

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Термічне оброблення порошкових та композиційних матеріалів»
для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство

освітня програма «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
денної форми навчання

2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Термічне оброблення порошкових та композиційних матеріалів» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство, освітня програма «Композиційні та порошкові матеріали, покриття», денної форми навчання / Укл. І.В. Акімов – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 18 с.

Укладачі: І.В. Акімов, доцент, к.т.н.,

Рецензент: О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.

Експерт: В.О. Савченко, доцент, к.т.н.

Відповідальний за
випуск: І.В. Акімов, доцент, к.т.н.

Рекомендовано до видання
НМК ФБАД, протокол № 1
від 30 08 2024 р.

Затверджено на засіданні
кафедри КМХТ, протокол
№ 1 від 06.08.2024 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота №1. Визначення глибини прогартованості порошкових вуглецевих сталей	5
Лабораторна робота №2. Вплив режимів гартування та відпускання на механічні властивості порошкової вуглецевої сталі.....	11
Лабораторна робота №3. Зварювання та паяння порошкових виробів	15
Література	18

ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Термічне оброблення порошкових та композиційних матеріалів» призначені для закріплення знань студентами спеціальності 132 Матеріалознавство, освітня програма «Композиційні та порошкові матеріали, покриття», що отримані під час лекційного курсу. Виконання лабораторних робіт сприяють засвоєнню лекційного матеріалу і служать сполучною ланкою між теоретичною підготовкою майбутнього фахівця та його практичною діяльністю. Головна мета лабораторних робіт полягає у набутті студентами практичних навичок з вибору найбільш раціональних режимів термічного оброблення порошкових та композиційних виробів у заданих умовах виробництва.

Під час виконання лабораторних робіт студенти на практиці вивчають методи термічного оброблення та структуру й властивості різних марок матеріалів, що отримані методами порошкової металургії. Обладнання, устаткування, інструмент, що застосовуються для термооброблення. Самостійно (або під керівництвом навчального майстра) проводять експерименти, реєструють результати, роблять висновки та оформляють звіт.

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ПРОГАРТОВАНOSTІ ПОРОШКОВИХ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

1.1 Мета роботи

Ознайомитися з методикою визначення прогартуваності порошкової сталі методом торцевого гартування. Визначити прогартуваність порошкової сталі, марки ПК70 і порівняти отримані результати з прогартуваністю компактної сталі У7.

1.2 Загальні відомості

Гартування сталі (quenching) – це вид термооброблення, що складається з нагрівання сталі вище за температур фазових перетворень (критичних точок), витримці для завершення усіх перетворень й охолодження з високою швидкістю для отримання при кімнатній температурі структур, які забезпечують більш високі твердість та міцність. Гартування є ефективним методом поліпшення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей компактних й порошкових сталей. Гартуванню піддаються майже усі марки конструкційних порошкових сталей.

Гартування сталей ґрунтується на здатності заліза при певних температурах до поліморфних перетворень та різній розчинності вуглецю у різних типах кристалічних модифікацій заліза перш за все у фериті та аустеніті. Так, у фериті (α -залізо) максимальна розчинність вуглецю – 0,02% при $t=723^{\circ}\text{C}$, а при кімнатній температурі розчинність падає до 0,006%. У аустеніті (γ -залізо) максимальна розчинність вуглецю сягає 2,14% при $t=1147^{\circ}\text{C}$. При швидкому охолодженні (під час гартування), у нагрітих до температур аустенізації сталях підвищується термодинамічна нерівноважність аустеніту, а швидкість дифузії вуглецю різко знижується. Отже, відбувається бездифузійне перетворення α -заліза у γ -залізо, при цьому весь вуглець, що раніше розчинився у аустеніті лишається у гратці α -заліза. В результаті чого утворюється пересичений твердий розчин вуглецю у α -залізі, який називається мартенситом. Через пересиченість вуглецем гратка мартенситу значно викривлена і

замість кубічної набуває тетрагональну форму (рис. 1.1). При цьому чим більше у сталі вуглецю, тим вища ступінь тетрагональності.

