

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 5

«Вибір та дослідження матеріалів для наплавлення робочих поверхонь валів, які працюють в умовах ковзання метал по металу та фретинг-корозії»

з дисципліни «Матеріали для наплавлення та напилення» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 5 «Вибір та дослідження матеріалів для наплавлення робочих поверхонь валів, які працюють в умовах ковзання метал по металу та фретинг-корозії» з дисципліни «Матеріали для наплавлення та напилення» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 14 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старш. викл.;
Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 4 від 25.10.2018

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 3 від 13.11.2018

1 МЕТА РОБОТИ

Засвоїти принципи вибору та дослідження матеріалів для наплавлення робочих поверхонь валів, які працюють в умовах ковзання метал по металу та фретинг-корозії.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Ефективність роботи обладнання багато в чому залежить від технологічних перерв та зупинок на плановий або аварійний ремонт, а також від матеріальних затрат на ремонтні роботи. Частіш за все необхідність ремонту деталей, або обладнання обумовлена зносом робочих поверхонь. Одним із найбільш поширених видів зношування, хоч і не самим агресивним в порівнянні, наприклад, з абразивним зношуванням є тертя метал по металу зі змащенням.

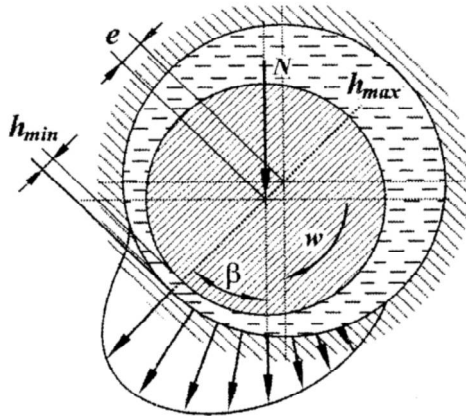
У загальному вигляді, схема підшипника ковзання (рис. 2.1) являє собою поєднання двох циліндричних тіл по зовнішній (вал) і внутрішньої поверхні (втулка), радіуси яких відрізняються на величину зазору.

Внутренній циліндр вращається навколо своєї осі, а його поверхню скользить по поверхности втулки.

Крім того широкого розповсюдження поверхневим руйнуванням являється зношування в результаті фретинг-корозії. Також часто деталі становляться не роботоздатними в результаті деформації (зминання) шпонкових пазів, шліців та ін.

Як приклад розглянемо одну із проблем підприємств по виготовленню вогнетривких та будівельних матеріалів - це низький строк служби деталей коліно-важільних пресів. Зокрема, колінчасті вали цього обладнання дуже металомісткі (вага до 1,5 т), трудомісткі у виготовленні, піддаються одночасно трьом видам зношування: втомному поверхневому руйнуванню шатунної шийки, фретинг-корозії поверхонь посадкових місць і зминанню шпонкових пазів. В результаті зношування виникають люфти (вільний хід) між деталями, які безпосередньо контактують, підвищується ступінь динамічності

роботи пресу, виникають вібрації. Це негативно впливає не тільки на опір зношуванню цих деталей, але і на надійність роботи інших елементів вузла пресування та працездатність пресу в цілому. Тому задача відновлення зношених поверхонь валів та підвищення їх зносостійкості є актуальною.



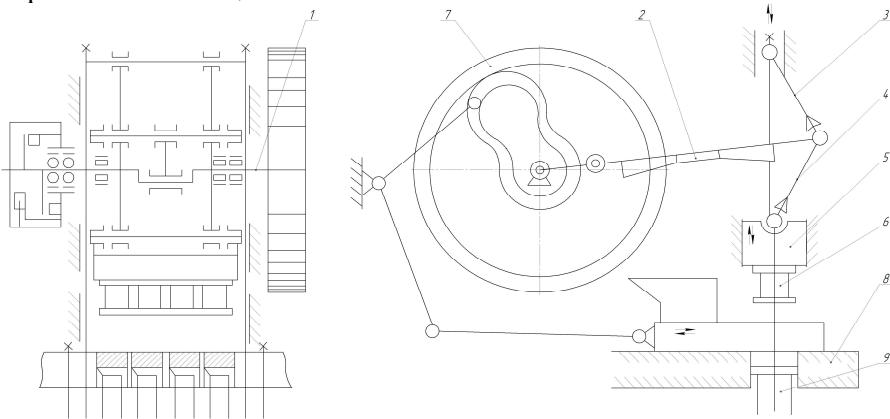
N – зусилля; e – ексцентриситет; w – швидкість обертання;

Рисунок 2.1 - Схема роботи поверхні шийки колінчастого вала в парі з бронзовою втулкою

Очевидно, що обґрунтований вибір матеріалів для зміцнення і відновлення деталей, структурного стану і способу зміцнення можливий тільки на основі досить повних знань про параметри умов роботи, характер і механізм зношування робочих поверхонь і вимог до деталі.

