Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей у 2019/2020 навчальному році

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

Підвищення довговічності лопаток димосмоків використанням сплавів системи Fe-Cr-V-Mo-C

Шифр «Димосмок»

2020

Анотація

Об'єктом дослідження є механізм газоабразивного зношування Fe-Cr-V-Mo-C покриттів.

Мета роботи: провести порівняльний аналіз зносостійких властивостей покриттів, отриманих плазмовим наплавленням порошку Пр-Х18ФНМ і покриттів, сформованих ручним дуговим наплавленням покритими електродами Т-590, а також дослідити механізм газоабразівного зношування Fe-Cr-V-Mo-C зміцнюючих шарів.

У роботі досліджені мікроструктури покриттів, наплавлених по двом різним технологіям, зношених після лабораторних і виробничих випробувань.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- проведений аналіз вітчизняної й закордонної літератури, сформульована актуальність досліджень із постановкою завдання;
- проведений аналіз матеріалів, використовуваних для відновлення деталей, що працюють в умовах газоабразивного зношування.
- проведені лабораторні й виробничі випробування на газоабразивну зносостійкість Fe-Cr-V-Mo-C зміцнюючих шарів і покриттів, наплавлених електродами Т-590 та плазмовим наплавленням порошку Пр-Х18ФНМ.

Ключові слова: газоабразивне зношування, плазменно-порошкове наплавлення, абразивне зношування, млинові вентилятори, димосмоки, Fe-Cr-V-Mo-C покриття, електроди Т-590.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Літературний огляд та патентно – інформаційний пошук. Визначення стану питання	6
1.1 Млинові вентилятори і димосмоки. Види зносу робочих елементів вентиляторів і димосмоків	6
1.2 Матеріали для виготовлення і зміцнення елементів вентиляторів і димосмоків	7
1.3 Характер руйнування матеріалів при газоабразівном зношуванні	11
2 Матеріали та методи дослідження	13
2.1 Матеріали для наплавлення	13
2.2 Вихідні матеріали та зразки	14
2.3 Приготування шлифов	15
2.4 Методи випробування матеріалів на зносостійкість	16
3 Результати проведеного дослідження підвищення довговічності лопаток димомомів з використанням сплавів системи FE-CR-V-MO-C	18
3.1 Структура матеріалу після наплавлення	18
3.2 Результати зношування в лабораторних умовах	19
3.3 Структура матеріалу після зношування в лабораторних умовах	20
3.4 Структура матеріалу після зношування в виробничих умовах.	24
3.5 Виробничі випробування	25
Висновок	28
Список використаних джерел	29

Вступ

В системі пилоприготування обладнання котелень станцій, що працюють на твердому паливі, важливими складовими елементами є млинові вентилятори. Вони здійснюють пневматичний транспорт вугільного пилу фракцією менше 100 мкм від циклонів до живильників пилу, і далі - в топку парогенераторів.

Отримані в результаті згорання твердого палива димові гази з газоходів парогенераторів всмоктуються димосмоками і викидаються в атмосферу через димові труби.

Робота, як димосмоків, так і млинових вентиляторів пов'язана з двома особливостями. По-перше, за даними [1] температура робочого тіла в димосмоках може досягати 450 К, а в млинових вентиляторах може бути вище 320 К. По-друге, робочі тіла і тих і інших насичені твердими домішками. У повітрі присутній вугільний пил, а в димових газах зола.

Тому в ході експлуатації описаних елементів котелень станцій спостерігається інтенсивний і нерівномірний знос їхніх робочих лопатей, дисків і стінок камер. Нерівномірний знос лопатей призводить до зниження потужності вентиляторів і димосмоків, розбалансування роторів, що сприяє вібрації підшипників, і в кінцевому підсумку призводить до виходу з ладу підшипникових вузлів. Час безперервної роботи димосмоків, не схильних до заходам щодо підвищення зносостійкості, в ряді випадків може досягати лише двох - трьох тижнів [1].

Для збільшення термінів експлуатації між ремонтами робочі поверхні лопатей млинових вентиляторів і димосмоківв даний час зміцнюють ручним дуговим наплавленням електродами Т-590. Неминучий же ремонт елементів димосмоків і млинових вентиляторів, в залежності від ступеня їх зносу, може здійснюватися в такий спосіб:

-повної заміною ротора і його наплавленням електродами Т-590;

-повної заміною окремих зношених лопаток новими і їх наплавленням електродами Т-590;

-замінив окремих ділянок лопаток і їх наплавленням електродами Т-590;

-відновлення товщини лопаток до необхідних розмірів електродами для зварювання та наплавлення вуглецевих і низьколегованих сталей перлітного класу і подальшим їх наплавленням електродами Т-590.

Метал системи Fe-Cr-C-B в повній мірі не може забезпечити ефективний опір зносу золою або вугільним пилом. До того ж ручна дугова наплавка, не дивлячись на низьку собівартість і можливість застосування в монтажних умовах, характеризується значною глибиною проплавлення основного металу і її непостійністю, високими тепловкладенням в зміцнюючих поверхню і втратами наплавляємого металу на чад, розбризкування і недогарки, низькою продуктивністю.

Частий ремонт роторів небажаний, тому що супроводжується зупинкою роботи котлів, обмеженням споживачів, високими матеріальними і тимчасовими витратами. Запуск і зупинка котлів також є технологічно складними процесами. Тому збільшення терміну експлуатації між ремонтами димосмоків і млинових вентиляторів - актуальна і важлива задача.

Відомо, що сплави, високолеговані ванадієм системи Fe-Cr-V-Mo-C здатні успішно конкурувати з високохромистого чавуну і швидкорізальними сталями. Але розвиток подібних матеріалів в якості присадних при дуговому наплавленні стримувала здатність ванадію утворювати шпінелі, що призводять до важкої віделимості шлакової кірки. При плазменно-порошкової наплавці ця проблема втрачає свою значимість.

Мета роботи: провести порівняльний аналіз зносостійких властивостей покриттів, отриманих плазмовим наплавленням порошку Пр-Х18ФНМ і покриттів, сформованих ручним дуговим наплавленням покритими електродами Т-590, а також дослідити механізм газоабразівного зношування Fe-Cr-V-Mo-C зміцнюючих шарів.

1 Літературний огляд та патентно – інформаційний пошук. Визначення стану питання

1.1 Млинові вентилятори і димосмоки. Види зносу робочих елементів вентиляторів і димосмоків

Димосмокі призначені для всмоктування димових газів з газоходу парогенератора і випуску їх через димову трубу в атмосферу. У парових генераторах, що працюють на вугільному пилу, в систему пилоприготування входять млинові вентилятори (ексгаустери), які забирають з циклонів повітря з дрібними фракціями вугільного пилу і подають цю суміш до живильників пилу, а далі - в топку парогенератора. Так як розвивається димосмоками і млиновими вентиляторами тиск мало, то вони мало чим відрізняються від звичайних вентиляторів, наприклад, від дуттєвих вентиляторів, які подають повітря в топку парогенератора [1].

Проте, умови роботи димосмоків і млинових вентиляторів виділяються двома особливостями, накладають відбиток на конструкцію цих машин і на їх розрахунок.

Перша особливість - підвищена температура робочого тіла: температура газів в димососах становить (390 - 450) К, а температура повітря в млинових вентиляторах перевищує 320 К. Тепло по валу переходить підшипників та викликає нагрів масла вище допустимої величини. Простий спосіб охолодження підшипників полягає в введенні трубки, пропускає воду в масляну ванну корпусу підшипника. Масло з ванни підшипника за допомогою мастильних кілець потрапляють в зазор між вкладишем і шийкою валу. Масло, яке підігрівається в підшипниках, стікає в ванну і відводить теплоту [1].

