

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

Девіз «БУЛАТ»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
I АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ТА ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН.....	4
1.1 Умови роботи та причини виходу з ладу зубів ковшів екскаваторів.....	4
1.2 Види зношування деталей	5
1.3 Види захисту та відновлення зубів	8
1.3.1 Зміцнення гальванікою	8
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
2.1 Матеріали дослідження	10
2.2 Металографічний аналіз	12
2.3 Методи випробування матеріалів на тертя та зношування	13
2.4 Методика гальванічного хромування.....	14
2.5 Методика нанесення плазмового покриття.....	15
3 ВПЛИВ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ХРОМУВАННЯ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗУБІВ КОВШІВ ЕКСКАВАТОРІВ	17
3.1 Розробка оптимальних технологічних параметрів осадження плазмових покриттів	17
3.2 Знос деталей	21
3.3 Лабораторні дослідження відновлених зубів	22
3.4 Мікроструктура й фазовий склад покриттів	27
ВИСНОВКИ	30
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	31

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 випробувань.

Правильний вибір матеріалу, для виготовлення розглянутих деталей, а також метод їх зміцнення, є актуальною та важливою задачею [1].

І АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ТА ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН

1.1 Умови роботи та причини виходу з ладу зубів ковшів екскаваторів

Зуб відноситься до конструктивних елементів екскаваторів і інших землерийних машин, а саме до деталей їх робочих органів та способів їх виготовлення. Зуб ковша екскаватора складається з адаптера, хвостовик якого має відповідні прорізи для кріплення на ковші екскаватора рис. 1.1.

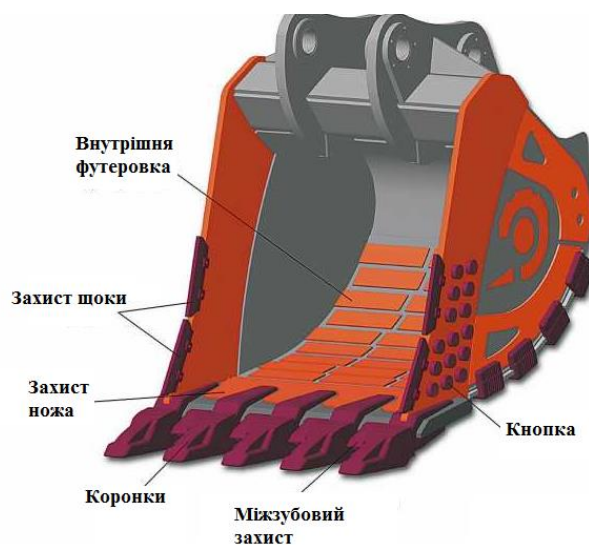


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд ковша



Рисунок 1.2 – Зуб ковша

Найчастіше використовують укорочені (затуплені) зуби, довжина яких не перевищує 50% від проектної довжини [14].



Рисунок.1.3 – Втрата форми зубів ковшів екскаваторів

Згідно практичним спостереженнями, після вироблення 35 тис. куб.м піщано-щебневих ґрунтів зуби ковша екскаватора знаходяться в стадії повного зносу. Їх кут загострення збільшується в 2,5 рази, а робоча довжина зменшується більш, ніж в 3 рази [15].

Подібний стан робочого органу різко знижує загальну продуктивність будівельної спецтехніки, оскільки вся енергія двигуна екскаватора спрямована не на роботу, а на подолання нових перешкод.

1.2 Види зношування деталей

Процес тертя завжди супроводжується зносом, який поступово призводить механічну систему в стан непридатності. Багато деталей машин і механізмів піддаються інтенсивному зносу.



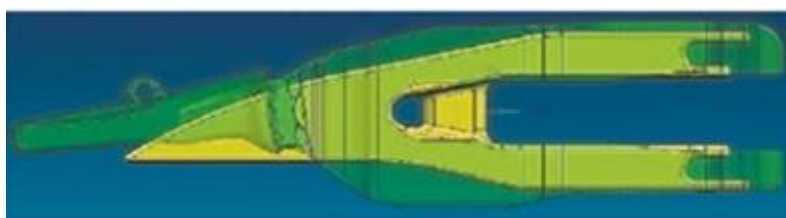
Рисунок.1.4 – Вид зношених зуб'їв

Практика експлуатації машин та іншого обладнання показує, що більша його частина втрачає працездатність не внаслідок поломок, а в результаті зносу окремих деталей. Розрізняють також чотири головні форми зносу і кілька другорядних (супутніх) процесів, які часто класифікуються як самостійні види зносу.

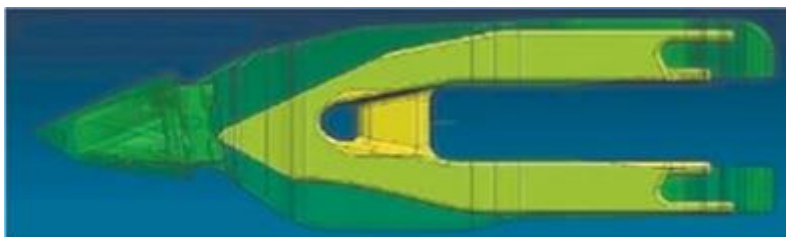


Рисунок 1.5 – Зношений ковш

Чим більше навантаження, тим більше знос. Тривала робота при температурі від $+20^{\circ}\text{C}$ до -10°C збільшує швидкість зношування майже в 2 рази. Подальше зниження температури навколишнього повітря лише посилює цей процес. Наприклад, робота екскаватора при -40°C сприяє збільшенню зносу в 3 рази, в порівнянні з м'якими кліматичними умовами експлуатації спецтехніки. розплавлення і електрохімічні реакції. До останніх можна віднести і фреттинг-корозію, яка відбувається в болтових і клепаних з'єднаннях [18].



