
ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ



**Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
для студентів спеціальності «Автомобільний транспорт»**

Хмельницький національний університет

Відновлювальні технології на транспорті

*Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
для студентів спеціальності «Автомобільний транспорт»*

*Затверджено на засіданні кафедри
зносостійкості машин.
Протокол № 2 від 30.10.2018*

Хмельницький 2018

Відновлювальні технології на транспорті : методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни для студентів спеціальності «Автомобільний транспорт» / П. В. Каплун, В. А. Гончар. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 40 с.

Укладачі: Каплун П. В., д-р техн. наук, доц.;
Гончар В. А., канд. техн. наук, ст. викл.

Відповідальний за випуск: Диха О. В., д-р техн. наук, проф.

Редактор-коректор: Яремчук В. С.

Технічне редагування і верстка: Карпанасюк В. П., Чопенко О. В.

Макетування та друк здійснено редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підп. до друку 14.11.2018. Зам. № 201/18, тир. 30 прим., 2018.

© ХНУ, 2018

Вступ

Дисципліна «Відновлювальні технології на транспорті» сприяє наданню студентам знань базових способів відновлювальних технологій, закономірностей формування структурного і фазового складу наплавлених та напилених шарів, особливостей технологій шарів різного функціонального призначення і складу, установок для наплавлення, а також навичок їх практичного використання. Вона спрямована на вивчення типових і сучасних технологій нанесення поверхневого шару металів і є однією з основних дисциплін у циклі підготовки бакалаврів спеціальності «Автомобільний транспорт».

На основі вивчення загальних понять щодо нанесення покриттів, законів електротехніки, фізики та матеріалознавства, отриманих при засвоєнні окремих розділів вищої та прикладної математики, інженерної і комп'ютерної графіки, прикладної механіки тощо, дисципліна вивчає загальні підходи до нанесення покриттів з різними експлуатаційними та технологічними властивостями. Увага акцентується на застосуванні сучасних методів нанесення покриттів, основних способів та засобів комплексного відновлення або підвищення терміну експлуатації окремих деталей машин, технічного обслуговування і контролю якості покращених поверхонь.

Лабораторні роботи з дисципліни носять дослідницький характер, у кожній з них стисло викладені теоретичні та практичні положення, методика виконання роботи і завдання для самостійного виконання. Перед виконанням роботи студент має ознайомитися з її змістом, усвідомити мету, засвоїти правила техніки безпеки при виконанні робіт у лабораторії, відповісти на контрольні питання та отримати дозвіл на виконання роботи.

Критерії оцінювання виконаних робіт

«Відмінно» – виставляється студенту, який повністю виконав поставлені завдання, дав грамотний, логічний виклад відповідей (в усній і письмовій формах), якісно оформив роботу. Студент не вагається при видозміні питань, вміє робити детальні та узагальнюючі висновки. При відповідях допустив дві–три несуттєві помилки.

«Добре» – отримує студент, який орієнтується у вивченому матеріалі; свідомо використовує теоретичні знання для виконання практичних задач; виклад відповідей грамотний, але в їх змісті і формі можуть мати місце окремі неточності, нечіткі формулювання закономірностей тощо. Відповідь студента будується на основі самостійного мислення. Студент у відповідях допустив дві–три несуттєві помилки.

«Задовільно» – заслуговує студент, який слабо володіє знаннями основного програмного матеріалу в обсязі, з труднощами справляється з виконанням практичних завдань, передбачених програмою. Як правило, відповідь студента будується на рівні репродуктивного мислення, він має слабкі знання структури курсу, допускає неточності та суттєві помилки у відповідях, вагається при відповіді на видозмінене питання. Разом з тим, набув навичок, необхідних для виконання нескладних практичних завдань, які відповідають мінімальним критеріям оцінювання, і володіє знаннями, що дозволяють йому під керівництвом викладача усунути неточності у відповіді.

«Незадовільно» – виставляється студенту, у якого розрізнені, безсистемні знання, не може виділити головне і другорядне, допускає помилки у визначенні понять, перекручує їх зміст, хаотично і невпевнено викладає матеріал, не може використати знання при виконанні практичних завдань. Як правило, ця оцінка виставляється студенту, який не може продовжити навчання без додаткової роботи з вивчення дисципліни.

Зарахування робіт здійснюється на наступному занятті у міру їх підготовки та виконання.

Лабораторна робота 1

Визначення швидкості частинок при газотермічному напilenні

Мета: встановити вплив розмірів частинок на їх швидкість, розподіл швидкості в поперечному перерізі і за довжиною плазмового струменя.

Практична частина

1. Дослід проводять за таких умов. Швидкість частинок визначають при плазмовому розпilenні ванадієвого дроту шляхом фотографування треку їх руху у двофазному струмені плазмоутворюючого газу швидкодіючою кінокамерою. Встановлено, що швидкість частинок залежить від їх діаметра d_c , густини розпалюваного матеріалу γ_m , траєкторії руху частинок і потужності плазми W .

2. Швидкість частинок V_c (м/с) для ванадієвого дроту різного діаметра на осі плазмового струменя за різних значень потужності плазми W , на відстані $X = 0,04$ м від зрізу сопла плазмотрона визначають за таблицею:

W , кВт	d_c , мкм							
	50	100	150	200	250	300	350	400
2								
4								
6								
8								
10								

За умовою роботи будують графік залежності швидкості частинок V_c від їх розміру d_c , для різних значень потужності W , кВт:



3. Швидкість частинок V_c обчислюють за формулою:

$$V_c = V_{i\bar{e}} \sqrt{\frac{3\gamma_{i\bar{e}} \cdot \tilde{N}_{\bar{o}}}{2\gamma_v \cdot d}} \cdot X.$$

За умови, що $W = 4$ кВт, $X = 0,04$ м, $\gamma_{пл} = 0,62 \cdot 10^{-6}$ г/см³, $\gamma_v = 5,6$ г/см³, $V_{пл} = 320$ м/с, коефіцієнт аеродинамічного опору C_x залежно від діаметра частинок приймає такі значення:

d_u , МКМ	50–100	150–250	300–400
C_x	300	100	40

4. Розрахункові V_u та експериментальні V_u^* значення швидкостей частинок різного діаметра d_u у центральній зоні струменя, для $W = 4$ кВт необхідно записати у таблицю:

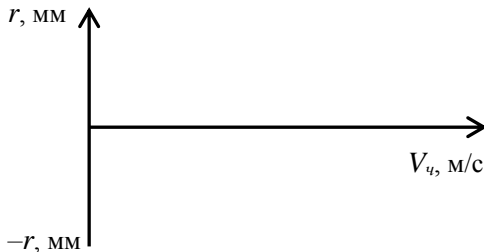
d_u , МКМ	50	100	150	200	250	300	360	400
V_u , м/с								
V_u^* , м/с								

5. На цій основі будують графік відповідності експериментальних значень швидкості частинок V_u^* до розрахункових V_u (для $W = 4$ кВт):



6. Заносять до таблиці розрахункові швидкості V_u (м/с) для різних діаметрів d_u у зоні контакту радіусом r (мм) з поверхнею основи і будують графік швидкості частинок V_u у поперечному перерізі струменя плазми r (мм):

d_u , МКМ	r , мм						
	3	8	13	18	23	28	33
100...150							
150...200							
250...350							



7. Швидкість частинок V_q (м/с) різного діаметра визначена на відстані L (мм) від зрізу сопла плазмотрона у центральній зоні потоку. Результати розрахунків заносять до таблиці:

d , мкм	L , мм					
	10	20	40	60	80	100
75						
100						
150						
200						

8. За отриманими даними будують графік залежності швидкості частинок V_q від дистанції наплення L :



9. Формулюють загальні висновки з роботи.

Література: [1–3]

Лабораторна робота 2

Аналіз теплових процесів на поверхні виробу при газотермічному напиленні

Мета:

- 1) встановити розподіл теплового потоку двофазного струменя в зоні нагрівання поверхні виробу;
- 2) визначити залежність коефіцієнта зосередженості теплового потоку від дистанції напилення;
- 3) оцінити ефективність нагрівання поверхні виробу частинками матеріалу, що напилюють, і струменем плазми залежно від дистанції напилення.

Практична частина

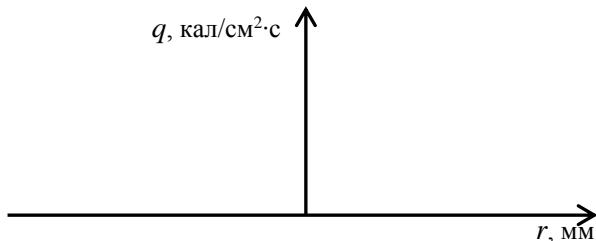
1. Дослід проводять за таких умов. Нагрівання плоскої поверхні проводять струменем плазми, при розпиленні часток срібного дроту. Вісь струменя плазми розташовують перпендикулярно до поверхні напилення. Вимірювання теплового потоку в межах зони плями нагрівання здійснюють за допомогою швидкодіючих точкових термодатчиків та імпульсних осцилографів. Коефіцієнт зосередженості теплового потоку та ефективність нагрівання поверхні основи оцінюють калориметричним методом.

2. Результати дослідів.

2.1. Експериментальні значення теплового потоку (q , кал/см²·с) на відстані r від осі струменя плазми для різних значень потужності дуги W^* заносять у таблицю.

