

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Ремонт та відновлення деталей відповідального
призначення» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»
освітня програма «Технології та устаткування зварювання» всіх форм
навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Ремонт та відновлення деталей відповідального призначення» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Технології та устаткування зварювання» всіх форм навчання / Укл.: О.В. Овчинников, — Запоріжжя, ЗНТУ, 2018 – 42с.

Укладач: О.В. Овчинников, проф., д.т.н.
Рецензент: О.Г. Биковський, проф., д.т.н.
Відповідальний за випуск: О.В. Овчинников, проф., д.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 4 від 25.10.2018 р.

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 3 від 20.11.2018р.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	4
ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	4
Лабораторна робота №1 Класифікація видів ушкоджень деталей відповідального призначення (ДВП).	5
Лабораторна робота №2 Вивчення закономірностей втомного руйнування ДВП.	11
Лабораторна робота №3 Відновлення деталей із застосуванням методів зварювання шляхом формування структури зварних швів.	21
Лабораторна робота №4 Відновлення деталей із застосуванням адитивних технологій на основі зварювальних процесів	26
Лабораторна робота №5 Термічна обробка ДВП після ремонту з застосуванням вакуумного обладнання.	32
Рекомендована література	39
Додаток А	41

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Перед виконанням лабораторної роботи студент зобов'язаний вивчити описання лабораторної роботи, усвідомити методику і порядок її виконання, ознайомитися з лабораторним обладнанням.

У процесі лабораторної роботи студент повинен дотримуватися порядку виконання етапів, зазначеного в технічному описі. Результати вимірювань студентам необхідно заносити в робочий зошит, спеціально відведений для виконання всіх лабораторних робіт за курсом. Закінчивши вимірювання, студент повинен проаналізувати отримані результати, зробити висновки по роботі і при необхідності, запропонувати рекомендації. Робота вважається виконаною, коли вона перевірена і підписана викладачем.

Порядок оформлення звіту і його зміст наведено в кінці кожної лабораторної роботи. Захист лабораторної роботи проводиться в індивідуальному порядку. Не допускаються до захисту роботи, незавершені, або які містять принципово невірні результати.

ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії.

Включати живлення обладнання лабораторних установок, приладів тільки з дозволу викладача або технічного персоналу лабораторії.

Після закінчення роботи необхідно вимкнути живлення приладів і обладнання і привести в порядок робоче місце.

Лабораторна робота №1

КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ УШКОДЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (ДВП)

1.1 Мета роботи

Ознайомитися з основними видами пошкоджень деталей, що виникають в процесі експлуатації і причинами їх появи, дати оцінку шкідливих процесів ДВП та розробити маршрутну карту ремонту з застосуванням методів зварювання.

1.2 Загальні відомості

Пошкодження деталей поділяють на три групи: знос, механічні пошкодження (тріщини, пробоїни, викришування, поломки і обломи, вигини, вм'ятини і скручування) та хіміко-теплові пошкодження (викривлення, корозія, раковини, електроерозійне руйнування).

Деякі деталі газотурбінних двигунів (ГТД) мають кілька робочих поверхонь, що працюють в різних умовах. Найбільш зношувані поверхні або з найбільш ймовірною ознакою руйнування ці поверхні відносять до групи, по якій лімітується термін служби деталі.

Зношування - це процес руйнування поверхневих шарів при терті, що приводить до зміни розмірів, форми і стану сполучених поверхонь деталей. На процес зношування впливають величина та характер навантаження, стан поверхні, швидкості відносного переміщення та ін.

З багатьох видів зношування при терті найбільш характерними для конструктивних елементів АТ є: абразивний, гідрогазоабразивний, окислювальний, ерозійний, втомний знос і знос при фреттинг-корозії.

Втома матеріалу - це процес поступового накопичення пошкоджень в матеріалі КЕ під впливом змінних в часі напружень. При втомі протікають незворотні зміни властивостей матеріалу, які

призводять до зародження, розвитку тріщин і руйнування деталей. Більшість деталей (лопатки, диски, вали та ін.) працюють в умовах циклічного навантаження. Небезпечні руйнування в умовах експлуатації часто пов'язані з втомою, в тому числі і малоцикловою. Тому втома є одним з основних факторів, що обмежують ресурс ДВП. Під термічною втомою розуміють появу тріщин і зруйнування при дії циклічних термічних напружень. Загальною причиною появи термічних напружень є перешкоди термічному розширенню або стиску деталі при зміні температури. У нерівномірно нагрітих деталях термічні напруги виникають внаслідок градієнту температури по перетину, так як вільному розширенню більш нагрітих ділянок будуть перешкоджати менш нагріті. При рівномірному нагріві або охолодженні в одній деталі можуть виникнути термічні напруги, якщо є перешкоди вільної зміни його розмірів зі сторони інших деталей.

Циклічні термічні напруги виникають в деталях, в процесі експлуатації при дії багаторазово повторюваних нагрівів і охолоджень (теплозмін). Тріщини термічної втоми з'являються після деякої кількості теплозмін, що залежить від фізико-механічних характеристик матеріалу і умов роботи деталі (максимальна і мінімальна температури роботи, швидкості нагріву і охолодження і т.д.). Термічна втома матеріалу проявляється в деталях, які за час експлуатації зазнають велику кількість запусків і зупинок двигуна, що супроводжуються інтенсивним нагріванням і охолодженням деталей.

Умови роботи соплових і робочих лопаток турбін, жарових труб камер згоряння при запусках і зупинках двигунів характеризуються високими швидкостями нагрівання й охолодження (наприклад, для лопаток 60 ... 90 градус / с) і нерівномірністю нагріву різних частин, що призводить до появи тріщин термічної втоми. На лопатках тріщини виникають в основному на вихідний і вхідний краяхах, які нагріваються і охолоджуються з найбільшою швидкістю. Термічна втома є однією з основних причин, що викликають викривлення і тріщини у компенсаційних і дозуючих отворів жарових труб камер згоряння ГТД.

Зміна форми або розмірів деталей і вузлів АТ може відбуватися крім зносу, в зв'язку з виникненням залишкових напружень і деформацій, структурних і об'ємних змін в матеріалах. Це відбувається в основному через вплив силових і теплових навантажень. При перевантаженнях конструкції або частих

теплозінах може статися спотворення геометричних характеристик (розмірів, форми) деталей, вузлів. Це призводить до появи залишкової деформації - «викривлення», витяжці, наклепу. Зміна форми і геометрії відбувається внаслідок місцевих пластичних деформацій і перерозподілу напружень в матеріалі деталей при їх роботі.

Ерозія - це процес поверхневого руйнування деталі під впливом зовнішнього середовища. Ерозія металів відбувається при обтіканні виробів потоком твердих, рідких або газоподібних частинок або при електричних розрядах. Внаслідок ударів о поверхневий шар металу найдрібніші частинки потоку руйнують поверхневий шар деталі. Характер ерозійного руйнування поверхні дуже різноманітний. На поверхні металу є поздовжні борозенки різної форми і розмірів, орієнтовані, як правило, в напрямку потоку, можуть з'являтися вогнища округлої форми, якщо потік рухається перпендикулярно до поверхні. Залежно від співвідношення розмірів деталі і впливу потоку відбувається або рівномірне здування найдрібніших частинок з поверхні металу або явно виражене локальне руйнування поверхні.

Розрізняють такі види ерозії: газову, кавітаційну, абразивну і електричну.

Під газової ерозією розуміють руйнування металів під дією механічних і теплових сил газових молекул; кавітаційна ерозія викликається дією парогазових бульбашок і крапельок рідини; абразивна ерозія проявляється при впливі на матеріал дрібних частинок підвищеної твердості, а електрична ерозія являє собою руйнування металу електричними розрядами.

Найпоширенішим видом ерозійного руйнування деталей є газова ерозія. До неї схильні робочі і соплові лопатки газових турбін, жарові труби камер згоряння, силові стійки і деталі газозбірників, елементи подовжувальних труб, форсажних камер, соплових вуст-влаштування, систем реверсу тяги і шумоглушіння сучасних ГТД. Для поршневих АТ характерною є газова ерозія вихлопних патрубків, клапанів газорозподілу і їх сідел.

Ерозійне руйнування становить істотну частину зносу поршневих кілець, поршня і дзеркала циліндра.