а)



б)

а – зношений зуб

б – новий зуб

Рисунок 1.6 – Порівняння геометрії нового зуба та зношеного

Ефективно захистить металеву зношувану поверхню від абразивного зношування використання сталі з підвищеними характеристиками міцності

Досвід промислових підприємств в останній час довів доцільність підвищення довговічності розглядаємих деталей, за рахунок застосування методів поверхневого зміцнення.

В машинобудуванні застосовуються такі методи нанесення покриттів, як детонаційний та плазмовий.

Ці методи мають ряд переваг:

- обмежений тепловий вплив,
- зменшення деформації.

Одночасно з цим властивості покриттів та їх структура вивчені недостатньо

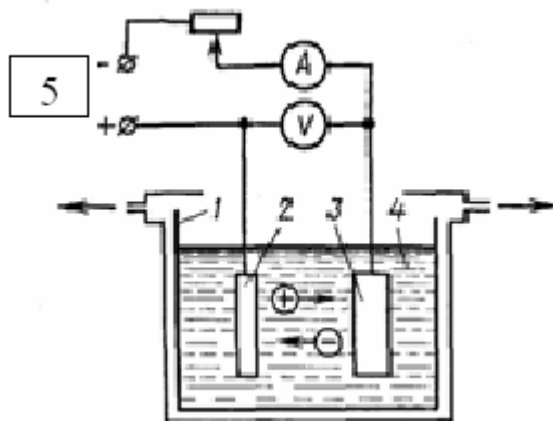
Задача вибору оптимальних властивостей робочих шарів, вирішується чисто експериментально. В зв'язку з цим проведення досліджень з метою виявлення можливості застосування різних методів нанесення покриттів для підвищення довговічності зубів ковшів екскаватора представляється важливою та актуальною задачею [15].

1.3 Види захисту та відновлення зубів

1.3.1 Зміцнення гальванікою

На підприємствах широко застосовуються гальванічні процеси. Вони використовуються для компенсації зносу робочих поверхонь, а також при нанесенні на деталі протикорозійних і захисно-декоративних покриттів. З гальванічних процесів поширені хромування, железніння (осталювання), нікелювання, цинкування, міднення.

Гальванічні покриття отримують з електролітів, в якості яких застосовують водні розчини металів, якими необхідно покрити деталі (рис. 1.7). Катодом при гальванічному осадженні металів з електролітів є відновлювана деталь, анодом – металева пластина. Застосовуються два види анодів: розчинні і нерозчинні. Розчинні аноди виготовляються з металу, який осідає на деталь, нерозчинні аноди - з свинцю.



1 - ванна з діелектрика; 2 - анод розчинний; 3 - катод (виріб);

4 - електроліт; 5 - джерело струму

Рисунок 1.7 – Схема нанесення гальванічного покриття

Однією з основних вимог, що пред'являються до якості гальванічних покриттів, є рівномірність розподілу осаду металу. Однакова товщина шару покриття по всій поверхні деталі.

Але нажаль ці методи не дають стійких промислових результатів. Тому в останній час найбільш перспективним методом нанесення захисних покриттів є плазмове напилення, при якому нагрів, плавлення, розпорошення і перенесення напилюваного матеріалу здійснюються плазмовим струменем, отриманої нагріванням потоку газу в електричному дуговому розряді. Плазмове напилення досить широко застосовується для відновлення і зміцнення поверхонь деталей в багатьох галузях промисловості [11]. У цій роботі нами застосована методика іонно-плазмових покриттів для підвищення довговічності зубів ковшів екскаваторів.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали дослідження

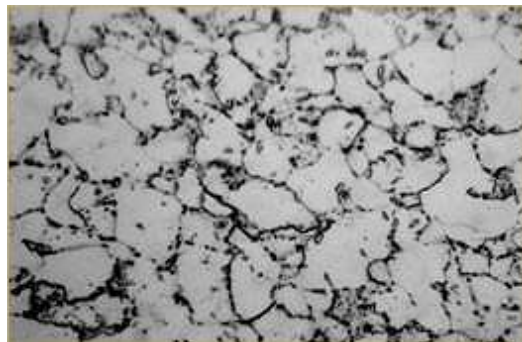
Зуби ковшів екскаваторів виготовляють в більшості випадків зі сталі 09Г2С, хімічний склад якої наведень в таблиці 2.1

Таблица 2.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С

Сталь	Наявність хімічних елементів, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	Cu	As	P
09Г2С	0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	0,3	0,3	0,04	0,3	0,08	0,035

Стійкість властивостей в широкому температурному діапазоні дозволяє застосовувати деталі з цієї марки в діапазоні температур від -70 до +450 С. Властивості сталі 09Г2С: сталь 09Г2С після обробки на двофазну структуру має підвищений межу витривалості; одночасно приблизно в 3-3,5 рази збільшується число циклів до руйнування в області малоциклової втоми.