Друга особливість - наявність в робочому тілі твердих домішок: золи в димових газах і вугільного пилу в повітрі. Зола і вугільний пил зношують робочі лопаті, диски і стінки спіральної камери. Це призводить до розбалансування робочого колеса, втрати міцності, скорочення міжремонтних термінів і до падіння економічності роботи установки. Тому при виготовленні, і в процесі експлуатації

димосмоків і млинових вентиляторів приймають спеціальні заходи для зменшення зносу. Як заходи захисту застосовують змінні захисні листи з твердих матеріалів. Листами бронюються корпусу вентиляторів і газоходи місцях, де змінює напрямок потік і викликає падіння абразивних частинок на поверхню [1].

Знос млинових вентиляторів і димосмоків залежить від частоти обертання. Якщо подача і тиск задані, то слід зменшити частоту обертання робочого колеса. Але розміри машини при цьому будуть збільшені. Тертя абразивних частинок розподілиться по більшій поверхні, знос буде істотно знижений [1].

Під час протікання газу з пилом через робоче колесо, потік твердих частинок змінює напрямок з осьового на радіальне. Абразивні частки в результаті відцентрової сили потрапляють на втулку і основний диск, зношуючи їх. Потік, перетинаючи обертається грати лопатей, призводить їх до руйнування [1].

Повністю запобігти знос неможливо. Тому зменшення зносу досягається наплавленням твердих металів в областях, схильних до зносу. Завдяки цьому термін служби робочого колеса збільшується в кілька разів.

1.2 Матеріали для виготовлення і зміцнення елементів вентиляторів і димосмоків

В роботі [3] проведено дослідження на газоабразівне зношування сплавів на основі плавлених карбідів вольфраму WC + W_2C (реліт). Зразки були наплавлені плазменно-порошковим методом композиційними сплавами в один шар. Як зразки використовувалися композиційні сплави, що складаються зі сферичних гранул карбіду вольфраму і матриці Ni-Cr-Si-B. Автори зробили висновок, що знос сплавівна базі плавлених карбідів вольфраму несуттєво залежать від властивостей і твердості матриці при малих кутах атаки (до 15 °).

В умовах кімнатної температури зносостійкість сплавів Ni-Cr-Si-B порівнювалася з зносостійкість сплавів C-Cr-Ni-Si-Mn. У першому випадку зносостійкість перевершує в 2,7 рази. Але при високих температурах

зносостійкість істотно знижується [3].

Сферичні гранули карбіду ванадію в якості армуючої фази збільшують зносостійкість композиційних сплавів на 10-12% в порівнянні з подрібненими карбидами. Карбіди при зношуванні надають тіньовий ефект, захищаючи при цьому матрицю [3].

В роботі [6] проведено огляд наплавлювальних матеріалів, стійких до газоабразівному впливу. При наплавленні контактних поверхонь зрівняльних клапанів доменних печей широко застосовується порошкове стрічка ПЛ-АН - 111. Стрічка має високі експлуатаційні і технологічні властивості, але вона дуже дорога, тому що при її виготовленні використовується оболонка з нікелевого стрічки. Тому автори цієї роботи запропонували замінити стрічку ПЛ-АН 111 на наплавочні матеріал на основі заліза, орієнтуючись на сплави типу високохромистих чавунів, легованих сильними карбидообразующих елементами (V, Nb, W, Mo).

У той же час для підвищення газоабразівной зносостійкості потрібно забезпечити в наплавленого металу зміст упрочняющей карбідної фази не менше 30-35% і малу величину розкриття тріщин. Це реалізовано при створенні наплавлювальних матеріалів на основі нікелевої матриці, армованої карбидами [7, 8].

Встановлено [6], що підвищення газоабразівной зносостійкості наплавленого металу забезпечується при легуванні його бором в кількості 3-5%. Для наплавлення контактних поверхонь зрівняльних клапанів знайшла застосування порошковий дріт ПП-АН 170 (ПП-Нп 80Х20Р3Т). Зміст упрочняющей карбоборідной фази до 40%. Схильність наплавленого металу до утворення тріщин - підвищена. При легуванні бором (3-5%) сильно знижуються пластичні властивості, що призводить до збільшення кількості тріщин, величини їх розкриття і відколів. Механічна обробка внаслідок високої твердості і крихкості наплавленого шару утруднена.

Авторами роботи [9] розроблено сплав системи Fe-C-Cr-B-V зі зниженим вмістом бору (1,8-2,2% B) і додатково легований ванадієм (1,5-2% V). Такий

наплавлений метал має кілька більш високою пластичністю. Випробування металу, наплавленого порошковим дротом ПП-260Х14Р2Ф2Н3, показали, що його зносостійкість в 1,5-1,8 рази вище, ніж при використанні ПП-АН 170. Однак, ця електродний дріт також не знайшла широкого застосування через недостатню тріщиностійкості наплавленого шару.

На підставі цих дослідів можуть бути сформульовані наступні принципи розробки наплавочного матеріалу на залізній основі.

За рахунок легування сильними карбидообразующих елементами (V, Nb, W, Mo, Ti) можна забезпечити підвищення газоабразівной зносостійкості наплавленого металу. Карбідна фаза в таких сплавах має підвищену твердість і більш округлу форму. При цьому забезпечується підвищення зносостійкості за рахунок модифікування наплавленого металу [9].

У структурі наплавленого металу необхідно уникати утворення крихкого мартенситу, шляхом легування аустенітообразующімі елементами (Ni, Cu, Mn) [6].

Твердість наплавленого металу повинна бути відносно невисокою HRC 48-54. При більшій твердості метал крихкий, процес шліфування ускладнюється. Відбувається «розбивання» країв тріщин, наявних в наплавленого металу [6].

Для додаткового підвищення зносостійкості може використовуватися ефект дисперсійного твердіння наплавленого металу в процесі термічної обробки (відпалу), що зазвичай використовуються для зняття напружень після наплавлення, а також в процесі експлуатації [6].

Серед багатошарових покриттів, високий опір газоабразівному зносу мають матеріали:

(А) VN, VC, Cr3C2, ZrN і TiN, з титанової матрицею;

(Б) Cr3C2, VN, TiCco сталевий матрицею.

Випробування показують, що опір газоабразівному зношування істотно залежить від товщини покриття [13].

В роботі [14] порівняли зносостійкість покриттів на основі Fe-Cr-B-Al зі сталлю 12Х1МФ, яка використовується на тепловій електростанції для захисту

котлів.

Зважаючи на істотну пористості електродугових покриттів нанесеною порошковим дротом, їх газоабразівная зносостійкість при кімнатній температурі нижче, ніж для 12Х1МФ стали, твердість якої дорівнює 400 HV. Тріщини, що з'являються в покриттях з більш високим рівнем твердості внаслідок наявності значних напруг, що розтягують, що утворюються в процесі розпилення (вище 100 МПа) також чинить негативний вплив на зносостійкість покриттів. Таким чином, зносостійкість покриття з Fe-Cr-B-Al системи (12% Al) з твердістю 560 HV близька до зносостійкості аналізованої стали. У той же час, зносостійкість покриття з 2% Al і твердістю 930 HV в два рази нижче [14].

Якщо кут падіння абразивних частинок дорівнює 30 °, то поверхня хімічно однорідних покриттів зношується рівномірно. На поверхні хімічно гетерогенних покриттів, виявлено наявність шорсткостей. За даними спектрального аналізу, вони утворюються твердими фазами: залізними боридами, леговані хромом [14].

В процесі газоабразівного зносу при кімнатній температурі, покриття зношувалися в результаті появи мікротріщин (або поширення вже існуючих тріщин) і виривання помітних фрагментів покриттів як в обсязі, так і вздовж напрямку потоку [14].

