

Корисна модель належить до машинобудування, зокрема до авіадвигунобудування, а саме до технології оздоблювально-зміцнювальної обробки пера лопаток газотурбінних двигунів, і може бути застосована для обробки плоских та складнопрофільних поверхонь інших деталей газотурбінних двигунів (ГТД) з нікелевих і залізонікелевих сплавів, у тому числі отриманих з використанням адитивних технологій.

Відомий спосіб оздоблювально-зміцнювальної обробки лопаток компресора ГТД, при якому обробку поверхні проводять у два етапи [Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора: монография / В.А. Богуслаев, П.Д. Жеманюк, А.Я. Качан и др. - Часть I. - Запорожье: АО "Мотор Сич", 2017. - 500 с.]. На першому етапі виконують ручне полірування з метою зменшення шорсткості поверхні та усунення слідів від попередньої механічної обробки. На другому етапі поверхні пера і хвостовика лопаток піддають поверхнево-пластичному деформуванню сталевиими кульками в ультразвуковому полі. Недоліком відомого способу є висока трудомісткість полірувальної операції, спричинена низькою твердістю матеріалу поверхонь, що оброблюють. Це не дозволяє інтенсифікувати режими полірування.

Найближчим аналогом вибрано відомий спосіб оздоблювально-зміцнювальної обробки поверхонь лопаток компресора газотурбінних двигунів [Патент 2273500 РФ, МПК В24С 1/10 (2020.08); В24С 11/00 (2020.08); В24С 3/32 (2020.08); В24С 5/08 (2020.08)] "Способ упрочнения поверхностного слоя лопаток компрессора газотурбинных двигателей" Н.В. Абрамов, В.А. Гейкин, Н.Д. Никулин, В.В. Орехова, С.И. Горбунов, Акционерное общество "Объединенная двигателестроительная корпорация", заявл. 09.04.2020, Опубл.: 19.02.2021, Бюл. № 5., який включає зміцнення поверхневого шару лопаток компресора ГТД сталевиими кульками різної твердості з підшипникової сталі. Недоліком цього способу є те, що зміцнення супроводжується утворенням регулярного мікрорельєфу на поверхнях пера лопаток у вигляді вм'ятин, які сприяють зниженню характеристик витривалості. Мікронерівності, що утворюються, стають концентраторами напружень, на яких зароджуються втомні тріщини при експлуатації деталі. Для згладжування мікронерівностей застосовують додаткову операцію віброполірування, що нівелює ефект зміцнення, а також збільшує загальну трудомісткість виробництва. Також низька твердість поверхонь лопаток компресора ГТД до зміцнення збільшує трудомісткість попередньої полірувальної операції, спрямованої на зменшення висоти мікронерівностей. Необхідність застосування сталевиих кульок з різною твердістю в загартованому та відпаленому стані збільшує трудомісткість поверхнево-пластичного деформування.

Загальним недоліком відомих способів оздоблювально-зміцнювальної обробки лопаток ГТД є висока трудомісткість полірувальної операції і зміцнення поверхневого шару при поліруванні поверхонь лопаток компресора, що призводить до зниження характеристик витривалості.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити продуктивність і технологічність при збереженні якості оздоблювально-зміцнювальної обробки лопаток газотурбінних двигунів, забезпечити мінімальну шорсткість поверхонь полірованих лопаток, при меншому часі обробки та збільшенні глибини і ступеня поверхневого наклепу, що забезпечують значне підвищення границі витривалості лопаток компресора ГТД.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб оздоблювально-зміцнювальної обробки лопаток компресора газотурбінних двигунів, який включає заповнення робочої камери кульками з підшипникової сталі, закріплення в камері лопаток з можливістю взаємодії поверхонь, що зміцнюються, з кульками, та їх обробку за допомогою ультразвукових коливань, згідно з корисною моделлю, після формоутворення поверхні лопаток піддають деформаційному зміцненню в ультразвуковому полі сталевиими кульками діаметром 1,6 мм і твердістю HRC 59...61 зі сталі ШХ15 впродовж 5...8 хвилин, після чого поверхні лопаток полірують та піддають додатковому ультразвуковому зміцненню такими ж сталевиими кульками діаметром 1,6 мм впродовж 10...12 хвилин.