Роз'єднаність дрібних ділянок мартенситу і висока пластичність фериту значно полегшують початкову пластичну деформацію.



×1000

Рисунок 2.1 – Мікроструктура сталі 09Г2С

Для виявлення змін в поверхневих ділянках, а також контролю якості покриття проводили виміри твердості. Цей метод дає можливість проведення 100% контролю деталей, випробування не є руйнівними, заміри можна проводити безпосередньо на деталі. 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.

При виборі навантаження керувалися тим, що мінімальна товщина покриття повинна перевищувати глибину відбитка не більше, ніж у 10 разів. Визначення мікротвердості поверхонь тертя здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3. Сутність методики полягає в тому, що вимірювання мікротвердості поверхні тертя проводиться при різних навантаженнях на алмазну піраміду від 0,02 HV до 2 HV, при цьому розрахунковим шляхом визначається глибина впровадження піраміди h :

$$h = \frac{z}{7}, \quad (2.1)$$

де z – довжина діагоналі відбитка алмазної піраміди.

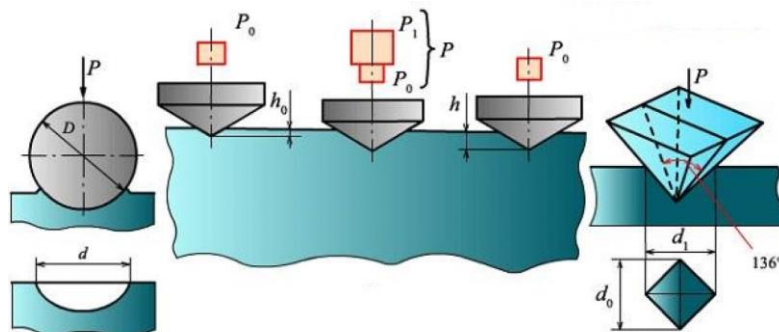


Рисунок 2.2 – Вимір твердості

2.2 Металографічний аналіз

При виборі кількості зразків, їх розмірів, місця і площини вирізки керуються завданнями мікроструктурних аналізу. Зазвичай вирізують поперечні зразки, площа дослідження яких розташована перпендикулярно до покриття.

Полірування здійснювали алмазними пастами. Травлення досліджуваної поверхні – 4 % розчином азотної кислоти для виявлення кордону між основою і покриттям.

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



Рисунок 2.3 – Мікроскоп Альтами MET 1

Для встановлення зв'язків між умовами відновлення через зношених шарів, їх мікроструктурою та експлуатаційними характеристиками проводили електронномікроскопічні та мікрорентгеноспектральні дослідження.

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. Як еталон використовували відпалені у вакуумі порошки α -Fe і Ni. Будували профіль дифракційної лінії по точкам. Час експозиції однієї точки становив 20 с для фериту і 100 с для нітриду титану.

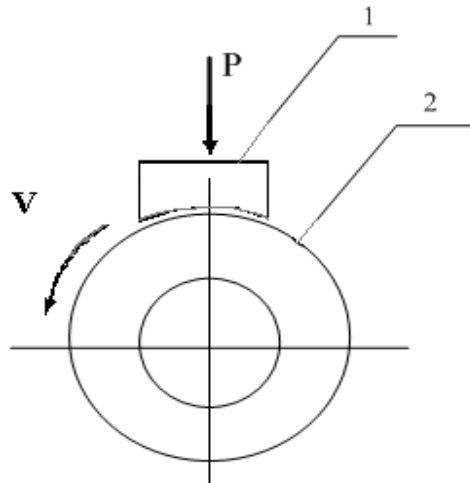
Для пояснення відмінності утворення перехідної зони в розглянутих об'єктах вивчали розподіл елементів за допомогою рентгеноспектрального аналізу.

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

2.3 Методи випробування матеріалів на тертя та зношування

Випробування нових матеріалів і технологій в умовах реального виробництва пов'язані зі значними витратами матеріальних ресурсів і часу, крім того, важко повною мірою оцінити вплив тих або інших чинників на процеси тертя та зношування в реальних умовах. Тому для оцінки ефективності застосування матеріалів, методів їх обробки, конструктивних змін деталей та інших заходів використовувалися лабораторні і стендові випробування, що моделюють максимальне наближення до реальних умов експлуатації.

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» (рис. 2.4).



1-нерухомий зразок (колодочка); 2 – рухомий зразок (ролик)

Рисунок 2.4 – Випробовування на знос

Основними критеріями оцінки працездатності матеріалів для деталей об'ємного гідроприводу і ефективності їх поверхневої обробки є триботехнічні характеристики.

У зв'язку з цим для проведення цієї роботи обрані методи випробувань, які дозволяють моделювати основні процеси тертя і зношування реальних деталей.

2.4 Методика гальванічного хромування

Процес електролітичного нанесення хрому заснований на методі електролізу металів. Суть його полягає в проходженні електричного струму через електроліт. Електроліт є розчин, в який входять солі хрому, кислота або луг. При проходженні електричного струму з розчину хромового ангідриду і сірчаної кислоти виділяються катіони хрому, які осідають на оброблюваній поверхні.