W^* , кВт	r , мм								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
6									
12									
18									

На основі отриманих даних будують графік залежності теплового потоку від відстані $q = f(r)$:



2.2. Визначають коефіцієнт зосередженості теплового потоку (K , см^{-2}) для різних значень дистанції напilenня L , мм. Результати розрахунків заносять до таблиці:

L , мм						
K , см^{-2}						

На основі отриманих даних будують графік залежності коефіцієнта зосередженості теплового потоку від значення дистанції напilenня $K = f(L)$:



2.3. Визначають умовний діаметр D_H зони нагрівання поверхні основи для різних значень дистанції напilenня за формулою:

$$D_H = \frac{3,46}{\sqrt{K}}$$

Результати розрахунків заносять до таблиці:

L , мм						
D_H , мм						

За отриманими результатами будують графік $D_H = f(K)$:



2.4. Оцінюють величину к.к.д. нагрівання виробу частинками η_1 та струменем плазми η_2 (у відсотках) для різних дистанцій напilenня L (мм).

Результати розрахунків заносять до таблиці.

L , мм					
η_1 , %					
η_2 , %					

За отриманими результатами будують графік сумісної дії $\eta = \eta_1 + \eta_2$:



Після виконання експериментальної та розрахункової частини лабораторної роботи формулюють загальні висновки.

Література: [1–3]

Лабораторна робота 3

Аналіз процесу зчеплення частинок матеріалу, що напилюють, з поверхнею основи при газотермічному напиленні

Мета:

- 1) описати мікроповерхні ударної взаємодії частинок напилення та поверхні основи;
- 2) встановити залежність розмірів ділянок хімічної взаємодії та міцності зчеплення від енергетичних параметрів процесу.

Практична частина

Робота передбачає аналіз ударного процесу та отвердіння розплавленої частинки на поверхні основи при газотермічному напиленні (ГТН).

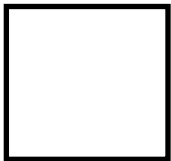
1. Умови проведення дослідів. Досліди проводять на модельному матеріалі (сріблі), оскільки воно мало окислюється, має високу пластичність, що забезпечує утворення ділянок схоплювання з чітко вираженим рельєфом після відривання частинок від основи, на межі контакту. Частинки срібла діаметром від 100 до 200 мкм відривають механічним способом і зону деформації поверхні розглядають за допомогою електронного мікроскопа методом сканування.

1.1. Вкляюють відбитки поверхні срібної основи під привареною частинкою після її відривання (відповідно до схеми).



×300

Рис. 3.1 – Вигляд зони у центрі контакту частинки з основою діаметром D
(видно зону D_x , в межах якої частинка приварилась до основи)



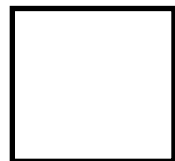
×800



×1000



×3000



×6000

Рис. 3.2 – Вигляд зони D_x схоплювання,
в межах яких утворився шорсткий рельєф при її відриванні

Примітка. З рисунків видно, що ділянки схоплювання майже повністю заповнили D_x , внаслідок чого міцність привареної частинки наблизилась до максимально можливої.

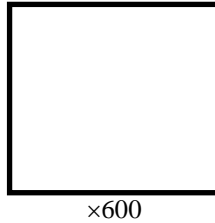


Рис. 3.3 – Вигляд утвореного шару покриття, коли частинка більших розмірів покрила меншу частинку і відірвала її від основи

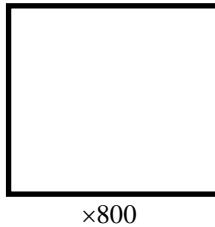


Рис. 3.4 – Вигляд контактної поверхні частинки відірваної від основи

1.2. Опис контактних процесів. Після удару розплавленої частинки до основи, в місці зіткнення утворюються ділянки схоплення розмірами $D_x = 200\text{--}700$ мкм. Після відривання частинки від основи на її поверхні у місцях схоплювання залишаються сліди матеріалу, вирваного з частинки (світлі виступи на фотографіях – ділянки схоплювання). З розвитком реакції хімічної взаємодії число ділянок схоплення збільшується і при досягненні міцності зчеплення, яка відповідає максимально можливої, вони практично зливаються і заповнюють всю центральну зону D_x . Діаметр цієї зони дещо більший діаметра частинки. Це зумовлено тим, що на площі діаметром D діє тиск удару і деформації частинки, а ближче до краю тиск спадає і приварювання погіршується. Однак при перегріванні основи або частинки температура компенсує зниження тиску, за рахунок чого частинки приварюються повністю ($D_x = D$). Накладаючись одна на іншу, вони утворюють шар покриття. Якщо когезія більша за адгезію, то при відриванні покриття, руйнування відбувається на межі між основою і частинкою, а якщо навпаки – то між частинками.

2. При визначенні розмірів ділянки хімічної взаємодії і сили відривання частинки залежно від енергетичних параметрів враховують наступні фактори: D_x – діаметр ділянки хімічної взаємодії; T_1 – температура частинки; T_2 – температура поверхні основи; $T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу частинки; V – швидкість частинки.

Експериментальні параметри розмірів ділянки хімічної взаємодії та сили відривання частинки заносять до таблиці:

$T_2, ^\circ\text{C}$	20	100	200	300	400	500	РН*
$D_x, \text{мкм}$							а
							б
							в
$P \cdot 10^2, \text{Н}$							а
							б
							в

Примітка. РН* – режим напilenня;

а) $T_1 > T_{nl}$, $V = 40 \text{ м/с}$; б) $T_1 < T_{nl}$, $V = 40 \text{ м/с}$; в) $T_1 < T_{nl}$, $V = 5 \text{ м/с}$.

На основі отриманих результатів обчислюють відносні розміри ділянки схоплення D/D_x за умови, що $D = 200 \text{ мкм}$, а також міцність привареної частинки до поверхні основи за виразом:

$$\sigma_a = \frac{P}{F_x},$$

де $F_x = \frac{\pi D_x^2}{4}$, за різних енергетичних параметрів процесу (T_1, T_2, V).

Результати розрахунків заносять до таблиці:

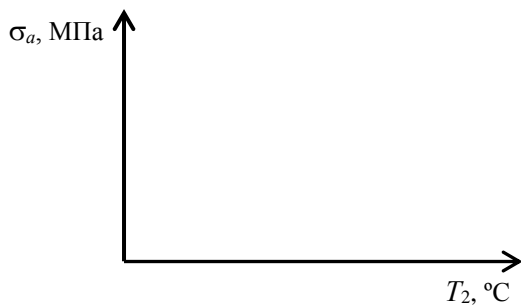
$T_2, ^\circ\text{C}$	20	100	200	300	400	500	РН*
$\frac{D_x}{D}, \text{мкм}$							а
							б
							в
$\sigma_a, \text{МПа}$							а
							б
							в

За результатами розрахунків будують графіки:

1. $D_x/D = f(T_2)$



2. $\sigma_a = f(T_2)$



Після виконання експериментальної та розрахункової частини лабораторної роботи формулюють загальні висновки.

Література: [1–3]

Лабораторна робота 4

Приготування зразків для металографічного дослідження мікроструктури

Мета: зрозуміти важливість якісного виготовлення та підготовки шліфів з металевих, полімерних композиційних матеріалів для подальших металографічних досліджень; набути практичних навичок у виготовленні шліфів з металевих матеріалів.

Теоретична частина

Передумовою для всіх металографічних досліджень є виготовлення шліфів, які можуть бути використані для мікроскопічного дослідження за допомогою світлового і електронного мікроскопів, для визначення мікротвердості, а також кількісного вимірювання структурних складових і електронно-зондового мікроаналізу.

Правильне виготовлення шліфів має надзвичайно важливе значення, оскільки від цього залежить правильність тлумачення мікроструктур. Не можна заздалегідь запропонувати оптимальну методику виготовлення шліфа, і жодну з розроблених методик не можна вважати оптимальною.

Основним моментом при виготовленні металографічних шліфів є запобігання ушкодженню поверхні шліфа, що полягає в зміні мікроструктури поверхневого шару матеріалу в результаті деформації або нагрівання.

Метою всіх стадій виготовлення шліфа є послідовне створення поверхні необхідної якості. Таким чином, кожна наступна стадія процесу проводиться з метою видалення пошкодження поверхні, внесеного попередньою обробкою.

Добре виготовлений металографічний шліф повинен задовольняти ряду вимог. Перш за все, він повинен бути **типовим** для цього зразка матеріалу. На поверхні не повинно спостерігатися полірованих подряпин і ям, а також плям в результаті взаємодії з рідинами. Необхідно зберегти після обробки всі неметалеві включення та інші елементи, що відрізняються підвищеною крихкістю. Шліф повинен бути досить плоским для досліджень при великих збільшеннях.

Виготовлення та підготовка металографічних шліфів зазвичай складається з п'яти основних операцій:

- 1) вирізування зразка (не обов'язково!);
- 2) закріплення зразка або монтування (не обов'язково!);
- 3) шліфування;
- 4) полірування;
- 5) травлення (виявлення мікроструктури).

Вирізування зразків. Металографічний зразок часто відбирається від

великого обсягу матеріалу. Вибір місця вирізування зразка диктується метою дослідження.

Використовують кілька методів вирізування: абразивним кругом та пилами; електролітичний та електроіскровий. Дещо осторонь стоїть метод дослідження зламу. Фрактографія – наука про особливості зламів – вивчає їх при малих, або при великих збільшеннях в електронному мікроскопі за допомогою методу «реплік». Фрактограми дають інформацію про механізми руйнування зразків або молотом, або під впливом постійного тиску. Місце руйнування, зазвичай визначається нанесенням на зразок натиску або надрізу.

Якщо зразки мають тонкий поверхневий шар, що відрізняється від основного металу за структурою і фазовим складом (наприклад, при нанесенні покриттів), то готують нові шліфи, площа яких розташована під кутом до поверхні зразка.

