделю для соответствующего года. Файл с расширением *.xlsx содержит информацию о количестве проводки типа LL, а также проводки типа RL. *LL (нем. das Linkslenkrad)* – тип проводки, которая производится для леворульной модели автомобиля. *RL (нем. das Rechtslenkrad)* – тип проводки, которая производится для праворульной модели автомобиля. Информация в файле Kammlinie еженедельно обновляется отделом производственного контроля BMW в Фильсбибурге. С помощью данного файла выявляется срок, когда происходит значительное изменение количества заказов. Так как, именно изменение количества заказов требует соответствующего изменения количества рабочих, задействованных напрямую в производственном процессе. Файл Kammlinie для проекта BMW I01 представлен на таб. 1.

Таблица 1. Kammlinie для проекта BMW I01 – производственный план за 2020 год.

Jahr	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020
KW	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Stückzahlen pro Tag	0	145	145	145	145	145	145	145	145	116	116	107	116	115	116	115	116	115	115
Jahr	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020
KW	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Stückzahlen pro Tag	114	86	116	115	115	115	114	68	113	113	113	113	115	115	115	114	115	115	115
Jahr	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021
KW	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	1	2	3	4
Stückzahlen pro Tag	114	115	116	114	114	114	110	110	109	108	92	88	87	0	0	0	0	0	0

Из таб. 1 выделяется важный аспект – резкое уменьшение ежедневных заказов с 145 до 115 штук производимой проводки. Уменьшение запланировано на десятую неделю 2020 года. Количество заказов равное 115 штукам было получено как среднее значение ежедневного количества заказов с 10-й по 53-ю неделю 2020 года. При подсчете среднего значения не учитываются те недели, где количество составляет менее ста заказов в день, потому что необходимо ориентироваться таким образом, чтобы было возможным производить самые большие количества ежедневных заказов. В течении тех недель, когда количество ежедневных заказов будет меньше ста штук, сборочная линия все равно сможет производить, потому что количество рабочих в сборочной линии будет как для ежедневного пакета заказов равного 115 штукам.

4. Расчет времени необходимого для изготовления электропроводки DRIVE I01

Расчет времени изготовления одной электропроводки типа Drive I01 начитается с актуализации времён для всех операций, которые необходимо выполнить, чтобы произвести так называемую *среднюю электропроводку* данного типа.

Для этого раз в месяц выполняется запрос в отдел IPST департамента «Логистики», для предоставления информации, касающейся перечня и количества всех модулей, которые были использованы в процессе сборки электропроводок на протяжении предыдущего месяца. В таб. 2. представлен список модулей и их количество, которые были использованы в процессе сборки электропроводок типа Drive I01 LL и Drive I01 RL на протяжении января 2020 года.

Таблица. 2. Перечень модулей с их количеством и частотой появления, использованных в производстве в январе 2020.

BMW Drive I01 LL			BMW Drive I01 RL		
FP-NR	Количество, (шт.)	Частота появления, (%)	FP-NR	Количество, (шт.)	Частота появления, (%)
BJ1J600676	1885	100%	BJ1J800676	359	100%
BJ1J601676	0	0%	BJ1J801676	0	0%
BJ1J602676	65	3%	BJ1J802676	19	5%
BJ1J605676	0	0%	BJ1J805676	12	3%
BJ1J607676	0	0%	BJ1J807676	2	1%
BJ1J608676	0	0%	BJ1J808676	0	0%
BJ1J609676	0	0%	BJ1J809676	0	0%
BJ1J610676	0	0%	BJ1J810676	0	0%
BJ1J619676	0	0%	BJ1J819676	0	0%
BJ1J620676	0	0%	BJ1J820676	0	0%
BJ1J622676	1755	93%	BJ1J821676	14	4%
BJ1J627676	1283	68%	BJ1J822676	345	96%
BJ1J628676	0	0%	BJ1J827676	96	27%
BJ1J630676	585	31%	BJ1J828676	0	0%
BJ1J631676	602	32%	BJ1J830676	248	69%
BJ1J632676	1755	93%	BJ1J831676	263	73%
BJ1J636676	1283	68%	BJ1J832676	345	96%
BJ1J637676	602	32%	BJ1J836676	96	27%
BJ1J638676	1885	100%	BJ1J837676	263	73%
BJ1J639676	65	3%	BJ1J838676	345	96%
BJ1J640676	1820	97%	BJ1J839676	7	2%
BJ1J641676	0	0%	BJ1J840676	338	94%
BJ1J642676	1885	100%	BJ1J841676	0	0%
BJ1J643676	1820	97%	BJ1J842676	359	100%
BJ1J644676	0	0%	BJ1J843676	340	95%
BJ1J645676	0	0%	BJ1J844676	0	0%
BJ1J646676	65	3%	BJ1J845676	0	0%
BJ1J647676	1820	97%	BJ1J846676	7	2%
BJ1J648676	0	0%	BJ1J847676	338	94%
BJ1J649676	0	0%	BJ1J848676	12	3%
BJ1J650676	253	13%	BJ1J849676	2	1%
BJ1J651676	1632	87%	BJ1J850676	14	4%
BJ1J652676	1885	100%	BJ1J851676	345	96%
BJ1J653676	0	0%	BJ1J852676	345	96%
BJ1J654676	0	0%	BJ1J853676	0	0%
BJ1J656676	130	7%	BJ1J854676	14	4%
BJ1J657676	1755	93%			
Всего:	**24830**		**Всего:**	**4528**	

Модуль – представляет собой совокупность проводов (либо это может быть все лишь один провод), обработанных и отдельно упакованных в соответствии с определенной регламентированной последовательностью работы. Модуль является составной частью будущей готовой электропроводки. Каждый модуль выполняет определенную функцию в конструкции автомобиля. Каждому модулю назначается определенный FP-NR.

FP-NR (нем. Fertigprodukt Nummer) – требуется для идентификации модуля среди множества модулей, которые могут быть частью будущей готовой электропроводки. FP-NR – представляет собой буквенно-цифровой код из десяти символов. Модули производятся и упаковываются в секторе *MM (нем. die Modulemontage)*. Финальная сборка всех необходимых модулей согласно производственному контракту заказа в состав электропроводки производится в секторе *KSK (нем. der kundenspezifischer Kabelbaum)*.

Модуль BJ1J600676 – это модуль BAS LL. Частота его появления составляет 100% в любой проводке BMW Drive I01 LL. Без него невозможно произвести электропроводку, потому что этот модуль является основой сборочного процесса. Модуль BJ1J800676 – это BAS RL. Его частота появления равна 100% в любой проводке BMW Drive I01 RL.

Так как леворульная и праворульная типы электропроводки производятся в рамках одной сборочной линии, то появляется необходимость узнать величину соотношения частоты появления между электропроводкой типа LL и RL. Подсчитываю сумму количества BAS LL и BAS RL, а затем разделяю количество каждого BAS на первоначально полученную сумму.

В январе 2020 года BAS LL - BJ1J600676 был использован в количестве 1885 штук, а BAS RL - BJ1J800676 был использован в количестве 359 штук (таб. 2). Подсчитываю сумму этих модулей:

$Q_{BAS\ Drive\ I01} = Q_{BAS\ LL} + Q_{BAS\ RL} = 1885 + 359 = 2244$ шт. (1.1)

Вычисляю соотношение между электропроводками типа LL и RL в процентах:

$BAS_{Drive\ I01\ LL} = (Q_{BAS\ LL}/Q_{BAS\ Drive\ I01}) \times 100\% = (1885/2244) \times 100\% \approx 84\ \%$ (1.2)

$BAS_{Drive\ I01\ RL} = (Q_{BAS\ RL}/Q_{BAS\ Drive\ I01}) \times 100\% = (359/2244) \times 100\% \approx 16\ \%$ (1.3)

Процентное соотношение между электропроводкой типа Drive I01 LL и Drive I01 RL показаны на рис. 11.

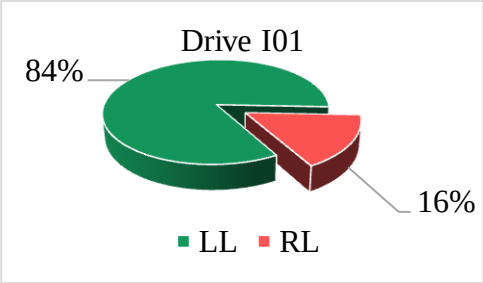


Рис. 11. Соотношение между электропроводкой Drive I01 LL и Drive I01 RL в январе 2020.

Частота появления (анг. Take rate) модуля вычисляется как отношение количества этого модуля, использованного в производстве электропроводки за определенный период времени (например, один месяц), к количеству соответствующего модуля типа BAS, использованного в тот же период производства.

Пример: необходимо узнать частоту появления модуля BJ1J602676. Прежде всего, данный модуль относится к производству электропроводки типа Drive I01 LL. В январе 2020 года данный модуль был использован в производстве в количестве 65 штук (таб. 2), а BJ1J600676 (BAS LL) был использован в количестве 1885 штук (таб. 2). Таким образом, частота появления требуемого модуля в процентном значении вычисляется следующим образом:

$\text{Take rate}_{BJ1J602676} = (Q_{BJ1J602676} / Q_{BAS\ LL}) \times 100\% = (65/1885) \times 100\% \approx 3\%$ (1.4)

В соответствии с приведенным выше примером выполняется расчет частоты появления для всех модулей, которые были использованы в производстве в январе 2020 года. Результаты расчета приведены в таб. 2.

Каждую готовую электропроводку отличает индивидуальный состав модулей, входящих в конструкцию электропроводки. Чем больше количество модулей, тем больше времени на монтаж электропроводки. Чтобы правильно спланировать объемы производства, не стоит рассматривать только сборку электропроводки с максимально длительным временем изготовления, также не нужно рассматривать исключительно сборку электропроводки с минимальными временем изготовления. Необходимо знать время, затрачиваемое на сборку так называемой средней электропроводки. Именно

поэтому появляется потребность в своевременной актуализации частоты появления всех модулей, которые используются в производстве.

Средняя электропроводка – это проводка, время изготовления которой, рассчитывается учитывая показатели частоты появления всех возможных модулей, которые могут войти в её состав.

Следующий шаг включает использование макроса «V1.3_Calculation tool MM ZB». С помощью этого макроса рассчитывается время изготовления электропроводки. В макрос «V1.3_Calculation tool MM ZB» вводится актуальная STL для соответствующего продукта Drive I01. *STL (нем. die Stückliste)* – представляет собой название технической документации, в которой указываются все необходимые материалы, процессы, а также время, отведенное на выполнение всех операций, согласно регламентированной последовательности работы при производстве электропроводки. Техническая документация имеет вид файла с расширением *.xlsx. В макрос также вводятся FP-NR всех модулей с их актуальными частотами появления, которые входят в состав электропроводки Drive I01 определенного типа (LL или RL). Результаты расчета средней электропроводки Drive I01 LL и Drive I01 RL показаны на рис. 12 и рис. 13.

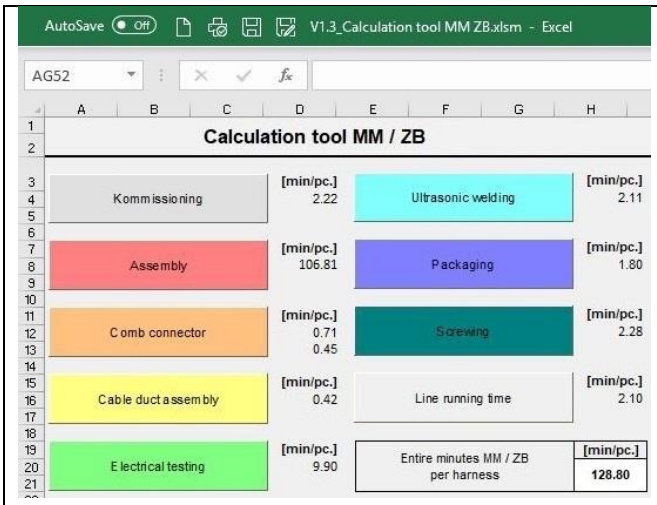


Рис. 12. Макрос «V1.3_Calculation tool MM ZB». Расчет средней электропроводки Drive I01 LL.

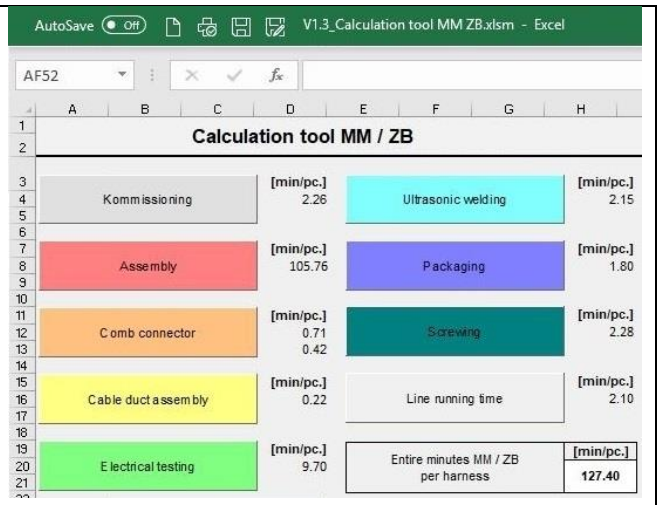


Рис. 13. Макрос «V1.3_Calculation tool MM ZB». Расчет средней электропроводки Drive I01 RL.

Макрос «V1.3_Calculation tool MM ZB» выполняет вычисление на основе значений времён из STL, в которой указывается время для каждой операции, необходимой для создания электропроводки. При этом макрос учитывает частоту появления каждой операции. Общее время представляет собой сумму времени, затраченного на все процессы, которые в обязательном порядке необходимы для сборки качественной и функционирующей электропроводки.

Макрос отображает значения времени, распределенных следующим образом:

1. *Kommissionnig* – это процесс в котором работник на складе собирает в ящик все модули, необходимые для определенной электропроводки, согласно индивидуальному контракту сборки;
2. *Assembly* – это процесс, который включает в себя все операции, которые необходимо выполнить в сборочной линии для изготовления исправной электропроводки;
3. *Comb connector* – это процесс, связанный с аппаратом Kammverbinderpresse. Этот процесс является специфическим для производства электропроводки автомобилей марки BMW. Коннекторы проводов соединяются при помощи металлической пластины.

Затем на пластину с двух сторон наносится по одному слою мастики. После размещения пластины в пластиковый корпус происходит прессование;

4. *Cably duct assembly* – это процесс монтажа пластиковых составляющих к уже обмотанной изолентой электропроводке. Основная функция пластиковых составляющих – это дополнительная защита определенных участков электропроводки;

5. *Electrical testing* – это процесс, связанный с проверкой исправности на электрической станции той электропроводки, которая была произведена в сборочной линии. Выполняется проверка всех узлов электропроводки, тестируется способность прохождения электрического тока определенного номинала через соответствующие узлы электропроводки;

6. *Ultrasonic welding (нем. der U-Schall)* – это процесс сварки проводов разного сечения, который выполняется для получения прочного соединения. Для данного вида сварки источником энергии служат ультразвуковые колебания;

7. *Packing* – это процесс финальной упаковки электропроводки, которая была произведена в сборочной линии и успешно прошла электрическую проверку;

8. *Screwing* – это процесс завинчивания, который выполняется, когда электропроводка уже была произведена на конвейере и успешно прошла электрические испытания. Процесс заключается в прикручивании к готовой проводке определенных дополнительно необходимых компонентов;

9. *Line running time* – время вращения сборочной линии.

Из вышеперечисленных процессов в сборочной линии выполняются процессы, обозначенные номерами 2, 3, 4, 6, 9. Вычисляю общее время, необходимое для изготовления средней электропроводки Drive I01 LL, используя данные из рис. 12.

GMM – представляет собой время, необходимое (*нем. gesamt Minutenmontage*) для производства средней электропроводки в сборочной линии, единица измерения – мин.

$$GMM_{\text{Drive I01 LL}} = t_{\text{Assembly}} + t_{\text{Comb connector}} + t_{\text{Cably duct assembly}} + t_{\text{U–Schall}} + t_{\text{Line running time}} =$$
$$= 106{,}81 + 0{,}71 + 0{,}45 + 0{,}42 + 2{,}11 + 2{,}10 = 112{,}6 \text{ мин.} \qquad (1.5)$$

GMfPS – представляет собой время, необходимое *(нем. gesamt Minuten für die Prüfungstation)* для электрических испытаний средней электропроводки на станции электрического тестирования, единица измерения – мин.

Для электрической проверки ($GMfPS_{\text{Drive I01 LL}}$) средней электропроводки типа Drive I01 LL рассматривается только процесс электрического испытания, равного 9,90 мин.

Аналогично тому, как выполнялся расчет для изготовления средней электропроводки Drive I01 LL, выполняется расчет для средней электропроводки Drive I01 RL, используются данные из рис. 13:

$$GMM_{\text{Drive I01 RL}} = t_{\text{Assembly}} + t_{\text{Comb connector}} + t_{\text{Cably duct assembly}} + t_{\text{U–Schall}} + t_{\text{Line running time}} =$$
$$= 105{,}76 + 0{,}71 + 0{,}42 + 0{,}22 + 2{,}15 + 2{,}10 = 111{,}36 \text{ мин.} \qquad (1.6)$$

Для электрической проверки ($GMfPS_{\text{Drive I01 RL}}$) средней электропроводки Drive I01 RL рассматривается только процесс электрического испытания, равного 9,70 мин.

В итоге получаю значения времени для производства обоих видов продукции. Поскольку оба изделия производятся в одной конвейерной линии, в расчетах я не вправе ориентироваться только на время изготовления электропроводки Drive I01 LL, или только на время изготовления электропроводки типа Drive I01 RL. Таким образом, необходимо рассчитать время, необходимое для изготовления и электрического тестирования средней электропроводки - DRIVE I01. Средняя электропроводка DRIVE I01 представляет собой проводку, которая включает время изготовления средней электропроводки Drive I01 LL и Drive I01 RL в соответствии с их частотой появления.

В таб. 3 представлены все заранее вычисленные значения, необходимые для расчета времени изготовления и электрического тестирования средней электропроводки - DRIVE I01.

Таблица. 3. Значения необходимые для расчета времени изготовления и электрического тестирования средней электропроводки DRIVE I01.

Тип электропроводки	**Drive I01 LL**	**Drive I01 RL**
Частота появления, %	84	16
GMM, мин.	112,6	111,36
GMfPS, мин.	9,90	9,70

Расчет времени производства средней электропроводки DRIVE I01:

$$GMM_{DRIVE\ I01} = GMM_{Drive\ I01\ LL} \times BAS_{Drive\ I01\ LL} + GMM_{Drive\ I01\ RL} \times BAS_{Drive\ I01\ RL} =$$
$$= 112{,}6 \times 84\% + 111{,}36 \times 16\% \approx 112{,}4 \text{ мин.} \quad (1.7)$$

Расчет времени электрического тестирования средней электропроводки DRIVE I01:

$$GMfPS_{DRIVE\ I01} = GMfPS_{Drive\ I01\ LL} \times BAS_{Drive\ I01\ LL} + GMfPS_{Drive\ I01\ RL} \times BAS_{Drive\ I01\ RL} =$$
$$= 9{,}90 \times 84\% + 9{,}70 \times 16\% \approx 9{,}87 \text{ мин.} \quad (1.8)$$

5. Расчет рабочей нормы

На предприятии ООО „DRA DRAEXLMAIER – AUTOMOTIVE” рабочий режим организован посменно. Одна рабочая смена включает 8 часов присутствия. Расчет времени присутствия рабочего:

$$t_{Присутствия} = 8 \text{ часов} \times 60 \text{ мин.} = 480 \text{ мин.} \quad (1.9)$$

В течение смены у рабочего есть три регламентированных перерыва:

- $t_{Начало\ смены}$ – перерыв для отдыха в начале смены продолжительностью 5 мин.;
- $t_{Обед}$ – обеденный перерыв продолжительностью 20 мин.;
- $t_{Конец\ смены}$ – перерыв для отдыха в конце смены продолжительностью 5 мин.

Расчет времени работы рабочего:

$$t_{Работы} = t_{Присутствия} - (t_{Начало\ смены} + t_{Обед} + t_{Конец\ смены}) =$$
$$= 480 - (5 + 20 + 5) = 450 \text{ мин.} \quad (1.10)$$

6. Расчет количества промышленно-производственного персонала

Для конвейерной линии и электрической станции для производства электропроводки DRIVE I01 целевой показатель эффективности (W) равен 95%. Эта цель устанавливается руководством отдела «Технического планирования». Рабочий день организован в двухсменном режиме. Количество заказов необходимое для дневного производства составляет 115 штук электропроводок.

6.1. Расчет количества промышленно-производственного персонала сборочной линии DRIVE I01

Расчет количества проводки, которую должна произвести одна смена:

$$Q_{шт./смена} = Q_{шт./день} / Q_{смен} = 115 / 2 = 57{,}5 \approx 58 \text{ шт.} \quad (1.11)$$

Расчет рабочего времени на изготовление 58 штук электропроводки:

$$t_{Работы/смена\ в\ линии} = Q_{шт./смена} \times GMM_{DRIVE\ I01} = 58 \times 112{,}4 = 6519{,}2 \text{ мин.} \quad (1.12)$$

Расчет численности персонала в конвейерной линии для производства 58 штук электропроводки с эффективностью 95%:

$Q_{Персонал\ линии} = t_{Работы/смена\ в\ линии} / (t_{Работы} \times W) = 6519{,}2 / (450 \times 95\%) \approx 15{,}25$ рабочих (1.13)

Следовательно, для производства 58 электропроводок DRIVE I01 в одну смену требуется 15,25 рабочих в сборочной линии. Физически размещение 15,25 рабочих в конвейере невозможно. Задача имеет два решения:

Вариант №1

Расчёт эффективности в случае размещения 16 человек в конвейерной линии:

$$W_{Линия} = \{t_{Работы/смена\ в\ линии} / (t_{Работы} \times Q_{Персонал\ линии})\} \times 100\% =$$
$$= \{6519{,}2/(450 \times 16)\} \times 100\% \approx 90{,}5\% \quad (1.14)$$

Вариант №2

Расчет эффективности в случае размещения 15 человек в конвейерной линии:

$$W_{Линия} = \{t_{Работы/смена\ в\ линии} / (t_{Работы} \times Q_{Персонал\ линии})\} \times 100\% =$$
$$= \{6519{,}2/(450 \times 15)\} \times 100\% \approx 96{,}6\% \quad (3.15)$$

Таким образом, при размещении 16 человек эффективность вырастет максимум до 90,5% при цели 95%, следует, что вариант №1 не эффективен. При размещении 15 человек эффективность увеличится максимум до 96,6%, поэтому вариант №2 – эффективный.

6.2. Расчет количества промышленно-производственного персонала для станции электрической проверки DRIVE I01

Расчет рабочего времени на электрическую поверку 58 штук электропроводки:

$t_{Работы/смена\ на\ станции} = Q_{шт./смена} \times GMfPS_{DRIVE\ I01} = 58 \times 9{,}87 = 572{,}46$ мин. (1.17)

Расчет численности персонала для электрической станции для проверки 58 электропроводки с эффективностью 95%:

$Q_{Персонал\ станции} = t_{Работы/смена\ на\ станции} / (t_{Работы} \times W) = 572{,}46 / (450 \times 95\%) \approx 1{,}34$ рабочих (1.18)

Следовательно, для проверки 58 электропроводок DRIVE I01 за одну смену требуется 1,34 рабочих на станции электрического тестирования. Физически размещение 1,34 рабочих невозможно. Задача имеет два решения:

Вариант №1

Расчет эффективности в случае размещения 2-ух человек на станции:

$$W_{Станция} = \{t_{Работы/смена\ на\ станции} / (t_{Работы} \times Q_{Персонал\ станции})\} \times 100\% =$$
$$= \{572{,}46 / (450 \times 2)\} \times 100\% \approx 63{,}6\% \quad (1.19)$$

Вариант №2

Расчет эффективности в случае размещения одного человека на станции:

$$W_{Станция} = \{t_{Работы/смена\ на\ станции} / (t_{Работы} \times Q_{Персонал\ станции})\} \times 100\% =$$
$$= \{572{,}46 / (450 \times 1)\} \times 100\% \approx 127{,}21\% \quad (1.20)$$

Таким образом, при размещении двух человек эффективность вырастет максимум до 63,6% при цели 95%, следует, что вариант №1 не эффективен. При размещении одного человека эффективность увеличится максимум до 127,21%, поэтому вариант №2 – эффективный.

6.3. Расчет количества промышленно-производственного персонала для группы DRIVE I01

На предприятии ООО „DRA DRAEXLMAIER – AUTOMOTIVE" производственный персонал разделен на группы. Группа DRIVE I01 состоит из рабочих, которые собирают электропроводку на сборочном конвейере, и тех, кто проверяет электропроводку на электрической станции.

Расчет общей численности промышленно-производственного персонала группы DRIVE I01:

$Q_{Персонал\ группы\ DRIVE\ I01} = Q_{Персонал\ линии} + Q_{Персонал\ станции} = 15 + 1 = 16$ рабочих (1.21)

Расчет эффективности для группы DRIVE I01:

$W_{Группа\ DRIVE\ I01} = \{(Q_{Персонал\ линии} \times W_{линия} + Q_{Персонал\ станции} \times W_{Станция}) / (Q_{Персонал\ линии} + Q_{Персонал\ станции})\} \times 100\% =$

$= \{(15 \times 96{,}6\% + 1 \times 127{,}21\%) / (15 + 1)\} \times 100\% \approx 98{,}5\%$ (1.22)

В то время как каждая смена будет производить 58 штук электропроводки, эффективность групп достигнет 98,5%, которая выше целевого показателя 95%.

7. Преимущество рационального планирования

До момента снижения дневного количества заказов до 115 штук, количество человек в двух сменах (группах) остается как для дневного количества заказов на 145 штук. Цель эффективности составляет также 95%. В каждой смене по 19 человек в конвейерной линии и по 2 человека на электрической станции. Такое количество персонала неэффективно при производстве количества заказов менее 145 электропроводок в день. Если численность персонала остается постоянной (21 человек в каждой группе), а количество заказов варьируется, значение эффективности групп не будет равно цели в 95%.

Расчет эффективности в случае размещения 19 человек в конвейерной линии для производства 58 электропроводок:

$W_{Линия} = \{t_{Работы/смена\ в\ линии} / (t_{Работы} \times Q_{Персонал\ линии})\} \times 100\% =$

$= \{6519{,}2 / (450 \times 19)\} \times 100\% \approx 76{,}25\%$ (1.23)

Расчет эффективности в случае размещения 2-ух человек на станции:

$W_{Станция} = \{t_{Работы/смена\ на\ станции} / (t_{Работы} \times Q_{Персонал\ станции})\} \times 100\% =$

$= \{572{,}46 / (450 \times 2)\} \times 100\% \approx 63{,}6\%$ (1.24)

Расчет общей численности промышленно-производственного персонала группы DRIVE I01:

$Q_{Персонал\ группы\ DRIVE\ I01} = Q_{Персонал\ линии} + Q_{Персонал\ станции} = 19 + 2 = 21$ рабочих (1.25)

Расчет эффективности для группы DRIVE I01:

$W_{Группа\ DRIVE\ I01} = \{(Q_{Персонал\ линии} \times W_{Линия} + Q_{Персонал\ станции} \times W_{Станция}) / (Q_{Персонал\ линии} + Q_{Персонал\ станции})\} \times 100\% =$

$= \{(19 \times 76{,}25\% + 2 \times 63{,}6\%) / (19 + 2)\} \times 100\% \approx 75\%$ (1.26)

Присутствие дополнительных людей в группе DRIVE I01 никак не позволит достичь запланированную эффективность - 95%. Разница 95% - 75% = 20%. Если цель не достигается, значит, работники не выполняют запланированную норму, что напрямую влияет на выплату заработной платы.