Кавітаційній ерозії піддаються деталі паливних, гідравлічних і масляних насосів, запірні пристрої в трубопроводах і т.д. Кавітаційний знос є наслідком механічних ударів, які виникають при швидкому «схлопуванні» (знищенні) парогазових кавітаційних пухирів, що

потрапляють в область більш високих тисків, а також механічних ударів крапель рідини о поверхню деталі.

Абразивно-ерозійне руйнування поверхні має багато спільного з руйнуванням від тертя або абразивним зношуванням. Однак ерозію від зношування тертям в разі абразивного руйнування відрізняють по тому, як «закріплена» діюча частка. Якщо вона закріплена нерухомо, стаціонарно (наприклад, на наждачній шкірці або абразивному колі), то при її впливі на метал відбувається руйнування від тертя. Якщо ж частка знаходиться в підвішеному рухомому стані в струмені газу або рідини і впливає спільно з середовищем-носієм на поверхню матеріалу, то спостерігається процес абразивно-ерозійного руйнування.

Абразивно-ерозійне зношування характерно для гільз циліндрів, вузлів нагнітачів і карбюраторів поршневих АТ, а також для деталей повітрезбірників і компресорів вертолітних ГТД. Розподіл довговічності КЕ при абразивно-ерозійному зношуванні в ряді випадків відповідає нормальному закону.

Корозією називається руйнування металів і сплавів внаслідок електрохімічного впливу на них зовнішнього середовища. Корозія насамперед зменшує міцність деталі.

Існує кілька способів класифікації корозії за характером: зовнішнього середовища, зовнішнього прояву і фізико-хімічних явищ взаємодії металу та середовища.

Характер зовнішнього середовища визначає наступні види корозії:

атмосферну - їй піддаються відкриті частини ДВП, які знаходяться в безпосередньому зіткненні з атмосферою, при дії на них опадів, туману, а також вологого повітря, забрудненого пилом і газами;

рідинну - тобто корозію деталей і агрегатів гідравлічної, масляної і паливної систем;

газову - яка представляє собою руйнування під впливом третього впливу гарячих газів (прогоряння камер згоряння, окислення робочих і соплових лопаток.

За характером зовнішнього прояву може бути:

а) рівномірна загальна корозія - найменш небезпечний повільно протікаючий процес;

б) місцева корозія, при якій ураженими виявляються окремі

ділянки поверхні деталі, зазвичай при цьому корозійні процеси виникають в певних центрах (осередках) корозії і поступово розвиваються в міру подальшого впливу середовища;

в) міжкристалічна корозія, в цьому випадку корозія поширилася по межах кристалів металу, самі зерна при цьому майже не руйнуються;

г) інтеркристалічна корозія, тобто корозія по певним кристалографічним напруженням через окремі кристали.

Останні два типи корозії небезпечні тим, що деталь може зруйнуватися при дуже малій по масі кількості продуктів корозії. Необхідною умовою для розвитку корозії є наявність неоднорідності в стані поверхні металу. Міжкристалічна і інтеркристалічна корозія спостерігається, як правило, при наявності яких-небудь змін поблизу границь зерен або у напрямку ліній ковзання в кристалах, наприклад, при виділенні нових фаз.

1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1.3.1 Основні види пошкоджень деталей відповідального призначення.

1.3.2 Що таке ерозія? Які види ерозії розрізняють.

1.3.3 Що таке корозія, які види корозії є найбільш небезпечними.

1.3.4 До чого призводить втома матеріалу.

1.3.5 Як лімітується термін служби деталі при одночасній дії декількох шкідливих процесів.

1.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

1.4.1. Деталі з пошкодженням:

-вал з втомним руйнуванням;

- насос масляний із зношенням ротору та корпусу;

- пластина з втомною тріщиною;
 - короб (тара) для термічної обробки деталей з корозійними пошкодженнями;
 - втулка вала із зносом;
 - шків з внутрішньою вироботкою від вала.
- 1.4.2. Обладнання:
- штангенциркуль;
 - мікрометр;
 - лупа.

1.5 Порядок проведення лабораторної роботи

1.5.1 Вивчити теоретичні відомості про види ушкоджень ДВП, їх класифікацію, особливості виникнення і прояву, види шкідливих процесів, умови їх виникнення та фізичну сутність.

1.5.2 Описати умови роботи заданих викладачем деталей (експлуатаційні, температура, навантаження, середа).

1.5.3 Проаналізувати стан деталей, дати якісну та кількісну оцінку дефектів і виконати класифікацію ушкоджень.

1.5.4 Описати причину виникнення пошкодження і вибрати методи її відновлення і попередження, розробити маршрутну карту ремонту.

1.6 Зміст звіту

Звіт повинен містити мету і завдання роботи, короткі теоретичні відомості про види пошкодження деталей, опис умов роботи досліджуваних деталей, класифікацію пошкоджень, причину їх виникнення, ескіз деталі, характеристику шкідливого процесу та фізичного явища всього процесу, вибір метода ремонту на основі процесів зварювання, маршрутну карту у вигляді блок схеми.

Висновки містять причини виникнення дефектів, визначення шкідливих процесів, обґрунтований вибір методу ремонту, а саме

технологію зварювання та оцінку економічної доцільності ремонту деталі.

1.7 Рекомендована література

1. [1],[2].

Лабораторна робота №2 ВИВЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ ДВП

2.1 Мета роботи

Вивчити закономірності пошкоджень і руйнування деталей від втоми з урахуванням впливу конструктивно-технічних і експлуатаційних факторів та вибрати технології ремонту методами зварювання. Оцінити вплив різних методів механічної обробки пазів диска компресора високого тиску після різних методів механічної обробки.

2.2 Загальні відомості

Значна кількість деталей авіаційного двигуна, такі як робочі лопатки, диски, вали і т.д., працює в умовах повторно-змінного (циклічного) навантаження. Повторювані навантаження призводять до накопичення в матеріалі незворотних змін, пов'язаних про виникненням і розвитком втомних тріщин. Зі збільшенням часу експлуатації втомні тріщини можуть призвести до раптового руйнування. У зв'язку з цим виявлення втомних пошкоджень і визначення ступеня їх небезпеки при дефектації деталей вузлів АД є

важливою, актуальною задачею.

Інтенсивність накопичення втомних пошкоджень і розвитку тріщин втоми залежить від величезної кількості чинників. До них відносяться: механічні властивості матеріалу деталі, розміри деталі, конструктивні особливості (наявність концентраторів напружень, галтелів т.д.), стан поверхневих шарів (висота мікронерівностей, наявність залишкових напружень), умови роботи (температура, корозійно-активні середовища), вид навантаження (розтяг, стиск, вигин, крутіння), періодичність (частота) прикладання навантаження, зміна навантаження в часі і т.д.

Станом поверхні слід приділяти особливу увагу при розгляді питань циклічної міцності деталей АТ. Останнім часом широке поширення знаходять методи вимірювання фізико-механічних властивостей поверхні деталей з метою оптимізації функціональних показників і збільшення ресурсу. Широко застосовуються для відновлення розмірів деталей при ремонті газотермічні і електролітичні покриття. При цьому змінюються фізико-механічні властивості поверхні, що приводить до зміни характеристик циклічної міцності. Відомо, що більшість покриттів, підвищуючи зносостійкість поверхні, погіршують втомні характеристики. Для зменшення цього впливу використовуються різні методи зміцнюючої обробки перед нанесенням покриттів на відновлювані виготовлені деталі та остаточної обробки після їх нанесення. Зміцнююча обробка поверхнево-пластичним деформуванням (ППД) - обкатка роликми, діамантове вигладжування і т.д., зменшуючи висоту мікронерівностей і підвищуючи мікротвердість, для створення більш однорідною за механічними властивостями поверхні, схильної до впливу, що стискають залишкові напруження, дозволяє значно поліпшити втомні властивості матеріалу деталей.

Поєднання багатьох факторів призводить до зміни інтенсивності протікання втомного процесу і різного ступеня втрати працездатності виробів під дією циклічних навантажень. У ряді випадків втомні пошкодження (тріщини втоми) можуть мати заповільний розвиток, інколи їх розвиток має бути повністю призупинено.

У більшості випадків, як правило, деталі з виявленими втомними тріщинами бракуються, тобто не підлягають ремонту, що пов'язано з небезпекою раптового руйнування, так як до теперішнього часу відсутні належні методи оцінки ступеня втомного пошкодження і

визначення працездатності деталі з втомної тріщиною.

