

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №5

«Аналіз та засвоєння методики управління структурою наплавленого металу технологічними способами для отримання достатньої кількості залишкового високовуглецевого аустеніту здатного до перетворення в мартенсит деформації» з дисципліни «Спеціальні методи підвищення зносостійкості деталей машин» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 5 «Аналіз та засвоєння методики управління структурою наплавленого металу технологічними способами для отримання достатньої кількості залишкового високовуглецевого аустеніту здатного до перетворення в мартенсит деформації» з дисципліни «Спеціальні методи підвищення зносостійкості деталей машин» 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

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	11
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ.....	12
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	12
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	13
7 ЗМІСТ ЗВІТУ	13
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	14

1 МЕТА РОБОТИ

Аналіз та засвоєння методики управління структурою наплавленого металу технологічними способами для отримання достатньої кількості залишкового високовуглецевого аустеніту здатного до перетворення в мартенсит деформації.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Відомо, що одним з ефективних шляхів підвищення зносостійкості деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, є використання сталей з великою кількістю залишкового метастабільного аустеніту. Разом з тим в результаті дослідження сталей системи Fe-C-Cr проведених в ЗНТУ (кафедра ОТЗВ) було встановлено, що забезпечення в структурі великої кількості залишкового аустеніту шляхом підвищення вмісту вуглецю багаторазово ефективніше, ніж за рахунок вмісту хрому. Так, зносостійкість сталей цієї системи легування в безкарбідному стані, що містять до 90% аустеніту, при високому вмісті вуглецю (1,0-1,5%) і незначній кількості хрому (3,0-3,5%) до 5 разів вище, ніж сталей з великою кількістю хрому (до 19%) і при відносно низькому вмісті вуглецю. Тому передбачалося використовувати високовуглецеві сталі в якості наплавленого металу, зокрема, при зміцненні і відновленні штамів прес-форм для пресування вогнетривких і будівельних виробів.

Однак дослідження, про які йде мова вище були виконані в лабораторних умовах на модельних сплавах, загартованих в мастилі при порівняно високих швидкостях охолодження $100-150^{\circ}\text{C} / \text{с}$. У той же час, для не керованого термічного циклу наплавлення, характерні низькі швидкості охолодження (до $10^{\circ}\text{C} / \text{с}$). Тому пошук шляхів реалізації потенціалу найбільш зносостійких модельних сплавів при зміцненні і відновленні деталей, зокрема штамів прес-форми в виробничих умовах, являвся актуальним. У зв'язку з цим, метою подальшої роботи кафедри ОТЗВ була перевірка результатів отриманих в лабораторних умовах на відповідність їх виробничим

процесам.

Наплавлення штампів здійснювали штучними покритими електродами по всьому периметру робочої кромки без попереднього підігріву.

Випробування проводилися до допустимого зносу кромки. Зносостійкість оцінювали по кількості випущеної продукції за час роботи штампів. Необхідно відзначити, що випробування в рамках діючого виробництва досить трудомісткі і пов'язані з організаційними складнощами.

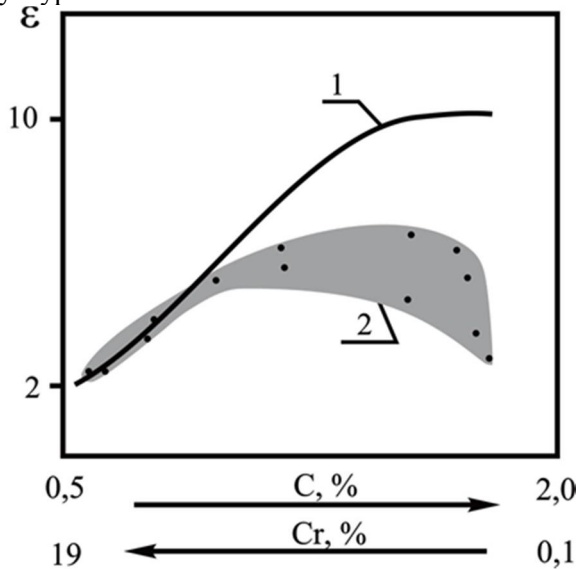
Узагальнені результати виробничих досліджень у співставленні з даними про зносостійкості модельних сплавів схематично представлені на рис. 2.1. На початку досліджуваного діапазону співвідношень вуглецю і хрому, з підвищенням вмісту вуглецю і зменшенням кількості хрому в наплавленому металі, зносостійкість крайок штампів, як і дослідних модельних сплавів загартованих в мастилі зростає практично в однаковій мірі. Однак в подальшому інтенсивність росту зносостійкості наплавленого металу з підвищенням вмісту вуглецю знижується. Досягнувши максимуму опірності зношування істотно нижче рівня очікуваного на підставі результатів лабораторних випробувань модельних загартованих сплавів, зносостійкість наплавлених штампів зменшується в залежності від способу охолодження.