Колінчасті вали є однією з основних деталей високої вартості механічних коліно-важільних пресів. Одним з них є прес СМ-1085А, який, в основному, призначений для напівсухого пресування вогнетривких, будівельних та інших виробів із порошкоподібних мас [1]. Прес складається із станини з вертикальними напрямними, приводного механізму і вузла пресування (рис. 1). Приводний вал передає обертання від електродвигуна через проміжний вал колінчастому валу. Останній пускає в хід механізм пресування, який складається з напрямних, рухливого повзуна, верхнього і нижнього штампотримачів та прес-форми. Колінчастий вал з'єднаний з механізмом пресування шатуном. Зусилля на вузол, пресування

передаються за допомогою ланок 2, 3, 4. Повзун 5 з верхнім штампотримачем 6 здійснює зворотно-поступальні рухи у вертикальній площині.



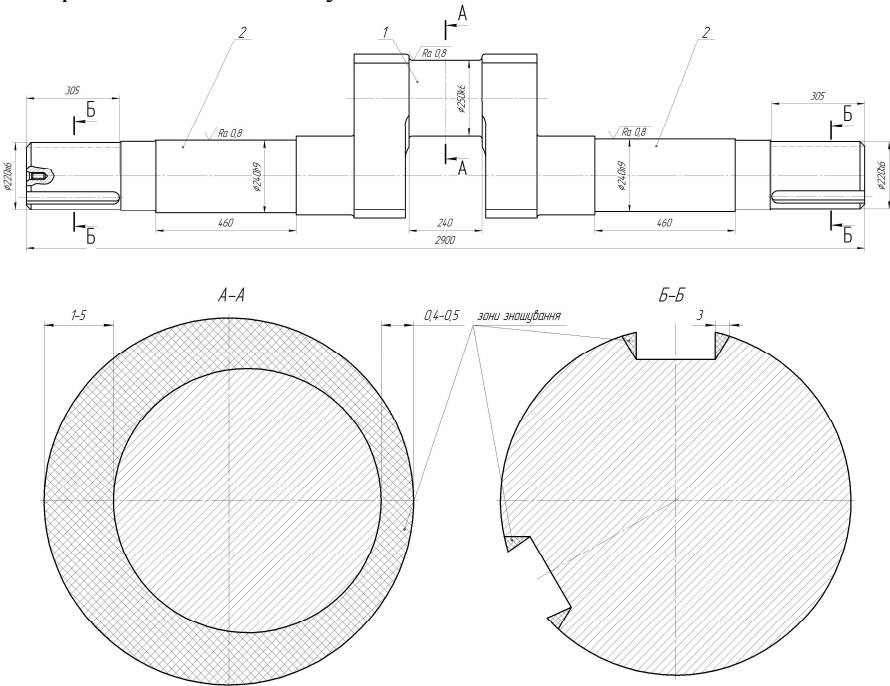
1 – колінчастий вал; 2, - шатун; 3, 4 – важелі (ланки); 5 – повзун; 6 – верхній штампотримач; 7 – зубчасте колесо; 8 – прес-форма; 9 – нижній штампотримач

Рисунок 2.2 – Кінематична схема вузла пресування пресу СМ-1085А:

Колінчастий вал (рис. 2.3) являє собою деталь з двома співвісними корінними шийками і однією шатунною шийкою, зміщеною по відношенню до корінних на 230 мм. Вал обертається з кутовою швидкістю $8-10 \text{ хв}^{-1}$. У момент, коли ланки 3 і 4 розташовуються уздовж однієї вертикальної лінії, досягаються найбільші зусилля пресування та створюється максимальне навантаження на шатунну і корінні шийки. Потім відбувається «зламування» ланок 3 і 4, настає зворотний (холостий) хід повзуна. Вали працює як балка на двох опорах з можливістю незначного ковзання уздовж осі. Зусилля (реакції) в підшипниках спрямовані по нормалі до осьової лінії. Вали виготовляються із сталей типу 45, 40Х або 40ХМ з твердістю HRC 30-35. Шатунна та корінні шийки можуть піддаватись накутуванню.