В процесі високотемпературного газоабразівного зносу, покриття зношувалися слабо через плівки Fe_2O_3 оксиду заліза. При температурах 300 - 600 ° С фрагменти оксидних плівок Cr_2O_3 і Al_2O_3 утворюються в основному на поверхні, так і між лунками в покриття [14].

При підвищенні температури випробування, тріщини, що утворилися в покриттях заповнені продуктами корозії (легованого заліза, хрому та оксидів алюмінію), що призводить до вирівнювання опору зносу гомогенних і гетерогенних покриттів [14].

У роботах [16-22] наведені дослідження на газоабразівний знос таких матеріалів як алюміній, мідь, м'яка і нержавіюча сталь.

Типові механізми зносу, такі як рихлості, нерегулярні вм'ятини, подряпини, кратери, крихке руйнування, яка характеризується тріщинами, розташовані в

випадкових місцях на поверхні зразків в даному дослідженні [16].

Зносостійкі рубці утворювали еліптичну форму при 30 ° і 45 °, що є характерною рисою, коли зразки піддаються впливу при низьких кутах атаки (α≤45 °), в той час як майже кругла форма спостерігалася при 60 ° С і 90 ° [15] .

1.3 Характер руйнування матеріалів при газоабразівном зношуванні

Механізм, закономірність і картина газоабразівного або ерозійного зношування є найбільш складними з усіх видів зношування. Ерозійне зношування характеризується ударним впливом абразивного частки, спрямованим під кутом до поверхні. Цей кут називається кутом атаки і змінюється від 0 до 90 °.

Кут атаки і швидкість потоку - основні чинники силового впливу одиничних часток на поверхню зношування.

При малих кутах атаки α = 15 ... 30 ° на рельєфі поверхні зношування добре видно ризики, орієнтовані в напрямку потоку і мають поглиблення в зоні зіткнення. У момент удару метал деформується і видавлюється. При подальшому русі відбувається мікрорізання від частки. Кожна лунка має свою форму, глибину і площу. У початковий момент удару ширина і глибина лунки максимальна, у міру руху розміри зменшуються. Лунка має кометовідную форму [2].

При куті атаки α = 45 ° лунки стають більш глибокими і менш протяжними, але все одно можна розрізнити напрям потоку абразивних частинок [2].

Прикуті атаки α = 90 ° картина змінюється. Потік частинок робить удар по поверхні без руху по ній. Форма і розміри лунок визначаються швидкістю і розмірами частинок, а також твердістю, в'язкістю, міцністю і крихкістю матеріалу [2].

Під час газоабразівного зношування проявляється наклеп [2]. Його обсяг, глибина, чисельне значення приросту твердості залежать від вихідної структури металу, швидкості потоку і кута атаки. Саме наклеп провокує інверсію зносу нормалізованих і твердих загартованих сталей при переході від малих кутів атаки до прямого.

Наклеп не завжди є позитивним моментом, оскільки він може викликати охрупчивание і підвищення зносу шляхом викришування. У цих умовах тендітні і тверді фази в структурі металу в наслідку дії частинок потоку «вимиваються» з в'язкою матриці в якій вони закріплені. Завдяки відсутності вторинного цементиту в доевтетоідних сталях їх зносостійкість вище, ніж у заевтектоідних. Ще один негативний ефект удару - це динамічний фактор. Відомо, що руйнація металу прискорюється при силових впливах, особливо при зношуванні.

В результаті проведених дослідів [2] показана роль швидкості потоку в загальному комплексі факторів силового впливу потоку на кінцевий результат ерозійного зношування.

Зміна швидкості потоку надає різний вплив на зміну радіальних і тангенціальних сил. Так, наприклад, при α = 90 ° збільшення швидкості потоку в 10 разів викликає пропорційне збільшення цих сил, а при аналогічному зміні швидкості потоку при α = 30 ° максимальні тангенціальні сили збільшилися значно менше [2].

При різних кутах атаки співвідношення нормальних і тангенціальних сил різна, але, підсумовуючись, вони посилюють вплив одиничної частки. Це особливо помітно при α = 10 ... 70 ° [2].

При α = 45 ° спостерігається найінтенсивніший вплив потоку абразивних частинок. Є припущення, що поєднання радіальних і тангенціальних сил створює найбільш сприятливі силові умови на контакті, звідси максимальний знос. Зменшення зносу зі збільшенням твердості при малих кутах (α = 15 °), пояснюється макрорежущім дією абразивних частинок на поверхню зношування, а механізм формування і відділення частинок схожий зі зношуванням при терті ковзання: вище твердість - вище знос. Збільшенні зносу при α = 90 ° пов'язано з наростанням крихкого викришування в області високої твердості під дією радіальних сил: тверді і крихкі фази, звільнені від порівняно вузький матриці, фарбували - знос зростає [2].

2. Матеріали та методи дослідження

2.1 Матеріали для наплавлення

Як наплавочного матеріалу при плазмово-порошкового наплавлення використовувався промисловий порошок ПР-Х18ФНМ, фракцією від 50 до 200 мкм, хімічного складу, представленого в таблиці 1. В якості основного матеріалу використовували пластини зі сталі 20 розміром 250×100×10 мм, поверхня яких попередньо шліфували. Хімічний склад сталі 20 показаний в таблиці 2.

Таблиця 1 - Хімічний склад промислового порошку ПР-Х18ФНМ (мас.%,Fe - основа)

C	Cr	Ni	V	Mo
2,1…2,4	17…19	2…3	7…8	2…2,6

Таблиця 2 - Хімічний склад сталі 20 (мас.%,Fe - основа)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,17…0,24	0,17…0,37	0,35…0,65	0,25	0,04	0,04	0,25	0,25	0,08

Покриття наносили на установці УПН-303УХЛ4 з водоохолоджуваним плазмотроном. Для більш високого рівня захисту створюваних зміцнюючих шарів від шкідливого впливу атмосферного повітря на плазмотрон встановлювали пристрій додаткового обдування зони наплавлення. Покриття наплавляли за один прохід струмом прямої полярності (негативний полюс силового ланцюга підключений до водоохолоджувального мідного електроду з вольфрамовою вставкою діаметром 5 мм, а позитивний - до оброблюваної пластини). Як плазмоутворюючий, що транспортує, і захисний газ застосовували аргон вищого гатунку.

Як наплавочнийматеріал для ручного дугового

наплавленнявикористовувалися електроди Т-590, хімічний склад яких представлений в таблиці 3. В якості основного матеріалу використовували пластини зі сталі 20 розміром 250×100×10 мм, поверхня яких попередньо шліфувати.

Таблиця 3 - Хімічний склад електродів Т-590 (мас.%,Fe - основа)

C	Mn	Si	Cr	B
3,2	1,2	2,2	25	1

Наплавлення здійснювали за допомогою зварювального апарату УКСМ-1000 і баластного реостата РБ-306.

2.2 Параметри режиму наплавлення

При плазменно-порошкової наплавці покриття наплавляли за один прохід в один шар струмом прямої полярності при відстані від плазмотрона до виробу 10 ... 12 мм, витраті плазмоутворюючого газу 1 ... 2 л/хв, що транспортує 10 ... 16 л/хв, для додаткового поддува до 10 ... 15 л/хв, напрузі на дузі 31 ... 42 В.

Режими наплавлення:

• Струм 215-225 А

• Лінійна швидкість 4,5 м/г

• Швидкість подачі порошку 1,5-1,9 кг/г

• Розмах коливань 20-22 мм

Частота коливань 0,3-0,4 Гц

При ручному дуговому наплавленні покриття наплавляли в один шар в нижньому положенні струмом прямої полярності. Діаметр електродів 5 мм, сила струму 250-280 А.