Таким чином, потенціал зносостійкості високовуглецевих, незначно легованих хромом сталей, реалізується далеко не в повній мірі, якщо структура наплавленого металу була сформована в умовах нерегульованого термічного циклу наплавлення.

Металографічні дослідження високовуглецевого, незначно легованого наплавленого металу показали, що його структура на різних ділянках наплавленої кромки (по периметру штампа) не однакова. На ділянці валика, сформованого на початку процесу відновлення штампа, структурний стан металу ближче до структури загартованих модельних сплавів. Однак на наступних ділянках валика, в структурі переважає мартенситна складова, що включає значну кількість карбідів цементитного типу. У деяких випадках (особливо на штампах малої маси) на замикаючих периметр ділянках валика, сформованих при завершенні наплавлення, утворюються проміжні структури.

Таким чином, причиною невідповідності результатів

лабораторних і виробничих випробувань модельних загартованих в мастилi і наплавлених дослідних сплавів можуть бути істотні відмінності структурних станів.



1 - відносна зносостійкість модельних сплавів, загартованих в мастилi;

2 - відносна зносостійкість наплавленого металу (охолодження на повітрі)

Рисунок 2.1 - Схема зміни ступеня зміцнення і зносостійкості дослідних сплавів системи Fe-C-Cr

Кількісна оцінка опірності зношування металу в залежності від структури безпосередньо на натурних деталях практично неможлива в зв'язку з тим, що цей набір структур через розбіжності в швидкостях охолодження в початковій і подальших частинах наплавленого валика утворюється на одній і тій же деталі. Для кількісної оцінки зносостійкості наплавленого металу в залежності від структури в лабораторних умовах необхідно або моделювати "фрагменти" термічного циклу наплавлення при термообробці дослідних зразків, або створити зразки з таким же набором структур в наплавленому металі.

Визначення критичної швидкості охолодження v_k , яка дозволяє уникнути виділення карбідів з аустеніту, можна обчислити за формулою 1 у відповідності зі схемою (рис. 2.2) за даними відомих діаграм [6]:

$$v_k = \frac{A_1 - t_M}{1,5 \tau_M},$$

де A_1 - температура критичної точки, °C;

t_M - температура мінімальної стійкості аустеніту, °C;

τ_M - час мінімальної стійкості аустеніту, с.

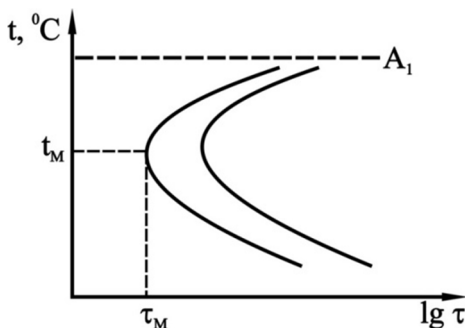


Рисунок 2.2 - Схема визначення параметрів на діаграмі ізотермічного розпаду аустеніту для обчислення критичної швидкості охолодження

Розрахунки показали, що критична швидкість охолодження для сплаву 150ХЗ, яка забезпечує після гартування на аустеніт найбільший рівень зносостійкості, становить не менше $11^{\circ}\text{C} / \text{с}$.

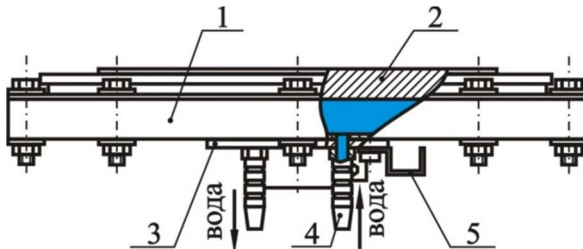
Оцінка відомих способів прискорення відведення теплоти (неповне занурення деталі в охолоджуючу рідину, обдув стисненим повітрям, застосування ендотермічних флюсів та ін.) з точки зору їх технологічності та ефективності показала, що стосовно до штампів прес-форм найбільш прийнятним є використання мідних водоохолоджуваних формувачів..