Гальванічний процес хромування ведуть при наступних середніх параметрах:

- хромовий ангідрид - 250 г/л;
- сірчана кислота - 2,5 г/л;

- температура - 50 °С для декорування деталей і 55–60 °С для отримання функціональних поверхонь;
- щільність струму – 25 А/дм² для декодирування і 60 А/дм² - функціональна поверхня з хромовим покриттям.



Рисунок 2.5 – Установка для гальванічного хромування

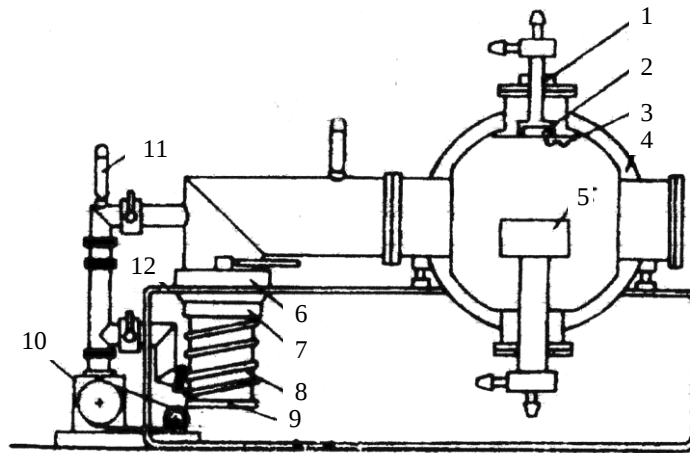
Якісна гальваніка залежить від температури електроліту і щільності струму. Ці параметри впливають на зовнішній вигляд і характеристики нанесеного шару.

2.5 Методика нанесення плазмового покриття

Нанесення плазмового покриття здійснювали на установці «Булат-3Т» (рис. 2.6). Вона складається з камери, системи вакуумного відкачування, випарників, поворотного пристрою, водяної системи та підставки.

Камера являє собою циліндричну посудину з внутрішнім діаметром 500 мм і довжиною 500 мм, в якому протікає процес напилення. На камері і кришках розташовані шість патрубків з фланцями, до яких кріпляться: вікно оглядове; пристрій поворотний; випарники і перехідник до системи вакуумної відкачки.

Параметри процесу нанесення, в першу чергу температура конденсації і швидкість нанесення, визначають властивості покриття. Температуру конденсації, яка залежить в основному від властивостей матеріалу підкладки, підтримують постійною протягом всього процесу нанесення покриття.



- 1 - фокусуюча котушка; 2 - катод; 3 – підпалюючий електрод;
 4 - камера-анод; 5 - підкладка; 6 - азотна пастка;
 7 - водяна пастка; 8 - високовакуумний агрегат; 9 - нагрівник;
 10 - формовакуумний насос; 11 - монотрична лампа;
 12 - система водяного охолодження установки

Рисунок 2.6 – Загальна схема установки «Булат-3Т»:

Швидкість конденсації покриття визначається щільністю іонного струму і енергією частинок, що конденсуються; в стандартних технологічних процесах вона коливається в межах 5-10 нм/с. Необхідний ефект очищення і температурний режим конденсації забезпечують підбором параметрів нанесення покриття і часу обробки.

В процесі очищення іонним бомбардуванням досягаються видалення газів і нагрівання поверхні деталей. Бомбардування поверхні дозволяє отримувати атомно чисту поверхню деталі, що підвищує швидкість поверхневих реакцій, що відбуваються при подальшому осадженні покриттів. Нагрівання при цьому сприяє посиленню дифузійних процесів між іонами покриття і поверхні. Очищення іонним бомбардуванням, нагрів і активація поверхні зміцнюючих деталей забезпечують високу адгезію до неї покриття (понад 1,5–2 МПа).

З результатів численних досліджень видно, що на поверхню оброблюваної деталі в основному осідають вже молекули матеріалу покриття, що сформувалися.

Температура підкладки, на яку наноситься покриття, контролюється за допомогою інфрачервоного пірометра «Смотрич». Значення товщини плазмового покриття суттєво впливає на міцність з'єднання його з основним металом.

Збільшення товщини покриття вище оптимальної призводить до відшарування його від поверхні. Тому контроль товщини покриття обов'язковий. Товщину покриття, що наноситься, визначали також на установці «Мікродерн», принцип дії якої базується на реєстрації інтенсивностей випромінювання падаючих і відбитих променів радіоактивних елементів.