Найчастіше використовується іскрове різання або різання абразивними кругами. Для різання сталей найкраще використовувати абразивні круги з Al_2O_3 , для кольорових металів – з SiC. Для м'яких матеріалів використовують круги з твердою зв'язкою, а для різання твердих – з м'якою.

У всіх випадках різання абразивним кругом слід проводити з використанням охолоджувальної рідини.

Монтування зразків. При дослідженні деяких виробів (тонкі аркуші, дріт тощо) їх механічна обробка надто складна без застосування спеціальних пристосувань. У таких випадках досліджуваний виріб потрібно покласти в нейтральне тверде середовище та обробляти скомбінований таким чином зразок як одне ціле так, щоб в площину шліфа потрапив потрібний перетин виробу. Закріплення зразків роблять для того, щоб було зручно готувати і досліджувати шліфи, які мають складну конфігурацію, низьку міцність або незручні для виготовлення розміри. Крім того, буває необхідно закрити приповерхневі шари зразків від руйнування при шліфуванні. При використанні різних автоматичних установок потрібно поміщати зразки в утримувачі спеціального типу, під які сконструйовані механізми.

Можна виділити наступні основні види закріплення зразків:

– **монтування за допомогою клейових речовин** – використовуються в спеціальних випадках, наприклад, для кріплення зразків листового типу, фольги, коли товщина зразка набагато менше лінійних розмірів поверхні, що шліфується. Для кріплення зразка до бруска більшого розміру з іншого матеріалу використовують клей, липку стрічку, віск, замазку;

– **монтування в затискачах** – найчастіше використовують для закріплення тонкого листового матеріалу, коли потрібно виготовити шліф за товщиною зразка. Особливо зручний такий спосіб кріплення при обробці великої кількості однотипних зразків. Одним з найпростіших пристосувань для цього є гвинтовий затиск (струбцина).

Переваги способу: швидкий монтаж, виключений завал крайок. Недоліки: скупчення в зазорах частинок абразиву і рідини, що може зіпсувати шліф;

– **запресовування зразків** – зразок при нагріванні запресовується у фор-

мувальний матеріал, наприклад, фенольний бакеліт, акрилові смоли. Ці речовини є термореактивними матеріалами. Процес запресовування здійснюється при спільному впливі тиску і нагрівання. Цей метод закріплення зразків застосуємо тільки у тих випадках, коли тиск і температура не змінюють мікроструктуру і не деформують зразок.

У випадках, коли передбачається електролітична обробка зразків, їх зручно запресовувати в електропровідні пресувальні пристрої, заздалегідь передбачивши можливість підвести струм. Більшість формувальних електропровідних матеріалів є сумішшю металевго порошку (зазвичай, мідного або залізного) з термопастою. При запресовуванні частинки металу забезпечують достатній контакт зі зразком;

– **холодне закладення зразків.** Холодне закладення може супроводжуватися незначним нагріванням.

Холодне монтування є по суті заливкою. Зразок поміщують всередину ливарної форми, яку заливають речовиною, що твердіє. Для заливки використовують:

– органічні речовини (поліефірні, епоксидні, акрилові смоли, зубопротезну пасту АКР тощо);

– неметалеві матеріали з низькою $T_{пл}$, наприклад, сірку;

– сплави з низькою $T_{пл}$ (наприклад, сплав Вуда).

Для якісного приготування шліфа дуже важливо правильно підібрати матеріали для ливарної форми і для заливки.

Зазвичай твердість зразка повинна бути вищою за твердість форми і середовища. З іншого боку, бажано, щоб їх пластичність була не гірше пластичності зразка. Для детальшого дослідження приповерхневих шарів металу частіше використовують косі шліфи. Зразок розташовують у ливарній формі під деяким кутом або вертикально, в результаті цього на лінії перетину площини полірування з поверхнею зразка спостерігається «розширення» перетину, яке дорівнює косекансу кута поверхні.

Окремим завданням при підготовці зразків для досліджень є збереження плоскої поверхні у крайок зразка. При шліфуванні і поліруванні між вмонтованим зразком і формувальним матеріалом неминуче створюється рельєф.

Запобігти завалюванню крайок може одна з трьох операцій:

– застосування «підтримуючого» матеріалу;

– нанесення покриття перед монтуванням;

– введення домішок у формувальний матеріал.

У більшості випадків в якості «підтримуючого» матеріалу, застосовують металеві пластинки, що прилягають безпосередньо до крайок зразка. Найкращі результати отримують, коли пластинки виготовлені з того самого матеріалу, що й зразок, або повинні мати таку саму здатність до шліфування та полірування. Також, «підтримуючий» матеріал має бути схожим із зразком відносно до протравлювача або до інших методів впливу, які передбачається використовувати.

Нанесення поверхневих покриттів з відповідних матеріалів зазвичай

здійснюють гальванопластикою або хімічним осадженням. Найчастіше наносять покриття із заліза, нікелю, міді, а також застосовують двошарове операційне нанесення для забезпечення кращого зчеплення покриття зі зразком, товщина якого – 50–150 мм.

Зазвичай до формувального матеріалу додають невеликі тверді частинки, що є тотожними за властивостями до матеріалу шліфа: домішки криупинки сірого чавуну, скляні волокна, частинки оксидів або карбідів.

Шліфування є найбільш важливою операцією в технології виготовлення зразків, яка полягає в тому, що препарат повинен уважно контролювати ступінь додаткового механічного пошкодження поверхні, яке має бути видалено подальшим лакуванням.

Абразивні матеріали, що застосовуються при шліфуванні, класифікують за розміром частинок. Шліфування повинно починатися з найбільш дрібнозернистого матеріалу, здатного за 2–5 хвилин створити вихідну рівну поверхню зразка і усунути різальний ефект. Кожна наступна операція шліфування супроводжується зменшенням зернистості абразиву.

Обов'язковою умовою є використання «мокрого» шліфування, проте застосовують і сухе. Для правильного вибору шліфувальних шкурок необхідно знати їх маркування, яке включає тип (для металів); спосіб нанесення абразивного матеріалу; розміри листів (рулонів); марку паперу-основи; марку абразивного матеріалу; зернистість; тип зв'язку; клас зносостійкості. Наприклад: ІЕ620×50 П2 15А 25-НМА ДСТ ... – паперова шліфувальна шкурка типу І з абразивом, нанесеним електростатичним способом, шириною 620 мм, довжиною 50 м; папір основи марки 0–200; абразив – нормальний електрокорунд марки 15А, зернистістю 25Н на міздровому клеї М, клас зносостійкості – А.

Полірування зразка. Полірування металографічних шліфів проводять для усунення наявних після його виготовлення нерівностей поверхні без деформування металу. Полірування шліфа може здійснюватися механічним, електролітичним або хімічним способами.

При **механічному поліруванні** зразки обережно обробляють тонким абразивом, дія якого принципово не відрізняється від дії абразивів при шліфуванні. Найбільш часто для металографічного полірування використовують окиси алюмінію, хрому та заліза. Перед приготуванням полірувальної суспензії полірувальні матеріали слід піддавати відмочуванню у великих кількостях води (на 1 л води 1–2 г порошку), відкидаючи фракцію, яка осіла протягом першої години.

Механічне полірування проводять на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий фетром, сукном або оксамитом, або вручну. Сплави, в структурі яких є включення, що легко викришуються, рекомендують полірувати на тканинах, позбавлених ворсу, наприклад, на фетрі.

Полірувальний диск змочують полірувальною рідиною, що складається з води, у якій в стані суспензії знаходяться дуже дрібнодисперсні частинки полірувального порошку: окис хрому, алюмінію, заліза або інші спо-

луки. Можливе використання суспензій з полірувального порошку і органічних рідин (спирту, гасу, гліцерину).

При поліруванні зразок на початку краще тримати в такому положенні, при якому напрям руху диска є перпендикулярним до напрямку рисок від останньої шліфувальної операції. При цьому легше вловити момент зникнення рисок. При обробці на дисках більш зручно і безпечно тримати зразок на тій частині диска, яка рухається від шліфувальника. Зразок не слід сильно притискати до диска.

Полірування триває 5–10 хв. Наприкінці полірування зразок рекомендують повільно повертати проти обертання диска. Полірування закінчують після того, як мікрошліф набуває дзеркальної поверхні. Знову ж правильним критерієм високої якості поверхні мікрошліфа є відсутність на ній дефектів у вигляді рисок. У ряді випадків, коли механічне полірування не дає задовільних результатів (дуже м'які метали і сплави) або його не можна застосувати через зміцнення поверхні шару шліфа, застосовують *електролітичне* або *хімічне* полірування.

Оцінка якості металографічного шліфа. Готовий шліф не повинен мати подряпин від шліфування, сторонніх забруднень, поверхня його повинна бути плоскою. Невеликий «завал» країв шліфа допустимий тільки у тому випадку, коли дослідження країв не передбачається.

Найбільшої чистоти шліфа слід домагатися при дослідженні неметалевих включень. Абсолютно неприпустима наявність на шліфі сторонніх забруднень, які можуть бути прийняті за неметалеві включення. Глибина рельєфу металографічного шліфа не повинна перевищувати глибини фокуса об'єктива, що використовують. При вивченні мікроструктури зі збільшенням до 100 разів максимальна глибина рельєфу не повинна перевищувати 4 мкм, при великих (максимальних) збільшеннях можливо допускати її не більше 0,5 мкм.

Виявлення мікроструктури металів і сплавів. Відполірований зразок, перш за все, потрібно дослідити під мікроскопом у непротиравленому стані, що дозволяє визначити наявність дефектів (пор, тріщин тощо) та неметалічних включень.