Тому для проведення дослідних робіт був виготовлений водоохолоджуваний формувач (рис. 2.3), представляє собою збірну конструкцію, що складається з мідного кристалізатора і сталевій основи з порожниною для циркуляції охолоджуючої рідини.

Наплавлення проводилося електродами $\varnothing 4$ мм на наступних режимах: зварювальний струм - 150 - 160 А, напруга - 28 - 30 В, швидкість наплавлення - 7-10 м/год. Товщина штампів, які наплавляються становила 8-22 мм.

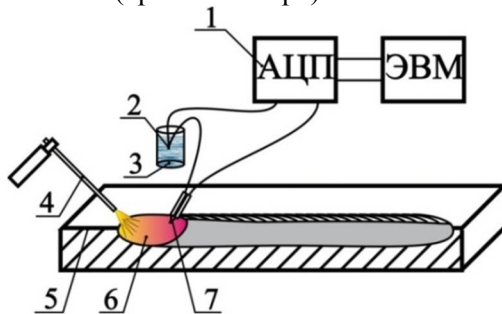
Оцінку швидкості охолодження наплавленого металу, як в умовах природного охолодження, так і примусового, здійснювали за

допомогою термопари за схемою приведений на рис. 2.4. Термопара "уморожувалась" в хвостову частину зварювальної ванни на глибину 2 ... 2,5 мм.



1 - корпус; 2 - мідний кристалізатор; 3 - фланець; 4 - штупер; 5 - фіксатор

Рисунок 2.3 - Схема водоохолоджуваного формувача (кристалізатора).



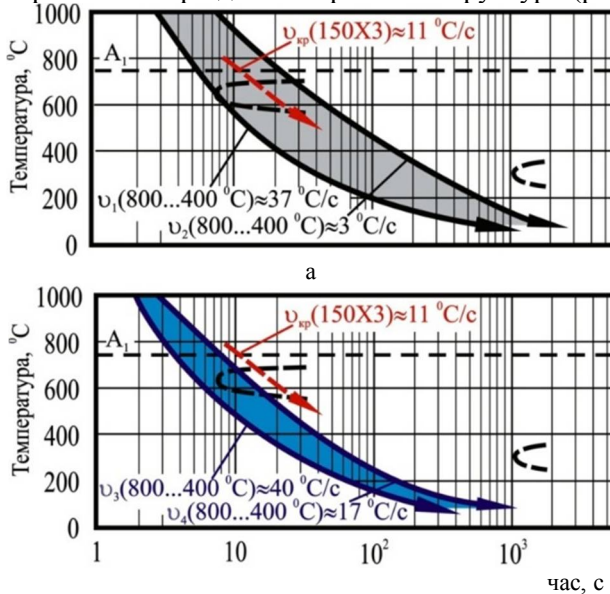
1 - аналогово-цифровий перетворювач; 2 - холодний спай; 3 - колба з льодом;
4 - електрод; 5 - кромка зразка, який наплавається; 6 - зварювальна ванна; 7 - гарячий спай.

Рисунок 2.4 - Схема визначення швидкості охолодження наплавленого металу

Вивчення термічного циклу при напавленні штампів мінімальних товщин без примусового охолодження показало, що наплавлений метал на початку валика остигає з досить високою швидкістю $38^{\circ}\text{C} / \text{с}$ (рис. 2.5), що гарантовано забезпечує формування безкарбідної аустенітної структури при напавленні сплавом типу 150X3.

Однак, у міру продовження напавлення по периметру деталі в умовах обмеженого тепловідведення, швидкість охолодження зменшувалася (особливо на штампах малої товщини) до $3^{\circ}\text{C} / \text{с}$. Природно, це призводило до випадіння карбідів цементитного типу, зниження вмісту вуглецю в аустеніті, підвищенню температури

початку мартенситного перетворення. В результаті, в цій частині наплавленого валика, замість необхідної переважно аустенітної безкарбідної структури з підвищеною здатністю до самозміцнення в процесі зношування, що забезпечує достатньо високу зносостійкість, формувалися мартенсито-карбідні або проміжні структури (рис. 2.6 а).