На відміну від аналога поверхнево-пластичне деформування сталевиими кульками в ультразвуковому полі додатково виконують перед поліруванням поверхонь лопаток. Це забезпечує підвищення твердості поверхонь за рахунок деформаційного зміцнення та технологічності полірувальної операції.

Спосіб здійснюють наступним чином.

Оздоблювально-зміцнювальну обробку пера лопаток виконують у три етапи. На першому етапі у робочу камеру, заповнену сталевиими кульками з підшипникової сталі, поміщають лопатки, закріплюють їх так, щоб зміцнювані поверхні мали можливість контакту з кульками. Рушійною силою для металевих кульок є ультразвукові коливання робочої камери. Використовують сталеві кульки діаметром 0,68...2 мм твердістю HRC 59...61 зі сталі ШХ15 без попередньої термічної обробки. Зміцнювальну обробку, залежно від матеріалу оброблюваної деталі, виконують впродовж 5...8 хвилин. Це забезпечує підвищення твердості поверхонь і формування в поверхневому шарі стискаючих залишкових напружень, однак не сприяє усуненню поверхневих мікронерівностей і зменшенню шорсткості поверхонь. На другому етапі виконують ручне або вібраційне полірування пера лопаток. Висока твердість попередньо зміцнених поверхонь забезпечує ефективне усунення мікронерівностей і зниження трудомісткості процесу полірування, але воно призводить до роззміцнення поверхневого шару. На третьому етапі виконують повторну зміцнювальну обробку кульками в ультразвуковому полі впродовж 10...12 хвилин. Це забезпечує зміцнення поверхневого шару і формування стискаючих залишкових напружень, що підвищує характеристики витривалості лопаток. При цьому висока твердість поверхневого шару поверхонь лопаток, сформована в результаті первинної зміцнювальної обробки, не допускає утворення вм'ятин від зіткнення з металевими кульками. Це дозволяє інтенсифікувати режим зміцнення, що призводить до зменшення трудомісткості зміцнювальної обробки лопаток ГТД.

Конкретний приклад реалізації способу. Оздоблювально-зміцнювальній обробці піддавали перо лопаток компресора високого тиску ГТД із залізо-нікелевого сплаву ЕП 718-ІД. Мікротвердість поверхні пера лопаток після фрезерування та відпалу становила 4600 МПа. Поверхнево-пластичне деформування виконували за рахунок кінетичної енергії кульок, що рухались в ультразвуковому полі, впродовж 5 хвилин. Використовували сталеві кульки діаметром 1,6 мм твердістю HRC 59...61 зі сталі ШХ15. Після зміцнення аеродинамічних поверхонь пера лопаток, попередньо формоутворених високошвидкісним рядковим фрезеруванням, середня висота мікронерівностей зменшувалась з 5 до 2,5 мкм, мікротвердість поверхонь підвищилась до 5350 МПа. Після деформаційного ультразвукового зміцнення пера лопаток їх піддавали ручному поліруванню. Ручне полірування

зменшувало середню величину мікронерівностей до 0,6 мкм, однак одночасно з цим відбувалось роззміцнення поверхневого шару, що супроводжувалось зменшенням мікротвердості поверхні з 5350 МПа до 5100 МПа. Повторне деформаційне зміцнення після полірування сталевими кульками діаметром 1,6 мм твердістю HRC 59...61 зі сталі ШХ15 впродовж 10 хвилин незначно погіршувало параметр середньої шорсткості поверхні з 0,6 до 0,8 мкм, проте приводило до відновлення зміцненого шару. Мікротвердість поверхонь пера лопаток після повторного зміцнення становила 5300...5400 МПа.

Загальна трудомісткість способу оздоблювально-зміцнювальної обробки знижувалась на 10...15 % за рахунок зменшення трудомісткості операції ручного полірування. Границя витривалості партії лопаток після полірування та деформаційного зміцнення сталевими кульками в ультразвуковому полі складала 360 МПа, що на 40 МПа перевищувало границю витривалості лопаток після високошвидкісного рядкового фрезерування.

Застосування способу подвійного зміцнення дозволило забезпечити межу витривалості лопаток на рівні 400 МПа, що на 40 МПа перевищує значення для лопаток з одноразовим зміцненням і на 80 МПа лопаток після високошвидкісного рядкового фрезерування. Застосування запропонованого способу оздоблювально-зміцнювальної обробки сприяло також підвищенню міцності лопаток в області обмеженої довговічності.