

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Студент 2 курсу гр.3В-16м

Осадчук А. А.

Спеціальність 132

“Матеріалознавство”

Керівник д.т.н., проф. каф. ТПЗ

Савуляк В. І.

Актуальність

- Відновлення деталей та підвищення їх зносотійкості дозволяє значно покращити техніко економічні показники використання техніки.
- Для підвищення ефективності та якості відновлення деталей було запропоновано науглецювання відновлених деталей, також можливість їх легування у процесі наплавлення і визначення точності наплавлених заготовок.
- Важливу роль у розв`язанні означених завдань відіграють технології, що ґрунтуються на використанні наноматеріалів або нанотехнологій.

Головними завданнями цієї кваліфікаційної роботи :

- Дослідження процесу контактного плавлення та умови його початку.
- Запропонувати та дослідити електроконтактний спосіб науглецьовування.
- Визначення оптимального методу використання явища контактного плавлення для отримання зносостійких покриттів.
- Розробити дослідну установку для електроконтактного науглецьовування сталевих поверхонь.
- Розробка методу визначення точності наплавлених заготовок при автоматичному електродуговому наплавленні.
- Розробка технологічного процесу відновлення деталі

Умови початку контактного плавлення

- Контактне плавлення (КП) виникає під час нагрівання контакту двох (або більше) різнорідних кристалів, при якому з'являється рідина при температурі нижче температури плавлення кожного з кристалів, що контактують.

- Для початку КП необхідний тісний контакт кристалів, що утворюють евтектичну пару, але попередніми дослідженнями не враховували те, що на поверхнях цих кристалів завжди присутні адгезійні та оксидні шари. Так наприклад, якщо адгезійних нашарувань можна при певних умовах позбутися, то оксидних, практично, ні. Так оксидний шар на поверхні тільки що розірваного зразка вибудовується за мільярдну частку секунди, при тиску 10^{-6} мм рт. ст. - за 2 с., при тиску 10^{-9} мм рт. ст. - за 30 хв., в космічному вакуумі - за 7 років.

Тому для початку КП необхідно зруйнувати ці плівки. Основною умовою для їх руйнації, як і при зварюванні тиском, є пластична деформація та розрив цих плівок на окремих ділянках.

Контактне плавлення в системі Fe - C (графіт) у нестационарному конвекційному режимі

Після початку контактного плавлення при звичайному дифузійному режимі середнє значення концентрації буде завжди приблизно по середині між лініями ліквідуса. У зв'язку з тим, що графітна лінія ліквідуса більш крута то середнє значення концентрації карбону у рідкій фазі при КП в системі Fe-C буде доевтектичним.

Але при використанні дисперсних матеріалів та конвекційного режиму масопереносу у рідкій фазі можливе відхилення від цієї закономірності.

Для цього використаємо феноменологічне рівняння Шукарева

$$\frac{dC}{d\tau} = K_p \cdot (C_L - C) \cdot S$$

де K_p – константа швидкості розчинення;
 C_L – концентрація насиченого рідкого розчину; C – поточна концентрація рідкого розчину;
 S – площа контакту твердої і рідкої речовини.

Процесом переносу атомів з рідини у тверду фазу, та подальшій дифузії у ній ми нехтуємо. Тоді цей процес можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dC^{Fe}}{d\tau} = K_{pFe} \cdot (C_2^{Fe} - C^{Fe}) \cdot S_{Fe}; \\ \frac{dC^C}{d\tau} = K_{pC} \cdot (C_3^C - C^C) \cdot S_C; \end{cases}$$

де K_{pFe} - константа швидкості розчинення заліза;

K_{pC} - константа швидкості розчинення вуглецю;

S_{Fe} - площа контакту між залізом і розплавом; S_C - площа контакту між дисперсним вуглецем і розплавом;

C_2^{Fe} - концентрація насиченого розчину компонентом Fe ;

C_3^C - концентрація насиченого розчину компонентом C ; C^{Fe} - поточна концентрація Fe ; C^C - поточна концентрація C .

Однак

$$C^{Fe} + C^C = 1$$

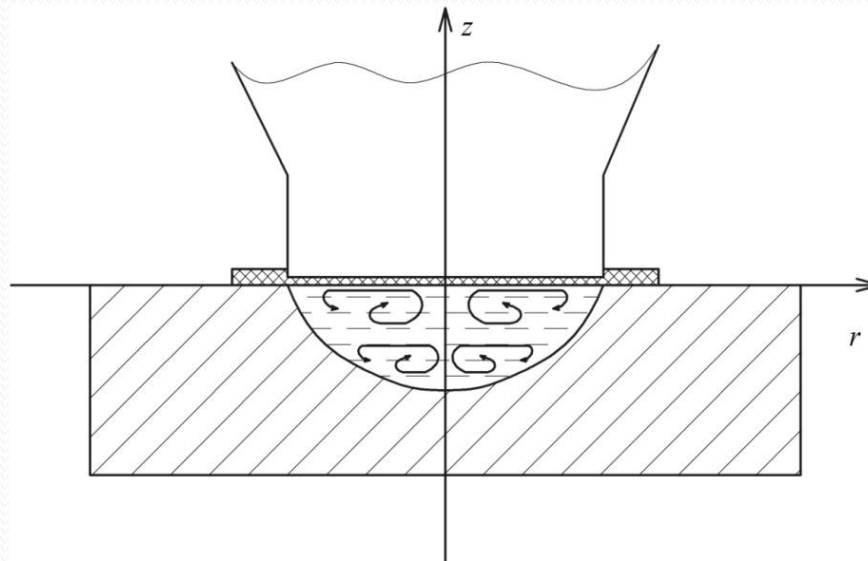
- Виконавши математичні перетворення і введення змінних
- Тоді рівняння набуває вигляду

$$C = \frac{m \cdot C_3 - n \cdot C_2}{m - n}.$$

- Виходячи із рівняння бачимо, що при збільшенні співвідношення площин контактування вуглецевого матеріалу з розплавом до площі контактування заліза чи залізовуглецевого сплаву (m) концентрація вуглецю в розплаві буде наближатися до концентрації, що відповідає графітному ліквідусу (C_3) при заданій температурі контактного плавлення. А при наближенні цього співвідношення до нескінченності, значення концентрації вуглецю у розплаві буде:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} = \frac{m \cdot C_3 - n \cdot C_2}{m - n} = \frac{C_3 - \frac{n \cdot C_2}{m}}{1 - \frac{n}{m}} = C_3.$$

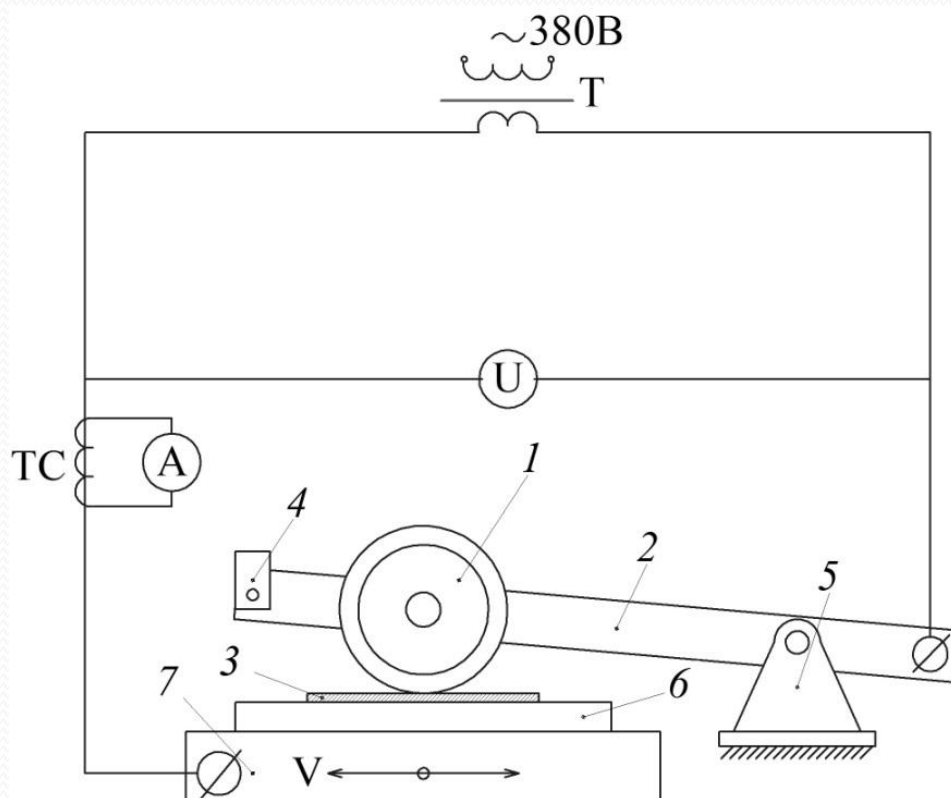
- Таким чином при використанні дисперсних вуглецевих матеріалів, у яких поверхнева площа контакту буде в сотні або тисячі разів більша ніж залізовуглецевого сплаву дає можливість отримати поверхневий шар з заевтектичним вмістом вуглецю і мати у своїй структурі не тільки ледебурит, але і первинний цементит.
- А конвекційний режим забезпечується електромагнітним перемішуванням при електроконтактних процесах схожих, що проходять при контактному зварюванню
- Так наприклад при проходженні струму через графітовий електрод у рідкий метал цей рідкий метал перемішується



