

УДК621.793.71

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ПОКРИТТІВ НА ЕТАПІ СТАНОВЛЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ

Полонський Л.Г., д-р техн. наук, проф.

(Житомирський державний технологічний університет)

Показаны пути становления механической обработки напыленных газотермических покрытий и ее влияние на развитие ремонтного производства в ведущих промышленных странах мира, в т.ч. в бывшем СССР и Украине.

Ways of becoming of machining raised dust gas-thermal coverings and its influence on development of repair manufacture in the leading industrial countries of the world, including in the former USSR and Ukraine are shown.

Газотермічне напилення, яке є видозміною відомого протягом тисячоліть способу розпилення рідкого металу – сьогодні одна з найдосконаліших та найбільш продуктивних і економічних серед використовуваних промисловістю енерго- та ресурсозберігаючих технологій. Її безпосередньо та у поєднанні з механічною обробкою визнано одним із найперспективніших засобів реалізації науково-технічного напрямку, який ефективно забезпечує надійність машин і конструкцій.

Суть газотермічного напилення полягає в тому, що специфічні властивості поверхні досягаються формуванням на ній тонких шарів із тих або інших матеріалів, що в пластичному або рідкому стані напилюються струменем газу.

У багатьох випадках поверхні деталей та конструкцій з такими покриттями не відповідають необхідним параметрам, наприклад, щільності, рівнотовщинності на всій площі напилення, точності розмірів і форми, шорсткості

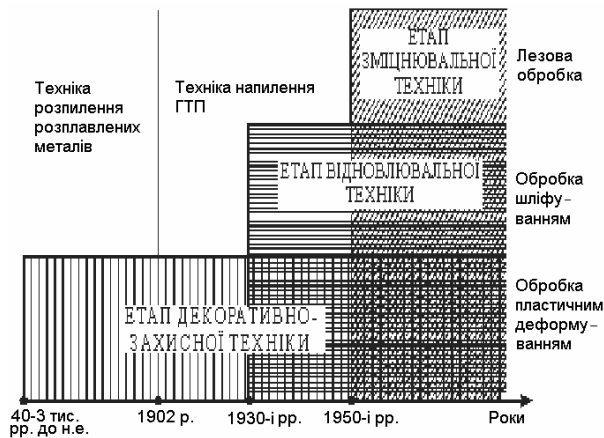
тощо. Для отримання відповідних експлуатаційних характеристик виникає потреба в їхній остаточній обробці за допомогою різноманітних зовнішніх впливів. Із самого початку застосування покриття піддавалися просоченню мастилами, але найбільший вплив на загальний розвиток процесів напилення мали термічна і, особливо, механічна обробка.



Завдяки бурхливому технічному розвитку суспільства, появі зносостійких матеріалів, виникненню дефіциту конструкційних матеріалів, підняттю на високий якісний рівень швидкісних, силових, температурних, динамічних та інших характеристик машин і механізмів, а також, у зв'язку з цим, – неспроможністю існуючої ремонтної бази за рахунок використовуваних на той час методів реновації забезпечити безперебійність експлуатації машин зумовили наприкінці 20-х – на початку 30-х рр. ХХ ст. вихід техніки напилення на етап розвитку, який отримав назву **етап відновлювальної техніки**

напилення газотермічних покриттів (див. рис.).

Технологічна простота процесу сприяла йому застосуванню в ремонтному виробництві. Удосконалення техніки напилення покриттів протягом 30-х–40-х рр. XX ст. дозволило освоїти роботи з відновлення відповідальних деталей машин. Вперше таку операцію здійснили в 1936 р. у Німеччині, яка готувалася до війни і підвищену увагу проявляла до створення мобільних, зручних та невибагливих методів швидкого, а, головне, якісного ремонту деталей бойових машин у польових умовах. Із 1941 р., також у Німеччині, у вжиток ввійшли втулки та підшипники ковзання з відновленими робочими поверхнями [1]. У США інтенсивний розвиток отримали технології напилення біметалів на деталі військової техніки [2], що значною мірою сприяло вирішенню проблеми її ремонту в бойових умовах.



