

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

КОЛЕСНИК ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 621.95-472(043.3)

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРИ СВЕРДЛІННІ
ЦИЛІНДРИЧНИХ ОТВОРІВ В ПАКЕТАХ
«ВУГЛЕПЛАСТИК/ ТИТАНОВИЙ СПЛАВ»**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Криворучко Дмитро Володимирович,
Сумський державний університет,
м. Суми,
професор кафедри технології
машинобудування, верстатів та інструментів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Петраков Юрій Володимирович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
м. Київ,
завідувач кафедри технології машинобудування

доктор технічних наук, професор
Тарасюк Анатолій Петрович,
Українська інженерно педагогічна академія,
м. Харків,
перший проректор з навчальної роботи

Захист відбудеться «16» червня 2016 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «16» травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Зубкова Н.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасних літальних апаратах широко застосовуються, як металеві матеріали (титанові і алюмінієві сплави та ін.), так і волокнисті полімерні композиційні матеріали (ВПКМ). Використання ВПКМ у вузлах літальних апаратів постійно зростає, збільшившись з 2 до 50% за останні 30 років. ВПКМ все частіше використовуються в пакетах з металами, що в цілому дозволяє знизити масу машин без втрат міцності їх компонентів і зниження надійності в цілому. Найпоширенішими металевими шарами в пакетах є шари з алюмінієвих та титанових сплавів. З'єднання шарів у пакеті найчастіше здійснюється різного роду механічними з'єднаннями, наприклад, болтовими або заклепковими. Тому найбільш поширеними технологічними операціями є механічна обробка отворів і слюсарно-складальні операції, які, за різними оцінками, складають 30-40% технологічної собівартості виготовлення з'єднань ВПКМ/метал, що може бути вирішено впровадженням однопрохідної технології обробки отворів.

Отже, поглиблене дослідження впливу технологічних параметрів обробки на точність і якість сформованих отворів у пакетах є актуальною науково-практичною задачею, яка визначила напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету у рамках НДР МОН України: «Дослідження обробки отворів в композиційних матеріалах і змішаних пакетах на основі імітаційного моделювання робочих процесів» (ДР № 0112U001377), «Підвищення вібростійкості процесів фрезерування та точіння складнопрофільних деталей з важкооброблюваних матеріалів на основі керування та оптимізації геометрії різальної частини інструментів» (ДР № 0113U000136с), «Розроблення методології моделювання механічного оброблення отворів в змішаних пакетах метал/композиційний матеріал» (ДР № 0115U005425), при реалізації яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – зниження технологічної собівартості формування циліндричних отворів у пакетах вуглепластик/ титановий сплав за рахунок вдосконалення структури та параметрів процесу свердління.

Для досягнення зазначеної мети поставлено наступні задачі:

- виконати аналіз технологічних процесів обробки отворів у пакетах вуглепластик /метал в авіаційній та автомобільній промисловості;
- розробити методику експериментального дослідження свердління пакетів вуглепластик /метал з для вимірювання температури різання та осьової сили, а також оцінки зношування свердла, розмірної точності та показників якості оброблених отворів (розшарування та шорсткості);
- розробити скінчено-елементну модель процесу різання ВПКМ, для виявлення механізмів формування пошкоджень на обробленій поверхні;
- експериментально виявити параметри технологічних режимів свердління в пакетів вуглепластик /титановий сплав для забезпечення якості і

точності (*IT9*) циліндричних отворів. Запропонувати заходи щодо вдосконалення структурних і параметричних показників технологічного процесу обробки отворів за *IT9 – IT11*;

– розробити практичні рекомендації щодо удосконалення технологічного процесу обробки отворів у пакетах вуглепластик /титановий сплав і впровадити їх у виробництво.

Об'єкт дослідження – технологічний процес свердління отворів в пакетах вуглепластик /титановий сплав.

Предмет дослідження – вплив технологічних факторів на показники точності та якості отворів в пакетах вуглепластик /титановий сплав.

