

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ**

**Методичні вказівки та завдання до виконання  
розрахунково-графічної роботи №2  
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка  
освітня програма “Технології та устаткування зварювання”**

Обговорено і рекомендовано на  
засіданні кафедри ЗВ та АПБК  
*Протокол № 12  
від 21.06.2019 р.*

**Чернігів ЧНТУ 2019**

Інженерія поверхні. Методичні вказівки та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи №2 для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка (освітня програма “Технології та устаткування зварювання”) / Укл.: Новомлинець О.О., Ющенко С.М. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 16 с.

Укладачі: Новомлинець Олег Олександрович, доктор технічних наук, доцент  
Ющенко Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: Прибисько Ірина Олександрівна, завідувач кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Олексієнко Сергій Владиславович, кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Зміст розрахунково-графічної роботи.....	5
2 Варіанти теоретичних завдань до розрахунково-графічної роботи.....	6
3 Варіанти практичних завдань до розрахунково-графічної роботи.....	7
4 Короткі теоретичні відомості до виконання розрахунково-графічної роботи.....	8
4.1 Вибір матеріалів пари тертя для антифрикційної передачі та її розрахунок.....	8
4.2 Вибір матеріалів пари тертя для фрикційної передачі та її розрахунок.....	11
4.3 Підвищення довговічності деталей.....	12
Рекомендована література.....	15
ДОДАТОК А.....	16

## Вступ

До робочих поверхонь деталей і конструкцій залежно від умов експлуатації висуваються певні вимоги щодо різних властивостей (зносостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості та ін.). Властивості поверхонь саме і визначають експлуатаційну надійність деталей і конструкцій.

Довговічність можна підвищувати створенням на поверхні виробів покриття з високим рівнем властивостей, які вимагаються, або модифікацією структури, чи легуванням поверхневого шару. Ці задачі розв'язуються методами інженерії поверхні.

Інженерія поверхні металів охоплює всі наукові і технічні аспекти виготовлення поверхневих шарів і нанесення більшості покриттів.

Дисципліна “Інженерія поверхні” входить до навчального плану спеціальності 131 Прикладна механіка (освітня програма “Технології та устаткування зварювання”) і викладається протягом трьох семестрів. Відповідно до робочої програми студенти прослуховують лекційний курс, виконують лабораторні роботи і дві розрахунково-графічні роботи (РГР) – РГР №1 у 3-му семестрі, РГР №2 – у 5-му семестрі.

Метою розрахунково-графічної роботи №2 є як закріплення теоретичного матеріалу щодо проблем триботехніки та основних способів нанесення покриття, отриманого студентами на лекційних заняттях та лабораторних роботах у 4 та 5 семестрах, так і надбання практичних навичок з конструювання вузлів тертя та розробці засобів з підвищення їх довговічності.

РГР №2 включає два завдання. Перше пов'язане з описом одного з теоретичних питань щодо нанесення покриття; друге – з вирішенням практичної задачі: визначення матеріалів, розрахунок пари тертя та вибір заходів з підвищення зносостійкості поверхонь. В посібнику приведені варіанти завдань і короткі теоретичні відомості, щодо виконання роботи.

РГР оформляється у вигляді звіту на 10...15 сторінках формату А4 згідно ДСТУ 3008-2015 і виноситься на захист.

Робота виконується паралельно з прослуховуванням лекцій і виконанням лабораторних занять у 5 семестрі.

## **1 Зміст розрахунково-графічної роботи**

Розрахунково-графічна роботи включає варіант індивідуального завдання та два розділи у відповідності до варіанту.

В першому розділі студент приводить теоретичні відомості з описом одного з теоретичних питань щодо нанесення покриття, використовуючи при цьому рекомендовану літературу, інформацію з глобальної мережі Internet та лекційний матеріал.

В другому розділі відповідно до варіанту завдання проводяться необхідні розрахунки, вибір матеріалів для деталей вузла та заходи з підвищення довговічності (зносостійкості).

Розрахунково-графічна робота повинна складатись з титульного аркушу, змісту, основної частини, висновків по кожному з двох розділів роботи та списку використаних джерел.

Основна частина першого розділу повинна бути розділена на підпункти, що дає можливість додатково оцінити ступінь розуміння студентом питання, яке розглядається.