Етапи розвитку газотермічних покриттів і домінуючі методи їхньої механічної обробки

Поступово використання техніки газополуменевого напилювання покриттів охопило і ремонтне виробництво в основних промислових центрах СРСР. З найбільш масштабних робіт, здійснених тоді,

можна відмітити те, що в 1934 р. у м. Свердловську (зараз – м. Єкатеринбург) було відновлено резервуар водонапірної вежі міського водопроводу, який навіть через 6 років після оцинкування знаходився в добротному стані [3].

Наприкінці 1930-х рр. одна з перших діляниць з виправлення бракованих відливок блоків циліндрів автомобільних двигунів за допомогою техніки напилення була організована на автозаводі ім. В.М. Молотова (м. Горький – зараз Нижній Новгород) [40]. З 1939 р. досить осяжно виправлення напиленням бракованого литва та деталей здійснювалося на заводі ім. Й.В. Сталіна (ЗІС) (м. Москва) [4]. Тут до 100 тис. забракованих деталей щорічно повертались у виробництво [3].

У 1940 р. інженер Греков і механік Третьяков (ЗІС) розробили ефективний технологічний процес відновлення газотермічним покриттям спрацьованих втулок та підшипників ковзання. Оригінальність і технологічність процесу полягала в тому, що спрацьовання внутрішніх поверхонь у даному випадку ліквідувалось за рахунок напилення покриття на зовнішні поверхні та наступної механічної обробки цих поверхонь [5].

Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування техніки напилення, що здійснювалося в ті роки багатьма вітчизняними підприємствами, в основному, давало позитивні результати, про що, наприклад, свідчать дані аналізу, проведеного на Московському авторемонтному заводі № 2 (МАРЗ-2) (див. табл.).

Особливу зацікавленість викликала виявлена можливість ліквідації газотермічними покриттями протікання двигунів. Вартість ліквідації розгерметизації танкового двигуна V-2 напиленням покриття, за даними Кіровського заводу,

становила 20 руб., а вартість заміни дефектної деталі новою – 2600 руб. (у цінах 1944 р.) [3]. Все це показує, що необхідність якнайширшого впровадження газотермічних покриттів у ремонтне виробництво та процеси виправлення бракованих заготовок ставала все актуальнішою.

Вартість відновлення спрацьованих деталей автомобіля ЗІС-5 за допомогою техніки напилення (за даними Є.В. Антошина, 1938 р. [3])

Найменування деталі	Вартість відновлення.	Ціна нової деталі
	У цінах 1938 р.	
Кулачковий вал	11,70	38,00
Вал приводу вод. помпи	9,40	8,80
Вісь вентилятора	3,75	5,50
Труба піввісі	9,45	50,00
Поворотний кулак	4,48	26,00

На початок другої світової війни (1939–1941 рр.) техніка напилення покриттів використовувалась багатьма авто- і танкоремонтними заводами, ремонтними підрозділами Червоної Армії [3]. На цей час вдалося освоїти відновлення близько тридцяти найменувань деталей. Напилення покриттів мало успіх у ремонтних цехах машинобудівних підприємств під час ремонту верстатів і технологічного устаткування. Розширювалось його застосування у ливарному виробництві з метою виправлення дефектів литва.

Поширення вітчизняної техніки напилення розпочалося з текстильної галузі. Зважаючи на реальний стан виробництва тканин, для вирішення завдань успішної експлуатації обладнання текстильної промисловості, одного з найбільш ремонтосемних серед усього технологічного оснащення країни, Рада Народних Комісарів СРСР 16 вересня 1937 р. прийняла постанову „Про заходи щодо по-

ліпшення роботи бавовняної промисловості” [4], яка зобов’язувала до впровадження у ній напилених покриттів.

Це дало змогу вже до 1945 р. широко впровадити технологічні процеси напилення покриттів у текстильне виробництво [6]. Не дивлячись на труднощі воєнного періоду, випуск продукції в текстильній промисловості не знизився, а, навпаки, підвищився, на що, безумовно, мало вплив і освоєння нового способу відновлення деталей. Згідно з планом 1945 р. збільшення виробництва тканин у порівнянні з попереднім роком намічалось (і було досягнуто), у першу чергу, за рахунок забезпечення скорочення простоїв устаткування.