Методи дослідження. Під час виконання дисертаційної роботи використовувалися сучасні методи модельних і натурних досліджень. Для дослідження впливу технологічних параметрів, а саме швидкості різання (V , м/хв) та подачі (S , мм/об) на показники розмірної точності та якості отворів в пакетах вуглепластик /титановий сплав виконано вимірювання осьової сили та температури на свердлі, методами електричної тензометрії та штучної термопари відповідно. Для визначення градієнта температури на різальній кромці свердла і моделювання процесу різання вуглепластику використовувався метод скінчених елементів, реалізований у програмах ANSYS і LS-DYNA. Отримання даних про фізико-механічні властивості вуглепластика, волокон та матриці виконано за допомогою випробувань на розтягання (ГОСТ 11262-80) та стискання (ГОСТ 4651-86) стандартних та спеціальних зразків при нормальній температурі. Для визначення коефіцієнту тертя між інструментом і оброблюваним матеріалом проведено дослідження трибологічних властивостей методом втискання сферичного індентора, що обертається у півпросторі, при нормальній температурі. Перевірка стану різальної кромки свердла і вимірювання фаски зношування проводилися з використанням растрового електронного мікроскопа РЕМ100-УМ та оптичного інструментального мікроскопа МБС-9. Планування модельних та натурних експериментів і обробка їх результатів виконано на основі теорії багатофакторного експерименту. Дослідження сталості технологічного процесу свердління при різних режимах різання виконано з використанням ймовірно - статистичного аналізу розсіювання номінального розміру отворів у пакеті. Реалізацію числових моделей виконано з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що на основі скінчено-елементного моделювання процесу різання вуглепластика і результатів експериментальних досліджень запропоновано однопрохідну технологію свердління отворів, яка за рахунок покращення структурних і параметричних показників технологічного процесу дозволила знизити технологічну собівартість механічної обробки отворів у пакетах вуглепластик /титановий сплав за умови забезпечення їх якості і точності. Для цього:

– вперше сформульовано та експериментально обґрунтовано гіпотезу просторової орієнтації волокна вуглепластика відносно різальних кромок

свердла, що дозволило перетворити тривимірну модель різання вуглепластика при свердлінні в еквівалентну двомірну модель прямокутного різання;

– вперше на мікромеханічному рівні розроблено скінчено-елементну модель процесу різання вуглепластика, яка дозволила встановити, що пошкодження в обробленій поверхні формуються в результаті вигину і стиснення волокон при руйнуванні матриці залежно від кута орієнтації волокна;

– вперше при вимірюванні температури різання на свердлі встановлено, що за інших рівних умов свердління пакету з боку металу може мати температуру різання вище, ніж при свердлінні з боку вуглепластику, що дозволило розробити рекомендації до структури технологічного процесу свердління пакету вуглепластик /титановий сплав;

– вперше на основі експериментальних даних отримано математичні моделі впливу режимів різання на температуру різання, осьову силу, розмірну точність отворів і показники якості обробленої поверхні (розшаровування, шорсткості), що дозволило виконати вартісну оцінку якості обробки та вжити заходів щодо вдосконалення структури та параметрів технологічного процесу свердління пакету вуглепластик /титановий сплав;

– отримав подальший розвиток метод вирішення оптимізаційної технологічної задачі за критерієм мінімальної технологічної собівартості свердління з обмеженням по фасці зношування свердла, розмірної точності та якості обробки, що дозволило розробити рекомендації щодо вибору оптимальних режимів різання при свердлінні отворів у пакетах вуглепластик /титановий сплав за один прохід.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі полягає в розробці рекомендацій щодо технології застосування свердел для формування отворів у пакетах вуглепластик/ титановий сплав заданої розмірної точності та якості. Розроблено експериментальний метод контролю температури на різальній кромці свердла при обробленні отворів, що забезпечує виключення термічної деструкції при свердлінні вуглепластику. Розроблено рекомендації щодо забезпечення точності та якості отворів у пакетах вуглепластик/ титановий сплав при однопрохідній технології обробки тврдосплавним свердлом. Результати роботи використано при розробці технологічного процесу виготовлення деталі «Рукав» на ТОВ «Горизонт 12» (смт. Гора, Київська обл.), що дозволило знизити технологічну собівартість обробки отворів на 30% за рахунок впровадження раціональних режимів різання та однопрохідної технології свердління.

Результати дисертаційної роботи, а саме експериментальна методика вимірювання температури різання на свердлі, що обертається, використано в навчальному процесі кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету при підготовці лекційного матеріалу та лабораторних робіт для студентів за спеціальностями 6.05050201 – технології машинобудування, 6.05050301 – металорізальні верстати та системи з курсів «Теорія різання» і «Експериментальні методи дослідження технологічних процесів», а також при виконанні магістерської дипломної роботи зі спеціальності «Технології машинобудування».