У висновках (орієнтовний обсяг до 0,5 стор.) наводять основні, конкретні результати роботи, їх значущість, очікувану ефективність наведених пропозицій. У висновках потрібно наголосити на якісних та кількісних показниках отриманих результатів. Текст висновків поділяють на пункти.

У розрахунково-графічній роботі повинні міститись також розрахункові схеми та рисунки.

## 2 Варіанти теоретичних завдань до розрахунково-графічної роботи

1. Електролітичне осадження плівок.
2. Хімічне металопокриття та хімічне покриття.
3. Газополуменеве напилювання.
4. Детонаційне напилювання.
5. Дугова металізація.
6. Плазмове напилювання.
7. Високочастотне індукційне напилювання.
8. Електроімпульсне нанесення покриттів. Електроконтактне припикання порошків.
9. Холодне газодинамічне напилювання.
10. Основні процеси, що відбуваються при напилюванні.
11. Характеристика матеріалів для напилювання.
12. Методи отримання порошків для напилювання та типи їх будови.
13. Способи поверхневої обробки.
14. Плакування та гаряче металопокриття зануренням.
15. Фізико-хімічні основи процесів отримання дифузійних шарів.
16. Дифузійне насичення сталей металами та неметалами. Властивості дифузійних шарів.
17. Вакуумне термічне напилювання.
18. Термічне вакуумне напилювання за допомогою електронно-променевого нагріву. Принцип роботи електронно-променевої гармати та баланс енергії електронного променю.
19. Термічне вакуумне лазерне напилювання. Основні схеми. Переваги та недоліки.
20. Вакуумне катодне розпилювання. Основні схеми. Переваги та недоліки.
21. Вакуумне іонне осадження. Основні схеми. Переваги та недоліки.
22. Схема зародження та кінетика росту покриття при напилюванні у вакуумі. Вплив температури поверхні конденсації на формування плівки.
23. Характеристика матеріалів для вакуумного нанесення покриттів.
24. Способи нанесення покриттів зі сплавів у вакуумі.
25. Особливості вакуумного нанесення покриттів у неперервних лініях.
26. Отримання металічної фольги різними способами.
27. Металізація неметалічних матеріалів. Типові приклади.
28. Методи вимірювання та визначення основних характеристик покриттів (товщини, пористості, міцність зчеплення, зносостійкості та ін.).
29. Типи покриттів та матеріали, що використовуються для їх створення. Характеристика підготовки поверхні при різних способах нанесення покриття.
30. Перспективи розвитку способів нанесення покриття. Наноматеріали та нанотехнології.

### 3 Варіанти практичних завдань до розрахунково-графічної роботи

Таблиця 1 – Вихідні дані

Варіант	Навантаження F, (МПа) <sup>*</sup> , (кг) <sup>**</sup>	R <sub>1</sub> , мм	Температура, °С	Середовище	Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	Тип передачі
1	20	10	+50	Н	600	Ф
2	40	300	-20...+30	В	200	АФ
3	70	150	+80... 100	А	800	Ф
4	100	75	+30... 60	В	50	АФ
5	10	25	0...+30	Н	2000	АФ
6	25	15	-10...+50	А	1000	Ф
7	40	50	+40	В	400	АФ
8	25'	100	-10...+20	Н	500	АФ
9	60	200	+40	Н	300	АФ
10	30	175	+20... 60	А	200	Ф
11	80	30	-20...+30	Н	100	АФ
12	100	20	+30	В	20	АФ
13	5	5	+150	В	1500	Ф
14	15	15	+200	А	1000	Ф
15	30	75	+20...80	Н	800	АФ
16	75	90	+40	В	500	АФ
17	75	20	+20... 60	Н	80	Ф
18	90	5	-10...+40	А	60	Ф
19	20	60	+80	Н	1200	АФ
20	50	30	0...+30	Н	300	АФ
21	5	15	+20... 80	Н	1200	АФ
22	30	100	+100...200	В	600	Ф
23	70	30	+60	В	80	АФ
24	50	75	+10...40	Н	40	АФ
25	20	40	+60... 80	А	250	Ф
26	40	25	+60...150	Н	150	Ф
27	15	100	+50	В	600	АФ
28	60	15	+20... 70	Н	300	АФ
29	25	30	+80... 120	А	100	Ф
30	80	200	+30	Н	20	АФ

\* – для передачі антифрикційного типу;

\*\* – для передачі фрикційного типу.