Різновидом втомного пошкодження є пошкодження поверхні при контактній взаємодії (втомні вищерблення, втомний знос). Цей вид пошкодження поверхні характерний для шарикопідшипників, зубів шестерень. В результаті часто повторюваних контактних навантажень в поверхневих шарах матеріалу з'являються втомні тріщини, які в подальшому призводять до викришування матеріалу. Процес руйнування поверхні дещо відрізняється від об'ємного руйнування при втомі, проте обом видам руйнування притаманні загальні закономірності.

Причиною втомного руйнування є накопичення незворотних змін кристалічної решітки матеріалу під впливом циклічних навантажень.

Незворотні зміни накопичуються внаслідок протікання мікропластичного деформування від зовнішніх навантажень. Причому, мікропластичні деформування відбуваються при напрузі нижче межі текучості і навіть нижче межі пружності матеріалу. Межа витривалості може бути як вище, так і нижче межі текучості і пружності.

Причиною мікропластичного деформування є рух і розмноження (збільшення щільності) дефектів кристалічної решітки у вигляді дислокацій, вакансій, впроваджених атомів. Мікропластичне деформування охоплює поверхню матеріалу і протікає неоднорідно. В першу чергу воно охоплює окремі зерна або, навіть, ділянки зерен. Сліди мікропластичного деформування спостерігаються на поверхні матеріалу спочатку у вигляді окремих ліній ковзання (зсуву), потім по-статечно поглиблюються і розширюються. Поступово вони перетинають кордони зерен, об'єднуються і утворюють тріщину, що приводить до руйнуванню. Однак при напруженнях, рівних межі витривалості, значна частина поверхні матеріалу не пошкоджена лініями ковзання. При напрузі нижче межі витривалості лінії ковзання, що утворилися в різних зернах, не перетинають їх кордонів.

Лінії ковзання є ланцюжок дислокацій. У міру розширення і поглиблення ліній вони перетворюються в смуги, де щільність дислокацій збільшується. Зі збільшенням кількості циклів деформацій в розпушених смугах ковзання виявляються мікротріщини.

Процес розвитку мікротріщини, що призводить до руйнування, починається з об'єднання мікротріщин. Спочатку розвиток

магістральної тріщини йде повільно, починаючи з певної довжини, швидкість розвитку тріщини різко збільшується.

Втомний злам виявляє три характерних зони: крихкого руйнування, в'язкого руйнування і доломіт. Розвиток тріщини носить стрибкоподібний характер, експериментальним підтвердженням цього є сходинок-борозни на втомному зламі.

Експериментальні дослідження на витривалість проводяться на спеціально сконструйованих втомних машинах. Як об'єкти проходження використовуються зразки, спеціальної форми і розмірів. Приміняються і натурні випробування на реальних деталях. За результатами випробувань відповідно до ГОСТ 25.502-79 будується крива втоми. Випробування зазвичай проводять до деякого граничного числа циклів навантаження, названого базою випробувань - 107 циклів. Для лопаток ГТД і зразків, з жароміцних сплавів, база випробувань зазвичай становить 2.

Результати випробувань представляють графічно, у вигляді втомних кривих (рис.2.1). По горизонталі відкладають руйнівне число циклів N (зазвичай за логарифмічною шкалою), а по вертикалі - відповідно максимальну напругу циклу або його амплітуду.

За знайденими досвідченими точками шляхом математичного середнього проводять криву, яка називається кривою втоми або кривою Веллера. За кривою втоми визначають межу витривалості партії зразків (або натурних деталей ГТД) як найбільшу напругу циклу, що зразок витримає при як завгодно великому числі циклів.

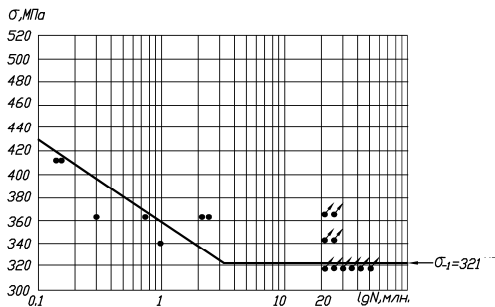


Рисунок 2.1 - Крива втом

Аналіз і обробка експериментальних даних із застосуванням чутливих методів дослідження дозволяють розглянути наступні періоди втоми.

I період - інкубаційний, пов'язаний з накопиченням спотворень кристалічної решітки. Цей період характеризується відсутністю грубих полос ковзання і порушень суцільності металу (відсутність субмікроскопічних тріщин). У цей період спостерігається збільшення щільності дислокацій в локальних обсягах металу до критичної величини, що призводить до підвищення мікротвердості і межі текучості при одночасному зниженні модуля пружності.

II період - період розпушення, пов'язаний з появою порушень суцільності металу, тобто із зародженням та розвитком субмікроскопічних тріщин до мікроскопічних розмірів. У цей період поряд з падінням мікротвердості (нижче вихідного значення) спостерігається помітне зниження і інших механічних властивостей, а також подальше зниження модуля упругості. Мікроструктурна картина цього періоду характеризується розвитком в окремих зернах металу грубих смуг ковзання (рис.2.2).

Стадія розпушення, що є періодом накопичення пошкоджуваності металу, на певному етапі змінюється стадією власне-втомного руйнування, тобто настає III період - розвитку мікротріщин до макротріщин критичного розміру.

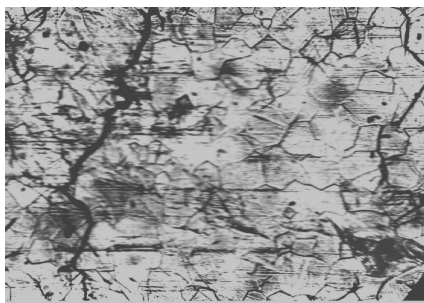


Рисунок 2.2 - Розвиток тріщин по структурним складовим

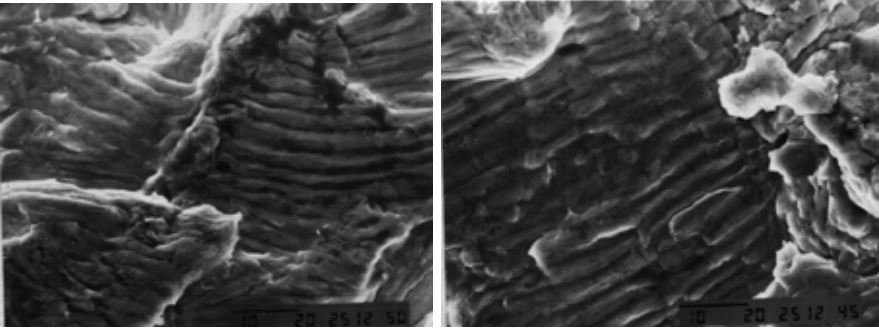
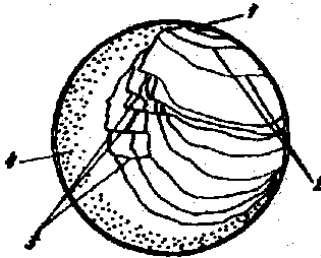


Рисунок 2.3 - Фрактограми зламів зразків після втомних випробувань

Будова втомних зламів. Значне місце при дослідженні втоми, а також для встановлення причини руйнування деталей, приділяється вивченню зламів зруйнованих об'єктів (фрактографічний метод дослідження). Дослідження розвитку тріщин, що призводять до руйнування зразків показують, що при досить великій кількості циклів руйнування втомний злам виявляє чотири характерні зони (рис. 2.4): зона 1 - вогнищева зона; 2 - зона розвитку тріщини в умовах плоско-напруженого стану (зона вузького руйнування); 3 - зона розвитку тріщини в умовах плоско деформованого стану (зона крихкого руйнування); 4 - зона доломіт.



1 - фокус (вогнище) тріщини; 2 - втомні лінії; 3 - сходишки; 4 – долом

Рисунок 2.4 - Вид втомного зламу

Втомні лінії являють собою сліди фронту просування тріщини, тому їх іноді називають лініями фронту поширення втомного зламу або зональними лініями. Часто вважають, що виникнення втомних ліній пов'язано із зупинками в розвитку тріщин, тому їх називають також лініями відпочинку.

