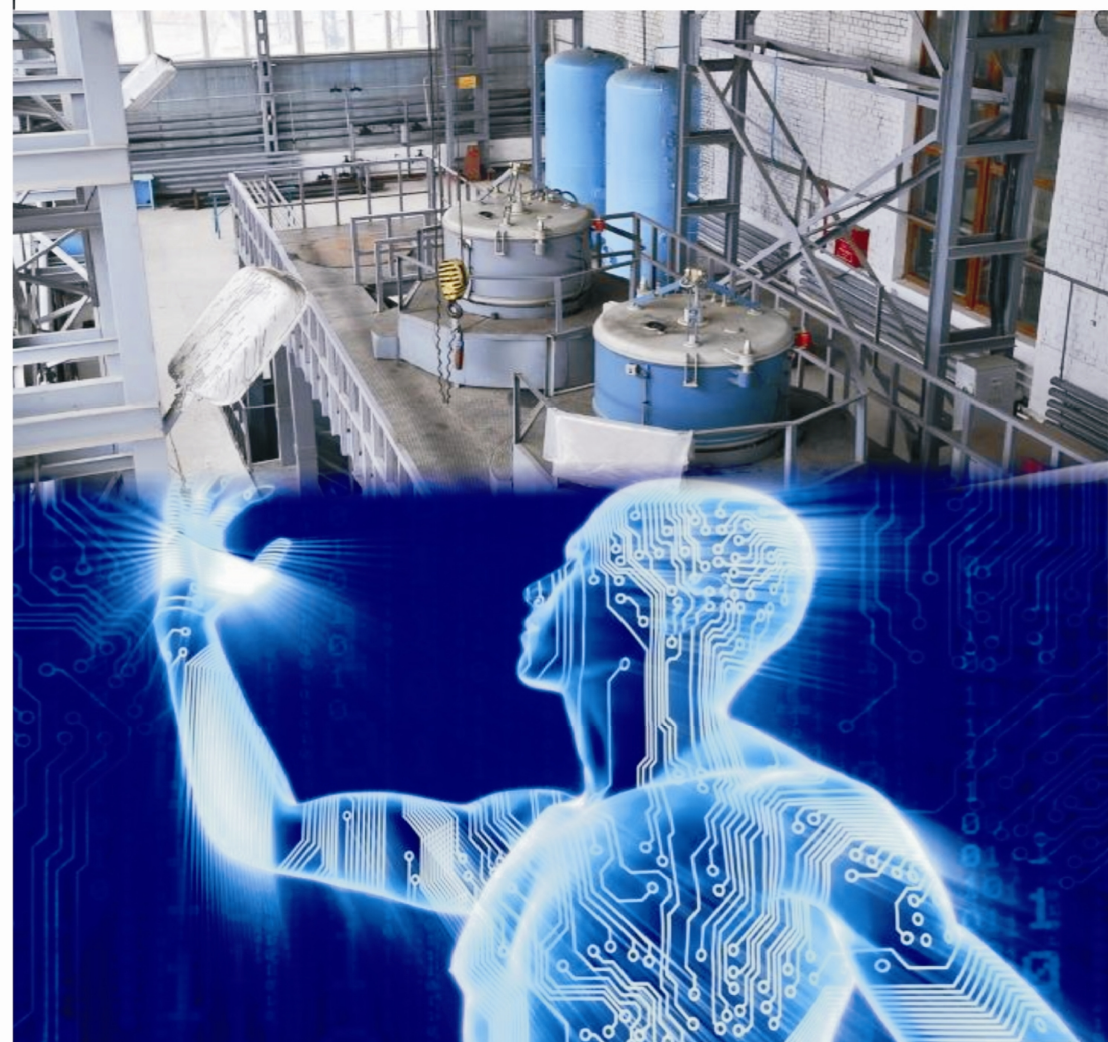


ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНІ ЗМІЦНЮЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

*Методичні рекомендації до лабораторних робіт
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності «Матеріалознавство»*



Хмельницький національний університет

ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНІ ЗМІЦНЮЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

*Методичні рекомендації до лабораторних робіт
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 132 «Матеріалознавство»*

*Затверджено на засіданні
кафедри трибології, автомобілів
та матеріалознавства.
Протокол № 6 від 18.05.2022*

Хмельницький 2022

Високоенергетичні зміцнюючі технології : методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство»/ уклад.: П. В. Каплун, В. А. Гончар. Хмельницький : ХНУ, 2022. 24 с.