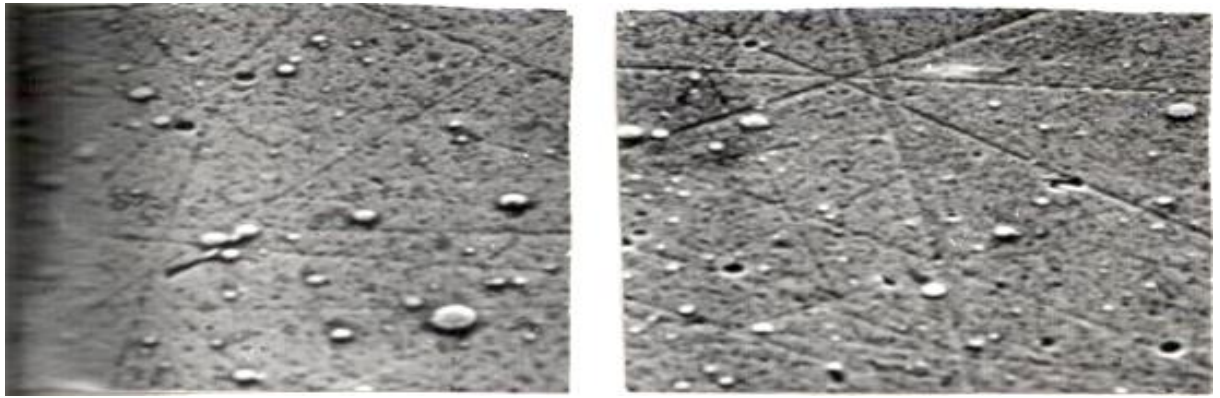
Оцінювали міцність з'єднання покриття з підкладкою за методикою, розробленою на спільній пластичній деформації покриття і підкладки при впровадженні індентора твердоміра Роквелла.

3 ВПЛИВ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ХРОМУВАННЯ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗУБІВ КОВШІВ ЕКСКАВАТОРІВ

3.1 Розробка оптимальних технологічних параметрів осадження плазмових покриттів

В якості оптимальних параметрів нанесення підбирали тиск реакційного газу в камері установки, температуру розігріву підложки на яку наноситься покриття, та час осадження.

Як відомо головним параметром процесу конденсації речовини в умовах іонного бомбардування – є тиск реакційного газу. Цей параметр визначається у кожному конкретному разі і залежить від складу катода, моделі установки на якій наноситься покриття, і умов експлуатації [8].



тиск азоту а – $3 \cdot 10^{-2}$ Па; б – 1,0 Па

Рисунок 3.1– Мікроструктура покриття нітриду хрому при отриманих при різних парціальних тисках азоту

Для визначення необхідного тиску азоту, який забезпечує на робочих поверхнях зубів ковшів екскаваторів покриття з найкращими експлуатаційними характеристиками, нітрид хрому наноситься при різних парціальних тисках азоту від $3 \cdot 10^{-3}$ до 1 Па. Цей діапазон тиску азоту було вибрано на основі літературних джерел про ефективність роботи деталей і інструмента з плазовими покриттями. Покриття одержане при різних тисках азоту, відрізняється кількістю і розмірами капельної фази. Найбільша кількість капельної фази спостерігається в покриттях одержаних при тиску азоту $3 \cdot 10^{-3}$.

З підвищенням тиску азоту кількість капельної фази помітно зменшується. Найбільшу мікротвердість мають покриття одержані при тисках азоту $3 \cdot 10^{-3}$ з ростом тиску зменшуються та складає 1 Па.

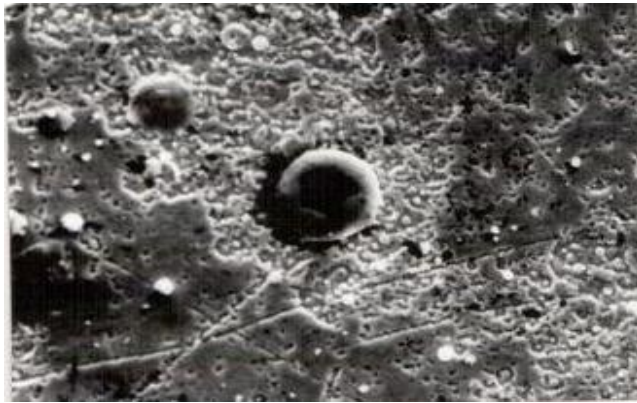
Збільшення тиску до 1 Па значно зменшує рівень мікрозмін кристалевої решітки у покритті, зростає його пластичність, при цьому знижується крихкість покриття при достатній його твердості.

Отримане при тиску азоту 1 Па покриття нітриду хрому, найбільш ефективно захищає поверхню деталі від порушення та корозії.

Другим важливим фактором, який має суттєвий вплив на деталі з плазовим покриттям, є температура робочої поверхні при іонному бомбардуванні.

Згідно з технічними даними, температура в камері установки Булат 3Т змінювалась від 300 до 800 С°.

Іонне бомбардування позитивно впливає на деталь при її температурі 500-800 С°. що відповідає саме сталі 09Г2С та дає найкращу адгезію покриття з деталлю та відповідно найбільшу зносостійкість деталей з таким покриттям при експлуатації.



x1000

Рисунок 3.2 – Поверхня сталі після бомбардування іонами хрому



×1000

Рисунок 3.3 – Мікророзподіл хрому по поверхні після іонного бомбардування

При більш низьких температурах спостерігається тенденція зниження адгезії покриття, що супроводжується відшаруванням покриття, при експлуатації, особливо помітно це явище, коли температура розігріву поверхні,

на яку наноситься покриття, перевищує температуру відпуску сталі через розміщення останньої.

Час нанесення покриттів також є важливим параметром, який підлягає оптимізації.



×1000

Рисунок 3.4 – Початкова стадія відшаровування

Час нанесення покриття CrN 10 мкм/год. Приймаючи до уваги, що найбільшою адгезійною активністю підложки з покриттям, володіють покриття нітриду хрому товщиною від 2 до 5 мікрон, час нанесення покриття коливався від 12 до 30 хвилин.