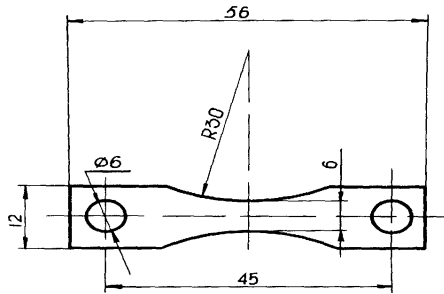
Дослідження малоциклової втоми

Малоциклову втому досліджували на установці ІП-2М конструкції Фізико-механічного інституту імені Г.В. Карпенка НАН України. Установка ІП-2М служить для випробувань плоских зразків повторно-змінним чистим вигином. Конструкція установки дозволяє проводити випробування як на повітрі, так і в різних середовищах, варіюючи, в разі необхідності, частоту навантаження і асиметрію циклу. Випробування проводили на зразках (рис. 2.4) згідно ГОСТ 25.505-85, ДСТУ 2444-94 при частоті навантаження 50 циклів / хв, по симетричному циклу з контрольованою деформацією методом «жорсткого навантаження». Такий тип навантаження дозволяє отримати більш плавний розвиток тріщини в порівнянні з випробуваннями при фіксованому навантаженні («м'яке навантаження»). Крім того, при «м'якому навантаженні» значну роль набуває SD-ефект [85], що приводить до одностороннього накопичення пластичної деформації, яка ускладнює дослідження втомних процесів. Фіксована зміна деформації дозволила більш детально реєструвати всі стадії втомного руйнування.

Відносну деформацію визначали за допомогою індикатора годинникового типу, що дозволяє вимірювати прогин зразка з точністю до 0,01 мм.

Величину радіусу максимального вигину зразка знаходили за формулою:

$$R_{\max} = \frac{a^2 + 4f^2}{8f},$$



a - відстань між опорами індикатора, мм;

f - максимальний прогин, мм.

Рисунок 2.5 - Зразок дослідження на втому на МЦВ

Відносну деформацію поверхні зразка обчислювали за формулою:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot t \cdot f}{a^2 - 4f^2 - 8tf} \cdot 100\%,$$

$$\varepsilon = \frac{t}{2 \cdot R_{cp}} \cdot 100\%,$$

де t-товщина зразка, мм;

R_{cp} - середній радіус прогину, рівний: $R_{\max} - \frac{t}{2}$, мм.

Криві малоциклової втоми будували в координатах (ДСТУ 2444-94): максимальні або амплітудні, що руйнують деформації - число циклів до руйнування. Крім визначення загальної довговічності проводили кількісну оцінку поверхневих пошкоджень. З цією метою, згідно з даними робіт Гориніна І.В. і Чечуліна Б.Б., визначали величини середньої і максимальної довжини тріщин, а також щільність пошкодження тріщинами в залежності від довговічності:

$$\rho = n / F,$$

де n - число тріщин при мінімальній довжині тріщини 25мкм;
 F - площа поверхні зразка, мм².

2.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

2.3.1 Що є причиною втомного руйнування.

2.3.2 Від чого залежить інтенсивність накопичення втомних пошкоджень.

2.3.3 Призначення зміцнюючої обробки поверхнево-пластичним деформуванням.

2.3.4 Процеси, що протікають в різні періоди втоми.

2.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

2.4.1. Мікроскоп МІМ-8;

2.4.2. Зразки , вирізані з ободної частини диска КВД авіаційного двигуна Д-36 (рис. 2.6) після різних методів технологічної обробки; фрактограми втомних зламів зразків; ГОСТ 25.502-79.

2.4.3. Зразки циліндричної форми з поверхневою тріщиною зі сталі 45 та частина валу після руйнування;

2.4.4. Зразок для циклічних випробувань плоскої форми товщиною 2 мм з титанового сплаву ВТ-1 з тріщиною та частина пластини після руйнування.

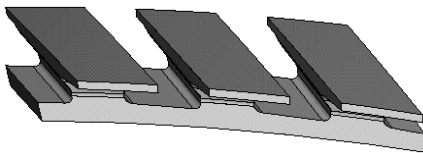


Рисунок 2.6 - Зразок для випробувань на втому з ободної частини диска КВД дв. Д-36

2.5 Порядок проведення лабораторної роботи

2.5.1 Вивчити причини руйнування деталей при дії циклічних навантажень, зміна структури і фізико-механічних властивостей, кінетику накопичення втомних пошкоджень і розвитку тріщин втоми, вплив технологічних і експлуатаційних факторів на втомні характеристики, методику проведення іспитів з втомленості, дослідження втомного процесу методом металографії і фрактографії.

2.5.2 Використовуючи методи металографії, провести дослідження поверхні зламів зразків і проаналізувати розвиток ушкоджень. Дані спостережень зарисувати. Дати короткий опис.

2.5.3 Дослідити втомні злами зразків і оцінити вид руйнування. Дані спостережень зарисувати. Дати короткий опис втомних зон зламу. Зробити необхідні висновки.

2.5.4 Розрахувати зміну максимальної довжини тріщин від кількості циклів по фрактограмі заламів (приклад у додатку)

2.6 Зміст звіту

Звіт повинен містити мету і завдання лабораторної роботи, обладнання, короткі теоретичні відомості, схему будови втомного зламу, криві втоми випробуваних зразків, результати фрактографічного аналізу зламів, опис і класифікацію видів зламів, графік залежності максимальної довжини тріщин від кількості циклів,

висновки, в яких необхідно відпрацювати вплив методу ремонту з застосуванням технології зварювання.

2.7 Рекомендована література

1. [2], [3].

Лабораторна робота №3 ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ ЗВАРЮВАННЯ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЗВАРНИХ ШВІВ

3.1 Мета роботи

Оцінити вплив складу присадкового матеріалу з різною системою модифікації на структуру зварних швів.

3.2 Загальні відомості

Зниження рівня властивостей зварних з'єднань в порівнянні з основним металом, обумовлено структурними змінами і утворенням ряду дефектів у зварному шві. Для титанових сплавів зварні з'єднання мають ряд особливостей. Гарячі тріщини в титанових сплавах не утворюються, що є наслідком плавної зміни механічних властивостей при високих температурах на відміну від сталей. Однією з основних причин цього є незначна зміна обсягу 0,13 ... 0,27% при ($\alpha \leftrightarrow \beta$) - перетворенні титану, що в кілька разів менше, ніж для сплавів на основі заліза. Поширеним дефектом є холодні тріщини, які утворюються внаслідок напруженого стану та низьку пластичність структурних складових.

Вони характерні для титанових сплавів з низькою пластичністю до 8%, а також в сплавах з підвищеним вмістом домішок. Тому для жароміцних титанових сплавів основною причиною руйнування можна назвати пористість. Причини утворення пористості різноманітні і будуть більш детально розглянуті нижче. Застосування технологічних заходів, зокрема, попереднього підігріву зварних конструкцій, призводить до збільшення зони термічного впливу, що не вирішує питання підвищення механічних властивостей зварних з'єднань в цілому. Для підвищення рівня механічних властивостей важкозварювальних титанових сплавів необхідно комплексний розгляд цієї проблеми. На підставі аналізу робіт ряду авторів, можна виділити кілька аспектів, що надають пріоритетний вплив на властивості зварних з'єднань титанових сплавів:

- вплив хімічного складу на зварюваність титану;
- вплив структурних чинників на зварюваність титанових сплавів;
- технологічні проблеми та шляхи їх вирішення.

Формування структури можливо із застосуванням спеціальних модифікаторів, які змінюють тип структури, що підвищує якість зварних з'єднань.

3.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

3.3.1 Основний дефект при зварюванні титанових сплавів, причини утворення.

3.3.2 Причини утворення пористості.

3.3.3 Міри, що попереджують утворення пор.

3.3.4 Чому в титанових сплавах не утворюються гарячі тріщини.

3.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

3.4.1 Три склади присадкового матеріалу у вигляді зварювального дроту.

3.4.2 Пластини зі сплаву ВТ-8

3.4.3 Присадковий матеріал ВТ1-0+ ітрій

3.4.4 Присадковий матеріал ВТ1-0+ бор

3.4.5 Присадковий матеріал ВТ1-0+ лантан

3.4.6 Шліфи зварних з'єднань, виконані у місті зварного шва.

