

Винахід стосується турбомашин, зокрема турбомашин для аеронавтики, і вирішує задачу поновлення частин, таких як рухомі облопачених дисків.

Для забезпечення все зростаючих вимог до двигунів, суцільно облопачені диски або колеса (далі називаємо СОД) для компресорів турбореактивних двигунів (ТРД) виготовляють з титанового сплаву. У звичайному роторі лопатки утримуються нижньою частиною, яка припасована до корпусу, виконаному на ободі диска. Диски і лопатки виготовляють окремо до збирання у облопачений ротор. У СОД лопатки і диск піддають механічній обробці безпосередньо з кованої заготовки і вони утворюють єдину частину. Така технологія дозволяє не тільки суттєво зекономити на загальній вазі двигуна, але також суттєво зменшити вартість виробництва.

Але, цей тип ротора має той недолік, що його важко ремонтувати. При роботі лопатки компресора можуть пошкоджуватися, внаслідок ударів, спричинених всмоктуванням крізь двигун різних тіл або також внаслідок ерозії, спричиненої пилом і іншими частинками, захопленими повітрям, яке проходить крізь двигун, які контактують з поверхнею лопаток. Якщо лопатки не можливо поновити так, щоб вони відповідали документації на виробництво, то такий знос або пошкодження, викликає необхідність заміни однієї або декількох лопаток. У випадку суцільних облопачених збірок, лопатки є інтегрованими частинами всієї маси збірки і, на відміну від звичайних конструкцій, вони не можуть бути замінені або вилучені для індивідуального поновлення. Тому виникає необхідність поновити лопатки безпосередньо на диску. При поновленні необхідно приймати до уваги всі аспекти збірки: розмір, вагу, а у випадку великої збірки - доступність до зон поновлення.

Таким чином, у випадку СОД зонами, які взагалі необхідно поновлювати, для кожної лопатки є: кінець аеродинамічної поверхні, кут аеродинамічної поверхні на передній кромці, кут аеродинамічної поверхні на задній кромці, передня кромка і задня кромка.

Технологія поновлення, яка зараз розвинута, складається з видалення пошкодженої частини на пошкоджених лопатках з наступною заміною видаленої частини частиною відповідної форми або наплавленням її. При цих технологіях взагалі застосовують звичайні операції механічної обробки для видалення пошкодженого об'єму, безконтактне обстеження пошкодженої частини, ультразвуковий наклеп і спеціальну механічну обробку для поновлення пошкодженої зони.

Винахід стосується поновлення (ремонту) за допомогою наплавлення. Поновлення особливо важко проводити у випадку, коли використовуються певні сплави, зварювання яких призводить до формування об'ємних дефектів. Це особливо стосується титанового сплаву Ti17. Цей сплав, наприклад, згадується у заявці на патент EP 1 340 832, яка стосується такого виробу як лопатка, яка зроблена з цього матеріалу. Коли проводять наплавлення за широко відомими технологіями типу вольфрам - електродного дугового зварювання (ВЕДЗ) або мікроплазмовими технологіями, які використовують в індустрії аеронавтики, то ці технології тільки дозволяють обробку титану Ti17 у випадках, обмежених легко напруженими зонами.

Ці відомі технології наплавлення призводять до утворення дефектів. Наплавлення по технології типу ВЕДЗ, яка потребує суттєвої кількості енергії на невелику товщину, викликає напруження у матеріалі і призводить до утворення великої кількості пор, таких як мікропори або мікропузири, а також простягнених зон термічного впливу (ЗТВ). Ці мікропори, які дуже складно визначити, викликають послаблення механічних властивостей до 80%. Тому цей тип наплавлення можна застосовувати тільки у легко напружених зонах. При мікроплазмовому напавленні утворюються менші ЗТВ, але вони все ще є відносно великими. Крім того, цей метод потребує особливої уваги і періодичного обстеження обладнання і вироблених продуктів, щоб не було відхилень робочих параметрів машини і не змінювалися очікувані результати.

