

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТИЖДЕНЬ НАУКИ

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів,
викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів

18–22 квітня 2016 року

Том 5



м. Запоріжжя

УДК 001
ББК Ч 21
Т39

Рекомендовано до видання Вченою радою
Запорізького національного технічного університету
(протокол № 12 від 23.05.2016)

Упорядник Висоцька Н. І.

Редакційна колегія:

Внуков Ю. М., д-р техн. наук, професор (відпов. ред.)

Зайцева В. М., канд. пед. наук, професор

Івченко Л. Й., д-р техн. наук, професор

Луньов В. В., д-р техн. наук, професор

Піза Д. М., д-р техн. наук, професор

Прушківський В. Г., д-р екон. наук, професор

Сажнев В. М., канд. техн. наук, доцент

Висоцька Н. І., начальник патентно-інформаційного відділу

Тези доповідей друкуються методом прямого відтворення тексту, представленого авторами, які несуть відповідальність за його форму і зміст.

Тиждень науки. Тези доповідей науково-практичної конференції,
Т39 Запоріжжя, 18–12 квітня 2016 р. / Редкол.: Ю. М. Внуков (відпов.
ред.) та ін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. – 22с.

ISBN 978-617-529-147-4. (повне зібрання)

ISBN 978-617-529-146-7. (том 5)

Зібрані тези доповідей, заслуханих на щорічній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. Збірка відображає широкий спектр тематики наукових досліджень, які проводяться у Запорізькому національному технічному університеті. Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців.

**УДК 001
ББК Ч 21**

ISBN 978-617-529-147-4.

ISBN 978-617-529-146-7.

© Запорізький національний
технічний університет (ЗНТУ), 2016

З МАТЕРІАЛІВ ПЕРШИХ ЗБОРІВ ІНФОРМАЦІЙНО-КООРДИНАЦІЙНОГО ФОРУМУ «ЗАПОРІЖЖЯ НАУКОВЕ»:

«Під час проведення конференції в Запорізькому національному технічному університеті відбулася визначальна подія – нам було подаровано унікальний високоточний верстат нового покоління Zenitech WL-320. Ми вдячні меценату, нашому колишньому випускнику, доценту Олександрю Богуслаєву за постійну підтримку освіти і науки в університеті. Цей станок став початком формування нової науково-дослідної лабораторії. Впевнений, що вже у наступному році, при проведенні наступної конференції, до збірки наукових напрацювань увійдуть результати, отримані за допомогою цього обладнання. Це – вихід на нову сходинку в процесі підготовки вітчизняних спеціалістів.»

Сергій Беліков, професор, ректор ЗНТУ

«На современном этапе развития украинского государства ему необходимо опереться на все достижения современной науки, что даст ему возможность выйти из состояния затянувшегося кризиса. Но положение дел таково, что и самой науке крайне необходима помощь. Я обращаюсь к представителям регионального бизнеса с призывом последовать моему примеру: зайти в родной вуз, на родную кафедру и помочь в обновлении лабораторий, ремонте аудиторий, в которых мы получали образование, предоставить целевую стипендию одаренной молодежи, поддержать перспективный проект, просто помочь своему любимому учителю.»

Александр Богуслаев, бизнесмен

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»	5
<i>Дядя С. І., Козлова О. Б.</i> Особливості попутного та зустрічного фрезерування з автоколюваннями	5
<i>Логомінов В. А.</i> Використання фільтру савицького-голя для дослідження коливань при фрезеруванні тонкостінних деталей	6
<i>Старіков В. А., Гончар Н. В.</i> Підготовка поверхонь деталей під нанесення покриття	7
<i>Плевака К. С., Гончар Н. В.</i> Аналіз можливості використання щіткових дискових полімерно-абразивних інструментів для обробки дерев'яних виробів	9
<i>Передела Г. А., Трішин П. Р., Гончар Н. В.</i> Використання двох – та трьох компонентних динамометрів для визначення сил обробки нежорсткими типами інструментів	10
<i>Івженко А. В., Нечитайло М. Б., Гончар Н. В.</i> Виконання фінішного етапу виготовлення лопаток ГТД на 5 – координатних фрезерних верстатах	12
СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ»	14
<i>Благунов В. Е.</i> Изготовление деталей ГТД из композиционных материалов с применением нанотехнологий	14
<i>Медведев А. С.</i> Изготовление деталей ГТД с применением интенсивной пластической деформации.....	15
<i>Ноженко Д. С.</i> Изготовление лопаток турбины ГТД с применением нанотехнологий.....	16
<i>Панасенко И. В.</i> Нанопокрyтия и нанопленки при производстве деталей ГТД	17
<i>Славгородський О. А.</i> Изготовление лопаток компрессора ГТД с применением нанотехнологий	18
<i>Гайдук Д. Л., Забитис А. Х., Педак А. В., Руденко М. И.</i> Оценка прочности и прогнозирование ресурса рабочих колес авиационных ГТД на основе численных методов с применением расчетных моделей высокого уровня	20

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»

УДК 621.9

Дядя С. І.¹, Козлова О. Б.²

¹ доц. ЗНТУ

² старш. викл. ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ ПОПУТНОГО ТА ЗУСТРІЧНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ З АВТОКОЛИВАННЯМИ

Фрезерування тонкостінних деталей в умовах дії автоколивень супроводжується як прискореним зносом інструменту, так і погіршенням якості поверхні. Вийти за межі дії автоколивень або знизити їх інтенсивність при чорновій обробці можливо, як за рахунок зменшення швидкості різання, що призведе до зниження продуктивності, так і шляхом вибору геометрії інструменту, способу фрезерування без зниження продуктивності.