Заключение

✓ Планирование производственного процесса должно быть тщательно продуманным, чтобы использовать минимально необходимые ресурсы и получить максимальные результаты высокого качества.

✓ Нацеленность на сохранение эффективности описанная в контексте данной статьи – это рациональный метод адаптации производственного процесса с учетом внешнего фактора - изменения количества ежедневных заказов.

✓ Изменение численности промышленно-производственного персонала – важнейшая, сложная и эффективная мера для поддержания запланированной эффективности труда.

✓ Учет необходимости изменения численности промышленно-производственного персонала приведет к увеличению эффективности труда до 96,6%;

✓ Игнорирование изменения численности промышленно-производственного персонала приведет к снижению производительности труда до 75%.

Библиография

1. СТЕПАНОВ, И., Г. *Организация производства: Учебное пособие.* Новокузнецк: Издательство НФИ КемГУ, 2003. 93 с. ISBN 5-8353-0237-1
2. КАРПЕЙ, Т., В. *Экономика, организация и планирование промышленного производства: Учебное пособие для учащихся ССУЗов. Издание 4-е испр. и доп.* Минск: Издательство «Дизайн ПРО», 2004. 328 с. ISBN 985-452-097-8
3. *Эффективность производства, ее сущность, экономические и социальные показатели* [on-line] [прочитан 20.03.2021]. Доступен: https://pidru4niki.com/15660212/politekonomiya/effektivnost_proizvodstva_suschnost_ekonomicheskie_sotsialnye_pokazateli
4. ЯРКИНА, Т., В. *Основы экономики предприятия (Учебное пособие).* [on-line] [прочитан 25.03.2021]. Доступен: http://www.aup.ru/books/m64/2_1.htm
5. *DRÄXLMAIER Group - Strong solutions with character for premium vehicles* [on-line] [прочитан 30.03.2021]. Доступен: https://www.draexlmaier.com/en/
6. *#1818 Fritz Draexlmaier.* [on-line] [прочитан 30.03.2021]. Доступен: https://www.forbes.com/profile/fritz-draexlmaier/?sh=410e99626b70
7. *DRÄXLMAIER worldwide.* [on-line] [прочитан 30.03.2021]. Доступен: https://www.draexlmaier.com/en/company/draexlmaier-worldwide
8. *Dräxlmaier Group* [on-line] [прочитан 01.04.2021]. Доступен: https://en.wikipedia.org/wiki/Dr%C3%A4xlmaier_Group
9. *ICS Draexlmaier Automotive SRL. Utilaje şi produse electrice. Cabluri electrice şi fire. Instalaţii electrice auto* [on-line] [прочитан 03.04.2021]. Доступен: http://zelb.md/Membri/ics-draexlmaier-automotive-srl/
10. *Compania germană Dräxlmaier își lărgește activitatea în Moldova, creând peste 1 500 locuri noi de muncă* [on-line] [прочитан 04.04.2021]. Доступен: https://mei.gov.md/ro/content/compania-germana-draxlmaier-isi-largeste-activitatea-moldova-creand-peste-1-500-locuri-noi#slideshow-1
11. *Первый раз: BMW i3.* [on-line] [прочитан 04.04.2021]. Доступен: https://topgearrussia.ru/reviews/14261_pervyiy_raz_bmw_i3
12. *BMW изменила свои логотипы* [on-line] [прочитан 05.04.2021]. Доступен: https://news.drom.ru/BMW-74635.html
13. *Main wiring harness dupl. Drive Module* [on-line] [прочитан 06.04.2021]. Доступен: http://bmwfans.info/parts-catalog/I01/Europe/i3-IB1/L-A/feb2014/browse/vehicle_electrical_system/main_wiring_harness_dupl_drive_module/

УДК 621.791

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ МЕТОДАМИ ЕІЛ

Плужніков Д.О., студент групи МС-51-20, ХНАДУ

Анотація. *Робота присвячена дослідженню впливу електроімпульсної обробки конструкційної сталі на структуру, елементний і фазовий состав, механічні й триботехнічні властивості модифікованого поверхневого шару, а також розробці й оптимізації технологічних режимів ЕІЛ, що забезпечують підвищену зносостійкість оброблюваних деталей.*
Ключові слова: *сталь, електроімпульсна обробка, зносостійкість, легування.*

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭИЛ

Плужников Д.А., студент групы МС-51-20, ХНАДУ

Аннотация. *Работа посвящена исследованию влияния электроимпульсной обработки конструкционной стали на структуру, элементный и фазовый состав, механические и триботехнические свойства модифицированного поверхностного слоя, а также разработке и оптимизации технологических режимов ЭИЛ, обеспечивающих повышенную износостойкость обрабатываемых деталей.*
Ключевые слова: *сталь, электроимпульсная обработка, износостойкость, легирование.*

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF SURFACE PARTS OF FRICTION UNITS BY EIL METHODS

Pluzhnikov D.A., student of group MC-51-20, KhNAHU

Abstrac. *The work is assigned to the preliminarily injection of electrical and pulsed processing of structural steel onto the structure, element and phase composition, mechanical tribotechnical power of the modified surface ball, as well as the development of optimized operation of the technological.*
Keywords: *steel, electrical pulse processing, wear resistance, alloying.*

Вступ

Розвиток сучасного машинобудування пов'язане із застосуванням нових прогресивних технологічних процесів, що дозволяють підвищити ресурс і надійність, забезпечити працездатність деталей і інструментів у жорстких умовах експлуатації, дії динамічних і статичних контактних, силових і теплових навантажень. У свою чергу, надійність і ресурс сучасної техніки в значній мірі залежать від працездатності й терміну служби вузлів тертя (трибосистем), обумовлених експлуатаційними властивостями матеріалів з яких вони виготовлені й, головним чином, їх зносостійкістю. У зв'язку із цим методи поверхневого зміцнення матеріалів трибосистем здобувають усе більшу актуальність і значимість.

Перспективними методами поверхневого зміцнення й модифікування є методи, засновані на обробці матеріалів концентрованими потоками енергії й речовини (КПЕ). Про унікальний вплив зазначеного впливу на формування структури, мікроструктури, властивостей поверхні, а також згодом на процеси тертя й зношування металів вказується

в роботах К.К. Намитокова, Г.В. Самсонова, А.В. Білого, Н.Н. Рикаліна, А.А. Углова, Ю.А. Биковского, Г.І. Бровера, Ю.К. Машкова, Б.Т. Грязнова і ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із найважливіших засобів підвищення якості надійності виробів, що несуть значні теплові та механічні навантаження, є неруйнівний контроль. Неруйнівний контроль успішно застосовується у виробництві на різних етапах технологічного процесу, а також під час експлуатації готового виробу для оцінки його подальшого ресурсу [1].

Експериментальні методи дослідження напруженого деформованого стану матеріалів є одними з основних при оцінці рівня в деталях і конструкціях як у пружній, так і в пружно-пластичній області деформування.

Поверхневий шар деталей, несучих контактні циклічні навантаження (термічні і механічні), знаходиться в напруженому стані всебічного нерівномірного стиснення, інтенсивність якого періодично змінюється. Крім того, на напружений стан, створений зовнішніми силами, накладаються внутрішні термічні та структурні напруження. При наплавленні легованими сталями до зовнішніх і вищевказаних внутрішніх напружень додатково накладаються залишкові напруження, викликані термічним циклом зварювання і внутрішні напруження, обумовлені розходженням фізичних і механічних властивостей покриття та основи. Поверхневий шар в процесі експлуатації може зазнавати значних пластичних деформацій. Внаслідок цього в більшості випадків руйнування починається з поверхневого шару і, отже, міцність і зносостійкість деталей, несучих контактні навантаження, визначається переважно якістю поверхневого шару [2].

Особливо погіршують якість поверхневого шару різного роду дефекти (неоднорідності, структурні неоднорідності тощо). Вони знижують міцність, зносостійкість і експлуатаційну надійність деталей та інструменту.

Оскільки в процесі динамічного контактного навантаження поверхневі шари металу безпосередньо сприймають основне навантаження, необхідною умовою підвищення контактної міцності і довговічності матеріалу є спрямований вибір їх системи легування і хімічного складу. У зв'язку з цим виникає необхідність у застосуванні різних методів випробування (фізичних, механічних) для співставлення експлуатаційних характеристик, отриманих як при найпростіших навантаженнях (розтяг, стиск, кручення), так і в умовах складного напруженого стану при нормальних і високих температурах. Результати цих випробувань є основною інформацією про матеріалі при розрахунку в умовах дії будь-якої складної системи напружень. При цьому закономірності деформування та руйнування твердих тіл вивчаються, як правило, на основі усереднених характеристик механічних властивостей матеріалу. Експериментальні дослідження при складному напруженому стані, особливо в умовах високих температур, пов'язані з великими труднощами при постановці експерименту.

У багатьох випадках бажано отримання досліджуваних характеристик матеріалу з мінімальною кількістю зразків, підданих перевірочним руйнівним випробувань. Особливо ця проблема актуальна при дослідженні напруженого стану в зразках і деталях, відновлених наплавленням.

В даний час розробка нових методів дослідження напруженого деформованого стану матеріалів, розширення можливостей існуючих методів неруйнівного контролю набуває все більшого значення. Особливо важливим є розширення використання фізичних методів неруйнівного контролю, заснованих на вивченні внутрішніх процесів, що відбуваються в деформованому матеріалі.

Формулювання мети дослідження

Встановлення закономірностей формування зносостійких покриттів на сталі методом електроімпульсної обробки, що забезпечують підвищення зносостійкості сталевих деталей вузлів тертя машин..

Викладення основного матеріалу дослідження

У якості об'єкта експериментальних досліджень використовували конструкційну леговану сталь 15ХГН2ТА, яка широко застосовується для виготовлення шестірень, осей, втулок, валів коробок передач автомобілів, багатоцільових гусеничних і колісних машин і інших видів техніки.

Обробка зразків здійснювалася на установках для електроімпульсної обробки моделей ИМЕИ-02-2-IMES на технологічних режимах, що забезпечують: анодно-катодна напруга U = 40-160 В; розрядна ємність конденсаторів С = 34-240 мкФ.

Поверхні сталевих зразків обробляли різними легуючими електродами (ЛЕ): стандартним електродом марки Т15К6 (TiC-15%, Co-6%, WC- 79%); електродом ИМХ21 (Wc-Co-50%, Ni-Cr-B-Si-50%); електродом Ш2 (TiC-60%, Ni-Cr-Al-40%, шеєлитовий концентрат CaWO4).

Методика дослідження включала вивчення впливу матеріалу легуючого електрода й технологічних режимів обробки на мікротвердість і товщину покриттів, формованих при електроімпульсній обробці. Мікротвердість формованих поверхневих шарів визначалася за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3М при навантаженні на індентор 0,49 Н. Товщина покриттів визначалася на горизонтальному оптиметрі ИКГ-3 відносним методом виміру.

Процес утворення концентрованого потоку електронів при електричному розряді і його взаємодії зі сталевою основою можна представити у вигляді структурної схеми термодинамічних процесів у системі «легуючий електрод (анод) - оброблювана деталь (катод)» (Рис. 1).Лабораторні випробування проводили на машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою “диск-колодка”. Режими тертя: швидкість обертання диска *U*=0,5 м/с; навантаження – *N*=25; 50 Н. Матеріал контртіла сталь 40Х термооброблена, HRC 47-49.

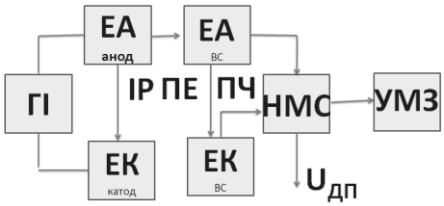


Рисунок 1 - Структурна схема термодинамічних процесів при ЕІО: ГІ - генератор імпульсів; ЕА - анод у вихідному стані; ЕК - катод у вихідному стані; ІР - іскровий розряд; ПЕ - потік електронів; ПЧ - потік часток; ЕАВС - анод у збудженому стані; ЕКВС - катод у збудженому стані; НМС - нестійка модифікована структура; УМЗ - стійка модифікована структура

При зближенні легуючого електрода з поверхнею оброблюваної деталі напруженість електричного поля зростає, між ними виникає іскровий електричний розряд (ІР). Потік електронів (ПЕ) спрямовується до поверхні катода (ЕК). Кінетична енергія загальмованих електронів акумулюється в поверхневих шарах анода, переводячи його в збуджений стан (ЕАВС). Щільність потоку зростає, перевершуючи критичне значення, при якому метал анода плавиться, з нього виділяється потік дрібних часток (ПЧ), що направляється до поверхні катода. Частки нагріваються, закипають, «вибухають», і, досягаючи поверхні катода, утворюють сильні адгезійні зв'язки й частково дифундують на незначну глибину, модифікуючи тонкий поверхневий шар. Слідом за частками рухається

анод і через частки, пов'язані з поверхнею катода, проходить другий імпульс струму, що супроводжується механічним ударом прискореної маси анода. При механічному контакті електродів у зоні взаємодії розбудовуються дифузійні процеси переносу мікрочастинок на катод, хімічні реакції між частками електрода-анода й структурними елементами матеріалу катода й формування нестійкої модифікованої структури (НМЗ). У такому режимі роботи системи «анод - катод» на поверхні катода внаслідок дисипативних процесів формується тонкий шар покриття стійкої модифікованої структури (УМЗ).

Вплив матеріалів електродів і енергетичних режимів обробки на властивості покриттів показали наступне. З діаграм (Рис. 2) видно, що з підвищенням енергетичних режимів ЕІЛ: напруги від 80 В до 160 В и ємності від 34 мкФ до 240 мкФ товщина покриттів збільшується при будь-якому матеріалі ЛЕ. При цьому, при обробці електродом Т15К6 товщина покриття збільшується на 48,6 %, при обробці електродом ИМХ2 - на 75 %, при обробці електродом Ш2 - на 83,3 %.

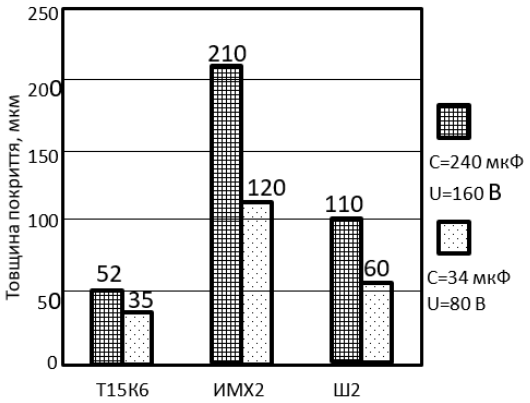
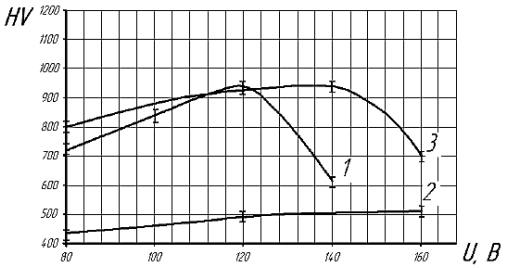


Рисунок 2 - Товщина покриттів зразків зі сталі 15ХГН2ТА при різних матеріалах електродів

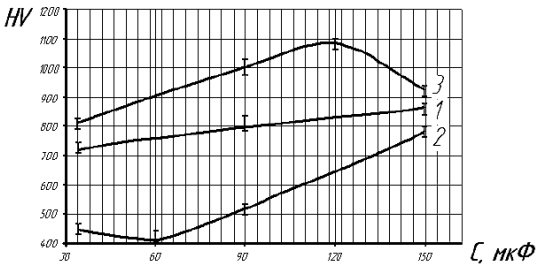
Аналіз експериментальних залежностей мікротвердості покриттів на зразках зі сталі 15ХГН2ТА, від анодно-катодної напруги й розрядної ємності конденсаторів, показав, що підвищення енергетичних режимів обробки по-різному впливає на характер зміни мікротвердості покриттів при зміні матеріалу легуючого електрода (Рис. 3, 4).



1 - Т15К6; 2 - Ш2; 3 - ИМХ2

Рисунок 3 - Залежність мікротвердості поверхневих шарів зразків, модифікованих ЕІЛ різними електродами, від анодно-катодної напруги

при С = 34 мкФ:



1 - Т15К6; 2 - Ш2; 3 - ИМХ2

Рисунок 4 - Залежність мікротвердості поверхневих шарів зразків, модифікованих ЕІЛ різними електродами, від розрядної ємності при U= 80 В

Наведені результати показують, що елементний склад вихідної поверхні зразка зі сталі 15ХГН2ТА відрізняється від склада покриттів і поверхневих шарів зразків, модифікованих ЕІЛ різними електродами. У модифікованих зразках не встановлена наявність ряду елементів стали 15ХГН2ТА: хрому, марганцю й нікелю при обробці електродом Т15К6, хрому й марганцю при обробці електродом Ш2, марганцю й титану при обробці електродом ИМХ2.

Виконане дослідження дозволило також визначити характерний розмір структурних елементів (D), висотні параметри шорсткості поверхні: середнє арифметичне відхилення профілю (Ra), глибину найбільшої западини (R_V) і висоту найбільшого виступу (R_P) профілю поверхонь зразків (табл. 1).

Аналіз отриманих значень параметрів шорсткості досліджуваних поверхонь показує, що параметри: Ra, R_P і змінюються залежно від матеріалу електрода. Параметри збільшуються в наступному порядку: вихідний стан поверхні обробка електродом Т15К6 обробка електродом Ш2 обробка електродом ИМХ2 (табл. 1). При цьому, параметр Ra збільшується в 1,5-3, 9 рази. Найбільше збільшення параметра шорсткості Ra до 6,3 і параметра R_P до 538,3 нм спостерігається при обробці електродом ИМХ2. Це може бути пов'язане з більш високим рівнем енергетичного впливу при електроіскровій обробці даним електродом.

Таблиця 1 - Параметри поверхні вихідного й модифікованих зразків

Зразок / Параметр	Характерний розмір структури D, нм	R_a, мк	Висота найбільшого виступу профілю R_P, нм	Глибина найбільшої западини профілю R_V, нм
Сталь 15ХГН2ТА	2000-2500	1,6	379,0	344,8
Покриття ЛЕ	200-250	2,5	477,3	378,5
Покриття ЛЕ	150-200	3,2	504,1	485,7
Покриття ЛЕ	250-300	6,3	538,3	484,4

Отримані значення (табл. 1) характерних розмірів структурних елементів поверхні показують, що в модифікованих зразках у порівнянні з вихідним станом вони зменшуються в 8-13 разів. Мінімальні розміри параметра D отримані при обробці електродом Ш2.

Висновки

1. Встановлено, що товщина формованого покриття залежить від хімічного складу матеріалу легуючого електрода й енергетичних режимів ЕІЛ: найбільша товщина покриття утворюється при обробці електродом ИМХ2, що в 4 рази більше, чим при обробці серійним електродом Т15К6; підвищення енергетичних режимів ЕІЛ приводить до збільшення товщини покриття не залежно від матеріалу ЛЕ, що дозволяє рекомендувати ЕІЛ електродами Т15К6, ИМХ2, Ш2 для підвищення зносостійкості й відновлення зношених поверхонь деталей вузлів тертя машин.

2. Встановлено, що мікротвердість покриттів залежить від режимів електроімпульсної обробки й матеріалу легуючого електрода. Експериментальні залежності мікротвердості покриттів в залежності від напруги й розрядної ємності конденсаторів мають екстремальний характер з максимумами при напрузі U=120-140 В та розрядної ємності С=120 мкФ.

Література

1. Абляз, Т. Р. Анализ структурных изменений в поверхностном слое деталей после электроэрозионной обработки [Текст] / Т. Р. Абляз // Вестник Южно–Уральского государственного университета. Серия: «Машиностроение». –2015. – Т.15, №4. – С. 62-69. Узлы и трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.

2. Верхотуров, А. Д. Формирование износостойкого покрытия методом ЭИЛ твердыми сплавами и переходными металлами IV – VI групп [Текст] / А. Д. Верхотуров, Л. А. Коневцов, Я. А. Востриков // Вестник института тяги и подвижного состава. – 2014. – №10. – С. 3-8.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН

Музиков В.С., ст. гр. МС-31-18, ХНАДУ

Анотація: *До прогресивних способів зміцнення та відновлення деталей машин, зокрема циліндро-поршневої групи, можна віднести високотемпературні методи нанесення покриттів: плазмові, газоплазмове, електродугове напилення. Висока продуктивність, простота, можливість автоматизації процесу, отримання покриттів і зміцнення шарів з високою зносостійкістю - гідності методів. Проведені на Україні й за кордоном дослідження в цій області, а також позитивні результати їх використання в промисловості при виготовленні та відновленні деталей циліндро-поршневої групи, дозволяють, в даний час, широко впроваджувати ці прогресивні методи.*
Ключові слова: *зносостійкість, міцність, твердість, плазмове напилювання, корозія, структура та мікроструктура покриттів.*

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Музиков В.С., ст. гр. МС-31-18, ХНАДУ

Аннотация: *К прогрессивным способам укрепления и восстановления деталей машин, в частности цилиндро-поршневой группы, можно отнести высокотемпературные методы нанесения покрытий: плазменные, газопламенные, электродуговые напыления. Высокая производительность, простота, возможность автоматизации процесса, получения покрытий и укрепления слоев с высокой износостойкостью - достоинства методов. Проведенные на Украине и за рубежом исследования в этой области, а также положительные результаты их использования в промышленности при изготовлении и восстановлении деталей цилиндро-поршневой группы, позволяют, в настоящее время, широко внедрять эти прогрессивные методы.*
Ключевые слова: *адгезионная прочность, ионно-плазменное покрытие, твердость, многослойное антифрикционное покрытие, шероховатость.*

IMPROVING THE DURABILITY OF PISTON RINGS ROAD CONSTRUCTION MACHINES

V. Muzikov, student of MS-31-18 group, KhNAHU

Abstract: *High-temperature coating deposition methods: plasma, gas-flame and electric arc spraying can be referred to progressive methods of strengthening and restoration of machine parts, in particular of the cylinder-piston group. High productivity, simplicity, possibility of process automation, obtaining coatings and strengthening layers with high wear resistance are the advantages of the methods. Carried out in Ukraine and abroad research in this area, as well as the positive results of their use in the industry in the manufacture and restoration of parts of the cylinder-piston group, allow, at present, to widely introduce these advanced methods.*
Keywords: *adhesive strength, ion-plasma coating, hardness, multilayer antifriction coating, roughness.*

Вступ

Поломка поршневих кілець спостерігається майже у всіх типах двигунів. Широко використовувані у практиці вітчизняного та зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому у низці випадків не достатньо добре задовольняють вимогам, що висуваються до поршневих кілець. Пористий шар хрому товщиною 40-50 мкм за кілька сотен годин спрацьовується і тоді починає спрацьовуватися тверда основа. Електролітичний хром незадовільно працює на тертя і спрацювання при високих температурах, що приводить до зміцнення в певних умовах він може зазнавати вологої корозії.

Цілу низку переваг має лазерна обробка порівняно з іншими методами обробки: висока продуктивність процесів, мінімальне жолобіння та покращення якості продукції, що виробляється, можливість порівняно легко обробляти ділянки поверхні будь якого профілю та високу неоднорідність зміцненних шарів. Але для цього необхідне використання коштовного обладнання і прикладів промислово використання цього вида обробки небагато.

До прогресивних способів зміцнення деталей циліндро-поршневої групи належить газоплазмове напилення. Умови роботи поршневих кілець вимагають диференційного підходу до вибору покриттів.

Хоч і розроблені основні положення загальної теорії одержання покриттів, ефективність кожного метода і можливість використання конкретних покриттів завжди залежить від інформації про зміну властивостей і структури матеріалів при напиленні. Для сплавів не завжди можливо наперед дізнатися структуру і властивості покриттів. Необхідно широке експериментальне дослідження структури і властивостей після напилення.

Матеріал та методика дослідження

Зміцнюючи поршневі кільця з високоміцного чавуну.

Випробування проводилися на машині тертя СМЦ-2, яка дозволяє провести порівняння випробовуваних матеріалів по зносостійкості, антифрикційним властивостям і властивостями в процесі підробітки за схемою «ролик-колодочка».

Для виявлення змін в поверхневих ділянках, а також контролю якості покриття проводили виміри твердості. Для дослідження застосовували метод Роквелла, який, як правило, використовується для вивчення термозміцненого матеріалу.

Визначення глибини наклепаного шару поверхонь тертя здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3.

Структури вивчали і фотографували на мікроскопі МІМ-7 при збільшенні (70 - 1000) разів.

Електронномікроскопічні дослідження виконували на мікроскопі УЕМ 100 МЛ з використанням лакових реплік, що виготовляються за стандартною методикою.

Структура поверхні до і після експлуатації вивчалася за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ при напрузі, що прискорюється, 30 кВ в широкому інтервалі збільшень від 20 до 10 тисяч разів. Для аналізу фазового складу основного металу і покриття проводили рентгеноструктурний фазовий аналіз на установці УРС-50.

Величину залишкових напружень в приповерхневих шарах визначали на установці ДРОН-2 методом багаторазових похилих зйомок у випромінюванні мідного анода з графітовим монохроматором.

Зйомку рентгенограм для якісного і кількісного аналізів і вимірювання параметрів решітки здійснювали на установках УРС-55, УРС-60 в камерах Дебая з використанням залізного і хромового випромінювання.

Результати дослідження

Вивчалися структура й твердість покриттів в оплавленому стані, а також після відпалу й після загартування. Оплавлені покриття характеризуються, в основному, гарною щільністю, хоча й трохи меншої, ніж покриття ПГСР без карбідів хрому.

Збільшення пористості пов'язане з тим, що на деяких ділянках на границі шару й основного металу спостерігаються одиничні великі пори або навіть їх скупчення. Очевидно, це ділянки, що володіли поганим зв'язком з матрицею в напиляному стані. Більші скупчення газів у таких місцях не встигають продифундувати до поверхні й коагулюють на місці.

Структура оплавленого шару представлено на рисунку 3.9. У всіх покриттях структура шару неоднорідна по глибині й спостерігається дві зони: в одній, пов'язаною з підложкою, чітко виражена орієнтована стовпчаста дендритна структура литого металу: в іншій – структура більш однорідна, без помітної орієнтованості. Після травлення в шарі визначаються три зони з різними по металографічному прояву структурами:

I – зона шару, що виходить на поверхню, відрізняється рівномірним розподілом однорідних виділень;

II – середня зона, яка характеризується неоднорідними по розміру виділеннями;

III – зона шару, що примикає до підложки, має дендритну будова.

Припускаємо, що відзначена будова шару обумовлена особливостями його плавлення поверхневим газоплазмовим нагріванням.

×400

Рисунок 3.9 – Загальний вид шару покриття ПГСР +40% Cr_3 ПРО$_2$

Поверхневому нагріванню властивий градієнт температур по глибині, який може помітно позначитися при оплавленні такої неоднорідної структури, який повинен мати напилюваний шар ПГРС4+40% Cr_3O_2.

Формування напилюваного шару відбувається послідовним укладанням окремих часток ПГРС4 і карбіду Cr_3O_2. Карбід хрому має температуру плавлення суттєво більшу, ніж сплав системи NiCrSiB (температура плавлення Cr_3O_2 становить 1830 … 1895 °С). Тому можна припустити, що частки карбіду будуть не повністю розплавлятися в плазмі й попадають у шар напівоплавленими, зберігаючи в основному обсязі монокристальну будову. При багатокристальній будові вихідного порошку карбіду Cr_3O_2 свідчать дані металографічного й рентгеноструктурного аналізу вихідної суміші порошків. Порошок ПГРС4 складається зі сферичних часток (див. рис. 3.10, а, б), частки ж карбідів мають полігональну форму (див. рис. 3.10, в) і є монокристалами. Навіть на рентгенограмі, знятої від обертового стовпчика порошку карбіду представлений рефлексними лініями (рис. 3.10, а). Частки карбідів мають високу мікротвердість, рівної 15800 … 17800 Мпа (див. табл. 3.4).

