

логічна величина, яка приймає значення логічної одиниці у випадку, коли точка із заданими координатами (x, y) попадає в тіло заготовки.

Даний алгоритм визначення кута контакту відрізної фрези із заготовкою успішно реалізований в програмі аналітичного визначення сили різання при відрізання.

Висновок. Запропоновано метод опису профіля заготовки у вигляді логічного виразу, який описує деякий довільний замкнутий простір на площині. Наведені приклади такого опису. Розроблено і реалізовано в комп'ютерній програмі розрахунку сили різання при відрізання фрезами чисельний алгоритм визначення із заданою точністю кута контакту відрізної фрези із заготовкою довільного профіля.

Список літератури: 1. Семенов А.В. Разработка дисковых пил с неравномерным шагом: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. — К., 1998. — 194 с. 2. Лорох Р. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. — К., 1998. — 198 с. 3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1970. — 720 с.

Сдано в редакцію 25.12.07

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОФІЗИКОХІМІЧНОГО ДОВЕДЕННЯ, ЗНОШУВАННЯ ТА ПРИПРАЦЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ Д.В.З.

Болдарь Л.Н. (ЛНАУ, г. Луганськ, Україна)

Formulated hypotheses in relation to action of alternating electric current and electrolytes on materials of details during their mutual leading to and condition of forming of area of contact between them.

Загальновідомо, що з самого початку контактування деталей д.в.з., їх матеріали взаємодіють не безпосередньо, а через тонкі плівки окисів та інших поверхнево - та хімічно-активних речовин. У подальшому, під дією робочих факторів і середовища приповерхнева будова матеріалів і плівок на них суттєво змінюються. Особливо складні процеси відбуваються на поверхнях поршневих кілець, та вкладишів підшипників ковзання колінчастого вала.

Для підвищення зносостійкості, робоча поверхня кілець, покривається гальванічним хромом та іншими металами і їх окислами, а в якості антифрикційних матеріалів вкладишів використовуються алюмінієві сплави двох типів: АО20-1 – з м'яким оловом в пружній основі і АСМ – з твердими включеннями з'єднань сурми і магнію. Для швидкого розвитку площі контактування кілець з гільзою і шийок колінчастого вала з вкладишами, на поверхні хрому утворюється точкова пористість, а вкладиші покриваються тонкими шарами олова, міді, свинцю і ін. речовинами. Такий підхід до вирішення задачі забезпечення переходу деталей від початкового контактування до нормального зношування або зношування в межах тонких поверхневих (вторинних) структур спостерігається, як у кращих фірмах, так і у розробників вітчизняних двигунів. Однак, у закордонних розробників за періодом початкового контакту деталей виділяються періоди грубого і завершального припрацювання [1], а у вітчизняних – спочатку ведеться мова про період мікроприпрацювання, а потім – макроприпрацювання [2].

Сам термін «макроприпрацювання», за визначенням О.С. Пронікова, стосується умов припрацювання деталей, які були неточно виготовлені, або zdeформовані при збиранні та під час роботи [3].

Теоретично при обох підходах припрацювальний знос обмежується висотою виступів шорстких поверхонь. Однак, в кінцевому рахунку, у кращих закордонних двигунів початкові мікрорельєфи на поверхнях деталей спостерігаються і через тисячі мото-годин роботи [1], а у вітчизняних – зношуються вже під час технологічної обкатки [2]. Взагалі, період макроприпрацювання пов'язується не із зносом виступів шорстких поверхонь, а із зміною розмірів деталей (рис. 1а, б) [3].

У зв'язку з цим, слід зазначити, що за допомогою схем, показаних на рис. 1а,б не моделюються процеси під час припрацювання деталей, а лише розглядається один із можливих варіантів зношування неспівпадаючих поверхонь – без дії оливи і без урахування властивостей матеріалів. Очевидно, якраз за таких умов, знос деталей можна вважати пропорційним об'єму взаємного проникнення шорсткостей [3]. Переважаючим видом зношування при цьому, звичайно, є механічне зношування. Як відомо, воно призводить до значних поверхневих і глибинних руйнувань матеріалів.

За зразок моделі, у якій в процесах взаємодії шорстких поверхонь враховуються властивості середовища, можна вважати схему, приведену на рис. 1 в. Однак, в ній йдеться про збалансовану взаємодію шорстких поверхонь у межах вторинних структур. Проблема відтворення умов переходу від макро- до мікроприпрацювання і до вторинних структур не розглядається.