2.3 Приготування шлифов

Приготування шлифов складалося з трьох етапів.

Перший етап. Вирізання і заторцовка шлифа. Вирізання зразка з досліджуваної поверхні відбувалося за допомогою углошлифовальной машинки. Потім зразок заторцовивалі на площину на наждачному колі, попутно виробляючи охолодження водою, щоб уникнути спотворення структури зразка.

Другий етап. Шліфування зразка проводилася на наждачному папері різної зернистості (Р320, Р400, Р600) і на щільному папері зі застосуванням алмазної пасти різних розмірів (зернистість синьою пасти 28/20, зеленої 10/7). Спершу шліфування відбувалося на наждачному папері з великими зернами, після перейшли на папір з більш дрібними зернами. Після паперу переходять на шліфування за допомогою алмазної пасти, також, переходячи від великої зернистості до меншої.

Зразок, притиснувши заторцованной стороною до поверхні наждачного паперу або щільного паперу з пастою, водили в одному напрямку до зникнення рисок. При переході на наступний номер паперу або пасти шліф водять в напрямку, перпендикулярному до штрихів, поки ризики від попереднього шліфування не зникнуть.

Третій етап. Полірування проводили на обертовому плоскому колі (фетрі). Коло змочується водою з розчиненим у ній порошком, пастою ГОІ. Полірування припиняється після видалення всіх рисок.

Четвертий етап. Аналіз мікроструктури покриттів проводили за допомогою оптичного мікроскопа Olympus GX51, забезпеченого аналізатором зображень SIAMS 700. Щоб побачити мікроструктуру, зразки протруюють методом занурення протягом трьох хвилин. Склад травителя: 20мл. HCl, 1 м Cu$Cl2$, 15 мл. $H2O$, 65 мл. $C2H5OH$.

2.4 Методи випробування матеріалів на зносостійкість

Аналіз літератури показав переважання механізму мікрорізання при абразивному зношуванні газовим потоком, що діє на робочу поверхню під малими кутами атаки. Тому в якості одного з методів лабораторних випробувань на знос був обраний відносно простий метод випробування матеріалів на зносостійкість при терті об нежорстко закріплені частки, при якому також переважає мікрорізання. Лабораторні випробування здійснювали відповідно до ГОСТ 23.208-79 (Забезпечення зносостійкості виробів. Метод випробування матеріалів на зносостійкість при терті по нежорстко закріплені абразивні частинки).

Сутність цього методу полягає в тому, що випробуваний зразок встановлюється в образцедержавку установки і притискаєтьсядо ролика за допомогою важеля. Включається установка і ролик починає обертатися, після чого включається дозуючий пристрій, що забезпечує безперервну подачу абразивного матеріалу. Схема установки представлена на рис. 1

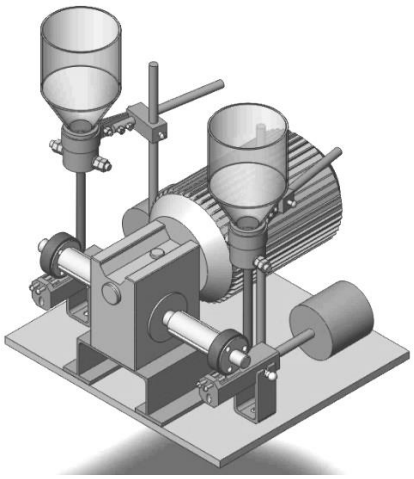

Рисунок1 -Лабораторна установка для випробування матеріалів на зносостійкість при терті про не твердо закріплені частки

Твердість кам'яного вугілля може досягати 5 одиниць за шкалою Мооса, наближаючись до твердості кварцу (7 одиниць за шкалою Мооса) .Як абразивний

матеріал при випробуваннях виступав кварцовий пісок фракцій менш 200 мкм, 200 ... 500 мкм, 500 ... 1000 мкм і електрокорунд фракцією менш500 мкм. На кожну фракцію піску випробувалось по 2 зразка. Час випробування - 15 хв. Після випробування втрата маси зразків визначалася за допомогою ваг.

Метод випробування матеріалів і покриттів на газоабразівное зношування проводилось за допомогою відцентрового прискорювача. Лабораторні випробування по оцінці зносостійкості отриманих покриттів здійснювали відповідно до вимог ГОСТ 23.201-78 (Забезпечення зносостійкості виробів. Метод випробування матеріалів і покриттів на газоабразівное зношування за допомогою відцентрового прискорювача).

Відцентровий прискорювач являє собою ротор, що обертаєтьсянавколо вертикальної осі, з чотирма радіально розташованими каналами прямокутного перетину. У ці канали надходить абразивний матеріал,який під дією відцентрових сил викидається з ротора і вдаряється об поверхню випробовуваних зразків, закріплених навколо нього. Зразки встановлюються під різними кутами атаки. Схема лабораторної установки представлена на рис. 2.

При випробуваннях на газоабразівное зношування застосовували кварцовий пісок фракцією менше 200 мкм. Час випробування - 30 хв. Одночасно випробувалось 5 зразків. Кути атаки 15 °, 30 °, 60 °, 90 °. Величина втрати маси визначалася за допомогою ваг.

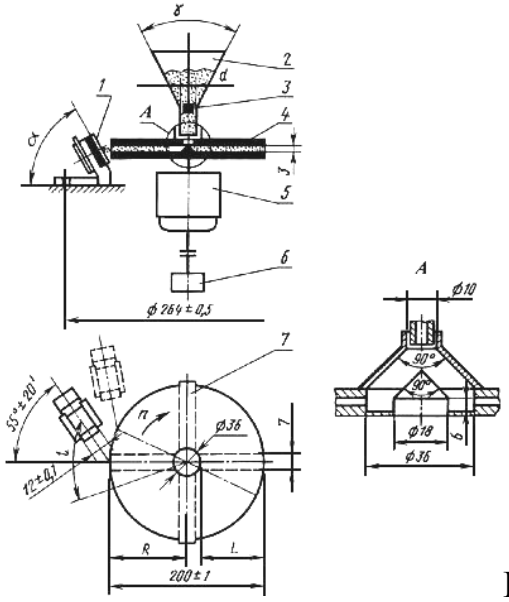

Рисунок2 -Лабораторна установка на газоабразівное зношування

3 Результати проведеного дослідження підвищення довговічності лопаток димомомів з використанням сплавів системи FE-CR-V-MO-C

3.1 Структура матеріалу після наплавлення

На рисунку 3 наведена мікростурктура покриття, сформована плазменно-порошкової наплавленням порошком Пр-Х18ФНМ. Евтектика на основі карбіду M_7C_3, на рисунку 3 розташована на межі зерен матриці, утворює сітку і має скелетообразное будова. Об'ємна частка евтектики в сплаві становить 24 ... 30%. Карбіди VC мають округлу форму (середній фактор форми 0,78 ... 0,81), їх середні розміри не перевищують 2 мкм, а об'ємна частка досягає 12 ... 13%. За даними [3] твердість VC приймає значення 2000 ... 3000 HV, а твердість M7C3 досягає 1380 HV. Згідно [3] округла форма високотвердих включень VC надає кращий «тіньової» ефект на матрицю, ніж карбіди неправильної форми.