Вуглецеві наноматеріали та контактне плавлення у дисперсних системах

- Наноматеріали - матеріали із наночасток розмірами (принаймні, один розмір) від 1 до 1000 нм, але зазвичай до нанооб'єктів відносять матеріали, розмір яких становить від 1 до 100 нм
- Вуглецеві наноматеріали це фулерени, графенові пластівці та вуглецеві нанотрубки, в яких один із вимірів може бути менше нанометра
- У рідку ванну нашого матеріалу фулерени попадають із нашого вуглецево-дисперсного матеріалу.
- Фулерен є модифікуючою добавкою. Крім того має розвинуту поверхню.
- В евтектичних дисперсних системах спостерігається зниження температури евтектичного перетворення до 18 К

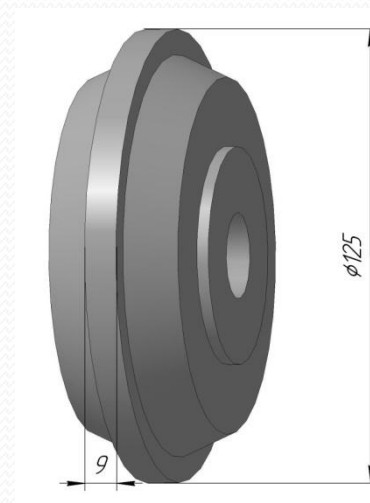
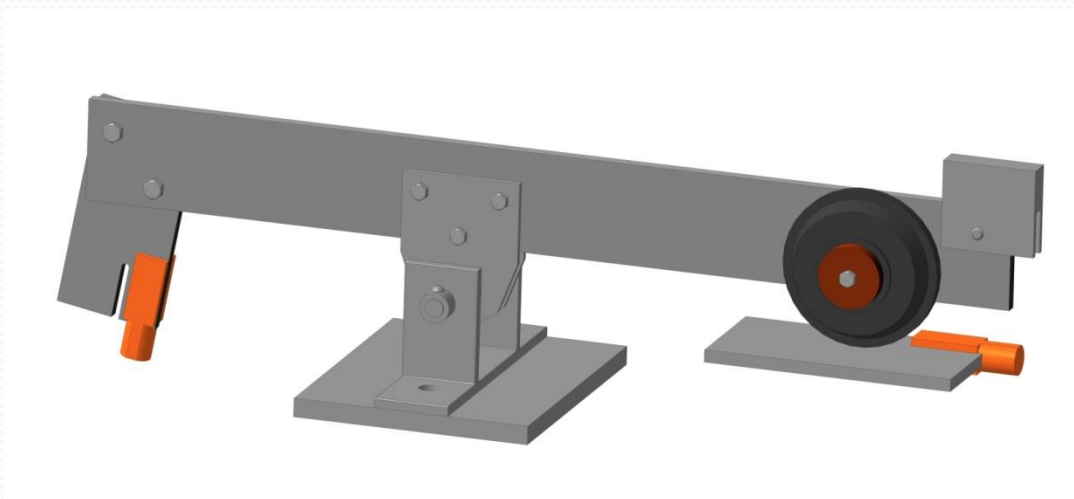
Дослідження можливості шовного електроконтактного науглецькування



- 1 – графітовий ролик,
- 2 – шина струмопідводу,
- 3 – вуглецевий матеріал,
- 4 – вантаж,
- 5 – опора,
- 6 – сталева заготовка,
- 7 – пересувний елемент.

Рисунок 4.6 – Схема установки для формування на сталевій поверхні високовуглецевого шару

- Даний метод відрізняється простотою, надійністю та дозволить формувати зносостійкі високовуглецеві шари, що мають гарне зчеплення з основним металом.
- Розроблено модель установки в середовищі Компас - 3D V16 3d для електроконтактного науглецювання



- Надалі була виготовлена установка та проведені досліді науглецювання поверхні зразка із сталі Ст 3 сп ДСТУ 2651:2005 товщиною 10 мм.



- Режими при яких відбувався процес електроконтактного науглецювання у системі залізо вуглець
- Процес науглецювання проводився за режимом:
- струм – 2600 А;
- напруга – 5,5 В;
- сила притискання ролика - 200 Н;
- швидкість пересування зразка відносно ролика – 1 см/с.

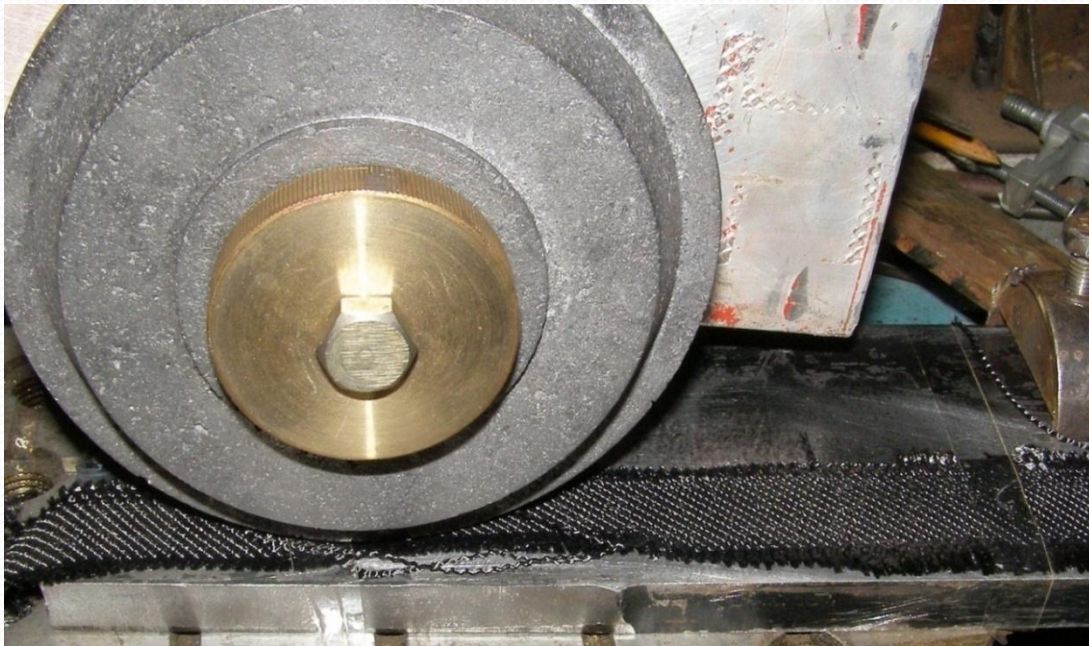


Схема дослідів науглецювання



Вигляд зразка після електроконтактного науглецювання. У верхній частині через один шар ВВМ, у нижній – через два

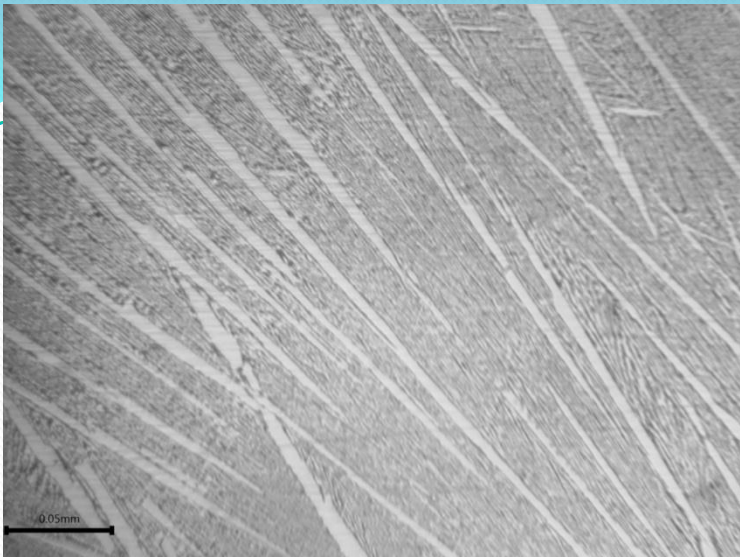
- З науглецьованих зразків спочатку були виготовлені макрошліфи