Швидкість ковзання поверхні шатунної шийки відносно підшипника коливається в межах $0,10-0,13 \text{ м/с}$, що не достатньо, щоб викликати помітний фрикційний нагрів навіть при відсутності мастила. Температура поверхні валу і втулки практично не відрізняється від температури повітря в приміщенні ($20-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Навантаження на поверхні тертя, в межах одного обороту вала,

змінюється від незначного, при холостому ході, до максимального рівня, в момент, коли прес розвиває зусилля до 600 т на завершальній стадії пресування. Відомо, що питомий тиск залежить від площі контакту поверхонь, яка в міру припрацьовування і зношування деталей може змінюватися. Сили тертя в контакті цапфи з втулкою не впливають на розміри зони контакту і розподіл тиску [2]. Питомий тиск в зоні контакту може досягати 500 МПа, а при наявності мікронерівностей значно перевищувати ці значення. В процесі роботи на сполучених поверхнях валу виникають багато-циклові напруження, що призводять до їх зношування.



1 – шатунна шийка; 2 – корінна шийка.

Рисунок 2.3 – Колінчастий вал пресу СМ-1085А та зони зношування його робочих поверхонь

На валу можна виділити три види робочих поверхонь, зношування яких визначає термін його служби:

1. Поверхня шатунної шийки, яка працює в парі з бронзовим підшипником ковзання.
2. Поверхні двох корінних шийок, які є посадковими місцями

для підшипників кочення.

3. Шпонкові пази (два або три з кожної сторони валу), які працюють в парі зі сталевими загартованими шпонками, що містяться на одному з кінців валу, який служить посадковим місцем для маточини зубчастого колеса.

Найбільш ймовірним процесом поверхневого руйнування кривошипно-шатунної шийки є багатоциклова втома, яка виникає в результаті повторного деформування мікрооб'ємів матеріалу, що викликає утворення тріщин і відділення частинок матеріалу [2, 3, 4]. В результаті зношування через нерівномірність розподілу тиску поверхня шийки валу набуває еліпсності (рис. 2.3). Максимальний її знос за міжремонтний період іноді досягає 5 мм. Для можливості їх подальшої експлуатації потрібне відновлення наплавленням шаром рівним величині зносу плюс припуск на обробку (до 2-3 мм).

Не дивлячись на відсутність процесу взаємного ковзання внутрішнього кільця підшипника кочення, маточини зубчастого колеса та посадкових місць валу, робочі поверхні в цих зонах також зношуються. Це є наслідком протікання між деталями, які щільно контактують, фреттинг-корозії. Інтенсивність зношування посадкових місць набагато менша, ніж на шатунній шийці (десяті частки міліметра). Однак і в цьому випадку подальша експлуатація валу без відновлення посадкових місць не можлива.

У сполученні шпонки з поверхнею паза також можливе протікання фреттинг-корозії. Однак цей вид зношування не є переважаючим. Поверхні пазів шпонок втрачають свою працездатність в основному в результаті пластичного деформування (змінання) (рис. 2.3).

Таким чином, для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вибрати матеріали, які мають досить високу опірність втомному зношуванню, фреттинг-корозії та змінанню.

При виборі типу наплавленого металу виходили з того, що крім вимог підвищеної зносостійкості, повинна бути забезпечена достатня оброблюваність, висока чистота поверхні після обробки, відсутність тріщин. Ці властивості залежать перш за все від хімічного складу, поведінки аустеніту при охолодженні металу, твердості поверхні та можуть змінюватися в протилежних напрямках. Виходячи з цього порівнювали кілька типів матеріалів для наплавлення [6, 7, 8] і структур наплавленого металу (таблиця):

- низьковуглецеві нелеговані сталі типу сталь 10;
- середньовуглецеві низьколеговані сталі, які близькі за складом до основного металу колінчастого валу, зокрема сталь 40X;
- середньовуглецеві підвищеної легуваності сталі типу 35ГС, 40Г2Ф, 30ХГСА, 30Х5;
- високовуглецеві, низько- або середньолеговані сталі близькі за складом до нетеплостійких або напівтеплостійких сталей, наприклад сталь 65Х5Г2.

Всі ці матеріали випускаються промислово у вигляді дротів і холоднокатаних стрічок.

Таблиця 2.1 - Властивості наплавленого металу (зразки)

№ групи	Тип металу	Твердість, HRC	Відносна зносостійкість, ε	Технологічність*
1	Сталь 10	160 HB	1,0	+
2	40X	20-25	1,4	+
3	30ХГСА	28-30	1,6	+
3	30Х5	30-31	1,7	+
3	35ГС	28-30	1,7	+
3	40Г2Ф	44-46	2,5	+
4	65Х5Г2	55-57	3,2	–

* - можливість наплавлення без тріщин, задовільна оброблюваність

Матеріалами першої групи періодично відновлюють невеликі вали на підприємствах вогнетривкої та будівельної промисловості. Однак, через низький вміст вуглецю, в наплавленому шарі може бути отримана переважно феритна структура металу твердістю не вище 130-170 HB, що недостатньо для підвищення опірності втомному зношуванню, в умовах експлуатації шийок колінчастих валів.