При нанесенні покриттів нітриду хрому на робочі поверхні зубів, виготовлених зі сталі 09Г2С, найкраща адгезія.

Значне підвищення зносостійкості досягається при розігріві підложки до температури 500 С°.

3.2 Знос деталей

Характер пошкодження деталей, підсилених іонно-плазмовим хромуванням по удосконаленій технології, в процесі випробування показаний на рис. 3.5. Місця розташування зон найбільшого зносу і характер пошкоджень деталей аналогічні спостережуваним на вище досліджених деталях.

В зоні «А» на зубах спостерігається знос, наклеп і пластичне деформування металу. Ці явища більш інтенсивні на втулці. У зоні «В» видно знос, пластичне деформування поверхневого шару і утворення борозен-задирів. На втулці вершини борозни згладжені, зношені (місцями до підстави); на корпусі – борозни грубі, без ознак зносу. В зоні «С» спостерігається рівномірний знос, наклеп і злущування поверхневого шару. Лущення на корпусі значне, на втулці – знаходиться в початковій стадії розвитку. На корпусі відзначаються невеликі ділянки зміцненого шару, що зберігся. Поверхні зон «D» характеризуються приробкою і лущенням матеріалу. Характер пошкодження даних зубів аналогічний спостережуваного на раніше досліджених деталях, зміцнених іонно-плазмовим хромуванням по вихідній технології. У центральній частині зуба (зона «N») відзначається припрацьовувана пляма зі збереженим покриттям. На зубі покриття зношене в меншій мірі.

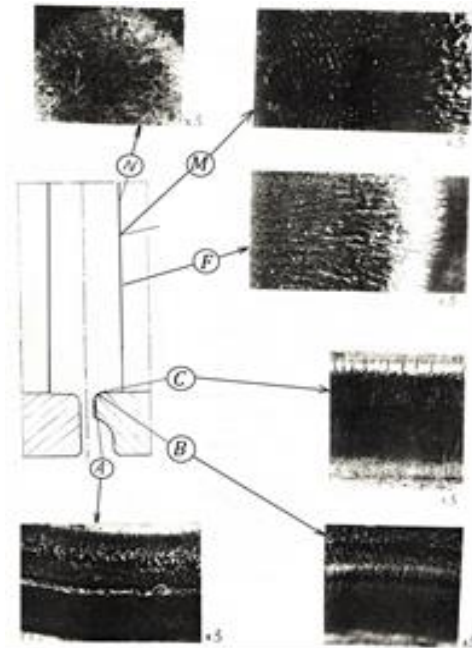


Рисунок 3.5 – Знос зубів зміцнених іонно-плазмовим хромуванням

3.3 Лабораторні дослідження відновлених зубів

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

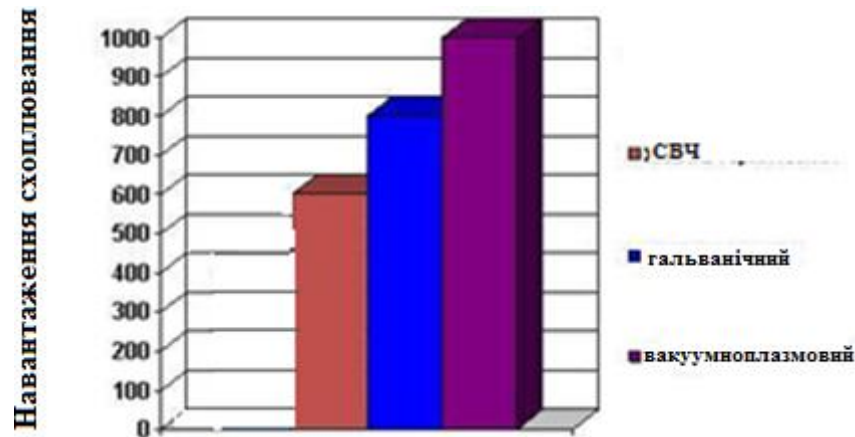
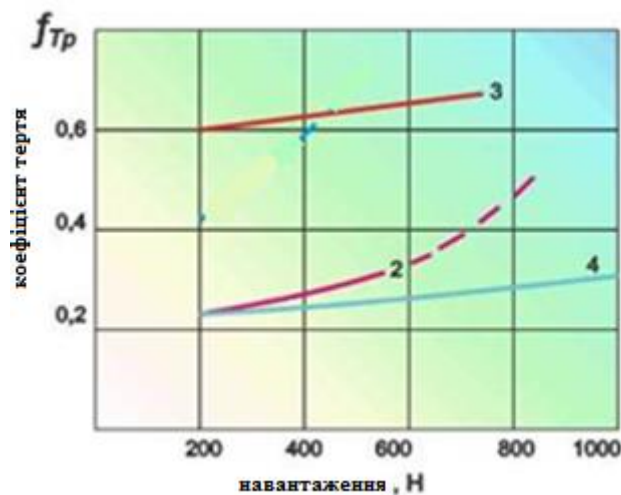


Рисунок 3.6 - Вплив виду нанесення багатошарового покриття на опір тертю ковзання