Описана в статті [1] методика дозволяє дослідити вплив вищезначених способів. Так результати експериментів при попутному та зустрічному фрезеруванні показали, що в зоні формоутворення поверхні деталі в обох випадках виникають автоколивання. Це відбувається при зустрічному фрезеруванні на вході зуба фрези, коли найменша товщина зрізу, при попутному – на виході, коли також товщина зрізу зменшується до критичної величини. Слід відзначити, що розмах автоколивень в зоні формоутворення більше при зустрічному, ніж при попутному. Це впливає на висоту хвиль та шорсткість обробленої поверхні. Після попутного фрезерування шорсткість поверхні та висота хвиль менші ніж при зустрічному. Частота автоколивень теж впливає на формування профілю обробленої поверхні. При попутному фрезеруванні вона більше, ніж при зустрічному, як наслідок шаг хвиль в першому випадку менший, ніж в другому.

Але попри відзначених позитивів попутного фрезерування, слід зауважити, що початок різання з більшої товщини призводить до того, що деталь більше відтискається, і припуск, що зрізається, менший, ніж при зустрічному.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Внуков Ю. Н. Разработка методики оценки уровня автоколебаний тонкостенной детали при ее концевом фрезеровании / [Ю. Н. Внуков, А. И. Гермашев, С. И. Дядя, и др.] // Сучасні технології в машинобудуванні, зб. Наук. Праць. –Харків, НТУ «ХП», 2015. – Вип. 10. – С. 3–13.

ВИКОРИСТАННЯ ФІЛЬТРУ САВИЦКОГО-ГОЛЕЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ

При механічній обробці можуть виникати вібрації елементів технологічної системи СПЗ. Появу коливань зв'язують з різними фізичними причинами [1, 2, 3, 4]. Вивчення коливань зручне звістці по осцилограмах коливального переміщення різального інструменту і(чи) оброблюваної деталі.

Складність вивчення коливань при фрезеруванні тонкостінної деталі полягає в тому, що відхилення тонкостінної деталі, викликані регенеративними автоколиваннями [1, 4], накладаються на відхилення, викликані вимушеними коливаннями.

Для детальнішого дослідження регенеративних коливань осцилограмам пропонується розділяти осцилограму на складову, викликану вимушеними коливаннями і автоколиваннями. Робиться це в наступному порядку. Спочатку із загальної осцилограми виділяємо ділянку, на якій відбувається різання одним зубом. Потім осцилограма обробляється згладжуючим фільтром Савицького-Голея [5]. Згладжена осцилограма є переміщенням тонкостінної деталі, викликаним силою віджимання, без переміщень, викликаних автоколиваннями. Якщо з початкової cut- грами відняти згладжену cut- граму отримаємо переміщення тонкостінної деталі викликане автоколиваннями.

Використання при згладжуванні cut- грами фільтру Савицького-Голея показує кращі результати в порівнянні з апроксимацією поліномами, рядами Фур'є і фільтром Гауса. Це пов'язано з меншим крайовим ефектом. Крім того фільтр Гауса спотворює форму сигналу.

Описана методика обробки осцилограм дозволяє оцінювати амплітуди вимушених і автоколивань, частоту автоколивань, а також фазове зрушення автоколивань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Altintas Y. Chatter Stability in Metal Cutting and Grinding / Y. Altintas, M. Weck // Annals of the CIRP. – №53 / 2. – 2004. – P.619–642.
2. Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. – 184 с.
3. Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.
4. Cheng K. Machining Dynamics: Theory, Applications and Practices / K. Cheng. – London: Springer, 2008. – 341 p.
5. Introduction to Signal Processing [Электронный ресурс] / Sophocles J. Orfanidis. – Rutgers University, 2010. – 795 p. –Режим доступа к книге: www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/i2sp.

Електроннопроменева обробка – обробка електронним променем, прискореним до великих енергій і сфокусованих в гостронаправлені потоки електронів. Переваги: можливість широкого регулювання режимів і тонкого управління тепловими процесами; придатність для обробки металевих і неметалічних матеріалів. Недоліки: необхідність захисту від рентгенівського випромінювання, відносно висока вартість і складність устаткування, необхідність глибокого вакууму, складно забезпечити рівномірність обробки фасонних поверхонь.

Декапірування – це технологічна операція, здійснювана безпосередньо перед зануренням деталей в гальванічні ванни. Переваги: висока якість поверхні. Недоліки: використання токсичних речовин; велике енергоспоживання і витрата води.