Аналіз мікроструктур зон шару, даних рентгенівського аналізу й вимірів мікротвердості підтверджують справедливість зроблених висновків.

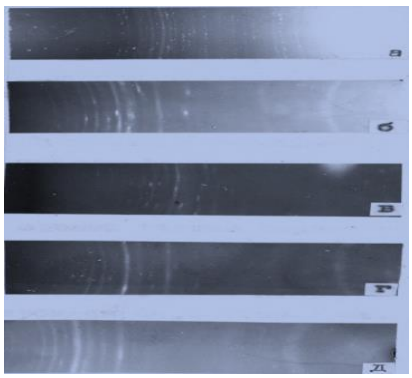


Рисунок 3.10 – Рентгенограма сплавів ПГСР +40% Cr_3 ПРО$_2$
а – порошок ПГСР +40% Cr_3 ПРО$_2$; б – зона першого шару; в – зона другого шару; г – загартований шар; д – відпалений шар, λ-cr

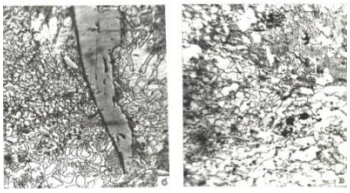
Розглянемо із цього погляду структуру кожної зони. Рентгенографічно фазовий склад першої зони не збігається з фазовим складом порошку (див. рис. 3.10, а, б). На рентгенограмі покриття відсутні лінії карбідів Cr_3 ПРО$_2$. Рентгенограма покриття збігається з рентгенограмою покриття ПГСР4 без додаткового введення карбідів Cr_3O_2 (див. рис. 3.10,б і 3.10, в) не відрізняються від неї більшою інтенсивністю карбідних ліній. Очевидно, це обумовлено тим, що розчинення карбідів Cr_3O_2 у рідкому розчині створює новий сплав, для якого карбід Cr_3O_2 не буде вже фазою, що утворюється при кристалізації. Збільшення в новому складі змісту хрому вуглецю збільшує в структурі кількість карбідів Cr_3 O_2, а можливо, приводить і до утвору нового карбіду типу Cr_{23} O_6 (це може випливати з діаграми хром-вуглець).

Зміна складу сплаву металографічно проявляється різким збільшенням грубої карбідної фази в порівнянні з покриттям ПГРС4 (рис. 3.10). Структура, в основному відповідає грубій суміші (по використаній уже для ПГРС термінології) (див. рис. 3.11, а, б). Але в окремих ділянках присутня дрібна суміш (див. рис. 3.11, в). Збільшення кількості карбідної фази в структурі викликає ріст мікротвердості цієї зони в порівнянні із ПГРС4 (див. табл. 3.4).

В другій зоні поряд з великими карбідами Cr_3 O_2 спостерігаються грубі й тонкі суміші (рис.3.12). Кількість областей з тонкими сумішами збільшується. Спостережувана форма карбідів Cr_3 O_2, мабуть, обумовлена тим, що при розчиненні карбідів (як і при кристалізації) проявляється анізотропія швидкості росту в орторомбічних системах, що добре ілюструється, наприклад, ростом первинних кристалів цементиту в чавунах). Зменшення кількості карбідної фази із глибиною в другій зоні приводить до поступового зменшення твердості основи шару. Але тому що у структур зон присутні карбіди, що нерозчинилися, Cr_3O_2 з високою твердістю.

а

б

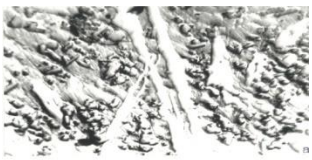


× 440

в

Рисунок 3.11 – Структура першої зони покриття [illegible] -40% Cr_3 O_2
а, б – грубі суміші; в – тонкі суміші;

а



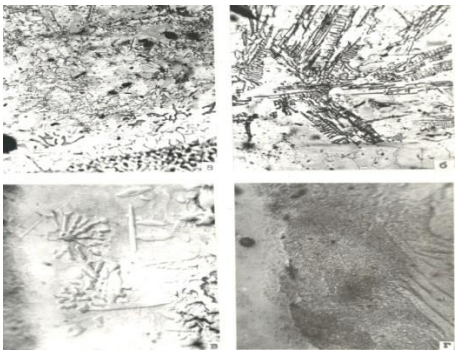
× 1000

б

×650

Рисунок 3.12 – Структура другої зони покриття [illegible] % Cr_3O_2
а – ×1000; б – ×650

а



в

б

× 650

Рисунок 3.13 – Структура третьої й перехідної зони
покриття ПГСР +40% Cr_3 ПРО$_2$
а, б – структура третьої зони; в – перехідна зона ×1000

Структура цієї зони в окремих мікрообсягах також різниться (див. рис. 3.13, а, б, в). Це може бути пов'язане з тим, з якими із часток сплаву або карбіду контактувала поверхня. Від цього буде залежати склад розплаву, що утворювався в результаті взаємної дифузії матеріалів шару й подложки. Третя зона характеризується порівняно низькою твердістю (див. табл. 3.4). Це може бути обумовлене тим, що основною структурою через насичення стали нікелем став аустеніт. Внаслідок повільного охолодження шару після оплавлення по границях зерен аустеніту безпосередньо в контакту з нерозплавленою сталлю утворюється карбідна сітка (див. рис. 3.13, а). У верхні ж ділянках третьої зони утворюються сплави зі структурою типу ледебуриту. Викладені експериментальні дані про структуру оплавлених шарів ПГРС4+40% $Cr_{23}O_6$ показують, що при обраному режимі оплавлення не досягається пряма ціль додавання карбідів – побільшало в поверхневому шарі кількість часток високої твердості. карбіди, що утворюються в першій зоні шару, Cr23 ПРО6 мають меншу твердість, ніж карбід Cr3 ПРО2. Карбіди Cr_3 ПРО$_2$ існують лише в другій зоні шару. Враховуючи значну глибину третьої зони, можна вважати, що є певний технологічний резерв, що дозволяє вивести на поверхню шару структуру другої зони.

Можливість цього укладена в зниженні температури нагрівання поверхні при оплавленні без шкоди для здійснення гарного зв'язку шару з підложкою частковим її проплавлением на меншу глибину.

Вплив термічної обробки на структуру й властивості шарів ПГСР4 +40% Cr_3O_2

Як ми вже відзначали, ці покриття зазнали термічної обробки. Відпал виконувався з метою з'ясування ступені наближення оплавленого покриття до рівноважного стану, а загартування – можливості термообробки виробу з покриттям. І отжиг, і загартування помітно позначилися на макро- і мікротвердості покриття (див. табл. 3.4). При обох видах

обробки твердість знизилася, але при цьому загартування викликало більше зниження твердості, ніж відпал.

Металографічно в покриттях і після загартування, і після відпалу не виявляється помітних змін структури. Електронномікроскопічні дослідження після відпалу як у матриці грубих і тонких виявляється, так і в оплавлених покриттях виявляють два типи дисперсних сумішей: орієнтовані зернисто-пластинчасті й зернисті (рис. 3.14). Відмінною рисою цих сумішей є після відпалу більш низька дисперсність у порівнянні з такими ж сумішами в оплавленому шарі.

Зносостійкість покриттів зі сплавів системи Ni-Cr-Si-B

Випробування на зносостійкість проводилися у зв'язку з метою поставленого завдання – підвищити зносостійкість поршневих кілець, що працюють в умовах тертя з високими ударними навантаженнями й абразивним зношуванням. Для порівняння випробовувалася сталь 38ХС, загартована ТВЧ.

Таблиця 3.5

Зносостійкість покриттів ПГСР4 в умовах гідроабразивного зношування

Матеріал	Твердість	Зношування ролика, г	Зношування колодки, г
Сталь 38ХС Загартування ТВЧ	660	0,330	0,182
ПГСР4	710	0,247	0,136
ПГСР4+40% Cr_3 ПРО$_2$	760	0,102	0,089
ПГСР4+40% Cr_3 ПРО$_2$,загартування	640	0,164	0,096

З отриманих експериментальних даних випливає, що покриття сплавами Ni-C-Si-B помітно підвищують зносостійкість виробів, зменшуючи при цьому зношування сполучення деталі. Додавання карбідів Cr_3 ПРО$_2$ більш, ніж у три рази підвищує зносостійкість покриття в порівнянні зі сталлю 38ХС.Загартування покриттів з добавками карбідів хрому трохи знижує зносостійкість покриття, але все-таки залишає її на досить високому рівні. Це дозволяє вважати, що якщо буде потреба виріб може зазнати термічній обробці разом з покриттям. Можливість застосування покриття ПГСР4 для підвищення зносостійкості чавуну була перевірена в промислових умовах. Після шліфування глибина шару становила 1200 мкм, чистота поверхні 6. У досліджуваних умовах експлуатації поршневі кільця виходять із ладу через один місяць роботи внаслідок інтенсивного й дуже нерівномірного зношування зовнішньої поверхні. Напилювання кільця були зняті для контролю через три місяці експлуатації. Поверхня втулки після експлуатації придбала вид полірованого виробу (∇ 9) без яких-небудь локальних порушень поверхні.Проведені дослідження дозволяють сказати, що покриття виробів сплавами системи Ni-Cr-Si-B є надійним методом підвищення зносостійкості деталей, що працюють в умовах абразивного зношування разом з корозійним впливом середовища, і може бути рекомендоване для практичного використання.

Висновки

Виконані дослідження показали:

1.Покриття зі сплавами Ni-Cr-Si-B помітно підвищує зносостійкість поршневих кілець, зменшую при цьому знос сполученої деталі. Додавання карбідів більш чим в три рази збільшує зносостійкість покриття в порівнянні з сталлю 38ХС.

Покриття виробів сплавами системи Ni-Cr-Si-B є надійним методом підвищення зносостійкості деталей, працюючих в умовах абразивного зношення, сумісно з корозійним впливом на оточуюче середовище,і впроваджені в промисловість.

2.Закалка покриттів з добавками карбідів хрому дещо зменшує зносостійкість покриття, але залишає її на достатньо високому рівні. Це дозволяє вважати,що у випадку необхідності виріб може піддаватися термічній обробці разом з покриттям.

3. Застосування покриттів ПГСР4 для підвищення зносостійкості чавуних поршневих кілець дозволило підвищити їх зносостійкість у 2,2 рази..

4.Робота впроваджена ДП «Завод ім. Малишева» з економічним ефектом 60 тисяч грн. на рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 398 с.

2. Гаркунов Д.Н. Избирательный перенос в узлах трения / Д.Н. Гаркунов, И.В. Крагельський, А.А.Поляков – М.: Транспорт, 2009. – 104с.

3. Анисимов М.И. Воздушно-плазменное напыление термических порошков / М.И. Анисимов // Сб. ГТНП-91. –2001 – С. 13–19.

4. Хасуи А. Техника напыления / А. Хасуи. – М.: Машиностроение, 1995. – 288 с.

5. Белащенко В.В. Эффективная температура подложки при воздействии высокотемпературной струи в процессе напыления / В.В. Белащенко, В.А. Вахалин, В.В. Кудинов, Ю.Б. Черняк // Физика и химия обработки материалов. – 2014. – № 4–5. – С. 22–26.

6. Семенов А.П. Создание износостойких и антифрикционных покрытий и слоев на поверхностях трения деталей машин новыми методами / А.П. Семенов // Трение и износ. – 2002. – Т. 3. – С. 401–411.

7. Присевок А.Ф. Упрочнение и восстановление быстроизнашивающихся деталей самофлюсующимися, твердыми сплавами / А.Ф. Присевок // Долговечность трущихся деталей машин. Сб.статей, под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 2007. – Вып. 2. – С. 224–23.

8. Семенов Л.П.Трение и адгезионное взаимодействие тугоплавких материалов при высоких температурах /Л.П. Семенов. – М.: Наука,2002.160с.

9. Трефилов В.И. Структуры и свойства материалов и покрытий из композиций хром-карбид / В.И. Трефилов, Ю.С. Борисов, Р.А. Алфинцева и др. // Порошковая металлургия. – 2001. – № 11. – С. 74–80.

10. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. – М.: Наука, 2017. – 184 с.

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВИДУ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Шабаршина Є.П., ст. гр. МС-31-18, ХНАДУ

Анотація: *Створення в одному матеріалі цілого комплексу різних фізико-механічних та інших властивостей практично неможливо в однокомпонентному або багатокомпонентному сплаві. При цьому може бути досягнуто не тільки сприятливе поєднання властивостей існуючих фаз, але і їх поліпшення завдяки взаємодії різних кристалічних решіток. Для рішення поставлених завдань необхідно застосування сучасних методів обробки матеріалів,а також новітніх методів дослідження.*
Ключові слова: *надійність, пластичність, іонно-плазмове покриття, твердість, зносостійкість, корозійна стійкість.*

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБЪЕМНЫХ КОМПОНЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шабаршина Є.П., ст. гр. МС-31-18, ХНАДУ

Аннотация: *Создание в одном материале целого комплекса различных физико-механических и других свойств, практически невозможно в однокомпонентном или многокомпонентном сплаве. При этом может быть достигнуто не только благоприятное сочетание свойств существующих фаз, но и их улучшение благодаря взаимодействию различных кристаллических решеток. Для решения поставленных задач необходимо применение современных методов обработки материалов, а также новейших методов исследования.*
Ключевые слова: *надежность, пластичность, ионно-плазменное покрытие, твердость, износостойкость, коррозионная стойкость.*

STATE-OF-THE-ART TECHNOLOGY TO IMPROVE THE LONGEVITY OF FIRE ENGINE BEARING SHELLS

Shabarshina E., student of MS-31-18 group, KhNAHU

Abstract: *Creating in one material a whole complex of different physical-mechanical and other properties is practically impossible in a single-component or multicomponent alloy. In this case, not only a favorable combination of properties of existing phases can be achieved, but also their improvement due to the interaction of different crystal lattices. The application of modern material processing methods, as well as the latest research methods, is necessary to solve the set tasks.*
Key words: *reliability, ductility, ion-plasma coating, hardness, wear resistance, corrosion resistance.*

Вступ

З розвитком прпомимсловості та будівництва ймовірність виникнення пожеж з кожним днем збільшується, а їх гасіння ускладнюється. Удосконалення протипожежної техніки є запорукою успішних та ефективних дій підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту України під час гасіння пожеж та рятування людей. Окрім того, в Україні, як й у всьому світі, розширюються функції підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Вони залучаються не тільки для пожежогасіння та провадження пожежнорятувальних робіт, а й для ліквідації інших надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Створення надійних сучасних пожежно-рятувальних автомобілів є актуальною проблемою для всього світу, й для України зокрема, успішність роботи яких залежить від довговічності основних елементів гідравлічної системи.

Аналіз досвіду експлуатації цих машин показав, що основною причиною виходу їх з ладу є зношування робочих поверхонь вузлів тертя, що тягне за собою збільшення витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.

Тому вдосконаленн6я основних деталей гідравлічних систем за рахунок вибору матеріалів для їх виготовлення і методів його зміцнення представляється важливою та актуальною проблемою.

Матеріали та методи досліджень

Деталі гідроприводів виготовляють в основному з високолегованих і високоякісних інструментальних, цементованих, азотованих сталей, що від-різняються підвищеною зносостійкістю, малим коефіцієнтом лінійного розширення, мінімальною деформацією при термічній обробці і експлуатації.

Випробування проводили на машині тертя СМЦ-2, яка дозволяє провести порівняння досліджуваних матеріалів по зносостійкості, антифрикційні та властивостей у процесі приробляння за схемою «ролик-колодочка».

Нанесення плазмового покриття здійснювалось на установці «Булат-3Т».

Для виміру товщини покриття застосовувався металографічний метод, який полягає в замірі товщини покриття за допомогою оптичного мікроскопа на поперечних шліфах.

Оцінювали міцність з’єднання покриття з основним металом по методиці основаної на сумісній пластичній деформації покриття і підложки при вдавлюванні індентора твердоміра Роквелла.

Результати дослідження

За допомогою теорії планування експерименту було проведено дослідження параметрів нанесення покриттів і встановлено зв'язок між твердістю матеріалу підкладки, шорсткістю поверхні, на яку наноситься покриття, товщиною покриття і зносом.

Відомо, що велике значення має не тільки склад наноситься покриття, але і такі параметри, як твердість матеріалу підкладки, шорсткість поверхні, на яку наноситься покриття, товщина покриття.

У якості одного з показників обрана твердість, так як вона легко піддається перевірці в будь-якій точці вироби без шкоди для цілісності як до, так і після експлуатації.

Практика експлуатації виробів, виготовлених із сталі з нанесенням на робочі поверхні плазмових покриттів, показала, що шорсткість вироби, на яку наноситься покриття повинно бути не менше 0,48 Га. В іншому випадку спостерігається відшаровування покриття, що наноситься з-за поганої адгезії його з підкладкою. Тому однієї з задач є визначення шорсткості оброблюваної поверхні, що забезпечує найкращу адгезію покриття з основними металами.

Матеріалом дослідження була сталь 38Х2МЮА. Термічна обробка – поліпшення, що забезпечує найкраще поєднання міцності і пластичних властивостей. Після зазначеної термічної обробки твердість коливається в межах 40 ... 45 HRC.

Товщина покриття, що наноситься змінювалася в межах від 3 до 6 мкм, що відповідає хорошій адгезії, менша товщина не робить істотного впливу на властивості виробу, а в разі товщини більше 6 мікрон спостерігається відшаровування з-за поганої адгезії з підкладкою.

Так як твердість приймає тільки цілі значення, то було вирішено провести п'ять серій експериментів (відповідно даючи значення твердості 42, 43, 44, 45, 46).

Як прийнято в теорії планування експерименту, товщину покриття і шорсткість будемо називати факторами і позначати X1 їх 2, а знос відгуком і позначати Y. Виходячи з

викладених вище міркувань, приймаємо, що кордонами існування (зміни) факторів є X1міп=3; X1max=6; X2min=0,10; X2max=0,48. Інтервали варіювання факторів відповідно ΔX1=6-3=3; ΔX2=0,48-0,1=0,38.

Спочатку був проведений факторний експеримент першого порядку, метою якого було отримати математичну модель залежності Y від X1 і X2 у вигляді лінійного поліному. Для цього був реалізований (при кожному значенні твердості) повний факторний експеримент типу 2n. Його результати представлені в таблицях 4.4 – 4.8.

Таблиця 4.4

Значення величини товщини покриття, шорсткості і зношування при твердості підкладки 42 HRC

№ досліду	X_1	X_2	Y
1	3	0,1	6,5
2	3	0,48	7,3
3	6	0,1	3,3
4	6	0,48	4,5

Таблиця 4.5

Значення величини товщини покриття, шорсткості і зношування при твердості підкладки 43 HRC

№ досліду	X_1	X_2	Y
1	3	0,1	6,3
2	3	0,48	7,0
3	6	0,1	4,0
4	6	0,48	4,4

Таблиця 4.6

Значення величини товщини покриття, шорсткості і зношування при твердості підкладки 44 HRC

№ досліду	X_1	X_2	Y
1	3	0,1	5,6
2	3	0,48	6,2
3	6	0,1	3,6
4	6	0,48	4,0

Таблиця 4.7

Значення величини товщини покриття, шорсткості і зношування при твердості підкладки 45 HRC

№ досліду	X_1	X_2	Y
1	3	0,1	3,5
2	3	0,48	3,8
3	6	0,1	2,1
4	6	0,48	2,4

Таблиця 4.8

Значення величини товщини покриття, шорсткості і зносу при твердості підкладки 46 HRC

№ досліду	X_1	X_2	Y

1	3	0,1	4,4
2	3	0,48	4,8
3	6	0,1	3,0
4	6	0,48	3,4

Зауваження: по кожному рядку планів таблиць 4.4 - 4.8 проводилося два досвіду, а в таблицю у якості значення Y записувалося середнє значення.

По кожній з таблиць 4.4 – 4.8 розраховано рівняння регресії:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2. \qquad (4.1)$$

Результати розрахунку коефіцієнтів представлені в таблиця 4.9

Таблиця 4.9

Результати розрахунку коефіцієнтів лінійного рівняння регресії

Значення твердості	b_0	b_1	b_2
42	9,14	-1	2,63
43	11,76	-2,26	2,31
44	8,68	-0,82	1,45
45	7,62	-0,7	1,32
46	5,70	-0,47	1,05

Потім була проведена перевірка за критерієм Фішера при рівні значущості q=0,05 адекватності одержаних рівнянь шляхом порівняння розрахункового критерію Фішера – Fp с табличним Fт. У всіх випадках Fp>Fт, отже, рівняння не є адекватними. У зв'язку з цим було прийнято рішення продовжити експерименти, доповнивши отримані плани 2n до центральних композиційних планів другого порядку.

Розраховано рівняння регресії:

$$Y = b_0 + b_1 Y_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{22} X_2^2. \qquad (3)$$

Результати розрахунку коефіцієнтів представлені в таблиця 4.10.

Таблиця 4.10

Значення коефіцієнтів регресії

Значення твердості	Значення коефіцієнтів регресії					
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{12}	b_{22}
42	11,76	-2,26	2,31	0,35	0,13	-2,77
43	10,82	-2,02	4,01	-0,26	0,14	-2,31
44	7,21	-0,66	3,98	-0,18	0	-2,77
45	7,57	-1,79	-0,99	0,02	0,15	2,91
46	5,25	-0,31	2,3	0	-0,01	-2,31

За одержаними результатами встановлено, що найменше значення зносу має місце при твердості поверхні, на яку наноситься покриття HRC45, шорсткості поверхні 0,16 і товщині покриття, що наноситься 6 мкм.

Для наочності графічні зображення поверхонь відгуку дано на рисунках4.5 – 4.8.

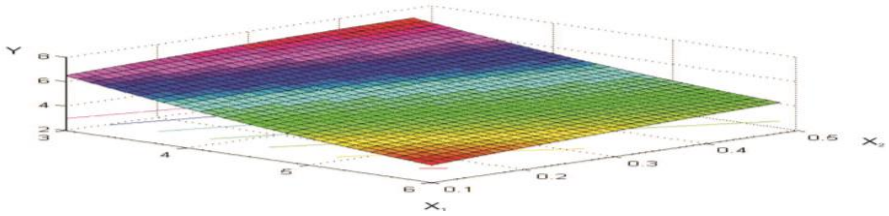


Рис. 4.5 – Поверхня відгуку для твердості HRC 42

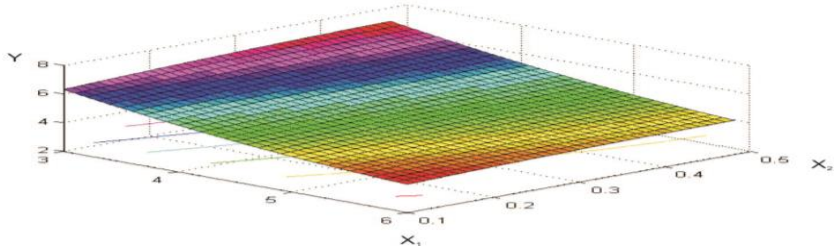


Рис. 4.6– Поверхня відгуку для твердістю 43 HRC

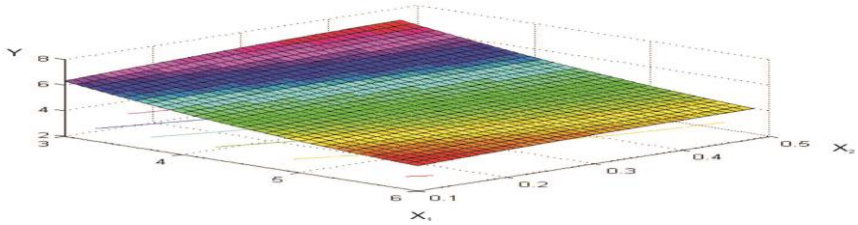


Рис. 4.7 – Поверхня відгуку для твердості HRC 44

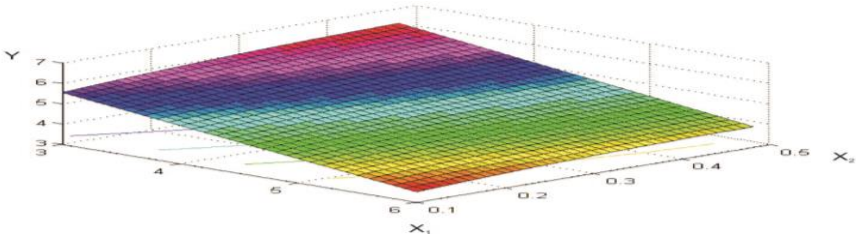


Рис. 4.8 – Поверхня відгуку для твердості HRC 45

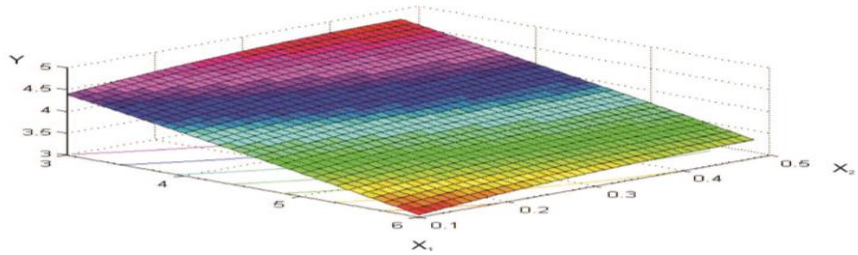


Рис. 4.9 – Поверхня відгуку для твердості HRC 46

Висновки

1. Науково обґрунтована і запропонована сталь 38Х2МЮА, яка має суттєві перваги поряд із сталлю 45: збільшення зносостійкості в 2 рази, зменшення коефіцієнта тертя.

2. Пояснено підвищення робочих характеристик тертя з покриттям TiN, нанесеним на сталь 38Х2МЮА у зв'язку з формуванням на поверхні великих напруг стиску, підвищенням корозійної стійкості.

3. Розроблено нове покриття системи Ti-Cr-N з попередньою іонним бомбардуванням поверхні Cr, що дає можливість знизити температуру нагріву підкладки перед нанесенням покриття і виключити можливість знеміцнення. Покриття Ti-Cr-N наносимо при наступному співвідношенні інгредієнтів (% по масі) Ti від 10 до 75; Cr 5-70; N від 15-21. Методом рентгенівського фазового аналізу визначаємо склад нанесеного покриття. Новизна розробленого покриття підтверджена патентом №31864 від 25.04.18

4. За допомогою теорії планування експерименту встановлено, що найменше значення зносу має місце при твердості поверхні, на яку наноситься покриття HRC45, шорсткості поверхні 0,16 і товщині покриття, що наноситься 6 мкм.

5. Промислові випробування показали переваги розробленої технології. Робота виконувалась на ООО СКТБ « Гідромодуль» , який співпрацює з іноземними виробниками пожежної. Віпробування показали на 30% підвишення зносостійкості. І очікуваний економічний ефект становить 190 тисяч гривень.

Література

1. Пожежна та аварійно-рятувальна техніка: (Історія, сьогодення, майбутнє) / О.М. Ларін, І.М. Грицина, С.В. Васильев, Кривошей Б.І. ; Під заг. ред. О.М. Ларіна . ─ Х.: АГЗУ, 2005. ─ 160 с.