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

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

Редактор-коректор: Яремчук В. С.

Технічне редагування і верстка: Карпанасюк В. П.

Макетування здійснено редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підп. 16.06.2022. Зам. № 33є/22, електронне видання, 2022.

© ХНУ, 2022

Вступ

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Високоенергетичні зміцнюючі технології», призначені здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство». У них подано загальні рекомендації з виконання, оформлення та захисту лабораторних робіт та питання для самоконтролю.

Мета дисципліни – закріплення та поглиблення знань про умови експлуатації деталей машин, інструментів і оснащення; уміння застосовувати різні методи зміцнення поверхні; вибирати тип і властивості покриттів, що забезпечують підвищення зносостійкості.

Завданнями дисципліни є формування компетентностей:

- абстрактного мислення, аналізу та синтезу при вирішенні виробничих завдань;
- застосовування знань у практичних ситуаціях, коли потрібно збільшити термін роботи деталей машин;
- прагнення до збереження навколишнього середовища застосуванням екологічно чистих технологій;
- виявлення та ставлення проблеми в сфері матеріалознавства, прийняття ефективних методів для їх вирішення;
- планування та проведення дослідження в сфері матеріалознавства у лабораторних та виробничих умовах на відповідному рівні з використанням сучасних методів і методик експерименту;
- оцінювання та забезпечення якості робіт, що виконуються;
- зрозуміло і недвозначно доносити власні знання, висновки та аргументацію з питань матеріалознавства і дотичних проблем до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються;
- обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів і виробів, для конкретних умов експлуатації;
- застосовування системних підходів для розв'язання прикладних задач виготовлення, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів і виробів.

Забезпечення програмних результатів навчання:

- розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій;
- виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі задачі;
- застосовувати наукові навички у галузі інженерії для того, щоб успішно проводити наукові дослідження як під керівництвом так і самостійно;
- формулювати та розв'язувати науково-технічні задачі для розробки, виготовлення, випробування, сертифікації, утилізації матеріалів, створення та застосування ефективних технологій виготовлення виробів;
- планувати і виконувати експериментальні матеріалознавчі дослідження, обирати обладнання та методики, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки;

–обґрунтовано призначати та контролювати показники якості матеріалів та виробів;

–проектувати нові матеріали, розробляти, досліджувати та використовувати фізичні та математичні моделі матеріалів та процесів;

–розв’язувати прикладні задачі виготовлення, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів і виробів;

–аналізувати основні відмови деталей автомобілів, ідентифікувати їх причини.

Лабораторні роботи носять дослідницький характер, в кожній з них стисло викладені основні теоретичні і практичні положення, методика виконання робіт і завдання для самостійного виконання роботи.

Перед виконанням роботи здобувач повинен ознайомитись зі змістом роботи, усвідомити її мету та завдання, засвоїти правила техніки безпеки при виконанні робіт в лабораторії нанесення покриття, відповісти на контрольні питання викладача і отримати дозвіл на виконання роботи.

Критерії оцінювання

Оцінка «**відмінно**» виставляється здобувачу, який повністю виконав поставлені завдання, має грамотний, логічний виклад відповіді (як в усній, так і у письмовій формі), якісне зовнішнє оформлення роботи. Здобувач не вагається при відозміні запитання, вмє робити детальні та узагальнюючі висновки. При відповіді допустив дві–три несуттєві похибки.

Оцінку «**добре**» отримує здобувач, який орієнтується у вивченому матеріалі; свідомо використовує теоретичні знання для вирішення практичних задач; виклад відповіді грамотний, але у змісті та формі відповіді можуть мати місце окремі неточності, нечіткі формулювання закономірностей тощо. Відповідь здобувача має будуватись на основі самостійного мислення. Здобувач у відповіді допустив дві–три несуттєві помилки.

Оцінку «**задовільно**» заслуговує здобувач, який не володіє знаннями програмного матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та діяльності за професією, не справляється з виконанням програмних практичних завдань. Як правило, його відповідь будується на рівні репродуктивного мислення, він має слабкі знання структури курсу, допускає неточності і суттєві помилки, вагається при відповіді на відозмінене запитання. 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.

Оцінка «**незадовільно**» виставляється здобувачу, у якого розрізнені, безсистемні знання, не вмє виділяти головне і другорядне, допускається помилка у визначенні понять, перекручує їх зміст, хаотично і невпевнено викладає матеріал, не може використовувати знання при вирішенні практичних завдань. Як правило, оцінка «незадовільно» виставляється здобувачу, який не може продовжити навчання без додаткової роботи з вивчення дисципліни.