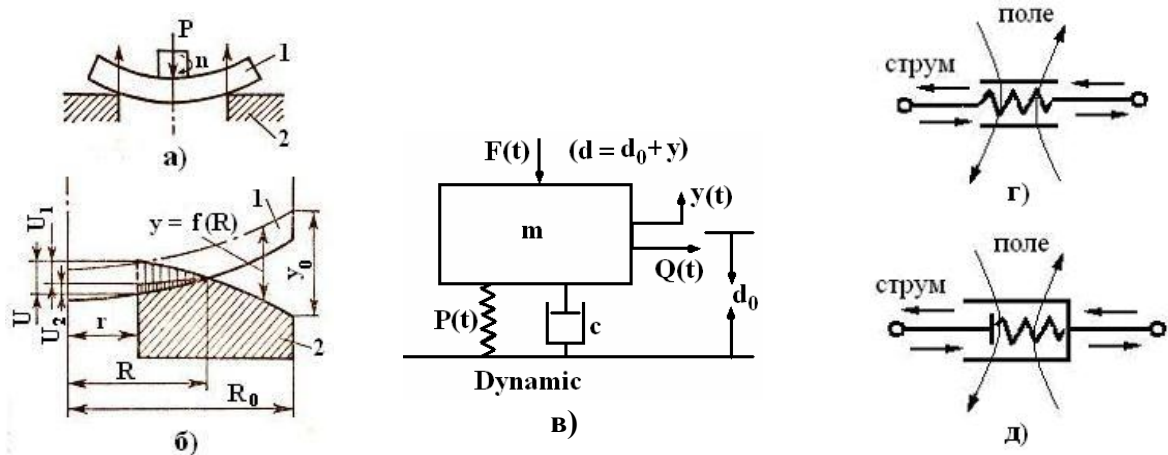


Рис. 1. Схеми припрацювання неточно виготовлених тіл 1 і 2 (а, б) [3]; модель тертя шорстких поверхонь (в) [4]; підмоделі пружно-дисперсної (г) та пружно-пластичної (д) взаємодії шорстких поверхонь під час ЕФХД [5]; U , y – знос (зазор); P – сила (пружність); n – частота обертання; R , r – радіуси; m – маса; F – зовнішня сила; Q – дотична сила; d , d_0 – показники шорсткості; c – коефіцієнт демпфування; t – час

Таким чином, задача відтворення умов і процесів переходу деталей від початкового контактування до структурної адаптації їх матеріалів з середовищем (до припрацювання) залишається досить актуальною.

Нові підходи до вирішення проблеми.

Загальновідомо, що зносостійкість контактуючих поверхонь досягається при дотриманні правила І.В. Крагельського щодо позитивного градієнту фізико-механічних властивостей їх матеріалів. Якщо між деталями спостерігається значне неспівпадіння (див. рис. 1 а, б), то вилучити з контакту «зайві» об'єми зносостійких матеріалів, наприклад, U_1 або U_2 при збереженні природних властивостей їх основи, досить важко.

У цьому плані, найбільш дієвою є просторова електрофізикохімічна обробка (ПЕФХО). Її основні чинники – електричний струм і електроліт, під час електрохімічного шліфування, хонінгування, електрополірування і т. п., дозволяють

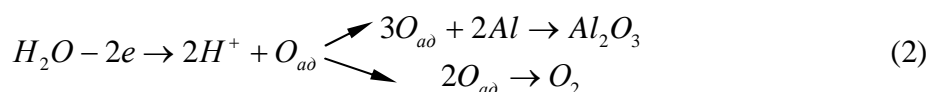
обробляти матеріали будь-якої твердості і призводять до утворення на поверхні основи, як мілкопористих, так і площинних мікрорельєфів.

Найбільш ефективно можливості ПЕФХО були використані для доведення деталей д.в.з. після розробки відповідного складу електролітів та визначення оптимального напрямку подачі змінного електричного струму [6, 7]. Для доведення корінних підшипників ковзання колінчастого валу електроліт складається із розчину NaCl у воді і гліцерину, при об'ємному співвідношенні 1:4, а для доведення деталей ЦПГ використовується такий же електроліт, але з сіллю NaNO₂.