2. Настанова з експлуатації транспортних засобів в органах та підрозділах ДСНС України №432 від 27.06.2013

3. Аврунин А.Г. Обзор мирового и отечественного рынков гидрооборудования // Мир техники и технологий / А.Г. Аврунин. – 2009. – № 8(93). – С. 10–14.

4. Приймаков А.Г. К вопросу о рациональном выборе допускаемых напряжений в машиностроении / А.Г.Приймаков, А.В. Устиненко // Механіка та машинобудування. – 2004. – №2. – С. 57–63.

5. Нахайчук О.В. Выбор критериев разрушения для оценки деформируемости заготовок / О.В. Нахайчук // Вісник Східно-укр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2006. – № 6. – Ч.2. – С. 24–28.

6. Аврунин Г.А. Методика расчета объемного гидропривода для двухпоточной гидромеханической коробки передач / Г.А. Аврунин, А.И. Веретенников, О.И. Деркач, И.В. Кабаненко, Н.А. Копекцкий, К.М. Лизунов, С.В. Початковский // Промислова гідравліка і пневматика. – 2009. – № 1(23). – С. 15–20.

7. Рыжков Ю.В. Повышение эксплутацационных характеристик деталей гидропередач / В.А. Карпенко, Д.Б. Глушкова, Ю.В. Рыжков // Мир техники и технологий. – 2009. – №8(93). – С. 16–17.

8. Рыжков Ю.В. Эффективный метод повышения износостойкости узлов объемного гидропривода /В.И. Мощенок, Г.А. Аврунин, Д.Б. Глушкова, В.П. Тарабанова, Ю.В. Рыжков // Материалы 4-й международной конференции «Стратегия качества в промышленности». – Варна. Болгария, 2008. – Т. 1. – С. 406–408.

ДЕГРАДАЦІЯ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПАРОПРОВОДІВ

Карпенко Є.С., ст. гр. МС-12т1-20, ХНАДУ

Анотація: *Напрацювання паропроводів ТЕС Украини складає біля 200-300 тис. годин, що для більшості перевищує проектний ресурс та помітно парковий.*
Ключові слова: *деградація, структура зварних з'єднань, зони термічного впливу.*

ДЕГРАДАЦИЯ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ

Карпенко Є.С., ст. гр. МС-12т1-20, ХНАДУ

Аннотация: *Наработки паропроводов ТЭС Украины составляет около 200-300 тыс. Часов, что для большинства превышает проектный ресурс и заметно парковый.*
Ключевые слова: *деградация, структура сварных соединений, зоны термического влияния.*

METAL DEGRADATION OF WELDED JOINTS OF STEAM PIPES

Karpenko E., student of MS-12t1-20 group, KhNAHU

Abstract: *The operating time of steam pipelines of TPPs of Ukraine is about 200-300 thousand hours, which for the majority exceeds the design life and noticeably exceeds the park life.*
Key words: *degradation, structure of welded joints, heat-affected zones.*

Вступ

Метал зварних з'єднань паропроводів зі сталі 15Х1М1Ф та12Х1МФ характеризується структурною, хімічною та механічною неоднорідністю, утворення якої обумовлено зварювальним нагрівом при їх виготовленні. Саме неоднорідність в умовах тривалої експлуатації сприяє більш інтенсивному протіканню фізико-хімічних процесів в металі зварних з'єднань, ніж в основному металі, що викликає відповідно його деградацію та лімітує ресурс.

Оцінка рівня пошкодженності зварних з'єднань паропроводів, що тривало експлуатуються, дозволяє уточнити їх остаточний ресурс.

Для оцінки представляється доцільним вивчення особливостей фізико-хімічних процесів, що відбуваються в металі зварних з'єднань.

Відомо, що найбільш часто під час тривалого напрацювання пошкоджуються ті зварні з'єднання паропровідного тракту, що експлуатуються при температурі 545-585°С та тиску 20-25 МПа.

Результати дослідження

Перехід на роботу в маневреному режимі сприяє прискоренню їх пошкодженості. Переважно пошкодженість повзучості, рисунок 1 і по механізму втоми, який посилюється корозійною складовою, рисунок 2.

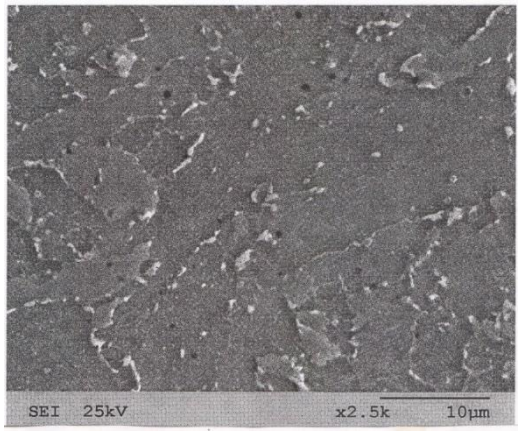


Рисунок 1 - Мікропори повзучості на ділянці неповної перекристалізації ЗТВ зварного з'єднання зі сталі 12Х1МФ

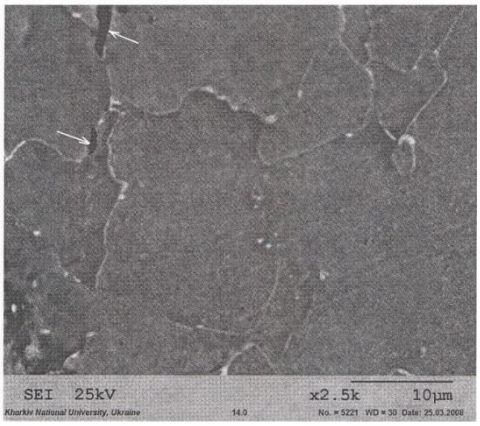
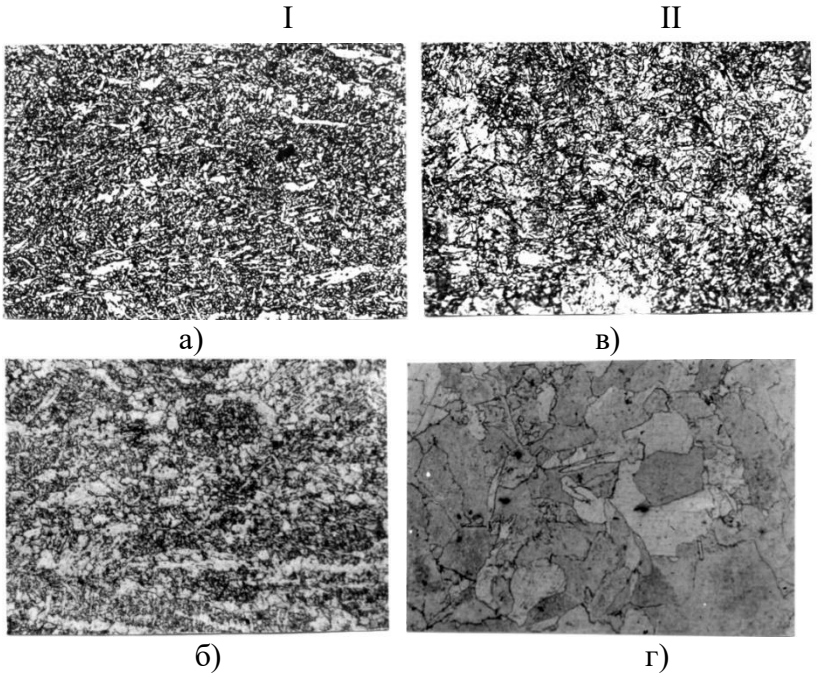


Рисунок 2 - Мікротріщини малоциклової втоми (стрілочки) на дільниці перегріву ЗТВ зварного з'єднання зі сталі 12Х1МФ

Пошкодженість за механізмом повзучості характеризується утворенням зародкових пор, розміром біля 0,5-1,2 мкм, а також їх укрупненням до 3-7 мкм, наступним розгалуженням, та перетворенням в тріщини повзучості. Найбільш інтенсивно пори повзучості утворюються на ділянках неповної перекристалізації и сплавлення зони термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань в їх зовнішній найбільш розтягненій області. Тріщини інтенсивно зароджуються на ділянках сплавлення, перегріву та неповної перекристалізації ЗТВ. Рідше в металі шва та в основному металі. Тріщини втоми утворюються на внутрішній поверхні зварних з'єднань. Пошкодженість металу зварних з'єднань має смисл розглядати як ефект його деградації, яка забезпечується фізико-хімічними процесами та виявляється шляхом вивчення його структури, як найбільш дійсного параметру.

В процесі тривалої експлуатації структура зварних з'єднань (ділянки ЗТВ, метал шва і основний метал) с різною швидкістю перетворюється у відрізняючи між собою ферріто - карбідні суміші, рисунок 3.



I – метал шва (сплав 09ХМФ);
II – ділянка перегріву ЗТВ;
а) вихідна структура;
б) після напрацювання 200000год.;
в) вихідна структура;
г) після напрацювання 280000год.
Рисунок 3 - Структура зварного з'єднання зі сталі 15Х1М1Ф: х100.

Представляється доцільним для оцінки деградації структури виявляти: середній розмір зерна α–фазы; середній розмір карбідів, та щільність їх розповсюдження по тілу зерен: форму, розміри і розподіл карбідів по границям зерен; кількість пор та їх форму, місце розташування, середній і максимальний розміри, а також питому пористість металу зварних з'єднань. Структурні змінення в зварних з'єднаннях обумовлені фізико-хімічними процесами, вивчення яких доцільно для зменшення таких змін.

В умовах робочих напруг та температур має місце дифузійне переміщення атомів хрому та молібдену з центральних зон кристалів α–фази в їх граничні зони.

Виявили, що при напрацюванні зварних з'єднань вище 270000год. рівень сегрегації хрому,наприклад, може складати на границях кристалів α–фази та в їх граничних зонах до 3-5%[8-9]. Під час розгляду стабільності структури має сенс враховувати вплив відношення ванадію до вуглецю [1]. При V/C≥2,0 в металі присутні карбіди I-й групи M_3C, M_7C_3, $M_{23}C_6$ и II –й Mo_2C и VC.

Для уточнення оцінки деградації металу зварних з'єднань доцільно вивчати особливості будови карбідних фаз, а також кінетику їх утворення та росту. Інтенсивність утворення фаз, а також їх коагуляція в структурі металу шва, ділянок ЗТВ та основного металу помітно відрізняються. Ідентифікацію карбідів, з урахуванням методики [10], проводили на основі результатів розшифрування микродифракційних зображень від частинок, экстрагірованних в репліку зі шліфа, а також методом електронно-зондового мікроаналізу на скануючому электронному мікроскопі JSM – 820. Середня відстань між карбідами (в т.ч. I-й и II –й груп) по тілу зерен α–фази помітно відрізняються. Ступінь відзнаки для ділянок ЗТВ, а також металу наплавленого та основного також була різною.

Література

1. Гладштейн В.И. Влияние времени наработки до 350тыс. ч. на служебные характеристики и структуру литых корпусных деталей турбин и арматуры // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2007, №4.- С.24-32.
2. Хромченко Ф.А., Калугин Р.Н. Расчетно-экспериментальная оценка остаточного ресурса сварных соединений паропроводов // автоматическая сварка. - 2004, №5 -.- С.8-13.
3. Резинская В.Ф., Гринь Е.А. современные проблемы обеспечения безопасности тепломеханического оборудования при продлении сроков его службы // Теплоэнергетика. - 2013, №1. – С.17-24
4. Дмитрик В.В., Барташ С.Н. особенности деградации металла сварных соединений паропроводов ТЭС // Автоматическая сварка. - 2014, №4. – С.32-33.
5. Сиротюк А.М., Каптій О.В., Дмитрах І.М. та ін. Експертна система оцінювання ризику руйнування конструктивних елементів трубопроводів теплоенергетичної системи // Методи та прилади контролю якості. – 2013,№2(31). – С.126-136.
6. Трубачев В.М., Каменская Н.И. Методы оценки микроповрежденности металла длительно работающих паропроводов ТЄС // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2012, №8. – С. 49-54.
7. Данюшевский И.А., Куприй Е.Б., Малкин М.Р. и др. Оценка остаточного ресурса с учетом микроповреждаемости // Теплоэнергетика. – 2008, №2. – С. 12-17
8. Дмитрик В.В., Сыренко Т.А. К механизму деградации хрома и молибдена в металле сварных соединений паропроводов // Автоматическая сварка. - 2012, №10. – С.22-26
9. Дмитрик В.В., Баумер В.Н. Карбидные фазы и повреждаемость сварных соединений при длительной эксплуатации // Металлофизика, новейшие технологии. - 2007– т 29, №7. – С.937-947
10. Физико-химический и фазовый анализ сталей и сплавов / Лашко Н.Ф., Заславская Л.В., Козлова М.Н. и др. – М.: Металлургия, 1978. - 336с

МЕХАНІЗМ СТАРІННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ З ТЕПЛОСТІЙКИХ ПЕРЛІТНИХ СТАЛЕЙ 12Х1МФ І 15Х1М1Ф

Григор'єв Д.Р., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Анотація: *Вивчення особливостей фізико-хімічних процесів, що відбуваються в металі зварних з'єднань паропроводів енергоблоків ТЕС при їх тривалій експлуатації в умовах повзучості, дозволить підвищити стабільність структури зварних з'єднань і зменшити їх пошкоджуваність.*
Ключові слова: *старіння, мікроструктура, окрихчення, дифузія.*

ДЕГРАДАЦИЯ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ

Григор'єв Д.Р., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Аннотация: *Изучение особенностей физико-химических процессов, происходящих в металле сварных соединений паропроводов энергоблоков ТЭС при их длительной эксплуатации в условиях ползучести, позволит повысить стабильность структуры сварных соединений и уменьшить их повреждаемость.*
Ключевые слова: *старения, микроструктура, охрупчивание, диффузия.*

METAL DEGRADATION OF WELDED JOINTS OF STEAM PIPES

Karpenko E., student of MS-12t1-20 group, KhNAHU

Abstract: *The study of features of physical and chemical processes occurring in the metal of welded joints of steam pipes of TPP power units during their long-term operation under creep conditions will increase the stability of the structure of welded joints and reduce their damageability.*
Key words: *aging, microstructure, embrittlement, diffusion.*

Вступ

Доцільно забезпечити максимально можливу стабільність структури зварних з'єднань перлітних сталей при їх тривалій експлуатації в умовах повзучості. Основними сталями, що використовуються для зварних з'єднань елементів паропровідного тракту, що працюють при температурі 545-585^{0}С, і напрузі 20—25МПа, є сталі 15Х1М1Ф і 12Х1МФ. Зварні з'єднання з цих сталей характеризуються ресурсом, що становить 0,6 - 0,8 ресурсу основного металу. Відомо, що в процесі тривалої експлуатації в структурі зварних з'єднань відбуваються фізико-хімічні процеси, що викликають їх розуміцнення і підвищення крихкості, що забезпечують перетворення їх структур в відрізняючи ферито-карбідні суміші.

Результати дослідження

Саме фізико-хімічні процеси в умовах повзучості при тривалій експлуатації забезпечують протікання реакції карбідів І-ї групи M_3C—> M_7C_3 —> $M_{23}C_6$—> M_6C і їх коагуляцію, а також утворення нових карбідів ІІ-ї групи. Швидкість карбідних реакцій залежить:

1) від дифузійної рухливості атомів в кристалі, що в підсумку призводить до утворення зерен зон Гіньє-Прістона, що примикають до кордонів;

2) від роботи, витраченої на утворення зародка нової фази, яка визначається різницею поверхневих енергій контактуючих фаз і зміною вільної об'ємної енергії при структурному перетворенні.

У процесі утворення нових карбідів, наприклад, M_7C_3 відрізняються за хімічним складом від вихідних карбідів M_3C важливу роль відіграють сегрегації (флуктуація концентрацій, тобто зони Гіньє-Пристона [1]. Формуванню зародка передує створення зазначених зон, концентрація елементів в яких повинна відповідати або перевищувати (на 10-15%) їх вміст у складі карбідів M_7C_3. Утворення флуктуації забезпечується дифузією атомів Cr і Mo до меж зерен α-фази [2].

У вихідному стані в розглянутих сталях присутні леговані хромом карбіди цементитного типу, що містять 16-23% Cr. [3]. Допускали, що флуктуації концентрацій по межах зерен α - фази прямо пропорційні коефіцієнту дифузії. Встановили, що коефіцієнт дифузії вуглецю в зернах α -фази досліджуваних сталей при температурі 545-565 ^{0} C становить приблизно $5{,}5\cdot 10^{-6}$ см^2/с.

Утворення карбіду M_7C_3 може відбуватися тільки при наявності відповідних зон сегрегації атомів Cr по межах зерен α - фази, які утворюються в результаті їх дифузії з обсягу металу центральної зони зерен α - фази [1]. Атоми хрому характеризуються значно меншою дифузійною рухливістю, ніж атоми вуглецю, і їх переміщення для утворення локальної концентрації (3-5%) відбувається протягом експлуатації до 150000 ч. При визначенні коефіцієнта дифузії хрому враховували, що в умовах присутності атомів вуглецю дифузійна рухливість атомів хрому помітно збільшується.

Висновки

Аналізуючи отримані дані, що характеризують реакції M_3C - >M_7C_3 - > M_3C_6 - > M_6C, приходимо до висновків:

1. Швидкість карбідних реакцій залежить від інтенсивності утворення зон флуктуації, що контактують з межами зерен α - фази.

2. Для зниження швидкості карбідних реакцій слід уповільнити дифузійну рухливість атомів хрому і молібдену.

Література

1.Дмитрии В.В., Царюк А.К., Коньк Л.И. Карбидные фазы и повреждаемость сварных соединений паропроводов в условиях ползучести //Автоматическая сварка. — 2008. — №3, — С.39—49.

2.Дмитрик В. В. Барташ С.М. Особенности повреждаемости сварных соединений паропроводов по механизму ползучести // Автоматическая сварка. — 2010. — № 6. — С.22-25.

3.Дмитрик В.В., Гринченко Е.Д., Сыренко Т.А. Структура участка перегрева ЗТВ сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей// Сварочное производство. — 2010. — №6. — С. 3—6.

4.О природе белой полосы в сварочных соединениях. / Фомина О.П., Гавранек В.В., Дьяченко С.С. и др. // Металловедение и термическая обработка металлов, — 1965. — № 1. —С. 46-47.

ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЛОПАТОК ПАРОВИХ ТУРБІН

Воротинцев М.А., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Анотація: *дослідження можливості застосування як матеріалу для зміцнюючого електрода сталі 15Х11МФ-Ш при виконанні електроіскрового легування вхідної кромки робочої лопатки парової турбіни з метою захисту від впливу корозії при експлуатації в зоні фазового переходу.*
Ключові слова: *корозійна стійкість, надійність, міцність, електроіскрове легування, твердість, зносостійкість.*

ПОВЫШЕНИЕ КАРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Воротинцев М.А., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Аннотация: *исследование возможности применения в качестве материала для укрепляющего электрода стали 15Х11МФ-Ш при выполнении электроискрового легирования входной кромки рабочей лопатки паровой турбины с целью защиты от воздействия коррозии при эксплуатации в зоне фазового перехода.*
Ключевые слова: *коррозионная стойкость, надежность, прочность, Электроискровое легирования, твердость, износостойкость.*

INCREASING CORROSION RESISTANCE OF STEAM TURBINE BLADES

Vorotintsev M., student of MS-42t1-18 group, KhNAHU

Abstract: *study of the possibility of using 15Х11МФ-Ш steel as a strengthening electrode material when performing electro spark alloying of the input edge of the steam turbine blade in order to protect from corrosion during operation in the phase transition zone.*
Key words: *corrosion resistance, reliability, strength, Electrospark alloying, hardness, wear resistance.*

Вступ

Сучасні завдання створення й модернізації енергетичного устаткування висувають високі вимоги до вдосконалювання показників економічності й надійності турбін. Корозійне руйнування вхідних кромок робочих лопаток останніх ступенів низького тиску потужних парових турбін є одним з основних факторів, що визначають працездатність і економічність лопаткового апарата й турбіни в цілому. Лопатковий апарат, особливо у роторів низького тиску, як найбільш складної й високонавантаженої частини турбіни, значною мірою визначає надійність усього агрегату. Крім того, лопатка останнього шару циліндра низького тиску визначає поріг граничної потужності турбіни. Створення надійного лопаткового апарата представляє комплексне завдання в області міцності, газодинаміки, вібрації, протиерозійного захисту з обов'язковим відпрацьовуванням лопаток у стендових умовах.

Одним з найважливіших питань є розробка ефективних методів захисту лопаткових апаратів від корозії при одночасному зниженні механічних втрат, які були викликані вологістю.

Матеріал та методи дослідження

У якості матеріалу для дослідження була обрана корозійностійка хромиста сталь 15Х11МФ-Ш, яка застосовується для виготовлення робочих лопаток останніх ступенів роторів низького тиску.

Дослідження мікроструктури сталі проводили за стандартною методикою на мікроскопі МІМ-8 з використанням збільшення ×100-1000 з фіксуванням на стандартну фотопластину та на мікроскопі ММО-1600 з фіксуванням зображення за допомогою цифрової фотокамери.

При вимірюванні мікротвердості, у якості вдавлюваного індентора в приладі ПМТ-3 використовується алмазна пірамідка з квадратною основою та кутом при основі 136 º.

З метою визначення корозійної дії середовища відібрано проби води на АЭС турбіни К220-44-2.

Промислові випробування в реальних умовах експлуатації

Процеси ефективності запропонованих способів зміцнення вхідних кромок були досліджені в реальних умовах експлуатації на турбіні К-220-44-АЕС.

В реальних умовах були проведені два промислових експеримента.

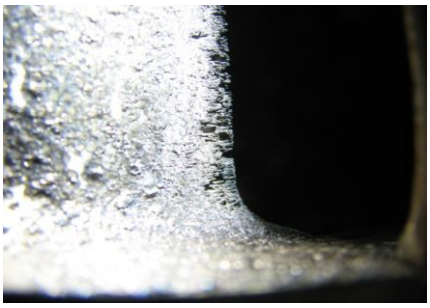
Для проведення промислового експерименту на АТ «Турбоатом» було виготовлено лопатки зі сталі 15Х11МФ і зміцнено їх в такі способи на підприємствах різних фірм:

- електроіскровим легуванням сталлю 15Х11МФ-Ш по всій довжині лопатки, включаючи радіусний перехід до поличного бандажу, ширина зміцненої зони 30-35 мм;
- комбінованим способом: зміцненням СВЧ по перу лопатки і електроіскровим легуванням сталлю 15Х11МФ-Ш радіусного переходу по режимам, розробленим і представленим в даній роботі, ширина зміцненої зони 30-35 мм.

Порівняльний аналіз інтенсивності руйнування при експлуатації проводився без демонтажу лопаток з ротора візуальним оглядом.

Штатні лопатки виготовлені зі сталі 15Х11МФ-Ш, зміцнення вхідной кромкі електроіскровим легуванням сплавом Т15К6. Фотографії, представлені на рис. 126-130, зняті після п’ятимісячної експлуатації під час останову блоку через проблеми обладнання першого контуру. Фотографії, розташовані зліва (а) показують стан вхідной кромки на тілі лопатки, справа (б) на радіусі переходу до поличного бандажу. Після 5 місяців експлуатації лопатки, зміцнені електроіскровим легуванням сталлю 15Х11МФ і комбінованим способом-СВЧ по перу лопатки і ЕІЛ сталлю 15Х11МФ на радіусному переході показали найкращі результати по опору експлуатаційного впливу, в тому числі і корозійно-ерозійного руйнування.

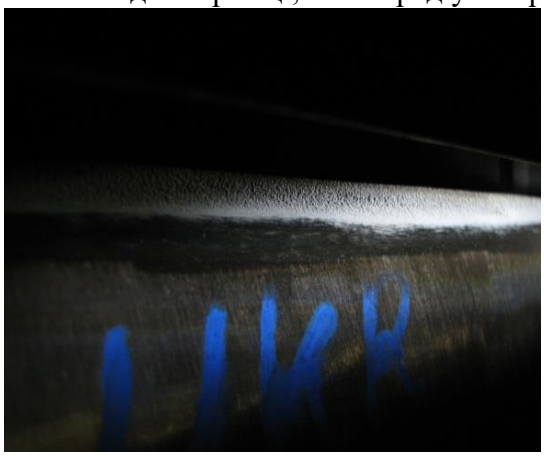
а



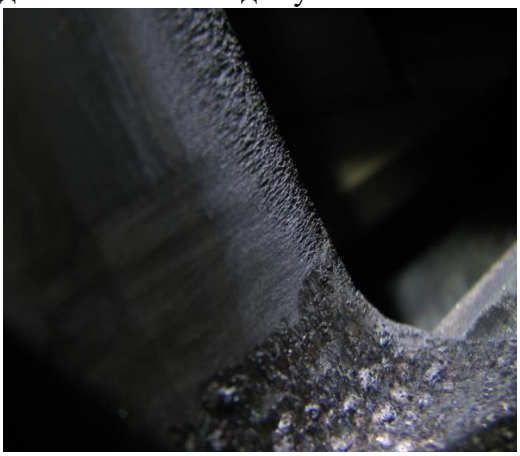
б

Рисунок 3.16 - Результати огляду лопаток після 5 місяців експлуатації:
Зміцнення електроіскровим легуванням сплавом Т15К6 (штатні лопатки);

а – на вхідній кромці; б – на радіусі переходу до поличного бандажу



а

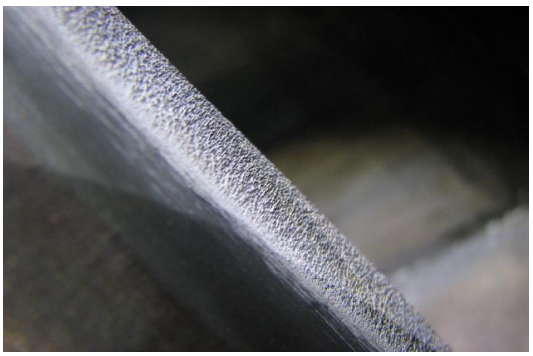


б

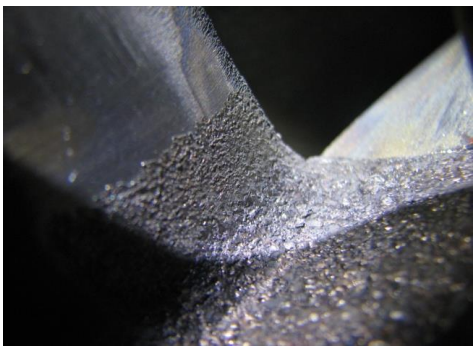
Рисунок 3.17 - Результати огляду лопаток після 5 місяців експлуатації: Зміцнення СВЧ по перу лопатки і електроіскровим легуванням сталлю 15Х11МФ-Ш радіусного переходу;
а – на вхідній кромці; б – на радіусі переходу до поличного бандажу

а

в



б



г

Рисунок 3.18 - Результати огляду лопаток після 2 років експлуатації: Зміцнення СВЧ по перу лопатки і електроіскровим легуванням сталлю 15Х11МФ-Ш радіусного переходу;
а;в – на вхідній кромці; б;г – на радіусі переходу до поличного бандажу.

а б

Рисунок 3.19 - Результати огляду лопаток після 2 років експлуатації:
Зміцнення електроіскровим легуванням сталлю 15Х11МФ-Ш
а – на вхідній кромці; б – на радіусі переходу до поличного бандажу.

Незважаючи на короткий термін експлуатації (2 роки) однозначно встановлена перевага запропонованого нами комбінованого способу зміцнення вхідної кромки робочої лопатки зі сталі 15Х11МФ-Ш:зміцнення СВЧ і ЕІЛ сталлю 15Х11МФ-Ш на радіусі.