Захист лабораторних робіт проводиться на наступному занятті після їх виконання.

Лабораторна робота 1

Установка для хіміко-термічної обробки у тліючому розряді

Мета: ознайомитись з конструкцією та принципами роботи обладнання для нанесення покриттів.

Завдання: вивчити конструкцію і порядок роботи установки для іонного азотування в тліючому розряді.

Теоретична частина

Установка іонного азотування (рис. 1.1) складається з розрядної камери і систем електропостачання, вакуумування, газопостачання, контрольно-вимірювальних приладів та механізму гідропідйому елементів камери.

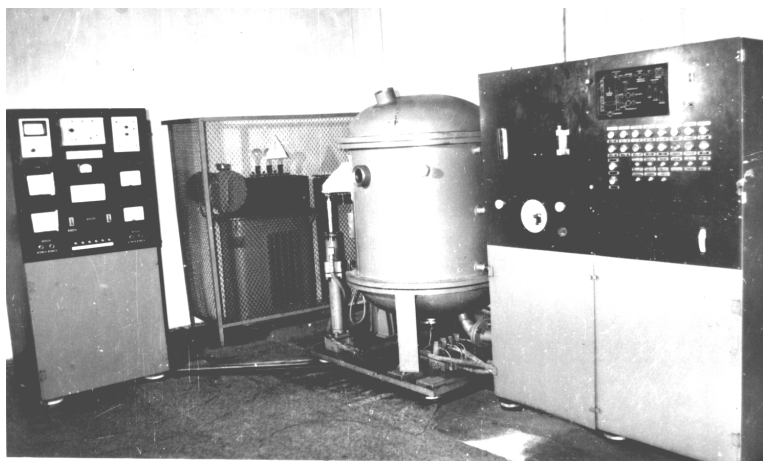


Рис. 1.1 – Установка іонного азотування

Технічні характеристики установки

Потужність	–	40 кВт
Струм змінний трифазний; напруга	–	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. 1.2.

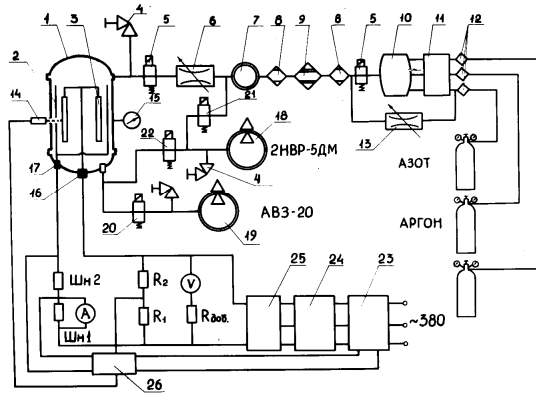


Рис. 1.2 – Принципова схема установки іонного азотування

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 АВЗ-20 19, трубопроводів і клапана 20. Форвакуумний насос 2НВР-5ДМ 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 роботи та порядок проведення обробки деталей на ній. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Чим відрізняється конструкція установки при азотуванні в водневих і безводневих середовищах?
2. З яких систем складається установка іонного азотування?
3. Чи можна використовувати установки іонного азотування для інших технологій ХТО?
4. Чому при іонній очистці від окислів краще використовувати аргон?
5. За рахунок чого при іонному азотуванні в безводневих середовищах економиться електроенергія?
6. Чому необхідно щоб після азотування деталі охолоджувались в вакуумі?
7. Які переваги установок іонного азотування в безводневих середовищах?
8. Які вимоги до установок іонного азотування в безводневих середовищах?

Література: [1, с. 15–30; 2, с. 10–30, 145–150; 3; 5, с. 123–127]

Лабораторна робота 2

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

Мета: ознайомитись з параметрами технологічних процесів при нанесенні покриттів на деталі машин та інструмент. Набути навичок їх призначення.

Завдання: вибрати параметри технологічного процесу (температуру T °С; тиск P ; час τ , год; Ar %) азотування.

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. 2.1–2.7). Існують оптимальні значення тиску і складу насичуючого середовища (суміші азоту з аргонем у випадку безводневого азотування в тліючому розряді), при яких досягається максимальна твердість і товщина азотованого шару для кожної марки матеріалу.