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно. Серед них: обґрунтовано вибір об'єкту та предмету дослідження, обґрунтування плану експерименту, його реалізація, особиста участь в обробці результатів. На основі критичного аналізу науково-технічної літератури здобувачем систематизовано дані щодо технології забезпечення якості отворів у пакетах вуглепластик /титановий сплав. За результатами скінчено-елементного моделювання різання вуглепластику встановлено найбільш характерні пошкодження обробленої поверхні в залежності від кута орієнтації волокон відносно різальної кромки. В результаті експериментальних досліджень здобувачем розроблено математичні моделі впливу технологічних параметрів процесу свердління на температуру різання, осьову силу, якість та точність отворів, а також зношення інструменту. сталість технологічного процесу свердління пакетів вуглепластик /титановий сплав досліджена засобами ймовірісно-статистичного аналізу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися та обговорювалися на дев'яти наукових конференціях: II Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві», (м. Суми, 2012 р.); 11th International Conference New Ways in Manufacturing Technologies, (Prešov, Slovakia, 2012 р.); XII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», (м. Київ, 2012 р.); II Технічній конференції SAMPE SUTEC 2012, (м. Київ, 2012 р.); XIII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», (м. Кременчук, 2013 р.); III Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві», (м. Суми, 2014 р.); XIV Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», (м. Суми, 2014 р.); XV Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», (м. Житомир, 2015 р.); XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», (м. Одеса, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 17 наукових публікаціях, з них: 1 монографія у співавторстві, 6 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у закордонному періодичному фаховому виданні, 9 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації – 191 сторінка, у тому числі 92 рисунки, 23 таблиці по тексту дисертації, перелік використаних джерел з 126 найменувань на 11 сторінках, 3 додатків на 28 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наукову новизну і практичну цінність роботи.

У **першому розділі** визначено проблеми, пов'язані з обробкою і забезпеченням якості отворів у ВПКМ і пакетах з їх застосуванням.

Питанням підвищення ресурсу інструменту і забезпечення якості поверхні під час свердління ВПКМ і пакетів присвячено роботи Верезуба М.В., Глоби О.В., Пасічника В.А., Тарасюка А.П., Доброскок В.Л., Arola D., Aspinwall D.K., Bhatnagar N., Boehnke D., Brinksmeier E., Campbll F.C., Chen D., Chen W., Cong W.L., Davim J.P., Durão L.M., Koplev A., Kuo C.L., Magalhães A.G., Marques A.T., Martin R., M'Saoubi R., Nayak D., Pecat O., Poulachon G., Poutord A., Ramulu M., Rossi F., Saxena R., Senthil Kumar M., Sheikh-Ahmad J.Y., Singh I., Soo S.L., Treadwell C., Wang D.H., Wang X.M., Weiss R.A, Zhang H., та інші.

Якість отворів у деталях з ВПКМ значною мірою визначає термін служби всього з'єднання і може бути описана не тільки традиційними показниками: розмірна точність і шорсткість поверхні, але й додатковими пошкодженнями отворів: вид пошкодження, діаметр зони ушкодження, характерний розмір ушкодження. Характерними видами ушкоджень поверхні отворів у ВПКМ є розшарування, відколи кромки отворів, витягування волокон, міжшарові тріщини, термічна деструкція, розпушування волокон.

Основними технологічними проблемами, які виникають у процесі свердління пакетів вуглепластик /метал є труднощі, пов'язані із забезпеченням необхідної якості поверхневого шару отворів, точності розмірів, підвищене зношування різального інструменту, складність поєднання різних режимів обробки матеріалів пакета за один прохід.

У **другому розділі** розроблено методику теоретичних і експериментальних досліджень з визначення фізико-механічних та трибологічних властивостей вуглепластику, вимірювання зношення інструменту на якість і точність отворів та планування експерименту.

Для виготовлення зразків вуглепластику, як для статичних і трибологічних випробувань, так і для подальшої механічної обробки, застосовано техніку пошарового укладання волокна за схемою 0/90°. В якості волокнистого наповнювача використано високомодульне волокно ЛУ-П/0,1 ГОСТ 28006-88. Матеріалом матриці є епоксидна смола Lorit 285. Для виготовлення зразків використано технологію вакуумного формування відповідно до вимог методик ГОСТ 25.604-82, ГОСТ 11262-80, ГОСТ 4651-82.