Галтовка – процес очищення поверхні невеликих заготовів і деталей за допомогою абразивних речовин. Переваги: можливість одночасної обробки великої кількості деталей; доступність вживаних матеріалів і порівняльна нескладність конструкції устаткування. Недоліки: неможливість обробки дуже дрібних і високоточних тонкостінних деталей; нерівномірна інтенсивність знімання металу по поверхні, яка призводить до гіршої оброблюваності важкодоступних ділянок і поверхонь деталей.

Обробка механічними щітками. Переваги: покращується чистота поверхні – фактично віддаляється рваний і пригнутий метал з оброблених поверхонь, зменшується шорсткість без видалення основного металу і зміни розмірів деталі; обмежена різальна здатність – метал знімається тільки на кромці з утворенням маленького радіусу за короткий час. Недоліки: обмежена різальна дія (не видаляє великі задирки з високоміцних матеріалів) і невисока температура в зоні обробки (з її збільшенням відбувається плавлення полімерного матеріалу і налипання його на поверхню деталі, отже, потрібна додаткова обробка по зняттю цього налиплого шару).

Обробка в псевдозрідженому шарі абразиву. Переваги: при інтенсивному перемішуванні вирівнюється поле і усувається можливість значних локальних перегрівів; простота завантаження і переміщення ожижаемого матеріалу. Недоліки цього способу: порівняно невисока продуктивність і якість обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів – титанових і жароміцних сплавів.

Найбільш поширені методи обробки сложнопрофільних деталей перед нанесенням покриттів з метою підготувати поверхні, поліпшити якість, навести сприятливі властивості поверхневого шару, дають можливість збільшити термін служби і надійність покриттів.

УДК 620.115: 621.992.4

Плевака К. С.¹, Гончар Н. В.²

¹ студ. гр. М-122 ЗНТУ

² доц. ЗНТУ

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЩІТКОВИХ ДИСКОВИХ ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕРЕВ'ЯНИХ ВИРОБІВ

Чорнову обробку дерев'яних деталей, наприклад, в меблевій промисловості виконують фугуванням, фрезеруванням, а чистову – шліфуванням, найчастіше стрічковим. Потім проводять додаткову хімічну обробку і покриття лакофарбовими матеріалами. На лакованій поверхні особливо помітні дрібні нерівності, тому для отримання високої якості поверхні її шліфують кілька разів, також можливе дошліфовування дефектних місць. Крім того шліфування зменшує витрату лакофарбових матеріалів. З огляду на відносно високу трудомісткість процесу шліфування пошук нових, більш продуктивних методів та інструментів для виконання цього процесу є актуальним.

Метою даної роботи було провести аналіз можливості використання відносно нових щіткових дискових полімерно-абразивних інструментів (ПАІ) для фінішної обробки дерев'яних виробів.

ПАІ – є інструментом обертальної дії і являє собою металеву або пластмасову маточину, в якій закріплено волокна, що складаються з поліаміду – міцного високоеластичного полімерного матеріалу – і рівномірно розподілених в ньому абразивних зерен. Особливістю ПАІ в експлуатації є обмеження температурного режиму до 80...120°C.

Завдяки волокнистій структурі, яка повторює контур оброблюваної поверхні, і малим зусиллям різання, даним нежорстким інструментом також можлива обробка складнопрофільних об'ємних дерев'яних виробів.

Експерименти проводили на дерев'яних брусках з бука і берези. Бруски закріплювали в лещатах на плоскошліфувальному верстаті 3Г61. Режими обробки полімерно-абразивними інструментами: поздовжня подача $S = 1...3$ м/хв, окружна швидкість $V = 17$ м/с, натяг – характеризує ступінь притиснення інструменту до деталі – $i = 0,5...2,5$ мм.

Параметри інструменту: дисковий ПАІ діаметром $D = 120$ мм; діаметр волокон $d_v = 1$ мм, виліт волокон $L = 22$ мм, матеріал абразиву б3С, зернистість F90. Обробку проводили без ЗОТС.

Шліфування ПАІ вздовж волокон дає кращу якість обробленої поверхні, порівняно з напрямком поперек волокон. Досягається шорсткість $Ra = 0,32$ мкм за один прохід ПАІ. Поверхня гладка, матова. Волокниста структура дерева не проявляється.

При великому збільшенні, порівнюючи звичайні шліфовані поверхні і оброблені ПАІ, можна помітити наявність мілкої пилоподібної тирси у западинах мікропрофілю у перших, і її повну відсутність у других. Тирса вимітається волокнами, завдяки чому витрати на лак значно зменшуються, і якість покриття покращується.

При необхідності, збільшуючи натяг і більше 1,5 мм, можна додатково видаляти шар оброблюваної поверхні у м'яких порід дерева.

Висновок: щіткові полімерно-абразивні інструменти показали задовільні результати при шліфуванні дерев'яних виробів. Але вони потребують подальшого вивчення.