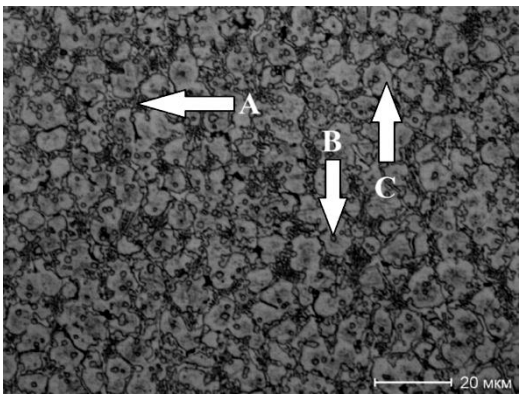

Рисунок. 3 –Мікроструктура покриття, сформована плазменно-порошкової наплавленням порошком ПР-Х18ФНМ (А - Евтектика на основі карбіду M_7C_3, В - карбід VC, С - матриця, що складається з α- і γ-твердих розчинів)

На рисунку 4 наведена мікроструктура покриття, наплавленого електродами Т-590. Тут можна побачити евтектичних карбід M_7C_3, що має схожу скелетообразное будова з карбідом M_7C_3 в Fe-Cr-V-Mo-C покритті. Інтенсивна переслідувані матриці говорить про високий вміст мартенситу в ній, на відміну від покриттів, сформованих плазмової наплавленням порошку Пр-Х18ФНМ, де в матриці переважає залишковий аустеніт.

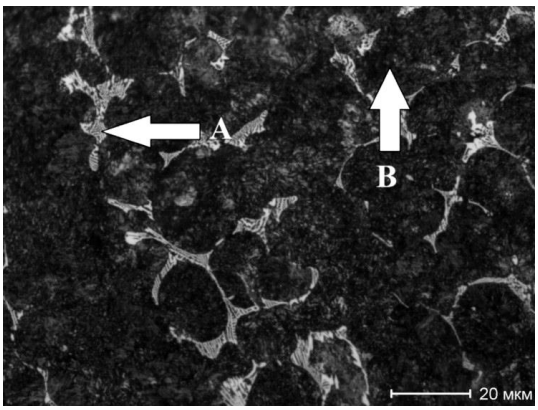

Рисунок. 4 -Мікроструктура покриття, сформована ручного дугового наплавленням покритими електродами Т-590 (А -M_7C_3, В - матриця, що складається з α- і γ- твердих розчинів)

3.2 Результати зношування в лабораторних умовах

На рисунку 5 представленагістограма, що демонструє величину втрати маси зразків, отриманих за двома різними технологіями зміцнення в залежності від фракції і виду абразиву.

У всіх випадках покриття, виконане плазмової наплавленням порошку Пр-Х18ФНМ, демонструє в 2 ... 3 рази вищу зносостійкість в умовах контакту з не жорстко закріпленими абразивними частинками, ніж покриття, сформований ручного дугового наплавленням електродами Т-590.

Гістограма, показана на рисунку 6, також свідчить про менший рівень зносостійких властивостей покриттів, отриманих ручного дугового наплавленням електродами Т-590 при їх газоабразівном зношуванні за допомогою відцентрового прискорювача при всіх досліджених кутах атаки абразиву (15, 30, 60 і 90 °).

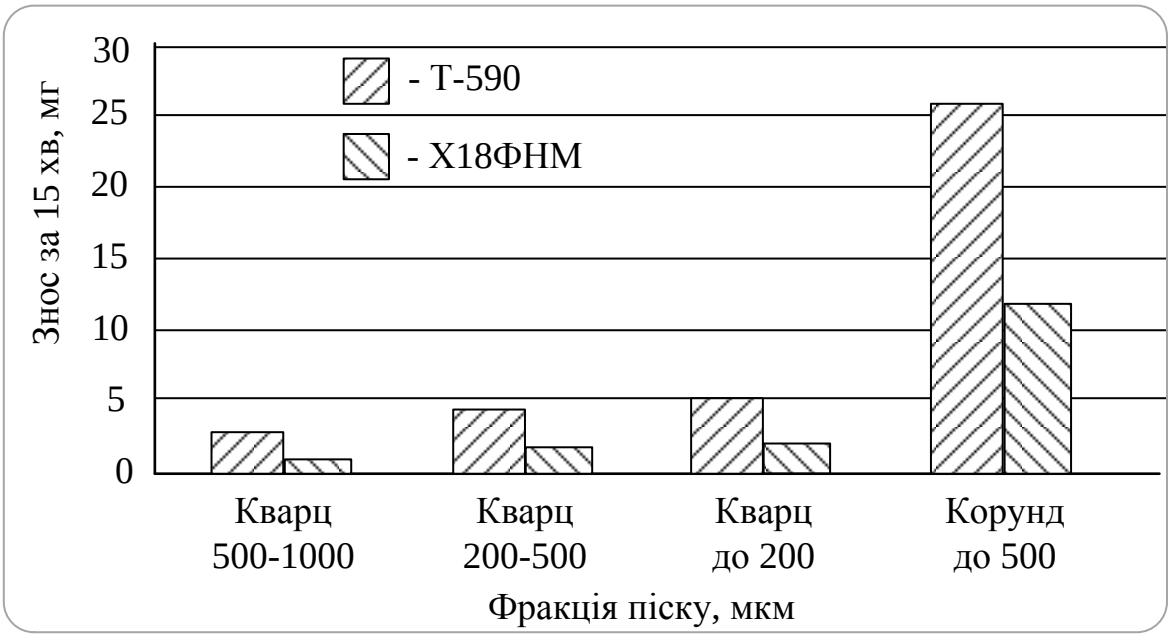

Рисунок 5 - Гістограма, що порівнює результати лабораторних випробувань на абразивне зношування двох різних технологій наплавлення

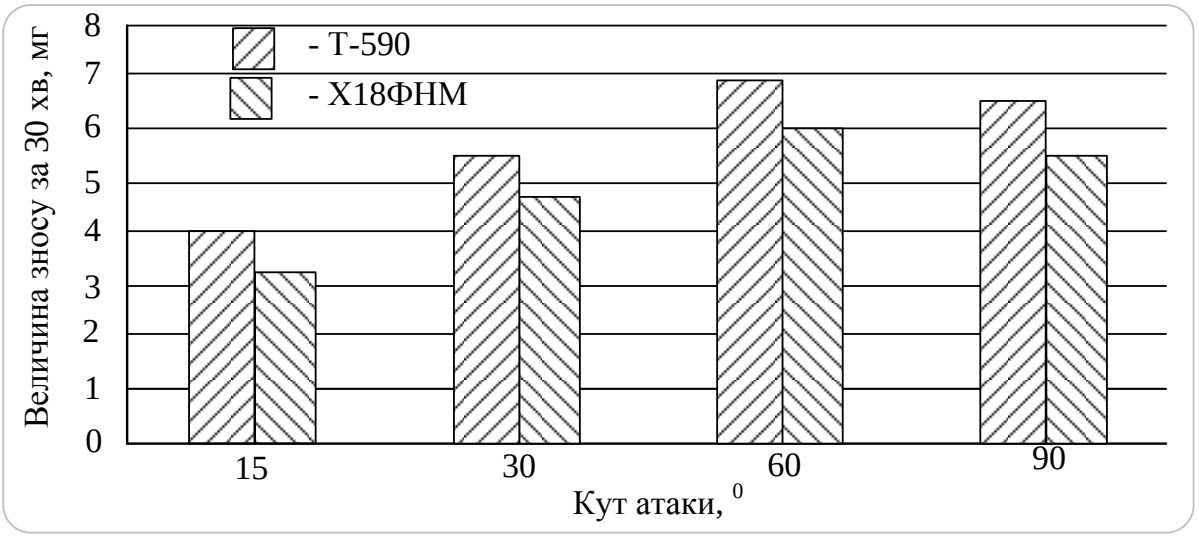

Рисунок 6-Гістограма, що порівнює результати лабораторних випробувань на абразивне зношування двох різних технологій наплавлення

3.3 Структура матеріалу після зношування в лабораторних умовах

Абразивне зношування.