За методиками ГОСТ 11262-80 і ГОСТ 4651-86 визначено фізико-механічні властивості епоксидної смоли Lorit 285: $E=1,4$ МПа; $\mu=0,45$; $\sigma_0=56$ МПа; $\sigma_B=67$ МПа; і вуглеволокна: $E=422$ МПа; $\mu=0,3$; $\sigma_B=450$ МПа.

Трибологічні випробування проводилися при нормальній температурі на трибометрі, який реалізує тертя сферичного індентора з твердого сплаву при його переміщенні відносно зразка з оброблюваного матеріалу при різних тисках в умовах жорсткого навантаження. Середній коефіцієнт за різних тисків склав у

парі твердий сплав/вуглепластик – 0,21 і твердий сплав/епоксидна смола – 0,19.

Дослідження проводилися на основі багатофакторного експерименту типу 2^2 . Факторами, що варіювалися, були швидкість різання та подача, які змінювалися в діапазоні від 15–65 м/хв і 0,02–0,08 мм/об відповідно.

У ході експерименту виконувалося свердління пакету вуглепластик/титановий сплав. Пакет складався з листа титанового сплаву марки ВТ-1-0 товщиною 5 мм твердістю 170 НВ, межею міцності 450 МПа, щільністю $4,5 \text{ г/мм}^3$, модулем пружності 113 ГПа і температурою плавлення 1600°C . На поверхні листа розміщувався шар вуглепластика, який був виготовлений методом пошарової укладання односпрямованого вуглецевого волокна за схемою $0^\circ/90^\circ$. Масова частка вуглецевого волокна в готових зразках складала 60%, товщина одного шару волокна дорівнювала 0,15 мм, а середній діаметр волокна – 10 мкм. Товщина пластини вуглепластика після шліфування складала п'ять мм.

Експеримент реалізований на стенді в лабораторії кафедри технології машинобудування, верстати та інструменті СумДУ, що складається з 3 координатного вертикально-фрезерного верстата FADAL VMC+4020 з системою ЧПК Fanuc Oi-MS, цангової оправки, системи для вимірювання температури на свердлі $\varnothing 10$ ($2\phi = 140^\circ$) з однокарбідного твердого сплаву GUEHRING-SL R-RT100U 5510 K/P95377, що обертається, динамометра УДМ 600 з діапазоном вимірювання від 0 до 6000 Н та похибкою не більше 10 Н, АЦП LTR 212 з частотою дискретизації 150 Hz, персонального комп'ютера.

Вимірювання температури різання здійснювалося системою, яка складається з термопари K типу, розташована на задній поверхні інструменту на відстані 1,5 мм від головної різальної кромки (рис. 1), нормуючого температурного перетворювача, АЦП, Bluetooth модуля, джерела живлення. Відправка і прийом даних здійснювалася за допомогою бездротової технології передачі даних Bluetooth (рис. 2).

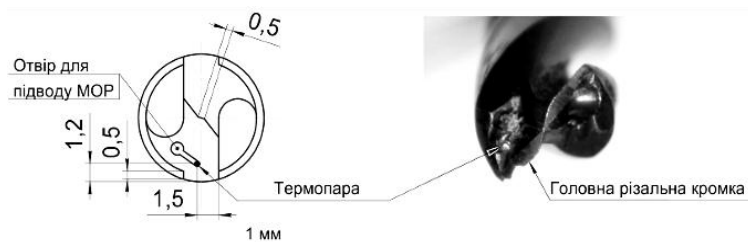


Рисунок 1 – Схема розміщення термопари у тілі свердла

Зношення свердла оцінювалося фаскою зношення по задній поверхні і радіусом округлення вершини свердла за допомогою растрового-електронного мікроскопу РЕМ-100УМ та інструментального мікроскопу МБС 9 з точністю 1 і 10 мкм відповідно.