Акценти переважного використання техніки напилення все більше зміщувалися у сферу ремонтного виробництва. В 1935 р. розпочалося проведення експериментів із відновлення деталей автомобілів на МАРЗ-2 [7]. Завдяки вдалому завершенню дослідницьких і експериментальних робіт уже в 1940 р. тут відновлювалось 12 найменувань деталей автомобілів ЗІС-5 [8], що забезпечило їхній пробіг після ремонту у межах 5000 км [3]. Протягом 1940 р. цехи напилення газотермічних покриттів відкрилися майже на всіх авторемонтних заводах країни.

В роки війни інтенсивні роботи з відновлення деталей текстильного устаткування, як, наприклад, веретен, шийок рифлених циліндрів, шпинделів тощо продовжувалися. На багатьох підприємствах („Трьохгорная мануфактура”, авто-, тракторо- і танкоремонтні заводи та інші) масово здійснювалися практичні заходи з відновлення спрацьованих деталей. У Казанських центральних авторемонтних майстернях в умовах дефіциту поршнів для автомобілів ЗІС-5 розпочалося їхнє відновлення електродуговим напилюванням покриттів [9].

Народний комісаріат озброєнь та авіаційної промисловості навіть видав спеціальне розпорядження, що зобов'язувало до організації дільниць напилення у ремонтних цехах усіх підлеглих йому підприємств. Тільки одним Н-ським заводом цього відомства протягом 1943 р. напиленими покриттями було виправлено понад 100 тис. шт. бронзових відливок.

Значним чином сприяла поліпшенню технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарських машин постановою лютевого (1947 р.) Пленуму ЦК ВКП(б) „Про заходи піднесення сільського господарства у післявоєнний період” [10]. Виконання її завдань залежало і від освоєння в ремонтній практиці техніки напилення покриттів.

Як показав аналіз, здійснений у 1953 р. низкою ремонтних підприємств Міністерства сільського господарства СРСР (Владимирський, Казанський, Рязанський, Стерлітамакський та інші заводи), термін служби деталей автомобілів і сільськогосподарських машин, відновлюваних напиленням, вдалося збільшити у 2...4 рази, а їхня вартість при цьому становила від 9 до 60 % вартості нових [11].

Значний імпульс розвитку техніки напилення в Україні давало те, що розповсюдження її здійснювалося в рамках становлення та вдосконалення у системі планово-попереджувального ремонту, яка у 1950-і рр. робила перші кроки. Напилення газотермічних покриттів стало в цій системі однією з форм перевірки ефективності прогресивних на той час прийомів і технологій ремонту в нових техніко-економічних обставинах (1931–1940 рр.).

Освоєння газотермічних покриттів із конструкційних (HRC_e 35...40) (1940-і–початок 1950-х рр.) і легованих сталей (HRC_e 40...55), поява таких матеріалів, як сормайти, сталініти, стеліти створювало все більш сприятливі умови для використання техніки напилення

покриттів при відновленні спрацьованих деталей машин.

Забезпечувати ж прийнятні геометричні параметри відновлених робочих поверхонь можна було тільки обробкою різанням, яка і почала поступово завоювати провідні позиції в загальному обсязі механічної обробки покриттів. При обробці напилених покриттів застосовувалися традиційні для того часу (1930-і рр.) інструментальні матеріали: сталі інструментальні та швидкорізальні, абразиви. Іноді для розточування відновлених поверхонь отворів вдавалися до обробки алмазними різцями [4]. Освоєння твердосплавних інструментів у промисловості в ці роки тільки розпочиналося і для обробки покриттів вони взагалі не застосовувалися.

По відношенню до покриттів із кольорових металів і сплавів, низьковуглецевих сталей інструментальні та швидкорізальні сталі зарекомендували себе позитивно, але механічна обробка сталей покриттів навіть при їхній твердості у межах HRC_e 40...45 від самих перших спроб її застосування стала великою проблемою, яка вимагала життя відповідних заходів.