Доведення корінних підшипників ковзання проводиться в такій послідовності: 1) після встановлення колінчастого валу в блок і герметизації відкритих каналів маслосистеми блоку і колінчастого валу (шатунних шийок), в зазори корінних підшипників під тиском 0,1-0,3 МПа подається електроліт; 2) вал обертається з частотою 600 хв⁻¹; 3) на вал і блок подається змінний електричний струм напругою до 5 В при силі струму менше 100-150 А (режим I), або ж силою до 600 А і з напругою до 1,5 В (режим II); 4) на режимі I процес ведеться 30-60 с, а на режимі II – від 60 до 120 с, в залежності від фактичного співпадіння поверхонь.

При значних відхиленнях форми колінчастого валу або отворів блоку циліндрів з вкладишами від технічних вимог в перші 60 с відбувається електроерозійне розчинення контактуючих поверхонь шийок колінчастого вала та вкладишів. Далі процес самочинно переходить до електрохімічного розчинення найбільш близьких виступів шорсткостей та закінчується при напрузі 4,5-5,0 В і нульовій силі струму (режим холостого ходу (х.х.) джерела струму). Режим II є небажаним, однак, неякісний стан корінних підшипників нерідко спостерігається при капітальному ремонті д.в.з.

Якщо стан підшипників відповідає технічним вимогам, то взаємне електрохімічне розчинення поверхонь починається з перших секунд доведення і продовжується на режимі х.х. 30-60 с. В результаті розчинення на поверхнях вкладишів утворюється мілкопористий, а на шийках валу – площинний рельєф. В приповерхневих шарах електроліту спостерігаються дуже дрібнодисперсні газова та шламова фази. Очевидно, при цьому – водень і хлор забезпечують розчинення окисної плівки алюмінію (реакція 1), а кисень окислює алюміній і виділяється у вигляді O₂ (див. реакцію 2):



Моделювання умов електроерозійного і електрохімічного розчинення алюмінієвих сплавів при електрофізикохімічному доведенні досить вичерпно проведено як на макро-, так і на мікрорівнях [5]. Так, перехід процесів від електрофізичного зношування та електроерозійного руйнування до електрохімічного взаємопроникнення окремих виступів шорстких поверхонь, утворення „плям електрохімічного контакту” і розповсюдження їх по всій номінальній площі, а також самочинне затухання електрохімічного розчинення, позначається умовами [8]:

$$\frac{di_z}{dt} \gg \frac{di_x}{dt} = \frac{di_y}{dt} \rightarrow 0, \quad (3)$$

де i_z , i_x , i_y – знос (розчинення) поверхонь у вертикальному (z), поперечному (x) і повздовжньому (y) напрямках, відповідно; t – час.

Далі, при ЕФХД деталей ЦПГ, у зазори корінних підшипників ковзання колінчастого вала подається моторна олива. Розвиток площі контакту на оливі відбувається за рахунок переважаючого зносу острівків олова А (рис. 2а) на поверхні сплаву АО20-1 за умов 4, або значної пористості та зносу твердих складових на поверхні сплаву АСМ (див. рис. 2б) за умов 5:

$$\sigma_z = \tau_x = \tau_y; \quad (4)$$

$$\sigma_z \gg \tau_x \gg \tau_y, \quad (5)$$

де σ , τ – відповідно нормальне та дотичне напруження у напрямках z , x , y .

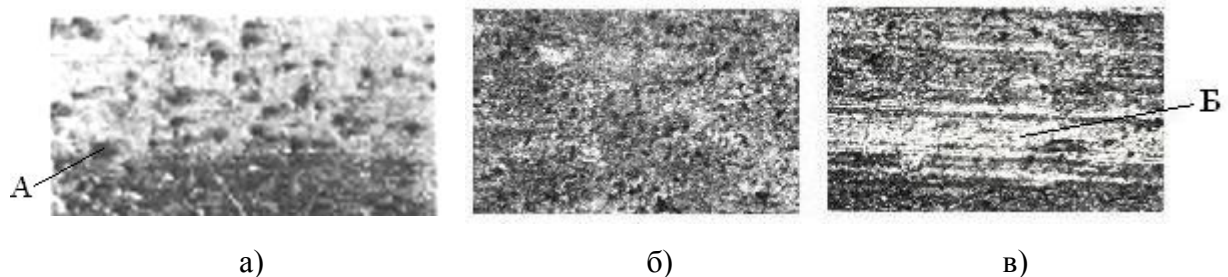


Рис. 2. Вигляд поверхні вкладиша корінного підшипника із сплаву АО20-1 після ЕФХД (а), та колодочки із сплаву АСМ після ЕФХД (б) і після випробувань на моторній оливі (в), $\times 130$

Значно менші повздовжні напруження τ_y (у напрямку руху), у порівнянні з поперечними τ_x (див. умови 5), призводять до утворення на контактуючих поверхнях, так званих, смужок ковзання Б (див. рис. 2в).