Висновки

1.Для формування корозійностійкого захисту інтерес представляє матеріал 15Х11МФ-Ш, ідентичний сталі, з якої виготовляються робочі лопатки парових турбін, що дозволяє заощаджувати на придбанні матеріалу електродів для ЕІЛ.

2. Результати експлуатації лопаток, зміцнених сталлю 15Х11МФ-Ш електроіскровим способом на турбіні ДО-220-44 у плині 2- років показали, що корозійне зношування в районі радіуса полочного бандажа менше, чим при зміцненні сплавом Т15 ДО6.

3. На основі проведених досліджень впроваджено застосовуваного зміцнюючого електроду зі сталі 15Х11МФ-Ш для захисту від корозії вхідних кромок робочих лопаток парових турбін.

7.Робота впроваджена на ПАТ «Турбоатом» з економічним ефектом 58 тис. грн.

Література

1.Суботін В.Г., Левченко Е.В., Зшивальників В.Л., Парові турбіни ВАТ «Турбоатом» для теплових електростанцій. *Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, №3 2009 р.*

2.А.Л. Шубенко,А.Є. Ковальский Каплеударная ерозія лопаткових апаратів парових турбін. Прогнозування й методи захисту, *Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, №7 2017 р.*

3.РТМ 108.020.15-86. Метали для турбін і теплообмінного встаткування атомних електростанцій.

4.Біляків А.В., Шапин В.І., Горбачов А.Н Практика формування електроіскрових покриттів для упрчнения й відновлення лопаткового апарата проточної частини парових турбін теплових і атомних електростанцій, «Вісник ИГЭУ», Випуск 4, 2008 р.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ДИЗЕЛЯ

Кортяк А., ст. гр. МС-31-18, Галенко О., ст. гр. МС-32т1-18, ХНАДУ

Анотація: *підвищення довговічності колінчастого валу з високоміцного чавуну з кулястим графітом за рахунок оптимізації об'ємної термічної обробки та поверхневого зміцнення.*
Ключові слова: *зносостійкість, міцність, високоміцний чавун, довговічність, алмазне вигладжування, мікроструктура.*

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ

Кортяк А., ст. гр. МС-31-18, Галенко О., ст. гр. МС-32т1-18, ХНАДУ

Аннотация: *повышение долговечности коленчатого вала из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом за счет оптимизации объемной термической обработки и поверхностного укрепления.*
Ключевые слова: *износостойкость, прочность, высокопрочный чугун, долговечность, алмазное выглаживание, микроструктура.*

INCREASING CORROSION RESISTANCE OF STEAM TURBINE BLADES

Kortyak A., student of MS-31-18 group, Galenko O., student of MS-32t1-18 group KhNAHU

Abstract: *increase in durability of crankshafts made of high-strength spheroidal graphite cast iron due to optimization of volumetric heat treatment and surface strengthening.*
Key words: *wear resistance, strength, high-strength cast iron, durability, diamond smoothing, microstructure.*

Вступ

Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ) все більше використовується в автотракторобудуванні, тепловозобудуванні і загальному машинобудуванні замість литої та кованої сталі [1]. Багато деталей, які виготовлені з високоміцного чавуну, працюють в умовах тертя і зношування. ВЧКГ має широкий діапазон експлуатаційних властивостей, який створюється термічною обробкою та легуванням. Розширення застосування високоміцного чавуну для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя і зношування, до певної міри стримується труднощами забезпечення високого рівня зносостійкості і параметрів якості їх поверхневих шарів.

Аналіз публікацій

Практика свідчить, що при інших рівних умовах тривалість роботи тепловоза в значному ступені залежить від зносостійкості і міцності основних деталей двигуна [2].

Знос і пошкодження робочої поверхні деталей дизеля тепловоза лімітують роботу всієї машини в цілому. Колінчастий вал працює в умовах циклічних ударних навантажень, а опорні поверхні вала і шатунні шийки працюють в умовах тертя і зношування. Виходячи з умов роботи вал повинен мати наступні властивості – серцевина валу повинна мати достатню міцність та ударну в'язкість, а поверхні, які працюють в умовах зносу, високу зносостійкість. Зношування опорних і шатунних шийок лімітує роботу колінчастого валу.

Колінчасті вали виготовляють куванням або штампуванням із сталей 45, 45Х, 45Г2, 50Г, а важконавантажені вали дизелів – з легованих сталей 40ХНМА, 18ХНВА [3, 4]. Також колінчасті вали виготовляють з високоміцного чавуну з кулястим графітом. Підвищення зносостійкості досягають різними способами: зміцнення термічними методами (об′ємна термічна обробка, поверхневе гартування); зміцнення хіміко-термічними методами (цементація, азотування, хромування та ін.); зміцнення фізичними і фізико-хімічними методами (наплавлення, лазерна обробка, електроіскрова, іонно-плазмова); зміцнення методами пластичної деформації; зміцнююча механічна обробка на білий шар та ін. [5-8].

Метою даної роботи було підвищення довговічності колінчастого валу з ВЧКГ за рахунок оптимізації об′ємної термічної обробки та поверхевого зміцнення.

Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

– визначення об′ємної термічної обробки ВЧКГ, що дозволяє отримувати високий комплекс механічних властивостей за перерізом деталі;

– вибір способу поверхневого зміцнення;

– дослідження впливу алмазного вигладжування на якість поверхневого шару.

Методики досліджень

Для проведення досліджень був вибраний високоміцний чавун хімічного складу: 3,3-3,8 % C; 2,4-3,2 % Si; C+1/3 Si = 4,25-4,35 %; 0,004-0,007 % S; 0,5-0,9% Mn; 0,045-0,008 % P; 0,05-0,1 % Cr; 0,1-0,15 % Ni; 0,04-0,09 % Mg, який широко використовується в промисловості. Високоміцний чавун має значну хімічну і структурну неоднорідність в литому стані. Для дослідження хімічного складу чавуну використовували спектральний аналіз стружки на спектрометрі МФС-6, вміст вуглецю визначали хімічним шляхом за допомогою газоаналізатора АН-29.

Макротвердість вимірювали за методом Брінелля на твердомірі моделі UIT HBW-1, мікротвердість – на мікротвердомірі ПИТ-3.

Гартування проводили високочастотним ламповим генератором ВЧГ 6-60/0,4 з робочою частотою 440 кГц в одновитковому індукторі. Охолодження здійснювали водою із спреєра.

Для алмазного вигладжування ВЧКГ застосовувалися сферичні вигладжувачі (індентори) із синтетичних алмазів АСПК з радіусом сфери $R_{сф}$=1,5 мм, встановлені в державці, яку закріплювали в різцетримачі супорта токарно-гвинторізного верстата 1К62. В якості мастила використовувалося масло індустріальне марки І-20А.

Шорсткість обробленої поверхні оцінювали на портативному вимірювачі шорсткості TR200 за середнім арифметичним абсолютних значень відхилень профілю Ra в межах базової довжини l=2,5 мм. Вимірювач приєднували до комп′ютера і записували профілограми оброблених поверхонь.

Підвищення довговічності виробів з ВЧКГ термічною обробкою та поверхневим пластичним деформуванням

Виходячи з умов роботи колінчастий вал повинен мати достатню міцність та ударну в'язкість за перерізом, щоб опиратися знакозмінним навантаженням, і високу твердість опорних поверхонь, щоб опиратися зносу. Тому були проведені дослідження впливу різних видів об′ємної термічної обробки ВЧКГ на його структуру та механічні властивості з урахуванням наступного поверхневого зміцнення індукційним гартуванням. На відміну від пічного нагріву при використанні СВЧ структура металевої основи високоміцного чавуну, що сформувалася в процесі індукційного гартування, в повній мірі залежить від вихідної структури чавуну.

Для створення необхідної структури поверхневого шару ВЧКГ в процесі індукційного гартування необхідно застосовувати таку термічну обробку, яка забезпечує всебічну підготовку деталі до подальшого гартування: розкладання первинних або евтектичних карбідів, якщо вони утворилися в процесі первинної кристалізації; зменшення ступеня ліквації всіх елементів, що входять до складу чавуну, особливо кремнію; забезпечення перлітизації металевої основи, що потрібно для необхідного насичення вуглецем аустеніту, який утворюється при нагріванні [6, 9].

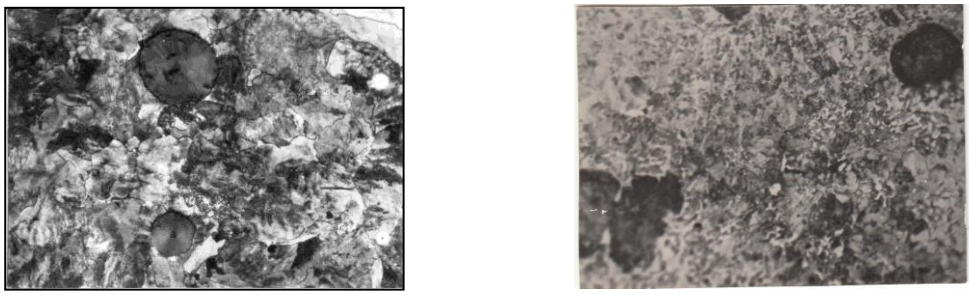
Дослідження проводилися на чавунах, які піддавали нормалізації з надкритичного та міжкритичного інтервалу температур, що дозволило отримати різну ступінь хімічної неоднорідності, дисперсності перліто-феритної структури і різну кількість фериту в структурі.

Нормалізацію з надкритичного інтервалу температур проводили за режимом: нагрів вище $A_{c1}^{к}$ (890 °С), витримка протягом 1 години, охолодження в потоці повітря (рис. 1). При цьому зберігається досить значна ступінь неоднорідності, в тому числі за кремнієм.

Мікроструктура чавуну – сорбітоподібний перліт (95 %)+ферит (рис. 1, а).

Для цього чавуну характерна висока міцність, твердість і невисокий рівень ударної в'язкості: 310-320 HBW, КС=10-15 Дж/см^2. Така термічна обробка забезпечує всебічну підготовку деталі до подальшого поверхневого гартування, однак не забезпечує достатнього рівня ударної в′язкості.

Термічна обробка з міжкритичного інтервалу $A_{c_1}^{n} - A_{c_1}^{к}$ більш суттєво впливає на хімічну та структурну неоднорідність чавуну. В рівновазі в цьому інтервалі температур знаходяться три фази – аустеніт, ферит і графіт.



а б

збільшення ×350

Рис. 1. Мікроструктура високоміцного чавуну після нормалізації з НКІ (а) і з МКІ (б)

Для зміцнення поверхонь шийок валу проводили індукційне гартування. Оптимальні результати після індукційного гартування можуть бути отримані лише при використанні чавуну з певною вихідною структурою, у тому числі необхідних вмісту фериту, кількості включень графіту в одиниці об'єму (на 1 мм^2) з урахуванням оптимальних параметрів нагріву СВЧ [10]. Ці фактори можна представити у вигляді функцій: HBW = $f_1(n, V_н, t_н)$, $\delta = f_2(n, V_н, t_н)$, де HBW – твердість на поверхні загартованого шару; δ – глибина загартованого шару, мм; n – кількість глобулів графіту на 1 мм^2; $V_н$ – швидкість нагріву, ºС/с; $t_н$ – температура нагріву, ºС. Параметри нагріву під гартування СВЧ в першу чергу залежать від кількості графітних включень. У кожному конкретному випадку остаточний вибір параметрів гартування та вихідного чавуну повинні грунтуватися на результатах експериментальних досліджень.

Кожній прийнятій швидкості нагріву відповідає своя температура, при досягненні якої структура загартованого шару чавуну буде повністю мартенситною.

Необхідна температура, в свою чергу, залежить від кількості глобулів графіту, тобто від середньої відстані між ними.

Режим поверхневого гартування вибирали за номограмою (рис. 2) [6].

Для отримання глибини зміцненого шару 2,8 мм твердістю близько 520-530 HBW, кількості глобулів графіту – 80-90 шт на 1 мм^2 згідно з номограмою режим індукційного гартування: кінцева температура нагрівання 1025 °С, швидкість нагріву – 350 °С/с. Частота струму – 440 кГц, час нагріву – 5 с.

Після гартування проводили низький відпуск при температурі 160 °С на протязі 1 години для зняття внутрішніх напружень.

Мікроструктура поверхневого шару – дрібнодисперсний мартенсит відпуску, твердість поверхневого шару чавуну після нормалізації з надкритичних температур – 50 HRC (520-530 HBW), з міжкритичних – 49 HRC (510-515 HBW).

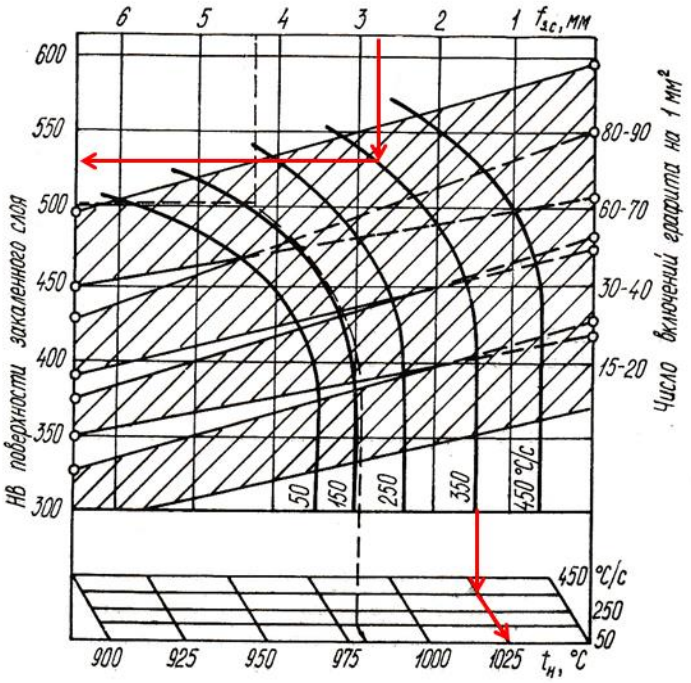


Рис. 2. Номограма для вибору параметрів нагріву високоміцного чавуну при індукційному гартуванні

Результати вимірювання мікротвердості (середні значення) за глибиною зразка після нормалізації з МКІ та індукційного гартування наведені на рис. 3.

Опорні поверхні валу мають низьку шорсткість поверхні, працюють в умовах інтенсивного зносу. Для підвищення якості цих поверхонь було запропоноване алмазне вигладжування. У порівнянні з іншими видами пластичного деформування алмазне вигладжування має істотні переваги, зумовлені фізико-механічними властивостями алмаза. Його відрізняє висока продуктивність і стійкість інструменту - вигладжувача [11].

Визначали оптимальні парметри вигладжування - зусилля вигладжування $P_в$ =250-300 Н, подачу - $S_в$ =0,03-0,05 мм/об.

Найнижчу шорсткість (0,3 мкм) отримали для чавуну, який піддавали нормалізації з НКІ з індукційним гартуванням, що мав найбільшу твердість поверхневого шару. Для чавуну після нормалізації з МКІ та індукційного гартування отримали шорсткість 0,32 мкм. Отримана шорсткість відповідає вимогам креслення на вал.

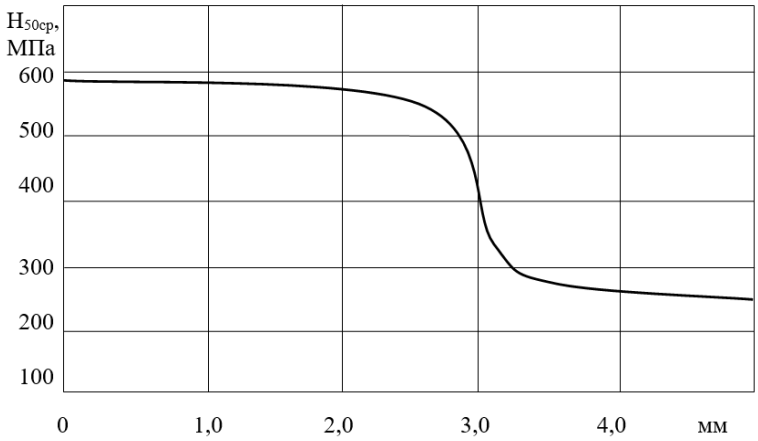
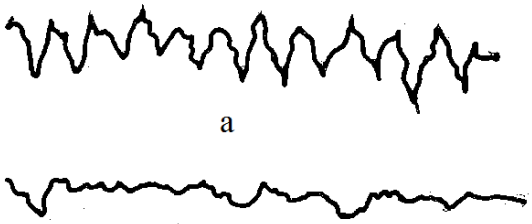


Рис. 3. Розподіл середньої мікротвердості за глибиною після нормалізації з МКІ та індукційного гартування

За допомогою вимірювача шорсткості записували профілограми поверхні чавунної деталі, яку після нормалізації з МКІ та індукційного гартування піддавали точінню (рис. 3.4, а) і точінню з алмазним вигладжуванням (рис. 4, б).



а

б

Рис. 4. Профілограма поверхні деталі з високоміцного чавуну

Аналіз профілю обробленої двома методами поверхні дозволив зробити висновок, що вигладжування зкруглює нерівності, тим самим збільшуючи площу опорної поверхні.

Низькі значення шорсткості, зміна форми профілю нерівностей і структури в поверхневу шарі, збільшення твердості забезпечать підвищення зносостійкості і довговічності колінчастого валу.

Висновки

1) Для отримання необхідного комплексу механічних властивостей за перерізом колінчастого валу з високоміцного чавуну, що забезпечує здатність валу працювати в умовах знакозмінних ударних навантажень, рекомендовано проведення нормалізації з міжкритичного інтервалу.

2) Для підвищення твердості і зносостійкості поверхонь, що зношуються, запропоновано проводити індукційне гартування, яке дозволяє отримувати високий рівень твердості, залишкові стискуючі напруження і відрізняється високою продуктивністю та екологічністю.

3) Для отримання необхідної якості поверхневого шару опорних поверхонь запропоновано після індукційного гартування проводити алмазне вигладжування, яке забезпечує низькі значення шорсткості та зкруглення нерівностей, що сприяє підвищенню зносостійкості і довговічності виробу в цілому.

Література

1. Александров Н. Н. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – перспективный конструкционный материал XXI века. *Арматуростроение*. №2(53). 2008. С. 72-74.

2. Сиротенко И. В., Гогричиани Г. В. Проблемы повреждаемости силовых и теплонапряженных узлов тепловозных дизелей. Аналитический обзор. *Вестник ВНИИЖТ*. Т. 76. № 2. С. 101– 109.

3. Дяченко С. С., Дощечкіна І. В., Пономаренко І. В., Бондаренко С. І. Матеріали різного призначення, їх обробка та властивості / за ред. проф. С. С. Дяченко. Х. : ХНАДУ, 2016. 348 с.

4. Бубликов В. Б. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – уникальный конструкционный материал современного машиностроения. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. 2014. №2(36). С. 44-47.

5. Покровский А. И., Дудецкая Л. Р. Использование высокопрочного бейнитного чугуна для изготовления зубчатых колёс. *Литьё и металлургия.* 2015. №2(79). С. 126-134.

6. Солнцев Л. А., Зайденберг А. М., Малый А. Ф. Получение чугунов повышенной прочности. Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. 152с.

7. Kornienko E. N., Panov A. G., Hal'fin D. F. Prespektivy proizvodstva otlivok iz ChShG austenito-beinitnogo klassa [Prospects for producing castings from cast iron with globular graphite of the austenite-bainite class]. *Liteischik Rossiii – Russian Foundryman*, 2004, no. 6, pp. 11 – 16.

8. Гогаев К. А., Подрезов Ю. Н., Волощенко С. М. Технология производства деталей из бейнитного чугуна с шаровидным графитом для почвообрабатывающей сельхоз техники. *Обработка материалов давлением*. 2017. №1(44). С. 210-216.

9. Влияние термической обработки на структуру и свойства экономнолегированного высокопрочного чугуна / А. Н. Крутилин, Н. И Бестужев, В. А. Стефанович, М. И. Курбатов. *Литьё и металлургия*. 2008. №1(45). С. 102-108.

10. Яковлев Ф. И. О превращениях при индукционном нагреве перлитного и ферритного чугуна с шаровидным графитом. *МиТОМ*. 1987. №6. С. 2-5.

11. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л. А. Хворостухин, С. В. Шишкин, А. П. Ковалев, Р. А. Ишмаков. М. : Машиностроение, 1988. 144 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ РАССЕВОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ НА МУКОМОЛЬНЫХ ЗАВОДАХ

Трандафил Марина, студентка 3-го курса,
факультет реальных, экономических и экологических наук,
кафедра физико-инженерных наук
Государственный Университет имени «Alecu Russo», г. Бельцы

Аннотация: *При выборе наиболее эффективного метода сепарирования любой зерновой смеси необходимо учитывать, что данная смесь может быть разделима по многим ее свойствам и признакам. Однако среди них всегда имеется такой признак, разделение по которому будет наиболее полным и эффективным.*
Ключевые слова: *сепарирование, свойства смеси, рассевы.*

RESEARCH AND MODERNIZATION OF SIEVES USED IN FLOUR MILLS

Trandafil Marina, 3rd year student,
Department of Real, Economic and Environmental Sciences,
Department of Physical Engineering
State University of "Alecu Russo", Balti

Abstract: *When choosing the most effective method of separation of any grain mixture, it is necessary to take into account that this mixture can be separated by many of its properties and attributes. However, there is always one feature among them, the separation by which will be the most complete and effective.*
Key words: *separation, mixture properties, sieves.*

Вступление

На современных мукомольных заводах для сортирования продуктов измельчения (просеивания) зерна используют рассевы.

Основная часть рассева — ситовые корпуса, состоящие из уложенных друг на друга деревянных рам с натянутыми горизонтальными ситами.

Процесс разделения зерна или продуктов его переработки на составные, более однородные по свойствам фракции называют сепарированием. В мукомольном производстве сепарированию подлежат зерновые смеси, промежуточные продукты размола либо шелушение зерна, готовая продукция. Основная задача процесса сепарирования состоит в очистке зерна от различных примесей, рассортирования промежуточных продуктов на однородные по свойствам фракции и проведении контроля готовой продукции (муки, крупы, отрубей, отходов). Учитывая разнообразие свойств и признаков зерна, его примесей, различных промежуточных продуктов, образующиеся при размоле и шелушении зерна, применяют следующие методы процесса сепарирования: по геометрическим признакам компонентов смеси; по аэродинамическим свойства компонентов смеси; по магнитным свойствам смеси; по плотности продуктов смеси; по свойствам поверхностей частиц смеси; по электрофизическим свойствам смеси.

Если сепарирование проводят по одному из указанных признаков, то такой метод называется простым сепарированием. Однако чаще всего подбирают совокупность некоторых признаков и используют их в комплексе в одной и той же сепарирующей машине. Такой метод сепарирования называют сложным, или комбинированным. Например, в зерновом сепараторе используют одновременно три простых метода сепарирования: по геометрическим признакам смеси, по

аэродинамическим и магнитным свойствам, а в ситовеечной машине два простых метода: сепарирование по геометрическим признакам и аэродинамическим свойствам смеси.

Исследование и модернизация рассевов

При выборе наиболее эффективного метода сепарирования любой зерновой смеси необходимо учитывать, что данная смесь может быть разделима по многим ее свойствам и признакам. Однако среди них всегда имеется такой признак, разделение по которому будет наиболее полным и эффективным. Таким образом, каждая смесь характеризуется определенной делимостью по отношению к данному признаку или свойству смеси.

Поэтому различают легкоразделимые, трудноразделимые и неразделимые по отношению к данному признаку и свойству смеси. Чаще других встречаются трудноразделимые смеси, для разделения которых необходимо не только подбирать наиболее эффективные признаки делимости, но и учитывать их взаимосвязь с другими признаками. Это обстоятельство и обусловливает применение сложных методов сепарирования, которые обеспечивают высокую эффективность разделения одновременно по нескольким признакам.

Эффективность процесса сепарирования связана со степенью выделения определенного компонента смеси в наиболее чистом (однородном) виде. Исходная смесь -смесь, поступающая в сепаратор для разделения и состоящая из некоторых компонентов. Фракция - часть исходной смеси, выделенная в результате сепарирования и состоящая из одного или нескольких компонентов. Выход фракции - отношение количества полученной фракции к общему количеству исходной смеси.

Основным показателем эффективности процесса сепарирования служит степень выделения компонента смеси. Этот показатель представляет собой отношение количества выделенного компонента к общему количеству того же компонента, содержащегося в исходной смеси. Это понятие может быть отнесено не только к определенному компоненту смеси, но и к фракции, состоящей из нескольких компонентов. Тогда степень выделения данной фракции по отношению к ее содержанию в исходной смеси (η) также будет показателем эффективности процесса сепарирования:

$$\eta = p_x / p_o$$

где p_x - количество выделенного компонента (фракции);

p_o- общее количество того же компонента (фракцин) в исходной смеси.

Используя показатель степени выделения компонента (фракцин) смеси, можно лишь приближенно оценить эффективность процесса сепарирования, так как данный показатель не учитывает чистоты (однородности) полученного компонента (фракции). Следовательно, не только полнота выделения определенного компонента или фракции, но и степень их однородности по данному признаку будет совокупно и объективно характеризовать эффективность процесса сепарирования [3].

Рассевы ЗРМ и ЗРМ-2М

Двухкорпусные и четырехприемные рассевы ЗРМ и ЗРМ-2М предназначены для сортирования измельченных зернопродуктов при переработке зерна в муку, а также для контроля готовой продукции с целью выделения случайно попавших крупных фракций.

Рассевы ЗРМ и ЗРМ-2М самобалансирующиеся, с ситовыми корпусами пакетной конструкции, с веретенным или безверетенным приводом. Продукт

просеивается через набор плоских, горизонтально расположенных сит, совершающих непрерывное круговое поступательное движение в горизонтальной плоскости.

Рассев ЗРМ выполнен в виде двух ситовых корпусов 3 (рис. 1), подвешенных к главной раме 2 и прикрепленных к ней горизонтальными стяжками и упорными винтами.

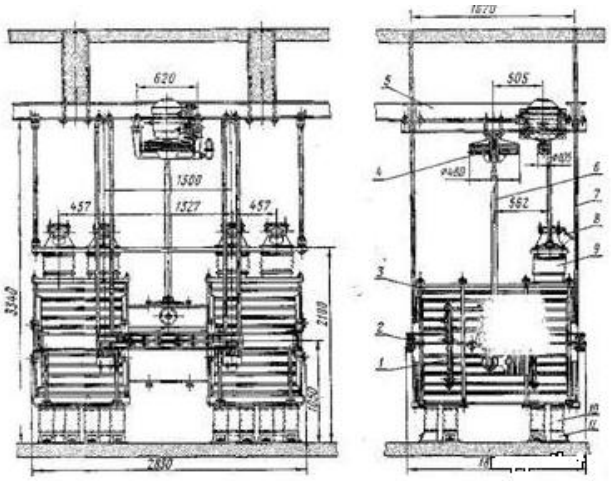


Рис. 1. Рассев ЗРМ: 1 — балансирный механизм; 2 — главная рама; 3 — ситовой корпус; 4 — верхняя подвеска; 5 — металлическая рама; 6 — веретено; 7 — трос; 8 — приемная аспирационная коробка; 9 — приемный рукав; 10 — выпускной рукав; 11 — выпускной патрубок

Каждый корпус рассева состоит из 12 или 15 прямоугольных деревянных ситовых рам, уложенных одна на другую и стянутых вертикальными стяжками. Главную раму рассева подвешивают к металлической раме 5, закрепленной к потолочному перекрытию здания на четырех стальных тросах, перекинутых через опоры. Рассев приводится в круговое поступательное движение балансирным механизмом 1. Верхнюю подвеску 4 этого механизма также прикрепляют к металлической раме 5 [2].