У патенті US 6 568 077 описаний спосіб поновлення лопатки на СОДІ, в якому пошкоджену частину лопатки піддають механічній обробці, а потім, як перший варіант, видалену частину поновлюють шляхом осадження за допомогою машини для вольфрам - електродного дугового зварювання (ВЕДЗ). Як другий варіант вварюють вставку за допомогою машини електронного променевого зварювання. Потім поновлюють профіль лопатки за допомогою відповідної механічної обробки. Але, цей спосіб не вирішує вище згаданих проблем, коли необхідно зварювати певні титанові сплави.

Лазерне наплавлення є технологією, при якій можна уникнути дефектів в зоні наплавлення.

Лазерне наплавлення вже відоме і його використовують, наприклад, у випадках, де утворювали металеві контури, наприклад, по даним автоматизованого проектування (АП). Стінки мають товщину 0,05 - 3 мм, а шари мають висоту 0,05 - 1 мм. Така технологія робить можливим досягти чудового металургійного з'єднання з основою.

Технологія наплавлення з допомогою лазерного променя має наступну перевагу: приплив тепла є постійним у часі. Не має часу для акумулювання тепла усередині об'єму і для його розсіяння, а тому має місце невелике виділення газу у випадку титану і обмеження зменшення міцності. Крім того, повторюваність і надійність цієї технології є достатньою, щоб одразу встановити параметри машини, і їх легко контролювати.

При застосуванні лазерної технології одночасно додають заповнюючий матеріал і піддають опромінюванню основу лазерним променем. Взагалі, матеріал подають у робочу зону у вигляді порошку або металевого дроту. В іншому варіанті, його розпилюють у вигляді порошкового струменя у робочу зону, використовуючи прийнятну форсунку.

Але, такий спосіб є складним у впровадженні.

По-перше, необхідно забезпечити, щоб напавлений метал був придатним для поновлення, не послаблюючи механічні властивості зони поновлення.

По-друге, також необхідно, щоб обладнання було спроможне виконувати поновлення без значного послаблення властивостей інших матеріалів.

Об'єктом винаходу є спосіб для механічного визначення характеристик металічного матеріалу відносно металу, з якого виготовлена частина, яку необхідно поновити, і для підтвердження обладнання для поновлення зазначеної металевої частини шляхом наплавлення зазначеним металічним матеріалом. Спосіб включає:

- виготовлення заглиблення механічною обробкою у плитці із зазначеного металу частини, яку потрібно поновити;
- наплавлення заглиблення за допомогою зазначеного обладнання, використовуючи зазначений металічний матеріал;
- вирізання дослідного зразка із зазначеної плитки так, щоб він мав центральну зону, яка складається тільки з металу, що наплавлений; і
- випробування дослідного зразка на втому під дією осьової вібрації для визначення, чи послаблені механічні властивості відносно металу частини.

Якщо для поновлення частин виробник або користувач машин користується послугами будь-яких суміжників, які можливо використовують сплави, які не ідентичні сплавам, з яких виготовлені частини, то важливо мати простий засіб для підтвердження, що частини можуть бути поновлені задовільно. Спосіб за винаходом робить це можливим. Все, що потрібно, то це виробник або користувач повинен забезпечити суміжника набором вище згаданих дослідних зразків, а для суміжника - повернути їх виробнику або користувачу після проведення наплавлення запропонованим способом. Результати досліджень, проведені з наборами дослідних зразків після їх розриву, будуть давати точне уявлення про можливість виконати задовільне поновлення, використовуючи показники механічних властивостей матеріалу.

Спосіб застосовує тип обладнання переважно для лазерного наплавлення, але, залишається можливим застосування обладнання будь-якого іншого типу наплавлення.

У способі зокрема застосовують металічний матеріал, який складений з титанового сплаву, зокрема, Ti17 або TA6V, для частини також виготовленої з титанового сплаву.

Переважно, плитка має форму паралелепіпеда, а заглиблення, виготовлене механічною обробкою у плитці, має форму, яка відповідає формі вирізу, який виготовлений у частині, яку необхідно поновити. Зокрема, заглиблення є циліндричним з віссю поперек плитки.