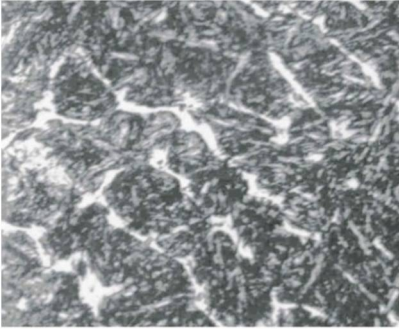


а - на повітрі ($v_1 - v_2$);

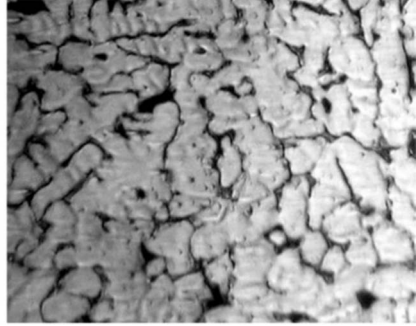
б - із застосуванням водоохолоджувача ($v_3 \dots v_4$)

Рисунок 2.5 - Зміна швидкостей охолодження наплавленого металу 150X3 в залежності від способу відводу тепла в процесі наплавлення

Дослідження термічного циклу наплавлення валика із застосуванням водоохолоджувача показали, що діапазон швидкостей охолодження металу наплавлених ділянок, сформованих на початку процесу і на завершальному етапі наплавлення деталі по периметру, відрізняються незначно - в 2 ... 2,5 рази проти 10 ... 15 разів при наплавленні без примусового тепловідводу. Але головна перевага в даному випадку - найменша швидкість охолодження перевищує критичне значення для низьколегованої високовуглецевої сталі 150X3. Це гарантує формування однорідної необхідної переважно аустенітної структури (рис. 2.6б) на всьому протязі наплавленої кромки деталі.



а



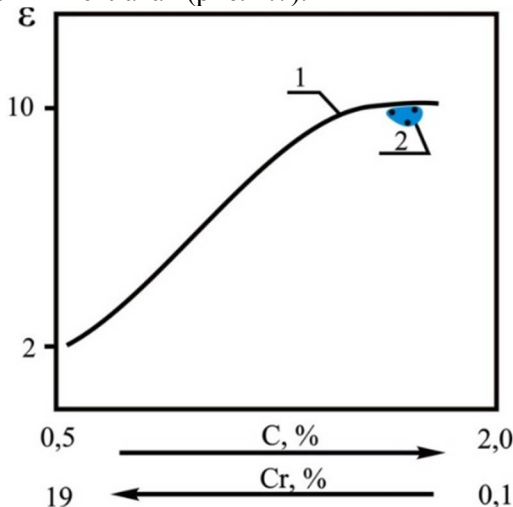
б

а) - на повітрі ($v_{\text{охол.}} \approx 3^\circ \text{ C/c}$);

б) - із застосуванням водоохолоджуваного формувача ($v_{\text{охол.}} \approx 17^\circ \text{ C/c}$)

Рисунок 2.6 - Структура наплавленого металу 150X3 в залежності від способу відводу тепла в процесі наплавлення

Випробування металу даного складу наплавленого з примусовим охолодженням показали, що його зносостійкість практично відповідає рівню опірності зношування, що досягається на загартованих модельних сплавах (рис. 2.7).



- 1 - відносна зносостійкість модельних сплавів, загартованих в мастилі;
 2 - відносна зносостійкість металу, наплавленого з використанням мідного водоохолоджуваного формувача.

Рисунок 2.7 - Схема зміни зносостійкості дослідних сплавів системи Fe-C-Cr в залежності від способу охолодження

Таким чином, застосування примусового охолодження при напавленні штампів дозволяє реалізувати потенціал по здатності до зміцнення і зносостійкості високовуглецевих низьколегованих хромом сталей в напавленному стані.

3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

3.1. Особливості формування структури металу в процесі напавлення в порівнянні з гартуванням в середовищах, що охолоджують (вода, мастило).

3.2 Який елемент найбільш ефективно впливає на здатність до самозміцнення і зносостійкість сталей з великою кількістю метастабільного залишкового аустеніту?

3.3. З якої причини зносостійкість напавлених штампів нижче рівня очікуваного на підставі результатів лабораторних випробувань модельних загартованих сплавів?