Зважаючи на умови 4 і 5, процес формування площі контакту повинен закінчуватися утворенням на поверхнях вторинних структур, здатних витримувати максимальні нормальні навантаження і забезпечувати мінімальні дотичні напруження у двох напрямках:

$$\sigma_z \gg \tau_x = \tau_y. \quad (6)$$

Після покращення стану корінних підшипників ковзання відбувається доведення деталей ЦПГ. Для цього, від колінчастого вала і блоку від'єднуються всі механізми і оснащення, якими забезпечувалося доведення корінних підшипників. Далі двигун добирається у відповідності з типовим технологічним процесом до операції, якою передбачається встановлення клапанної голівки. Замість неї на роз'єм встановлюється пристрій, яким забезпечується подача електроліту у надпоршневий простір гільз циліндрів.

На початку доведення у надпоршневий простір кожного циліндра подається 100-150 мл електроліту. Піддон двигуна заповнюється обкаточною оливою. Після цього двигун розміщується на стенді для доведення деталей ЦПГ. До колінчастого вала підключаються механізм обертання з частотою 120 хв^{-1} . До блоку циліндрів підключається джерело струму. Далі, в момент включення механізму обертання колінчастого вала, на блок циліндрів подається струм силою від 400 до 600 А при нарузі до 1,5 В. Доведення деталей ЦПГ триває від 3-х до 5-ти хвилин – в залежності від початкової якості поршневих кілець та шорсткості дзеркала гільз циліндрів [9].

В перші секунди контакту хромованої поверхні поршневих кілець з чавунною гільзою спостерігається електромеханічне зношування найбільш гострих виступів. Електроліт при цьому стає непрозорим від дрібнозернистих часточок зносу та шламу. В подальшому, електромеханічне зношування змінюється на локальне електрохімічне розчинення дзеркала гільз циліндрів у зоні ВМТ поршня та виникнення „плям

електрохімічного контакту” на всій поверхні гальванічного хрому. Процес доведення самочинно затухає після повного прилягання поршневих кілець до гільзи циліндра.

Моделювання процесу доведення поршневих кілець.

Механізм процесів, що забезпечують прилягання кілець до гільз, при збереженні точкової пористості гальванічного хрому на макрорівні розкривається у роботі [10]. Вважається, що після електромеханічного зношування найбільш гострих виступів, зближення поверхонь відбувається за рахунок «електрохімічного внедрения». Цей вислів вперше був застосований Б.М. Кабановим для пояснення умов електрохімічного розчинення [11]. «Електрохімічне впровадження» призводить до виникнення так званого «пляма електрохімічного контакту» [12] і розповсюдження його на номінальну площу контактуючих поверхонь.

Зважаючи на основну вимогу щодо властивостей матеріалів після припрацювання (правило І.В. Крагельського), основним відгуком якості приймався напружено-деформований стан контактуючих поверхонь. Про нього свідчила мікротвердість поверхонь контакту деталей та пружність поршневих кілець. Показником пружності кільця приймалися зазор S_0 між краями у вільному стані та сила стиснення кільця до робочого (теплого) зазору S .

Як показали дослідження, мікротвердість поверхонь деталей у спряженнях після доведення не змінювалася, або дещо зменшувалася. Це пояснювалося деяким збільшенням пористості мікрорельєфів та безконтактним зняттям зруйнованих і зміцнених попередньою обробкою поверхневих шарів матеріалів. Після доведення кілець зазор S_0 не змінювався або дещо зменшувався, а сила стиснення при цьому збільшувалася. Зважаючи на ці результати, був зроблений висновок, що при доведенні змінюються, як внутрішній стан матеріалів – він стає більш урівноваженим, так і поверхневі напруження. Очевидно, від поверхневої активації розтягуючи напруження змінюються на стискаючі.