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

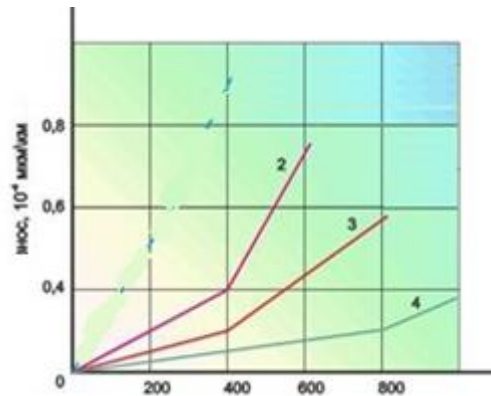
Рисунок 3.7 – Вплив виду нанесення покриття на зміну коефіцієнта пари тертя

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 протизноснах властивостей, отриманих при розглянутих методах нанесення багат шарового 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

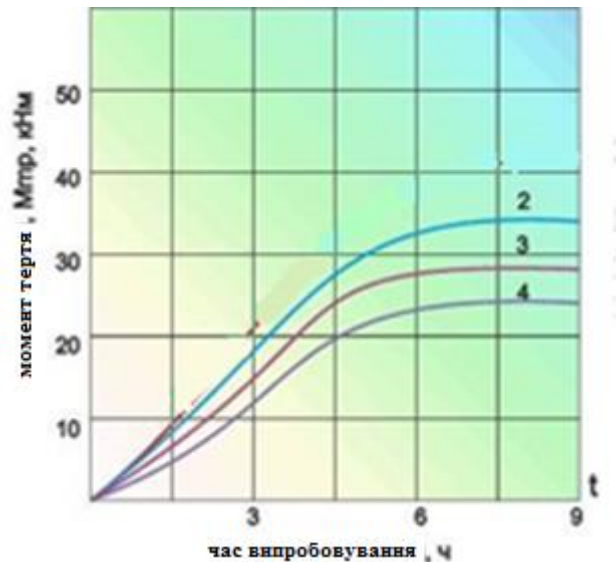
Для покриттів оброблених струмами високої частоти характерно плавне збільшення зносу до навантаження 400 Н, потім зі збільшенням навантаження до 600 Н спостерігається різке збільшення інтенсивності зносу до $0,78 \cdot 10^{-4}$ мкм/км. Покриття, отримані при обробці струмами високої частоти, в даних умовах незначно підвищують зносостійкість багат шарового 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 $0,2\text{--}0,39 \cdot 10^{-4}$ мкм/км. Проведені дослідження показали, що іонно-плазмовий метод нанесення багат шарового 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 настає 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 настає 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 багат шарового покриття виявили наступні переваги розробленого методу нанесення покриття в порівнянні з існуючими (струмами високої частоти, гальванічний метод):

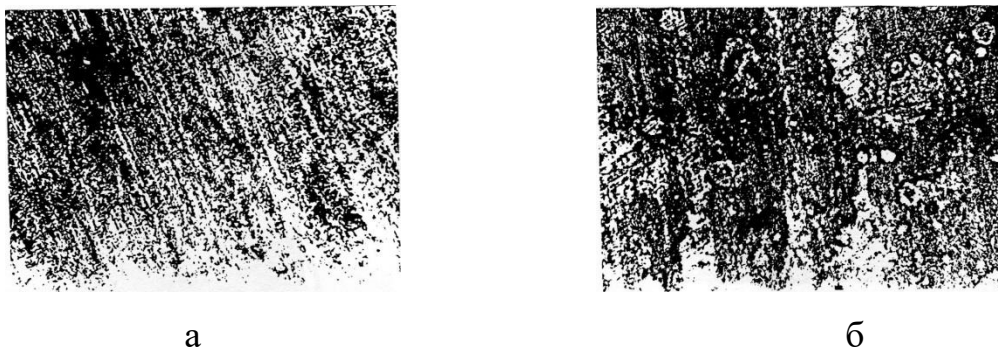
- підвищену несучу здатність;

- 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

3.4 Мікроструктура й фазовий склад покриттів

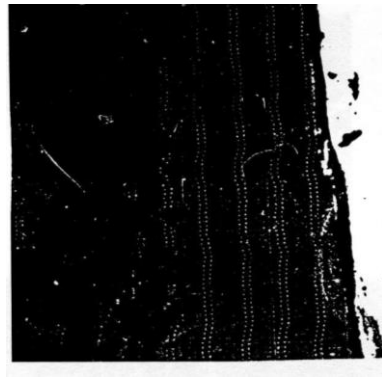
На рис. 3.10 представлені мікрофотографії з боку відновленої поверхні.



