

УДК 621.9.06-119

*Король В.М.¹, Лавренко І.Г.¹, Моляр О.Г.²*¹ ДП АНТК "Антонов". Україна, Київ.² Інститут металофізики НАН України. Україна, Київ**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ РЕЙОК МЕХАНІЗАЦІЇ КРИЛА З ТИТАНОВОГО СПЛАВУ BT22****Анотація**

Наведені результати розроблення технології відновлення рейок механізації крила з титанового сплаву BT22.

Abstract

Results are presented for BT22 wing devices lath recovery technology development.

Стан проблеми

Для забезпечення потрібних аеродинамічних характеристик при злеті та посадці літака в конструкції крила проектується злітно-посадкові поверхні — закрилки та, на більшості літаків, передкрилки. Дані поверхні дають можливість збільшити площу поверхні та змінити аеродинамічний профіль крила на землі та в польоті. Рух даних агрегатів відносно жорстко закріпленого крила здійснюється за допомогою механізмів, конструкція яких визначається необхідною траєкторією руху для передачі навантаження від рухомої поверхні на нерухому частину крила.

В механізації крила літаків різних типів для лінійного переміщення елементів рульових поверхонь традиційно використовується схема — нерухома, закріплена на крилі рейка по якій на роликках переміщується каретка. На літаках, конструкції 60–70-х років минулого століття рейка виготовлялась з конструкційної сталі 40ХНМА, на робочі поверхні яких гальванічним способом наносилось захисне хромове покриття, яке виконувало роль як корозійно — так і зносостійкого. Експлуатація таких механізмів показала, що хромові покриття на рейках мали не великий ресурс, сколювались, що вимагало багаторазового перехромування. Оскільки перехромування супроводжувалось наводненням сталі основної конструкції загальний ресурс рейки був незначним. Виникнення сколів хрому на робочих поверхнях рейок пояснювалось значними контактними напруженнями при терті кочення по ній роликів каретки. Таке пояснення здавалось логічним зважаючи на значну різницю модулів зсуву сталі і хромового покриття, що приводило до виникнення критичних зсувних напружень на границі сталь — покриття під дією нормальних зовнішніх навантажень і сколу останнього. З аналізу роботи даної

пари тертя кочення було зроблено висновок, що наявність покриття з модулем зсуву відмінним від сталі приводить до зниження ресурсу її роботи. Постає питання про заміну триботехнічної пари. Зважаючи на те, що рейка виконує функцію силового елемента, на який діють зовнішні знакозміні навантаження і корозійне середовище, а тертя в контакті рейка — ролик є тертям кочення, було прийнято рішення про використання в якості матеріалу рейки високоміцного титанового сплаву BT22. Сплав BT22, як конструкційний матеріал, має досить високу міцність, високі антикорозійні властивості, не погану стійкість до контактних навантажень і працездатність при терті кочення без додаткового захисту. Лабораторні та стендові випробування, досвід експлуатації підтвердили правильність вибору пари тертя кочення — рейка із сплаву BT22, ролик з корозійно — та зносостійкої сталі 95X18. На робочих поверхнях при назначених ресурсах експлуатації інструментально зафіксованого зносу не виявлено. Експлуатація пари тертя рейка — ролик з ресурсом, який перевищує назначений, виявила наявність пошкодження рейки в локальних місцях, які відповідають конкретному місцезнаходженню каретки з роликками відносно рейки при трьох наступних режимах роботи: злітне положення, крейсерське положення та положення закрилка при приземленні. На робочій поверхні тертя рейки, по якій роликки переміщуються між трьома згаданими фіксованими положеннями, зносу не виявлено навіть при ресурсах експлуатації набагато більших за назначений (рис. 1). Загальна картина зношування дозволила зробити припущення, що в механізмі рейка — каретка відсутнє помітне зношування за рахунок тертя кочення при значних контактних зовнішніх навантаженнях, а руйнування пари



Рис. 1. Доріжка тертя на рейці зі значним зношуванням в місцях фреттинг-контакту

тертя проходить в місцях де ролики контактують з поверхнею рейки значний час без видимого переміщення, але в умовах дії вібрації. Таке явище має назву фреттингу і його вплив на контактуючу пару має відмінності від традиційного зношування в умовах тертя кочення, або ковзання. Очевидно, що і у випадку зі сталевими хромованими рейками сколи хрому були пов'язані з фреттингом.

Для підтвердження вказаного припущення було виготовлено напівнатурний стенд, який імітував взаємодію рейка—ролик під дією зовнішніх знакозмінних навантажень без відносного переміщення. Випробування зразків на розробленому стенді показали ідентичність результатів експлуатаційному зношуванню [1] (рис. 2).

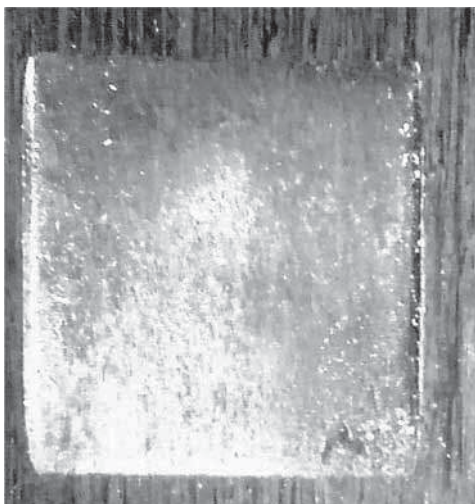


Рис. 2. Фреттинг-зношування зразка BT22 сталевим роликом

Виконаними експериментальними дослідженнями та аналізом експлуатаційних пошкоджень було встановлено, що зношування рейки проходить за механізмом фреттингу і вимагає відповідного підходу до його запобігання.

В зв'язку з тим, що зношування рейки по механізму фреттингу має локальний характер, враховуючи високу вартість рейок з титанових сплавів, виглядає логічним питання щодо їх ремонту. Перші спроби відновлення титанових рейок були зроблені на 402 авіаремонтному заводі (м. Биково) методом плазмового напилення покриттів з твердих сплавів на зношені ділянки. При виборі технології ремонту враховували можливість локального нанесення покриттів та мінімальний вплив методу на структуру та властивості матеріалу основи. Ці роботи стосувались рейок літака "ИЛ-76" які виготовлялись з титанового сплаву BT3-1. Вказана технологія дозволяла ремонтувати рейки, на яких глибина лунки зношування не перевищувала 0,5 мм. При такій товщині плазмові

покриття мають достатньо високі адгезійні характеристики, залишкові напруження не значні, зокрема і ті, що формуються при зовнішніх навантаженнях на межі покриття — основа завдяки різниці модулів зсуву. Реально в експлуатації глибина лунок зношування була більшою, що потребувало іншого підходу до технології відновлення рейок.