УДК 621.8:621.7.015

Перевала Г. А.¹, Трішин П. Р.², Гончар Н. В.³

¹ студ. гр. М-122 ЗНТУ

² студ. гр. М-121м ЗНТУ

³ доц. ЗНТУ

ВИКОРИСТАННЯ ДВОХ – ТА ТРЬОХ КОМПАНЕНТНИХ ДИНАМОМЕТРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ОБРОБКИ НЕЖОРСТКИМИ ТИПАМИ ІНСТРУМЕНТІВ

З кожним роком пред'являються усе більш високі вимоги до якості деталей і оптимізації витрат на їх виготовлення. Тому впровадження нових методів фінішної обробки є актуальними. Еластичні інструменти на основі полімерно-абразивних (ПА) волокон нещодавно з'явилися на ринку інструментів. Для кращого використання усіх можливостей ПА інструментів слід досконально досліджувати їх силову дію на оброблювану поверхню для уніфікації цього методу обробки. Це дасть можливість: правильно підбирати режими різання; понизити тепловий вплив на поверхню; підвищити стійкість інструменту; забезпечити необхідну якість деталі; вибрати оптимальну потужність електродвигуна шпинделя; розрахувати привід подання; конструювати затискне облаштування верстатного пристосування.

Дослідження в цій області звичай зводяться до визначення головної складової сили різання в ідеальних статичних умовах, що далеко від реальності.

Розрізняють методи виміру сил: експериментально-аналітичний, потужностний, тензорезистивний, п'єзорезистивний, оптико-поляризаційний, волоконно-оптичний, пластичний і пружній деформації, механічний.

Методи виміру сили об'єднують в наступні групи: урівноваження шуканої сили силою тяжіння тіла відомої маси; вимір прискорення тіла відомої маси, до якого прикладена шукана сила; урівноваження шуканої сили електромагнітною

силою; перетворення сили в тиск рідини і вимір цього тиску; вимір деформації пружного елемента системи, викликану шуканою силою.

Найбільш поширеним пристроєм для виміру сили є динамометр (від др.– греч. δύναμις – «сила» і μέτρον – «вимірюю»). Він складається з силової ланки і відлікового пристрою. У силовій ланці вимірюване зусилля викликає деформацію, яка безпосередньо або через передачу повідомляється відліковому пристрою. Динамометри підрозділяються на пружинні, гідравлічні, механічні, електричні. Залежно від кількості вимірюваних величин вони підрозділяються на однокомпонентні (Fz), двокомпонентні (Fx, Fz), трикомпонентні (Fx, Fy, Fz) і так далі.

Електричні динамометри є найбільш чутливими, оскільки вони малоінерційні і дозволяють робити запис быстропротекаючих процесів за тисячні і сотисячні частки секунди. Такі динамометри перетворюють механічну дію сил різання в легко вимірювані електричні величини. У облаштування електричних динамометрів входять датчики ємнісні, конденсаторні; індуктивні або тензометричні.

На даний момент існує безліч конструкцій силоизмерительних пристроїв, але в основному вони прив'язані до виду обробки, виду інструменту, устаткування. У більшості з них як відлікових пристроїв використовуються тензодатчики.

Недоліками тензодатчиків є: висока жорсткість системи; неусувна нестабільність градуовальної характеристики тензометричних балок; високі гістерезисні ефекти від тиску і температури на тензорезисторах; низька стійкість при дії ударних навантажень і вібрацій.

Оскільки при обробці ПА інструментами існує ряд таких директивних чинників, як мінімальне знімання металу, мала силова дія, незначна ударна дія інструментом, проте що викликає вібрацію, вживане устаткування – ручна шліфмашина, плоскошліфувальний верстат, лещата або спецустановка з горизонтальним конвеєром, складний оброблюваний контур деталей, бажана простота конструкції і низька вартість динамометра, тому існуючі динамометри не прийнятні для використання в цих дослідженнях. Нині актуальна розробка трикомпонентного динамометра з силоизмерительным пристроєм із здатністю гасіння ударної дії інструменту і досить чутливого. В якості відлікового пристрою за критерієм ціна – якість найбільш підходять індуктивні датчики. Перевагою такого пристрою, являється можливість виміру низьких надмірних і диференціальних зусиль, досить висока точність і незначна температурна залежність.

УДК 621.8:621.7.015

Івженко А. В.¹, Нечітайло М. Б.², Гончар Н. В.³

¹ студ. гр. М-111 ЗНТУ

² студ. гр. М-121м ЗНТУ

³ доц. ЗНТУ

ВИКОНАННЯ ФІНІШНОГО ЕТАПУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОПАТОК ГТД НА 5 – КООРДИНАТНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ

Фрезерні оброблювальні центри з ЧПУ широко використовуються в різних галузях промисловості. Особливо раціональне їх застосування в авіадвигателестроєнні. Точність обробки на цих верстатах дозволяє усебічно використати їх для різних стадій обробки: обдирної, чорнової, напівчистової і чистої. Гнучкість налаштування цих верстатів дозволяє в найкоротші терміни переналагодити їх на виробництво деталей іншої конфігурації(номенклатури) в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Однією з проблем при виготовленні лопаток газотурбінних двигунів(ГТД) є ручне полірування на фінішному етапі їх виготовлення. Процес цей дуже трудомісткий, тривалий, монотонний і вимагає високої кваліфікації робітника.