3.4.7 Живильник зварювальний постійного струму

3.4.8 Мікроскоп МИ-8

3.4.9 Окуляр з лінійкою

3.4.10 Каталог мікроструктур (Додаток 1)

3.5 Порядок проведення лабораторної роботи

Зварні з'єднання отримували методом аргонодугового зварювання (АДЗ) не плавильними електродами, з присадкою. Роботи проводили на попередньо очищеному аргоні при тиску 0,02МПа (0,2 атм).

Режим зварювання зразків:

– діаметр присадки 1,8 – 2 мм;

– $I_{зв.} = 180$ А;

– $U_{зв.} = 10$ В;

– $V_{зв.} = 0,24$ м/хв;

– діаметр неплавкого електрода 1,8 мм.

Зварювання вели на однакових режимах, що дозволило виключити вплив режимів зварювання на властивості з'єднання. Перед зварюванням робили обробку крайок, після зварювання посилення шва знімали (рис. 3.1) відповідно до вимог ГОСТ 6996-66.

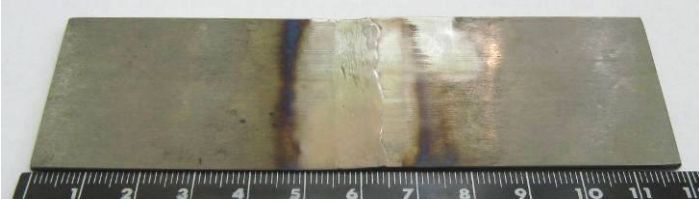


Рисунок 3.1 – Зварна пластина з $\alpha+\beta$ -титанових сплавів, отриманих методом АДЗ з присадками

Для виготовлення зразків під випробування на статичний розтяг методом АДЗ зварювали пластини з похідними планками товщиною 2 мм, шириною 60 мм, які розрізали уздовж на стрічки шириною 15 мм так, щоб зварений шов знаходився по центру робочої частини зразка відповідно до вимог ГОСТ 6996 - 66 (рис. 3.2).

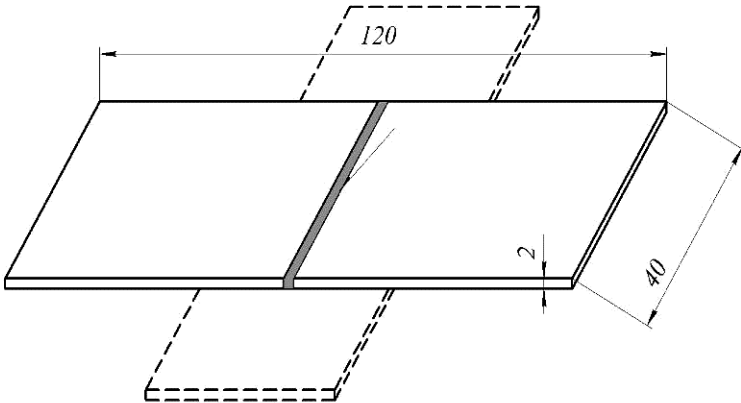


Рисунок 3.2 - Ескіз зварного зразка з похідними планками, виконаного методом АДЗ.

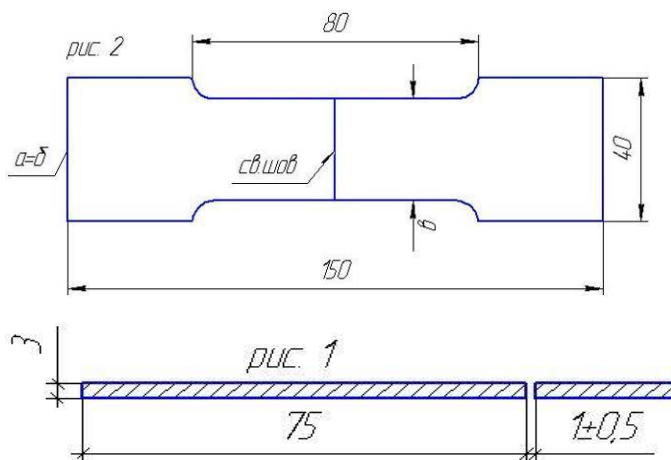


Рисунок 3.3 – Зразки зварні зі сплаву grade2 для АДЗ з присадкой (ГОСТ 6996-66).

Механічні випробування проводилися на універсальній розривній машині УММ-50 зав. №117 (держ. перевірка дійсна). Зусилля розриву $P = 1920$ кгс.

Контроль якості зварних з'єднань проводили неруйнівним методом контролю з метою виявлення невидимих або слабо видимих неозброєним оком дефектів типу несущільності в зварних з'єднаннях з титанових сплавів. Застосовувався капілярний контроль люмінесцентним методом ЛЮМ1-ОВ і дефектоскопія кольоровим методом ЦМ15 - В.

Клас чутливості контролю, методом ЛЮМ1-ОВ, згідно ДСТУ 12706 (Якість продукції. Неруйнівний контроль. Капілярні методи.) І ДСТУ EN571-1-2001 (Неруйнівний. Капілярної методи. Загальні вимоги) - перший, особливо високий, виявляє дефекти з мінімальним розкриттям біля виходу на поверхню (менше 1 мкм).

Суть методу ЛЮМ1-ОВ полягала в наступному: на очищену поверхню наносився шар проникаючої рідини (індикаторного пенетранта). Під впливом капілярних сил пенетрант проникав в поверхневі дефекти і утримувався в них. Через певний проміжок часу, необхідний для заповнення дефектів, пенетрант віддалявся з поверхні

деталі очищувачем (при цьому частина його залишалася в дефекті). Під дією проявника, який наноситься на поверхню, за рахунок дифузійних процесів індикаторний пенетрант витягувався з дефекту, утворюючи слід, чітко видимий в ультрафіолетовому світлі.

Контроль ЛЮМ1-ОВ проводили із застосуванням індикаторного пенетранта ЛШ-6А, очищає рідину - водний розчин неонола АФ9-12, концентрація розчину 20 г / л, Проявник ПР-1 - по ТУ 6-09-11-2163 (в'язкість проявника 14 одиниць). Шорсткість поверхні зразків становила не нижче R a 3,2 мкм, відповідно до вимог ГОСТ 2789-73. Огляд під лампою з УФС випромінюванням проводили з освітленістю не більше 10 люкс.

3.6 Зміст звіту

Розрахувати кількість зерен у зварному шві, оцінити їх розмір, визначити тип структури, зробити висновки та дати кількісну та якісну оцінку макроструктури у присадочних матеріалах.

3.7 Рекомендована література

1. [3], [4].

Лабораторна робота №4 ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

4.1 Мета роботи

Вивчити вплив адитивних технологій на основі зварювальних процесів методами ЕЛС та ЛС.

4.2 Загальні відомості

Адитивні технології (АТ) отримали широке комерційне і промислове поширення для виготовлення високоміцних об'ємних виробів з металевих порошків. Для цих цілей переважно застосовують технології виборчого лазерного плавлення (Selective Laser Melting - SLM), що забезпечує формування виробів шляхом сплавлення порошку металів лазерним променем в середовищі захисного газу і технології електронно-променевого плавлення (Electron Beam Melting - EBM) - формування виробів шляхом сплавлення порошку металів електронним променем у вакуумній камері.

В останнє десятиліття широке комерційне і промислове поширення набули адитивні технології виготовлення високоміцних об'ємних виробів з металевих порошків. Для цих цілей переважно застосовують технології виборчого лазерного плавлення (Selective Laser Melting - SLM), що забезпечує формування виробів шляхом сплавлення порошку металів лазерним променем в середовищі захисного газу, і технології електронно-променевого плавлення (Electron Beam Melting - EBM) - формування виробів шляхом сплавлення порошку металів електронним променем у вакуумній камері.

Титан є хімічно - активним металом. Електронно-променеві

технології у вакуумній камері забезпечують надійний захист розплавленого металу, що остигає, тому представляються найбільш перспективними для розробки технології безпосереднього створення металевих виробів з титану методами 3D наплавлення.

Для промислових підприємств вітчизняного машинобудування (АТ «Мотор-Січ», ДП НВКГ "Зоря-Машпроект", ДП ЛРЗ "Мотор") для виготовлення і ремонту деталей газотурбінних двигунів (ГТД) актуальні завдання вирощування виробів із застосуванням порошкових матеріалів з титанових сплавів.