Оцінка якості отворів здійснювалась за критерієм точності розміру, шорсткістю (за параметром Ra), а також коефіцієнтом розшаровування верхніх шарів вуглепластику у відповідності з ТІ 36-39-89 УкрНДІАТ «Виконання заклепочних і болтових з'єднань в конструкціях, що містять полімерні композиційні матеріали» та ТІ 07509416.25288.00793 УкрНДІАТ «Виконання болтових з'єднань з натягом». Відхилення розміру вимірювалося на

координатній вимірювальній машині RAPID THOME з похибкою менше 2 мкм. Шорсткість у шарах пакету виміряна на Профілографі 252 з похибкою 12%, що відповідає вимогам ГОСТ 19300-86 до вимірювальних приладів типу II, у відповідності з методикою ГОСТ 2789-73. Розшаровування визначено візуально за критерієм коефіцієнта розшарування (F_d) шляхом вимірювання на інструментальному мікроскопі МБС 9.

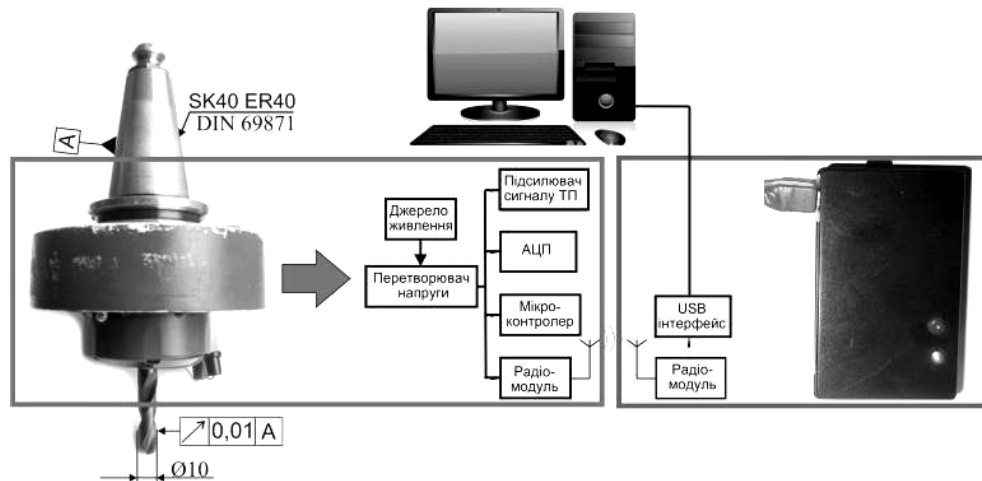


Рисунок 2 – Схема пристрою для вимірювання та передачі даних про температуру в зоні різання

Третій розділ присвячено модельному дослідженню причин пошкоджень обробленої поверхні при різанні вуглепластику.

Моделювання виконано на мікромеханічному рівні деталізації. Для відокремлення впливу різноспрямованості багат шарового композиційного матеріалу в роботі досліджено процес різання окремих шарів з однаковим направленням волокон. Виходячи із запропонованої просторової схеми розташування волокна відносно різальної кромки та напрямку головного руху (рис. 3) запропоновано перехід від 3D- різання у еквівалентний 2D- процес прямокутного вільного різання. При цьому кут орієнтації волокна розраховувався за формулою:

$$\tan \Theta_0 = \frac{\cos \chi}{\cos \Theta} , \quad (1)$$

де θ , χ , η – Ейлерові кути нахилу волокна у статичній системі координат, вісь Z якої орієнтована вздовж головного руху різання, а вісь X лежить у площині різання. Аналіз зміни кута Θ_0 при обертанні свердла показав, що чим менше кут в плані φ різальної кромки тим більше діапазон зміни цього кута і тим менше він залежить від величини вихідного кута θ . Так при $\varphi=0$ кут Θ_0 змінюється в діапазоні від 0 до 360°. У зв'язку з цим типовими орієнтаціями прийняті кути 0°, 45°, 90°, 135° (рис. 4). Розрахункову схему представлено у вигляді SE-частини заготовки з ВПКМ шириною $b = 0,13$ мм, довжиною $l = 0,5$ мм і висотою $h = 0,5$ мм (рис. 5). Товщина зрізаного шару a прийнята рівною 0,1 мм. При створенні SE-сітки розмір скінченого елемента був обраний рівним діаметру вуглецевого волокна і склав 10 мкм. Розмір SE-сітки леза був прийнятий рівним 50 мкм.