Далі, спосіб буде більш детально описаний з посиланнями на додані креслення, де

на фіг. 1 показаний частковий вигляд суцільного облопаченого диска;

на фіг. 2 показаний схематично вигляд перерізу сопла для лазерного наплавлення;

на фіг. 3-6 показана послідовність отримання дослідного зразка з лазерною напавкою за винаходом для визначення механічних характеристик;

на фіг. 7 схема випробування на втому із застосуванням вібрації, прикладеної до напавленого дослідного зразка;

на фіг. 8 показана макрознімок поверхні розлому; і

на фіг. 9 показаний графік для аналізу результатів дослідження.

На фіг. 1 показана частина суцільного облопаченого диска 1. Лопатки 3 є радіальними і розподілені по периферії диска 5. Ця збірка є суцільною збіркою у тому розумінні, що вона виготовлена або шляхом механічної обробки з єдиної заготовки, або шляхом зварювання принаймні частини з її компонентів. Лопатки, зокрема, не з'єднані з диском за допомогою засобу, що дозволяє роз'єднання. Зонами, що можуть бути ушкоджені, є передні кромки 31, задні кромки 32, кути 33 передніх кромок, кути 34 задніх кромок і кромка кінця 35 аеродинамічної поверхні, яка має частину, яка зменшується по товщині, формуючи, як відомо, кромку ущільнення.

Тип пошкодження залежить від положення зони. На передній кромці, задній кромці або кути аеродинамічної поверхні, наприклад, це може бути втрата матеріалу, спричинена ударом іншого тіла, або тріщина. На кінці аеродинамічної поверхні більш часто має місце знос, викликаний тертям по корпусу двигуна.

В залежності від пошкодженої зони, видаляють кількість матеріалу і визначають геометрію, розміри і бокові границі зони поновлення. Таку формоутворюючу операцію виконують механічною обробкою, зокрема фрезуванням, використовуючи прийнятний інструмент, до такого рівня, який забезпечує бажану кількість наварювання.

Поверхню наварювання, на яку буде накладатися заповнюючий матеріал, очищують механічним і хімічним способами. Це очищення пристосовують до матеріалу основи. Це є важливим зокрема у випадку титанового сплаву Ti17 або сплаву TA6V.

На фіг. 2 показане сопло 30 для лазерного наплавлення. Це сопло має канали для подачі металевого порошку, який повинен залягти у зоні, яку потрібно поновити вздовж осі руху лазерного променя. Промінь направляють на частину, а металевий порошок M затягується потоком газу G у зону, яка нагріта променем.

Сопло рухається вздовж зони, яку необхідно поновити, вперед і зворотно, поступово наплавляючи масу шарів матеріалу, який осаджується і розплавляється лазерним променем. Наплавлення виконують при постійній швидкості і інтенсивності, навіть якщо товщина змінюється вздовж частини, яку наплавляють.

Параметри вибирають, зокрема так, щоб обмежити внутрішні напруги і будь-яку повторну механічну обробку, а також величину зони термічного впливу (ЗТВ). Параметрами, які приймаються до уваги при напавленні є:

- висота фокусної точки лазерного променя (переважно це лазер типу "YAG") над поверхнею;
- швидкість руху сопла 30;
- енергія, яка передається променем;
- порошок (Ti17 або TA6V), який використовують і матеріал якого не обов'язково є тим самим металом, як і основа, розмір частинок порошка, які переважно дорівнюють 30 і 100 мкм, і його фокальну точку; і

- природу захопленого або утриманого газу, який переважно є гелієм або аргоном.

Тип сопла, яке використовуватимуть, визначають попередньо. Швидкість і енергія залежать від типу машини, що використовують.

Зокрема, у випадку титану Ti17, для запобігання появи порожнин усередині об'єму було знайдено, що параметри не повинні варіювати більш як на  $\pm 5\%$ .

Винахід стосується підтвердження вибору лазерного зварювального обладнання для забезпечення методу поновлення шляхом наплавлення. Зокрема, перед тим, як почати експлуатацію машини і застосувати її для поновлення СОДу шляхом наплавлення, необхідно підтвердити, чи наплавлені частини не будуть мати будь-які шкідливі послаблення під час використання.