Поверхню відполірованого зразка потрібно промити, знежирити і висушити. Для знежирення застосовують етиловий (C_2H_5OH), метиловий (CH_3OH) спирти, ефір етиловий ($C_4H_{10}O$) та ацетон (C_3H_6O).

Зразки промивають в окремих випадках тими самими рідинами, що і знежирюють, але частіше за все водою (водопровідною або дистильованою). Після промивання зразок висушують фільтрувальним папером або підігрітим сухим повітрям. Аналізувати непротиравлені зразки потрібно при двох збільшеннях: малому (50–100) для того, щоб скласти загальну уяву про зразок, і великому – для аналізу непротиравленої поверхні, зокрема, будову і колір неметалічних включень вивчають при великих збільшеннях.

Більшість способів виявлення мікроструктури зводиться до виявлення меж між фазами, до отримання рельєфу на поверхні зерен і фарбування фаз або структурних складових. При цьому вдається виявити якісну відмінність

фаз, двійникові утворення, блочну структуру і орієнтування зерна відносно площини шліфа і взаємну орієнтацію зерен.

На сьогодні основними способами виявлення мікроструктури є:

- хімічне травлення розчинами;
- електрохімічне травлення за допомогою електроструму;
- «теплове травлення» дією кисню повітря при високих температурах;
- при високій температурі з застосуванням реагентів або у вакуумі;
- травлення в солях при відносно високих температурах;
- катодне травлення у вакуумі з струмом високої напруги;
- за розбіжністю магнітних і немагнітних фаз при додаванні магнітного поля або без нього.
- за зміною обсягу при вторинних перетвореннях. Найбільшого поширення набули перші два способи виявлення мікроструктури.

Під дією хімічних реагентів в чистих металах і однофазних сплавах, перш за все, виявляються межі між окремими зернами. При більш тривалій інтенсивній дії реагенту на окремих зернах виявляють фігури травлення, які зазвичай мають правильну геометричну форму, що відповідає кристалічній будові металу.

Принципові особливості процесів, що протікають при виявленні мікроструктури: процеси протікають на поверхні металу протягом порівняно коротких часових відрізків; їх інтенсивність пов'язана з різницею в природі фаз і агресивністю середовища, що впливає; процес впливу повинен бути перерваний і не доведений до стадії глибокого роз'їдання металу.

Відтінки металу на межах і всередині зерна різняться рівнями вільної енергії. В електрохімічній парі («межа зерна – його поверхня») електродний потенціал на межі має більш негативне значення, ніж за зерном. Розчинення відбувається і на поверхні зерна, однак, з меншою швидкістю, ніж на межах. Межі зерен травлення позначаються тонкими темними лініями через втрату відбитого світла в поглибленнях між зернами. Також відбувається і розчинення шарів металу на межах зерен: вони стають все більш поглибленими і широкими, витравлення шарів відбувається інтенсивно.

Практична частина

Виготовлення та підготовка металографічних шліфів складається з п'яти операцій:

- 1) вирізування зразка (не обов'язково!);
- 2) закріплення зразка або монтування (не обов'язково!);
- 3) шліфування;
- 4) полірування;
- 5) травлення (виявлення мікроструктури).

Література: [1–3]

Лабораторна робота 5

Установка для хіміко-термічної обробки у тліючому розряді

Мета: вивчити конструкцію установки для іонного азотування (азотування в тліючому розряді).

Теоретична частина

Установка іонного азотування (рис. 5.1) складається з розрядної камери і систем електропостачання, вакуумування, газопостачання, контрольно-вимірювальних приладів та гідропідйому елементів камери.

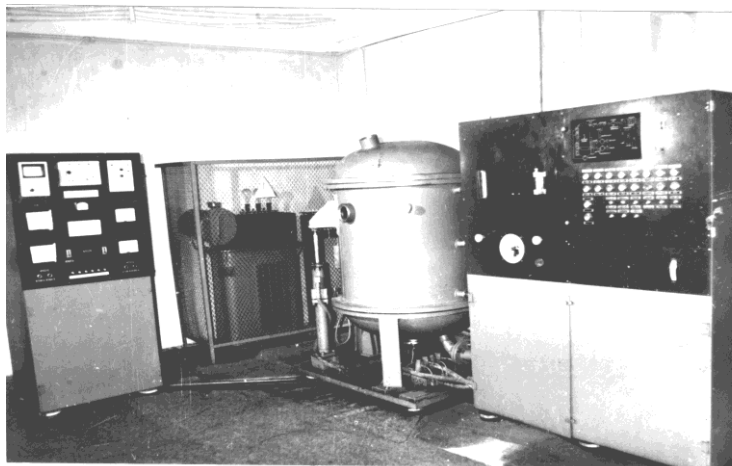


Рис. 5.1 – Установка іонного азотування

Технічні характеристики установки

Потужність	–	40 кВт
Струм змінний трифазний, напругою	–	380 В
Максимальна напруга в розрядній камері	–	1500 В
Об'єм розрядної камери	–	0,5 м ³
Діаметр камери	–	0,6 м
Корисна висота	–	1 м
Максимальне розрідження	–	1·10 ⁻² мм рт. ст. (1,33 Па)
Інтервал робочих температур	–	450...1000 °С
Витрата газу за годину	–	0,1...0,15 м ³

Принципова схема установки іонного азотування показана на рис. 5.2.

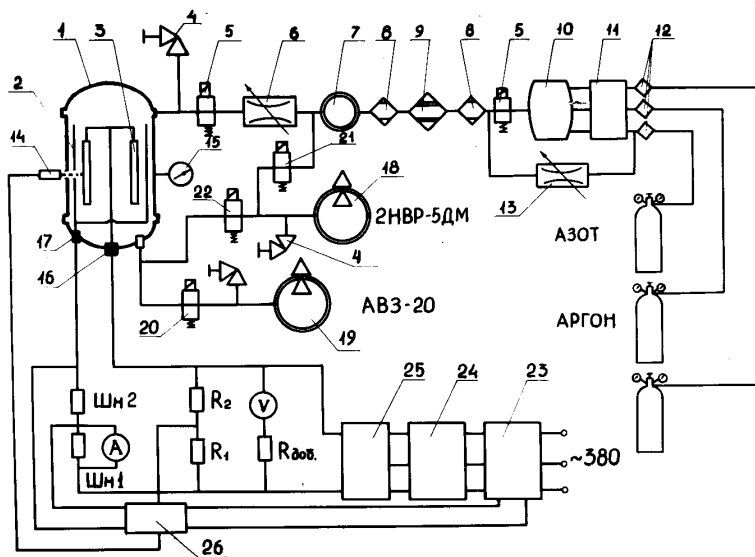


Рис. 5.2 – Принципова схема установки іонного азотування

Розрядна камера 1 виконана з нержавіючої сталі з водяним охолодженням. Завантаження деталей здійснюється через верхню частину камери при піднятій і відведеній в сторону кришці. У камері є три вікна, два з яких призначені для візуального спостереження за деталями в процесі зміцнення, а третє – для монтажу датчика 14 пірометричного вимірювача температури АПІР-С. Для відкачування повітря, подачі робочого газу і з'єднання камери з атмосферою та вакуумметром передбачені спеціальні отвори.

Вакуумна система складається з вакуумного насоса АВ3-20 19, трубопроводів і клапана 20. Форвакуумний насос 2HBP-5DM 18 слугує для проведення профілактичних робіт на установці.

До системи газопостачання входять балони зі стисненими газами (азотом, аргонем), фільтри 12, вузол дозування 11, змішувач газів 10, цеолитові пастки 8 для осушування газу від вологи, киснева пастка 9, дросель газовий 6 і клапани 5 з електромагнітним керуванням. Система газопостачання здійснює безперервну подачу робочих газів необхідного складу в робочу камеру і очищення їх від шкідливих домішок.

Система електропостачання складається з тиристорного регулятора напруги 23, підвищувального трансформатора 24, випрямляча 25, блока стабілізації розряду 26. Блок стабілізації розряду слугує для запобігання переходу тліючого розряду в дуговий.

Для спостереження за параметрами процесу на установці передбачені такі прилади:

- вакуумметр 15;
- терморадіаційний пірометр АПІР-С з діапазоном вимірювання від 450 до 750 °С 14;
- дросель для регулювання витрат газової суміші 4;
- вольтметр;
- амперметр.

До засобів механізації камери входять гідроагрегат і три гідроциліндри з елементами керування. Два гідроциліндри слугують для піднімання кришки. Для завантаження деталей в камеру передбачені спеціальні пристрої.

Кожний режим іонного азотування складається з циклу операцій: підготовчих операцій та проведення процесу азотування.

Підготовчі операції включають у себе:

- очищення камери та пристроїв авіабензином;
- надання остаточної форми деталям;
- очищення деталей від іржі, окалини, задирок;
- знежирення поверхні деталей;
- завантаження деталей у вакуумну камеру за допомогою спеціальних пристроїв.

До процесу азотування входять наступні операції:

- створення вакууму в камері – 10^{-2} мм рт. ст.;
- продування камери робочою сумішшю;
- повторне відкачування суміші газів з камери і створення вакууму 10^{-2} мм рт. ст. (1 Па);
- іонне очищення деталей при напрузі 1200 В;
- зняття напруги і запуск робочої суміші в камеру до встановленого робочого тиску;
- поступове збільшення напруги, запалення розряду, досягнення необхідної температури азотованого об'єкта;
- проведення основного режиму при постійному певному тиску і температурі або з їх зміною за певною схемою;
- відключення установки, охолодження об'єктів азотування за певною схемою;
- вивантаження об'єктів азотування;
- контроль об'єкта азотування або контрольного зразка на приладі ПМТ-3.