Метою цієї роботи було провести аналіз можливості впровадження полімерно-абразивного інструменту(ПАІ) для проведення фінішного етапу обробки лопатки після фрезерування профілю пера на 3.5 координатних фрезерних верстатах з ЧПУ, не знімаючи лопатки з верстата, що дозволить зменшити час обробки і понизить долю ручної праці.

ПАІ – це відносно новий невивчений вид нежорстких інструментів, використовуваний для фінішної обробки деталей різної конфігурації з різних матеріалів. Пружність волокон інструменту дозволяє обробляти поверхні складного профілю. Інструмент є металевою або пластмасовою маточиною, на якій закріплені поліамідні волокна з включеннями абразивних зерен, які і виконують мікрорізання. Завдяки високій еластичності, загальне зусилля різання дуже мале, що сприятливо позначається при обробці нежорстких деталей, до яких відносяться лопатки ГТД.

Оскільки значна частина лопаток виготовляється з жароміцних титанових сплавів, необхідно відмітити, що застосування СОТС обов'язково при їх обробці ПАІ, оскільки вони мають низьку теплопровідність. Полімерна основа волокон ПАІ втрачає прочностні властивості при температурі 80.120°З, тому температурний режим вимагає особливого контролю, що, проте, має і свою позитивну сторону – гарантована невисока температурна дія на оброблювану поверхню. Досліджувані верстати забезпечують шедре охолодження СОТС робочої зони контакту «інструмент-деталь».

Параметри інструментів:

– дисковий ПАІ діаметром $D = 75$ мм, ширина $B = 20$ мм, виліт волокон $L = 15$ мм, діаметр волокон $\sigma_y = 1,2$ мм, матеріал абразиву 63С, зернистість F280;

– кінцевий ПАІ діаметром $D = 32$ мм, виліт волокон $L = 8$ мм, діаметр волокон $\sigma_y = 0,6$ мм, матеріал абразиву 63С, зернистість F320.

Режими різання: подовжнє подання $S = 1$ м/мін, швидкість $V = 4.6$ м/с, натяг $i = 1.1$, 5 мм, поперечне подання $\sigma_{п\text{п}} = 0,4$ мм.

Дисковий ПАІ дозволяє працювати тільки зі спинкою і коритом лопатки. Видалення тонкого шару припуску матеріалу забезпечує шорсткість $Ra 0,63$ мкм. При цьому вхідна і вихідна кромки залишаються практично незайманими.

Кінцевий ПАІ дозволяє працювати з усією поверхнею лопатки. Здійснюється чистова фінішна обробка, отримувана шорсткість $Ra 0,32.0,2$ мкм.

В результаті виконаної роботи можна зробити наступний висновок: застосування 3.5 координатних верстатів для фінішної обробки лопаток ГТД можливо, але вимагає подальшого вивчення, оскільки на даний момент залишилися низка невивчених запитань відносно адаптації програмного забезпечення, по очищенню СОТС і тому подібне

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ»

УДК 621.452.007

Благун В. Е.

студ. гр. М-721м ЗНТУ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГТД ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Нанокompозитные материалы сильно отличаются от обычных. Усовершенствование их свойств основывается главным образом на легировании основного материала. Этим путем были созданы новые кристаллические суперсплавы и суперкерамика.

Нанокompозитные материалы из-за очень малого (< 10 нм) размера зерен и значительной роли граничных областей, окружающих отдельные зерна, ведут себя иначе по сравнению с обычными материалами. Поэтому они обладают совершенно новыми свойствами.

Идеализированная модель со сверхтвердым нанокompозитным покрытием показана на рис. 1, а. На рис. 1, б представлено схематическое изображение одного из нанокompозитов системы Ti-Si-N.

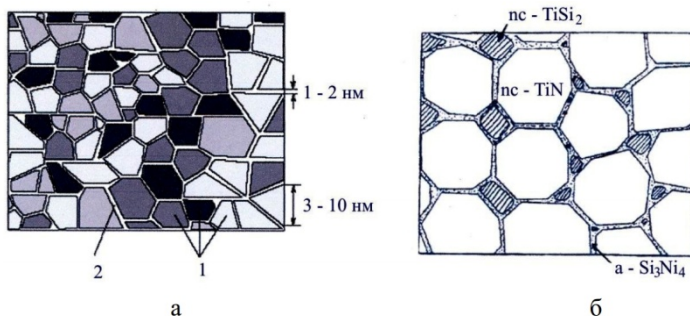


Рисунок 1 – Схематическое изображение нанокompозитов.

a – идеализированное наноструктурное покрытие (1 – нанокристаллиты, 2 – аморфная прослойка); *б* – строение нанокompозитов – TiN / α -Si₃N₄ / nc-TiSi₂.

Традиционным материалом для изготовления лопаток газотурбинного двигателя (ГТД) и других деталей горячей секции служит никелевый жаропрочный сплав. Как альтернатива никелевым сплавам рассматриваются легкие и очень стойкие огнеупорные материалы – керамические композитные материалы (в т. ч. нанокompозитные), эвтектически кристаллизованная керамика и высокотемпературные интерметаллиды. Цель новых разработок –

повысить надежность и ресурс, снизить вес двигателя, уменьшить расход топлива и выброс оксидов азота NOx. Уже сейчас некоторые технические решения в авиационных ГТД и ракетных двигателях реализуются с использованием нанотехнологий.