Підходи до розробки технології відновлення рейок

При розробці технології відновлення рейок механізації крила виходили з наступного положення — можливість ремонту не залежно від розміру лунок зношування. При цьому потрібно було забезпечити ряд вимог:

- відсутність або мінімальний негативний вплив технології ремонту на структуру та фізико-механічні властивості матеріалу основи;
- близькість (відповідність) модулів зсуву матеріалу основи і покриття;
- збереження геометричних розмірів рейок після відновлення;
- можливість підвищення фреттиногостійкості вузла в порівнянні з вихідним станом.

Зважаючи на сформульовані вимоги були відкинута газотермічні методи нанесення покриттів як такі, що не можуть задовольнити весь комплекс потрібних властивостей. Одним з досить простих і надійних можливих методів відновлення рейок є метод наплавлення того ж, або близького по складу матеріалу, що давало б можливість забезпечити майже всі висунуті вимоги. Перешкодою до застосування такої технології є необхідність термічної обробки високоміцного титанового сплаву BT22 після зварювання або наплавлення для забезпечення належного рівня механічних та втомних властивостей. Зважаючи на значні розміри і недостатню жорсткість рейок, виконання пічної вакуумної термообробки привело б до деформації деталі, що унеможливило процес їх відновлення методом наплавлення.

На АНТК "АНТОНОВ", стосовно зварних деталей шасі, була відпрацьована технологія локальної швидкісної термічної обробки кільцевих зварних швів, що дало можливість підвищити втомну довговічність в порівнянні з пічною термообробкою [2]. Нагрівання в даній технології проводилось кільцевим індуктором струмами високої частоти, який не може бути використаний для нагрівання плоских деталей. Тим не менше загальний підхід — локальне наплавлення з наступною швидкісною термообробкою для відновлення структурного стану та механічних характеристик виглядає можливим. Для його реалізації потрібно було розробити технологію наплавлення з мінімальним енергетичним впливом на матеріал

деталі, що відновлюється та реалізувати один з можливих методів локальної швидкісної термічної обробки стосовно плоских деталей. Підвищення фреттинговостійкості деталей планувалось локальним нанесенням захисних покриттів в місцях відновлення, тобто зонах максимального зношування.

Розробка технології відновлення рейок Розробка технології наплавлення

Для відновлення локального місця фреттинг-зношування рейки запропоновано виконувати наплавлення розробленим в інституті електрозварювання ім. Є.О Патона зварювальним дротом марки СП15, хімічний склад якого близький до ВТ22 і він рекомендований галузевою технічною документацією для зварювання сплаву ВТ22. Хімічний склад сплаву ВТ22 і зварювального дроту СП15, які використовувалися при відпрацюванні процесу наплавлення представлені в таблицях 1–3.

З метою забезпечення мінімального впливу на структуру і властивості основного матеріалу наплавлення виконували електродуговим зварюванням з магнітним управлінням дугою [3], яке забезпечувало сканування дуги по зоні наплавлення.

Експерименти виконували на лабораторному устаткуванні, яке додатково споряджене керуючим електромагнітом та направляючими для подачі зварювального дроту в зону горіння дуги.

При виборі параметрів наплавлення виходили з вимоги одержання мінімальної зони термічного впливу (ЗТВ) при максимальній ширині та висоті наплавленого шару металу за один прохід дуги. Було випробувано три режими наплавлення (табл. 4).

На рис. 3 наведені макрошліфи наплавленого по режимах табл. 4 сплаву

СП15, які ілюструють вплив величини струму та швидкості наплавлення на геометричну форму наплавлення та розмір ЗТВ при постійних значеннях параметрів керуючого поля. На рис. 4 вказані розміри одержаних наплавок. Виходячи з

Таблиця 1

Хімічний склад сплаву ВТ22

| Марка | Вміст елементів, % мас | | | | |
|------------|------------------------|------|-----|------|------|
| | Al | Mo | V | Fe | Cr |
| Сплав ВТ22 | 6,38 | 5,22 | 4,3 | 0,85 | 1,72 |

Таблиця 2

Хімічний склад зварювального дроту марки СП15

| Марка | Вміст елементів, % мас | | | | |
|-----------|------------------------|------|------|------|------|
| | Al | Mo | V | Nb | Zr |
| Дріт СП15 | 4,40 | 2,90 | 3,20 | 2,17 | 1,42 |

Таблиця 3

Вміст газів в сплавах ВТ22 і СП15

| Марка | Вміст елементів, % мас | | | Примітка |
|------------|------------------------|--------|-------|--|
| | [O] | [H] | [N] | |
| Сплав ВТ22 | 0,11 | 0,0018 | 0,014 | Наведено середній вміст по п'яти вимірах |
| | 0,11 | 0,0019 | 0,016 | |
| Дріт СП15 | 0,098 | 0,0021 | 0,014 | |

Таблиця 4

Експериментальні режими наплавлення

| Номер зразка | Струм дуги, А | Напруга дуги, В | Швидкість зварювання, м\ч | Швидкість подачі дроту, м\ч | Частота, Гц | Магнітна індукція, мТл | Довжина дугового проміжку, мм |
|--------------|---------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|------------------------|-------------------------------|
| 1 | 240 | 11,3 | 6 | 44 | 10 | 7,8 | 4 |
| 2 | 270 | 11,5 | 5 | 44 | 10 | 7,8 | 4 |
| 3 | 280 | 12,0 | 5 | 44 | 10 | 7,8 | 4 |

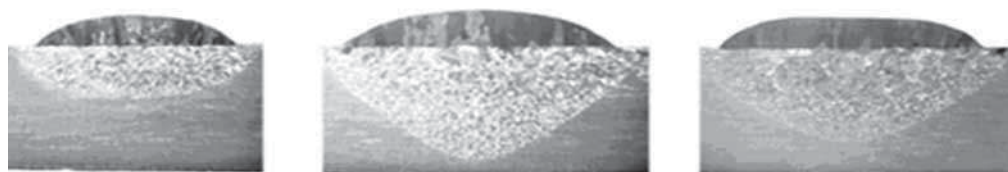


Рис. 3. Макрошліфи наплавок

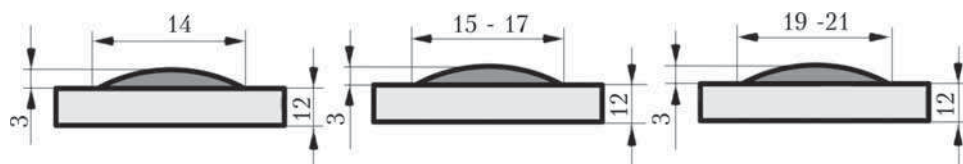


Рис. 4. Параметри наплавок

одержаних даних режим на плавки зразка за номером 3 був вибраний робочим.