Умовні позначення:

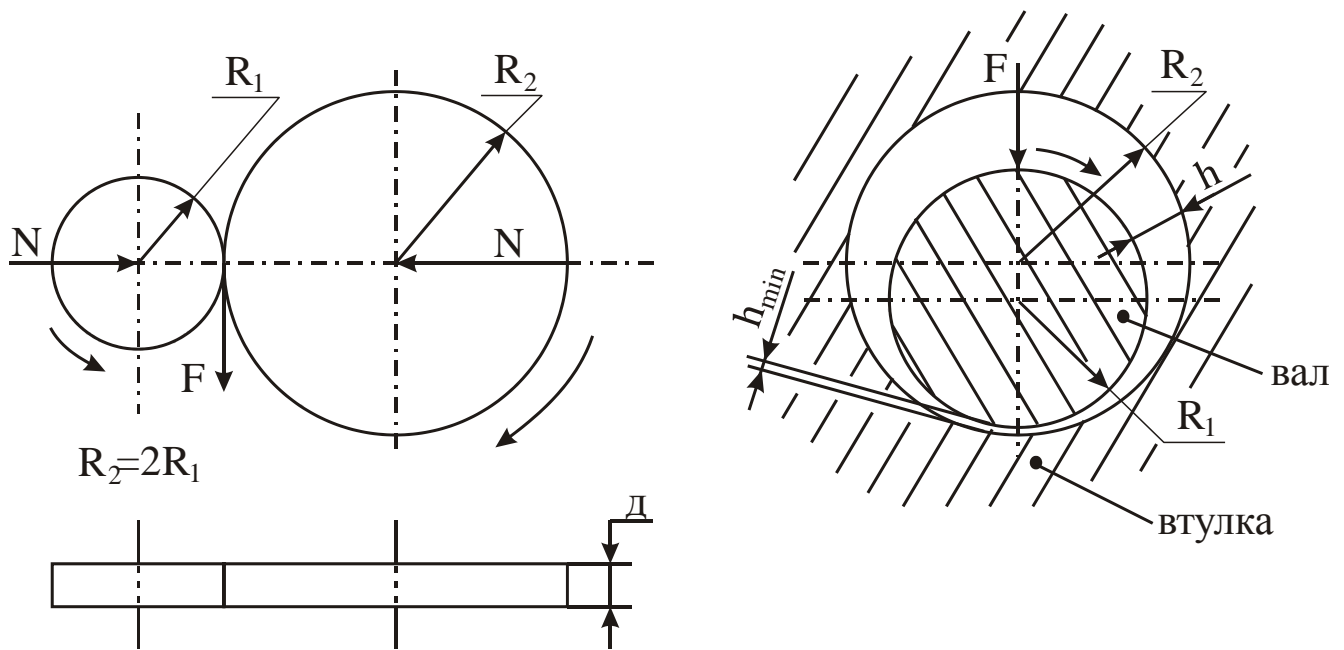
А – агресивне середовище;

Ф – фрикційна передача;

Н – неагресивне середовище;

АФ – антифрикційна передача.

В – підвищена вологість;



а) фрикційна передача

б) антифрикційна передача

Рисунок 1 – Типи передач

#### 4 Короткі теоретичні відомості до виконання розрахунково-графічної роботи

При розробці вузла тертя застосовують заходи конструктивного та технологічного характеру, які б забезпечили високу його працездатність.

В конструктивну розробку вузла тертя входить:

- вибір принципової схеми роботи вузла з точки зору зносостійкості та надійності машин;
- вибір матеріалів та їх сумісність в парах тертя;
- розробка засобів по зменшенню перевантаження вузла;
- забезпечення нормального функціонування вузлів тертя в заданих умовах: захист від забруднюючої дії середовища, перегріву та ін.

Для отриманого варіанту практичного завдання виходячи з умов експлуатації та типу вузла пари тертя студент повинен визначити матеріали для деталей вузла, провести його розрахунок, вибрати необхідні змащувальні матеріали та запропонувати заходи по підвищенню довговічності (зносостійкості) поверхонь деталей вузла.