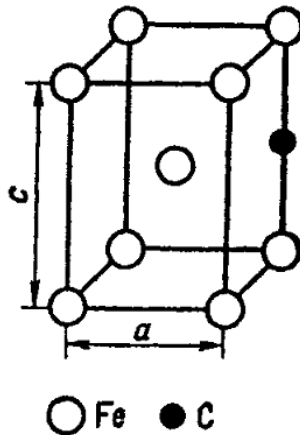


Рисунок 1.1 – Тетрагональна кристалічна ґратка мартенситу

Мартенсит характеризується високою твердістю (55...65 HRC) та крихкістю, що зумовлено спотворенням кристалічної ґратки та відповідно великими внутрішніми напруженнями. Включення мартенситу в сталі виглядають голчастими. Вперше їх під мікроскопом спостерігав німецький металург Адольф Мартен у 1890 році, ім'ям якого і названо мартенсит.

Для більшості компактних сталей температура гартування встановлюється за діаграмою стану залізвуглецевих сплавів в залежності від розташування на ній критичних точок A_{c1} і A_{c3} . На рис. 1.2 наведено сталеву ділянку діаграми стану Fe-Fe₃C з двома умовними сплавами (переріз I та II). Сплав I відповідає доетектоїдним сталям для яких критична точка A_{c1} – точка перетворення перліту в аустеніт (початок перекристалізації). Критична точка A_{c2} – перетворення α -заліза у немагнітне β -залізо, сталь стає немагнітною. Подальше підвищення температури приведе до перетину лінії GS – точка A_{c3} , сталь переходить до однофазного стану (кінець перекристалізації). Температура точки A_{c3} залежить від вмісту вуглецю в сталі, тому як лінія GS є похилою.

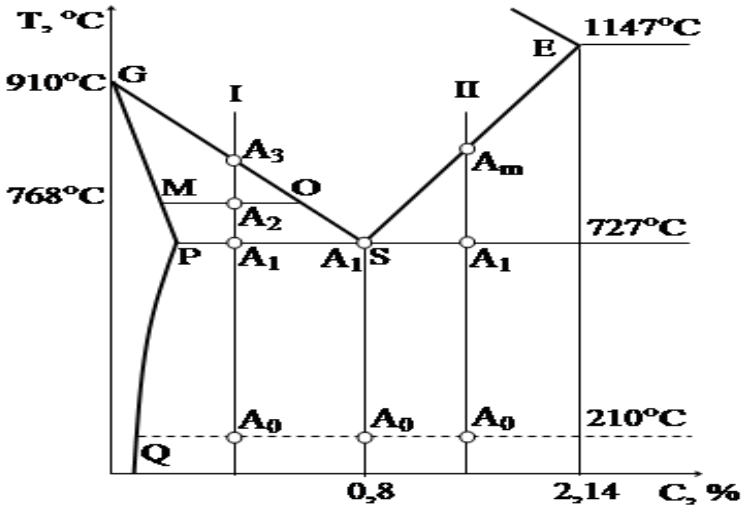


Рисунок 1.2 – Критичні точки компактних сталей

При охолодженні в точці A_{Γ_3} (лінія GS) починається перекристалізація сталі, в точці A_{Γ_2} β -залізо переходить в магнітне α -залізо. В точці A_{Γ_1} аустеніт переходить у перліт й закінчується перекристалізація сталі. Отже, доєвтектоїдні сталі мають критичні точки A_1 , A_2 і A_3 .

Для заєвтектоїдних сталей $C > 0,8\%$ (перетин II на рис. 1.2). При температурі 210°C в точці $A_{\text{с}0}$ цементит втрачає магнітні властивості. Подальший нагрів викликає перетворення перліту на аустеніт в точці $A_{\text{с}1}$ (початок перекристалізації). Потім перетин переходить лінії діаграми ES. На цій лінії перекристалізація закінчується і відбувається перехід сталі в однофазний аустенітний стан. Точка на лінії ES номера не має, вона позначається буквою m ($A_{\text{сm}}$). Температура цієї точки залежить від вмісту вуглецю в сталі. Отже, заєвтектоїдні сталі мають три критичні точки: A_0 , A_1 і A_{m} .

Важливо пам'ятати, що для порошкових сталей положення критичних точок визначається не лише їх хімічним складом, але й поринністю, гомогенністю структури та іншими факторами.

Оптимальна температура нагрівання порошкових сталей під гартування, як правило, вище, ніж у компактних сталях (табл. 1.1).