У таблиці 2.1 наведені різні режими азотування для конструкційних сталей різних марок і твердого сплаву, при яких одержується різна твердість поверхні азотованого шару після азотування протягом трьох годин.

Таблиця 2.1 – Типові технологічні режими азотування в тліючому розряді

Марка матеріалу	Параметр режиму			Мікротвердість, HV ₁₀₀	
	Температура, T , °С	Тиск, тор	Вміст аргону, %	Початкова	Після азотування
1	2	3	4	5	6
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 2.1

1	2	3	4	5	6
X12M	580	0,8	25	774–840	1197–1259
5XHM	570	0,6	75	435–587	774–804
9XФ	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 2.1 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 2.2 наведені варіанти завдань для виконання лабораторної роботи, суть якої полягає в тому, щоб для заданої марки сталі призначити технологічний режим азотування, який забезпечить зазначені твердість та товщину азотованого шару.

Таблиця 2.2 – 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 вирішення завдання знаходимо задані марку сталі та твердість її поверхні (табл. 2.1). Випишемо три параметри технологічного процесу азотування (температуру азотування T °С, тиск P , вміст аргону Ar % у насичуючій суміші). Четвертий параметр процесу – час τ (год) знаходимо наступним чином. З рис. 2.1–2.7 знаходимо, для заданої сталі криву $h = f(\tau)$ і за величиною тов-

щини азотованого шару h , що задана у варіанті завдання, – час азотування τ . Для цього на осі абсцис через точку з 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 τ , год. Таким чином, ми маємо всі чотири параметри технологічного процесу азотування.

На товщину азотованого шару найбільший вплив мають температура і протяжність процесу дифузійного насичення (рис. 2.1).

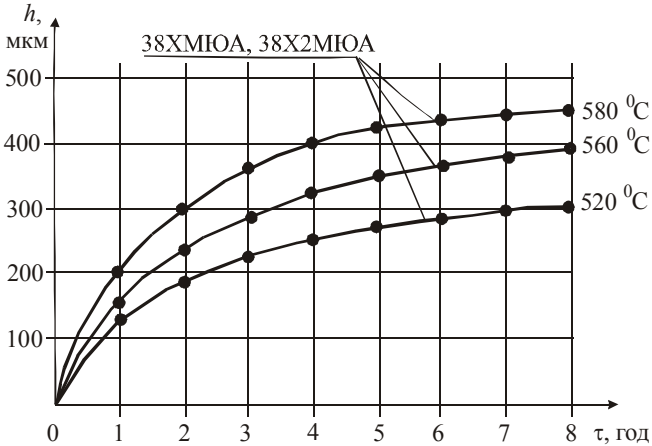


Рис. 2.1 – Залежність товщини азотованого шару сталей 38XМЮА і 38X2МЮА від часу азотування ($P = 1,8$ тор, $T = 580\text{--}520$ °C, вміст аргону в азотно-аргонній суміші – 25 %)

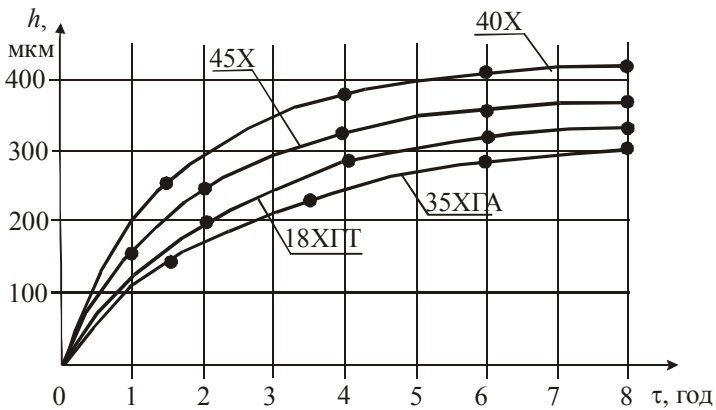


Рис. 2.2 – Залежність $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 1,8$ тор, $T = 580$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