На рисунку 7 зліва зображена поверхня, зношена кварцовим піском, покриття Х18ФНМ, а праворуч поверхню, зношена корундом. При такому

збільшенні структуру поверхні складно розрізнити, але видно напрямок зносу. Дрібні множинні риски, розташовані по напрямку руху абразивних частинок кварцового піску (твердість 7 за шкалою Мооса) потоку. При зношуванні ж корундом формуються в ході зношування риски мають велику глибину і безперервні в межах виконаних фотографій

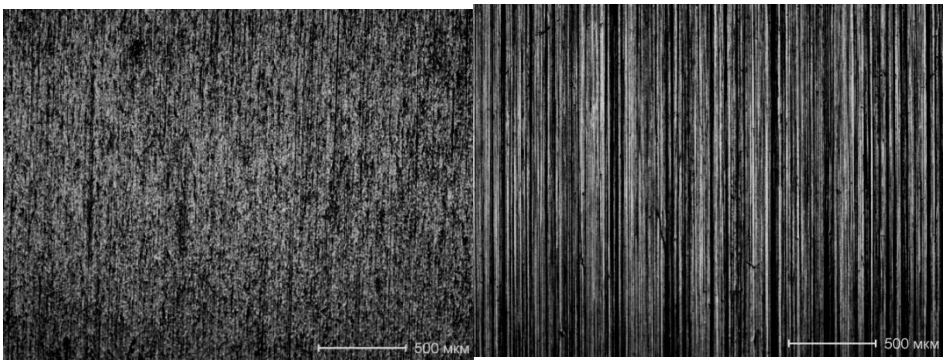

Рисунок7 –Зліва - поверхня, зношена кварцовим піском. Праворуч - поверхня, зношена електрокорунду

На рисунку 8 зліва поверхню покриття ПР-Х18ФНМ, отримана за допомогою травителя (склад: червона кров'яна сіль 10 м, КаОН 10г., Вода 100 мл.), зношення кварцовим піском. Під літерою А можна побачити великі скупчення карбідів VC, після яких видно «хвости», що є показником «тіньового» ефекту, і тому не спостерігається глибоких рисок. Під літерою Б позначена евтектика карбіду M_7C_3, яка так само, як і карбід VC надає захисний ефект на матрицю.

Справа протравлленая поверхню покриття ПР-Х18ФНМ, зношена піском електрокорунду (2000 HV). Твердість електрокорунду настільки висока, що він прорізає всю структуру. У деяких місцях навіть видно невелика пластична деформація по краях рисок. У рисках можна побачити невеликі лунки, які залишилися від випадання карбідів VC.

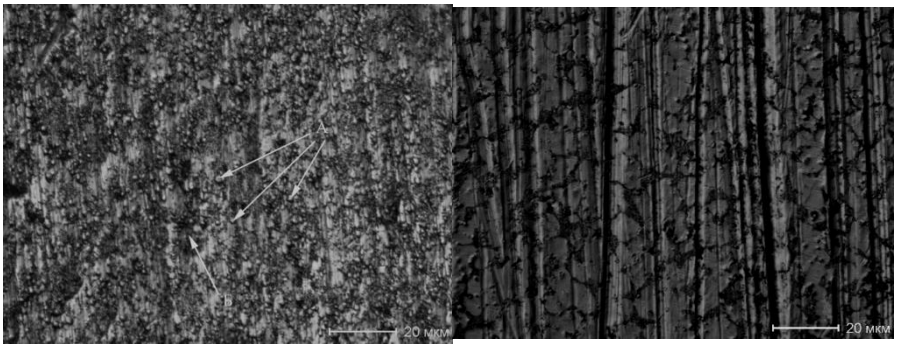

Рисунок8 –Зліва - поверхня, зношена кварцовим піском. Справа поверхню, зношена електрокорунду

Газоабразівное зношування.

На рисунку 9 зліва структура поверхні Х18ФНМ, зношеної при куті атаки 15 ° і знятої в світлому полі. Під літерою А позначені лунки, які з'явилися в реузльтате удару абразивних частинок об поверхню. Під літерою Б позначені невеликі скупчення карбідів VC, після яких залишається слід, що йде в напрямку зносу. Цей слід є матрицею, яка була захищена карбидами, завдяки «тіньовому» ефекту.

Справа фотографія поверхні Х18ФНМ, зношеної прикуті атаки 90 °. Складно розрізнити структуру, але по темних областях можна сказати, що знос носить більше втомний характер. Матриця складається з метастабільного аустеніту і мартенситу, під дією абразивних частинок, що летять нормально до робочої поверхні зразка, метастабільний аустеніт перетворюється в крихкий мартенсит. Випробування під малими кутами атаки абразивного потоку показали, що карбід VC в таких умовах не може бути зруйнований через свою високу твердість. Тому абразивні частинки багаторазовими ударами вдавлюють включення VC в матрицю. В результаті такого вдавлення залишковий аустеніт матриці перетворюється в мартенсит. Зв'язок карбідних включень з матрицею слабшає, і вони "вимиваються" газоабразівним потоком. З ростом кута атаки абразивного потоку здатність частинок VC захищати матрицю знижується.

Окремі частини евтектичного карбіду M_7C_3, будучи менш міцної фазою, ніж VC під багаторазовими ударами відколюються від основного обсягу

утвореної ними сітки і відкришуються з робочої поверхні покриття.

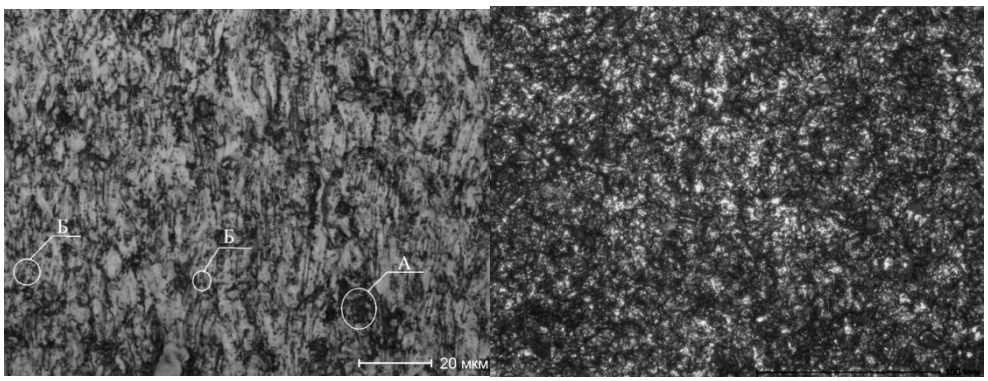

Рисунок9 –Світле поле. Зліва - поверхня Х18ФНМ, зношена при α = 15 °. Праворуч - поверхня Х18ФНМ, зношена при α = 90 °

На рисунку 10 зліва представлена поверхня зносу Х18ФНМ при куті атаки 15 °, знята в темному полі. Добре видно невеликий рельєф. Темні області - це лунки, утворені в результаті удару абразивних частинок об поверхню.Після удару частинки летять в напрямку газоабразівного потоку, дряпаючи поверхню. Тому лунки мають «хвости», як у комет. Світлі риски - це височини, що показує нам кілька рівнів рельєфу

Справа на рисунку 10 поверхня зносу Х18ФНМ при куті атаки 90 °, знята в темному полі. Картина відрізняється від тієї, що була при куті атаки 15 °. Тут немає направлення зносу. Але є глибокі лунки, утворені в результаті удару абразивних частинок об поверхню. Лунки і височини світлого кольору говорять про рельєф.