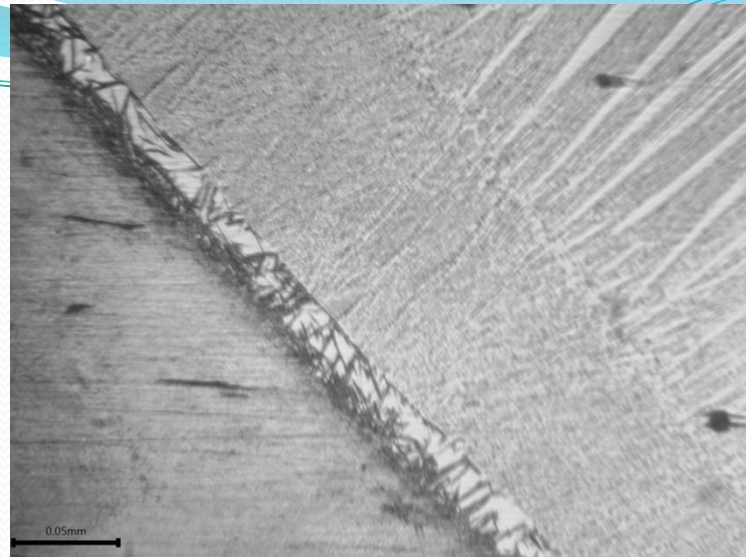
Макрошліф науглецьованого зразка.
ВВМ в один шар



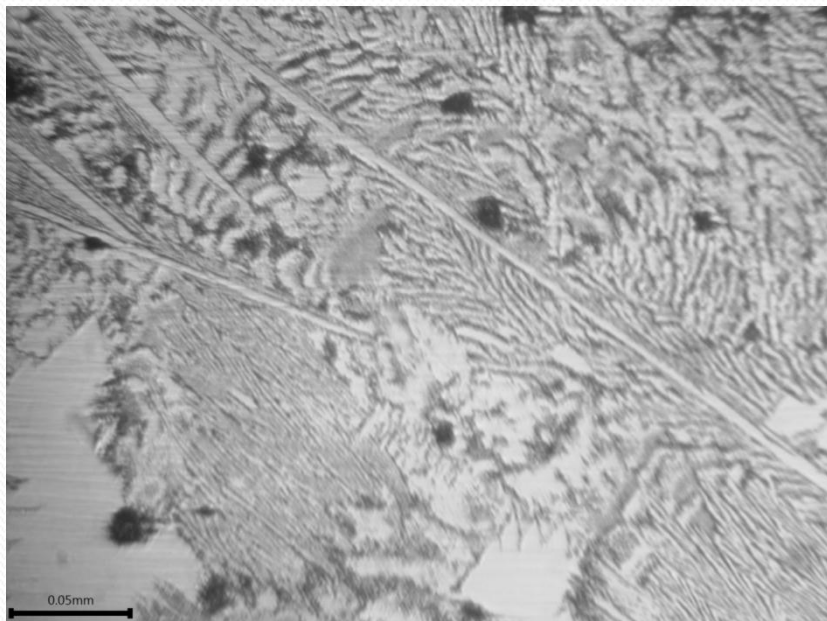
Макрошліф науглецьованого зразка.
ВВМ в два шари



Мікроструктура основної частини науглецьованого зразка



Мікроструктура науглецьованого зразка на межі с основним металом



Мікроструктура науглецьованого зразка на межі с основним металом

Мікроаналіз

Основна площа оплавленої ділянки має дендритну структуру структуру заевтектичного білого чавуну із приблизним вмістом карбону 4,8 – 5,2%, що показано на рис. В структурі яскраво видно голки цементиту в ледебуриті.

На представленій мікроструктурі на межі між оплавленим металом та основним. Спочатку іде «світлий шар» у вигляді тонкої полоси, а потім та ж сама структура, що і у основного металу, але більш тонка та дисперсна. Це пояснюється тим, що швидкість охолодження на межі основний метал – оплавлений науглецьований метал більша. В ній з'являється більша кількість центрів кристалізації.

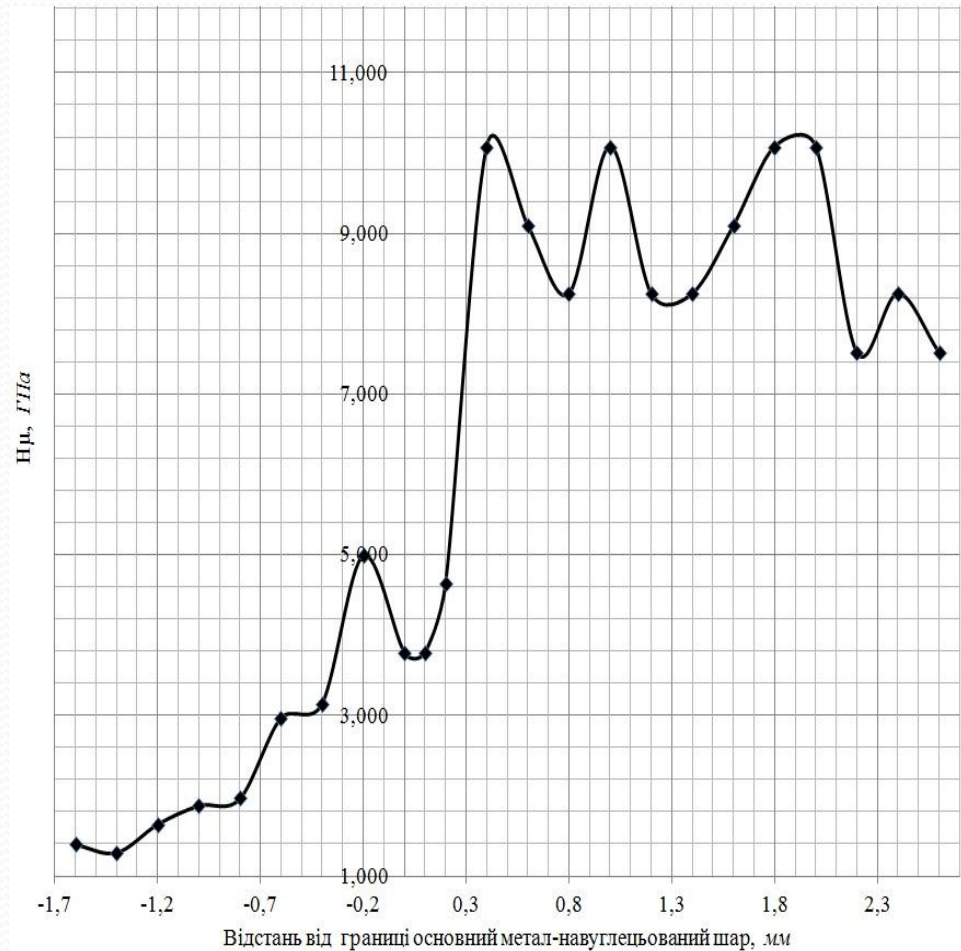
На відстані близько 0,4 – 0,5 мм від поверхні по центру оплавленої зони спостерігається зменшення кількості первинного цементиту, більш груба будова ледебурита також включення грфаріту

ДюрOMETричний аналіз

Мікротвердість основного металу та наплавленого шару в залежності від відстані від границі підложка-наплавлений шар для науглецьованого одним шаром ВВМ зразка

Залежність мікротвердості науглецьованого шару від відстані від границі основний метал – науглецьований шар для зразка науглецьованого одним шаром ВВМ

№	<i>m, g</i>	<i>P, H</i>	<i>α, рад</i>	<i>d, мкм</i>	Н _μ , ГПа
	50	0,4905	2,3737		
	відстань, мм	<i>d1, мкм</i>	<i>d2, мкм</i>		
1	-1,6	26	25	25,5	1,3988
2	-1,4	26	27	26,5	1,2952
3	-1,2	23	24	23,5	1,6470
4	-1	22	22	22	1,8793
5	-0,8	21	22	21,5	1,9677
6	-0,6	17	18	17,5	2,9700
7	-0,4	17	17	17	3,1473
8	-0,2	13	14	13,5	4,9908
9	0	16	15	15,5	3,7859
10	0,1	16	15	15,5	3,7859
11	0,2	14	14	14	4,6407
12	0,4	9	10	9,5	10,0783
13	0,6	10	10	10	9,0957
14	0,8	11	10	10,5	8,2500
15	1	9	10	9,5	10,0783
16	1,2	10	11	10,5	8,2500
17	1,4	10	11	10,5	8,2500
18	1,6	10	10	10	9,0957
19	1,8	9	10	9,5	10,0783
20	2	9	10	9,5	10,0783
21	2,2	11	11	11	7,5171
22	2,4	10	11	10,5	8,2500
23	2,6	11	11	11	7,5171