3.4 Як визначити критичну швидкість охолодження напавленого металу v_k , яка дозволяє уникнути виділення карбідів з аустеніту і отримання мартенситу, або проміжних структур?

3.5 Що представляють собою показники τ_M , t_M ?

3.6 На якому рівні знаходиться критична швидкість охолодження для сплаву 150X3, яка забезпечує після гартування на аустеніт найбільший рівень здатності до самозміцнення і зносостійкості?

3.7 Які вам відомі способи прискорення відведення теплоти від напавленого металу?

3.8 Опишіть конструкцію водоохолоджуваного формувача.

3.9 Як практично можна оцінити швидкість охолодження напавленого металу?

3.10 Який спосіб дозволяє реалізувати потенціал по здатності до самозміцнення і зносостійкості високовуглецевих низьколегованих хромом сталей в напавленому стані.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

- 4.1. Електроди для наплавлення.
- 4.2. Мідний водоохолоджуваний кристалізатор.
- 4.3. Прилад для визначення твердості за шкалою Роквелла.
- 4.4. Оптичний мікроскоп NU 2.
- 4.5. Комп'ютер.
- 4.6. Джерело живлення.
- 4.7 Верстат для полірування зразків.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Використовувані при виконанні роботи прилади підключаються до мережі змінного струму напругою 220 В. Тому існує небезпека враження електричним струмом, а також травмування диском верстата, що обертається.

Щоб попередити виникнення подібних нещасних випадків, а також пошкодження апаратного забезпечення обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки.

1. Приступати до роботи після прослуховування інструктажу по техніці безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу даних методичних вказівок.

2. Включати верстат і освітлювальний пристрій за дозволом викладача або лаборанта.

3. Виконувати тільки ту роботу, яка передбачена завданням.

4. Переконавшись в надійності заземлення електродвигуна верстата, електроізоляції кабелю і проводів.

5. Виявляти особливу уважність і акуратність при роботі.

6. Не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання.

7. Працювати на верстаті в спецодязі із застібнутими манжетами.

8. Повідомляти викладачеві або лаборанту про несправності обладнання, не намагатися усунути їх самостійно.

9. Виконувати роботу при наявності в лабораторії не менше

двох осіб.

10. Після закінчення роботи вимкнути верстат і освітлювальний пристрій мікротвердоміра, привести в порядок робоче місце.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

6.1 Підключити водоохолоджуваний кристалізатор до водопостачальної мережі.

6.2. Послідовно провести наплавлення зразків без кристалізатора і використання кристалізатора.

6.3 Визначити твердість та мікротвердість зразків.

6.4 Підготувати шліфи.

6.5 З використанням мікроскопу та цифрового фотоапарату отримати зображення мікроструктур.

6.6 Зробити опис структури.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

7.1 Найменування і мета роботи.

7.2 Особливості формування структури металу в процесі наплавлення в порівнянні з гартуванням. Переваги і недоліки.

7.3 Короткі відомості про способи управління структурою.

7.4 Можливі способи прискорення відведення теплоти від наплавленого металу.

7.5 Таблиця з хімічним складом досліджуваних матеріалів.

7.6 Методика випробувань.

7.7 Таблиця результатів досліджень та фото мікроструктур.

7.8 Аналіз результатів металографічних та дюрOMETричних досліджень.

7.9 Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин. / Под. ред. В.С. Попова. – Запорожье: Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2000. – 394 с.
2. Филиппов М.А. Стали с метастабильным аустенитом / М.А. Филиппов, В.С. Литвинов, Ю.Р. Немировский – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.
3. Чейлях А.П. Возможности создания метастабильных состояний аустенита в сплавах на основе железа / А.П. Чейлях // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2002. - №2. – С. 31-34.
4. Андрущенко М.И. Влияние углерода и хрома на способность к упрочнению и износостойкость бескарбидных сталей в условиях абразивного изнашивания / М.И. Андрущенко, О.Э. Рузов, Р.А. Куликовский, Н.Н. Брыков // Проблеми трибології (Problems of Tribology). - 2003. - №2. - С. 112-116.
5. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы / М.А. Тылкин – М.: Металлургия, 1981. – 648 с.
6. Попов А.А. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита / А.А. Попов, Л.Е. Попова – М.: Металлургия, 1965. – 495 с.
7. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев – М.: Металлургия, 1978. – 645 с.