Перехід на шліфування і став таким вимушеним заходом, проте і він гальмувався існуванням своєрідного психологічного бар'єру. Справа в тому, що абразивна обробка на той час була допоміжною і застосування її, як вважалося, могло виправдовувати себе тільки на кінцевих, чистових операціях обробки. Крім того, вона ставила і нові проблеми, насамперед, екологічного характеру.

Зростання відсотка шліфування у загальній структурі обробки відновлених деталей сприяло становленню етапу механічної обробки газотермічних покриттів шліфуванням (див. рис.). Вимоги до точності і шорсткості поверхонь деталей, відновлених напиленням, протягом 30-х–70-х рр. XX ст. забезпечувалися лише операціями шліфування.

Хоча, одночасно з цим, така обробка, високоенергетична та малопродуктивна, об'єктивно стримувала загальний розвиток техніки напилення. Тому паралельно зі шліфуванням продовжувалося застосування і лезової обробки.

Перспективність напилення та неоднозначність результатів механічної обробки значною мірою стимулювали початок дослідницьких робіт із різання покриттів широкого якісного діапазону [12, 13]. Комплекс робіт із дослідження оброблюваності точінням, проведений Московським текстильним інститутом, дозволив розробити рекомендації для визначення режимів різання напилених покриттів.

Протягом 1937–1947 рр. в СРСР освоїли механічну обробку відновлених автотракторних деталей близько тридцяти найменувань [3]. За період 1945–1953 рр. з'явилася можливість інтенсифікації лезової обробки покриттів шляхом заміни швидкорізальних різців твердосплавними, зокрема, оснащеними сплавами групи ВК [14].

Збільшився обсяг досліджень із фрезерування та свердлування покриттів. Продовжувалося визначення оптимальних режимів різання різноманітних газотермічних покриттів і геометричних параметрів інструментів, в основному, токарних та стругальних різців, фрез, свердл у Німецькій Демократичній Республіці, СРСР, США і Чехословаччині [10]. Дослідження процесу шліфування покриттів та його широке впровадження у виробництво здійснювалися в СРСР і США [3].

В Радянському Союзі та Чехословаччині ввійшло у практику точіння застосування більших подач і менших глибин різання, у Сполучених Штатах – навпаки. У ці ж роки в СРСР застосовувалося тільки „мокре” шліфування, а в США – і „мокре”, і „сухе” [3, 15].

Почала домінувати єдина думка,

яка не викликала заперечень ні у вітчизняній, ні у світовій практиці абразивної обробки покриттів, щодо необхідності застосування крупнозернистих алундових або монокорундових шліфувальних кругів на м'якій основі. Монокорундові круги порівняно з карборундовими та електрокорундовими менше „засалювалися” та спрацьовувалися, а їхня питома продуктивність була в 3...4 рази більшою. У США для обробки покриттів із нержавіючих хромистих сталей знайшли застосування кристалоні шліфувальні круги [3].

У другій половині 1950-х рр. техніка напилення покриттів уже застосовувала, крім кольорових металів, сплавів на їхній основі та сталей, також і самофлюсівні матеріали [16], чавуни, карбіди, оксиди, пластичні маси, тверді сплави, кераміку тощо [17, 19].

Знову можливості процесів механічної обробки покриттів почали обмежуватися їхніми високими фізико-механічними властивостями. Найбільшу увагу в таких випадках вже традиційно продовжували приділяти абразивній обробці.

Застосовуючи електрокорундові круги, круги з карбіда кремнію зеленого, монокорундові та здійснюючи обробку на апробованих і тому рекомендованих для відповідних покриттів режимах, досягали шорсткості поверхні $Ra = 0,32...0,15$ мкм. [20]. Однак стійкість кругів залишалася низькою, у межах всього 6...9 хв.

У зв'язку з якісними змінами в матеріалах, що застосовувалися для покриттів, та початком домінування серед них самофлюсівних порошкових матеріалів і кераміки намагалися інтенсифікувати лезову обробку впровадженням у процеси різання інструментальних твердих сплавів ВК2, ВК3, ВК6, ВК8, Т15К6, Т30К4.