Создание корпусов современных ГТД, обеспечивающих непробиваемость при обрыве лопатки, невозможно без применения новейших, в том числе композиционных, наноматериалов. Выбор материалов должен основываться на детальном изучении их механических свойств, в том числе, проявляющихся при ударных взаимодействиях и в условиях повышенных температур.

УДК 621.453.3

Медведев А. С.

студ. гр. М-721м ЗНТУ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Исследования последних двух десятилетий показали, что эффективным способом повышения механических свойств металлов и сплавов является формирование УМЗ-наноструктур с размером зерен в субмикро- и нанокристаллическом диапазоне методами ИПД. Такие структуры обладают уникальным сочетанием физико-механических свойств, таких как высокие прочность и пластичность, высокая усталостная долговечность, износостойкость. Формирование наноструктур реализуется за счет использования больших степеней деформации (со степенями $e = 3 \dots 10$ и более) при сравнительно низких температурах (ниже $0,3 \dots 0,4 T_{пл}$).

В докладе рассмотрены технологические особенности и возможности использования материалов, полученных методами ИПД (кручение под гидростатическим давлением, РКУП, ВЭ, всестороннюю изотермическую ковку) для изготовления деталей ГТД. Поскольку используются особо ценные жаропрочные сплавы на основе железа, никеля и титана, следует отметить влияние наноструктурирования на их свойства. Жаропрочность в этих материалах обеспечивается наличием большого (свыше 50%) количества наноразмерных интерметаллидных частиц с когерентными границами или тонкопластинчатой (~ 100 нм) фазы. При изготовлении и эксплуатации таких деталей, как диски, лопатки, кольца, из этих сплавов, необходимо учитывать возможность протекания процесса рекристаллизации при температурах выше $0,3 \dots 0,4 T_{пл}$. Рекристаллизованные структуры

характеризируются увеличенным размером зерна, пониженными прочностными и пластическими характеристиками.

Из материалов, произведенных методами ИПД, изготавливают наполнители инновационных полых широкоордных вентиляторных лопаток, которые характеризуются высокой удельной прочностью при значительном облегчении конструкции. Широко используются титановые сплавы с УМЗ-структурой, обладающие малой массой и повышенной надежностью, для производства лопаток, дисков и моноколес ГТД. Для изготовления корпусные детали используются наноструктурированные алюминиевые и магниевые сплавы, которые характеризуются повышенной прочностью (1,5–2 раза) и свариваемостью в сравнении с микроструктурными.

УДК 621.438

Ноженко Д. С.

студ. гр. М-721м ЗНТУ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Современные газотурбинные двигатели (ГТД) требуют применения жаропрочных сплавов для лопаток турбин с высоким комплексом технологических, механических и эксплуатационных свойств. Условия работы указанных деталей крайне напряженные, связанные с повышением температуры газа на входе в турбину.

Перспективным направлением повышения эксплуатационных характеристик рабочих лопаток турбины является модифицирование жаропрочных никелевых сплавов наночастицами тугоплавких соединений, инициирующих кристаллизацию.

В данном докладе рассматривается повышение качества длинномерных лопаток ГТД за счет объемного модифицирования жаропрочного никелевого сплава ЖСЗДК-ВИ нанодисперсными композициями.

Известно, что уменьшение размера кристаллитов ниже некоторой пороговой величины может приводить к значительному изменению свойств металлов и сплавов. Такие эффекты проявляются, когда средний размер кристаллических зерен не превышает 100 нм, и наиболее отчетливо наблюдаются при размере зерен менее 10 нм.

Мелкозернистые сплавы в сравнении с крупнозернистыми имеют повышенные значения твердости, сопротивление усталости и пластичности при комнатной и повышенных температурах. Следовательно, в ультрамелкозернистых материалах напряжения распределяются среди

большого числа границ, что приводит к пониженному уровню деформации на каждой границе. В крупнозернистых же материалах на одно зерно приходится большая локальная нагрузка, что является причиной преждевременного растрескивания по границам зерен.

С целью оптимизации макроструктуры, получения равномерной полиэдрической, мелкокристаллической структуры на турбинных лопатках было опробовано модифицирование сплава ЖСЗДК-ВИ нанодисперсными порошками Ti(C, N) в таблетированном виде.

С помощью предложенного способа модифицирования можно достичь значительного измельчения макроструктуры лопаток турбины ГТД. В немодифицированном сплаве размер зерна составлял 3...10 мм, в модифицированном – 0,5...1 мм. А также повысить предел прочности σ_B на 15–20%, ударную вязкость КСУ на 40...44% и относительное удлинения δ в 1,5–2 раза.

УДК 621.452.007

Панасенко И. В.