##### 4.1 Вибір матеріалів пари тертя для антифрикційної передачі та її розрахунок

Для поліпшення роботи підшипників ковзання були розроблені сплави, що одержали назву антифрикційних, які мають низький коефіцієнт тертя в парі зі сталевим валом.



Взагалі *антифрикційним матеріалом* називають будь-який підшипниковий матеріал, твердість якого менша твердості контактуючої деталі. Існують наступні *види антифрикційних матеріалів*:

- металеві (бабіти, бронзи, чавуни, алюмінієві та цинкові сплави),
- керамічні (оксиди, карбіди, нітриди),
- полімерні (фторопласти, поліетилен та ін.),
- алмазоподібні.

Вибір антифрикційного матеріалу ґрунтується на наступних вимогах:

- забезпечення заданої довговічності вузла при необхідному значенні коефіцієнта тертя;
- достатня механічна міцність для забезпечення твердості сполучень і витримування нормальних навантажень;
- відповідність теплофізичних властивостей, що забезпечують роботу в певному тепловому режимі;
- висока зносостійкість і гарне припрацювання;
- сумісність із мастильним матеріалом;
- підтримка стабільного значення коефіцієнта тертя в рухливому сполученні;
- виключення схоплювання;
- висока теплопровідність при низькому коефіцієнті теплового розширення;
- висока корозійна стійкість;
- збереження основних властивостей матеріалу в умовах впливу таких експлуатаційних факторів як екстремальна температура й вологість, контакт із водою, мастильними й технологічними рідинами, сонячної радіації й т.д.;
- простота технологічних процесів при виготовленні деталей і розробки ефективного контролю якості продукції;
- можливість створення параметрів шорсткості поверхонь тертя близьких до рівноважних, тобто, що забезпечує незначний по тривалості період припрацювання;
- відсутність розкладання, виділення токсичних речовин, утворення матеріалів, що викликають забруднення навколишнього середовища, стійкість до мікроорганізмів;
- гарна оброблюваність і недефіцитність.

Антифрикційний матеріал, тобто матеріал втулки, крім вказаних умов, повинен ще задовольняти умові по твердості. Для запобігання заїданню твердість втулки повинна бути в 3-4 рази менше, ніж твердість валу, що забезпечує також більшу вірогідність збереження валу при аварії (як більш дорогої деталі).

Далі спочатку вибирають матеріал валу, виходячи з умови того, що навантаження ( $F$ ) на вузол не повинно перевищувати його границю текучості при температурі експлуатації. Рекомендована величина лінійної швидкості для цього матеріалу не повинна перевищувати розрахункову:

$$v = \omega \cdot R_1, \quad (4.1)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість;  
 $R_1$  – радіус валу.

Потім для вибраних матеріалів необхідно встановити параметри шорсткості поверхонь і спосіб обробки.

Після цього необхідно провести обґрунтований підбір змащувального матеріалу і вказати його основні параметри при температурі експлуатації. *Мастила* є конструктивним елементом вузла тертя, який багато в чому визначає довговічність, надійність і втрати на тертя. Як конструкційний матеріал вузла тертя, *мастила виконують наступні функції*:

- зменшення тертя;
- зниження зношування;
- відвід тепла від поверхонь тертя;
- захист поверхні деталей тертя від корозійного впливу зовнішнього середовища;
- ущільнення зазорів між деталями;
- видалення із зони тертя продуктів зношування та інших забруднень.

Необхідність у мастилах, здатних задовольняти всім вимогам, не існує. Тому мастило повинне надійно виконувати кілька основних функцій, в залежності від призначення й умов експлуатації.

*Мастила ділять:*

- за способом одержання (нафтові, синтетичні, рослинні й суміш нафтового із синтетичним (напівсинтетичні));
- за призначенням (моторні, індустриальні, трансмісійні (редукторні), турбінні, приладові й спеціального призначення (гідролічні)).

Після вибору матеріалів пари тертя необхідно зробити її розрахунок.

Розрахунок пари тертя полягає у визначенні їх правильного безвідмовного функціонування, при якому робочі параметри – питомий тиск, температура, мінімальна товщина змащувального шару ( $h_{min}$ ), що визначаються в умовах експлуатації повинні знаходитися у допустимих межах. Зробивши припущення, що питомий тиск та температура відповідають умовам експлуатації треба розрахувати внутрішній діаметр втулки з урахуванням  $h_{min}$ .