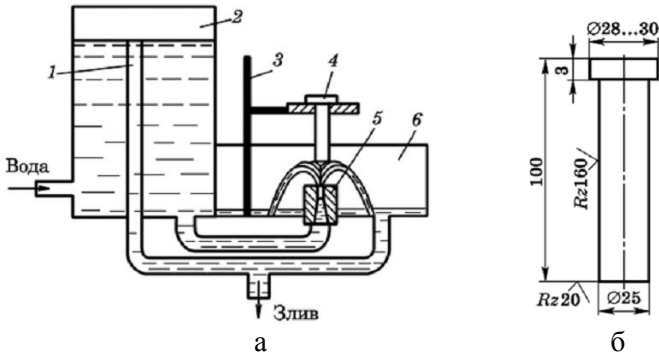
Таблиця 1.1 – Критичні точки та рекомендовані температури гартування порошкової та компактної сталей

Марка сталі	Вміст вуглецю, %	Пористість, %	A _{c1} , °C	A _{c3} , °C	Температура гартування, °C
ПК70	0,7...0,9	15...20	765	815	850
У7	0,7...0,9	0	730	770	800

Одним з параметрів, що визначає ефективність гартування є прогартуваність – здатність сталі загартуватися на певну глибину, тобто в результаті гартування отримувати мартенситну або трооститно-мартенситну структуру. Це одна з найважливіших характеристик сталі, яка визначає зміну механічних властивостей за перерізом виробу. Для порошкових та компактних конструкційних сталей зручно визначати прогартуваність за товщиною шару, який має мартенситну і напівмартенситну структуру, тобто структуру з 50 % мартенситу і 50 % трооститу. Твердість мартенситу і трооститу залежить переважно від вмісту вуглецю, а також від наявності легувальних елементів.

Для деталей, які працюють в умовах підвищених напружень і значних динамічних навантажень, потрібно підбирати сталі з високою прогартуваністю. Вона залежить, перш за все, від хімічного складу сталі та умов гартування. Прогартуваність сталі збільшується з підвищенням температури гартування, яка зумовлює ріст зерна аустеніту. Також прогартуваність сталі залежить від охолоджувальної здатності середовища, в якому виконують гартування. Зі збільшенням інтенсивності охолодження прогартуваність сталі зростає.

Прогартуваність сталі згідно ГОСТ 5657-69 визначають методом торцевого гартування, охолоджуючи водою торець спеціального зразка (рис. 1.3 а). Структура сталі зразків перед випробуванням має відповідати структурі після нормалізації.



1 – вимірювальна трубка для утворення постійного напору води; 2 – бак; 3 – штатив; 4 – зразок; 5 – сопло; 6 – зливний резервуар
Рисунок 1.3 – Установа для торцевого гартування (а) та сталевий зразок (б)

Зразки нагрівають у печі та витримують близько 30 хвилин для досягнення температури аустенітизації. Після чого їх гартують у спеціальній установці (рис. 1.3 б), розміщеній на такій відстані від печі, щоб час їх перенесення до початку охолодження не перевищував 5 с. Для конструкційних сталей зручно визначати прогартованість за товщиною шару, який має мартенситну і напівмартенситну структуру, тобто структуру з 50 % мартенситу і 50 % трооститу. Твердість мартенситу і трооститу залежить переважно від вмісту вуглецю. Отже, твердість напів-мартенситної зони буде відомою, якщо відома масова частка вуглецю в досліджуваній сталі (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Твердість шару із напівмартенситною структурою загартованої сталі

Масова частка вуглецю в сталі, %	Твердість напів-мартенситної зони вуглецевої сталі, HRC
0,28...0,32	32...35
0,33...0,42	35...40
0,43...0,52	40...45
0,53...0,62	45...50
0,65...0,80	53...55

1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується гартування вуглецевих порошкових та компактних сталей: основна література.

1.4 Контрольні питання

1. Що називається гартуванням?
2. Що таке прогартованість сталей?
3. Що розуміють під глибиною прогартованості сталі?
4. Яким методом визначається прогартованість сталей?
5. Які особливості гартування притаманні порошковим сталям?

1.5 Матеріали, інструмент, обладнання

1. Установка для торцевого гартування.
2. Зразки для торцевого гартування з компактною та порошковою сталі.
3. Твердомір Роквелла.
4. Штангенциркулі.