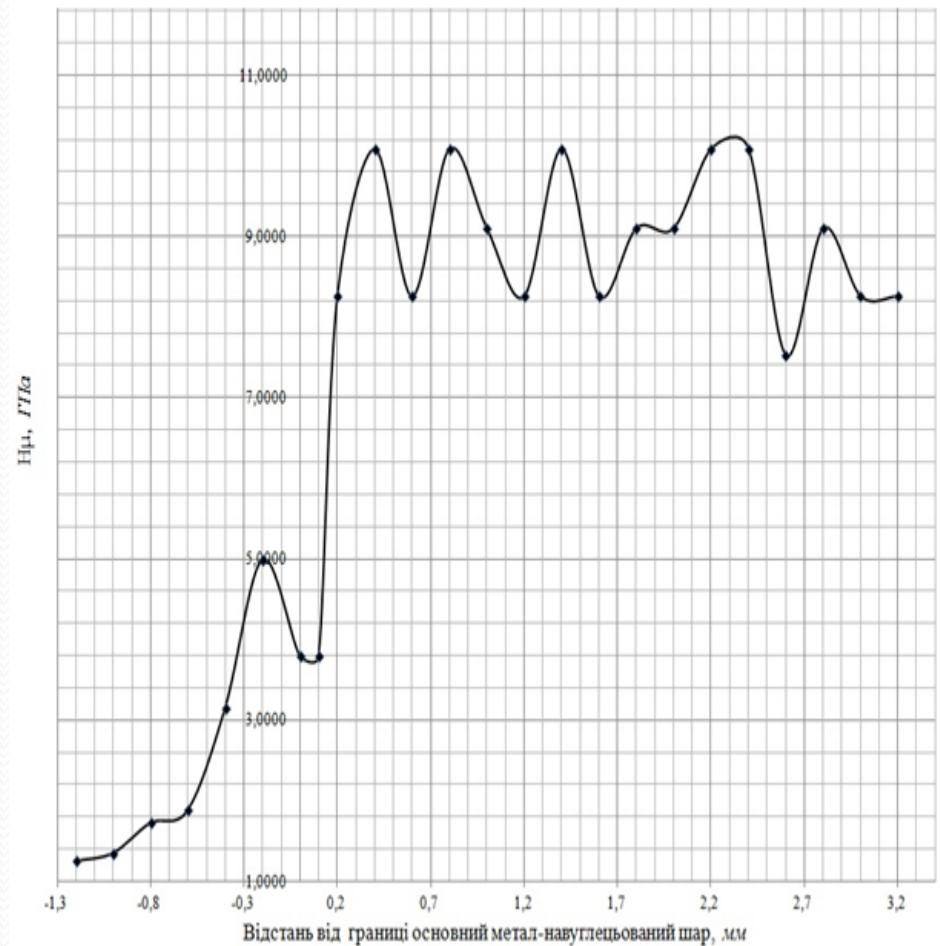


ДюрOMETричний аналіз

Мікротвердість основного металу та наплавленого шару в залежності від відстані від границі підложка-наплавлений шар для науглецьованого двома шарами ВВМ зразка

Залежність мікротвердості науглецьованого шару від відстані від границі основний метал – науглецьований шар для зразка науглецьованого двома шарами ВВМ зразка

№	m, g	P, H	α , рад	d, мкм	H _ц , ГПа
	50	0,4905	2,3737		
	відстань, мм	d1, мкм	d2, мкм		
1	-1,2	27	27	27	1,2477
2	-1	25	27	26	1,3455
3	-0,8	23	23	23	1,7194
4	-0,6	22	22	22	1,8793
5	-0,4	17	17	17	3,1473
6	-0,2	13	14	13,5	4,9908
7	0	16	15	15,5	3,7859
8	0,1	16	15	15,5	3,7859
9	0,2	10	11	10,5	8,2500
10	0,4	10	9	9,5	10,0783
11	0,6	11	10	10,5	8,2500
12	0,8	9	10	9,5	10,0783
13	1	10	10	10	9,0957
14	1,2	11	10	10,5	8,2500
15	1,4	9	10	9,5	10,0783
16	1,6	10	11	10,5	8,2500
17	1,8	10	10	10	9,0957
18	2	10	10	10	9,0957
19	2,2	9	10	9,5	10,0783
20	2,4	9	10	9,5	10,0783
21	2,6	11	11	11	7,5171
22	2,8	10	10	10	9,0957
23	3	11	10	10,5	8,2500
24	3,2	11	10	10,5	8,2500

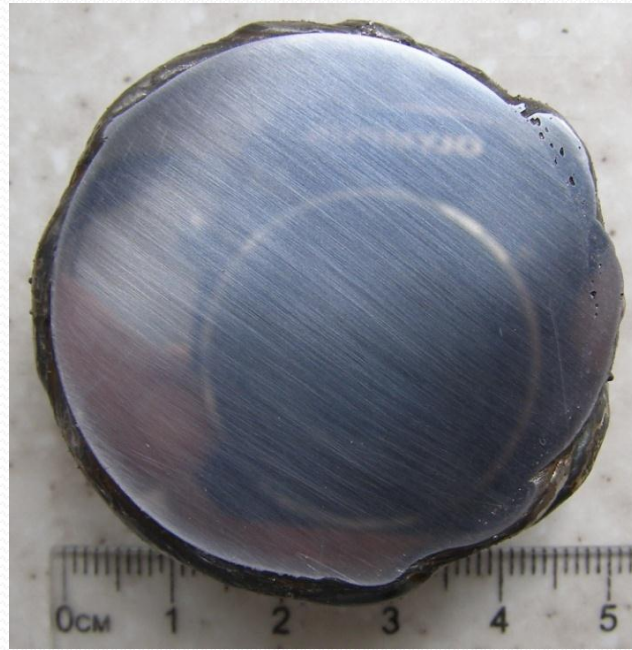


- Данні вимірювань свідчать про те, що основна частина насиченого карбоном зразка має структуру білого заевтетичного чавуну. Коливання мікротвердості викликано з тим, що індентор періодично попадає на різні структурні складові. У ледебурита та первинного цементита різні мікротвердості. Так для первинного цементиту (при швидкому охолодженні) $H_{\mu} = 9,12 - 10,29$ ГПа, для ледебуриту $H_{\mu} = 7,35 - 8,63$ ГПа . Світла полоса на межі між основним і оплавленим металом за мікротвердістю та структурою, швидше за все, залишковий аустеніт.

Дослідження можливості науглецьвугування та легування наплавленого шару

- Було проведено досліди з наплавлювання в середовищі вуглекислого газу.
- У ВНТУ було запропоновано насичувати наплавлений шар за допомогою попередньо нанесених вуглецевих матеріалів на наплавлювану поверхню та з легуванням тонким дротом легувального матеріалу.
- Задачою досліду було перевірка та удосконалення наплавлення в середовищі CO_2 зразка з попередньо нанесеним шаром вуглецевих волокон та легувального матеріалу.
- У якості вуглецевого волокна використовувалося волокно марки УК-30, легувальні дроти, що наносилися на наплавлювальну поверхню дріт з ніхрому Х20Н80 діаметром 1 мм та дріт 0,25 мм з вольфраму марки ВА.
- Наплавлювання виконувалось дротом марки НП -30Х2А в середовищі CO_2 на установці для наплавлення УД-209М

- Наплавлення вели на циліндричні зразки з Сталі 45 ГОСТ 1050-88 діаметром 45 мм.
- Після наплавлення було отримано зразок



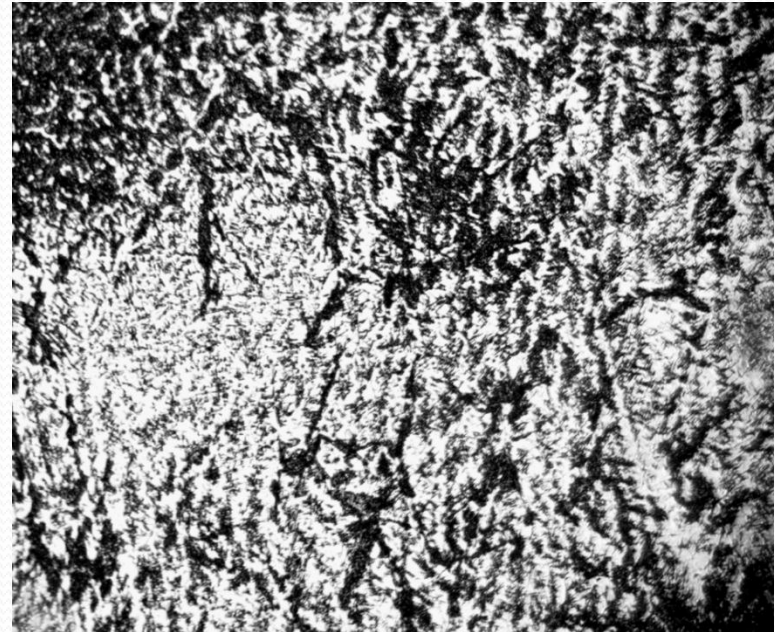
Режими наплавлення

1. Діаметр дроту d_e – 1,6 мм.
2. Напруга на дузі U – 24 В.
3. Сила струму I – 100 А.
4. Швидкість подачі дроту $V_{др}$ – 104 м/год.
5. Частота обертання наплавленої деталі n – 2,5 об/хв.
6. Крок наплавлення t – 2,8 мм.
7. Зміщення дроту від zenіту l – 5 мм.