Таке підтвердження виконують шляхом проведення досліджень на зразках, які називають дослідними зразками для визначення характеристик і підтвердження вибору обладнання. Ці дослідні зразки 50, показані на фіг. 3-6, дають можливість :

- визначити візуально відсутність окислення і вимірити геометрію наплавлення;
- оцінити металургійну якість наплавлення після механічної обробки з або без термообробки, шляхом руйнівного або неруйнівного тестування, наприклад, кольорової дефектоскопії і вивчення мікрознімків перерізів; і

- оцінити матеріал Ti17 лазерного наплавлення після механічної і термічної обробок у показниках механічних властивостей, які можна отримати шляхом проведення циклічних досліджень на втому (ЦДВ).

У деяких випадках наплавлення СОДу, переважно використовують плитку 50, отриману з ковкої заготовки для СОДу, так як потім вона буде мати напрямок волокон такий як у матеріалі СОДу, який будуть поновлювати на такому обладнанні. Щоб провести ці дослідження, плитка повинна бути у вигляді паралелепіпеду, наприклад, з наступними розмірами: 100 мм×19 мм×8 мм.

Заглиблення 52 (див. фіг. 4) утворюють шляхом механічної обробки так, що геометрія його профілю відповідає порожнині, яка повинна бути вирізана в пошкодженій зоні передньої або задньої кромки аеродинамічної поверхні для формування зони, яку необхідно поновити. Ця порожнина має циліндричну форму, вісь якої є поперечною до осі плитки.

Плитка 50 є більш широкою, ніж аеродинамічна поверхня. Заглиблення 52 наплавають (див. фіг.5) за допомогою обладнання, яке бажають для використання в подальшому. Заглиблення має достатню глибину, наприклад, максимальна глибина дорівнює 5 мм, що є необхідною для проведення операцій за цим способом шляхом формування маси наплавлення з декількох шарів. Крім того, завдяки відповідній ширині плитки, наплавлення виконують, перехресшуючи різні шари.

Після того як наплавлення закінчене (див. фіг. 5), можливо з деяким перевищенням, враховуючи, що це не буде мати будь-яких наслідків, вирізають з плитки тонкий елемент 56. Цей елемент 56, показаний на фіг. 5 заштрихованим, включає наплавлену частину 54. Як можна бачити на фігурі, тонкий елемент є паралельним і зміщеним трохи донизу (наприклад на 1 мм) відносно поверхні, на якій виконано наплавлення. Наприклад, з плитки товщиною 8 мм отримують тонкий елемент товщиною 2,5 мм. Цей елемент має три різні частини, при цьому, центральну частину складає виключно наплавлений метал між двома частинами з металу власне плитки.

На фіг. 6 показаний тонкий елемент 56, який механічно оброблений для створення центральної частини 56а, яка є зоною наплавлення, виконаною у плитці. Ця центральна частина 56'а по всій товщині виконана з наплавленого матеріалу. По боках частини 56а сформовані кінцеві лапки 56b для захоплення затискними патронами машини, на якій проводять циклічні випробування на втому.

Ці випробування, схематично показані на фіг.7, виконуються шляхом прикладання протилежно направлених аксіальних стискаючих і розтягуючих сил. При цьому визначають частоту і амплітуду вібрацій, кількість циклів і температуру.

На фіг. 8 показаний макрознімок поверхні дослідного зразка у розломі. Дослідний зразок руйнується у зоні наплавлення. Вивчення цієї поверхні дає можливість підтвердити якість наплавлення і побачити природу присутніх дефектів. На графік з логарифмічною шкалою по осі X наносять рівень перемінної напруги у МПа для різних дослідних зразків, в залежності від кількості циклів, і відмічають кількість циклів, після яких відбувається руйнування зразка. Наприклад, на цьому графіку для набору зразків, який складений з декількох дослідних зразків, були нанесені випадки руйнування різних дослідних зразків, що спричинене випадковим руйнуванням А або руйнуваннями В в основній зоні.