Серійного випуску для цих цілей установок вітчизняної розробки не існує. Зарубіжні виробники поставляють технологію «під ключ», що не забезпечує гнучкості виробництва з можливістю заміни сировини на аналоги. Таким чином, у вітчизняній промисловості склалася проблема імпортозаміщення та сировинного забезпечення обладнання для адитивного виробництва. Основними стримуючими факторами промислового розвитку адитивних технологій для виготовлення і ремонту деталей ГТД в Україні є висока вартість порошків.

Перспективним є застосування вітчизняних порошків титанових сплавів. ДП «ГНПІ Інститут титану» спільно з НДЦ «Титан Запоріжжя» пропонує інноваційну технологію виробництва порошків титану низької собівартості методом гідрування-дегідрування з титану губчастого або інших титанвмісних матеріалів, різної якості і фракційного складу.

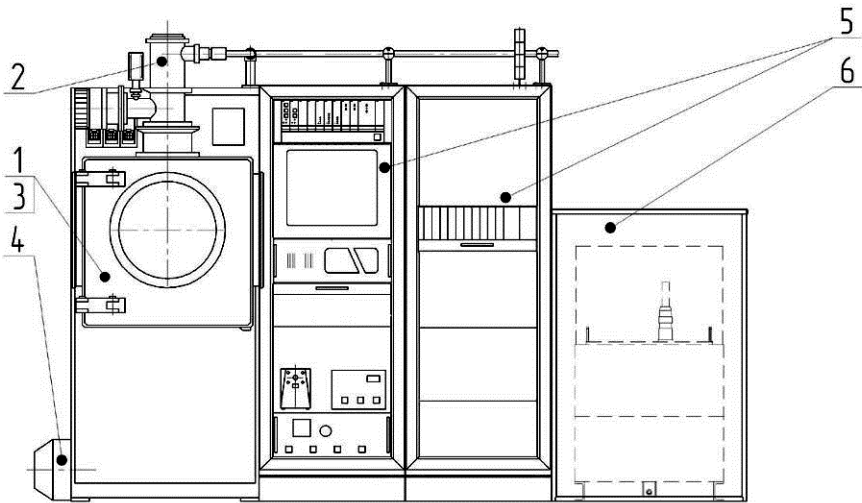
Метою цієї роботи є вивчення можливості застосування порошків титанових сплавів вітчизняного виробництва для виготовлення виробів заданої форми методом адитивної електронно-променевої плавки.

Для виготовлення виробів застосовувався порошок з гідрованого губчастого титанового сплаву ВТ1-0, наданий НДЦ «Титан Запоріжжя».

Матеріали і методика досліджень. Роботи виконували на малогабаритній установці електронно-променевого зварювання (ЕЛС) типу СВ-212М з імпульсним джерелом живлення 60кВ / 60кВт, електронно-променевої гарматою типу ЕЛА-60 і пакетом прикладних програм для ЕЛС. Устаткування і програмне забезпечення розроблене в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона.

Загальний вигляд обладнання представлений на рис. 4.1

Установка складається з малогабаритної вакуумної камери (поз.1), в якій встановлено пересувний стіл із закріпленим оснащенням для «виросування» виробів (поз. 3). На вакуумній камері розташована електронно-променева гармата (поз.2). Вакуумна система установки (поз.4) забезпечує величину вакууму в камері менше 10-4Торр. У шафах управління (поз.5) знаходяться промисловий комп'ютер, монітор, блоки управління високовольтним джерелом і вакуумною системою. Високовольтне джерело (поз.6) дозволяє отримати регульовану напругу до 65 кВ і струм пучка до 1 А.



1 - вакуумна камера; 2 - електронно-променева гармата; 3 - розташована у вакуумній камері оснащення для виготовлення виробу; 4 - вакуумна система; 5 - шафи управління; 6 - високовольтне джерело живлення.

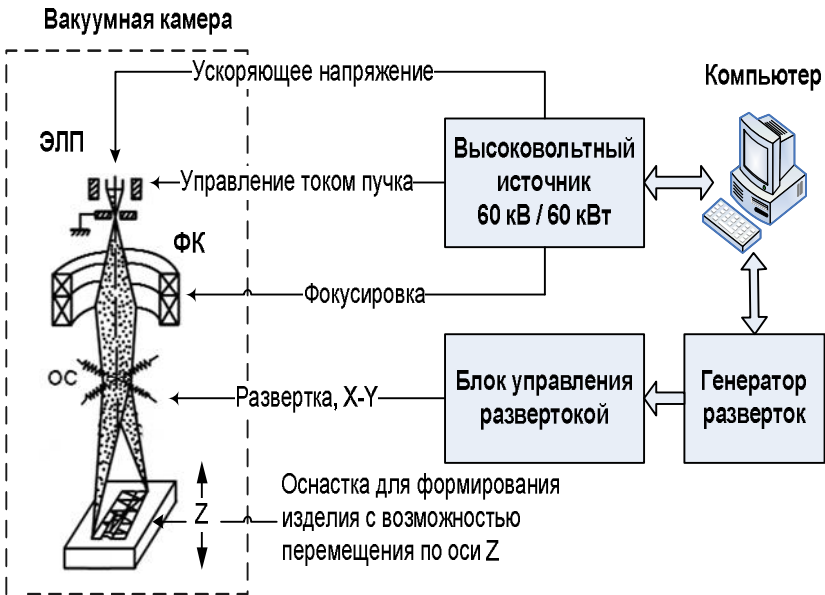
Рисунок 4.1 - Загальний вигляд установки СВ-212м

Блок-схема обладнання для адитивного електронно-променевого наплавлення представлена на рис. 5.2.

Пучок електронів, необхідний для нагрівання поверхні з нанесеним металевим порошком, формується в електронно-

променевої гарматі (ЕЛП), яка живиться від високовольтного джерела. Управляє джерелом промисловий комп'ютер. До складу джерела входять системи управління фокусуванням і струмом пучка.

Для формування зони плавлення використаний генератор розгортки, що створює сигнали управління розгорткою. У блоці управління розгорткою ці сигнали посилюються і надходять на котушки, що відхиляють електронно-променевою гармату. Пучок електронів відхиляється по осях X і Y і створює зону плавлення заданої форми. Процес виконується за програмою відповідно до технологічних режимів. Об'єктами управління є струм пучка, струм фокусування, відхилення пучка по осях X і Y.



ЕЛП - електронно-променева гармата, ФК - фокусуються котушка ЕЛП, ОС - система, що відхиляє ЕЛП.

Рисунок 4.2. - Блок-схема обладнання для адитивної електронно-променевого плавлення

4.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

4.3.1 Сутність адитивних технологій.

4.3.2 Чому при виробництві деталей з титану важливу роль відіграє середовище.

4.3.3 Принцип дії установки СВ-212м.

4.3.4 Фактори низького рівня промислового розвитку адитивних технологій.

4.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

Мікротвердомір, мікроскоп, зразки, отримані двома адитивними методами зварювання з різних фракцій порошків титану BT20 фракцій -150+120 мкм, -120+80мкм, -80+63мкм.

4.5 Порядок проведення лабораторної роботи

На шліфах зразків сплавів BT20, отриманих з двох фракцій, провести оцінку товщини шару, розміру структурних складових, кількість дефектів.

4.6 Зміст звіту

Розробити ескіз зразків, ескіз структури, таблицю залежностей наплавленого шару металу від фракційного складу порошку.

4.7 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. [5], [7].

Лабораторна робота №5 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДВП ПІСЛЯ РЕМОНТУ З ЗАСТОСУВАННЯМ ВАКУУМНОГО ОБЛАДНАННЯ

5.1 Мета роботи

Ознайомитися з термічною обробкою відповідальних деталей після ремонту із застосуванням вакуумних печей.

Вивчити будову та принцип роботи електричної вакуумної печі СНВЕ-1.3.1 / 16. Провести в печі спікання зразків з твердого сплаву ВК8 (WC - 92%, Co - 8%).

5.2 Загальні відомості

Електропіч СНВЕ-1.3.1 / 16 призначена для проведення різних термічних процесів (відпалу, дегазації, спікання і т.п.) у вакуумі при температурі до 1600°C і невеликого газовиділення, при яких не відбувається взаємодії середовища залишкових газів з нагрівачами, теплоізоляцією і інших елементів конструкції. Допускається робота в середовищі нейтральних газів підвищеної чистоти при надмірному тиску не більше 0,02 МПа (0,2 кгс / см²).