Режими токарної обробки, завдяки проведенню великих обсягів наукових досліджень та експериментів, вдалося дещо поліпшити [3, 6, 80, 20]: швидкість різання – 0,17...1,23 м/с, подача – 0,07...1,00 мм/об, глибина різання – 0,3...1,2 мм.

Вдалося досягти, правда, досить незначного, збільшення стійкості токарних різців. Загалом їхня середня стійкість порівняно з 30-ми–40-ми рр. ХХ ст. зросла лише на 5,5 хв. і вийшла на межу 17 хв. наприкінці 1960-х рр.

Одночасно відбувалося постійне удосконалення інструментів для механічної обробки покриттів. Ще наприкінці 1930-х рр. було визнано за доцільне їхнє точіння здійснювати прохідними різцями з криволінійною різальною кромкою (різцями Тейлора), що звичайно застосовувалися для обробки чавуну [3, 21]. Зі збільшенням обсягів точіння напилених покриттів і, відповідно, витрат різців із криволінійною різальною кромкою, підготовка яких вимагала значних зусиль, перейшли на використання різців із прямолінійною різальною кромкою з заокругленою вершиною (1970-і рр.).

Зусиллями провідних вітчизняних учених (зокрема, Є.В. Антошина, В.Н. Байкалової, Ф.Я. Баранова, В.І. Баталова, Г.Д. Вадівасова, Г.Д. Вольперта, В.А. Драгуновича, М.В. Катца, Л.В. Красніченка), німецьких і чехословацьких науковців, спеціалістів провідних світових фірм у сфері газотермічних покриттів на середину 60-х рр. ХХ ст. було оптимізовано геометричні параметри твердосплавних інструментів (токарних різців та фрез) із врахуванням їхнього впливу на стійкість [3, 10, 22, 23]: задній кут $\alpha = 8...12^\circ$; головний кут у плані $\varphi = 45...60^\circ$; допоміжний кут у плані $\varphi_1 = 10...12^\circ$; кут нахилу різальної кромки $\lambda = 0^\circ$.

При обробці покриттів поки що не вироблено однозначного підходу лише до застосування змашувально-

охолоджувальних технологічних середовищ і до визначення величини переднього кута γ [3, 4, 6, 10, 24].

Значення γ , які рекомендовалися у технічній літературі, насамперед, виданій протягом 1956–1974 рр., коливаються від (-5°) до 12° , а їхні величини нічим не аргументуються.

Щодо застосування змашувально-охолоджувальних технологічних середовищ (ЗОТС) рекомендації також відзначають надзвичайно великими протиріччями. У США з 40-х рр. ХХ ст. і до сьогодні практикується застосування шліфування без охолодження, наші ж спеціалісти у більшості випадків продовжують рекомендувати обов'язкове охолодження, пропускаючи той факт, що проникнення ЗОТС через пори може викликати корозію матеріалів покриття та основи, а також, діючи як рідинний прошарок, сприяти відшаруванню покриття під час обробки або її експлуатації [3, 4, 6, 15, 20].

У Радянському Союзі розгортанню робіт із проблем механічної обробки деталей, відновлених напиленими покриттями, сприяли, у першу чергу, поява та впровадження у виробництво нових вітчизняних інструментальних надтвердих матеріалів (НТМ) із унікальним діапазоном різальних властивостей (1970-і–1980-і рр.) – гексаніту-Р (розробка Інституту проблем матеріалознавства АН УРСР, автори І.М. Францевич, О.М. Пилянкевич, Г.Г. Карюк та інші) і кибориту (розробка Інституту надтвердих матеріалів АН УРСР, автори М.В. Новіков, О.О. Шульженко, М.П. Беженар та ін.).

На початку 70-х рр. ХХ ст. одним із перших системні дослідження обробки різанням виробів із покриттями, насамперед, наплавленими, розпочав у Брянському інституті транспортного машинобудування (БІТМ) відомий радянський і український вчений-машинобудівник, докт. техн. наук, проф. Едуард Вячеславович Рижов

(08.11.1928 р.–11.11.1997 р.) [25].