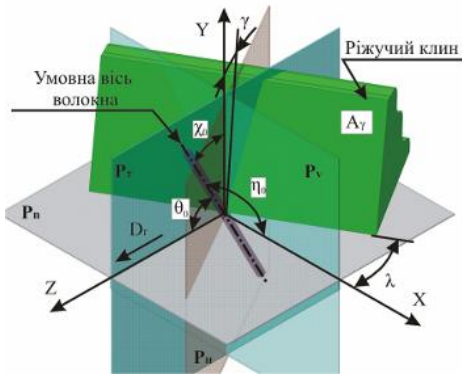


Рисунок 3 – Просторова схема орієнтації волокна

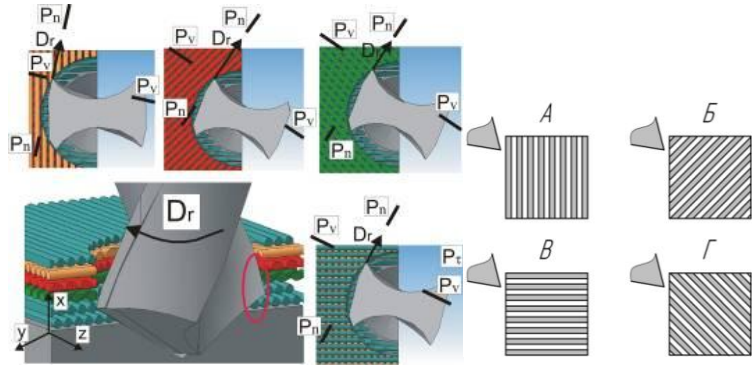


Рисунок 4 – Вибір типових ділянок з напрямком волокон 0° , 45° , 90° , 135° до різального клину

Для створення розрахункової моделі різання використані об'ємні елементи першого порядку з рівномірним розподілом напружень в обсязі елемента. Критерієм руйнування волокна виступали максимальні головні напруження, а критерієм руйнування матриці – величина накопичених пластичних деформацій. Зв'язок між волокном і матрицею прийнято абсолютно жорстким. Для прискорення розрахунку інструмент прийнятий абсолютно твердим.

На етапі (I) моделювання процесу різання (рис.6) різальна кромка тільки торкається поверхні. На етапі (II) різальна кромка починає різання шару вуглепластику, про що свідчить збільшення сили різання. Етап (III) характеризується стабільною роботою інструменту і коливанням сил різання в межах від 80 до 130Н/мм. Осьова сила зберігається незмінною аж до зменшення товщини оброблюваного шару і початку четвертого етапу. Етап (IV) характеризується закінченням процесу різання і виходом різального клину з матеріалу (рис. 6).

Чисельними методами розрахунку встановлено, що кут орієнтації волокон впливає на середню величину сили різання, амплітуду її коливань, глибину пошкоджень поверхні різання. Найменший вплив в напрямку головного руху різання виявлено при куті орієнтації волокон $\theta=135^\circ$, а найменша глибина пошкодження обробленої поверхні – при куті спрямованості волокон $\theta=45^\circ$.