Відсутність зносу гарантується, якщо змащувальний матеріал забезпечує повне розділення контактуючих поверхонь і виконується умова:

$$h_{min} > 0.5 \cdot d \cdot \psi_{ef} \cdot (1 - \varepsilon) \leq [h], \quad (4.2)$$

де  $\varepsilon$  – відносний ексцентриситет підшипника (табличне значення вибирається в залежності від відношення  $l/d$ ,  $\varepsilon = 0,6$ );  
 $[h]$  – критична товщина змащувального шару (рекомендовані значення приведені в додатку);  
 $\psi_{ef}$  – відносний ефективний зазор:

$$\psi_{ef} = \psi_m + \Delta\psi, \quad (4.3)$$

$$\psi_m = 0,5 \cdot \left( \frac{D-d}{d} \right), \quad (4.4)$$

$$\Delta\psi = t(\alpha_n - \alpha_v), \quad (4.5)$$

де  $\alpha_n, \alpha_v$  – коефіцієнти температурного лінійного розширення матеріалу підшипника (втулки) та валу відповідно;  
 $D, d$  – діаметр втулки та валу відповідно;  
 $t$  – температура експлуатації вузла.

#### 4.2 Вибір матеріалів пари тертя для фрикційної передачі та її розрахунок

В техніці для передачі руху широко використовуються фрикційні передачі, які дуже прості у виготовленні, обслуговуванні та безшумні в роботі. До недоліків відноситься менша навантажувальна здатність, у порівнянні із зубчастими або гвинтовими передачами.

*Фрикційні матеріали* – це матеріали, що мають у контакті з металевою поверхнею високий і стабільний коефіцієнт тертя. Вони застосовуються в гальмах, муфтах, фрикційних передачах і т.п. Їх розділяють на:

- органічні (дерево, шкіра, повсть (войлок));
- металеві (чавун, сталі В6, В7, марганцевисті сталі);
- асбестокаучукові;
- пластмасові (текстоліт, асбестотекстоліт);
- спечені на мідній і залізній основах.

У фрикційних передачах використовуються наступні *пари тертя*: загартована сталь – загартована сталь, чавун – чавун, сталь (чавун) – фрикційна пластмаса, органічні матеріали (дерево, повсть) – порошкові матеріали та інші. При виборі матеріалів для фрикційних передач необхідно враховувати, що коефіцієнт тертя між ними повинен бути  $f = 0,3-0,5$ .

Після вибору матеріалів для фрикційної передачі необхідно провести її розрахунок.

Розрахунок фрикційної передачі полягає у визначенні нажимного зусилля, яке б забезпечувало передачу обертального моменту. Зусилля притиснення ведучого і веденого елементів визначаються по формулі:

$$N = R_{cy} \cdot \frac{F}{f}, \quad (4.6)$$

де  $F$  – зусилля, що передається за допомогою фрикційної передачі;  
 $R_{cy}$  – коефіцієнт запасу зчеплення для фрикційної передачі.

Після визначення зусилля притиснення необхідно розрахувати товщину коліс фрикційної передачі з умови пластичності їх матеріалу:

$$P_0 \leq \sigma_m, \quad (4.7)$$

де  $\sigma_m$  – межа пластичності більш пластичного матеріалу коліс;  
 $P_0$  – найбільші контактні напруження, що виникають у фрикційній передачі:

$$P_0 = \frac{2N}{\pi \cdot 1,128 \sqrt{\frac{N \cdot \eta}{\delta \cdot K}} \cdot \delta}, \quad (4.8)$$

де  $\delta$  – товщина коліс;  
 $\eta$  – пружна постійна контактуючих тіл:

$$\eta = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}, \quad (4.9)$$

де  $E, \mu$  – модулі пружності та коефіцієнти Пуассона матеріалів коліс;  
 $K$  – приведена кривизна контактуючих тіл:

$$K = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (4.10)$$

де  $R_1, R_2$  – радіуси ведучого і веденого коліс фрикційної передачі.