Для оцінки інтенсивності перемішування металу, що наплавляється був виконаний мікрорентгеноспектральний аналіз, який показав рівномірний розподіл легуючих елементів, зокрема Al та Mo по січенню наплавленого металу в горизонтальному та вертикальному напрямках (рис. 5). Такий розподіл свідчить про достатньо інтенсивне перемішування рідкого металу зварювальної ванни, яке забезпечує підвищену структурну та хімічну однорідність наплавленого металу, що є однією з вимог до розроблюваної технології. При цьому забезпечується рівномірний розподіл елементів не тільки наплавленого матеріалу, але і матеріалу основи. Так, наприклад, залізо, якого нема в сплаві СП15 досить рівномірно розподілене в наплавленому шарі в кількості ~0,3% мас.

За відпрацьованими на зразках режимами була проведено наплавлення зношеної рейки. До наплавлення поверхня лунки зношування оброблялась абразивним інструментом на глибину 0,1–0,2 мм з метою видалення можливих мікротріщин.

Для виконання наплавлення рейка жорстко закріплювалась на зварювальному столі, який охолоджується водою. Зі зворотного боку (нижня площина) рейки монтували захисний пристрій за допомогою якого подавали аргон в процесі наплавки для захисту матеріалу від окислення. Для забезпечення необхідних геометричних розмірів використовували технологічні накладки, які виводили завали кромок зварювальної ванни за межі рейки. На рис. 6 показано зовнішній вигляд наплавлених ділянок рейки на плоскій та торцевій поверхнях. За результатами відпрацювання процесу наплавлення були розроблені рекомендації по створенню промислового обладнання.

Розробка технології локальної індукційної термічної обробки

Попередній досвід розробок режимів локальної термічної обробки зварних з'єднань для зняття зварювальних залишкових напружень свідчить про необхідність використання методу швидкісного нагрівання, який дає можливість з достатньою точністю визначити зону нагрівання. З існуючих методів швидкісного нагріву для титанових сплавів, зважаючи на їх низьку теплопровідність перевагу мають електроконтактний та індукційний способи [4] в яких енергія генерується в самому металі. Електроконтактний метод для зональної термообробки має суттєві труднощі в організації надійних контактів для підводу електричного струму достатньої потужності. Індукційний метод для деталей, які нагріваються внутрішнім полем індуктора є практично ідеальним, але для плоских деталей має інструментальні труднощі. В даній роботі, враховуючи переваги індукційного методу, його простоту та попередній досвід використання, напрацьовані енергетично-часові режими термообробки стосовно сплаву BT22, було прийнято рішення про його використання в якості базового варіанту технології.

Для виконання індукційної локальної термічної обробки (ЛТО) наплавлених місць рейок було спеціально розроблено, виготовлено та випробувано обладнання, загальний вигляд якого показаний на рис. 7.

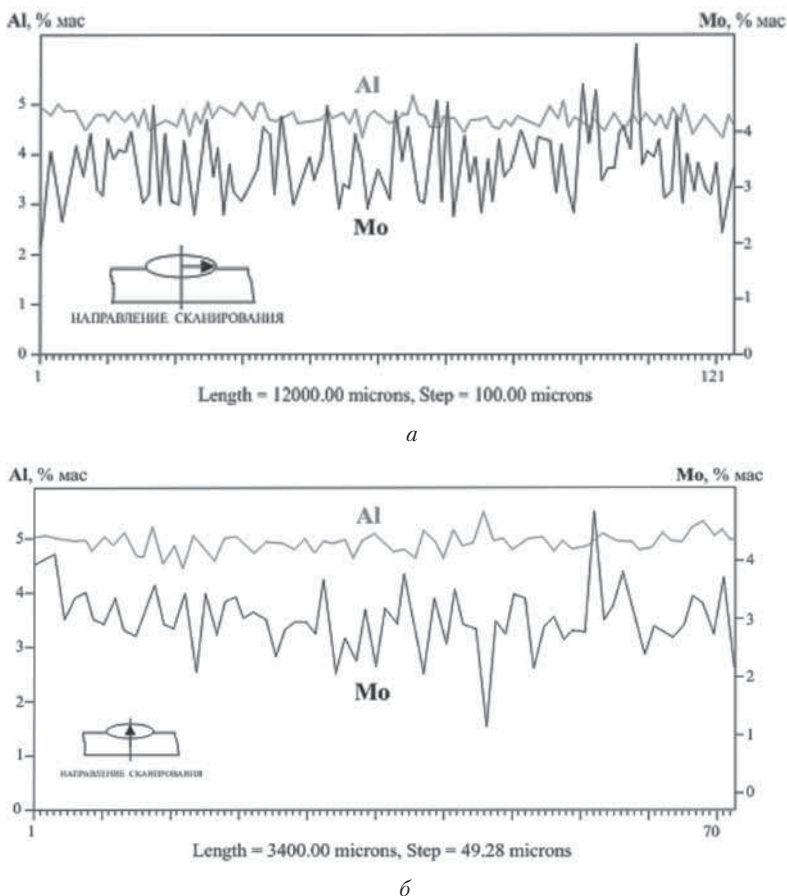


Рис. 5. Розподіл легуючих елементів Al і Mo в наплавленому металі СП15 в горизонтальному (а) і вертикальному напрямках (б)

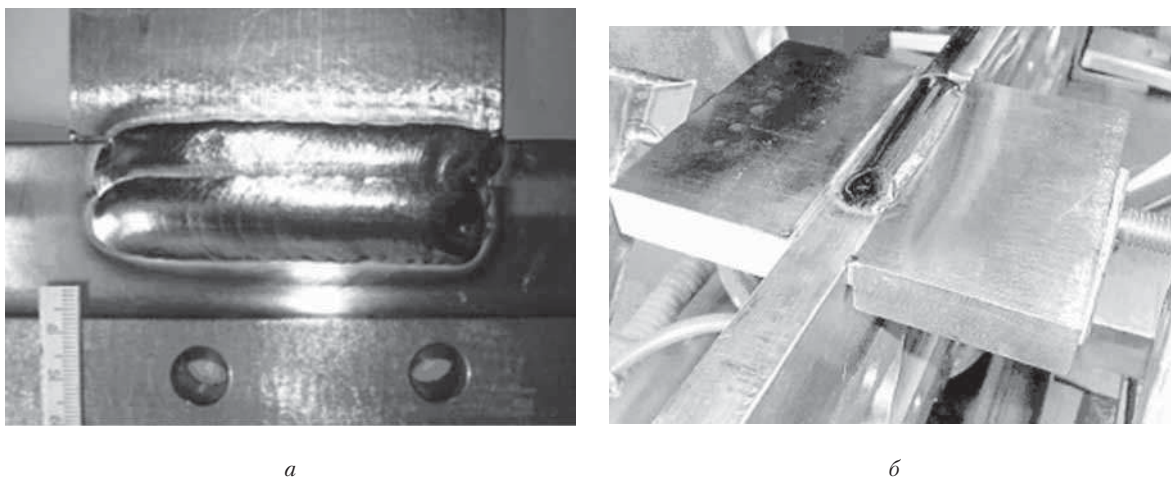


Рис. 6. Зовнішній вигляд наплавлених ділянок рейки: плоскої (а) и торцевої (б)