При наплавленні матеріалу четвертої групи могла б бути отримана більш висока твердість і зносостійкість. Однак, при цьому, збільшується ймовірність гарячих і холодних тріщин. Крім того, механічна обробка різанням деталей, наплавлених такими матеріалами, практично не можлива.

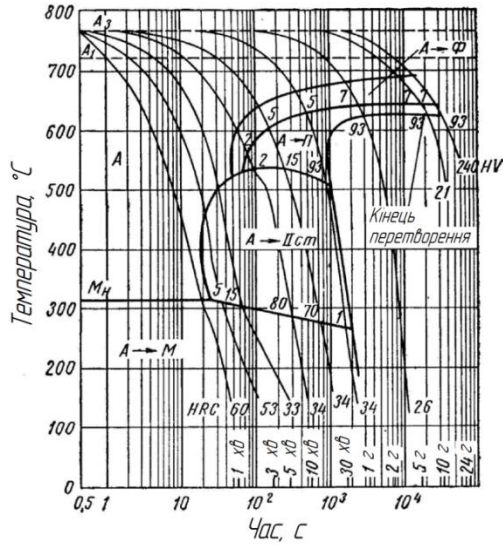
Аналіз [5, 7, 9] матеріалів, що відповідають складам другої і третьої груп (табл.), показує, що наплавлення сталями другої групи не дозволить отримати помітно більш високу твердість через низьку

стійкість аустеніту в області критичних температур в процесі охолодження наплавленого металу. Початок кривих проміжних перетворень на термодинамічних діаграмах таких сталей (наприклад, сталь 40X) зміщені вліво до дуже малих значень часу до початку розпаду аустеніту (3-4 с) [5]. Тому, при охолодженні металу на повітрі, утворюється ферито-перлітна структура низької твердості й зносостійкості навіть в умовах фретинг-корозії. Тільки при високих швидкостях охолодження в воді, або в водних розчинах, можливе отримання металу досить високої твердості 40-50 HRC. Однак при наплавленні такі швидкості недосяжні.

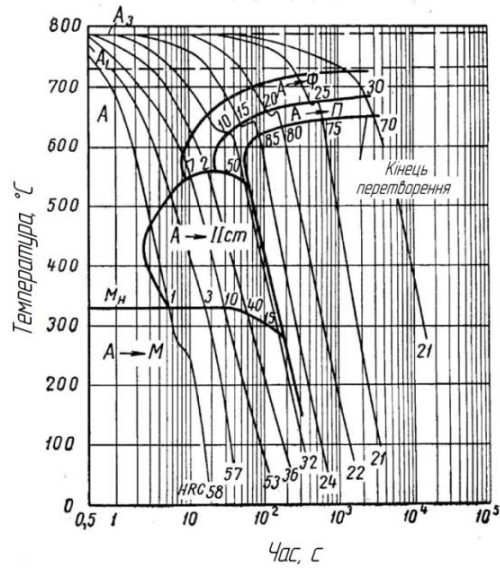
Аналіз характеру перетворення аустеніту більш легованих сталей (рис. 2.4) показав, що поставлений в роботі задачі наплавлення шатунної шийки відповідає метал типу 40Г2Ф, а для наплавлення посадкових місць під підшипники кочення і зубчасте колесо можна використовувати метал типу 35ГС.

Завдяки підвищеній стійкості аустеніту металу типу 40Г2Ф при охолодженні (рис. 2.4 *a*) в наплавленому металі утворюється бейнітна структура достатньої твердості й зносостійкості безпосередньо після охолодження на повітрі. Не виключено присутність в структурі деякої кількості середньовуглецевого мартенситу. Але при цьому ще можлива механічна обробка наплавлених деталей на токарних верстатах.

Таким чином, в якості матеріалу для наплавлення шатунних шийок найбільш прийнятною сталь 40Г2Ф, а для корінних шийок – 35ГС.