### 4.3 Підвищення довговічності деталей

Ступінь надійності та довговічності машин і механізмів багато в чому залежить від властивості складових їх деталей протистояти шкідливому впливу зносу, корозійно-агресивних середовищ, знакозмінних згинаючих і циклічних контактних навантажень. Тому до робочих поверхонь деталей машин і конструкцій в цілому, в залежності від умов їх експлуатації, висуваються певні вимоги по різним властивостям: зносостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості. Зношування деталей машин виникає в результаті тертя робочих поверхонь, будівельні машини зношуються від абразивної дії ґрунту та піску на їх поверхні, поверхневі дефекти дуже часто у є причиною руйнування конструкцій, працюючих під навантаженням.

Одним з ефективних напрямків боротьби з різними видами зношування є застосування захисних покриттів. В цьому випадку створюється комбінований матеріал, який повинен поєднувати необхідні властивості міцності основи та високу

стійкість поверхневого шару (покриття) в умовах впливу зовнішнього середовища та контактних навантажень.

Такий шлях становить значні резерви економії сировинних ресурсів. З іншої сторони, умови експлуатації машин, що постійно ускладнюються, висувають такі вимоги до конструкційних матеріалів, які принципово не можуть бути задоволені при використанні якого-небудь одного як-завгодно складно легovanого сплаву.

Існують різноманітні способи нанесення покриттів, які можна розділити на три групи:

1 – хімічні та електрохімічні способи (електролітичне осадження плівок, хімічне покриття та металопокриття);

2 – фізичні способи (дифузійне насичення, наплавлення, вакуумне осадження та ін.);

3 – механічні способи (плакування та напилювання).

Крім способів нанесення покриттів, для підвищення зносостійкості деталей і втомної міцності застосовують також різноманітні способи поверхневої обробки: поверхневе загартування полум'ям, загартування струмом надвисокої частоти, дробоструменева, вибухова обробка поверхні, алмазне вигладжування та ін.

Одним із найбільш ефективних методів поверхневого зміцнення деталей машин є *наплавлення* матеріалів з високими експлуатаційними властивостями.

Довговічність зміцнених деталей визначається властивостями наплавленого матеріалу, тому його вибирають із урахуванням умов експлуатації деталі й методу наплавлення.

Широке застосування мають сплави на основі заліза – високохромисті, вольфрамкові, молібденові, чавуни, а також сплави на основі вольфраму, кобальту, нікелю.

Для деталей з низьковуглецевої сталі використовують електроди ОММ-5 типу Э-42 та УОНИ-13/45П типу Э-42А; для середньовуглецевої сталі, термічно необробленої або нормалізованої – електроди УОНИ-13/55 типу Э-50А; для загартованих середньовуглецевих цементованих і легованих сталей – електроди ОЗН-250, ОЗН-300, ОЗН-350, В-340, ОМГ-Н та інші моделі. Для підвищення зносостійкості й корозійної стійкості часто застосовують високохромисті наплавочні дроти марок Св-ЮХ13, Св-08Х14ГТ, Св-ЮХ17Т.

Наплавлення проводять на постійному струмі при зворотній полярності короткою дугою з перекриттям сусідніх валиків на 30-50 %, діаметр електрода та сила струму нижче, ніж при зварюванні. Великі деталі попередньо нагрівають до 300-400 °С.

Наплавлення деталей може проводитись *литими* (сормайт № 1 та № 2 – сплав на основі заліза; сталіти В2К и В3К – сплави на кобальтовій основі, що вміщують хром, вольфрам, кремній та інші елементи) і *порошкоподібними* (сталініт, боридні суміші БХ і КБХ і ін.) твердими сплавами. Товщина наплавленого шару з урахуванням припуску на механічну обробку – від 2,5 до 4 мм.

Сормайт №1 (містить 25-31% Cr) рекомендується для зміцнення деталей, що працюють при ненаголошених навантаженнях в умовах абразивного зношування. Сормайт № 2 (містить 13-17,5% Cr) має більшу в'язкість і тому застосовується для зміцнення деталей, працюючих при ударних навантаженнях. Твердість поверхні,

напавленої електродом ЦС-1, дорівнює *HRC* 48-54, а напавленої електродом ЦС-2 становить *HRC* 39-45. Шар, напавлений електродом ЦС-2, може піддаватися наступному загартуванню до твердості *HRC* 56-60.