Таким чином, шляхом аналізу визначають рівень послаблення матеріалу при застосуванні обладнання, що передбачають використовувати. Цей рівень є відношенням механічної міцності матеріалу після наплавлення до механічної міцності цього матеріалу в оригінальній частині.

Якщо випробування на дослідному зразку є задовільними і рівень послаблення перевищує мінімальну граничну величину, що визначається експериментально, то вважається, що підтверджена можливість застосування такого обладнання для наплавлення.

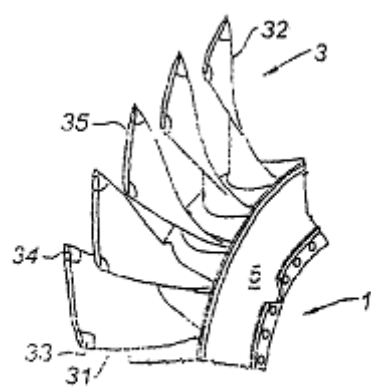


Fig. 1

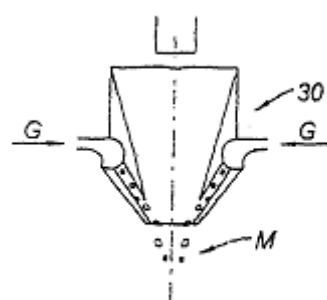


Fig. 2

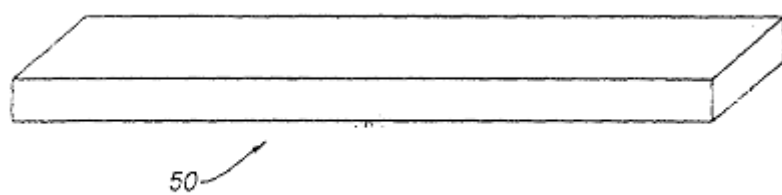


Fig. 3



Fig. 4

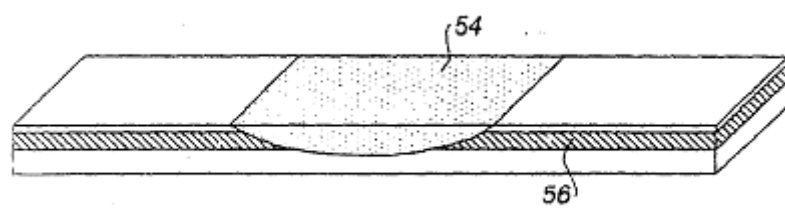


Fig. 5

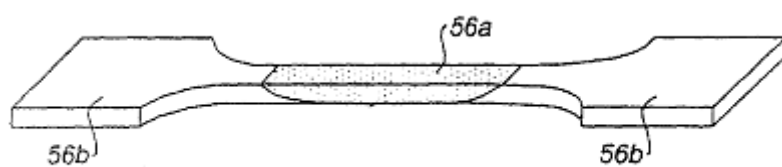


Fig. 6

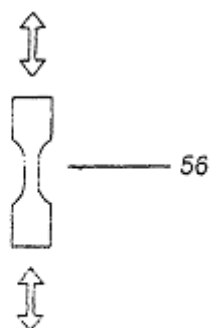


Fig. 7



Fig. 8

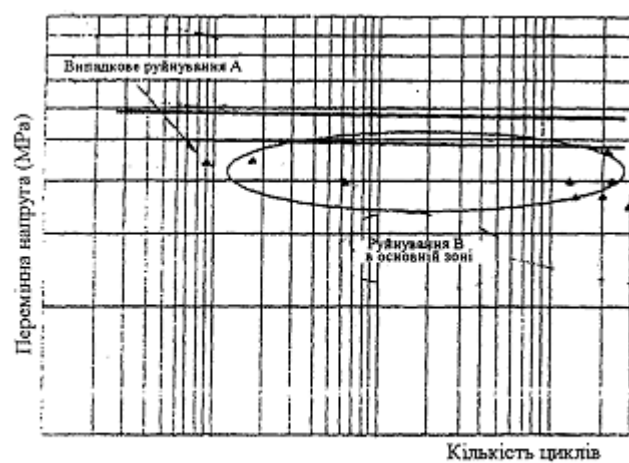


Fig. 9