1.6 Вказівки з техніки безпеки.

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями по техніки безпеки.

1.7 Порядок виконання лабораторної роботи

Ознайомитися з принципом роботи установки для торцевого гартування. Провести торцеве гартування зразків з компактною, а потім з порошковою сталі. Визначити за допомогою твердоміру та штангенциркуля глибину прогартованості кожного з зразків. Викреслити криву прогартованості сталей у координатах: твердість (за віссю ординат) – відстань від охолодженого торця (за віссю абсцис). Зробити висновок про вплив наявності пор у порошковій сталі на її прогартованість.

Лабораторна робота № 2

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ГАРТУВАННЯ ТА ВІДПУСКАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКОВОЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

2.1 Мета роботи

Ознайомитися з технологією термічного оброблення порошкових сталей (гартування з послідуочим відпусканням). Дослідити мікроструктуру та виявити зміну показників механічних властивостей порошкової сталі ПК70 після гартування та низько-, середньо- й високотемпературного відпускання.

2.2 Загальні відомості

Відомо, що у результаті швидкого охолодження сталей при гартуванні отримують однофазний перенасичений твердий розчин вуглецю в α -залізі – мартенсит (рис. 2.1a). Крім мартенситу, в структурі загартованої сталі є певна кількість залишкового аустеніту, що виявляється при масовій частці вуглецю в сталі понад 0,6 %. Залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит при подальшому нагріванні загартованої сталі для її відпускання або при її обробленні холодом. У результаті створення спотворених кристалічних (тетрагональних) ґраток порушується рівновага міжатомних сил, структура насичується дислокаціями і в сталі виникають великі внутрішні напруження. Це сприяє її зміцненню, хоча при цьому знижується її пластичність, ударна в'язкість і границя пружності. Наприклад, в структурі швидкоріжучих порошкових сталей марок Р9, Р18, Р6М5 після гартування кількість залишкового аустеніту може сягати 35%, тому для таких сталей застосовується навіть трьохкратне відпускання.

Отже, для зняття внутрішніх напружень, підвищення ударної в'язкості і пластичності загартовану сталь потрібно піддавати відпусканню (повторному нагріванню до температур, нижчих за A_{c1}).

Залежно від температури нагрівання розрізняють такі види відпускання: низько-, середньо- і високотемпературне.

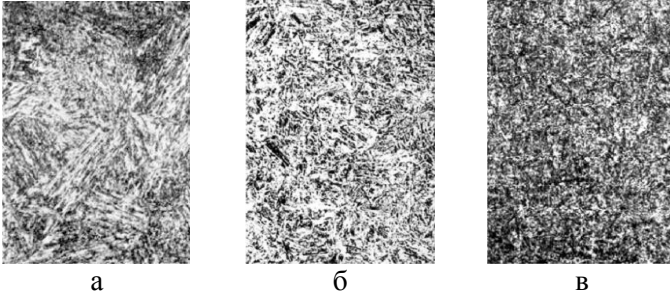


Рисунок 2.1 – Мікроструктура ($\times 500$) вуглецевої сталі після гартування (а); після середнього відпускання (б); після високотемпературного відпускання (в)

При **низькотемпературному** відпусканні загартовану деталь з вуглецевої сталі нагрівають до температур $150...250^{\circ}\text{C}$, у результаті чого знімаються внутрішні напруження, за рахунок дифузії атомів вуглецю із тетрагональних ґраток мартенситу з утворенням високодисперсної карбідної фази. При цьому відпущений мартенсит зі зниженою тетрагональністю має підвищену в'язкість і пластичність із збереженою високою твердістю. Низькотемпературному відпусканню піддають інструмент (різальний, вимірювальний), поверхнево загартовані, після цементації і ціанування деталі машин.

При **середньотемпературному** відпусканні деталі нагрівають до температур $300... 450^{\circ}\text{C}$. При цих температурах завершується дифузія атомів вуглецю із мартенситу, перетворення залишкового аустеніту на мартенсит відпуску з утворенням карбідно-феритної суміші (тро-остит) зі зниженою твердістю ($40...45 \text{ HRC}$) і підвищеною в'язкістю (рис. 2.1б). Такому відпусканню піддають пружини, ресори, ударний інструмент (зубила, штампи тощо).