Наукова школа механічної обробки наплавки та газотермічних покриттів почала формуватися Е.В. Рижовим наприкінці 1960-х–на початку 1970-х рр. також у стінах БІТМ. У своєму розвитку вона пройшла шлях від вивчення локальних проблем обробки покриттів до комплексного вирішення загальної проблеми поліпшення якості та забезпечення експлуатаційних властивостей виробів машинобудування, у тому числі, і за рахунок управління структурою та різноманітними характеристиками функціональних поверхонь з композиційних градієнтних та гетерогенних матеріалів, яка досягається завдяки механічній обробці. Після переїзду Е.В. Рижова до Києва ці роботи було продовжено та значно розширено в ІНМ АН УРСР. Зокрема, вони охопили і алмазно-абразивну обробку. Розвитку всебічних досліджень з різання покриттів сприяло те, що якраз у цей час промисловістю країни налагодила випуск обширної гами інструментальних НТМ – гексаніту-Р, ельбору-Р, белбору тощо, розпочалося впровадження кибориту, знайшли застосування лезові інструменти і шліфувальні круги з цих матеріалів.

Але, на жаль, незважаючи на беззаперечні успіхи, обсяг експериментальних досліджень оброблюваності напилених покриттів навіть і після появи НТМ залишається недостатнім. Вивчення процесів їх різання та впровадження результатів у виробництво не має чіткої системи та стабільного комплексного характеру і сьогодні (правда, необхідно констатувати, що протягом 80-х рр. ХХ ст. відбулися певні позитивні зрушення в цьому напрямку). Це завважало і заважає узагальненню отриманих результатів і впливає на науковий рівень виконуваних робіт, а також на впровадження їх у практику роботи

ремонтних підприємств.

Впровадження інструментів із НТМ дозволило значно інтенсифікувати режими обробки напилених покриттів. Швидкість точіння покриттів на середину 80-х рр. ХХ ст. досягла 2,67 м/с [26, 27].

За період часу, що розглядається, сконструйовано багато нових інструментів для різання покриттів. Виявлена протягом 70-х–80-х рр. ХХ ст. необхідність обов'язкового використання для їхньої обробки інструментів із НТМ з додатковою різальною кромкою або радіусом заокруглення вершини [28, 29] дозволила на сьогодні досягти стійкості, близької до економічної, що забезпечує мінімальну вартість операції.

Освоєння інструментальних НТМ дозволило, протягом 1970-х–1990-х рр. у багатьох випадках успішно замінити шліфування лезовою обробкою, а також розпочати обробку плоских напилених поверхонь [28, 30, 31].

З цього часу основні акценти у механічній обробці деталей, відновлених газотермічними покриттями, зміщуються на лезову обробку. Обсяги її застосування почали хоч і повільно, але невпинно збільшуватися, тоді як обсяги шліфування – зменшуватися. Розпочалося формування етапу лезової обробки газотермічних покриттів (див. рис.), який вирізняє забезпечення можливості досягнення необхідної якості деталей машин із покриттями як за геометричними параметрами, так і за фізико-механічними властивостями приповерхневого шару.

Головні наслідки застосування механічної обробки напилених покриттів полягають у тому, що засоби цієї обробки стали невід'ємною складовою такого загального поняття, як „техніка газотермічних покриттів”, поряд із напилюваними матеріалами, засобами підготовки поверхні, генераторами газового

струменя тощо. Сьогодні техніку наплення газотермічних покриттів у ремонтному виробництві вже неможливо уявити без механічної обробки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кречмар Э. Металлизация распылением и её применение в народном хозяйстве. – М.: Машгиз, 1958. – 120 с.

2. Корниенко Р.А. Организация производства вооружений в США с применением новых технологий в годы второй мировой войны // Актуальні питання історії техніки: Матер. 2-ї Всеукраїнської наук. конф., 23–24 листопада 2003 р., м. Київ. – К.: ПП „ЕКМО”, 2003. – С. 127–128.

3. Антошин Е.В. Технология металлизации распылением. – М.–Свердловск: Машгиз, 1944. – 168 с.

4. Катц Н.В. Металлизация распылением. – Харьков: ХДТ, 1940. – 87 с.