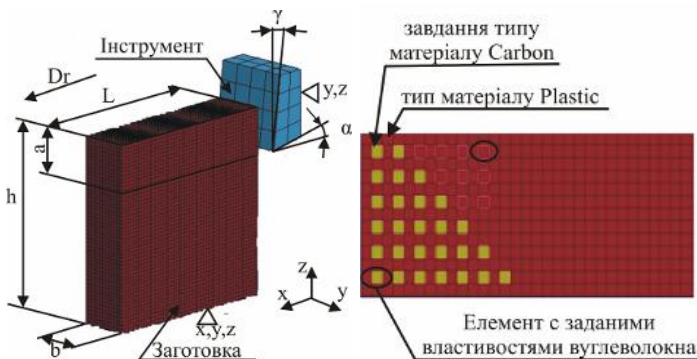


Рисунок 5 – Розрахункова схема SE-моделі

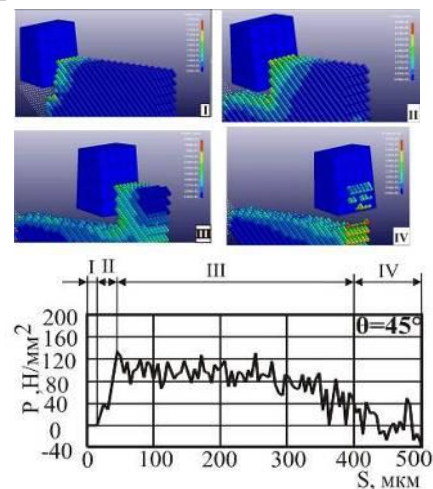


Рисунок 6 – Модель різання ВПКМ з кутом спрямованості волокон 45°

Експериментальні дослідження з обробки ВПКМ за аналогічних умов з кутом $\theta=45^\circ$ також виявили неглибокі ушкодження поверхні (до 10 мкм) з періодом приблизно 180 мкм. Має місце значне «розмазування» матеріалу матриці, що утворилося внаслідок її пружного відновлення (рис.7– 8).

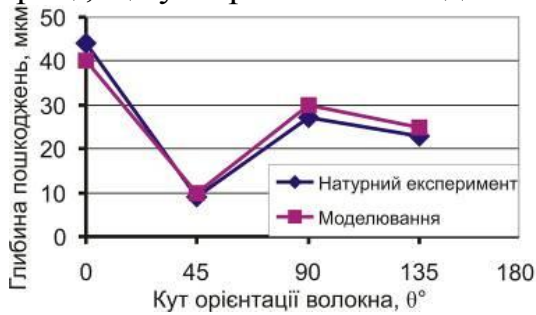


Рисунок 7 – Вплив кута орієнтації волокна на глибину пошкодження на поверхні ВПКМ

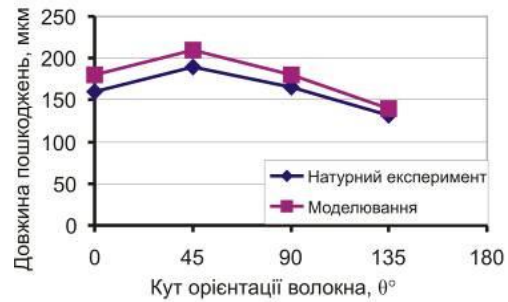


Рисунок 8 – Вплив кута орієнтації волокна на довжину пошкодження на поверхні ВПКМ

У четвертому розділі представлено результати експериментального дослідження впливу технологічних параметрів на температуру різання при обробці пакетів в комбінації вуглепластик /сталь, сталь/ вуглепластик та отримано емпіричні залежності впливу технологічних параметрів на температуру різання, осьову силу, розшарування, точність отворів, шорсткість та зношення інструменту.

На першому етапі у ході пошукових експериментів на прикладі обробки пакетів вуглепластик/ сталь та сталь/ вуглепластик встановлено, що при свердлінні пакету зі сторони вуглепластика (рис. 9 а) максимальна температура різання майже на 200°C більше, ніж при свердлінні пакету зі сторони металевому шару (рис. 9 б). Це пов'язано з низкою теплопровідністю вуглепластика, більш складними умовами відводу стружки від зони різання та її пакуванням. З іншого боку, максимальна температура різання у вуглепластику при свердлінні пакету вуглепластик/ сталь була на $35 - 44^\circ\text{C}$ менше, ніж при обробці аналогічного шару в пакеті сталь/ вуглепластик, що пов'язано з кращим відводом тепла в інструмент. Зважаючи на те, що при обробці пакету вуглепластик/ сталь температура різання вища, це може створити сприятливі умови для розвитку термічної деструкції епоксидної матриці. Це дозволило припустити, що дана комбінація матеріалів є більш складною з точки зору умов роботи інструменту та забезпечення якості оброблених. Тому подальші дослідження проводилися саме для такого розташування шарів.

Зношування свердла призводить до збільшення температури свердління в перехідному шарі і кожному з компонентів пакета. Так температура свердління вуглепластика протягом 20 отворів збільшилася на 10%, а температура обробки металу на 27%. Разом з тим осьова сила збільшилася на 43% при свердлінні вуглепластика і 5% сталі. При свердлінні вуглепластика швидкість зростання температури складала $2,6^\circ\text{C}/\text{с}$, в той час як при роботі свердла одночасно у пакеті вуглепластик/ сталь $8^\circ\text{C}/\text{с}$.