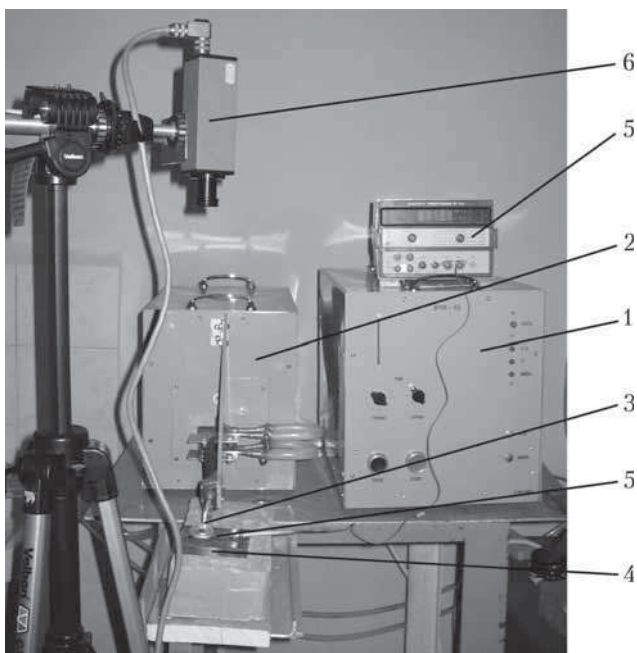


Рис. 7. Загальний вигляд устаткування для ЛТО:
1 – високочастотний генератор, 2 – пристрій узгодження,
3 – індуктор, 4 – зразок, 5 – контрольна термопара і вольтметр,
6 – оптичний пірометр

Прилад складається з наступних основних частин: генератор з частотою 66 кГц та потужністю, яка регулюється в межах 6–10 кВт, пристрою для узгодження та петльового індуктора, розробленого спеціально для виконання даної роботи. При відпрацюванні режимів швидкісного нагріву реальної деталі температуру нагріву контролювали за допомогою "двохвильового кольорового" пірометра марки ІМРАС IGA100 з часом спрацювання 0,2 сек. В процесі налагоджування експе-

риментів паралельно з пірометром температуру вимірювали платино-платинородієвою термопарою, привареною в центрі "п'ятна" індукційного нагріву та швидкісного мілівольтметра. В подальшому температуру вимірювали тільки оптичним пірометром.

Відпрацювання режимів ЛТО проводили на модельних зразках з наплавленням, які імітували геометричні розміри реальних рейок і наплавок. До і після ЛТО проводили дослідження структури, фазового складу, механічних характеристик та розподілу мікротвердості.

Типова мікроструктура зразків сплаву ВТ22 з наплавленим сплавом СП15 на різних стадіях обробки показана на рис. 8. Перш за все потрібно відмітити чітку границю сплавлення (рис. 8, а) та наявність окремих зон, які відрізняються по травимості в стані після наплавлення. Це свідчить про хороше з'єднання наплавки з основним металом з одного боку і про наявність зон з різним рівнем залишкових напружень та структурним станом з іншого боку. Наявність зон з різною травимістю є очікуваний негативний вплив наплавлення на основний матеріал, який потрібно ліквідувати наступною ЛТО.

Рентгівські дослідження підтвердили відмінність вказаних зон по фазовому складу (рис. 9) – наплавка характеризується наявністю метастабільної фази, близької до α' - мартенситу, а ЗТВ поблизу наплавки і на глибину до 8 мм характеризується однофазним β -станом при значному розширенні відповідних рефлексів, що свідчить про наявність суттєвих залишкових напружень. В більш глибоких шарах, де метал при наплавленні прогрівався до менших температур спостерігався

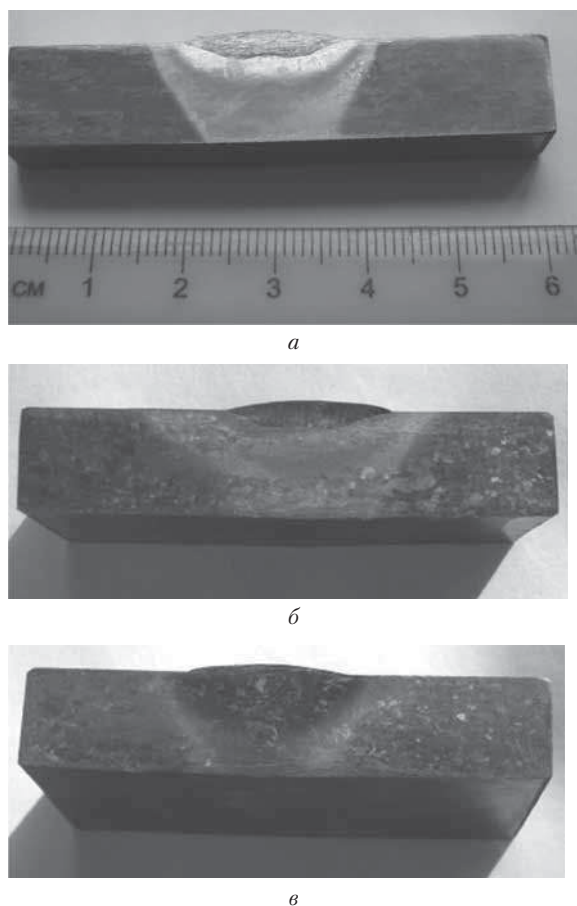


Рис. 8. Макроструктура наплавленого зразка в вихідному стані (а), після локального СВЧ-гартування (б) і локального СВЧ-старіння (в)