Одержані результати по взаємному доведенню поршневих кілець з гільзами циліндрів, очевидно, можна пояснити більшою приповерхневою щільністю електричного струму. У якій мірі більша щільність охоплює поверхневий шар, і як впливає на об’ємний стан матеріалів швидке наростання та спад анодної та катодної складових змінного струму, очевидно, можна лише припускати. Разом з тим, деякого спрощення явищ, очевидно, можна чекати, по-перше, від того, що швидкість електрохімічних реакцій значно перевищує швидкість зміни полярності струму і, по-друге, від того, що тонкі плівки окислів на поверхні матеріалів проявляють діелектричні та напівпровідникові властивості.

Моделювання умов доведення деталей суттєво ускладнюється через невизначеність природи власне електричного струму і дії його на матеріали на найнижчому та на проміжному рівнях. Останнім часом проміжний рівень називається мезорівнем [13]. Його складові поєднуються окрім ближніх зв’язків – іонних, ковалентних, металічних та ін., дальніми (кластерними) зв’язками. Зважаючи на це, у роботі [8] сформульовано припущення, за рахунок чого під час доведення деталей відбувається „електрохімічне впровадження” виступів та виникнення „плям електрохімічного контакту”. Вважається, що деформації „тонких” структур сприяє активний стан елементарної частки – носія електричного та магнітного заряду, який характеризується постійним неспівпадінням у просторі центрів маси і заряду [14], або є діполем. При цьому, діполь розуміється не як „система двох різноименных точечных зарядов, равных по величине” [15, с. 23], а як сукупність електричного і магнітного зарядів [16], у якій маса елементарної частки „ характеризуєт енергію

гравитационного поля”, а заряд „является численной характеристикой энергии деформации окружающей среды, вследствие поляризации частиц вещества” [15, с. 31].

За умов використання постійного струму, у твердих тілах та газах спостерігається пружна поляризація, а у діелектриків – орієнтаційна. Пружна поляризація пов’язується з деформацією електронних оболонок атомів і молекул та асиметрією розміщення атомів у молекулі, або іонів у кристалі. Орієнтаційна поляризація у діелектриках виникає у зв’язку з повертанням диполів – „встроенных электрических моментов” на деякий тілесний кут $d\varphi$ в межах кульового конуса та вздовж напрямку поля [15]. З цього виходить, що відгук складових будови на постійний зовнішній струм і однорідне поле досить інерційний, або точніше сталий, а не динамічний. Мабуть, що динамічним він стає лише на елементарному „тонкому” рівні, наприклад, у вісьмивимірному просторі [15], за умов розриву дипольного магнітного моменту, який призводить до виникнення наступної „найменшої” частки.

Зважаючи на вищевикладені припущення, умови електрохімічного проникнення окремих виступів шорстких поверхонь на початку контактування та умови пружної рівноваги, що встановлюються між еквідистантними поверхнями після доведення, можна розглядати як результат взаємодії складових електроліту і поверхневих шарів матеріалів, поєднаних електричним та магнітним полем (див. підмоделі пружно-дисперсної та пружно-пластичної взаємодії шорстких поверхонь деталей, рис. 1в, г) [5]. Паралельними лініями у реологічній моделі Гука (див. рис. 1г) показана приповерхнева орієнтація всіх складових електроліту і матеріалів деталей, що призводить до утворення дрібнодисперсних та лускоподібних часточок (текстурування матеріалів). Пружний елемент в моделі Ньютона (див. рис. 1д) свідчить про поляризацію шарів електроліту. Вважається, що зношування поверхонь пі час розвитку площі контакту відбувається за умов (3), а завершення процесів припрацювання – за умов (4-6).

Висновки.

1. Акцентовано, що при вирішенні проблеми підвищення зносостійкості деталей відремонтованих д.в.з. необхідно: встановлювати жорсткі обмеження щодо точності форми деталей; під час доведення забезпечувати утворення на поверхнях контакту пористих та площинних мікрорельєфів; не допускати глибинних руйнувань та досягати збалансованості внутрішніх напружень.

2. Сформульовані гіпотези щодо дії змінного електричного струму на матеріали деталей та на електроліт під час доведення: 1) змінний за напрямком рух носіїв електричного заряду сприяє рекристалізації та текстуруванню поверхневих шарів, а магнітне поле призводить до об’ємної релаксації матеріалів; 2) змінна анодна та катодна поляризація приповерхневих шарів матеріалів і електроліту призводить до утворення на міжфазних межах протилежних зарядів, за рахунок чого між поверхнями тертя зростає опір нормальним навантаженням і зменшуються дотичні напруження.