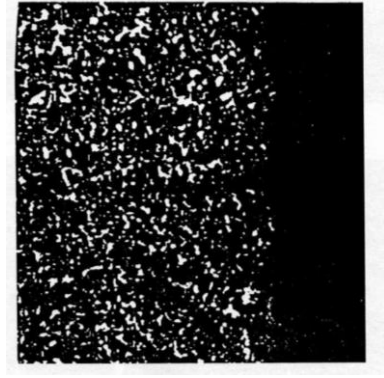
×100
а – гальванічного покриття; б – іонно-плазмового покриття

Рисунок 3.10 – Мікроструктура з боку
зміцненої поверхні

Гальванічне покриття створює свою поверхню певної спрямованості. Тоді як на зразках з вакуум-плазмовим покриттям повністю зберігається рельєф основи. Так, при відновленні зубів 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 рис.3.10 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



а



б

×100

а – гальванічного покриття; б – іонно-плазмового покриття

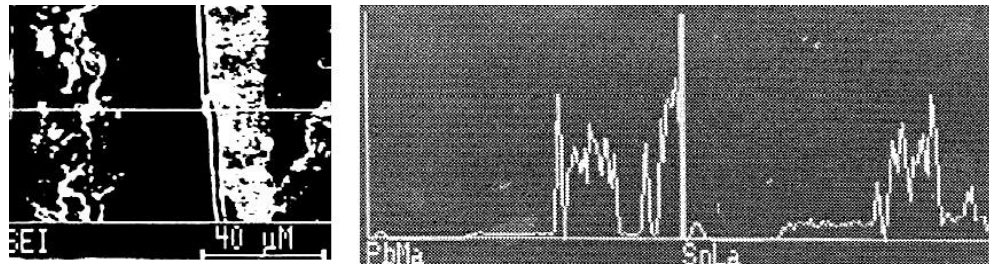
Рисунок 3.11 – Мікроструктура поперечних зразків, вирізаних з відновлених зубів

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

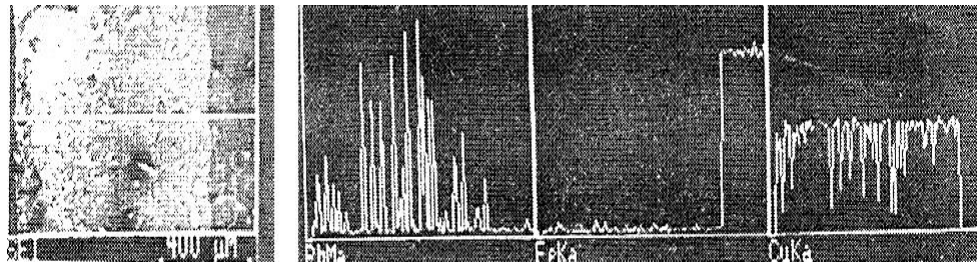
У зразків з поверхневим шаром, відновленим гальванічним методом, на границі між основою й покриттям спостерігається перехідна зона (рис. 3.11) на відміну від відновлених іонно-плазмовим методом.

У перехідній зоні (рис. 3.12), крім міді, свинцю, спостерігається залізо, що дифундує зі сталевोї основи. Наявність цієї зони послабляє адгезійну взаємодію між нанесеним покриттям і основою .

Це обумовлене особливостями іонно-плазмового методу, яке полягає в незначному розігріві деталі при нанесенні покриття й, як наслідок, відсутність перехідної зони між покриттям і основним металом.



а)



б)

а – гальванічного покриття; б – іонно-плазмового покриття

Рисунок 3.12 – Розподіл елементів у зоні контакту покриття-основа,
що відновлені різним методами

При нанесенні гальванічного покриття відбувається об'ємний розігрів виробу та утворення перехідної зони за рахунок взаємної дифузії елементів покриття в основу й навпаки, що послабляє зчеплення його з основою й приводить до відшаровування.

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. Зносостійкість досліджених деталей 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».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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 метастабільності метастабільного 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. Сагарадзе, А.І. Уваров // М.: Наука, 1989. 270 с.
6. Малинов, Л.С. Регулювання мартенситного перетворення при 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 сталі 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

11. Артеменко, Ю.А. Дослідження процесів кристалізації при наплавленні зносостійких сплавів на прозорих сольових моделях Текст. / Ю.А. Артеменко, Д.В.Бартенев, АВ Макушенко та ін. // Технологія металів. 2008. №8. С.41-42.

12. Басін, АС Аналіз подібності в процесах кристалізації евтектичних сплавів Текст. / АС Басін // Зб. «Закономірності формування структури сплавів евтектичного типу». Дніпропетровськ: Дніпропетровський металургійний інститут, 1982. С. 97-98.

13. Сомов, А.І. Евтектичні композиції Текст. / А.І. Сомов, М.А. Тихоновський // М.: Металургія, 1975. 304 с.

14. Посипайко, В.І. Діаграми плавкості сольових систем. (Довідник). Ч. 3. Текст. / В.І. Посипайко, Е.А. Алексєєва, НА Васіна // М.: Металургія, 1979. 204 с.

15. Шурин, АК Діаграми стану заліза з фазами впровадження як основа розробки зносостійких евтектичних сталей Текст. / А.К. Шурин, Панарін В.Е. // Металознавство і термічна обробка. 1984. № 2. С. 55-57.

16. Любич, А.І. Вплив силикокальція на структуру і властивості наплавленого металу Текст. / А.І. Любич, АВ Пустовгар // Зварювальне виробництво. 2002. №6. С. 46-47.

17. Походня, І.К. Гази в зварних швах Текст. / І.К. Походня. М.: Машинобудування, 1972. 256 с.

18. Воротніков, В.Я. Технологія відновлення і зміцнення робочих поверхонь полукамер гумозмішувачах Текст. / В.Я. Воротніков, Ю.А. Артеменко, Н.М. Гайдаш, В.В. Другаль // Зварювальне виробництво. 2003. №3.