Високотемпературне відпускання (поліпшення) полягає в нагріванні деталей до температур $500...650^{\circ}\text{C}$. У результаті такого відпускання відбувається укрупнення і глобуляризація цементитних крапель у феритній основі (сорбіт) (рис. 2.1 в), що приводить до зниження твердості ($30...35 \text{ HRC}$), а пластичність і в'язкість значно зростають. Такого відпускання зазнають деталі, що піддаються значним ударним і знакозмінним навантаженням (шатуни, осі, півосі автомобілів і тракторів, вали, пальці тощо).

Тривалість нагрівання при відпусканні залежить від його температури та розмірів деталі і зазвичай більша, ніж при нагріванні для гартування. Охолодження проводять на повітрі.

2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується гартування із послідуочим відпусканнями вуглецевих порошкових та компактних сталей.

2.4 Контрольні питання

1. Що розуміється під гартуванням та послідуочим відпусканням сталей?
2. Назвіть види відпускання сталей.
3. Наведіть спосіб визначення прогартуваності.
4. Назвіть головні особливості гартування та відпуску порошкових сталей.
5. Які структури спостерігаються після гартування та різних видів відпускання?
6. Як змінюються механічні властивості сталей після різних видів відпускання?

2.5 Матеріали і устаткування

1. Набір зразків для механічних випробувань з порошкової сталі, марки ПК70 та компактної вуглецевої сталі У7.
2. Розривна машина для визначення показників міцності сталей.
3. Твердомір Роквелла.
4. Штангенциркулі.

2.6 Вказівки з техніки безпеки.

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкцією по техніки безпеки.

2.7 Порядок виконання лабораторної роботи

Ознайомитися зі зразками для випробувань із порошкової сталі, що були піддані наступним видам термооброблення: зразки без термооброблення (після спікання), після гартування, гартування та

високого відпускання, гартування та середнього відпускання, гартування та низького відпускання.

Провести обмірювання дослідних зразків та визначити довжину їх робочої частини L_0 й площу перерізу F_0 . Отримані дані занести у табл. 2.1. Провести випробування зразків на розтяг. За даними приладу розривної машини зафіксувати силу P_B та розрахувати границю міцності σ_B сталей: $\sigma_B = P_B / F_0$. Виміряти після випробувань кінцеву довжину робочої частини зразків L_K та визначити відносне видовження δ сталей. Провести замірювання твердості дослідних сталей за методом Роквела. Усі отримані результати занести у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Вплив пористості на механічні властивості конструкційної кераміки

Вид термічного оброблення зразків	L_0 , мм	d_0 , мм	F_0 , мм ²	P_B , Н	L_K , мм	δ , %	σ_B , МПа	HRC
без термооброблення (після спікання)								
гартування								
гартування + високе відпускання								
гартування + середнє відпускання								
гартування + низьке відпускання								

За допомогою металографічних мікроскопів дослідити та визначити структури кожного із зразків, що були піддані різним видам термооброблення. Структури навести у звіті.

2.8 Порядок оформлення звіту

Мета роботи, загальні відомості. За даними табл. 2.1 зробити висновок впливу гартування та подальшого відпускання на структуру та властивості порошкової сталі.

Лабораторна робота № 3

ЗВАРЮВАННЯ ТА ПАЯННЯ ПОРОШКОВИХ ВИРОБІВ

3.1 Мета роботи

Ознайомитися з різними методами отримання паяних та зварних з'єднань пористих матеріалів. Проаналізувати вплив наявності пор на міцність паяних та зварних з'єднань.

3.2 Загальні відомості

Операція паяння досить часто застосовується для кріплення металокерамічних твердосплавних пластинок і контактних виробів до державок різців або деталей конструкцій. У якості припою можуть застосовуватися мідь, латунь, срібло, бронза. При виробництві контактних виробів електротехнічного призначення паяння може відбуватися за рахунок контакту надлишкового шару міді або срібла, що залишається на поверхні. Операцію паяння в більшості випадків проводять в захисній атмосфері. Є відомості про вживання зварювання для кріплення наконечників твердосплавного інструменту і деталей контактів, проте паяння знаходить наразі більш широке використання.

Операції паяння або зварювання для кріплення пористих матеріалів пов'язане з великими труднощами. По-перше, для уникнення окислення виробів їх необхідно нагрівати в захисній атмосфері, по-друге, необхідно враховувати, що розплавлений припой швидко вбирається в пори виробу внаслідок чого місце спаю не володіє достатньою міцністю.