- Структуру наплавленого шару та перехідної зони вивчали при збільшеннях 100 – 200 раз після травлення 4% розчином HNO_3 в етиловому спирті.



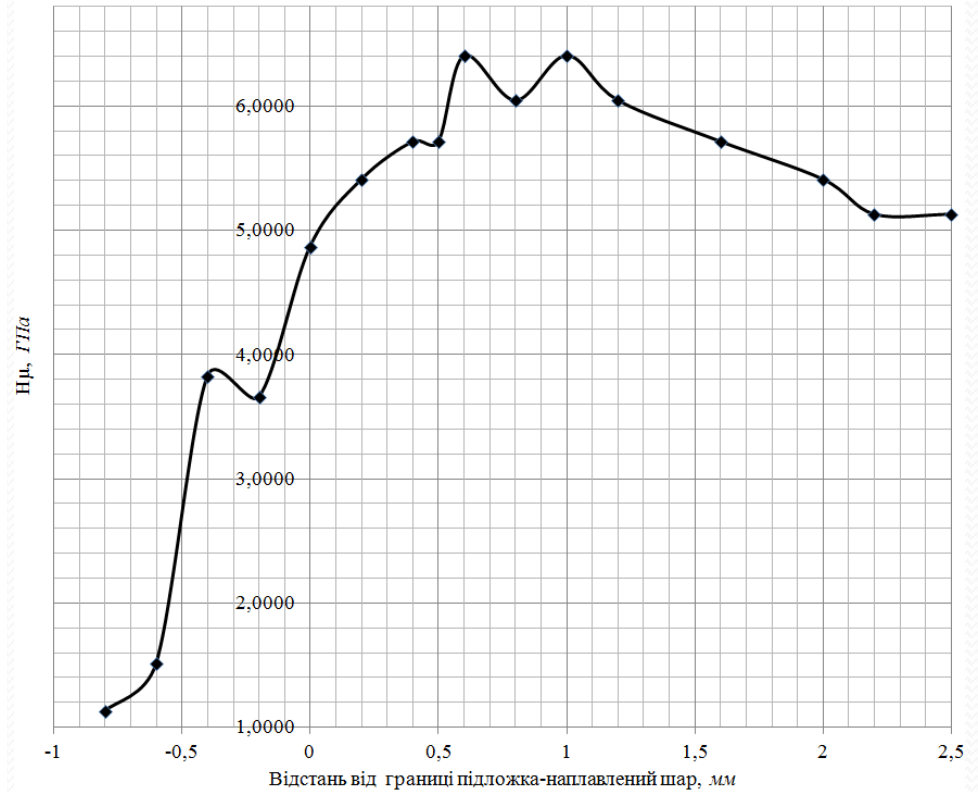
Мікροструктура перехідної зони наплавлений шар- основа, x100



Мікροструктура наплавленого шару, x200

Дюраметричний аналіз

№	$m, \text{г}$	P, H	$\alpha, \text{рад}$	$d, \text{мкм}$	$H_{\mu}, \text{ГПа}$
	100	0,98	2,47		
	відстань, мм	$d_1, \text{мкм}$	$d_2, \text{мкм}$		
1	-0,8	41	40	40,5	1,1282
2	-0,6	35	35	35,0	1,5106
3	-0,4	22	22	22,0	3,8234
4	-0,2	23	22	22,5	3,6554
5	0	20	19	19,5	4,8666
6	0,2	18	19	18,5	5,4070
7	0,4	18	18	18,0	5,7115
8	0,5	18	18	18,0	5,7115
9	0,6	17	17	17,0	6,4032
10	0,8	17	18	17,5	6,0425
11	1	17	17	17,0	6,4032
12	1,2	17	18	17,5	6,0425
13	1,6	18	18	18,0	5,7115
14	2	18	19	18,5	5,4070
15	2,2	19	19	19,0	5,1261
16	2,5	19	19	19,0	5,1261



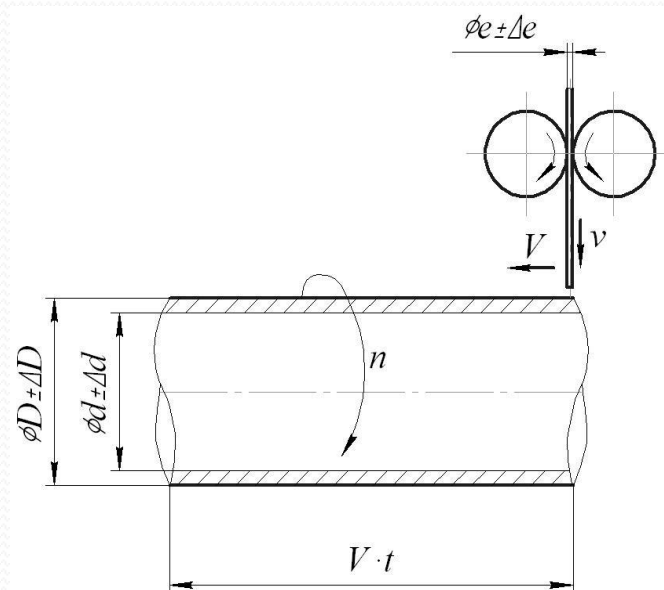
- Виходячи з того, що наплавлення велося на зразок із Сталі 45, яка має ферито-перлітну будову на мікроструктурі перехідної зони можна спостерігати науглецьвування матеріалу підложки на глибину 0,2-0,3 мм, що і підтвержують дюраметричні дослідження.
- Наплавлений шар, не відповідає структурі наплавленого металу НП - 30X2A. Наплавлений шар має дендритну будову, у якій спостерігаються ділянки ледебуриту.
- Таким чином можна стверджувати, що вуглецевий матеріал розчинився у наплавленному металі, у якій увійшли ще попередньо нанесені шари легувальних дротів з вольфраму та ніхромі. Великий вміст нікелю у ніхромі, вочевидь, зменшує твердість наплавленого металу у зв'язку з тим, що стримує карбідоутворення.

Визначення точності наплавлення

- Важливою характеристикою заготовки є її точність та якість. Для штампованих заготовок, з прокату чи виливків є довідникові дані, з яких, в залежності від виду заготовки, способу її виготовлення, можна взнати їхню точність та якість.
- Але для заготовок, отриманих у результаті нанесень покриттів, у тому числі наплавлення, дані по точності відсутні.
- Це ускладнює розробку оптимального технологічного процесу подальшої механічної обробки, не дає можливості визначити кількості переходів для подальшої механічної обробки, ускладнює розрахунок припусків, та як наслідок не дає можливості знайти оптимальну товщину наплавленого шару.
- Похибки розміру наплавленої заготовки мають випадковий статистичний характер і тому можуть описуватися теорією імовірності

1 Визначення похибки розміру при наплавленні зовнішньої поверхні заготовки

- Для цього спочатку знаходимо залежність між об'ємом заготовки до наплавлення та після за умови, що густина наплавленого металу не змінюється після наплавлення



- Рисунок 1 - Схема наплавлення циліндричної заготовки дротом суцільного перетину

- Об'єм наплавленої заготовки діаметром D можна визначити як суму об'єму циліндричної заготовки (до наплавлення) діаметру d та об'єму наплавленого електродного дроту з урахуванням коефіцієнту втрат на розбризкування та угар Ψ .
- Таким чином, об'єм наплавленої деталі можна записати, як:

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V \cdot t = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V \cdot t + v \cdot t \cdot \frac{\pi \cdot e^2}{4} \cdot (1 - \psi). \quad (1)$$