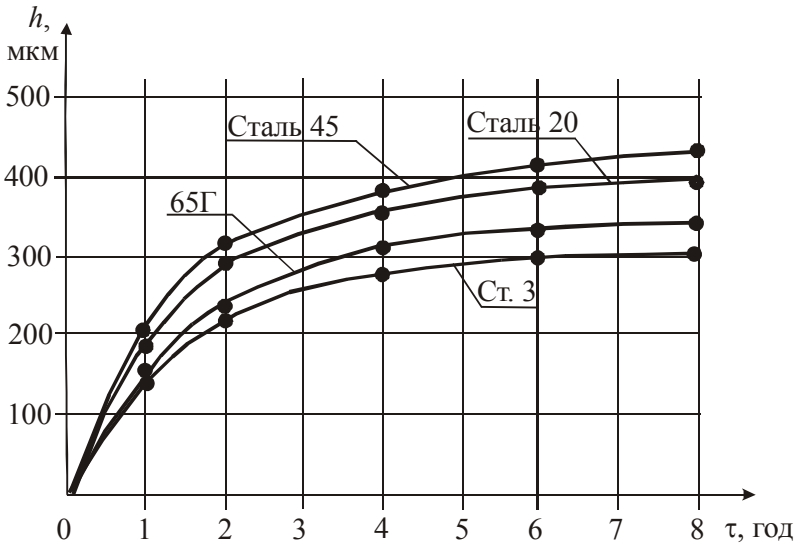


Рис. 2.3 – Залежність $h=f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P=2,0$ тор, $T=580$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

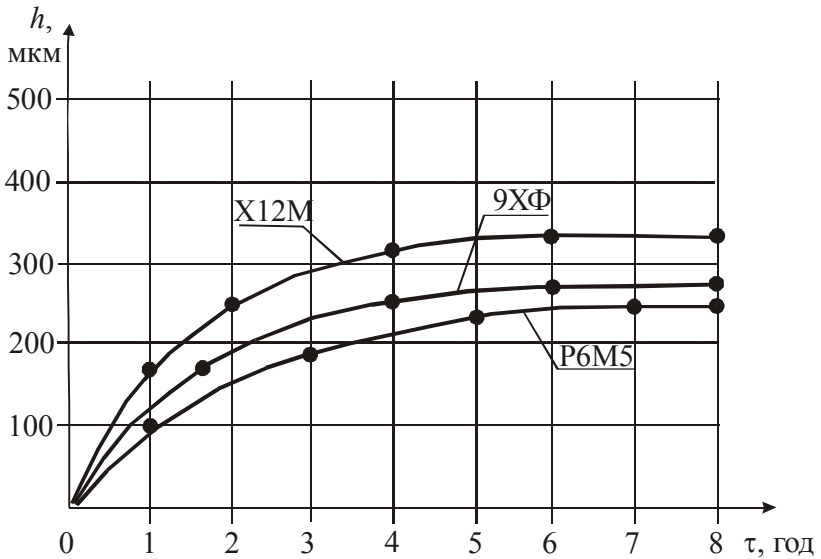


Рис. 2.4 – Залежність $h=f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P=0,6-0,8$ тор, $T=580$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

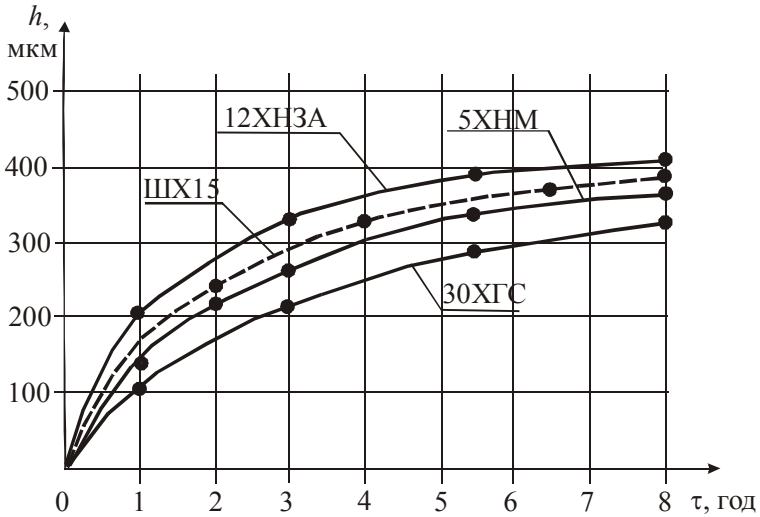


Рис. 2.5 – Залежність $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 0,8$ тор, $T = 560-570$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