Рассев ЗРМ-2М имеет балансирный механизм 4 (рис. 2) безверетенной конструкции, состоящий из вертикального вала с двумя роликоподшипниками и одним упорным подшипником, двух дебалансных грузов и электродвигателя, установленного непосредственно на главной раме рассева.

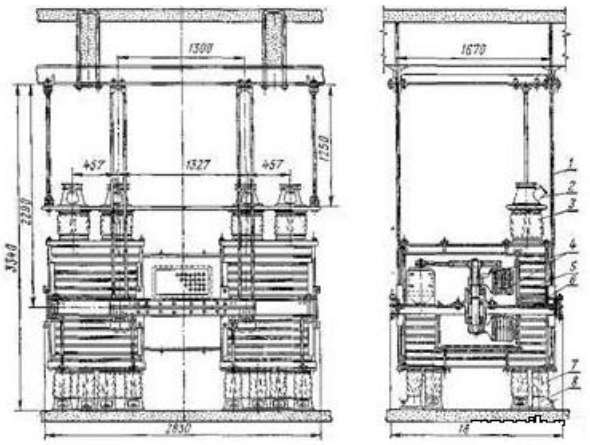


Рис. 2. Рассев ЗРМ-2М: 1 — трос; 2 — приемная аспирационная коробка; 3 — приемный рукав; 4 — балансирный механизм; 5 — ситовой корпус; 6 — главная рама; 7 — выпускной рукав; 8 — выпускной патрубок

Над корпусами рассева к металлической раме потолочного перекрытия на штангах прикрепляют приемную доску, на которой монтируют аспирационные коробки 2. Под корпусом на полу устанавливают патрубки 8, через которые из рассева выводят рассортированный продукт. Корпуса рассева соединяют с приемными коробками и выходными патрубками матерчатыми рукавами 3 и 7.

Шестиприемный рассев РЗ-БРБ

Шестиприемный рассев РЗ-БРБ (рис. 3). Представляет собой сборную конструкцию шкафного типа, состоящую из корпуса 8, дверей 9, приемных 7 и выпускных 10 устройств, балансирного механизма с приводом 2. Корпус подвешен к потолочной раме с помощью тростниковых подвесок 5. Приемные патрубки установлены на плите 6, прикрепленной стержнями 1 к раме 3.

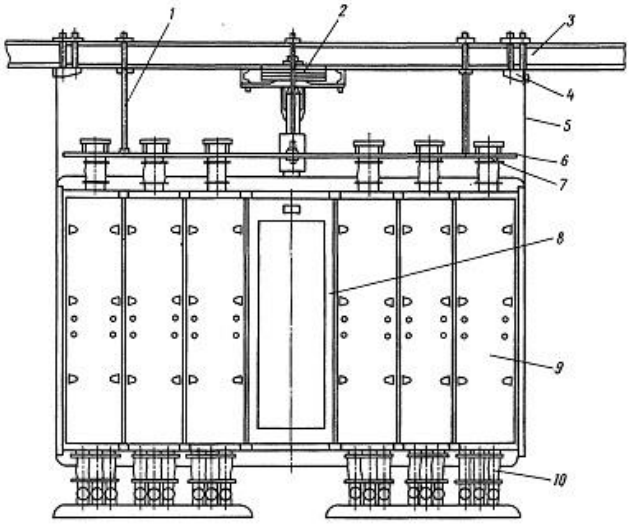


Рис. 3. Рассев РЗ-БРБ: 1 — стержень, 2 — привод, 3 — рама; 4 — кронштейн; 5 — подвеска, 6 — плита, 7, 10 — приемное и выпускное устройства, 8 — корпус, 9 — дверь

Корпус рассева (рис.2.4) представляет собой стальную несущую конструкцию, в которой смонтированы два каркаса 13. Между ними в центральной части корпуса установлен балансирный механизм 2. Корпус состоит из основания, крышек и восьми вертикальных стенок. Центральная его часть закрыта панелью 9. Она имеет съемную крышку 8 для доступа к балансирному механизму. Панель болтами прикреплена к основанию, крышке и стенам корпуса. Основные элементы корпуса соединены между собой кронштейнами и скреплены болтовыми соединениями. Все угловые соединения закрыты кожухами. Пыленепроницаемость рассева обеспечивают войлочные прокладки и уплотнительная замазка.

К внешним стенкам 12 втулками, болтами и гайками прикреплены кронштейны 14 для зажима подвесок 15. Корпус рассева подвешен к потолочному креплению на междуэтажном перекрытии. Для подвески используют четыре пакета из морского камыша (по восемь прутьев в каждом).

Каркас рассева представляет собой неразборную деревянную конструкцию. Один каркас является зеркальным отражением другого и состоит из тех же сборочных узлов и деталей. Каждый каркас состоит из четырех вертикальных стен, образующих остов трех секций. В верхней части стенки соединены между собой распорками, перемычками, планками и разделителем. С обеих торцевых сторон стенок болтами закреплены кронштейны 10 для установки дверок.

Соединение стенок в нижней части каркаса зависит от его технологического назначения, он имеет 24 формы исполнения. Отличие их заключается в конструкции днищ и установке перемычек.

В каждой секции к вертикальным брусьям с одинаковым шагом шурупами прикреплены направляющие 5 для ситовых рам с поддонами. В зависимости от форм каркасов, лючков и заглушек в днище корпуса и коробов в верхней части каждой секции шестиприемный рассев имеет 12 модификаций [1].

Технико-технологическое обоснование выбора модели рассева

Исходя из таблицы 1 можем выделить основные преимущества рассевов ЗРШ перед рассевом ЗРМ.

1. Тип исполнения:

- В рассевах шкафного типа (ЗРШ) удобнее менять сита: вытаскивается любое сито, не трогая остальные, а в рассевах ЗРМ необходимо снять крепления, на которых держаться все рамы и снять вышележащие рамы, пока не дойдет очередь до нужной рамы с ситом.
- Раму, снятую с рассева ЗРШ можно использовать повторно или использовать в других рассевах, а с рамы, снятую с ЗРМ необходимо снять сито, которое приходит в негодность для дальнейшего использования и заменить новым, что приводит к дополнительным расходам.

2. Способ очистки:

- В отличие от рассевов ЗРШ, где очистка сит происходит за счет резиновых очистителей, на рассевах ЗРМ – щетки, которые двигаются по заданному направлению и углы сит остаются неочищенными, что уменьшает просеивающую поверхность. Резиновые очистители дешевле щеток.

3. Мощность электродвигателя:

- расход электроэнергии примерно одинаковый, исходя из того, что ЗРМ – 2.8 кВт на 4 секции, а ЗРШ-6М – 4.5 кВт на 6 секций.

4. Расход воздуха на аспирацию

- Расход воздуха в одной секции на аспирацию ЗРМ – 9м^3/ч ЗРШ – 15м^3/ч. (В последнее время как правило рассева не аспирируются, эту функцию выполняет пневмотранспорт, который соединяется с рассевом самотеками.)

5. Удельная нагрузка

- Удельная нагрузка кг (м^2·сут) ЗРМ – 630-800, ЗРШ – 900-1000. Преимущество ЗРШ. Остальные параметры не имеют принципиального преимущества (значения).

Таблица 1. Техническая характеристика рассева

Показатели	ЗРМ, ЗРМ-2М	ЗРШ-6М
Полезная площадь сит, м^2	22 … 29	25.5
Удельная нагрузка при многосортных помолах пшеницы, кг/(м^2·сут)	630 … 800	900 … 1000
Число круговых колебаний в минуту	210	200, 220, 240
Радиус круговых колебаний, мм	45	50, 45, 40
Размеры ситовых рам, м	1,6×0,93	0,4×0,8
Число ситовых рам	12 … 14	16
Расход воздуха в одной секции на аспирацию, м^3/ч	9	15
Мощность электродвигателя, кВт	2,8	4,5

Тип исполнения	Пакетный	Шкафной
Транспортирование продукта	Гонками	Без гонков
Габариты, мм: Длина Ширина Высота (до приемной доски)	2830 1840 210	3060 2000 2370
Масса, кг	1800	2970

Рассев самобалансирующийся ЗРШ-6М предназначен для сортирования на фракции по величине продуктов размола зерна пшеницы на мукомольных предприятиях для обеспечения высокосортного помола. Рассев может использоваться при сортировании на фракции продуктов размола зерна других культур. Принцип работы рассева заключается в параллельном и последовательном просеивании продукта через набор плоских горизонтальных сит, совершающих круговое поступательное движение.

Исходный продукт из приемных коробок попадает в питатели, откуда распределившись на три потока, направляется на ситовые рамки кузова, с помощью которых происходит процесс сортирования.

Рассев (рис. 4) шестиприемный, состоит из цельнометаллического корпуса 8 подвешанного к металлической раме потолочного перекрытия на четырех металлических канатах 9, операющихся на подвески 2. Канаты крепятся к кузову при помощи замков 10 и клина. Приемно-распределительные и выпускные устройства рассева ЗРШ-6М аналогичны этим устройствам рассева ЗРШ-4М. Ситовые корпуса приводятся в круговое колебательное движение дебалансным колебателем. Цапфы колебателя 11 установлены в подшипниках, закрепленных на несущей раме. Вращение на шкив передается клиновидными ремнями от электродвигателя. Привод закрыт ограждением 12 [2].

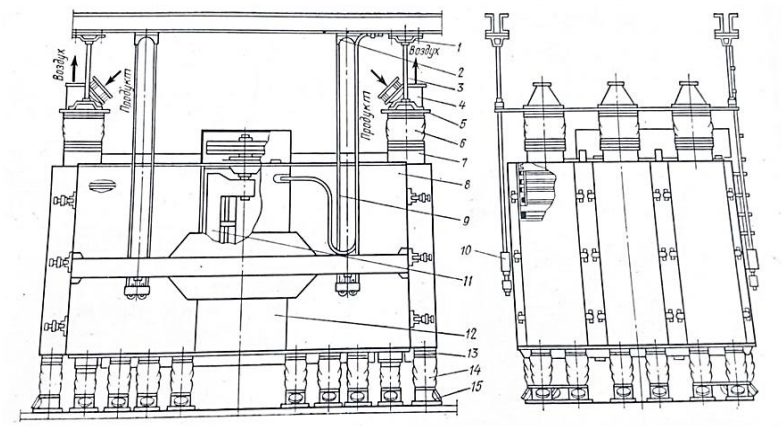


Рис. 4. Рассев ЗРШ-6М: 1-державка; 2-подвеска; 3-валик-штанга; 4-приемная коробка; 5- приемная доска; 6-приемный рукав; 7-приемный патрубок; 8-ситовой корпус; 9-канат; 10-замок; 11-дебалансный колебатель; 12-ограждение; 13-выпускной патрубок; 14-рукав; 15-напольный патрубок

Секции рассева выполняют по тем же технологическим схемам, что и рассева ЗРШ-4М (рис. 5). Рассев имеет двадцать одно исполнение, которое определяют номерами технологических схем и расположением соответствующих секций в шкафу рассева.

Ситовые рамы 1 рассева ЗРШ в комплекте с поддоном 8 (гладким днищем) или фордоном 3 (перфорированным днищем) вставляют в направляющие пазы секции (рис.

6). Нижние продольные бруски поддона служат боковыми стенками ситового канала нижележащей рамы, а верхнее поперечные бруски- это опора ситовой рамы.

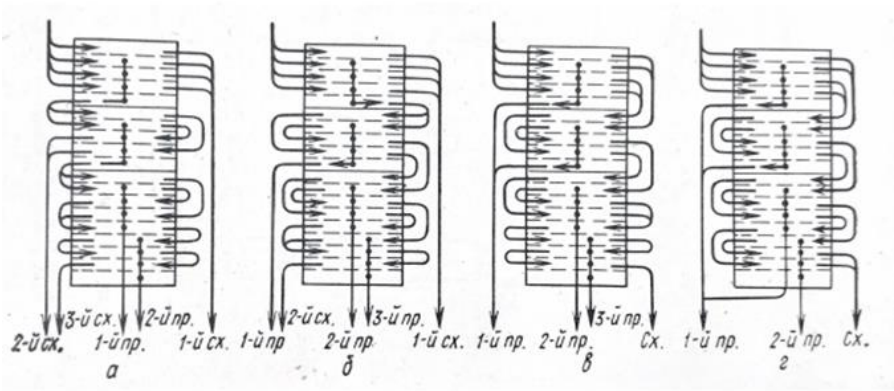


Рис. 5. Технологические схемы рассева ЗРШ-6М

Перфорированное или гладкое днище является опорой для оси 4 инерционной вращающейся щетки, очищающей сито. Под ситом с фордоном в секции расположен сборник с гонками, которые направляют продукт к сходовыи отверстиям.

Во всех ситовых рамах продукт над ситом движется в продольном направлении по каналам длинной 800мм (при ширине 400 мм), под ситом на гладком днище в поперечном направлении, стекая в обе стороны в боковые каналы, а на сборнике к сходовому отверстию.

Вращающаяся инерционная щетка показана на рис. 7. К одной из трех основных колодок 1 присоединен шарнир паводок 3.

Верхние наклонные пучки волоса 6 очищают сито, а нижние прямые поддерживают щетку на сборном днище и сметают с него проходовый продукт в боковые каналы. Основанием щетки служат две склепанные текстолитовые шайбы 2 с центральным отверстием ∅13 мм.

При поступательном движении рассева щетка вращается вокруг оси 08 мм, укрепленной на днище ситовой рамы, причем скорость вращения, а, следовательно, и интенсивность очистки в большой мере зависят от величины зазора.

Балансирный механизм рассева ЗРШ-6М состоит из вала, проходящего внутри трубы несущей рамы шкафа, приводного шкива, двух балансиров со сменными грузами и двух подшипниковых узлов: верхнего и нижнего. Корпуса обоих подшипниковых узлов при помощи болтов укреплены на фланцах центральной трубы

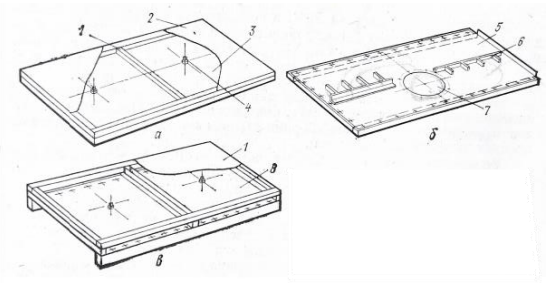


Рис. 6. Рама рассева: а – ситовая рама с фордоном (с перфорированным днищем); б – нижний сборник; в – ситовая рама с поддоном (гладким днищем); 1 – ситовая рама; 2 – сито; 3 – фордон с отверстием ∅ 10 мм для пропуска проходовой фракции; 4 – ось, на которой вращается щетка; 5 – сборник; 6 – гонки для направления продукта к отверстию; 7 – отверстие для вывода продукта; 8 – поддон

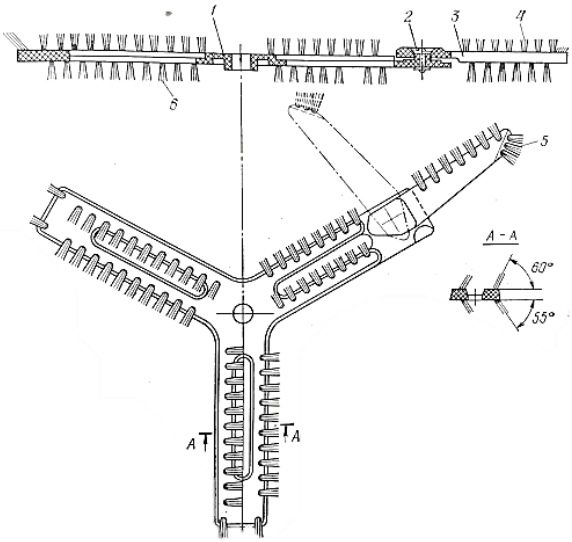


Рис. 7. Инерционная вращающаяся щетка: 1 – основная колодка; 2 – шайба; 3 – поводок; 4 – пучки из козьей шерсти; 5 – пучки из щетины хребтовой; 6 – пучки из конского волоса с проволокой

Радиальные реакции воспринимаются двухрядными роликовыми подшипниками, масса балансирного вала (в верхнем подшипниковом узле) — упорным шариковым подшипником. Балансирный вал приводится во вращение через клиноременную передачу от электродвигателя, смонтированного на кронштейне, укрепленном сверху шкафа. Изменяя число грузов в балансирах, можно устанавливать различные радиусы круговых колебаний рассева. [2].

Модернизация шкафных рассевов

Для модернизации шкафных рассевов нужно унифицировать рамы, поддоны, днища, секции и подшипниковые узлы, заменить инерционные питатели на тарельчатые и убрать гонки в рамках.

В шкафах над каждой секцией необходимо установить патрубки с питателями, позволяющими равномерно распределить исходный продукт на первые четыре ситовые рамы.

Литература

1. Птушкин Г. Е., Товбин Л. И. Высокопроизводительное оборудование мукомольных заводов. М. : Агропромиздат, 1987. 288 с.
2. Соколов А. Я, Журавлев В. Ф, Душин В. Н и др.: Под ред. Соколова А. Я. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1984. 445 с.
3. Мерко И. Т. Технология мукомольного производства. М. : Агропромиздат, 1985. 288 с.
4. Бутковский В. А. Мукомольное производство. М. : «Колос», 1976. 352 с.
5. Демский А. Б., Борискин М. А., Тамаров Е. В., Чернолихов А. С. Оборудование для производства муки и крупы. М. : Агропромиздат, 1990. – 351 с.
6. Айзиковчич Л. Е., Хорцев Б. Н. Технология производства пшеничной и ржаной муки. 1954. 519 с.
7. Бутковский В. А., Мельников Е. М. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии). М. : Агропромиздат, 1989. 464 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОЦИКЛІЧНОЇ ОБРОБКИ І ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

Омельченко Василь, студент групи МС-41-17, Кортяк Андрій, студент групи МС-31-18, ХНАДУ

Анотація: *Особливе місце в діях щодо забезпечення безперебійної експлуатації обладнання надається його надійному захисту від корозії і використання в зв'язку з цим корозійностійких матеріалів.*
Ключові слова: *корозія, шорсткість, твердість, мікроструктура.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОЦИКЛИЧНОЙ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ

Омельченко Василий, ст. гр. МС-41-17, Кортяк Андрій, ст. гр. МС-31-18, ХНАДУ

Аннотация: *Особое место в действиях по обеспечению бесперебойной эксплуатации оборудования предоставляется его надежной защите от коррозии и использования в связи с этим коррозионностойких материалов.*
Ключевые слова: *коррозия, шероховатость, твердость, микроструктура.*

STUDY OF THE EFFECT OF THERMAL CYCLING TREATMENT AND SURFACE LAYER QUALITY ON THE CORROSION RESISTANCE OF STEELS

Vasily Omelchenko, student of MS-41-17 group, Andrey Kortyak, student of MS-31-18 group, KhNAHU

Abstract: *A special place in the actions to ensure the smooth operation of the equipment is given to its reliable protection against corrosion and the use of corrosion-resistant materials in this regard.*
Key words: *corrosion, roughness, hardness, microstructure.*

Вступ

Сучасні темпи розвитку промисловості та інтенсифікація виробничих процесів, основні технологічні параметри висувають високі вимоги до експлуатації металевих конструкцій та технологічного обладнання. Потреба в здійсненні заходів щодо захисту від корозії виникає у зв′язку з тим, що втрати від корозії приносять надзвичайно великий збиток [2].

Морська вода - найпоширеніша речовина на поверхні планети, має дуже складний хімічний розчин [3]. Переважна кількість морської води знаходиться в Світовому океані. Тому захист від морської корозії – це найактуальніша проблема людства. Морській корозії піддаються різні металеві конструкції в портах, металоконструкції, що знаходяться у воді, ряд деталей морського обладнання (буї, знаки, огородження), металева оббивка днищ суден, підводні трубопроводи, морська авіація та ін.

В даний час боротьба з корозією відбувається різними методами - методами дії на корозійне середовище, на сам метал, використовують електрохімічні методи захисту, які стають можливими в тому випадку, коли відомі механізми корозії і фактори, що на неї впливають. Корозії металів неможливо

повністю запобігти, у зв′язку з цим головним напрямом боротьби з нею є пошук способів її уповільнення [4]. На швидкість корозійних процесів впливають внутрішні і зовнішні фактори [5]: внутрішні - визначаються складом металу і його станом; зовнішні - природою і властивостями корозійного середовища і його параметрами.

Аналіз публікацій

Корозією називають мимовільне руйнування металевих матеріалів при їх хімічній або електрохімічній взаємодії з навколишнім середовищем [6]. Корозія викликається термодинамічною нестійкістю матеріалів, їх прагненням перейти в новий стан в умовах експлуатації. В залежності від характеру протікаючих реакцій і відповідно механізму протікання всі корозійні процеси ділять на два види - хімічні і електрохімічні [6].

Більш поширеною є електрохімічна корозія, яка пояснюється теорією мікрокорозійних елементів. Сутність якої в тому, що при зіткненні з електролітом на поверхні металів і сплавів виникає електрохімічна гетерогенність (неоднорідність) - це ділянки з різними електродними потенціалами. В результаті цього вся поверхня металу вкривається короткозамкнутими мікрокорозійнимі елементами, що діють за принципом гальванічного елемента.

На інтенсивність електрохімічної корозії металів впливають різноманітні фактори, які можна розділити на внутрішні і зовнішні. Внутрішні фактори визначаються складом і станом металу, якістю поверхневого шару виробу. Впливати на внутрішні фактори можно термічною, термоциклічною, хіміко-термічною або механічною обробкою металу та іншими методами.

Методики досліджень

Дослідження проводилися на низьколегованій сталі 10ХСНД, яка має хімічний склад: 0,11 % C; 0,99 % Si; 0,65 % Mn; 0,85 % Cr; 0,55 % Cu; 0,032 % S; 0,03 % P; 0,75 % Ni, що визначали портативним лазерним аналізатором Laser Z200 C+. Дослідження проводилися на зразках, що мали форму кілець діаметром 42 мм і шириною 12 мм. Всі зразки вирізалися з однієї заготовки. Після термічної обробки зразки надівали на оправку, обробляли точінням твердим сплавом Т15К6 (чорнова обробка) на токарно-гвинторізному верстаті 1К62. Після чорнового точіння всі зразки на одній оправці, яку закріплювали в шпинделі токарного верстата, піддавали чорновому, на другій – чистовому шліфуванню абразивними шкурками різної зернистості для отримання шорсткості поверхні різної величини.

Для дослідження шорсткості за параметром Ra використовували вимірювач шорсткості поверхні TR-200.

В якості показника корозії розраховували втрату маси на одиницю площі поверхні Δm, г/м^2 за формулою

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{S}$$

де m_0 - маса зразка до випробувань, г;

m_1 - маса зразка після випробувань і видалення продуктів корозії, г;

S - площа поверхні зразка, м^2.

Масу зразків вимірювали на електронних вагах з точністю 0,0001 г.

Зразки надівали на оправку і затискали гайкою. В цьому випадку корозії піддавалася тільки циліндрична поверхня зразків, що дозволило досліджувати вплив якості поверхні на процес корозії.

Оправка із зразками повністю занурювалася у воду, воду не перемішували. Через кожні 4 доби (96 годин) проводили взвішування зразків. Корозійні випробування проводили на протязі 16 діб для дослідження швидкості корозії.

Дослідження впливу термоциклічної обробки та шорсткості поверхневого шару на корозійну стійкість низьколегованої сталі у морській воді

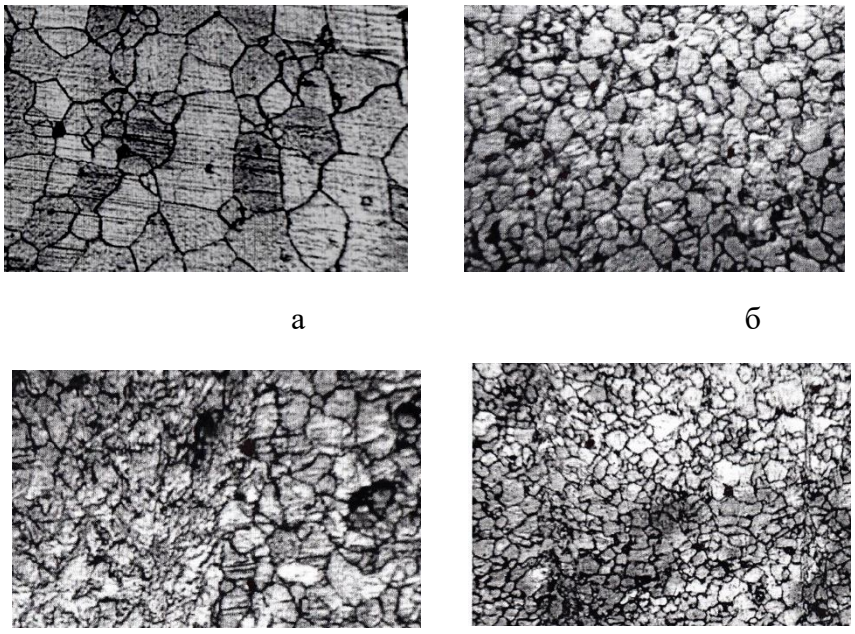
В нашій країні досить протяжне морське узбережжя. Тому у морській воді від корозії потерпає обладнання та споруди транспортного, військово-морського та промислового флотів, підприємств суднобудування і портів, берегових опріснювальних установок і електростанцій, морського видобутку нафти, газу і корисних копалин, трубопроводи та ін. споруди і обладнання. Для виготовлення різноманітних конструкцій, особливо зварних, широко використовується низьковуглецева низьколегована сталь 10ХСНД [16]. Це викликає необхідність вивчення процесів морської корозії цієї сталі та розробки методів запобігання неї.

Одним із способів впливу на електрохімічну гетерогенність є розмір зерна. Було запропоновано піддавати сталь 10ХСНД відпалу (нагрів до 900 °С, витримка на протязі 2-х годин, охолодження з піччю) для отримання крупного зерна і термоциклічній обробці [14]. Було запропоновано піддавати сталь термоциклічній обробці (ТЦО) за режимами: 1-, 2-, 3-кратний пічний нагрів сталі до температури 770 °С з наступним охолодження на повітрі після кожного цикла. Мікроструктура сталі після ТЦО наведена на рис.1.

В результаті ТЦО суттєво зменшився розмір зерна сталі. Згідно літературних даних [14] найбільш інтенсивно зменшується розмір зерна при 3-х циклах. Тому збільшувати кількість циклів ТЦО далі з економічної точки зору недоцільно.

Зразки сталі після термічної обробки піддавали шліфуванню для отримання різної шорсткості.

Були проведені дослідження впливу структури і шорсткості сталі 10ХСНД на показники корозійної стійкості у морській воді (рис. 2).