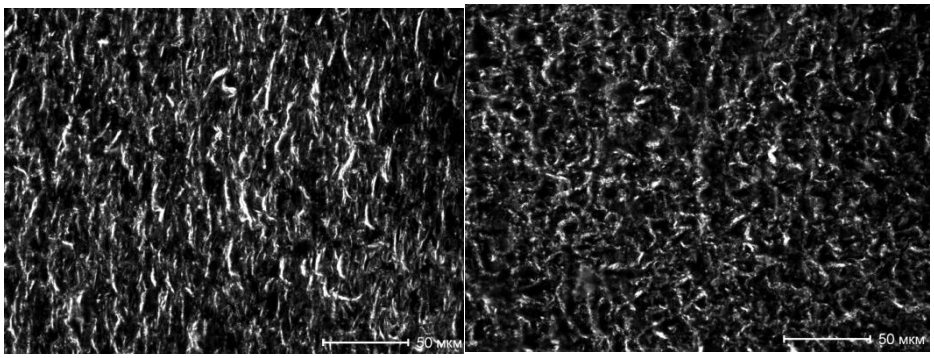

Рисунок. 10 – Темне поле. Зліва - поверхня Х18ФНМ, зношена при α = 15 °. Праворуч - поверхня Х18ФНМ, зношена при α = 90 °

3.4 Виробничі випробування

Нарисунку 11 зліва представлена фотографія зношеної поверхні лопатки млинового вентилятора. Справа ручне дугове наплавлення покритими електродами Т-590 на цій лопатці.

Рисунок11 – Зліва - Зношена поверхня лопатки робочого колеса млинового вентилятора. Праворуч - Ручна дугова наплавка покритими електродами т-590 на лопатці робочого колеса

На наступному рисунку 12 показана фотографія зношеної поверхні лопатці робочого колеса млинового вентилятора, виконаної ручним дуговим наплавленням покритими електродами Т-590, після року експлуатації. Покриття зносилося на 3-4 мм.

Нарисунку 13 зліва показана пластина з вваренними валиками в зношену область лопатці робочого колеса млинового вентилятора. На пластині за допомогою плазмово-порошкового наплавлення порошком Пр-Х18ФНМ нанесено 4 валика.

Справа зношена поверхня пластини після року експлуатації млинового вентилятора. Поверхня зносилася на 0,3-0,6 мм. Результат показує перевагу плазменно-порошкової наплавки в порівнянні з ручним дуговим

наплавленнямпокритими електродами.

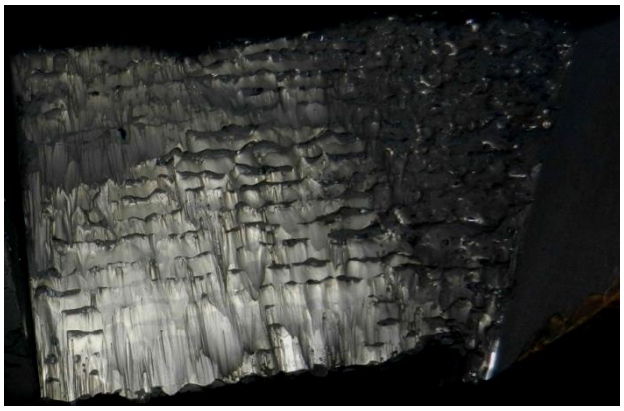

Рисунок12 -Зношення поверхні лопатці робочого колеса млинового вентилятора, виконаної ручним дуговим наплавленням покритими електродами Т-590, після року експлуатації

Рисунок13 –Зліва - пластина з чотирма валиками, нанесеними за допомогою ППН, вваренними в лопатку робочого колеса. Праворуч - зношування після 1 року експлуатації

3.5 Структура матеріалу після зношування в виробничих умовах.

В результаті впливу на поверхню Fe-Cr-V-Mo-C покриття газового потоку під малим кутом атаки (менше 30 °) на ній формується мікрорельєф. При дослідженні цієї поверхні методом светлопольного освітлення оптичної мікроскопії були отримані зображення, представлені на рісунку 14.

Тут добре ідентифікуються два рівня мікрорельєфу: перший це світлі

обсяги поверхні; другий-темні. Об'ємна частка світлих об'єктів їх форма і розташування дозволяють ідентифікувати їх як карбіди VC і M_7C_3. Темні ж обсяги - матриця, що складається з α- і γ-твердих розчинів.

Дослідження зношеної поверхні методом темнопольного освітлення оптичної мікроскопії дозволяє отримати відмінне від светлопольного її зображення (рис. 15).

Чітко виділяються світлі витягнуті в напрямку потоку об'єкти серед темніших обсягів поверхні. Розмір і форма цих об'єктів відповідає включенням VC, захистили матрицю від впливу газоабразівного потоку.

Отримана методами оптичної мікроскопії інформація про рельєф зношеної поверхні дозволяє виділити три рівні (1 - матриця за межами "тіні" карбідів, 2 - евтектика на основі M_7C_3, 3 - карбід ванадію) і припустити механізм газоабразівного зношування вугільним пилом Fe- Cr-V-Mo -C покриття.

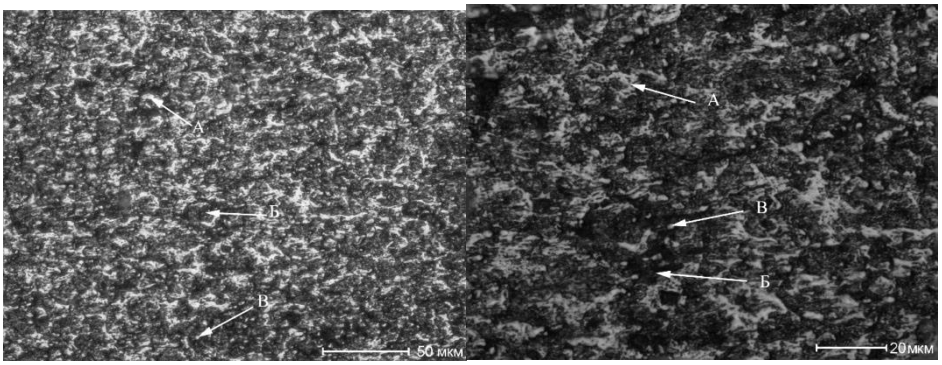

Рисунок 14 - Зліва збільшенні х500, праворуч - х1000 (А - евтектика M_7C_3, Б - матриця, що складається з α- і γ- твердих розчинів, В - карбіди ванадію)