- Звідки:

$$D = \left(d^2 + v \cdot \frac{e^2}{V} \cdot (1 - \psi) \right)^{0,5}. \quad (2)$$

- Тоді діаметр наплавленої заготовки у формі функції:

$$D(d, v, e, \psi, V) = \left(d^2 + v \cdot \frac{e^2}{V} \cdot (1 - \psi) \right)^{0,5}. \quad (3)$$

Таблиця 1. Складові похибки діаметра наплавленої циліндричної поверхні

№	Складові похибки діаметра наплавленої циліндричної поверхні	Позначення	Для зовнішньої поверхні
1	від похибки на діаметр заготовки	Δ_1	$\left \frac{d}{\left(d^2 + \frac{v \cdot e^2 \cdot (1-\psi)}{V}\right)^{0,5}} \right \cdot \Delta_d$
2	від похибки швидкості подачі електродного дроту Δv	Δ_2	$\left \frac{e^2 \cdot (1-\psi)}{\left(d^2 + \frac{v \cdot e^2 \cdot (1-\psi)}{V}\right)^{0,5} \cdot V} \right \cdot \Delta v$
3	від похибки на діаметр електродного дроту e	Δ_3	$\left \frac{2 \cdot v \cdot e \cdot (1-\psi)}{\left(d^2 + \frac{v \cdot e^2 \cdot (1-\psi)}{V}\right)^{0,5} \cdot V} \right \cdot \Delta e$
4	від похибки на коефіцієнт втрат ψ	Δ_4	$\left -\frac{v \cdot e^2}{\left(d^2 + \frac{v \cdot e^2 \cdot (1-\psi)}{V}\right)^{0,5} \cdot V} \right \cdot \Delta \psi$
5	від похибки швидкості пересування дуги вздовж осі заготовки V	Δ_5	$\left -\frac{0,5 \cdot v \cdot e^2 \cdot (1-\psi)}{\left(d^2 + \frac{v \cdot e^2 \cdot (1-\psi)}{V}\right)^{0,5} \cdot V^2} \right \cdot \Delta V$

- При вирогідностному методі розрахунку, якщо похибки незалежні одна від одної маємо:

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\sum_1^5 (K_i \cdot \Delta_i)^2},$$

- де K_i – коефіцієнт відносного розсіювання, який характеризується відношенням поля розсіювання похибки при нормальному законі розподілу (K) до дісного поля розсіювання; i – індекс елементарної похибки.
- Для нормального закону розподілу $K_i=1$; для закону рівної вирогідності $K_i=1,73$; при композиції закону рівної вирогідності та нормального закону $K_i=1,2 \dots 1,5$; для законів Сімсона $K_i=1,22$; Релея $K_i=1,097$; та Максвелла $K_i=1,13$.

- Користуючись залежністю отримуємо абсолютну похибку на діаметр наплавленої циліндричної деталі:

- $$\Delta D = \Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \cdot \sqrt{(K_1 \cdot \Delta_1)^2 + (K_2 \cdot \Delta_2)^2 + (K_3 \cdot \Delta_3)^2 + (K_4 \cdot \Delta_4)^2 + (K_5 \cdot \Delta_5)^2}.$$

- У тому разі якщо коефіцієнти розподілу $K_i=1$ (при нормальному розподілі) формула (5) набуває вигляду:

- $$\Delta D = \Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2}.$$

Вихідні данні:

Діаметр заготовки перед наплавленням $d=44$ мм

Похибка на діаметр заготовки перед наплавленням $\Delta d=0,008$ мм

Діаметр електродного дроту $e=1,2$

Похибка на діаметр електродного дроту $\Delta e=0,015$ мм

Швидкість подачі електродного дроту $v=2116,6$ мм/хв

Похибка на швидкість подачі електродного дроту $\Delta v=52$ мм/хв.

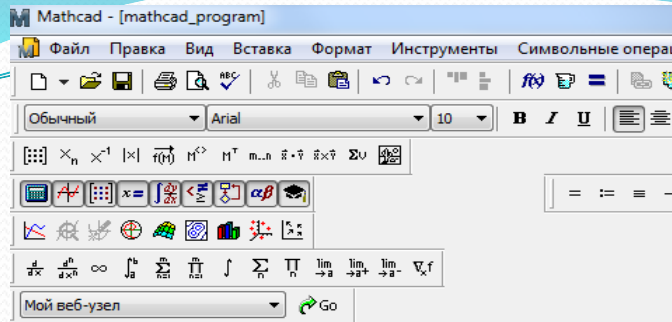
Швидкість пересування дуги вздовж осі заготовки $V=9$ мм/хв

Похибка на швидкість пересування дуги вздовж осі загот. $\Delta V=0,9$ мм/год

Коефіцієнт втрат на розбризування та угар $\Psi=0,125$

Похибка на коефіцієнт втрат $\Delta \Psi=0,025$

Вид похибки	Позначення		Значення,мм
	В тексті	В Mathcad	
Складова похибки діаметра наплавленої поверхні, яка залежить від від похибки на діаметр заготовки Δd до наплавлення	$\Delta 1$	Sd	0,0075
Складова похибки, яка залежить від від похибки швидкості подачі електродного дроту Δv	$\Delta 2$	Sv	0,154
Складова похибки, що залежить від від похибки діаметра електродного дроту Δe	$\Delta 3$	Se1	0,157
Складова похибки діаметра, що залежить від похибки на коефіцієнт втрат $\Delta \Psi$	$\Delta 4$	Sp	0,179
Складова похибки, що виникає внаслідок похибки швидкості пересування дуги вздовж осі заготовки ΔV	$\Delta 5$	Sv1	0,314
Сумарна похибка	ΔD	ΔD	0,423



$d := 44$ (Діаметр заготовки)
 $\Delta d := 0.008$ (Похибка на діаметр заготовки)
 $e1 := 1.2$ (Діаметр електродного дроту)
 $\Delta e1 := 0.015$ (Похибка на діаметр електродного дроту)
 $\nu := 2116.6$ (Швидкість подачі електродного дроту)
 $\Delta \nu := 52$ (Похибка на швидкість подачі електродного дроту)
 $V1 := 9$ (Швидкість пересування дуги вздовж осі заготовки)
 $\Delta V1 := 0.9$ (Похибка на швидкість пересування дуги вздовж осі заготовки)
 $p := 0.125$ (Коефіцієнт втрат на розбризування та угар)
 $\Delta p := 0.025$ (Похибка на коефіцієнт втрат)

(Похибка заготовки) +

$$S_d := \left| \frac{d}{\left[d^2 + \frac{\nu \cdot e1^2 \cdot (1-p)}{V1} \right]^{0.5}} \right| \cdot \Delta d = 7.45 \times 10^{-3} \quad (5.1)$$

(Похибка швидкості дроту)

$$S_\nu := \left| \frac{e1^2 \cdot (1-p)}{\left[d^2 + \frac{\nu \cdot e1^2 \cdot (1-p)}{V1} \right]^{-0.5} \cdot V1} \right| \cdot \Delta \nu = 0.154 \quad (5.2)$$

(Похибка діаметру електродного дроту)

$$S_{e1} := \left| \frac{2 \cdot \nu \cdot e1 \cdot (1-p)}{\left[d^2 + \frac{\nu \cdot e1^2 \cdot (1-p)}{V1} \right]^{0.5} \cdot V1} \right| \cdot \Delta e1 = 0.157 \quad (5.3)$$

(Похибка коефіцієнту втрат)

$$S_p := \left| \frac{\nu \cdot e1^2}{\left[d^2 + \frac{\nu \cdot e1^2 \cdot (1-p)}{V1} \right]^{-0.5} \cdot V1} \right| \cdot \Delta p = 0.179 \quad (5.4)$$

(Похибка дуги)

$$S_{V1} := \left| \frac{0.5 \cdot \nu \cdot e1^2 \cdot (1-p)}{\left[d^2 + \frac{\nu \cdot e1^2 \cdot (1-p)}{V1} \right]^{0.5} \cdot V1^2} \right| \cdot \Delta V1 = 0.314 \quad (5.5)$$

(Абсолютна похибка наплавленої заготовки за методом "максимума-мінімуму")

$$\Delta D := \sqrt{S_{e1}^2 + S_p^2 + S_{V1}^2 + S_\nu^2 + S_d^2} = 0.423 \quad (5.6)$$