а



б

Рисунок 2.4 – Термокінетична діаграма перетворення переохолодженого аустеніту сталей 40Г2Ф (а) і 35СГ (б) [7]

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Вид та механізм зношування деталей підшипників ковзання.
2. Приведіть приклади деталей які працюють в умовах ковзання метал по металу зі змащенням
3. Який механізм зношування поверхонь деталей при фретинг-корозії? Наведіть приклади пар деталей які працюють в умовах фретинг-корозії.
4. Який вид та механізм зношування шпонкових пазів валів та робочих елементів шліцевих з'єднань?
5. Які види зношування робочих поверхонь колінчастих валів коліно-важільних пресів?
6. Які негативні наслідки від появи зносу робочих поверхонь колінчастих валів?
7. Чим обумовлена необхідність мати достатньо повні знання про параметри умов роботи, характер і механізм зношування робочих поверхонь і вимог до деталі.
8. Скажіть для чого призначений прес СМ-1085А і за схемою поясніть принцип роботи його вузла пресування.
9. Чим обумовлена нерівномірність величини зносу шатунної шийки валу?
10. Який процес поверхневого руйнування кривошипно-шатунної є найбільш ймовірним?
11. Які вимоги пред'являються до металу наплавленого на робочі поверхні валу при їх відновленні?
12. Від чого залежать задоволення вимог до властивостей наплавленого металу (дивись пункт 11)?
13. Яку структуру слід очікувати при наплавленні електродними матеріалами, які забезпечують в наплавленому шарі низьковуглецеву нелеговану сталь 10?
14. Яку структуру слід очікувати при наплавленні електродними матеріалами, які забезпечують в наплавленому шарі середньовуглецеві низьколеговані сталі, які близькі за складом до

основного металу колінчастого валу, зокрема сталь 40Х?

15. Яку структуру слід очікувати при наплавленні електродними матеріалами, які забезпечують в наплавленому шарі середньовуглецеві підвищеної легованості сталі типу 35ГС, 40Г2Ф, 30ХГСА, 30Х5?

16. Яку структуру слід очікувати при наплавленні електродними матеріалами, які забезпечують в наплавленому шарі сталі близькі за складом до нетеплостійких або напівтеплостійких сталей, наприклад сталь 65Х5Г2?

17. Якій вид електродного матеріалу (дріт суцільний, порошковий, стрічка суцільна, порошкова та ін.) найбільш раціональний для наплавлення шатунної шийки і посадочних місць колін валу.

18. Чим відрізняється методика побудови термодіаграм від методики створення С-подібних діаграм?

19. Які шкали використовуються при побудові термодіаграм і С-подібних діаграм?

20. Яка структура утворюється при охолодженні сталі 40Г2Ф на другій ступені перетворення аустеніту?

4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Отримати зношену деталь або її фрагменти і схему її роботи. Використовуючи оптичні прилади провести аналіз характеру зношеної поверхні і структури.

2. Отримати у викладача креслення іншої деталі для індивідуального завдання та умови її роботи.

3 Зробити прогноз відносно виду та механізму зношування робочих поверхонь.

4 Запропонувати матеріал (тип металу, вид електрода) і спосіб наплавлення. Зробити прогноз структури наплавленого металу.

5 Виконати звіт.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування і мета роботи.
2. Коротко привести характеристику процесу зношування в результаті тертя метал по металу зі змащенням.
3. Привести опис та схему роботи робочих поверхонь колінчастого валу.
4. Привести мікроструктуру наплавленого металу, зробити її опис з вказівкою на фото структурних складових (позначити стрілками).
5. Обґрунтувати вибір матеріалу для наплавлення деталі за індивідуальним завданням, вибрати спосіб відновлення, та зробити прогноз структури наплавленого металу.
6. Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Байсоголов В.Г. Механическое и транспортное оборудование заводов огнеупорной промышленности / В.Г. Байсоголов – М.: Металлургия, 1981. – 296 с.
2. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. – К.: Техника, 1976. – 292 с.
3. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: справочник. Кн. 1 / под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
4. Жильников Е. П. Основы триботехники: учеб. для вузов/ Е.П. Жильников, В.Н. Самсонов – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2012. – 136 с.
5. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы / М.А. Тылкин – М.: Металлургия, 1981. – 648 с.
6. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст] / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський – К.: Техніка, 2002. – 336 с.
7. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и

термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита / А.А. Попов, Л.Е. Попова – М.: Металлургия, 1965. – 494 с.

8. Андрущенко М.И. Способность к самоупрочнению поверхности трения и износостойкость наплавленного металла в условиях абразивного изнашивания / М.И. Андрущенко, Р.А. Куликовский, С.П. Бережный, О.Б. Сопильняк // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2009. – №1. – С. 30-37.

9. Шоршоров, М. Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / М. Х. Шоршоров, В.В. Белов - М.: Наука, 1972. - 220 с.