збільшення × 650

а – після відпалу; б-г - після 1-3 циклів відповідно

Рис. 1. Зміна структури сталі 10ХСНД при термоциклічній обробці

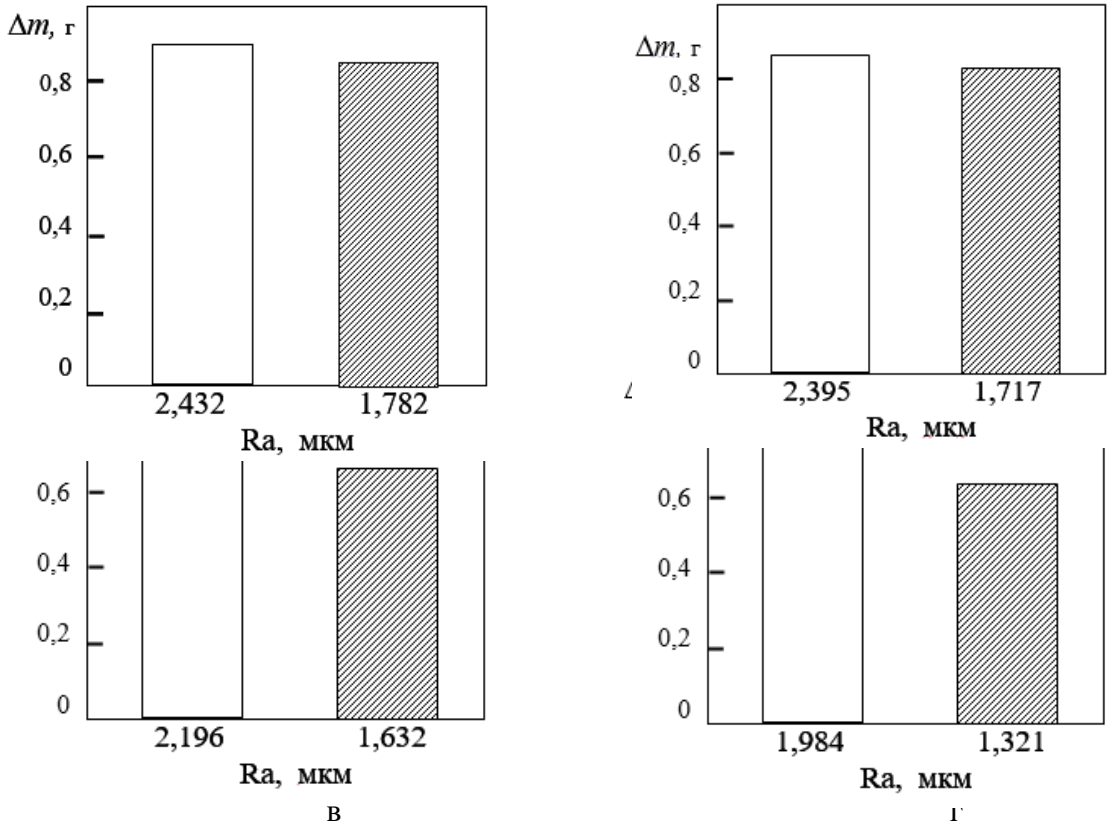
Після корозійних випробувань був проведений загальний огляд, який показав, що мала місце рівномірна корозія.

Із зменшенням висоти нерівностей втрата маси при дослідженні корозійного впливу зменшується у всіх випадках – і для зразків, які піддавали відпалу, і для зрізків після ТЦО.

Втрата маси у зразків, що відрізнялись тільки висотою нерівностей, менше для зразків із меншою шорсткістю. Зниження нерівностей підвищує корозійну стійкість металу, полегшує формування більш якісних і однорідних плівок. Шорстка поверхня збільшує дійсну поверхню металу та ускладнює формування захисних плівок.

Аналіз результатів корозійних випробувань показав, що із збільшенням кількості циклів втрати маси зменшуються. Фазовий склад сталі 10ХСНД – ферит (Fe_α) і карбіди (Fe_3C). В результаті зіткнення цементиту (карбідів) і фериту з електролітом – морською водою - виникають електродні потенціали, при цьому φ (Fe_α) < φ (Fe_3C), що призводить до утворення мікрокорозійних елементів (рис. 3).

Збільшення кількості циклів сприяє зменшенню розміру зерна фериту, подрібненню карбідів, збільшенню однорідності зеренної будови сталі, зменшенню розмірів мікрокорозійних гальванічних пар. Такі зміни структури, вірогідно, і забезпечують зменшення корозійного впливу на сталь.



білий колір – чорнове шліфування, заштрихований – чистове шліфування
а – сталь після відпалу, б – сталь після ТЦО 1 цикл,
в – після ТЦО 2 цикли, г – після ТЦО 3 цикли

Рис. 2. Вплив структури і шорсткості поверхні на корозійний показник Δm

Таким чином, найбільш сприятливою з точки зору корозійної стійкості є структура з дрібним зерном, яку отримали після 3-х циклів термоциклічної обробки. Сталь з такою структурою піддається, при інших однакових умовах, загальній рівномірній корозії в меншому ступені.

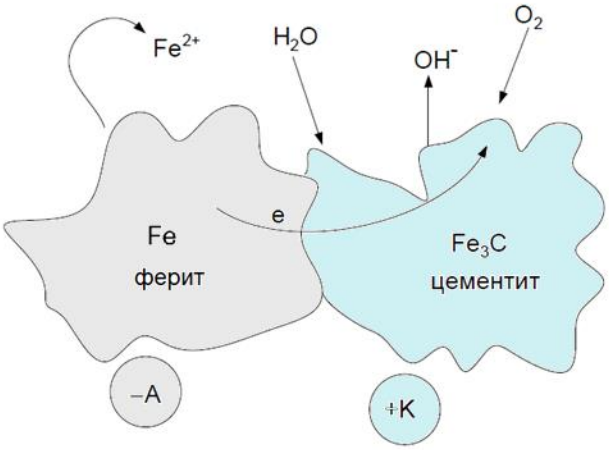


Рис. 3. Виникнення мікрокорозійного елемента на поверхні сталі [7]

Сталь, яку піддавали відпалу, має меншу корозійну стійкість, ніж сталь, яку піддавали ТЦО за трьома циклами, що можна пояснити більшими розмірами зерна [21].

На основі проведених випробувань можна зробити висновок, що технологічні методи, які впливають на структуру сталі (термічна обробка) і шорсткість її поверхневого шару (механічна обробка), досить ефективного впливають на корозійні властивості сталі.

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що корозійну стійкість низьколегованих сталей у морській воді можна змінювати термоциклічною і механічною обробкою, які впливають на структуру сталі і шорсткість обробленої поверхні.

2. Втрата маси у зразків, що відрізнялись тільки висотою нерівностей, менше для зразків із меншою шорсткістю.

3. Корозійний показник Δm для низьколегованої сталі у морській воді зменшується із збільшенням кількості циклів ТЦО, яка є ефективним способом подрібнення зерна. Оптимальним режимом ТЦО є три цикли обробки.

4. Проведені випробування показали, що термоциклічна та механічна оброки є досить ефективними технологічними засобами підвищення корозійної стійкості низьколегованої сталі за рахунок збільшення дисперсності структури і зниження шорсткості поверхні, що забезпечує зменшення розмірів мікрокорозійних гальванічних пар.

Література

1. Мудрук А. С. Гончаренко П. В. Коррозия и вопросы конструирования. К. : Техніка, 1984. 135 с.

2. Коломийцев Е. В. Коррозионная стойкость сварных соединений судокорпусных материалов. *Автоматическая сварка.* 2012. №4. 59-64.

3. Волошин І. І., Чирва В. Г. Географія Світового океану: навч. посібник для вчителів серед. загальноосвіт. шк. К.: Перун, 1996. 224 с.

4. Улиг Г. Г. Реви Р. У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / пер. с англ. / под ред. А. М. Сухотина. Л. : Химия, 1989. 456 с.

5. Кузуб В. С. Анодная защита технологического оборудования. М. : Металлургия, 1989. 96 с.

6. Авдеєнко А. П., Поляков О. Є., Холмовой Ю. П. Корозія та захист металів : навч.-метод. посіб. Краматорськ : ДДМА, 2008. 235 с.

16. Міхеєв О. І., Серова Т. О. До питання щодо корозії у судноплавстві. *Новітні технології. Збірник наукових праць.* Київ, 2018. Вип. 2(6). С. 79-87.

14. Федюкин В. К., Смагоринский М. Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. Л., Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1989. 255 с.

7. Григорьева Н. Д., Даниловская Л. П., Таланова Э. И. Коррозия металлов и судовых конструкций : методические указания к лабораторным работам. СПб : СПбГМТУ, 2005. 32 с.

21. Феоктистова М.В. Влияние химического состава и структурных факторов на коррозионную стойкость низколегированных сталей в водных средах : дис… канд. техн. наук : 05.16.01 / Москва, 2016. 177 с.

ВИБІР РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЯННЯ ПІДВИЩУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПІВ ХОЛОДНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Лючкова Є.В., ст. гр. МС-41-17,, Воротинцев М.А., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Анотація: *вибір відповідного інструментального матеріалу є тільки однією з умов для виготовляння інструмента. Конструкція, якість виготовляння, термообробка і поверхневе зміцнювання вирішальним чином впливають на термін служби інструмента.*
Ключові слова: *твердість, міцність, адгезія, коефіцієнт лінійного розширення, дифузія, теплопровідність.*

ВЫБОР РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Лючкова Є.В., ст. гр. МС-41-17,, Воротинцев М.А., ст. гр. МС-42т1-18, ХНАДУ

Аннотация: *выбор соответствующего инструментального материала является только одним из условий для изготовления инструмента. Конструкция, качество изготовления, термообработка и поверхностное упрочнение решающим образом влияют на срок службы инструмента.*
Ключевые слова: *твердость, прочность, адгезия, коэффициент линейного расширения, диффузия, теплопроводность.*

SELECTION OF HEAT TREATMENT REGIMES TO IMPROVE THE PERFORMANCE PROPERTIES OF COLD FORMING DIE PARTS

Lyuchkova E., student MS-41-17, Vorotintsev M., student MS-42t1-18, KhNAHU

Abstract: *The selection of an appropriate tool material is only one of the conditions for tool manufacturing. Design, workmanship, heat treatment and surface hardening have a decisive influence on tool life.*
Key words: *hardness, strength, adhesion, coefficient of linear expansion, diffusion, thermal conductivity.*

Вступ

Однією з умов одержання високоякісного інструмента є вибирання інструментального матеріалу, який відповідає призначенню інструмента і навантажуванням, які виникають у процесі його роботи. Термообробка може в широкому інтервалі змінити структуру, а отже, властивості інструментальних матеріалів.

Якість інструментального матеріалу визначається комплексом механічних і фізико-хімічних властивостей: границею міцності, твердості, границею витривалості, адгезією з матеріалом, що обробляється, модулем пружності, коефіцієнтом лінійного розширяння, коефіцієнтом дифузії, теплопровідністю, швидкістю окиснювання.

За своїм складом, структурою і властивостями інструментальні сталі надзвичайно різноманітні. Усе ширше використовують середньо- і високолеговані сталі. Особливо підвищився інтерес до сталей для інструментів холод-ного і гарячого

пластичного деформування. Поліпшування властивостей інструментальних сталей досягається застосуванням сучасних технологічних процесів: електрошлакового і електронно-променевого переплавляння, всебічного деформування при куванні злитків, порошкової металургії, поверхневого зміцнювання та ін.

Аналіз публікацій

Штампи холодного деформування працюють в умовах високих знакоперемінних динамічних навантажень, які супроводжуються зношуванням і значним нагріванням робочих частин.

Основні причини виходу з ладу інструмента: крихке руйнування від високих, а також від діючих змінно-діючих напружень; малоциклова втома, зміна форми та розмірів штампів у результаті абразивного, ударно-абразивного зношування.

Особливості експлуатуванні штампів холодного деформування визначають основні вимоги, які пред'являються до матеріалів для їх виготовляння: підвищена твердість HRC 54 – 64 і зносостійкість; високий опір малим пластичним деформаціям; задовільна міцність і в'язкість; малоциклова витривалість; достатня теплостійкість – до 450 °С при жорстких умовах штампування [2].

Залежно від виду операцій, властивостей матеріалу, який штампується, стану устаткування та інших факторів роль кожного з перерахованих властивостей може змінюватися. Тому для штампів залежно від їх призначення, форми та розмірів необхідно вибирати численні та різні за складом сталі.

Робочі елементи штампового споряджання виготовляються зі сталей підвищеної зносостійкості та границею текучості при стисканні Х12М и Р6М5. Для них характерна більша карбідна неоднорідність у великих перерізах; що різко знижує міцність і в'язкість. Для одержання підвищеної чистоти за неметалевими вкрапленнями, щільності та однорідності, зменшування розмірів і більш рівномірного розподіляння карбідів, поліпшування ковкості та знижування небезпеки виникання тріщин перераховані сталі застосовують після електрошлакового переплавляння. Отримані злитки піддають перековуванню: заготовку для матриці за схемою осідання для горизонтального розташування волокон. Досліджування [1] дозволили встановити наступні причини незадовільної стійкості інструмента: підвищена твердість інструмента (HRC 62–64), і, як наслідок, знижена ударна в'язкість; карбідна неоднорідність структури інструментальних сталей (Х12М, Р6М5), які застосовуються; наявність дрібних металевих частинок на різальному краю матриці; коливання температури на ділянці пресів, що викликають зміну розмірів деталей, що спрягаються.

Особливості термічного обробляння сталі Х12М. Стандартна температура гартування сталі – 1020 °С. Відпускання 180– 400 °С на твердість HRC 62–56. Внаслідок того, що аустеніт має мінімальний об'єм, а мартенсит – максимальний, то при підвищуванні температури відпускання інтенсивніше протікає перетворювання залишкового аустеніту в мартенсит і, отже, збільшування об'єму загартованого інструмента. Таке приймання використовують для виправляння ослаблених розмірів штампового споряджання.

Рекомендації із гартування сталі Х12М на вторинну твердість від 1100, 1150 і навіть 1200 °С з підвищеною кількістю залишкового аустеніту до 70 % не знайшли широкого промислового застосування.

Застосування високохромистих сталей виправдане, насамперед, термічним оброблянням в окиснювальних електропечах, тому що хром перешкоджає окиснюванню сталей при нагріванні до високих температур.

Гартування від більш високих температур знижує твердість внаслідок залишкового аустеніту і знижує міцність через зростання зерна.

Однак при відпусканні більше 400 °С твердість зростає через перетворювання залишкового аустеніту в мартенсит зі збільшуванням розмірів інструмента.

Х12М відноситься до сталей, руйнування яких при розтягуванні та вигині відбувається крихко через підвищений вміст карбідів у структурі загартованої сталі та відпущеної сталі. Тому при всіх режимах зміцнювального термічного оброблянння зі зростанням твердості відбувається знижування міцності.

Однак при однаковому рівні твердості, міцність при вигині змінюється в широкому інтервалі залежно від режимів термічного оброблянння. Ця обставина дозволяє диференційовано призначати режими оброблянння для штампів різних груп, відповідно до найважливішої властивості, що визначає високу стійкість інструмента.

Для штампів витягування, згинання і форм пресування порошків, основною вимогою є висока зносостійкість. Термічне оброблянння повинне забезпечувати максимальну твердість. Найбільша твердість (62–63 HRC) досягається при комбінації попереднього термічного оброблянння з наступної східчастим гартуванням.

Попереднє термічне оброблянння (ПТО) включає гартування від 850 °С з охолоджуванням у оливі та високим відпусканням 740–750 °С.

Режими остаточного термічного оброблянння: гартування від 1020 °С з охолоджуванням при 500 °С, 20 хв із наступним охолоджуванням на повітрі (рис. 1, а). Після відпускання при 180 °С, 1–2 години твердість становить HRC 62–63, $\square_{виг}$ =3 000 МПа.

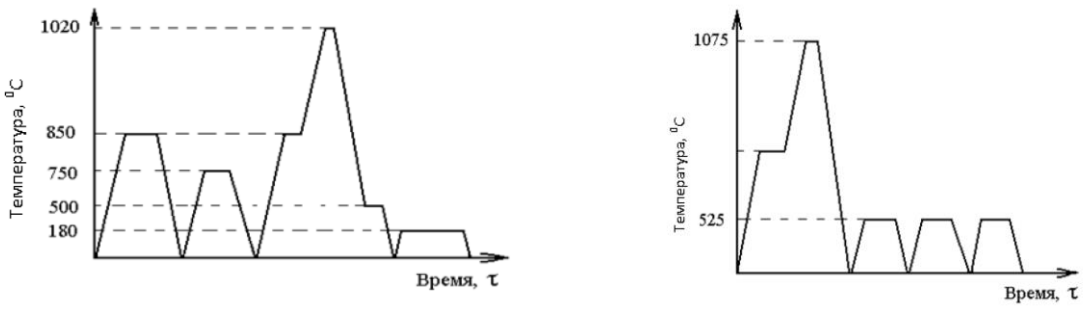
При виконанні гартування на вторинну твердість із безперервним охолоджуванням (без ПТО), досягається висока границя міцності ($\square_{виг}$ = 3 000 МПа) при низькій твердості HRC 58. Це викликане тим, що мартенсит високовідпущеної сталі містить меншу кількість вуглецю і має більш високий запас пластичності. Карбіди, що виділилися при відпусканні, типу M_7C_3, не викликають істотного ефекту дисперсійного твердіння. ПТО, виконана перед гартуванням на вторинну твердість, суттєво підвищує твердість (до HRC 61) і дозволяє максимально збільшити рівень міцності до $\square_{виг}$ = 3 300 МПа.

Поліпшування механічних властивостей при ПТО досягається в результаті знижування гартівних напружень, підвищуванням щільності сталі, закриттям дефектів від міжатомної взаємодії при пластичній деформації.

Комбінація високої твердості та міцності при східчастому гартуванні сталі Х12М обумовлена більш високою легованістю твердого розчину, що досягається ізотермічним витримуванням в області максимальної стійкості аустеніту, коли швидкості дифузійного й бездифузійного перетворювання заліза мінімальні у зв'язку зі зміною механізму □□□□□□□перетворювання; за умови, що кількість залишкового аустеніту не перевищує 40 %, що викликає втрату мартенситного каркаса.

Це забезпечується попереднім термічним оброблянням перед східчастим гартуванням, коли відбувається наклеп аустеніту і пов'язане із цим знижування кількості залишкового аустеніту.

Для багатьох штампів вирубування, при роботі яких виникає зминання й викришування, рекомендується гартування на вторинну твердість у комбінації з попереднім термічним оброблянням, що забезпечує високу міцність ($\square_{виг}$ = 3 300 МПа) при досить високій твердості HRC 59–61 за режимом: гартування від 1075 °С, олива; відпускання 525 °С, 3 рази по 1 годині (рис. 1, б).



а б

Час, г Час, г

Рис. 1. Режими термічного обробляння сталі Х12М:
а - схема східчастого термічного обробляння;
б - схема термообробляння на вторинну твердість

Задача даної роботи – досліджування впливу різних параметрів зміцнювального термічного обробляння на структуру та властивості сталі Х12М, а також вибирання оптимального режиму термічного обробляння інструменту з метою забезпечування високого рівня експлуатаційних властивостей.

Однією із задач матеріалознавства є пошук і створювання таких структурних станів, які забезпечують високий рівень показників працездатності різального інструменту, його зносостійкості, теплостійкості (червоностійкості), довговічності.

На вимогу замовника, який займається проектуванням і виготовлянням технологічного споряджання для холодного деформування, твердість повинна знаходитися в інтервалі 58– 60 HRC.

Для виконання поставленої мети був проведений комплекс металографічних, механічних та аналітичних досліджень зразків в вихідному стані, після гартування від різних температур з охолоджуванням у різних середовищах і наступного відпускання. Температури гартування змінювалися від 1 000 °С до 1 050 °С, а температура відпускання дорівнювала 200, 400 та 600 °С тривалістю 1 година.

Методики досліджень

Термічне обробляння зразків при гартуванні здійснювалось у печах при температурах 800 °С, 1 000 °С, 1 050 °С, при цьому перша піч призначалась для попереднього нагрівання; час витримування 10 хвилин при кожній температурі. Охолоджування проводилось в оливі. Також для зразків, загартованих від температури 1 000 °С та 1 050 °С були проведені три режими відпускання: низьке відпускання у печі з температурою 200 °С, середнє відпускання у печі з температурою 400 °С і високе відпускання у печі з температурою 600 °С тривалістю 1 година кожне. Один із зразків після нагрівання до 1050 °С охолоджувався на повітрі, після чого проводилось низьке відпускання у печі з температурою 200 °С.

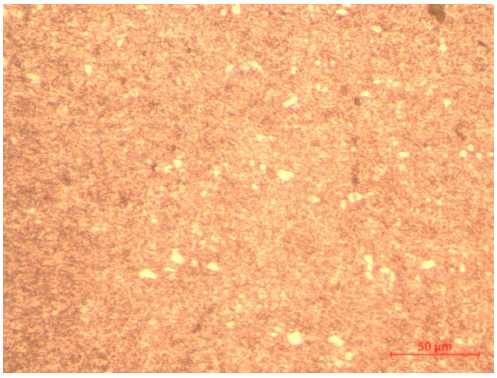
Після проведення травлення проводилося досліджування мікроструктури. Готові протравлені шліфи встановлювались на мікроскоп МІМ-7, де і відбувалося фотографування мікроструктур за допомогою фотоапарату «Canon Pawer Shot A630» із спеціальним перехідником до мікроскопу. Перехідник установлювався на тубус окуляра залежно від необхідного збільшування 200 та 500.

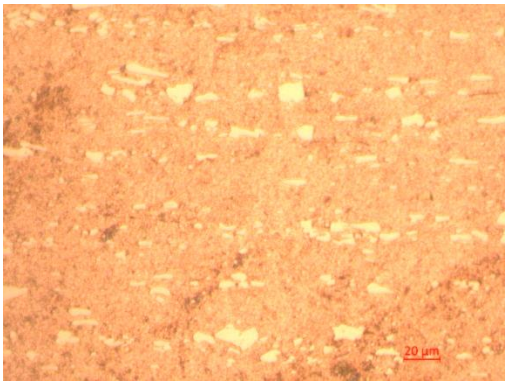
Вимірювання твердості зразків сталі Х12М проводились на приладі Роквелла, як індентора використовувався алмазний конус з кутом при вершині 120º і радіусом закруглення 0,2 міліметра.

Для порівняння даних твердості виміряних за різними шкалами, був проведене переведення значень у твердість за Бринеллем.

Металографічне аналізування

Вихідний стан сталі Х12М після ізотермічного відпалювання забезпечує отримання структури дрібнозернистого перліту та карбідів зернистої форми, тобто структури сорбіту (рис. 2, а). Така структура дає отримання невисокого рівня твердості, але високі технологічні властивості. Сталі зі структурою зернистого сорбіту добре оброблюються різанням і тиском у холодному стані на відміну від структур пластинчастого типу. Частка карбідів, а саме переважно карбідів хрому Cr_7C_3, становить 15–17 %, відповідно залишкова частка належить легованому хромом та ванадієм фериту. Спостерігається деяка карбідна неоднорідність в розподілянні карбідів по перерізу.





а б

Рис. 2. Мікроструктура сталі Х12М, збільшування × 500:
а у вихідному стані; б після гартування, T = 1 000 °С, олива, відпускання, T = 200 °С

Гартування від температури 1 000 °С приводить до утворювання мартенситу загартування з деякою кількістю залишкового аустеніту [5]. Згідно рис. 3 кінець мартенситного перетворювання цієї сталі знаходиться в області від'ємних температур, приблизно при – 50 °С. Тому мартенситне перетворювання не йде до кінця і частина аустеніту залишається неперетвореною. Структура після гартування складається з мартенситу гартування, карбідів Cr_7C_3 і невеликої кількості залишкового аустеніту (~ 3 %). Гартування не усуває карбідної неоднорідності, яка виникла внаслідок пластичного деформування сталі.

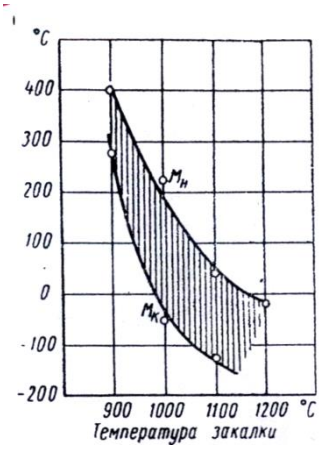


Рис. 3 – Мартенситна діаграма сталі Х12 [4]

На загартованій сталі проводилось відпускання за трьома режимами. На вимогу замовника, який займається проектуванням і виготовлянням технологічного споряджання для холодного деформування, твердість повинна знаходитися в інтервалі 58–60 HRC. Таку твердість може забезпечити тільки мартенситна складова зі зміцнювальною карбідною фазою, причому кількість залишкового аустеніту не повинна перевищувати 10–15 %.

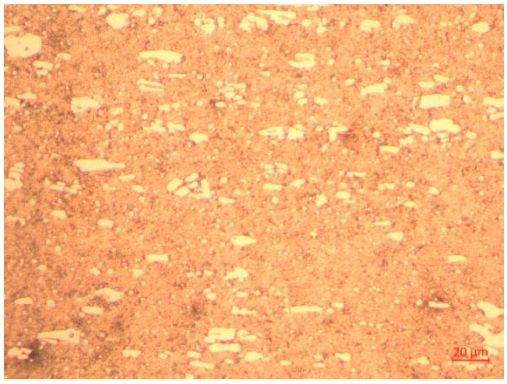
Як середовище гартування проведене вибрання оливи, температура якої повинна знаходитися в інтервалі 20–60 °С. Такий вид гартування забезпечує отримання необхідної структури внаслідок підвищеної стійкості переохолодженого аустеніту, насиченого легувальними елементами [5].

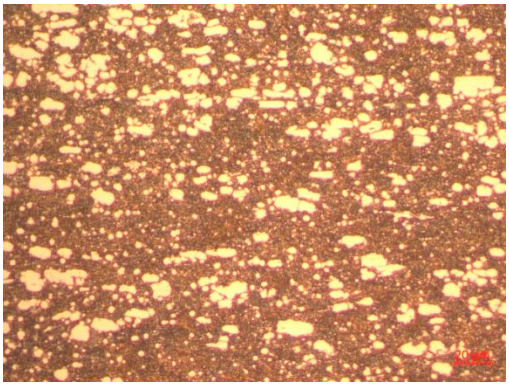
Таке безперервне гартування в одному середовищі забезпечує протікання мартенситного перетворювання в повному об'ємі, але призводить до утворювання досить значних внутрішніх напружень. Для їх зменшування, а також попереджання деформування виробів, рекомендується ізотермічне гартування при якому як гартувальне середовище використовується селітра, нагріта до температури 400–550 °С з подальшим охолоджуванням до кімнатної температури.

Низьке відпускання при температурі 200 °С приводить до процесів перетворювання мартенситу гартування в мартенсит відпускання, що візуально при спостеріганні мікроструктури неможливо виявити, але схильність до травлення мартенситу відпускання вища ніж у мартенситу гартування (рис. 2, б). Низькотемпературне відпускання зберігає неперетвореним залишковий аустеніт.

Середнє відпускання при температурі 400 °С приводить до процесів розпадання мартенситу гартування з утворюванням дисперсних продуктів перетворювання типу троостит відпускання (рис. 4, а) і початком розпадання залишкового аустеніту. Карбіди залишаються дрібнодисперсними, у розташуванні їх відзначається неоднорідність.

Високе відпускання при температурі 600 °С приводить до процесів коагулювання карбідів і формування структури з сорбітом відпускання. Кількість залишкового аустеніту при цьому значно знижується (рис. 4, б).