Практична частина

Описати та вивчити конструкцію установки, принцип її роботи та порядок виконання обробки деталей на ній. Сформулювати висновки.

Література: [1–3]

Лабораторна робота 6

Вплив технологічних параметрів процесу азотування у тліючому розряді на властивості азотованого шару

Мета: вибрати параметри технологічного процесу (температуру T °С; тиск P ; час τ , год; середовище Ag %).

Теоретична частина

Технологічні параметри процесу азотування в тліючому розряді (час дифузійного насичення τ , температура T °С, тиск у вакуумній камері P , склад насичуючого середовища) мають великий вплив на властивості азотованого шару, зокрема на товщину, твердість, фазовий склад тощо. Конструктор на робочих кресленнях деталей машин вказує вид покриття і його характеристики, а саме: твердість поверхні і товщину покриття. Тому для технолога важливо знати вплив технологічних параметрів азотування в тліючому розряді на ці характеристики.

Дослідженнями багатьох вчених встановлено, що існує параболічна залежність між товщиною азотованого шару і протяжністю процесу дифузійного насичення. При цьому товщина азотованого шару збільшується зі збільшенням температури процесу і різна для різних марок сталі (див. рис. 6.1–6.7). Існують оптимальні значення тиску і складу насичуючого середовища (суміші азоту з аргоном у випадку безводневого азотування в тліючому розряді), при яких досягається максимальна твердість і товщина азотованого шару для кожної марки матеріалу.

У таблиці 6.1 наведені режими азотування для конструкційних сталей різних марок і твердого сплаву, за яких одержують різну твердість поверхні азотованого шару (азотування протягом трьох годин).

Таблиця 6.1 – Типові технологічні режими азотування в тліючому розряді

Марка матеріалу	Параметр режиму			Мікротвердість HV_{100}	
	Температура, T , °С	Тиск, тор	Вміст аргону, %	Початкова	Після азотування
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Сталь 3	580	1,8	25	131	635–691
Сталь 20	540	0,6	25	131–170	635–716
Сталь 35	580	2,0	25	207–390	537–667
Сталь 45	580	2,0	25	229	614–667
	560	2,0	25	260–342	774–1036
65Г	580	0,6	75	241–475	520–614
ШХ15	570	0,6	25	270–300	537–804
	540	0,6	25	684–867	836–1036

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6
X12M	580	0,8	25	774–840	1197–1259
5XHM	570	0,6	75	435–587	774–804
9XΦ	580	0,6	25	255	909–946
	560	1,2	25	694–804	946–989
12XНЗА	580	0,8	25	270–300	989–1086
	570	1,8	25	217	909–946
	560	0,5	75	460–474	909–946
18XHM	510	0,6	25	537–600	774–804
18XГТ	580	0,6	25	217	716–836
	560	0,6	25	240	667–716
	570	0,8	23	325	774–790
	560	1,8	23	325	804–836
20X13	490	0,5	25	380–551	740–1200
25X5M	540	0,6	25	716–804	909–946
30XГС	560	0,8	25	229–293	667–716
P6M5	490	0,8	25	780–810	1100–1200
35XГА	490	1,8	25	537	774–804
38XМЮА	580	1,8	25	229–716	804–1197
38X2МЮА	580	1,8	25	229–716	946–1197
40X	580	1,2	25	217–252	716–909
	560	1,8	25	235–400	836–946
40X13	490	0,6	25	311–606	1197–1259
45X	580	1,8	25	229–350	716–900
BK6	600	0,6	25	1600–1700	1800–1900
BK8	600	0,6	25	1500–1600	1800–2000
BK15	600	0,6	25	1200–1326	1600–1870
T5K10	600	0,6	25	1200–1500	1600–1800
T15K6	600	0,6	25	1400–1500	1800–1900

З таблиці 6.1 видно, що за допомогою зміни температури, тиску і складу насичуючого середовища можна змінювати твердість азотованого шару в значних межах. Різна твердість поверхні азотованого шару обумовлена наявністю різного складу нітридних фаз заліза і легуючих елементів. Найвищу твердість має фаза ($Fe_{2-3}N$) заліза або легуючих елементів та її концентрація в поверхневому шарі. Меншу твердість має фаза (Fe_4N). Найменшу твердість має твердий розчин азоту в залізі ($\alpha-Fe_N$).

У таблиці 6.2 наведені варіанти завдань для виконання лабораторної роботи, суть якої полягає в тому, щоб для заданої марки сталі призначити технологічний режим азотування, який забезпечить зазначені в таблиці 6.2 твердість і товщину азотованого шару.

Таблиця 6.2 – Завдання лабораторної роботи

Варіант	Марка сталі	Вид термообробки	Вихідна твердість HV	Задані параметри	
				Мікро-твердість HV ₁₀₀	Товщина азотованого шару <i>h</i> , мкм
1	38ХМЮА	Без термообробки	229–230	900	420
2	38ХМЮА	Покращення	350–370	1100	350
3	38Х2МЮА	Гартування	710–720	1200	450
4	40Х	Без термообробки	217–220	750	400
5	40Х	Покращення	330–400	900	350
6	45Х	Без термообробки	230–235	800	340
7	18ХГТ		217–220	820	300
8	18ХГТ	Покращення	320–325	836	320
9	18ХГТ		325	750	250
10	35ХГА	Гартування	537	800	280
11	20	Без термообробки	170	700	350
12	45		230	660	380
13	45	Покращення	340	820	310
14	Ст.3	Без термообробки	130	640	350
15	65Г		260	610	260
16	Х12М	Гартування	800	1200	320
17	9ХФ	Без термообробки	255	920	250
18	9ХФ	Гартування	760	950	250
19	Р6М5		800	1100	200
20	12ХН3А	Без термообробки	270	1000	330
21	12ХН3А	Покращення	460	900	400
22	5ХНМ	Гартування	580	800	350
23	30ХГС	Без термообробки	230	700	250
24	25Х5М	Гартування	750	920	350
25	40Х13		600	1200	300
26	18ХНМ		600	800	250
27	ШХ15	Без термообробки	270	800	320
28	ШХ15	Гартування	850	950	350
29	15К10	Без термообробки	1500	1700	200
30	Т5К6		1400	1500	210
31	ВК6		1600	1850	160
32	ВК8		1550	1800	150
33	ВК15		1300	1600	150

Для виконання завдання у таблиці 6.1 вибираємо марку сталі та твердість її поверхні. Випишуємо три параметри технологічного процесу азотування сталі (температуру азотування T °С, тиск P , вміст аргону Ar % у насичуючій суміші з азотом). Четвертий параметр технологічного процесу τ (год) знаходимо таким чином. З рис. 6.1–6.7 вибираємо для заданої сталі криву

$h = f(\tau)$ і за величиною товщини азотованого шару h (задана у варіанті завдання) – час азотування τ . Для цього на осі абсцис через точку із заданою товщиною азотованого шару h проводимо горизонталь до перетину з кривою $h = f(\tau)$ для заданої марки сталі і, опустившись з точки перетину вниз по абсцисі на горизонтальну вісь, знаходимо час τ (год). Таким чином, отримуємо всі чотири параметри технологічного процесу азотування.

На товщину азотованого шару найбільший вплив мають температура і тривалість процесу дифузійного насичення (рис. 6.1).

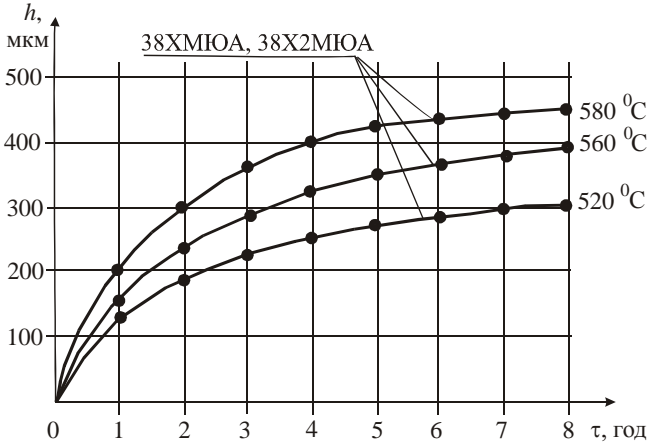


Рис. 6.1 – Залежність товщини азотованого шару сталей 38XМЮА та 38X2МЮА від часу азотування

($P = 1,8$ тор, $T = 580 \dots 520$ °C, вміст аргону в азотно-аргонній суміші – 25 %)

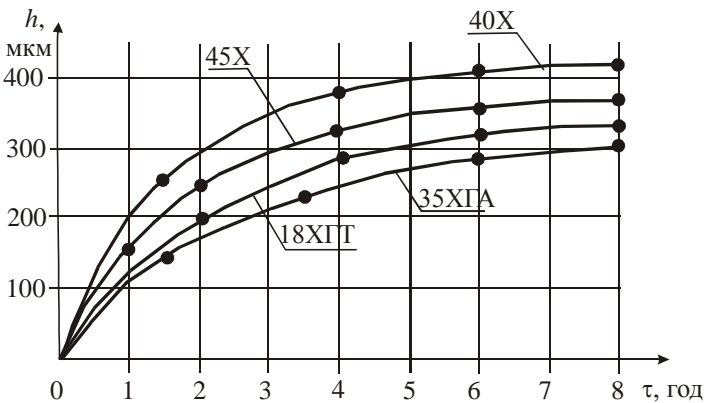


Рис. 6.2 – Залежність товщини від часу $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей

($P = 1,8$ тор, $T = 580$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

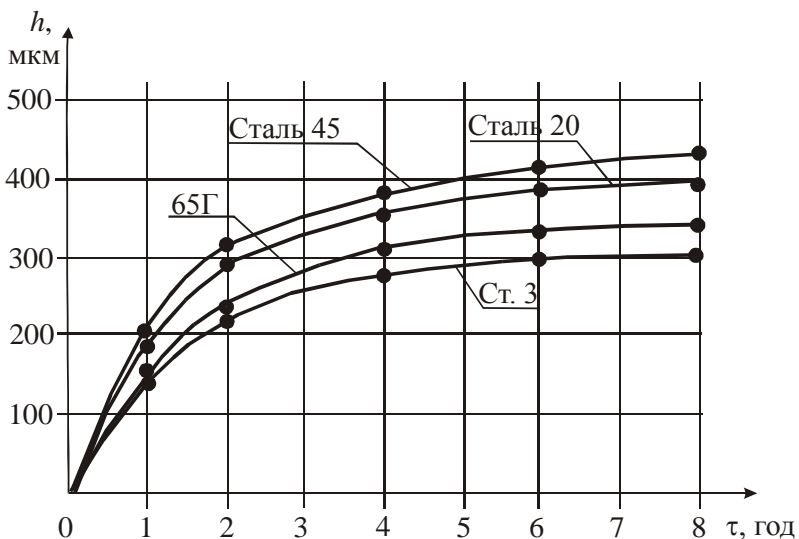


Рис. 6.3 – Залежність товщини від часу $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 2,0$ тор, $T = 580$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

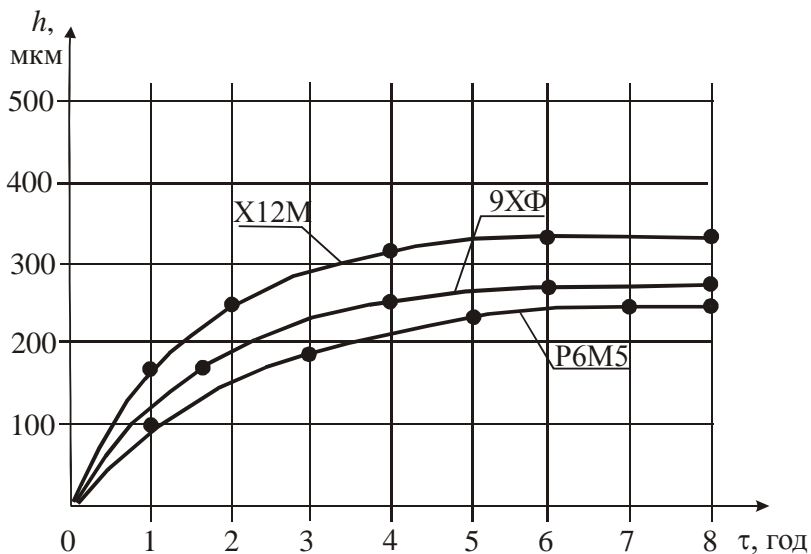


Рис. 6.4 – Залежність товщини від часу $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 0,6...0,8$ тор, $T = 580$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

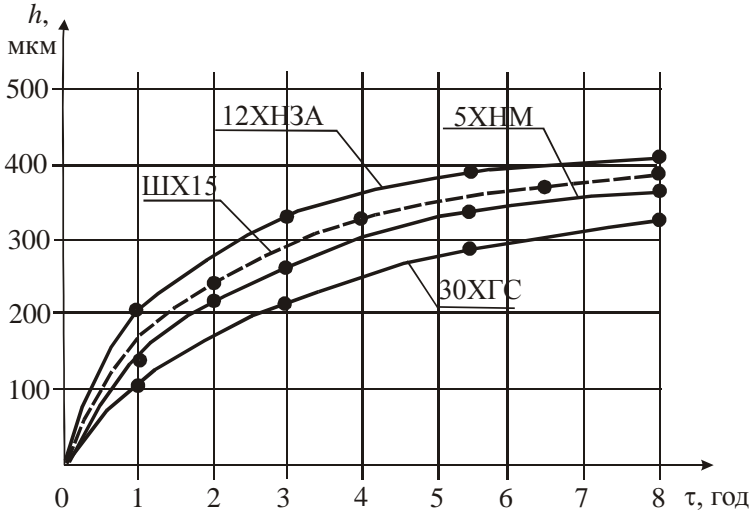


Рис. 6.5 – Залежність товщини від часу $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 0,8$ тор, $T = 560 \dots 570$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

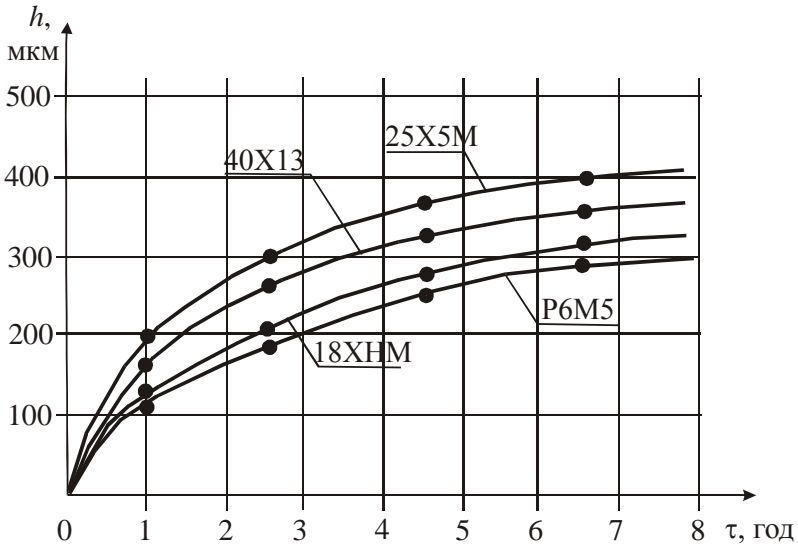


Рис. 6.6 – Залежність товщини від часу $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 0,6 \dots 0,8$ тор, $T = 490 \dots 510$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

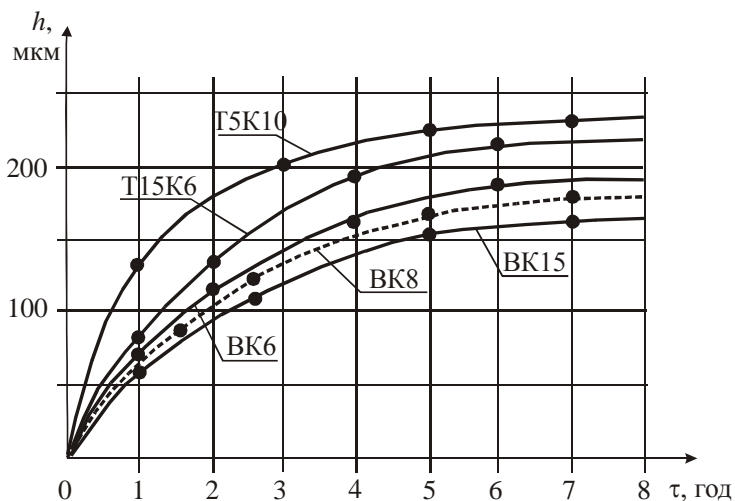


Рис. 6.7 – Залежність товщини від часу $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 0,6$ тор, $T = 600$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

Практична частина

Вибирають параметри технологічного процесу (див. табл. 6.2) за заданим варіантом: температуру T (°C); тиск P (тор); час τ (год); середовище (Ar %). Формулюють висновки.

Література: [3–5]

Лабораторна робота 7

Поверхнєве зміцнення деталей комбінованими покриттями

Мета: вивчити технології одержання комбінованих покриттів та методи контролю їх фізико-механічних характеристик; ознайомитись з приладом електроіскрового легування поверхні і набути практичних навичок роботи на ньому та на установці іонного азотування.

Теоретична частина

Проблема одержання робочих поверхонь деталей машин і апаратів із заданими фізико-механічними властивостями складна, оскільки, з одного боку, ці вимоги збільшуються як за кількістю, так і за величиною параметрів, а з іншого – немає універсального засобу обробки поверхні, здатного задовольнити їх. Тому виникає необхідність комбінованого застосування традиційних методів зміцнення деталей в поєднанні з новими способами легування металічних поверхонь. Розглянутий у роботі метод одержання комбінованих покриттів оснований на електроіскровому легуванні поверхні тугоплавким металом, зокрема титаном, з наступним її азотуванням у тліючому розряді.

Метод електроіскрового легування поверхні сьогодні одержав досить широке поширення завдяки ряду його специфічних особливостей:

- можливість здійснення на обмежених ділянках оброблюваної поверхні в екстремальних умовах складних мікрометалічних процесів;
- надзвичайно велика адгезія нанесеного шару з оброблюваною поверхнею;
- використання малогабаритної і простої в експлуатації апаратури, за допомогою якої здійснюється процес легування.

Цей метод має і певні недоліки: відносно малу товщину зміцнювального шару (0,1–0,2 мм), його високу шорсткість і пористість, ручний спосіб нанесення покриття. Однак вони не знижують значення методу електроіскрового легування, а в деяких випадках є його перевагою.

Електроіскровий метод обробки металів заснований на використанні явища електричної ерозії – руйнуванні матеріалів, що проводять струм під дією електричних розрядів.

Всі процеси, що зумовлюють електроерозійну обробку, протікають в міжелектродному проміжку і проходять на поверхневих шарах матеріалу електрода та оброблювальної деталі.