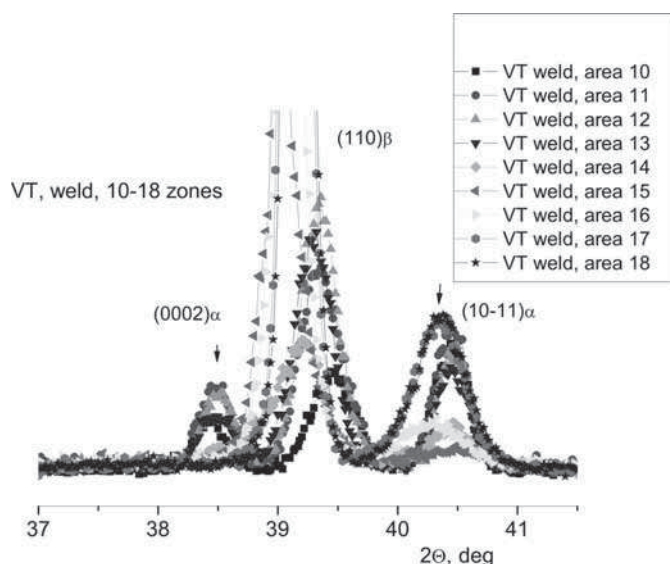


Рис. 9. Рентгенівські дифрактограми зразка VT22 з наплавкою СП15 в вихідному стані. Ділянки з 10 по 14 – наплавка (зона 2); з 15 по 18 – ЗТВ (зона 3)

типовий α первинний + β метастабільний стан. Про наявність достатньо високих залишкових напружень свідчить помітне розширення рентгенівських ліній [5].

Наявність подібного спектру фазових станів супроводжується суттєвими відмінностями механічних властивостей, зокрема мікротвердості. В зоні наплавлення та прилеглій до неї ЗТВ мікротвердість була самою низькою ($H_{\mu} = 2900\text{--}3050$ МПа), а в більш глибокому шарі ЗТВ, тобто на границі між загартованою на метастабільну β -фазу зоною та ділянкою де поряд з β -фазою спостерігалась залишкова (первинна) α -фаза, мікротвердість досягала $H_{\mu} = 4150$ МПа, що значно перевищує мікротвердість основи – сплаву VT22 ($H_{\mu} = 3500$ МПа).

Дослідження мікроструктури даного стану показали, що зона наплавлення характеризується формуванням крупних стовбчастих зерен, напрямком росту яких обумовлювались напрямком теплопроводу (рис. 10, а). В ЗТВ, яка прилягає до зони наплавлення (рис. 10, б) за рахунок нагріву до температури, яка значно перевищує температуру поліморфного перетворення ($T_{\text{пн}}$ VT22 $\sim 850^{\circ}\text{C}$) утворювались крупні β -зерна, з добре розвинутою за рахунок значних термічних напружень, внутрішньою субструктурою. Подібна субструктура, яка є наслідком релаксації термічних напружень, спостерігається і у більш глибоких шарах ЗТВ (рис. 10, в), а в перехідній зоні від ЗТВ до основного металу (приблизно на глибині 6–7 мм від поверхні зразка), де температура була близькою до $T_{\text{пн}}$, були виявлені початкові стадії росту β -зерна (рис. 10, г).

З врахуванням особливостей фазового та структурного стану наплавлених зразків, наявності значних внутрішніх напружень, було запропоновано провести, в якості першого етапу ЛТО, нагрівання під гартування до температури поліморфного перетворення ($T_{\text{пн}}$) без витримки з наступним охолодженням на повітрі. Така технологія стала можливою завдяки використанню швидкісного оптичного пірометра – при досягненні $T_{\text{пн}}$ температура на деякий час перестає підвищуватися, що свідчить про закінчення нагрівання безвідносно до температури, яка буде залежати від хімічного складу оброблюваного сплаву. Відомо, що при температурі поліморфного перетворення за рахунок фазового переходу максимально релаксують внутрішні напруження, а відсутність витримки запобігає росту зерна. Виконання такої технологічної операції приводить до однорідного фазового стану всіх сформованих при наплавленні зон. Отримана в результаті індук-

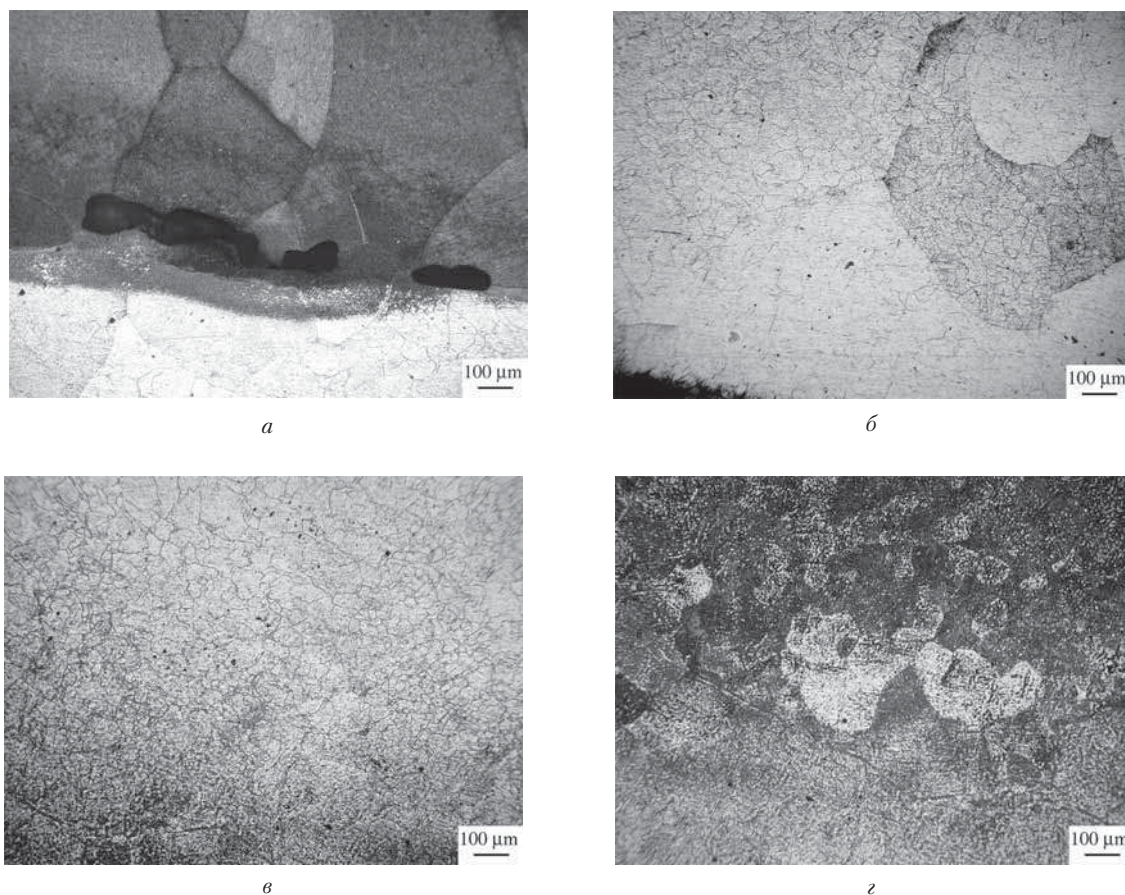


Рис. 10. Мікроструктура зразка VT22 з наплавним СП15 в вихідному стані:
a – наплавлений метал; *б* – ЗТВ біля наплавки; *в* – ЗТВ на віддалі від наплавки; *г* – перехід до основного металу.
 Поперечний переріз

ційного гартування макроструктура приведена на рис. 8, *б*, мікроструктура на рис. 11, а розподіл мікротвердості на рис. 12. З аналізу цих результатів видно, що індукційне гартування дозволяє ліквідувати макро- та мікроструктурну неоднорідність і нівелювати початкову різницю в твердості. Це було досягнуто за рахунок того, що найбільш проблемна зона – ЗТВ була піддана фазовій перекристалізації, за рахунок чого вдалось знизити залишкові напруження до рівня, близького до відпаленого стану.