Метод високотемпературного паяння останнім часом привертає всю більшу увагу у виготовленні великих виробів шляхом з'єднання їх з окремо виготовлених частин. Головна складність, яку доводиться долати у цьому методі – запобігання вбиранню припою в пори виробів. Рішення задачі досягається вживанням зонального теплового впливу. При цьому матеріал припою у вигляді фольги поміщається у стик між зварюваними торцями. Швидкий зональний нагрів області шва до температури, що лише трохи перевищує температуру розплавлення припою з додатком невеликого зовнішнього тиску, і

швидке охолодження дозволяють уникнути розтікання припою у пори і отримати хорошу міцність з'єднання.

3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно опрацювати такі питання:

1. Зварювання та паяння, як технологічний процес отримання нерознімних з'єднань?
2. Різновиди та режими зварювання й паяння порошкових сплавів?
3. Контроль якості отриманих зварних та паяних з'єднань.

3.4 Контрольні питання

1. Який технологічний процес називається зварюванням?
2. Який технологічний процес називається паянням?
3. В чому міститься головна відмінність зварювання від паяння?
4. Вкажіть головні особливості зварювання та паяння порошкових матеріалів.
5. В чому полягають складність зварювання та паяння порошкових матеріалів.

3.5 Матеріали і устаткування

Твердосплавна ріжуча пластинка токарного різця, державка токарного різця, олово або латунь для припою, каніфоль або борат натрію (бура) у якості флюсу, газово-ацетиленове зварювальне обладнання.

3.6 Вказівки з техніки безпеки.

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкцією по техніці безпеки.

3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

У роботі буде виконано припаювання твердосплавної ріжучої пластини до державки токарного різця. Для цього необхідно підготувати твердосплавну порошкову пластинку та місце припаювання на державці різця до паяння (зачистити від окислів та знежирити). За допомогою газозварювального пальника прогріти

одночасно твердосплавну пластинку та місце для припаювання на державці токарного різця до температури $\sim 800^{\circ}\text{C}$ як показано на рис. 3.1.

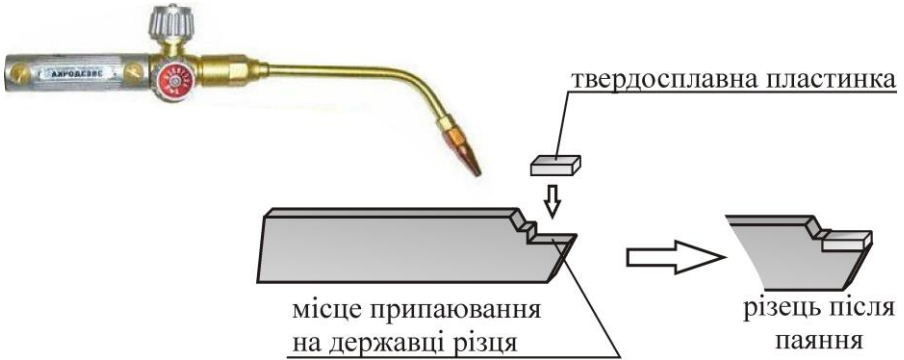


Рисунок 3.1 – Технологічна схема припаювання твердосплавної ріжучої пластини до державки токарного різця

3.8 Порядок оформлення звіту

Мета роботи. Описати технологію припаювання порошкової твердосплавної пластики до державки токарного різця. Навести ескіз.

Зробити висновки в якому навести головні фактори, що можуть впливати на міцність паяного з'єднання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бялік О.М., Черненко В.С. Металознавство: підручник. К.: Політехніка, 2002. 384 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навч. посібник. Київ: Либідь, 2002. 382 с.
3. Солнцев Ю.П., Беліков С.Б., Волчок І.П., Шейко С.П. Спеціальні конструкційні матеріали: підручник. Запоріжжя: «ВАЛПІС-ПОЛІГРАФ», 2010. 536 с.
4. Цыркин А.В., Михайлов А.Н., Петров М.Г., Головятинский В.В. Формирование структуры и свойств порошковых материалов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. 162 с.
5. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико та ін. Кіровоград: КОД, 2015. 168 с.