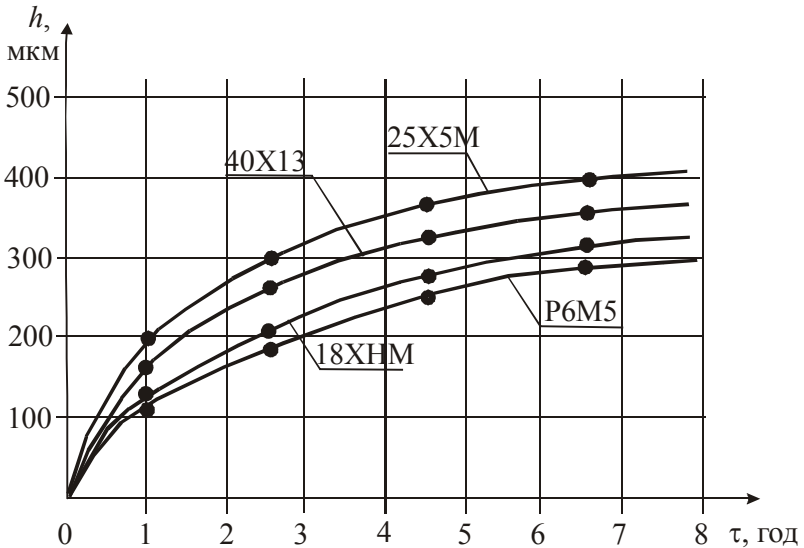


Рис. 2.6 – Залежність $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 0,6-0,8$ тор, $T = 490-510$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

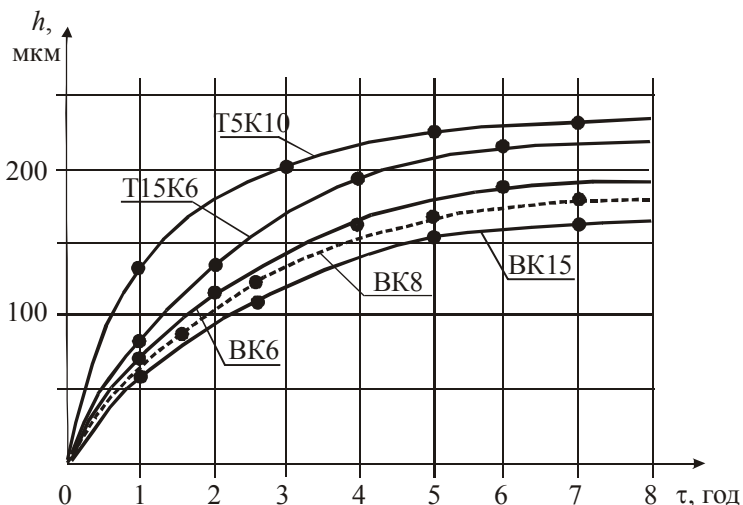


Рис. 2.7 – Залежність $h = f(\tau)$ при азотуванні різних сталей ($P = 0,6$ тор, $T = 600$ °C, 25 % Ar + 75 % N₂)

Практична частина

Вибрати параметри технологічного процесу (див. табл. 2.2) за варіантом – температуру T (°C); тиск P (тор); час τ (год); Ar %. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. За яким законом змінюється товщина азотованого шару залежно від часу азотування?
2. Як впливає температура на товщину азотованого шару?
3. Як впливає концентрація аргону в насичуючій суміші на твердість поверхні?
4. Що є причиною зворотного катодного розпилення при іонному азотуванні?
5. Як впливає тиск в вакуумній камері на процес дифузії і розпилення?
6. Чи впливає енергія іонів на фазовий склад і який це вплив?

Література: [1, с. 33–45; 2, с. 15–30; 3; 4, с. 73–75]

Поверхнєве зміцнення деталей комбінованими покриттями

Мета: вивчити технології та обладнання для одержання комбінованих покриттів; вивчити методики контролю фізико-механічних характеристик комбінованих покриттів.

Завдання: вивчити прилад електроіскрового легування поверхні; набутти практичних навичок роботи на приладі електроіскрового легування поверхні та установці іонного азотування.

Теоретична частина

Проблема одержання робочих поверхонь деталей машин і апаратів із заданими фізико-механічними властивостями дуже складна, оскільки, з одного боку, ці вимоги все збільшуються як за кількістю, так і за величиною параметрів, а з другого – немає універсального засобу обробки поверхні, здатного задовольнити ці вимоги. Тому виникає необхідність комбінованого застосування традиційних методів зміцнення деталей в поєднанні з новими способами легування металічних поверхонь.