Так як загартований стан для сплаву VT22 є нестабільним і маломіцним для надання необхідних характеристик було проведено індукційне старіння. В результаті старіння при температурі 650°C на протязі 20 в наплавленому матеріалі і в ЗТВ в результаті розпаду метастабільних фаз утворився стабільний двофазний $\alpha+\beta$ – стан (рис. 13), який, не дивлячись на деяке підвищення мікротвердості в перехідній зоні ЗТВ (рис. 12, *б*), характеризується низьким рівнем залишкових напружень, таким як і після гартування (рис. 14)

На кожній стадії технології відновлення проводили випробування механічних характеристик, як основного матеріалу так і зони наплавлення. Отримані результати випробувань наведені в табл. 5.

Як видно з приведених в табл. 5 результатів випробувань використання ЛТО забезпечує значне підвищення всього комплексу механічних характеристик – міцності, пластичності, ударної в'язкості. В результаті використання ЛТО межа міцності підвищується приблизно на 18% при одночасному збільшенні пластичності та ударної в'язкості більш ніж в три рази і забезпечуються вимоги нормативних документів (ТУ) на деформований напівфабрикат.

Зважаючи на отримані позитивні результати по формуванню структурного стану та механічних характеристик наплавлених зразків із сплаву VT22 локальною термічною обробкою були проведені роботи по ЛТО відновлених рейок. ЛТО проводили спочатку на торцевих поверхнях рейок без видалення технологічних накладок, які сприяли більш однорідному розподілу

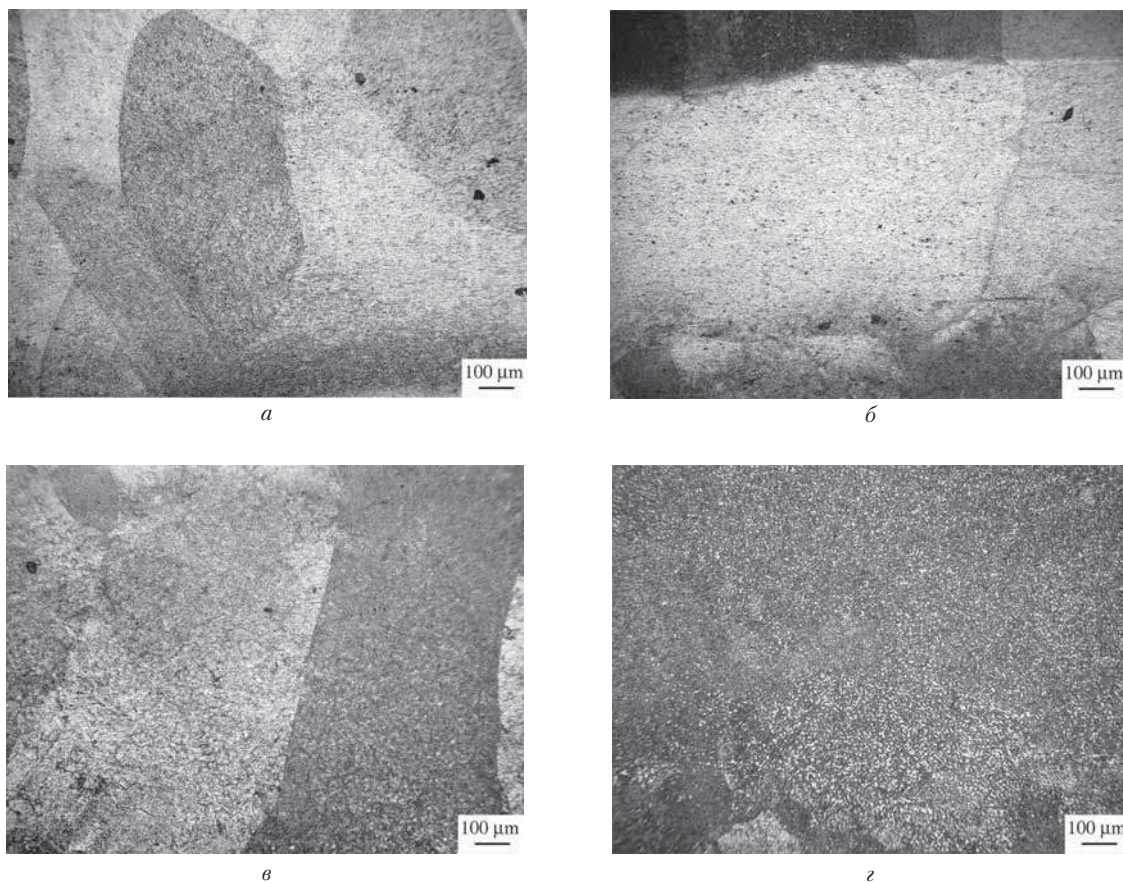


Рис. 11. Мікроструктура наплавеного зразка після СВЧ нагріву до 920°C і загартування на повітрі.
a – наплавлений метал; *б* – ЗТВ біля наплавки; *в* – ЗТВ на віддалі від наплавки, *з* – перехід до основного металу.
 Поперечний переріз