Якщо електроди, що ввімкнені у джерело напруги, зблизити на достатньо малу відстань, то між ними починають виникати електричні розряди.

Електроіскрова обробка – це ряд фізичних процесів, що протікають в обмеженому просторі ерозійного проміжку і мають спільне джерело – електричний розряд, останній є висококонцентрованим перетворювачем електрич-

ної енергії, яка досягає 30000 Дж/мм³, і потужністю до сотень кіловат. Матеріал електродів в зоні розряду зазнає інтенсивного нагрівання, сплавлення і випаровування; середовище нагрівається і частково розкладається; електроди і середовище зазнають механічного впливу. Основним при електричній ерозії є тепловий процес.

Для протікання процесу електроерозійної обробки необхідно забезпечити наступний цикл: сплавлення і випаровування матеріалу електродів, викидання сплавленого матеріалу, евакуацію продуктів ерозії.

Роль кожного з електродів у процесі електроіскрової обробки суттєво різна. Легуючий елемент повинен мати високу електроерозійну стійкість і не підлягати швидкому зношуванню, оскільки це призводить до пониження точності обробки і викликає необхідність його часткої заміни. Оброблювальна деталь, навпаки, повинна інтенсивно руйнуватися під дією розрядів; чим більше її електроерозійне зношення, тим вища продуктивність устаткування.

Динаміка процесу перенесення матеріалу електродів має специфічну особливість. У процесі електроіскрового легування може бути досягнута будь-яка товщина шару. На практиці, як правило, одержують шар малої товщини при будь-якому повторенні розрядів. Очевидно, припинення збільшення товщини шару можна пояснити його руйнуванням. Настає динамічна рівновага: в одному розряді шар наноситься, в іншому – руйнується, що приводить до установаження його середньої товщини.

У процесі електроіскрового легування необхідно враховувати одночасно вплив як матеріалу електродів, так і режимів обробки. Однак вибір матеріалів електродів дозволяє одержувати більш широкий спектр характеристик легуючого шару. Вибір матеріалів електродів визначає хімічний і фазовий склад шару.

Поверхневі шари металів, зокрема заліза і сталі, можуть хімічно взаємодіяти з навколишнім середовищем в процесі їх обробки імпульсними електричними розрядами. Експериментально встановлена наявність збагаченого вуглецем шару на поверхнях зразків заліза і сталі, що зазнали дії електричних розрядів у газі або інших вуглецевих середовищах і азотованого шару в середовищах, до складу яких входять азотні сполуки.

Одержання комбінованих покриттів складається з двох стадій: електроіскрове легування поверхні тугоплавким металом; зміцнення легованої поверхні азотуванням у тліючому розряді.

Процес азотування у тліючому розряді (іонне азотування) досить добре вивчений. Його суть полягає в тому, що при запалюванні тліючого розряду позитивні іони дифундуючого елемента (азоту) під дією енергії електростатичного поля набувають швидкості, вектор якої спрямований нормально до оброблюваної поверхні (катода). Під час бомбардування катода кінетична енергія іона витрачається на нагрівання поверхні і на відрив електронів і атомів металу (катодне розпилення). Атоми металу в плазмі тліючого розряду з'єднуються з азотом, існуючим в різних станах збудження, утворюючи нітрид металу, який адсорбується на поверхні катода у вигляді рівномірного шару.

Під час іонного бомбардування досягається ідеальна депасивація поверхні за рахунок зняття окисних плівок, напильється плівка нітридів, і відбуваються складні фізико-хімічні процеси в поверхневому шарі катода, які приводять до зміни тонкої структури металу.

Високий комплекс фізико-механічних властивостей азотованих металів забезпечується можливістю оптимізації фазового складу і будовою дифузійного шару за рахунок регулювання технологічних параметрів іонного азотування.

Таким чином, застосування процесу електроіскрового легування дозволяє нанести на робочу поверхню деталі тонкий шар більш якісного металу, якому властиві високі фізико-механічні властивості, а азотування в тліючому розряді приводить до ще більшого зміцнення нанесеного шару завдяки утворенню нітридних сполук.

Прилад електроіскрового легування поверхні

Основні технічні дані:

- | | |
|--|---|
| 1) діапазон величини розрядних ємностей | – 60–720 мкФ |
| 2) діапазон величини напруги, що задається | – 60–100 В |
| 3) режим роботи | – ручний або автоматичний |
| 4) діапазон частоти розряду, що плавно регулюється | – 10–50 Гц |
| 5) частота змінного струму | – 50 Гц |
| 6) напруга | – 220 В |
| 7) контроль розрядного струму | – приладом, розміщеним на лицьовій панелі |

Прилад електроіскрового легування поверхні (рис. 7.1), складається з блока управління, електродів анода і катода.

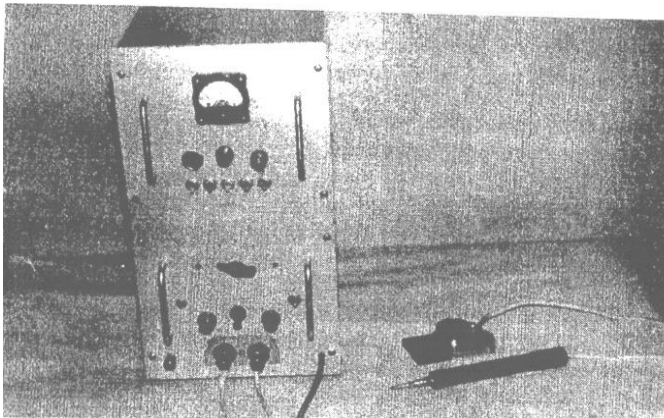


Рис. 7.1 – Прилад електроіскрового легування

Принципова електрична схема приладу (рис. 7.2) має такі основні вузли: випрямлячі VD1–VD4 з фільтрами C6, C7, батареї накопичувальних конденсаторів C1–C5 та тиристорних ключів VS1, VS2.

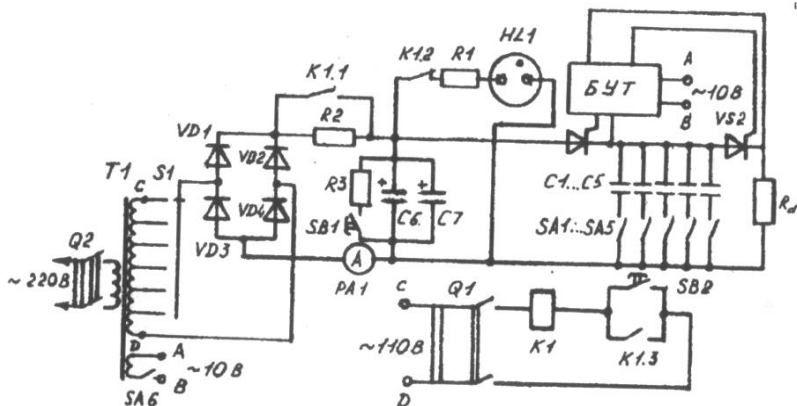


Рис. 7.2 – Принципова електрична схема приладу електроіскрового легування

При вмиканні мережі тумблером Q1 конденсатори фільтрів C6, C7 заряджаються через мости VD1–VD4 і обмежувальний резистор R2 до напруги, що визначається вторинною обмоткою трансформатора Т1. Величину цієї напруги можна змінювати, перемикаючи секції обмоток перемикачем S1.

Тиристри VS1, VS2 в цей час закриті, і накопичувальні конденсатори C1–C5 розряджені. При натисканні кнопки SB2 спрацьовує реле K1 і самоблокується контактами K1.3. Це приводить до замикання обмежувального резистора контактами K1.1 і вмикання сигнальної лампочки HL1 за допомогою контактів K1.2.

Робочий цикл стає можливим після увімкнення тумблером SA6 живлення до блока управління тиристорами (БУТ), який виробляє дві серії коротких у часі імпульсів, які не перекриваються, для запуску тиристорів VS1 і VS2. При вмиканні тиристора VS1 заряд накопичувальних конденсаторів C1–C5 буде продовжуватись до того часу, доки струм заряду не стане меншим від струму вимкнення тиристора. При цьому напруга на накопичувальних конденсаторах практично досягне величини напруги на виході випрямляча. Ємність батареї накопичувальних конденсаторів, а отже, і накопичену ними енергію можна змінювати за допомогою перемикачів SA1–SA6.

У момент подачі управляючого імпульсу на вхід тиристора VS2 починається розряд накопичувальних конденсаторів через зразок, що підлягає зміцненню. Розряд припиниться, як тільки величина струму стане меншою від струму вимкнення тиристора VS2. Далі процес періодично повторюється.

За допомогою кнопки SB1 здійснюється розряд конденсаторів фільтра після вимкнення приладу.

Практична частина

1. Підготувати до зміцнення заданий зразок (протерти і знежирити бензином).
2. Заміряти мікрометром висоту зразка у п'яти точках.
3. Виміряти мікротвердість зразка на приладі ПМТ-3.
4. Приєднати до провідника з від'ємною клемою «←» зразок, а до провідника з позитивною клемою «+» – електрод легуючого елемента.
5. Подати перемикачем «Мережа» напругу живлення на прилад.
6. Подати перемикачем «БУГ» живлення до блока керування тиристорами.
7. Установити перемикачами задану ємність накопичувальних конденсаторів.
8. Установити перемикачем напругу на електродах (при цьому засвітиться сигнальна лампа «СРК»).
9. Натиснути кнопку «Б-КА R2» – сигнальна лампа «СРК» погасне.
10. Установити частоту розряду ручкою «УТ».
11. Нанести покриття, послідовно торкаючись електродом до поверхні, що зміцнюється.
12. Вимкнути прилад (засвітиться сигнальна лампа «СРК»).
13. Натиснути кнопку «Розряд» для розрядки накопичувальних батарей. Сигнальна лампа «СРК» повинна погаснути.
14. Вимкнути прилад з мережі.
15. Від'єднати зміцнений зразок від приладу.
16. Виміряти мікрометром висоту зразка h_1 у п'яти точках.
17. Притерти зміцнений зразок для зняття гострих виступів.
18. Виміряти мікрометром висоту зразка h_2 у п'яти раніше визначених точках.
19. Виміряти мікротвердість поверхні на приладі ПМТ-3 у п'яти точках.
20. Підготувати зразки і провести процес азотування.
21. Виміряти мікротвердість азотованої поверхні на приладі ПМТ-3 у п'яти точках.
22. Сформулювати висновки.