5. Греков В.С. Восстановление металлизацией изношенных втулок, вкла-дышей и подшипников // Автотракторное дело. – 1940. – № 8–9. – С. 41–43.

6. Катц Н.В. Применение электрометаллизации в текстильной промышленности. – М.: Гизлегпром, 1945. – 92 с.

7. Решетников Н.С. Металлизация в авторемонте // Мотор. – 1939. – № 9. – С. 18–21.

8. Долженков А.Т. Износоустойчивость металлизированных покрытий // Тр. Московск. ин-та механизации и электрификации сельского хозяйства. – М.: МИМЭСХ, 1940. – Вып. V. – С. 3–19.

9. Десницкий П. Реставрация чугунных поршней электрометаллизацией // Автомобиль. – 1943. – № 6. – С. 16–17.

10. Катц Н.В., Линник Е.М. Электрометаллизация. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 224 с.

11. Антошин Е.В. Восстановление изношенных деталей металлизацией // Повышение долговечности машин и передовые методы их ремонта: Докл. на Московск. конф. механиков по повышению долговечности машин и передовым методам ремонта. – М.: Машгиз, 1949. – С. 252–265.

12. Конфедератов И.Я. К вопросу о периодизации всеобщей истории техники // Там само. – С. 141–152.

13. Патон Б. Развитие и практическое использование сварочных технологий – эффективное средство повышения надёжности сельскохозяйственной техники // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1983. – № 6. – С. 52–55.

14. Айзин Н.П. Восстановление деталей изношенного оборудования электрометалли-

зацией. – М.: Филиал ВНИТИ, 1958. – 36 с.

15. Кряк Р. Металлизация распылением. – М.: Профиздат, 1956. – 174 с.

16. Орлов Ю.Т. Новые наплавочные материалы для газотермических покрытий деталей машин // Внедрение прогрессивных методов восстановления изношенных деталей сельскохозяйственных машин: Тез. докл. обл. науч.-практической конф., 1982 г., г. Ровно. – Ровно: Б. и., 1982. – С. 12–14.

17. Газопламенная обработка металлов на железнодорожном транспорте / Под ред. Т.А. Владимирского. – М.: Транспорт, 1977.– 200 с.

18. Денисевич С.А. Материаловедение и научно-технический прогресс. – К.: Наук. думка, 1991. – 160 с.

19. Д.І.І. Застосування чавуну для металізації розпорошуванням // Техніка – масам. – 1937. – № 10. – С. 62.

20. Катц Н.В. Восстановление деталей текстильных машин металлизацией. – М.: Лёгкая индустрия, 1968. – 191 с.

21. Резников Н.И. Учение о резании металлов. – М.: Машгиз, 1947. – 588 с.

22. Вольперт Г.Д. Покрытие распыленным металлом (металлизация). – М.–Л.: Гизлегпром, 1940. – 176 с.

23. Дмитриевич А.М. Технология металлизации распылением. – Минск: Госиздат БССР, 1958. – 196 с.

24. Красниченко Л.В. Современная технология металлизации распылением. – М.: Трудрезервиздат, 1958. – 94 с.

25. Новиков Н. В. Эдуард Вячеславович Рьжов: развитие технологической науки в ИСМ НАН Украины // Технологическое управление качеством поверхности деталей: Сб. науч. тр. – К.: АТМ Украины, 1998. – С. 9–16.

26. Ящерицын П.И., Ерёмченко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 512 с.

27. Рекомендации по обработке покрытий фирмы „Кастолин”: Проспект. – Женева, 1984. – 24 с.

28. Конструкции и эксплуатация резов, оснащённых сверхтвёрдыми материалами на основе нитрида бора: Методич. рекомендації. – ВНИИТЭМР, 1987. – 72 с.

29. Литвинович Н.Ф. Обработка твёрдосплавных покрытий. – М.: НИИТЭ-ХИМ, 1983. – 42 с.

30. Козлов Д.А. Ремонт и межремонтное обслуживание металлорежущих станков. – Минск: Госиздат БССР, 1961. – 342 с.

31. Клименко С.А. Основы лезвийной обработки износостойких защитных покрытий: Автореф. дис.... д. т. н. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 1999. – 37 с.