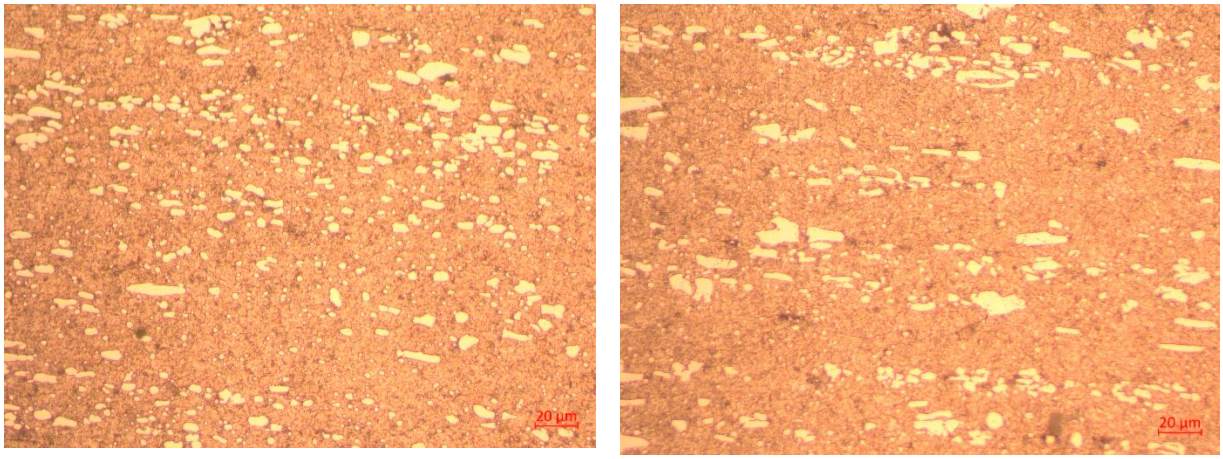
а б

Рис. 4. Мікроструктура сталі Х12М, збільшування × 500:
а - після гартування, T = 1 000 °С, олива, відпускання, T = 400 °С;
б - після гартування, T = 1 000 °С, олива, відпускання, T = 600 °С

Підвищування температури гартування до 1 050 °С призводить до більшого розчиняння карбідів в аустеніті, такий легований аустеніт при охолоджуванні перетворюється у мартенсит більшої легованості. Кінець мартенситного перетворювання при цьому знижується до – 100 °С, тобто досить значна частка аустеніту залишається неперетвореною при охолоджуванні до кімнатної температури (рис. 3).

Низьке відпускання при температурі 200 °С хоча і приводить до процесів перетворювання мартенситу гартування в мартенсит відпускання, але візуально при спостеріганні мікроструктури це неможливо виявити, хоча схильність до травлення мартенситу відпускання вища ніж у мартенситу гартування (рис. 5, а). Внаслідок наявності великої кількості легувальних елементів розпадання залишкового аустеніту не відбувається.

При середньому відпусканні при температурі 400 °С починаються процеси розпадання мартенситу гартування, при цьому утворюються дисперсні продукти перетворювання типу троостит відпускання (рис. 5, б). Ця температура приводить до початку розпадання залишкового аустеніту. Карбіди залишаються дрібнодисперсними, у розташуванні їх відзначається неоднорідність.



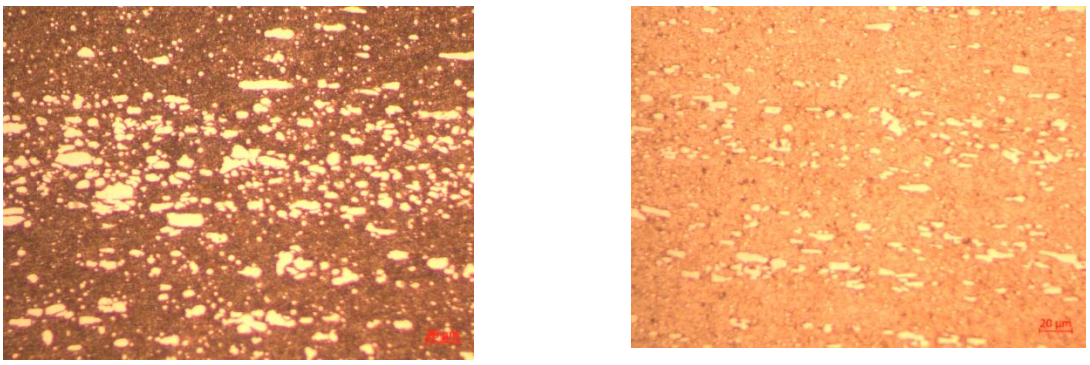
а б

Рис. 5 – Мікроструктура сталі Х12М, збільшування × 500:
а - після гартування, T = 1 050 °С, олива, відпускання, T = 200 °С;
б - після гартування, T = 1 050 °С, олива, відпускання, T = 400 °С

При високому відпусканні при температурі 600 °С відбуваються процеси коагулювання карбідів і формування структури з сорбітом відпускання. Кількість залишкового аустеніту при цьому значно знижується (рис. 6, а).

Таким чином, можна зробити висновок, що при відпусканні загартованої від різних температур сталі відбуваються подібні процеси, але кінцева частка структурних складових, а саме мартенситу, залишкового аустеніту, карбідів змінюється.

Відносно вибирання повітря як охолоджувального середовища при гартуванні можна відзначити, що ця високолегована сталь має значну стійкість переохолодженого аустеніту, тому навіть досить таке повільне охолоджування приведе до утворювання мартенситу гартування (рис. 3). Але існує небезпека зберігання підвищеної кількості залишкового аустеніту, який при експлуатуванні буде зазнавати перетворювання, що негативно впливає на властивості інструменту і призводить до зміни розмірів (рис 6, б).



а б

Рис. 6. Мікроструктура сталі Х12М, збільшування × 500:
а □□після гартування, T = 1 050 °С, олива, відпускання, T = 600 °С;
б □ після гартування, T = 1 050 °С, повітря, відпускання, T = 200 °С

Подальше підвищування температури гартування є недоцільним, оскільки призводить до зберігання ще більшої кількості залишкового аустеніту, а також до збільшування розміру зерна.

При деформуванні карбідні частинки витягаються в поздовжньому напрямку і утворюють так звану смугастість, яка характеризується карбідним балом. Карбідна неоднорідність суттєво знижує міцність і в'язкість, опір втомної та контактної витривалості. Відповідальні деталі повинні тому мати мінімальну карбідну неоднорідність [1]. Досліджувана сталь шляхом зіставляння зі стандартною шкалою може бути віднесена до третього балу карбідної неоднорідності.

Хоча у вихідному стані зразку мали невелику твердість, всі вимірювання проводили за методом Роквелла за шкалою С. У відпаленому стані вона дорівнює 20–22 HRC, що відповідає твердості сорбітоподібної структури з досить великою кількістю карбідів, які займають 15– 17 % об'єму.

Гартування від різних температур з охолоджуванням в оливі привели до отримання різної твердості. Знижена температура гартування 1 000 °С забезпечила отримання 61 HRC, що є досить високою, але більш висока температура 1 050 °С до 64 HRC. Це пояснюється більшим ступенем насичування аустеніту вуглецем та легувальними елементами, який при подальшому охолоджуванні зі швидкістю вище критичної перетворився у високовуглецевий легований мартенсит, що і дало прирощування твердості на 3 HRC.

При подальшому підвищуванні температури гартування відбувається значне збільшування величини зерна, що негативно впливає на таку важливу характеристику механічних властивостей як ударна в'язкість. В'язкість – структурно-чутлива характеристика порівняно з міцністю і твердістю. Вона знижується зі збільшуванням розмірів зерна, тому так небезпечне перегрівати сталь, що може призвести до крихкого руйнування інструменту.

Окрім цього, кількість залишкового аустеніту при перегріванні теж збільшується, а це є найважливішим фактором, що негативно впливає на твердість, якщо його кількість дорівнює більше 10 %. Необхідно відзначити, що твердість є одним з важливих параметрів властивостей інструментальних сталей, тому що вона характеризує опір сталі деформаціям і контактним напруженням.

Зі збільшуванням твердості зростає міцність, границя витривалості та зносостійкість, знижується в'язкість, зменшується коефіцієнт тертя і налипання матеріалу, який обробляється. Твердість інструментальних сталей визначається вмістом вуглецю в мартенситі та зростає з підвищуванням його концентрації до 0,6 %, а також дисперсністю і кількістю карбідної фази [1].

Таким чином, рівень твердості, яку необхідно отримати для інструментів холодного деформування зі сталі Х12М – 58–60 HRC, можливо досягти за допомогою правильно вибраного режиму термічного оброблення: температура нагрівання під гартування, середовище охолоджування, температура і тривалість відпускання.

З вибраних трьох режимів відпускання найбільше сприяє збереженню високого рівня твердості низьке відпускання від температури 200 °С.

Згідно рис. 7 знеміцнювання сталі Х12М починається при нагріванні до досить низьких температур, при цьому частка немагнітної фаз, яка складається з аустеніту та карбідів, залишається майже незмінною. Це свідчить про те, що при температурі 200 °С розпадання аустеніту і коагулювання карбідів ще не починається. Знижування твердості в цьому діапазоні температур можна пояснити частковим знижуванням внутрішніх напружень і початком процесів розпадання мартенситу. Подальше підвищування температури відпускання до 400 °С сприяє процесам перетворювання мартенситу гартування у ферито-карбідну суміш, а також розпаданню залишкового аустеніту. Це призводить до знеміцнювання сталі, яке посилюється при більш високих температурах відпускання (600 °С), яке супроводжується коагулюванням карбідних частинок.

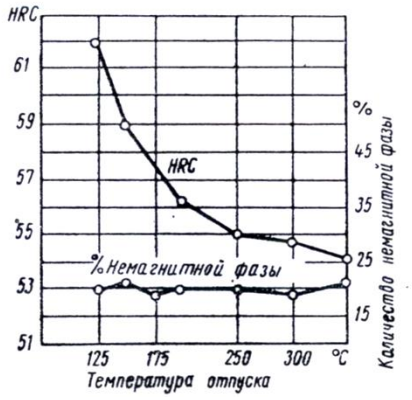


Рис. 7. Твердість і кількість немагнітної фази (аустеніт і карбіди) залежно від температури відпускання. Температура гартування 1 050° С [4].

Необхідно відзначити, що загартовані при температурі 1 050 °С зразки сталі Х12М мають більшу твердість у всьому діапазоні відпускних температур, ніж загартовані при температурі 1 000 °С (рис. 8).

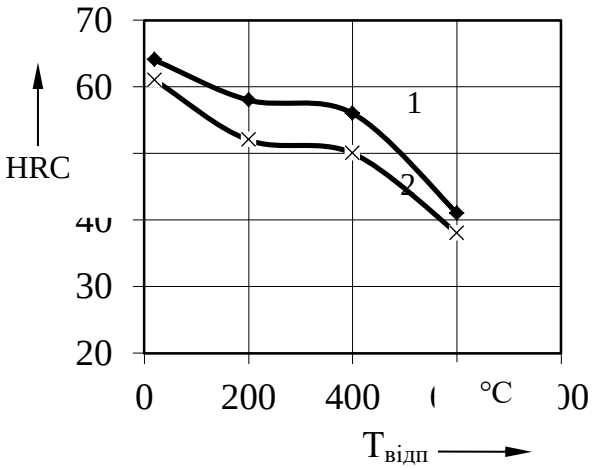


Рис. 8. Вплив температури нагрівання на твердість сталі Х12М:

1 – $T_{гарт}$ = 1 050 °С; 2 – $T_{гарт}$ = 1 000 °С

Режим гартування, при якому після нагрівання до 1 050 °С зразки охолоджувалися на повітрі, а потім проводилось відпускання при $T_{відп}$ = 200 °С не забезпечує отримання необхідного рівня твердості (48 HRC проти 58 HRC), тому не може бути рекомендований, хоча рівень внутрішніх напружень і деформація при такому режимі оброблення мінімальні.

Для отримання необхідного рівня твердості рекомендований наступний режим термічного оброблення: $T_{гарт}$ = 1 050 °С; $T_{відп}$ = 180–200 °С.

Висновки

Проаналізувавши отримані експериментальні результати досліджування, можна зробити наступні висновки:

1. У вихідному стані сталь Х12М має структуру сорбіту та карбідів, яка забезпечує добру оброблюваність різанням та пластичним деформуванням.
2. Оптимальним режимом термічного оброблення деталей штампів для холодного деформування зі Х12М є наступний: $T_{гарт}$ = 1 050 °С; $T_{відп}$ = 180–200 °С, який забезпечує отримання необхідного рівня твердості.
3. Знижена температура гартування 1 000 °С не забезпечую отримання необхідної твердості внаслідок меншого ступеня насичування аустеніту вуглецем та легувальними елементами.
4. Підвищування температури відпускання призводить до знеміцнювання сталі внаслідок протікання процесів розпадання мартенситу, залишкового аустеніту і коагулювання карбідів.

Література

1. Околович Г. А. Металловедение инструментального производств : монография ; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2020. 242 с.
2. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М. : Металлургия, 1983. 525 с.
3. Вишневский В. С. Константинов В. Ф. Повышение стойкости разделительных штампов. М. : Машиностроение, 1984. 120 с.
4. Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Свойства и термическая обработка : справочник / под ред. В. И. Яковлева. М. : Машгиз, 1961. 208 с.
5. Попов А. А., Попова Л. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита : справочник термиста. М. : Металлургия, 1965. 497 с.

УДК 669.017: 621.73.

ЕПІЛАМУВАННЯ ПОВЕРХНІ ЯК СПОСІБ ПЛАСТИФІКАЦІЇ ХОЛОДНОКАТАНИХ АВТОЛИСТОВИХ СТАЛЕЙ

Семенчук В.В, магістр гр. МС51-19, ХНАДУ

Анотація. *Встановлено суттєве підвищення технологічної пластичності та покращення штампування низьковуглецевих автолистових сталей під впливом поверхневого епіламування. Здатність листа зі сталі* 08кп *до витягування змінюється від категорії ВГ до значень, що перевищують вимоги ВОСВ, які згідно з ГОСТ 9045-93 регламентуються тільки для сталі кращої якості* 08Ю.
Ключові слова*: холоднокатана тонколистова сталь, епіламування, шорсткість поверхні, деформація розтягуванням, міцність, пластичність, штампуємість*

ЕПИЛАМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КАК СПОСОБ ПЛАСТИФИКАЦИИ ХОЛОДНОКАТАНИХ АВТОЛИСТОВИХ СТАЛЕЙ

Семенчук В.В, магистр гр. МС51-19, ХНАДУ

Аннотация. *Установлено существенное повышение технологической пластичности и улучшения штамповки низкоуглеродистых автолистових сталей под влиянием поверхностного епиламування. Способность письмо из стали* 08 кп *к вытягиванию меняется от категории ВГ до значений, превышающих требования ВОСВ, которые согласно ГОСТ 9045-93 регламентируются только для стали лучшего качества* 08Ю.
Ключевые слова*: Холоднокатаная тонколистовая сталь, епиламирование, шероховатость поверхности, деформация растяжением, прочность, пластичность, штампуемость.*

EPILAMED SURFACE AS A METHOD for plasticizing cold-rolled AUTO STEELS

Semenchuk V.V., master degree MC51-19, HNADU

Abstract: *A significant increase in the technological plasticity and improvement of stamping of low-carbon auto-sheet steels under the influence of surface epilamation has been established. Ability letter of steel* 08кп *for pulling varies from the ВГ category to values exceeding the requirements of the BOCB, which, according to ГОСТ 9045-93, are regulated only for steel of the best quality* 08Ю
Keywords*: Cold rolled sheet steel, epilamuvannya, surface roughness, tensile deformation, strength, ductility, stamping .*

Вступ

Сталевий маловуглецевий (марок 08кп, 08пс, 08Ю) тонколистовий холоднокатаний лист завдяки своїм експлуатаційним і технологічними властивостями, а також за економічними показниками широко використовується в різних галузях народного господарства. Вироби виготовляють холодним листовим штампуванням.. Вага штампованих з листа деталей в автомобілебудуванні становить близько 65–70%, а у виробництві товарів народного споживання 95 – 98%. Сучасні автоматичні високопродуктивні лінії холодного листового штампування виробів потребують від сталі глибокого та складного витягування у зв'язку з ускладненням геометричної форми штампованих деталей. Підвищення рівня вимог до технологічної пластичності,

передбачає необхідність збереження міцності сталі. У практиці машинобудівних підприємств нерідко має місце незадовільна штампуємість листових заготовок зі сталі 08кп, що призводить до значних економічних втрат, бо способів покращення деформівності вже готового листа не існує. Це визначає актуальність робіт, спрямованих на пошук нових рішень збільшення технологічної пластичності заготовок із листа для отримання потрібної категорії витягування без руйнування і при збереження при цьому достатньої міцності.

Работа виконана під керівництвом проф..Дощечкиіної І.В.

. Згідно сучасним уявленням вільна поверхня є видом плоского дефекту в кристалах і значно впливає на деформацію і руйнування виробу в цілому [1]. В рамках такого походу поверхневі шари будь-якого навантаженого вироби грають важливу функціональну роль і радикально впливають на масштабні рівні його деформації і руйнування. В огляді робіт [2] також наголошується, що обробка поверхні впливає на характер кривої розтягування, на процеси крихкого і втомного руйнування. Різниця в характері деформаційних кривих поверхневого кулі і центральній частині зразка при розтягуванні відзначається і в інших дослідженнях [3]. Значна кількість [4-6] досліджень свідчить, що обробкою поверхні концентрованими потоками енергії можливо керувати властивостями як поверхні, так і всього об´єму матеріалу виробу. Переконливі результати досліджень [7] свідчать, що при іонно-променевому модифікуванні поверхні істотно підвищуються механічні властивості.

У даній роботі запропонований метод поліпшення штампування шляхом зміни стану поверхні заготовок холоднокатаної листової сталі - нанесенням нанорозмірної мономолекулярної плівки епілама. Основою структури всіх епіламучих композицій є фтор поверхнево-активні речовини (фтор ПАР), які являють собою хладоновмісні розчини (фторПАР) які після покриття поверхні випаровуються, а саме речовина фторПАР вступає в реакцію з поверхнею, формуючи моношар орієнтованих молекул у вигляді плівки товщиною від 3 до 30 нм, яка кардинально змінює енергетичний стан поверхні твердого тіла[8,9]. Молекули щільно закріплені за рахунок сил хемособції з поверхнею і утворюють так звану структуру (частокіл) Ленгмюра у вигляді спіралей з осями, спрямованими перпендикулярно до оброблюваних поверхонь (рис.1.1).

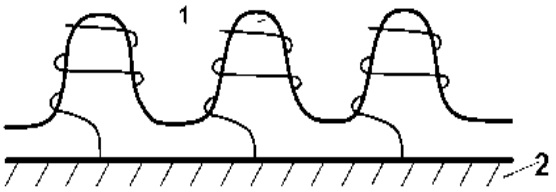


Рисунок 1.1 – Частокіл Ленгмюра на епіламованій поверхні твердого тіла: 1 – молекула ПАВ, 2 – поверхня твердого тіла

Спіралеподібні молекули фторПАР «висаджуються» на поверхню в місцях де є порушення кристалічної гратки. Внаслідок високої проникаючої здатності (дуже низького поверхневого натягу) вони заповнюють пори, мікротріщини, подряпини та інші місця концентрації напружень і тим самим зменшують поверхневу крихкість. Заповнюючи усі пори і мікротріщини, фторПАР ще і дегазує їх, витісняючи сконденсовані гази (водень, вуглекислий газ) та вологу, додатково пригнічуючи окрихчення матеріалу.

Епіламування (ЕП) є одним із сучасних видів нанопокриттів, які мають багатофункціональне призначення [8]. Вони широко застосовуються для зниження тертя і зносу контактуючих поверхонь, підвищення стійкості різального інструменту і штампового оснащення, захисту металевих поверхонь від корозії [10]. Що ж стосується

впливу ЕП на деформаційну поведінку виробів та їх механічні і технологічні властивості, то такі дослідження не проводилися. Здатність ЕП згладжувати поверхню, ліквідуючи потенційні концентратори напружень та осередки руйнування, має сприяти підвищенню механічних характеристик, особливо показників пластичності виробів. З'ясуванню цих питань і присвячена дана робота.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення технологічної пластичності при збереженні міцності виробів із холоднокатаної низьковуглецевої листової сталі шляхом поверхневого ЕП.

В роботі були поставлені наступні задачі:

1 – дослідити вплив ЕП на деформаційну поведінку і властивості листових зразків при розтяганні,

З – визначити вплив поверхневого шару після ЕП на деформівність листових заготовок, які підлягають холодному штампуванню.

Матеріал та методика досліджень

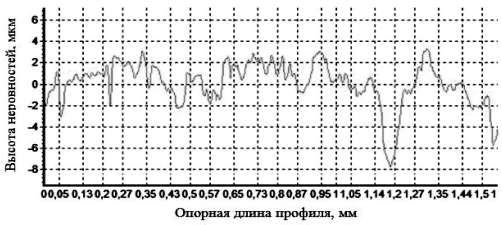
Експерименти виконані на листових маловуглецевих холоднокатаних сталях 20 (товщина прокату 1,2 мм) і 08кп (товщина 0,5 мм) в стані поставки. ЕП проводили зануренням листових зразків на 10 хв в ванну з епіламом марки СФК-05. Температура ванни дорівнювала 50 - 55 °С. Термофіксацією плівки робили при температурі 110 ° С протягом 50 хвилинх.

Шорсткість і профіль поверхні вивчали за допомогою профілометра-профілографа TRa200, відповідно стандарту ISO 4287-97. Чутливість датчика аналізатора становила 0,002 мкм. Це дозволяє оцінити топографію поверхні від 0,005 мкм. Діапазон вимірювань був від 0,01 до 160 мкм. Похибка вимірювання Ra не перевищувала 10 %.

Випробуванню на розтяг підлягали плоскі зразки розміром 80×20×1,2 мм на розривній машині UIT-STM-50 згідно зі стандартом. Здатність до витягування у початковому стані (поставка) та після ЕП визначали на зразках розміром (60 × 60 × 0,5 мм) на підставі результатів випробувань за методом Еріксеном. Металографічні дослідження проводили за стандартними методиками.

Результати досліджень

Дослідження показали, що після ЕП шорсткість поверхні Ra значно зменшується - від 1,6 мкм до 0,21 мкм (рис. 1.2). На загальному згладженому тлі реєструються лише незначні окремі виступи (рис. 1.2, б). Це пояснюється тим, що епіламам притаманний низький поверхневий натяг. За рахунок цього відбувається його затікання в найдрібніші нерівності поверхні (западини, субмікроскопічні тріщини, пори) і здійснюється заліковування поверхневих дефектів, що подовжує область пружно-пластичного деформування металу.



а б

Рисунок 1.2. Профілограми зразків сталі 20: а – вихідний стан; б - після епіламування

Випробування на розтяг плоских зразків зі сталі 20 (таблиця 1.1) дозволяють зробити висновок, що ЕП при незначному зниженні характеристик міцності ($\sigma_в$ і$\sigma_{0,2}$ зменшуються на 4 % та 8 % відповідно) приводить до істотного збільшення відносного подовження δ (на 44 %) і відносного звуження (на 57 %). У той же час, дійсне напруження руйнування $S_к$ в зв'язку з високою пластифікацією зростає на 12 %. Таким чином, справжня міцність листових заготовок, незважаючи на таке велике збільшення пластичності, вище, ніж у листа в стані поставки.

Таблиця 1.1. Результати випробувань плоских зразків сталі 20 в різному стані

Стан	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$S_к$, МПа	δ,%	ψ,%
Вихідний	375	290	480	25	21
Після епіламування	370	275	540	36	33

Істотне підвищення пластичності суттєво вплинуло на штампування сталі, про що свідчать результати випробувань на видавлювання за методом Еріксена, які наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Дані випробувань на видавлювання за методом Еріксена листа сталі 08кп товщиною 0,6 мм

Стан	Глибина лунки, мм	Категорія витягування
Вихідний	9,05	ВГ
Після епіламування	11,85	ВОСВ

Отримана після ЕП поверхні глибина лунки при видавлюванні перевищує вимоги ГОСТ ГОСТ 9045-93 для категорії ВОСВ, яка регламентована для сталі 08Ю, в якій міститься менша кількість шкідливих домішок (особливо кисню) в порівнянні зі сталлю 08кп. Таке суттєве підвищення пластичності і здатності до витягування сталі дозволить помітного зменшити брак внаслідок утрудненого штампування, збільшити ефективність процесу - скоротити кількість переходів, знизити витрату штампового інструменту, підвищити продуктивність. З огляду на дуже широке поширення холодного штампування в різних галузях промисловості, отримані результати при практичному використанні принесуть значний економічний ефект.

Висновки

1. ЕП поверхні зразків при випробуванні їх на розтягання істотного збільшує характеристики пластичності (відносного подовження на 44% і відносного звуження на 57%) без помітного зменшення показників міцності ($\sigma_в$ і $\sigma_{0,2}$ знижуються на 4% та 9% відповідно). При цьому дійсне напруження руйнування $S_к$ зростає на 12%. Таким чином, справжня міцність листових заготовок, незважаючи на таку значну пластифікацію, вище, ніж у листа в стані постачання.

2. Основною причиною пластифікації заготовок є заліковування поверхневих дефектів, що продовжує стадію пружно-пластичної деформації і ускладнює початок утворення зосередженої деформації, яка призводить до руйнування.

3. ЕП суттєво покращує штампування низьковуглецевих автолистових сталей. Здатність до витягування листа зі сталі 08кп зростає в 1,3 рази (від групи ВГ, регламентованої ГОСТ 9045-93 до значень, які перевищують вимоги ВОСВ для сталі кращої якості 08Ю), що значно зменшить кількість бракованих заготовок і підвищить продуктивність процесу штампування,

4. Суттєвою перевагою епіламування є зростання здатності до витягування не за рахунок знеміцнення листа, а навпаки, при збільшенні істинного опору руйнуванню.

Перелік посилань

1. Панин В. Е. Эффект поверхностного слоя в деформируемом твердом теле / В. Е. Панин, А. В. Панин // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8. – № 5. – С. 7-15.
2. Степанов А. В. Явления искусственного сдвигообразования / А. В. Степанов // Журнал технической физики. – 1968. – Т. 18. – С. 741 – 778.
3. Мухин В.С. Инженерия поверхности деталей машин / В.С. Мухин, А.М. Смыслов // Вестник УГАТУ. – 2009,.Т.12. – №4(33). – С.106 – 112.
4. Погребняк А. Д. Физико-химические и триботехнические свойства железа, оплавленного импульсной плазменной струей / А. Д. Погребняк, С. Н. Братушка, А. Д. Михалев // Трение и износ. – 2007. – Т. 28. – № 5. – С. 457 – 464.
5. Дяченко С.С. Новий аспект використання іонно-плазмової обробки / С. С. Дяченко, І. В. Пономаренко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2009. – № 5.
6. Дощечкіна І.В. Вплив стану поверхні на деформаційну поведінку виробів та покращення штампованості автолистового прокату / І.В. Дощечкіна, І. С.Татаркінв, В.В. Озарків // Вестник ХНАДУ. – вып. 82.–2018. – С.20 –27.
7. Гуров В.В.Повышение конструктивной прочности стальних изделий путем поверностного модифицирования ионной бомбардировкой : автореферат дис. ... кандидата технических них наук : спец. 05.16.01 «Материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов» – Москва, 2003. – 24 с.
8. Настоящее и будущее эпиламирования, Журнал «Новый Оборонный Заказ. Стратегии». –2010, – №4 (11). – 2015.
9. Вохидов А.С. Многофункциональные фторактивные нанопленки: актуальные проблемы / А.С.Вохидов, В.А. Мисюряев // Наноиндустрия. –№5 (51). – 2015. – С. 40-45.
10. Вохидов А.С. Єффективность применения эпиламирующих составов в промышленности / А.С.Вохидов,М.В. Мальков // Все регионы. – №1. –2020. – С. 9 –12.

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

83-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету

12-13 квітня 2021 року

План 2016, поз. (н.п.).

Підписано до друку 21.05.2021 Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman. Віддруковано на ризографі.

Умовн. Друк. Арк. 5,9 Обл. – вид арк. 10,95

Зам. № 16/09/20. Наклад 30 пр.

ВИДАВНИЦТВО

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Видавництво ХНАДУ, 61200, Харків-МСП, вул. Ярослава Мудрого, 25

Тел./факс: (057)700-38-72; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції, серія ДК №897 від 17.04.2002 р.