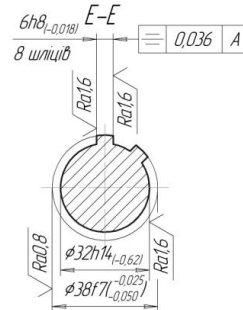
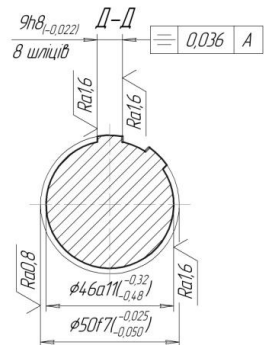
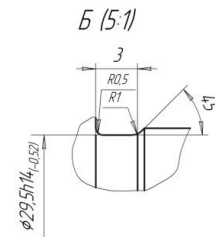
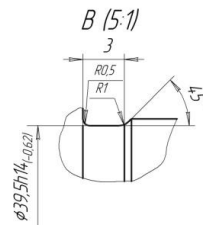
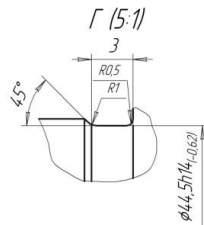
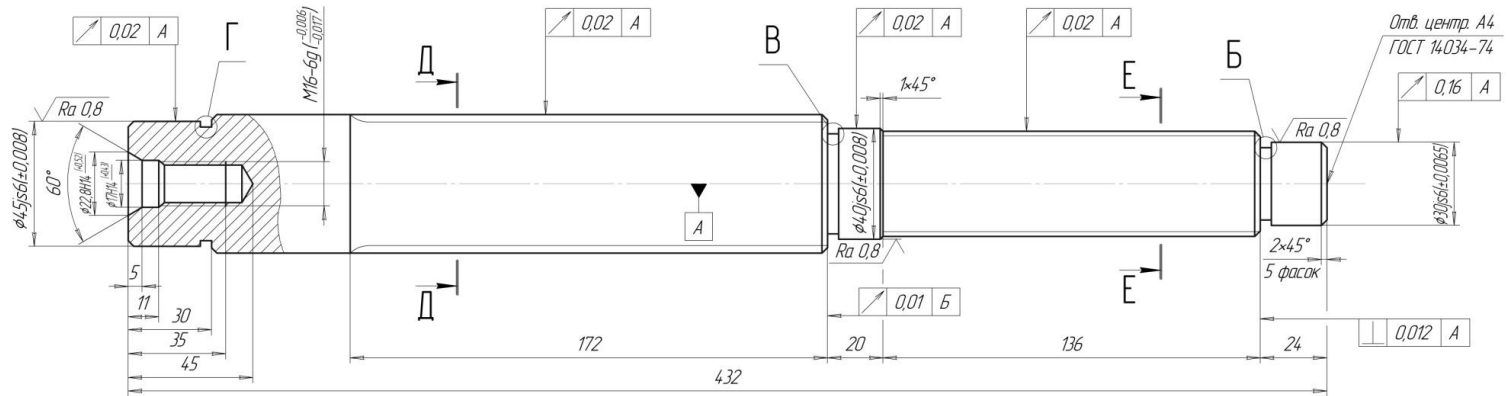
(Абсолютна похибка наплавленої заготовки за вигогідностним методом)

$$\Delta D1 := S_{e1} + S_p + S_{V1} + S_\nu + S_d = 0.811 \quad (5.7)$$

Робоче креслення

08-30.МКР.004.00.000

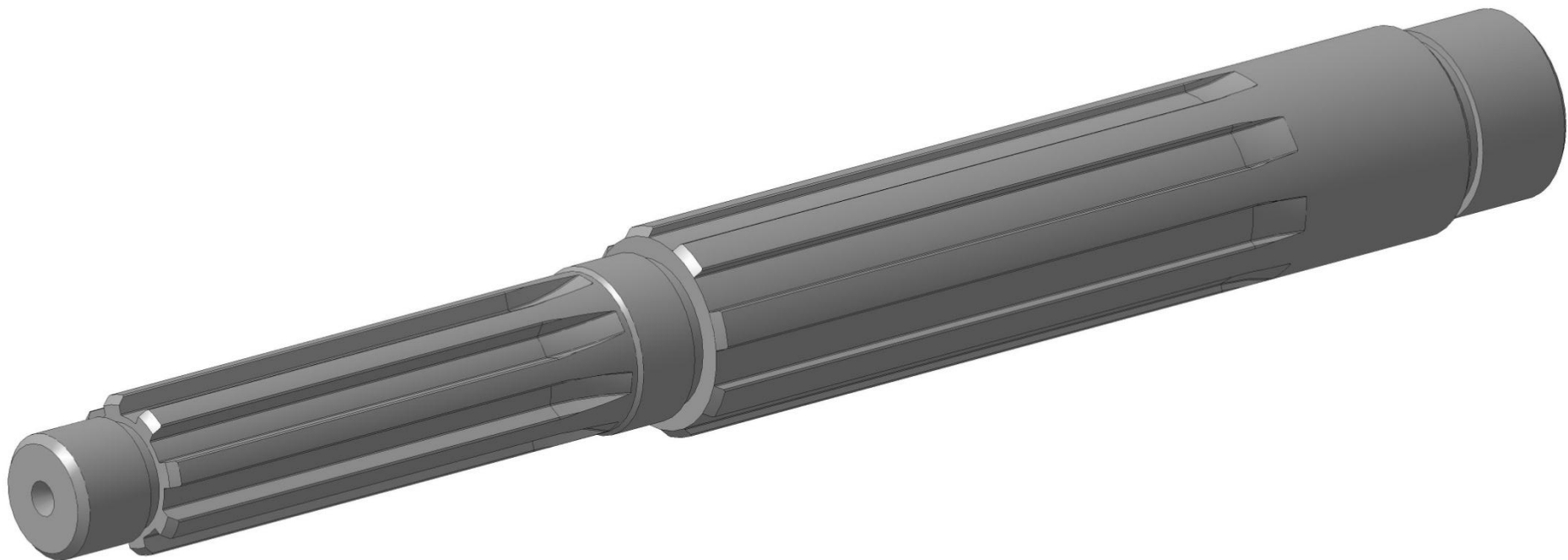
√ Ra6.3



1. HB 250...280
2. H14, h14, $\pm \frac{t_2}{2}$

08-30.МКР.004.00.000				Лист	Масса	Масштаб	
Лист	№ докум.	Лист	Дата		4,7	1:1	
Разраб.	Осаджук А.А.						
Проб.	Савицкая В.И.						
Т.контр.							
Ин.контр.	Щефельд В.И.						
Чтб.	Савицкая В.И.						
Вал 47				Лист	1	Листов	1
Сталь 40Х ГОСТ4543-71				ВНТУ ст. зр. 13В-16м			
Копировал				Формат А2			

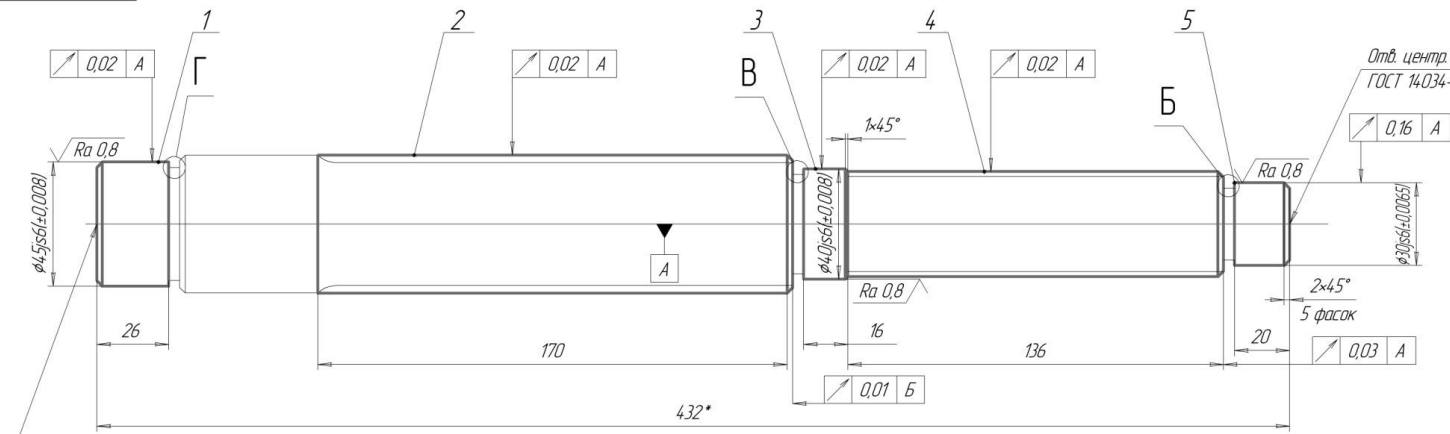
3D Модель вала 47



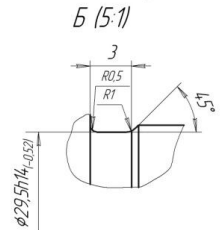
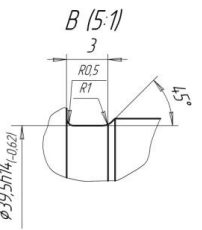
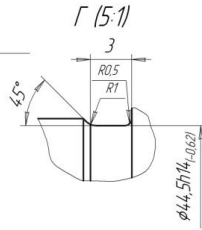
Ремонтне креслення