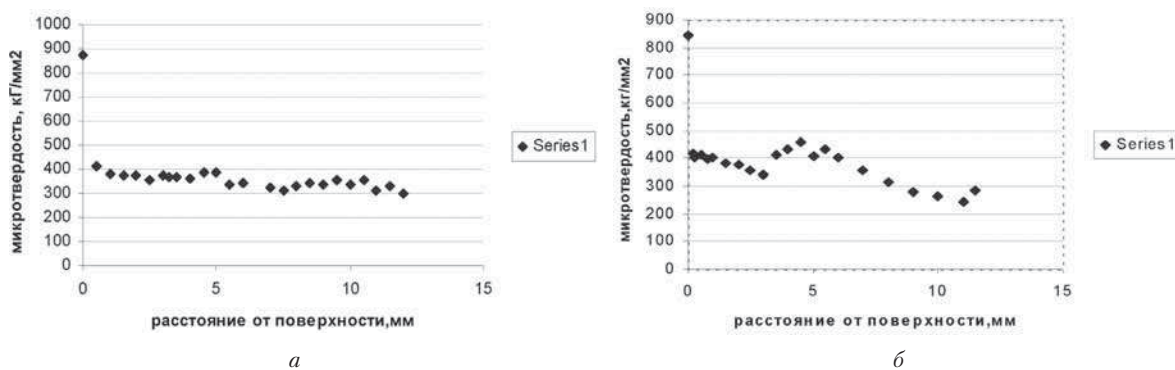


Рис. 12. Розподіл мікротвердості від поверхні зразка VT22 наплавеного СП15 для стану після:
a – СВЧ-гартування; *б* – СВЧ-гартування + СВЧ-старіння

температури та знижували окислення основного матеріалу (рис. 15). Після цього накладки видалялись механічною обробкою і проводилась ЛТО на плоских поверхнях рейки (рис. 16).

Окремо слід відзначити, що на рейках в результаті виконання наплавлення спостерігалась деформація в результаті формування, як відмічалося раніше, значних залишкових напружень.

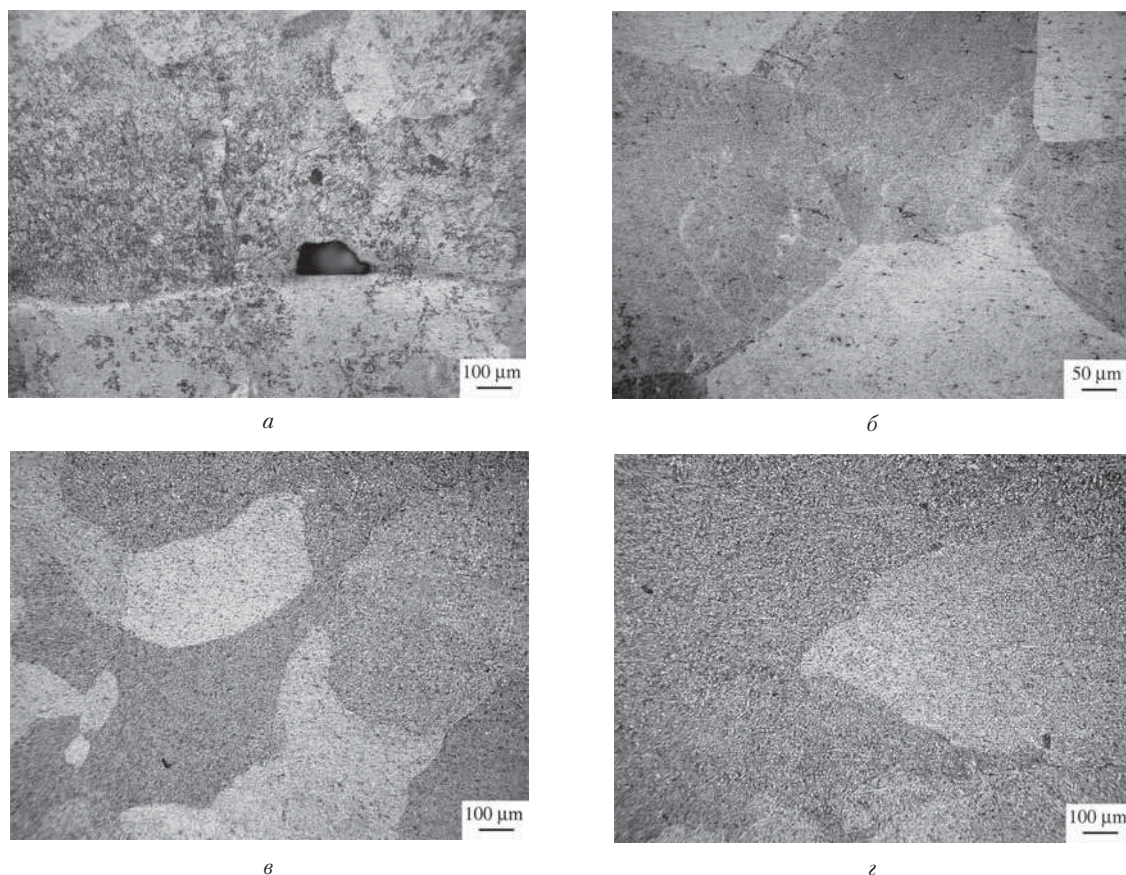


Рис. 13. Мікроструктура зразка BT22 наплавленого СП15 після двох СВЧ нагрівів: до 920°C без витримки, і до 650°C з витримкою 20 хв.
a – наплавлений метал; *b* – ЗТВ біля наплавки; *c* – ЗТВ на віддалі від наплавки, *d* – перехід до основного металу.
 Поперечний переріз

Величина деформації з правої та лівої сторін складала відповідно 2,4 і 1,7 мм. Після виконання повного циклу ЛТО всіх наплавлених ділянок відхилення від площини зменшилось відповідно до 0,3 і 0,1 мм, що свідчить про практично повну релаксацію залишкових напружень викликаних наплавленням.

Розробка технології підвищення фретингостійкості відновлених рейок

Зважаючи на те, що відновлення геометричних розмірів рейок виконано наплавленням титанового сплаву слід очікувати, що його фретингостійкість буде на вихідному рівні, тобто не достатня для забезпечення її безремонтної експлуатації. В зв'язку з цим були проведені дослідження можливих варіантів підвищення фретингостійкості титанових сплавів. Зокрема були випробувані на фреттингкорозію покриття,

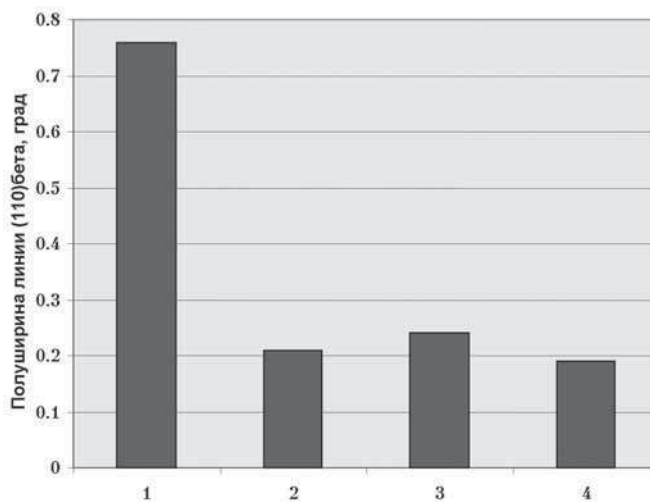


Рис. 14. Зміна напівширини дифракційної лінії (110) бета-фази в ЗТВ на рентгенівських дифрактограмах зразка BT22 з наплавкою СП15 в різних станах:
 1 – вихідний після наплавлення, 2 – після СВЧ – гартування, 3 – після СВЧ – гартування і старіння, 4 – реперний відпалений стан сплаву BT22