Література: [3–5]

Лабораторна робота 8

Дослідження зносостійкості азотованих шарів у рідких середовищах

Мета: ознайомитись з методикою проведення досліджень зносостійкості та набути навичок роботи на установках тертя; вивчити види, характеристики і механізми зношування, а також конструкцію установки торцевого тертя; ознайомитись з методиками та отримати навички проведення досліджень зносостійкості азотованих шарів у рідких середовищах.

Теоретична частина

Існує декілька класифікацій видів зношування (спрацювання), які охоплюють практично всі його різновиди. Однак, найпоширенішими видами зношування є абразивне, адгезійне, втомне, кавітаційне, корозійне та ерозійне.

Зношування поверхневих шарів твердих тіл обумовлене процесами, що протікають в зонах фактичного дотику твердих тіл і на поверхнях, що підлягають тертю.

Абразивне зношування відбувається в результаті дії на поверхню тертя твердих частинок, які знаходяться в мастильних матеріалах або в робочому середовищі. Цей вид зношування найчастіше зустрічається в робочих органах землерийних машин, сільськогосподарській техніці тощо.

Молекулярне (адгезійне) зношування – результат послідовного утворення і руйнування фрикційних зв'язків, що виникають внаслідок міжатомних і міжмолекулярних взаємодій між плівками, які покривають поверхні твердих тіл.

Втомне зношування з'являється в результаті повторної деформації поверхневих шарів твердих тіл під час зовнішнього тертя, найхарактерніше для нормального режиму роботи переважної більшості рухомих з'єднань.

Кавітаційне зношування виникає внаслідок кавітаційних явищ в мастильних матеріалах під час відносного переміщення твердих тіл.

Корозійне зношування включає в себе різні види впливу середовища на руйнування поверхневих шарів твердих тіл пар тертя. Руйнування відбувається в поверхневих шарах в результаті протікання електродних процесів, активованих механічними діями, і самих механічних дій.

Ерозійне зношування – зношування поверхні твердих тіл у потоці частинок.

Слід відмітити, що в рухомих з'єднаннях часто має місце декілька видів зношування.

Установка торцевого тертя складається з привода 1, шпindelного вузла 2, вузла тертя 3. Загальний вигляд установки (див. рис. 8.1).

У складі привода є електродвигун змінного струму АОЛ-2П-ЧСО потужністю $N_e = 0,6$ кВт з частотою обертання $n_e = 1350$ хв⁻¹ і клинопасова чотириступінчаста передача.

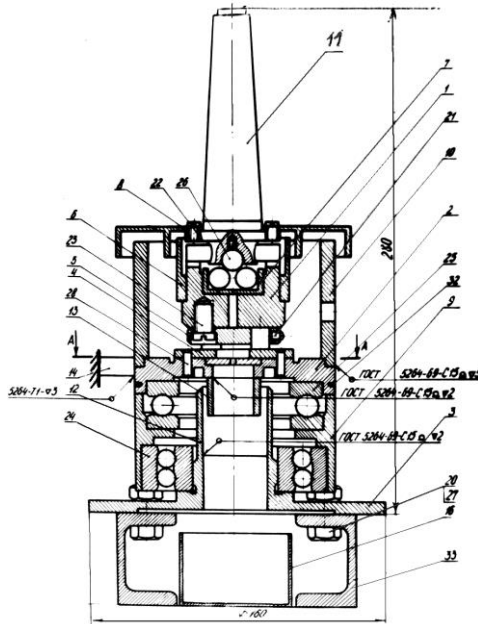


Рис. 8.1 – Загальний вигляд установки

Шпиндельний вузол 2 змонтований в корпусі, а шпindelь – в гільзі на шарикопідшипниках. Шпindelь з'єднаний шліцями з веденим шківом пасової передачі. Подача шпинделя здійснюється обертанням вала-шестірни і гільзи з рейкою. Навантаження на дослідний зразок створюється підвішуванням відповідного вантажу на штурвал 4.

Вузол тертя 3 з контргілом кріпиться на столі установки, а оправка з дослідним зразком встановлюється в шпindelь за допомогою конуса Морзе № 2.

Схема вузла тертя показана на рис. 8.2.

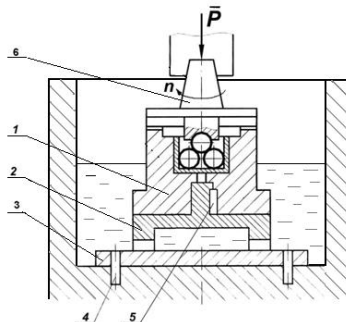


Рис. 8.2 – Схема установки тертя

Дослідний зразок 2 кріпиться нерухомо до оправки 1 за допомогою шпонки. Обертання від конусного хвостовика до оправки передається за допомогою шліцьового з'єднання.

Контртіло двома штифтами кріпиться до стакана 4, встановленого на упорному підшипнику 5. Стакан тросиком з'єднаний зі стрижнем 6, чим забезпечується його кутова фіксація. На стрижні 6 наклеєні тензодатчики, які дозволяють виміряти момент тертя, за яким розраховується коефіцієнт тертя. У порожнину між зразком і контртілом заливається мастило.

Контрольний пристрій. Як вимірювач спеціального пристрою для вимірювання лінійного зносу застосована важільно-зубчаста головка МКМ з ціною поділки шкали 0,001 мкм і діапазоном вимірювання ± 1 мкм. Конструкція пристрою показана на рис. 8.3. Для зменшення похибки вимірювання в пристрої передбачена фіксація оправки на її осі (фіксатор 1) і кутова фіксація (фіксатор 2).

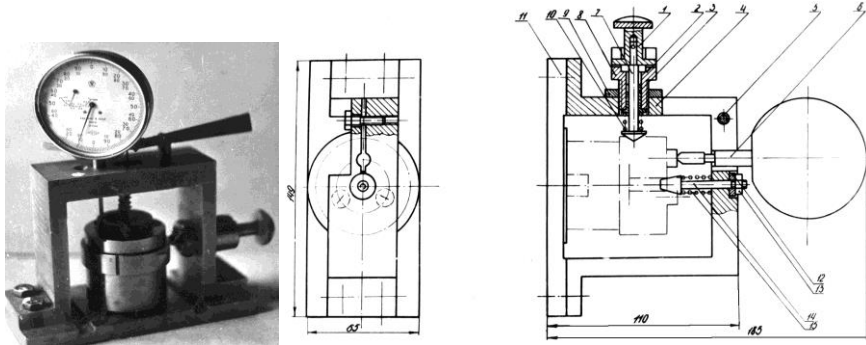


Рис. 8.3 – Пристрій для вимірювання лінійного зносу

Практична частина

1. Виміряти мікротвердість зразків.
2. Встановити в оправку дослідний зразок.
3. На контрольному пристрої виміряти у 15-ти точках висоту дослідного зразка разом з оправкою.
4. Провести зношування протягом 15 хв.
5. На контрольному пристрої виміряти у 15-ти точках висоту дослідного зразка разом з оправкою. Різниця у показниках буде величиною зносу.
6. Пункти 4–5 повторити стільки разів, скільки задав викладач.
7. Сформулювати висновки.

Література: [3–6]

Література

1. Нанесення покриття : навч. посіб. / В. М. Корж [та ін.] ; за ред. К. А. Ющенко. – Київ : Арістей, 2005. – 204 с.
2. Хасуй А. Техника напыления / А. Хасуй ; пер. с япон. – М. : Машиностроение, 1975. – 288 с.
3. Модульне середовище для навчання MOODLE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://msn.khnu.km.ua>.
4. Лахтин Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
5. Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах / Б. Н. Арзамасов. – М. : Машиностроение, 1979. – 224 с.
6. Каплун В. Г. Ионные технологии нанесения диффузионных покрытий в плазме тлеющего разряда / В. Г. Каплун, И. М. Пастух // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2001. – № 2. – С. 73–75.

Зміст

Вступ	3
Лабораторна робота 1. Визначення швидкості частинок при газотермічному напиленні.....	5
Лабораторна робота 2. Аналіз теплових процесів на поверхні виробу при газотермічному напиленні.....	8
Лабораторна робота 3. Аналіз процесу зчеплення частинок матеріалу, що напилюють, з поверхнею основи при газотермічному напиленні.....	11
Лабораторна робота 4. Приготування зразків для металографічного дослідження мікроструктури ..	15
Лабораторна робота 5. Установка для хіміко-термічної обробки у тліючому розряді	21
Лабораторна робота 6. Вплив технологічних параметрів процесу азотування у тліючому розряді на властивості азотованого шару	24
Лабораторна робота 7. Поверхневе зміцнення деталей комбінованими покриттями	31
Лабораторна робота 8. Дослідження зносостійкості азотованих шарів у рідких середовищах	36
Література	39