08-30.МКР.004.00.002 Р

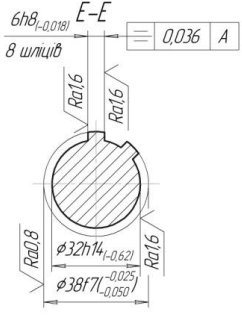
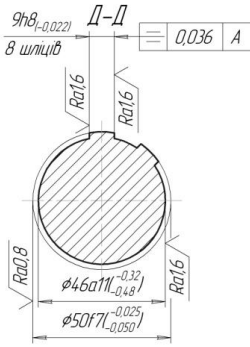
√ Ra6,3 (√)



Отв. центр. F M16
ГОСТ 14.034-74



Номер дефекту	Найменування дефекту	Коефіцієнт підтвердності дефекту від загальної кількості деталей, що надійшли на дефектицію	Коефіцієнт підтвердності дефекту від загальної кількості ремонтно-працьових деталей	Основний спосіб усунення дефекту	Допустимий спосіб усунення дефекту
1	Знос шліфовані поверхні валу $\phi 4,5$ мм	0.6	0.8	Навілення у СО	Газотермічне навілення
2	Знос поверхні шліфів $\phi 8-8$ мм	0.7	0.8	Навілення у СО	Відбрашування наплавка
3	Знос шліфовані поверхні валу $\phi 4,0$ мм	0.8	0.8	Навілення у СО	Газотермічне навілення
4	Знос поверхні шліфів $\phi 5-8$ мм	0.6	0.8	Навілення у СО	Відбрашування наплавка
5	Знос шліфовані поверхні валу $\phi 3,0$ мм	0.7	0.8	Навілення у СО	Газотермічне навілення



- *Размеры для справок
- $H_{14}, h_{14}, \pm \frac{t_2}{2}$

08-30.МКР.004.00.002 Р			
Имя Лист	№ докум.	Лист	Дата
Разработ	Осваенко А.А.		
Пров	Савилюк В.І.		
Инженер	Шереметь В.І.		
Экз	Савилюк В.І.		
Вал 47 (Ремонтне креслення)		Лист	Масса
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		1	11
Копировал		Лист	Формат А2
		1	13В-16М

Маршрутна карта

Технологічний процес відновлення Вал 47 бабки передньої 16K20

№	Найменування операції та технічні параметри	Схема добування	Обладнання
005	<p>Місце</p> <p>1 Установити та зняти деталі. 2 Мити деталі, розмірити "Лабдан".</p>		Спряденно-каркасна машина 09-4630
010	<p>Шліфування</p> <p>1 Шліфувати деталі на шліфувальній столі 2 Вибити дефекти деталі відновним складом Зважувати контрольні протери 44.9, 39.7, 29.9, 49.9, 51.9</p>		Шліфувальний стол Зважувальний пристрій ТСТ 165-89
015	<p>Точення</p> <p>1 Установити та закріпити деталь. 2 Точити лоб. 2 однократно в розмір $\varnothing 46_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 3 Точити лоб. 3 однократно в розмір $\varnothing 39_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 4 Точити лоб. 4 однократно в розмір $\varnothing 32_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 5 Точити лоб. 5 однократно в розмір $\varnothing 26_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 6 Прокрутити деталі. 7 Точити лоб. 1 однократно в розмір $\varnothing 44_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 8 Зняти деталі.</p>		ПЧ ТД0-30.60.26/11Г-80 Точарно-абразивний верстат 16K20
020	<p>Напівобробка</p> <p>1 Установити та закріпити деталь. 2 Напівобробити лобовину 2 до $\varnothing 54_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 3 Напівобробити лобовину 3 до $\varnothing 43_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 4 Напівобробити лобовину 4 до $\varnothing 41_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 5 Напівобробити лобовину 5 до $\varnothing 32_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 6 Прокрутити деталі. 7 Напівобробити лобовину 1 до $\varnothing 47_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 8 Зняти деталі.</p>		Шліфувальний верстат Ш2-209М Блок з функціональним газом
030	<p>Точення</p> <p>1 Установити та закріпити деталь. 2 Точити лоб. 2 однократно в розмір $\varnothing 51_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 3 Точити лоб. 3 однократно в розмір $\varnothing 50_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 4 Точити лоб. 4 однократно в розмір $\varnothing 42_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 5 Точити лоб. 5 однократно в розмір $\varnothing 40_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 6 Точити лоб. 4 однократно в розмір $\varnothing 39_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 7 Точити лоб. 4 однократно в розмір $\varnothing 38_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 8 Точити лоб. 5 однократно в розмір $\varnothing 30_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 9 Точити лоб. 5 однократно в розмір $\varnothing 30_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 10 Прокрутити деталі. 11 Точити лоб. 1 однократно в розмір $\varnothing 45_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 12 Точити лоб. 1 однократно в розмір $\varnothing 45_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 13 Зняти деталі.</p>		Точарно-абразивний верстат 16K20
035	<p>Нарізка шлиців</p> <p>1 Установити та закріпити. 2 Фрезерувати лобовину 4 по ширині 6 мм та довжині в 136 мм. 3 Фрезерувати лобовину 2 по ширині 9 мм та довжині в 172 мм. 4 Зняти деталі.</p>		Фрезерувальний верстат з універсальною консольною баштою
040	<p>Точення</p> <p>1 Установити деталі. 2 Шліфувати лобовину 2 до розміру $\varnothing 50_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 3 Шліфувати лобовину 3 до розміру $\varnothing 40_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 4 Шліфувати лобовину 3 до розміру $\varnothing 40_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 5 Шліфувати лобовину 1 до розміру $\varnothing 40_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 6 Шліфувати лобовину 5 до розміру $\varnothing 30_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 7 Шліфувати лобовину 4 до розміру $\varnothing 38_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 8 Шліфувати лобовину 5 до розміру $\varnothing 30_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 9 Шліфувати лобовину 5 до розміру $\varnothing 30_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 10 Прокрутити деталі. 11 Шліфувати лобовину 1 до розміру $\varnothing 45_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 12 Шліфувати лобовину 1 до розміру $\varnothing 45_{-0.015}^{+0.015}$ мм. 13 Зняти деталі.</p>		ПЧ ТД0-30.60.26/11Г-80 Шліфувальний верстат 34110А Шліфувальний круг С40В1,М16 Шліфувальний круг С20В1,М16

08-30.МКР.004.00.003. П/1

№	Відомості	№	Відомості
Розробив	Виконав	Перевірив	Методика
Затвердив	Відомості	Відомості	11
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості

Маршрутна карта

ВНТУ, 138-16м

П/І 00000101010000-00

№	Найменування операції та технічних переходів	Схема базуювання	Обладнання
050	<p>Шліцешлифувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Шліфувати поверхню 2 по ширині $9_{\pm 0,022}$ мм та довжині 172 мм; 3. Шліфувати поверхню 4 по ширині $6_{\pm 0,022}$ мм та довжині 136 мм; 4. Зняти деталь. 		Шліцешлифувальний 34.51
055	<p>Контрольна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Виконати контрольні проміри поверхонь 1-5 згідно ремонтного креслення; 		Контрольний стил, інструмент для вимірювання (мікрометр, штангенциркуль)

Лист № 0001 | П/І 00000101010000-00 | 00000101010000-00

● Загальний висновок

- В даній магістерській кваліфікаційній роботі досліджено процеси контактного плавлення в системі залізо – нановуглецеві матеріали та умови його початку. Визначено оптимальні методи використання явища контактного плавлення для отримання зносостійких покриттів.
- Розроблено метод визначення точності наплавлених заготовок при автоматичному електродуговому наплавленні для внутрішніх і зовнішніх поверхонь циліндричних деталей.
- Запропоновано та досліджено електроконтактний спосіб навуглецьовування. Розроблено дослідну установку для електроконтактного навуглецьовування сталевих поверхонь з використанням наноматеріалів що дозволило отримати на поверхні сталі модифікований шар білого чавуну товщиною 2.5-3.2 мм, що дозволило значно підвищити зносостійкість поверхні даної деталі
- Розроблено технічний процес відновлення валу 47 передньої бабки 16K20, розраховано режими обробки даної деталі.



Дякую за увагу