Таблиця 5

Механічні характеристики зразків сплаву ВТ22 після наплавлення СП15 і ЛТО

| № п/п | Стан | Механічні властивості | | | | |
|-------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------|------------|--------------------------|
| | | $\sigma_{0.2}$, кгс/мм ² | σ_B , кгс/мм ² | δ , % | ψ , % | KCU, кгс/мм ² |
| 1 | <i>Вихідний (без ЛТО)</i> | 79,2 | 93,5 | 2,1 | 12,4 | 1,4 |
| 2 | ЛТО-центр "п'ятна" | 95,6 | 113,6 | 6,9 | 43,5 | 4,4 |
| 3 | ЛТО-край "п'ятна" | 98,4 | 115,5 | 7,2 | 39,5 | 2,5 |

які використовуються в авіації (плазмове наплення сплавом ВКНА, вакуумне азотування) та запропоноване електроіскрове легування молібденом.



Рис. 15. ЛТО наплавлення на бокових поверхнях рейки

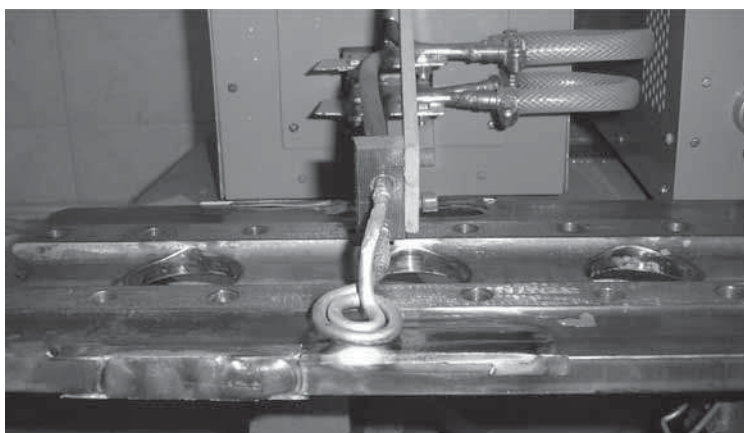


Рис. 16. ЛТО наплавлення на плоских поверхнях рейки

Випробування проводили на машині МФК1 по режиму:

амплітуда переміщень $A = 175$ мкм; навантаження 20 МПа; частота $V = 30$ Гц;
 $T = 273$ К; база випробувань $N = 500$ тис. циклів.

При випробуваннях фіксувався лінійний знос покриття за 500 тис. циклів. Результати випробувань представлені на рис. 17.

З результатів випробувань можна зробити висновок, що всі ці покриття практично на порядок зменшують інтенсивність зношування сплаву ВТ22. Враховуючи, що захищати від фретгінгу потрібно не всю поверхню рейки, а тільки місця відновлення, особливе зацікавлення викликає процес електроіскрового легування молібденом, режими нанесення якого були відпрацьовані.

Електроіскрове легування виконували на установці і "ЕЛИТРОН-20" на "м'якому" режимі при робочому струмі $I = 1,5$ А і ємності батарей накопичувальних конденсаторів $C = 210$ мкф.

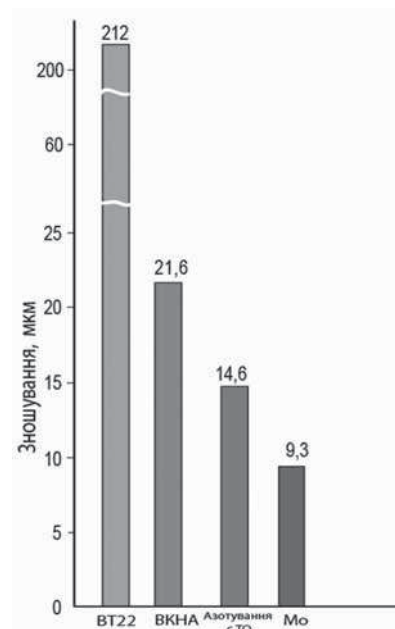


Рис. 17. Зношування сплаву ВТ22 та покриттів при випробуваннях на фретгінг-корозію

Електрод — молібденовий дріт $\varnothing 4$ мм. Такий режим вибирали для забезпечення мінімальної шорсткості покриття. Отримали шари товщиною 15–20 мкм.

Висновки

1. Відпрацьована технологія відновлення рейок механізації крила, яка включає наплавлення місць зношування сплавом СП15 з наступною локальною швидкісною термообробкою.
2. Розроблено метод та апаратура для локальної термічної обробки сплаву VT22 який забезпечує оптимальний комплекс механічних характеристик.
3. Виконано відновлення натурального виробу — рейки механізації крила літака Ан-124.
4. Запропоновано технологію підвищення фреттингостійкості відновлених деталей.

Література

1. *Вибір* газотермічного покриття для відновлення монорейок механізації крила літаків. / В.О. Краля, О.Г. Моляр, А.М. Хімко, Д.О. Пуга-

чевський // ISSN 1813-1166. Вісник НАУ. 2006. — № 2. — С. 85–88.

2. *Титановые* сплавы в самолетах АНТК им. О.К. Антонова / Трофимов В.А., Антонюк С.Л., Ивасишин О.М., Моляр А.Г. // В сборнике трудов международной конференции "Ti-2005 в СНГ", Киев, 22–25 мая 2005 г. Издание ИМФ НАН Украины. — С. 289–305.

3. *Аргоннодуговая* наплавка на титановый сплав VT22 проволокой СП15 / В.П. Прилуцкий, С.В. Ахонин, И.А. Радкевич, С.Б. Руханский, И.К. Петриченко, Антонюк С.Л. // В сборнике трудов международной конференции "Ti-2009 в СНГ", Одесса, 17–20 мая 2009 г. Издание ИМФ НАН Украины. — С. 323–329.

4. *Ivashin O.M. and Markovsky P.E.* Enhancing the Mechanical Properties of Titanium Alloys with Rapid Heat Treatment (Overview) // JOM. — 1996. — # 7. — P. 48.

5. *Васильев Д.М., Трофимов В.В.* Современное состояние рентгеновского способа измерения макронапряжений (обзор) // Заводская лаборатория. — 1984. — 50, № 7. — С. 20–29.