студ. гр. М-721м ЗНТУ

НАНОПОКРЫТИЯ И НАНОПЛЕНКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Новый уровень развития авиации в будущем могут обеспечить только новые инновационные нанотехнологии, в том числе нанопокрывтия и нанопленки на различных деталях машин. Наибольшее распространение получили следующие способы формирования нанопленок и нанопокровтий как: осаждения вещества на подложку из парогазовой фазы или плазмы, а также из растворов, обработки поверхности, основанные на таких процессах азотирования и гидрирования, обработка атомами бора, титана и другими элементами. Среди технологий осаждения вещества на подложку из растворов особенно эффективно электролитическое осаждение, обеспечивающее расширенный спектр возможностей по регулированию параметров процесса осаждения. На практике важная роль отводится технологиям осаждения, позволяющим получать эпитаксиальные нанопленки. Возможны получения такие видов покровтий как алмазоподобные и керамические нанопленки, многослойные композиционные покровтия.

Эрозионно-коррозионностойкие покровтия для защиты стальных и титановых лопаток компрессора ГТД.

Для ранее разработанного серийного эрозионностойкого покровтия из многослойного ZrN, переход на ассистированное осаждение позволяет

повысить более чем в два раза эрозионную стойкость композиции. Для нанослойных покрытий ассистированное осаждение обеспечивает увеличение эрозионной стойкости в десятки раз по сравнению со стойкостью покрытий, полученных при обычном ионно-плазменном осаждении. Показано, что эрозионная стойкость нанослойных покрытий снижается при уменьшении толщины нанослоев и наиболее высокой стойкостью обладают покрытия с толщиной нанослоев на уровне 50–80 нм. Установлено, что для титановых сплавов лучшим эрозионно-коррозионностойким покрытием является нанослойное покрытие Ti / CrN (AO) со средней толщиной нанослоев 56 нм. Для стали лучшими покрытиями являются AL + (модиф.) + CrC (AO), (NiCrTiAlHf) C + CrC (AO). В целом показано, что среди полученных нанослойных 2D покрытий на основе нитридов или карбидов металлов наиболее высокой эрозионной стойкостью обладает композиция сплава ВТ 1-0 с покрытием TiN / CrN с толщиной нанослоя ~70 нм и с количеством нанослоев 350–400. Установлено, что эрозионная стойкость этого покрытия снижается с уменьшением толщины нанослоев.

УДК 621.438

Славгородский О. А.

студ. гр. М-621м ЗНТУ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Представлена информация о новом методе интенсивной пластической деформации – винтовой экструзии (ВЭ). Рассмотрим различные схемы ВЭ, описан опыт реализации этого процесса, анализируется влияние ВЭ на механические характеристики Ti-сплава.

В настоящее время большой интерес в мире проявляется к материалам с наноструктурой (НС) и ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой (размеры зерна 10...100 нм и 100...1000 нм соответственно). Такие материалы обладают уникальными физико-механическими характеристиками.

Одним из наиболее эффективных методов получения объемных заготовок с НС и УМЗ структурой является интенсивная пластическая деформация (ИПД), основная цель которой – накопление деформации в заготовках без изменения их формы. К процессам ИПД относятся: равноканальное угловое (РКУ) прессование, всесторонняяковка и др.

Особенностью процессов ИПД является то, что форма заготовки после полного цикла деформации практически совпадает с исходной, что позволяет обрабатывать ее многократно. В результате больших пластических

деформаций металлов (эквивалентная деформация составляет обычно $\epsilon_e = 510$). Размеры их структурных элементов уменьшаются и достигают значений, характерных для НС и УМЗ материалов. Вследствие этого металлы после ИПД приобретают уникальные свойства, многие из которых представляют практический интерес. В частности, они обладают весьма высокой пластичностью в сочетании с высокой прочностью.

Основная идея винтовой экструзии (ВЭ) состоит в том, что призматическую заготовку пропускают через винтовую матрицу (рис. 1 б).

Канал винтовой матрицы показан на рис. 1 б. Он состоит из трех участков: заходного 1, винтового 2 и калибрующего 3. Поперечные сечения всех участков одинаковы.

Характеристикой винтового участка, является угол β наклона винтовой линии, наиболее удаленной от оси матрицы, к оси экструзии (см. рис. 1 а).

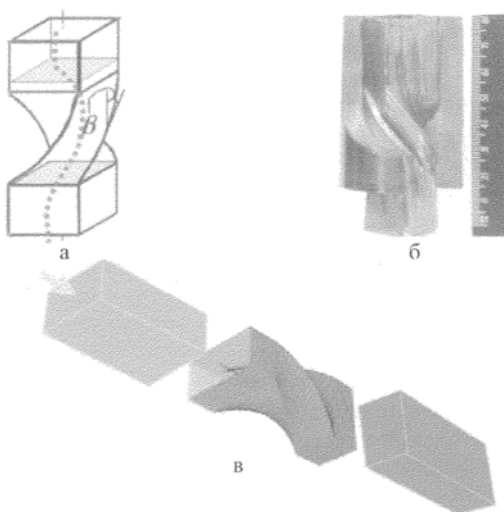


Рисунок 1 – Винтовая экструзия

a – схема винтового канала; *б* – экструзия сплава через винтовой канал (продольный разрез); *в* – схема прохождения заготовки через винтовой канал.