Розглянутий у цій 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 електричної енергії, яка досягає 30000 Дж/мм^3 , 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 частой 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 установалення 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 дифундууючого 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 ато-

мів 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 |

Зовнішній вигляд приладу електроіскрового легування поверхні, який складається з блока управління, електродів (анод і катод), наведений на рис. 3.1.



Рис. 3.1 – Прилад електроіскрового легування

Принципова електрична схема приладу (рис. 3.2) має такі основні вузли: випрямлячі VD1–VD4 з фільтрами C6, C7, батареї накопичувальних конденсаторів C1–C5 і тиристорних ключів VS1, VS2.

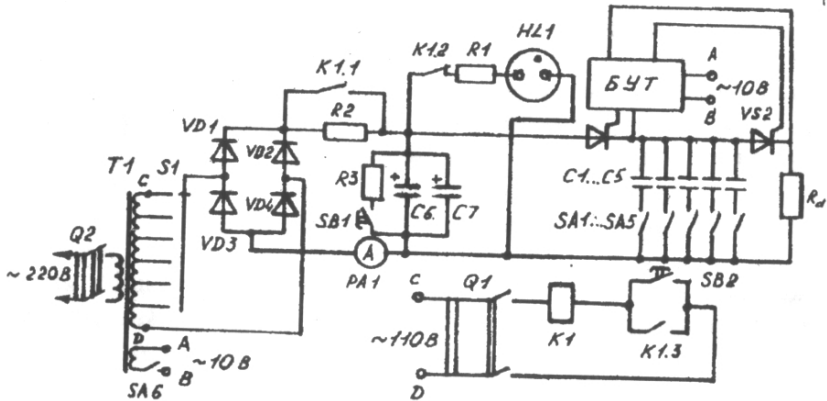


Рис. 3.2 – Принципова електрична схема приладу електроіскрового легування

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 T1. Величину цієї напруги можна змінювати, перемикаючи секції обмоток перемикачем S1.

Тиристори 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. Заміряти мікротвердість зразка на приладі ПМТ-3.
4. Приєднати до проводу з від'ємною клемою «-», зразок, а до проводу, з позитивної клеми «+» – 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», при цьому погасне сигнальна лампа «СРК».
10. Установити частоту розряду ручкою «УТ».
11. Нанести покриття, послідовно торкаючись електродом до зміцнювальної поверхні.
12. Вимкнути прилад, при цьому 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. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Що таке ЕІЛ?
2. Що відбувається на поверхні металу при виникненні іскри?
3. Що відбувається з електродом при дії іскри?
4. Яка швидкість охолодження при ЕІЛ?
5. Яка структура металу утворюється при ЕІЛ?

Література: [1, с. 55–65; 2, с. 15–30; 4, с. 73–75]

Дослідження зносостійкості азотованих шарів у рідких середовищах

Мета: ознайомитися з методикою проведення досліджень зносостійкості; вивчити види, характеристики і механізми зношування; набути навички роботи на установках тертя.

Завдання: вивчити конструкції установки торцевого тертя; вивчити методики і набути навички проведення досліджень зносостійкості азотованих шарів в 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 (див. рис. 4.1). У складі привода є електродвигун змінного струму АОЛ-2П-ЧСО потужністю $N_e = 0,6$ кВт і частотою обертання $n_e = 1350$ хв⁻¹ та клинопасова чотириступінчаста передача.

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

Вузол тертя 3 з контр-тілом кріпиться на столі установки, а оправка з дослідним зразком встановлюється в шпиндель за допомогою конуса Морзе № 2.

Схема вузла тертя показана на рис. 4.2.