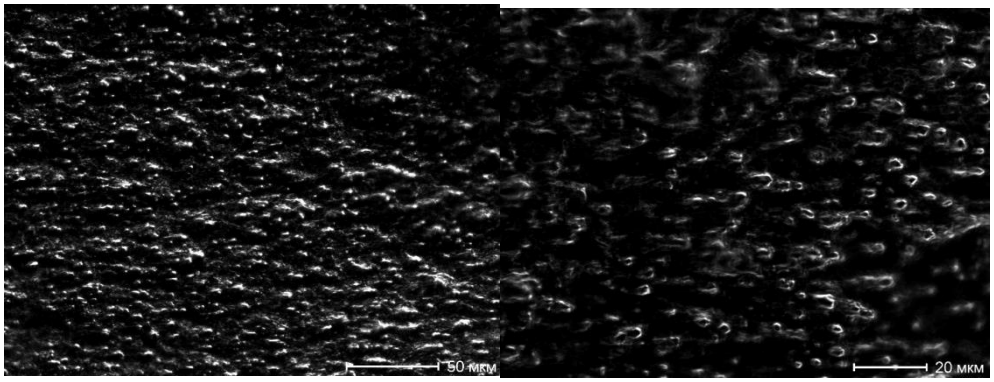

Рисунок 15– Зліва збільшенні х500, праворуч - х1000

В першу чергу зношується матриця, тому що твердість абразивних частинок порівнянна з її твердістю. Евтектика, через більшу здатність чинити опір впровадженню чужорідних тіл (1380 HV), зношується повільніше. Вона закриває деяку частину матриці на робочій поверхні покриття від прямого мікрорізання гранями частинок вугільного пилу. З огляду на свою будову евтектика не може бути вирвана з поверхні, що зношується, і тому вона поступово зрізається гострими гранями абразивних частинок, що переміщаються з високою швидкістю. Карбід ванадію (2900 HV) в ході випробувань не може бути зруйнований газоабразівним потоком млинового вентилятора. Інтенсивність руйнування матриці і евтектики в його тіні також мала. У міру зношування, прилеглих до VC переважно з фронтального боку обсягів матриці і евтектики його зв'язок з робочою поверхнею покриття знижується, і він вириває ться з неї газоабразівним потоком. Після цього, щодо сильно виступаючі над загальною робочою поверхнею обсяги матриці або евтектики з вирваними карбідами VC швидко стираються.

Необхідно відзначити, що в процесі полірування Fe-Cr-V-Mo-C покриттів на фетрі з пастою ГОІ на поверхні також формувався схожий з описаним мікрорельєф. Це ще раз підтверджує спорідненість механізму абразивного зношування нежорстко закріпленими частками з механізмом зношування газорабразівним потоком чинному під малими кутами (менше 30 град) до робочої поверхні досліджених зміцнюючих шарів.

Висновки

Проведено аналіз зносостійких властивостей покриттів, отриманих плазмовим наплавленням порошком Пр-Х18ФНМ, і покриттів, сформованих ручним дуговим наплавленням електродами Т-590.

В результаті лабораторних досліджень зносостійкість покриттів, отриманих плазменно-порошковим наплавленням, вище ніж покриттів, сформованих ручним дуговим наплавленням.

При виробничих випробуваннях в лопатку робочого колеса млинового вентилятора вварили пластину, з чотирма валиками, наплавленими плазмовим наплавленням порошком Пр-Х18ФНМ. За рік експлуатації покриття зносилося всього на 0,3-0,6 мм, тоді як покриття, виконані ручним дуговим наплавленням покритими електродами Т-590, зносилося на 3-4 мм.

Тому заміна технології наплавлення на виробництві, дозволить збільшити термін експлуатації лопатей робочого колеса млинового вентилятора і зменшити кількість ремонтів.

Також досліджено механізм газоабразівного зношування Fe-Cr-V-Mo-C покриттів. При малих кутах атаки карбідна фаза захищає матрицю від руйнування, тим самим зменшуючи знос. Карбіди ванадію зважаючи на свою твердості не можуть бути зруйновані і тому в результаті тривалого зношування вони вириваються з робочої поверхні. Евтектика карбіду M_7C_3 через свою скелетообразну будову не може бути вирвана з поверхні і тому вона руйнується аналогічно матриці, але при цьому вона все одно надає захисний ефект на матрицю.

Список використаних джерел

1. ШерстюкА.Н.Насосы,вентиляторы,компрессоры.Учебноепособиедлявузов–М.: высшаяшкола, 1972. –344с.
2. СорокинГ.М.,ЕфремовА.П.Коррозионно-механическоеизнашиваниесталейи сплавов. –М.: Нефть и газ. 2002.– 419с.
3. ЖудраА.П.Исследованиеизносостойкостикомпозиционныхсплавоввусловияхгазоабразивногоизносаприповышенныхтемпературах//Автоматическаясварка. - 2014. -№11. -С.31-33.
4. ПрибытковГ.А.,ПолевИ.В.,БатаевВ.А.,ИвановМ.Б.Структураиабразивнаяизносостойкостькомпозитовтугоплавкийкарбид–металлическаяматрица//Физическаямезомеханика.–2004.-№7.–С.419-422.
5. ТененбаумМ.М.Сопротивлениеабразивномуизнашиванию.–М.:Машиностроение, 1976. –270с.
6. ВоробьевВ.В.,МалиновВ.Л.Сплавыиматериалыдлянаплавкиконтактных поверхностейуравнительныхклапанов//ВІСНИКДонбаськоїдержавноїмашинобудівноїакадемії. – 2010. -№2.– С.64-68.
7. ШеенкоИ.Н.Современныенаплавочныематериалынаосноветугоплавкихсоединений/И.Н.Шеенко,В.Д.Орешкин,Ю.Д.Репкинко.–К.: Наук.думка, 1970.–238с.
8. ЮзвенкоЮ. А.Сплавына основекарбидов хрома длямеханизированнойнаплавки/Ю.А.Юзвенко,М.А.Пащенко//Автоматическаясварка.–1969. – №3– С.24–29.
9. ПоповС.Н.НаплавочныематериалысистемыFe-C-Cr-Bдлязащитыдеталей,работающихвусловияхинтенсивногогазоабразивногоиабразивногоизнашивания/С.Н.Попов,А.А.Митяев//Повышениенадежностиидолговечностидеталеймашиниконструкций.–Киев:УМКВО, 1988. – С.8–11.
10. КрупичБ.Газоабразивноеизнашиваниевентиляторовитрубопроводов. Авторефератдиссертации–Гомель, 2004. – 40с
11. ПохмурскийВ.И.,СтудентМ.М.Газоабразивнаяизносостойкостьприп

овышенныхтемпературахпокрытий,полученныхдуговойметаллизацией//Автоматическаясварка.– 2013. - №6. – С.16-23.

12. МалиновВ.Л.Новыепорошковыеленты,длянаплавкидеталей,работающихвусловияхабразивногоигазоабразивноговоздействия/В.Л.Малинов,В.В.Чигарев,В.В.Воробьев//Захистметалургійнихмашинвідполомок:зб.науковихпраць/ПДТУ.–Маріуполь,2012.–Вип.14.– С. 252-258.

13. MuboyadzhyanS.A.Erosion-ResistantCoatingsforGasTurbineCompressorBlades//RussianMetallurgy.– 2009. - №3. –P. 183-196

14. StudentM.M.,Pokhmurs'kaH.V.,Hvozdets'kyiV.V.Effectofhigh-temperaturecorrosiononthegas-abrasiveresistanceofelectric-arccoatings//MaterialsScience.–2009. – vol. 45. -№4.–P. 481-489

15. JuanR.Laguna-Camacho,Vite-TorresM.SolidParticleErosiononDifferentMetallicMaterials//Tribologyinengineering.– 2013. P.63-78.

16. VenkataramanB.&SundararajanG.,theSolidParticleErosionofCopperatVeryLow ImpactVelocities, Wear1989;135, 95-108.

17. AmbrosiniL.&BahadurS.,ErosionofAISI4140Steel,Wear1987;117,37-48.

18. HarshaA.P.&DeepakKumarBhaskar,SolidParticleErosionBehaviorofFerrousandNon-ferrousMaterialsandCorrelationofErosionDatawithErosionModels, MaterialsandDesign2008; 29,1745-1754.

19. HutchingsI.M.,Tribology:FrictionandWearofEngineeringMaterials,London, EdwardArnold;1992.

20. MorrisonC.T.&ScattergoodR.O.,Erosionof304stainlesssteel,Wear1986;111-113.

21. LevyA.V.&ChikP.,theEffectsofErodentCompositionandShapeontheErosionof Steel, Wear1983;89, 151-162.

LiebhardM.&LevyA.,TheEffectofErodentParticleCharacteristicsontheErosionof Metals, Wear1991;151,381-390