Робоча температура визначається в залежності від температури плавлення, фазових перетворень оброблюваного матеріалу, виду термічних операцій. Електропіч може застосовуватися в електронній, радіотехнічній, електротехнічній, авіаційній та інших галузях промисловості.

В електропечі не рекомендується:

- а) проводити технологічні процеси у вуглецевих і окислювальних

атмосферах, в атмосфері газів технічної чистоти;

б) нагрівати вугільні і графітові вироби;

в) нагрівати вироби, що містять кислоти (або їх кислотні залишки), луги та ін. елементи, котрі вступають в реакцію з вуглецевої або нержавіючої сталлю, молібденом і міддю.

Робоча зона електропечі з боків і з обох торців оточена 6-ю W-образними нагрівачами з вольфрамового дроту діаметром 6 мм, що утворюють однофазну систему з двох паралельно включених груп. Відігнуті кінці бічних нагрівачів проходять через отвори в екранах і вставляються в отвори молібденових перехідних втулок, вкручених в мідні пластини струмоподводів. Під дією власної ваги, нагрівач утримується на місці і між ним і струмоподводом утворюється електричний точковий контакт. Такий спосіб установки нагрівачів полегшує монтаж і ремонт електропечі. Торцеві нагрівачі виконані поворотними для забезпечення установки садки в камеру. У піднятому положенні вони фіксуються спеціальними гачками, встановленими на каркасі бокового екрану. Операції завантаження-вивантаження садки можуть проводитися з обох торців камери нагрівальної.

Вакуумна система складається з:

а) дифузійного паромасляного насоса Н-250/2500;

б) механічних насосів 2НВР-5ДМ;

в) вакуумного затвора з електромеханічним приводом;

г) чотирьох вакуумних запірних сильфонних вентилів;

д) двох натекателем.

Для вимірювання залишкового тиску в електропечі застосовується вакуумметр ВІТ-3П, який має вихідний канал для запису тиску. Датчиками вакуумметра є манометричні перетворювачі: термпарний ПМТ-2 і іонізаційний ПМИ-2. Для вимірювання надлишкового тиску нейтрального газу на електропечі встановлені електроконтактні мановакуумметри ЕКМВ-1У.

Система водоохолодження електропечі складається з колектора, зливної воронки, сорочок водоохолодження, елементів конструкції електропечі і дифузійного паромасляного насоса. З'єднання в системі здійснюються через резино-тканинні шланги, закріплені на штуцерах елементів системи водоохолодження бандажів. Система розділена на 3 ланцюга охолодження, в кожному з яких водоохолоджувані елементи з'єднані послідовно:

а) дифузійний паромасильний насос;

- б) охолоджувач нагрівальної камери і 6 струмопідводів;
- в) корпус і дах нагрівальної камери.

На колекторі є загальний запірний вентиль, 3 вентиля ланцюгів охолодження, манометр для контролю тиску води на вході системи водоохолодження. На зливній воронці змонтовані 3 реле тиску, за допомогою яких здійснюється контроль за роботою кожного ланцюга охолодження, передбачені необхідні блокування і сигналізація про порушення охолодження.

Охолоджуюча вода повинна відповідати таким вимогам:

- а) жорсткість - не більше 0,5 мг $\square$ екв / л;
- б) кількість зважених речовин - не більше 5 мг / л;
- в) окислюваність - не більше 10 мг / л;
- г) хлориди - не більше 5 мг $\square$ екв / л.

Тиск охолоджувальної води в магістралі, що підводить, має бути не менше 0,25-0,30 МПа (2,5-3,0 кгс / см²). Для забезпечення паспортних характеристик дифузійного паромасляного насоса температура води на вході для охолодження повинна бути не більше + 20 ° С. Для інших вузлів електропечі температура може бути і вище, але за будь-яких умов температура на вході не повинна перевищувати + 45 ° С.

На випадок аварійного припинення подачі води з водопровідної магістралі слід мати або живлення водою з двох незалежних один від одного джерел, або аварійну ємність. При аварійному; припинення подачі води, що охолоджуються вузли електропечі можуть перебувати без подачі води не більше 0,1 год. Подача води з аварійної ємності забезпечується протягом 2 годин.

Регулювання теплового режиму здійснюється шляхом зміни, що підводиться до нагрівачів напруги за допомогою тиристорного регулятора напруги, включеного в первинну обмотку пічного трансформатора. Сигнал управління тиристорного регулятора напруги формується та подається з мікропроцесорного приладу ПРОТАР-100, що регулює

Робота на електропечі проводиться в такій послідовності:

- а) подати електроживлення на блок управління;
- б) зробити завантаження садки;
- в) провести вакуумування камери до робочого тиску;
- г) підключити нагрівачі до системи силового живлення;
- д) провести нагрів садки відповідно до заданого технологічного режиму;
- е) охолодити садку, після чого напустити в камеру повітря;

ж) провести вивантаження садки.

Вся контрольно-вимірювальна апаратура змонтована на передній частині шафи управління електропечі. Вимірювання залишкового тиску проводиться вакуумметром ВІТ-ЗП, датчиками якого є манометричні перетворювачі термопарні ПМТ-2 і іонізаційні ПМИ-2, які встановлені на корпусі нагрівальної камери і вакуумного блоку. При роботі в середовищі нейтрального газу надлишковий тиск вимірюється манометром ЕКМВ-1У.

Вимірювання тиску води в магістралі, що підводить, проводиться манометром. Температура води на злив в колекторах водоохолодження вимірюється переносним термометром зі шкалою до 100 °С.

Регулювання температури в камері нагрівальної - ручне і автоматичне (програмне). Регулювання і вимір температури проводиться за допомогою регулюючого мікропроцесорного приладу ПРОТАР-100, що працює в комплекті з вольфрам-ренієвою термопарою ВР (А). На рис.5.1 наведена блок-схема вакуумної електропечі.

5.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

5.3.1 Можливості використання електропечі СНВЕ-1.3.1 / 16.

5.3.2 Послідовність роботи на електропечі.

5.3.3 Вплив середовища на процес термічної обробки деталей відповідального призначення.

5.3.4 Призначення термічної обробки деталей відповідального призначення після ремонту.

5.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

Електрична вакуумна піч опору СНВЕ-1.3.1 / 16, гідравлічний прес і прес- інструмент, ваги, мікрометр, порошок твердого сплаву ВК-8.

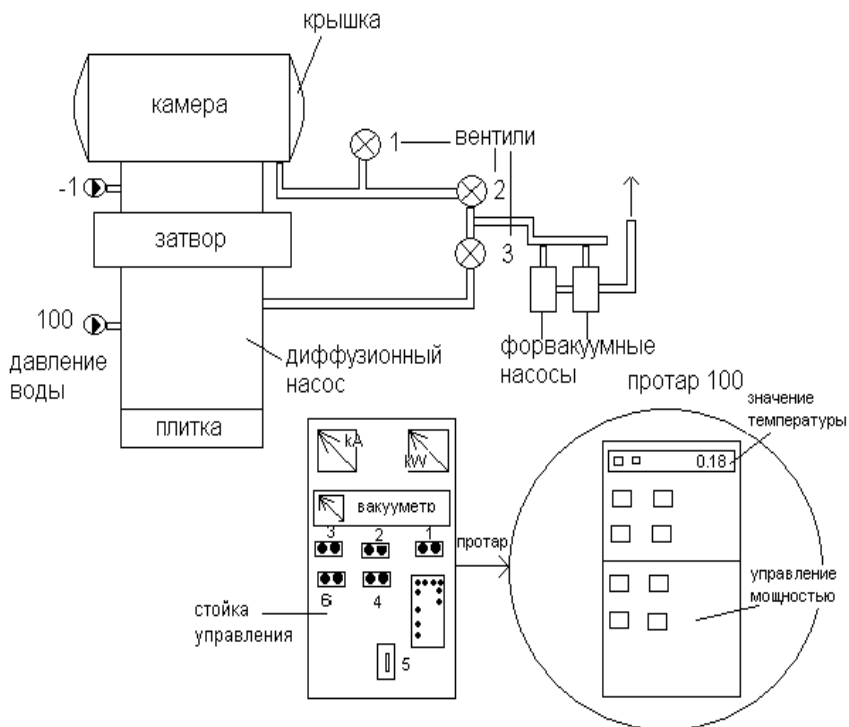


Рисунок 5.1 - Блок-схема вакуумной электропечи

5.5 Порядок проведения лабораторной работы

5.5.1 Упродовж 20 хвилин вивчити методичні вказівки, керівництва по експлуатації вакуумної печі СНВЕ-1.3.1 / 16.