Указанные особенности геометрии канала приводят к тому, что при выдавливании через него форма заготовки не изменяется, это позволяет осуществлять ее многократную экструзию с целью накопления интенсивных деформаций. При этом происходит изменение структуры и свойств заготовки при сохранении идентичности начальной и конечной ее формы.

Для исключения высокотемпературного воздействия на структуру субмикроструктурных Ti-сплавов с повышенными механическими

свойствами методом ИПД, формообразование лопаток предложено производить одним из прогрессивных методов механической обработки – высокоточным скоростным фрезерованием.

Формообразование поверхностей лопатки осуществляется методом спирального высокоскоростного фрезерования, в соответствии с которым профиль лопатки образуется путем многократного огибания фрезой с постоянным перемещением по высоте лопатки (см. рис. 2). При том в процессе фрезерования осуществляется точечный контакт инструмента и обрабатываемой поверхности. Количество проходов устанавливаются, исходя из требуемой шероховатости обработанной поверхности лопатки.

В процессе обработки, с целью исключения удара инструмента, с элементами конструкции фиксирующего деталь приспособления, управляют вектором инструмента, что достигается одновременной работой всех пяти координат станка.

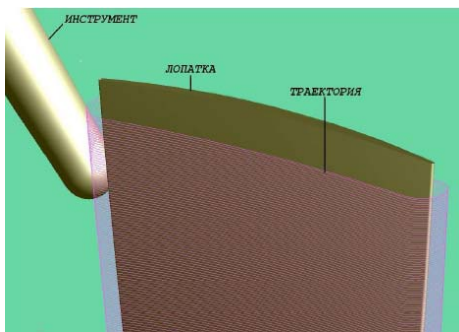


Рисунок 2 – Формообразование пера лопатки спиральным высокоскоростным фрезерованием

УДК 629.7.03

Гайдук Д. Л., Забитис А. Х., Педак А. В., Руденко М. И.
студ. гр. М-612 ЗНТУ

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА РАБОЧИХ КОЛЕС АВИАЦИОННЫХ ГТД НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫСОКОГО УРОВНЯ

Современные численные методы (главным образом, метод конечных элементов) совместно с экспериментами позволяют с минимальными материальными затратами определять уровень прочности деталей и прогнозировать ресурс деталей и узлов авиационного двигателя.

Использование расчетно-экспериментальных методов лежит в основе современных систем разработки ГТД. Компьютерное моделирование при проектировании дисков компрессоров авиационных ГТД позволяет обеспечивать требуемый уровень напряженности и, соответственно, требуемый ресурс.

Твердотельная модель исследуемого объекта построена средствами NX Unigraphics – системой автоматизированного проектирования. Для работы в UGS были использованы рабочие чертежи диска и рабочей лопатки компрессора.

Конечно-элементная модель создана в программном комплексе «ANSYS». Математический анализ конструкции или явления применяется не к реальным явлениям, а к некоторым математическим моделям этих явлений. Постановка задачи – это точная формулировка математической модели. В основе создания математической модели лежит метод конечных элементов, один из численных методов.

Суть метода конечных элементов заключается в том, что область, занимаемая конструкцией, разбивается на множественное число подобластей. Последние носят название – конечных элементов, а сам процесс разбивки – генерацией К. Э. сетки.

Расчетная модель – это конечно-элементная модель с учетом всех возможных внешних нагрузок: частота вращения; учет центробежных сил, распределенных аэродинамических давлений на лопатки; учет нелинейного контактного взаимодействия диска с лопаткой; температурное поле; заданные ограничения перемещений.

В качестве результатов расчета анализируются: радиальные перемещения рабочего колеса; радиальные напряжения; окружные напряжения; эквивалентные напряжения, служащие основанием для назначения ресурса детали.

Рассматриваются некоторые методы увеличения ресурса. Первый метод – перепротягивание замковых пазов с увеличением радиуса сопряжения доньшка паза. Второй метод заключается в усилении диска, то есть выполнить усиление обода и, соответственно, ступицы. Третий метод – переход на «двузубую елочку».

Благодаря возможностям расчетного комплекса «ANSYS» можно и необходимо математически оценить все предложенные мероприятия и выбрать наиболее оптимальный вариант, что экономит средства на материал, изготовление и испытания детали.

Наукове видання

ТИЖДЕНЬ НАУКИ

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів,
викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів
18–22 квітня 2016 року

Том 5

Упорядник *Висоцька Н. І.*
Технічний редактор *Висоцька Н. І.*
Відповідальний за випуск *Висоцька Н. І.*
Верстання *Гринь Д. В.*

Оригінал-макет підготовлено в науково-дослідній частині
та редакційно-видавничому відділі ЗНТУ

Підписано до друку 29.08.2016. Формат 60×84 1 / 16. Ум. друк. арк. 1,28.

Тираж 20 прим. Зам. № 730.

69063, м. Запоріжжя, ЗНТУ, вул. Жуковського, 64, друкарня ЗНТУ

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2394 від 27.12.2005.