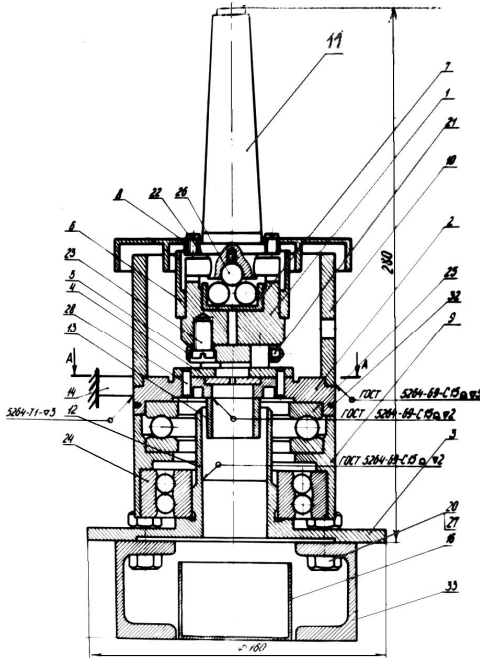


Рис. 4.1 – Загальний вигляд установки

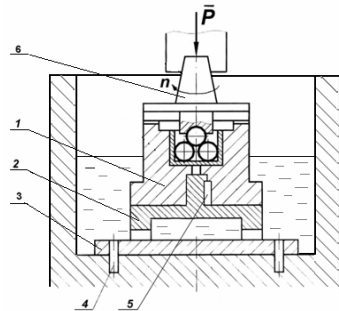


Рис. 4.2 – Схема установки тертя

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

Контр-тіло 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 контр-тілом заливається мастило.

Контрольний пристрій. Як вимірювач для вимірювання лінійного зносу застосована важільно-зубчата головка МКМ з ціною поділки шкали 0,001 мкм і діапазоном вимірювання ± 1 мкм. Конструкція пристрою наведена

на рис. 4.3. Для зменшення похибки вимірювання передбачена фіксація оправки на її осі (фіксатор 1) і кутова фіксація (фіксатор 2).

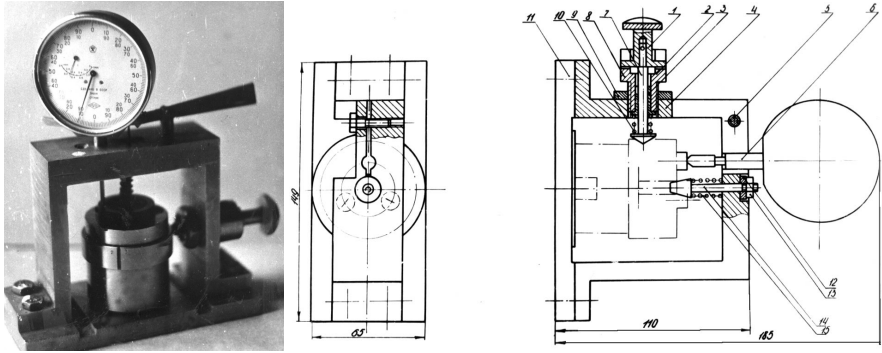


Рис. 4.3 – Пристрій для вимірювання лінійного зносу

Практична частина

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

Контрольні питання

1. Що таке зношування?
2. Які ви знаєте види зношування?
3. Види механічного зношування?
4. Що таке абразивне зношування?
5. Що таке втомне зношування?
6. Що таке адгезійне зношування?
7. Що таке окисне зношування?
8. Що таке корозійно-механічне зношування?
9. Що таке фретинг-корозія?
10. Що таке вибірковий перенос?

Література: [2, с. 56–70; 6, с. 36–41]

Література

1. Нанесення покриття : навч. посібник / В. М. Корж [та ін.] ; за ред. К. А. Ющенко. – Київ : Арістей, 2005. – 204 с.
2. Гончар В. А. Зносостійкість деталей екструдерів і термопластавтоматів в абразивному середовищі : монографія / В. А. Гончар [та ін.]. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 261 с.
3. Модульне середовище для навчання MOODLE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://msn.khnu.km.ua>.
4. Каплун В. Г. Іонні технології нанесення дифузійних покриттів в плазмі тліючого розряду / В. Г. Каплун, И. М. Пастух // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя : ЗНТУ. – 2001. – № 2. – С. 73–75.
5. Гончар В. А. Високоенергетичні дифузійні технології і обладнання для підвищення зносостійкості та довговічності деталей машин. Збірник праць / В. А. Гончар, В. Г. Каплун, П. В. Каплун // Матеріали для роботи в екстремальних умовах. – Київ. – 2018. – С. 123–127.
6. В. А. Гончар. Вплив режимів іонного азотування на фреттинг-втому сталі 40X / В. А. Гончар, П. В. Каплун // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Львів. – 2018. – № 6. – С. 36–41.

Зміст

Вступ	3
<i>Лабораторна робота 1.</i> Установка для хіміко-термічної обробки у тліючому розряді.....	6
<i>Лабораторна робота 2.</i> Вплив технологічних параметрів процесу азотування у тліючому розряді на властивості азотованого шару	9
<i>Лабораторна робота 3.</i> Поверхнєве зміцнення деталей комбінованими покриттями	16
<i>Лабораторна робота 4.</i> Дослідження зносостійкості азотованих шарів у рідких середовищах	21
Література	24