Сталініти – гранульовані тверді сплави, що представляють собою механічну суміш одного або декількох металів з вуглецем. Напавлення цих сплавів виконують ручним електродуговим зварюванням, для чого на поверхню деталі насипають тонкий шар прожареної бури й шар шихти сплаву. Зигзагоподібний рух вугільного електрода забезпечує сплавка шихти з основним металом. Застосування порошкового дроту підвищує продуктивність та якість напавлення. Внаслідок високої твердості напавленого шару (*HRC* 52-62), цей вид напавлення використовують для деталей, що не вимагають наступної механічної обробки. Сталінітом напавляють деталі робочих органів будівельних машин (ножі, зуби, щоки та ін.).

*Полімерні покриття* також часто застосовують для підвищення антифрикційних, протикорозійних і інших властивостей поверхні та для відновлення розмірів зношених поверхонь або усунення механічних ушкоджень. Спосіб полягає в нанесенні шару полімерного матеріалу на поверхню деталі машин. Існують різні методи нанесення полімерів, вибір яких визначається природою полімерного матеріалу, його фізичним станом при нанесенні, товщиною покриття, габаритними розмірами й формою деталі. При нанесенні покриттів з розплавів полімерів звичайно застосовують метод пресування й лиття під тиском.

Для збільшення зносостійкості фрикційних передач часто використовується *наклеювання фрикційних накладок*.

Для підвищення довговічності деталей машин часто використовується зміцнююча *електроіскрова обробка*, заснована на протіканні імпульсного розряду між електродом (анодом) і деталлю (катодом). Сутність зміцнюючої електроіскрової обробки полягає в полярному переносі матеріалу електрода на деталь (нарощування) при одночасному термічному впливі струму й легуванні поверхні деталі елементами зміцнюючого електроду й азоту повітря. Зміцнений шар відрізняється високою твердістю, обумовленою утворенням карбідів, нітридів, карбонітридів і загартованих структур. В якості електродів застосовують стрижні із твердих сплавів Т15ДО6, Т30ДО4, Т60ДО6, ферохрому, феромарганцю, а також графіту ЭГ2 і ЭГ4. Кращими матеріалами для зміцнення деталей, що працюють при терті ковзання, вважаються феромарганець і твердий сплав Т15ДО6, а деталей, що працюють при терті кочення – ферохром і графіт ЭГ2.

Технологічний процес підвищення довговічності шляхом нанесення покриття містить у собі операції попереднього очищення, перевірки поверхні на наявність дефектів і безпосередньо нанесення покриття шляхом взаємного переміщення інструменту (наприклад плазмотрону) або виробу. При необхідності проводиться попередній і супутній підігрів виробу.

## Рекомендована література

1. Крагельский И. В., Михин Н. М. Узлы трения машин. Справочник. Москва: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. Справочник по триботехнике: В 3 т. Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990. 416 с.
3. Богданович П. Н., Прушак В. Я. Трение и износ в машинах. Учеб. для вузов. Минск: Выш. шк., 1999. 374 с.
4. Харламов Ю. О., Будаг'янц М. А. Фізика, хімія та механіка поверхні твердого тіла. Навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СУДУ, 2000. 624 с.
5. Проценко І. Ю., Саєнко В. А. Тонкі металеві плівки (технологія, властивості): Навч. посібник. 2002. 187 с.
6. Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Кузнецов В. Д., Корж В. М. Інженерія поверхні. Київ: Наукова думка, 2007. 557 с.
7. Антипенко А. М., Белас О. М., Вотченко О. С. та ін. Основи трибології. Харків: ХНТУСГ, 2008. 342 с.
8. Елагина О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: учеб. Пособие. Москва: Логос, 2009. 488 с.
9. Бишутин С. Г., Горленко А. О., Матлахов В. П. Износостойкость деталей машин и механизмов. Учеб. пособие. Брянск: БГТУ, 2010. 112 с.
10. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.

## Додаток А

Таблиця А.1 – Рекомендовані значення критичних товщин змащувального шару  $[h]$ , мкм, в залежності від діаметра вала і лінійної швидкості ковзання

Діаметр вала, $d$ , мм	Лінійна швидкість ковзання, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$				
	0-1	1-3	3-10	10-30	>30
24-63	3	4	5	7	10
63-160	4	5	7	9	12
160-400	6	7	9	11	14
400-1000	8	9	11	13	16
1000-2500	10	12	14	16	18