Список літератури: 1. Gerve A., Volz I. Anwendung der Radionuklidtechnik zur Analyse und Optiemirung tribologischer Systeme in laufenden Maschinen // Schmiertechnik und Tribologie, 1979. - Bd.26, №1.- S.10-16. 2. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей. – М.-Л.: Химия, 1965. – 223 с. 3. Трение, изнашивание и смазка. Справочник в 2-х кн./Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. Кн. 1. М.: «Машиностроение», 1978. – 400 с. 4. Xi Shi, Andreas A. Polycarpou A Dynamic Friction Model for Unlubricated Rough Planar Surfaces // ASME Tribol.Vol. 125, 2003, pp.788-795. 5. Болдарь Л.Н. О текстурировании поверхностных слоев материалов при макроприработке деталей под действием тока и электролитов /

Міжнародн. зб. наук. праць «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – Вип.32. – С.33-40. **6.** А.с. 1045049 МКИ G 01M 15/00. Способ приработки деталей / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.Д. Михалев (СССР) №3449488/25-06. Заявл. 9.06.82. Опубл. 30.09.83. Бюл. №36. – С.2. **7.** Патент 1811449, СССР, МКИ В23 Н9/12 Способ электрохимико-механической приработки деталей ЦПГ / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь. - № 4927110/08. Заявл. 12.04.91. Опубл. 23.04.93. Бюлл. № 15. – С.8. **8.** Болдарь Л.Н. Совместная доводка деталей отремонтированных автотракторных двигателей под действием электрического тока и электролита / Сб. докл. Международн. н.-п. симпозиума «Наноструктурные функциональные покрытия для промышленности». – Харьков: ННЦ «ХФТИ», ИПП «Контраст», 2006. – С.377-381. **9.** Алексеев В.П., Болдарь Л.Н., Изюмский В.А., Лангазов В.Н. Электрохимико-механическая приработка (доводка) основных сопряжений двигателей, как технологический процесс формирования трущихся поверхностей и повышения качества ремонта двигателей // Вісник Східноукраїнського держ. ун-ту. – Луганськ: Вид. СУДУ, 1996, №1. – С.174-180. **10.** Болдарь Л.Н. Механизм образования «пятна электрохимического контакта» при доводке коренных подшипников коленчатого вала /Зб. наук. пр. ЛНАУ. Серія: «Технічні науки». – Луганськ: Вид. ЛНАУ, 2006. - № 65 (88). – С. 55-65. **11.** Давыдов А.Д., Плесков Ю.В., Графов Б.М., Лейкис Д.И. Борис Николаевич Кабанов (100 лет со дня рождения) // Электрохимия, 2004. – Т.40 – № 12. – С.1435-1437. **12.** Основы повышения точности электрохимического формообразования / Ю.Н. Петров, Г.Н. Корчагин, Г.Н. Зайдман, Б.П. Саушкин; Под ред.И.И. Мороза. – Кишинев: Штиинца, 1977. – 152 с. **13.** Гречихин Л.И. Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 399 с. **14.** О.П. Чаркин. Проблемы теории валентности, химической связи, молекулярной структуры. М.: «Знание», 1987. – 48 с. **15.** Гречихин Л.И. Физика. Электричество и магнетизм. – Минск: Право и экономика, 2007. – 283 с. **16.** Новейший словарь иностранных слов и выражений. – Мн.: Современный литератор, 2006. – 976 с.

Сдано в редакцию 20.12.07

ВПЛИВ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗМЦНЮЮЧОЇ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ПАРАМЕТРИ НАКЛЕПУ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ

Гавриш А.П., Роїк Т.А., Гавриш О.А. (НТУУ "КПІ", м. Київ, Україна)

An article was devoted to questions of studying the details' surfaces quality at fine thermomechanic treatment of details by steel brushes with flex operate elements. An influence of treatment technological factors to depth and value of cold hardening, value of second kind stresses and mosaic blocks dimension have been researched.

У сучасному машинобудуванні заключною фазою виготовлення деталей і машин є нанесення на оброблені поверхні лакофарбових покриттів, для чого ці поверхні повинні бути надійно очищені від корозії, окалини, пригарів, а у випадку ремонту машин - від попередніх шарів фарби.

З цією метою у промисловості широке розповсюдження отримали різні методи поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки [1]. Серед них найбільш часто використовується машинна обробка сталевими щітками, а також термомеханічна обробка з використанням сталевих щіток, що містять у своєму складі як гнучкі, так і жорсткі робочі елементи [2].