5.5.2 Приготувати 4 навішування порошку твердого сплаву ВК8 масою 8 г, спресувати зразки.

5.5.3 Зважити пресування і виміряти їх висоту і діаметр.

5.5.4 Ознайомитися з будовою печі СНВЕ-1.3.1 / 16.

5.5.5 Скласти термічну програму для температурно-часового режиму спікання досліджуваних зразків (рис.5.1).

5.5.6 Включити живлення і відкрити воду (тиск по манометру 2,5-3,0 кгс / см²).

5.5.7 Відкрити вентиль 1 напуску повітря в камеру.

5.5.8 Відкрити кришку печі, зняти екран, прибрати секцію нагрівача, здійснити завантаження. Закрити кришку печі в зворотній послідовності.

5.5.9 Закрити вентиль 1, включити форвакуумні насоси (1, 2 - на стійці управління).

5.5.10 Відкрийте повільно вентиль 2 і стежити за показанням манометра попередньої відкачки (до 1 ат). Потім стежити за тиском по вакуумметром на стійці управління.

5.5.11 При досягненні тиску 10-11 мм рт.ст. (Чорної риси на шкалі приладу) відкрити вентиль 3, закрити вентиль 2.

5.5.12 Включити діфнасос (кнопка 3 на стійці управління), відкрити затвор (кн. 4 на стійці).

5.5.13 Приблизно через 40 хв насос вийде на режим (нагріється плитка) і стрілка вакуумметра відхилиться до кінця вправо (до 10 поділок, що відповідає тиску не вище 10-4 мм рт. ст.).

5.5.14 Включити нагрів. Тумблер 5 на стійці управління вгору, натиснути кнопку 6 пуск на стійці.

5.5.15 Керуючи потужністю (на стрілці в нижньому правому куті), провести термічний режим. Час нагріву до 1415 ° С - 1,5 години. Витримка 30 хв.

5.5.16 Відключити тумблер 5 на стійці.

5.5.17 При досягненні температури приблизно 400 ° С відключити діфнасос (кн. 3 на стійці).

5.5.18 Приблизно через 1 годину плитка охолоне (стрілка на вакууметрі впаде до 4-5 ступенів). Якщо температура печі нижче 100 ° С закрити затвор діфнасоса (кн. 4 на стійці), закрити вентиль 3.

5.5.19 Відключити форнасоси (кн. 1.2 - на стійці).

5.5.20 Напустити повітря в камеру і далі як в пункті 3.

5.5.21 Закрити воду, включити живлення.

5.5.22 Вивантажити спечені зразки, виміряти їх висоту і діаметр, зважити, визначити твердість HRA.

5.5.23 Розрахувати усадку і щільність зразків, виготовити мікрошліф, провести металографічний аналіз.

5.5.24 У звіті представити докладні дані про призначення, будову та принцип роботи печі СНВЕ-1.3.1 / 16, відповідні схеми, температурно-часові режими виконаних термічних операцій у вигляді графіків і термічних програм, експериментальні та розрахункові дані

по фізико-механічними властивостями спечених зразків, фотографії мікроструктур, докладні висновки. Звіт повинен бути оформлений відповідно до стандарту ТПУ, вимоги до оформлення розміщені на сайті ТПУ.

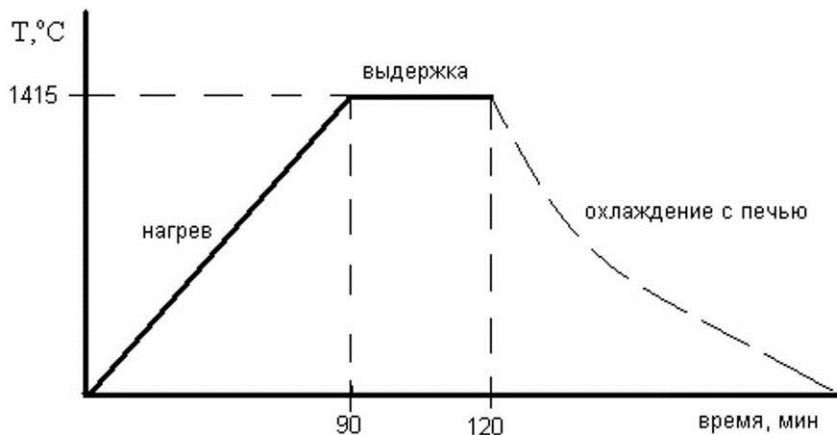


Рисунок 5.2 - Режим спікання зразків з ВК8

5.6 Зміст звіту

Звіт повинен містити мету і завдання роботи, використане обладнання, короткі відомості про технологічний процес

5.7 Рекомендована література

1. [6], [7].

РЕКОМЕНДОВАНА ЛИТЕРАТУРА

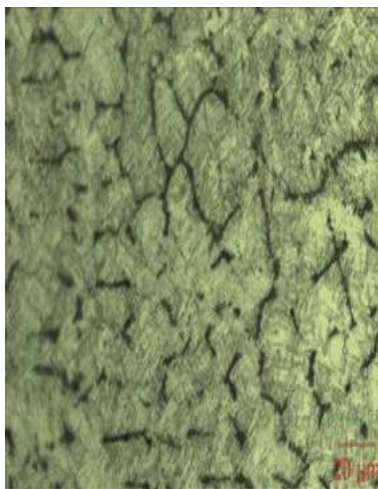
1. Электронно-лучевая сварка./ О.К. Назаренко, А.А. Кайдалов, С.Н. Ковбасенко и др.; под. редакцией Б.Е. Патона. - Киев: Наукова думка, 1987. - 256с.
2. Б.Е. Патон, О.К. Назаренко, В.М. Нестеренков и др. Компьютерное управление процессом электронно-лучевой сварки с многокоординатным перемещением пушки и изделия. //Автоматическая сварка – 2004 – С.37
3. С.В. Ахонин, Э.Л. Вржижевский, В.Ю. Белоус, И.К. Петриченко. 3D электронно-лучевая наплавка титановых деталей. //Автоматическая сварка –2016–№5-6.–С.141-144.
4. В.В. Жуков, Г.М. Григоренко, В.А. Шаповалов. Аддитивное производство металлических изделий (Обзор). //Автоматическая сварка –2016 –№5-6 –С.148-153.
5. Производство порошков из гидрированного губчатого титана. // Сайт ГП «ГНИП Институт титана» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://timag.org/ru_propose.php - 01.11.2016
6. И.Ю. Смуров, С.Г. Кононов, Д.В. Котобан, А.П. Назаров, С.К. Сундуков. Разработка отечественных аддитивных технологий изготовления и контроля ответственных деталей машиностроения. Реферат-презентация. ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН».
7. И.А. Петрик, А.В. Овчинников, А.Г. Селиверстов. Разработка порошков титановых сплавов для аддитивных технологий применительно к деталям ГТД.// Авиационно-космическая техника и технология –2015–№8–С.11-16.
8. Кайдалов А.А. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии [Текст] / Кайдалов А.А. ; Екотехнология, 2004. – С.259.
9. Логинов В.Е. Ремонт авиационных реактивных двигателей [Текст] / Справочное пособие.- М.: МАИ, 1994.
10. Орлов К.Я. Ремонт самолетов и вертолетов: учебник для авиационных училищ [Текст] /. Орлов К.Я. Пархимович В.Я. – М.: Транспорт, 1986. – С.295.
- 11.Логинов В.Е. Ремонт агрегатов реактивных двигателей [Текст] / Логинов В.Е., Тихомиров В.И. – М.: МАИ, 1994. – С.366.
12. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В. М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко / / Библиотечка литейщика. – 2014. – № 9. – С. 14–71.

13. Овчинников, А.В. Титан в аддитивных технологиях [Текст] / Овчинников А.В., Янко Т.Б. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Стародубовские чтения -2018. - С.217-221

14. Овчинников, А.В. Применение титановых порошков для производства деталей газотурбинных двигателей методами порошковой металлургии [Текст] / А.В.Овчинников, И.О.Быков, В.А.Богуслаев, П.Д.Жеманюк, З.В.Леховицер // Авиационно-космическая техника и технология. – 2017. - № 9(144).

Додаток А





Макро- і мікроструктура зварних швів