За результатами подальшого експериментального дослідження впливу технологічних параметрів, а саме швидкості (V) та подачі (S) у діапазоні 15–65 м/хв

та 0,02–0,08 мм/об за методикою повнофакторного експерименту типу 2^2 , встановлено їх вплив на температуру різання та осьову силу (рис. 10), шорсткість і точність при свердлінні отворів у пакетах вуглепластик/ титановий сплав за один прохід.

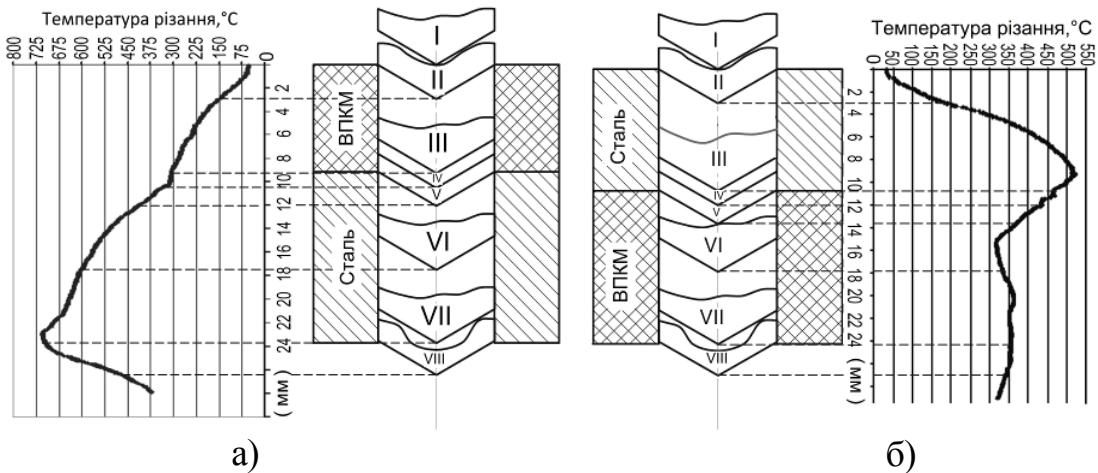


Рисунок 9 – Зміна температури різання при свердлінні пакету вуглепластик/ сталь (а) та сталь/ вуглепластик (б) свердлом Р6М5 ($D = 10$ мм; $n = 800$ об/хв; $S = 0,02$ мм/об)

Процес свердління пакету вуглепластик/ титановий сплав породжує різні температури різання в кожному з шарів. У дослідженому діапазоні режимів різання температура різання у вуглепластику склала 100–320°C, а в шарі титанового сплаву – 500–900°C. До кінця перехідної ділянки, коли свердло обробляє одночасно вуглепластик і титановий сплав, спостерігалася температура 400–650°C. Через малу товщини шарів у досліді рівень температури в шарі вуглепластику більше залежить від режиму різання, а в титановому шарі – від співвідношення товщини шару і хвилинної подачі, а також швидкості різання.

За результатами аналізу експериментальних даних встановлено регресійні залежності температури різання – $T=f(V,S,R)$; шорсткості – $Ra=f(V,S,R)$; розмірної точності – $TD=f(V,S,R)$; фаски зношування – $h_3=f(V,S,R)$, де R – порядковий номер отвору, V – швидкість різання, м/хв, S – подача, мм/об.

По причині різних фізико-механічних та теплофізичних властивостей шарів пакету при свердлінні, чутливість температури різання до зростання подачі у вуглепластику ($T_{ВП}$), за інших рівних умов, у 2,4 рази менше ніж при обробці шару титанового сплаву ($T_{Тн}$):

$$T_{ВП} = (8,3 \cdot 10^{-3} R + 1) \cdot (94,45 - 0,44 \cdot V + 258,33 \cdot S); \quad (2)$$

$$T_{Тн} = (5,9 \cdot 10^{-3} R + 1) \cdot (252,83 - 5,3 \cdot 10^{-2} V + 616,67 \cdot S). \quad (3)$$

Таким чином, можна зробити висновок, що зменшення швидкості різання створює сприятливі умови для відводу тепла в оброблений матеріал, що в контексті обробки полімерних матеріалів може призводити до розширення вуглепластика, збільшення глибини різання на допоміжних ріжучих крайках свердла і як наслідок збільшення фактичного розміру отвору і зниження його точності. Характерно, що найбільша швидкість зміни температури була відзначена при обробці перших 10 отворів, що свідчить про пристосування свердла до умов різання в пакеті.

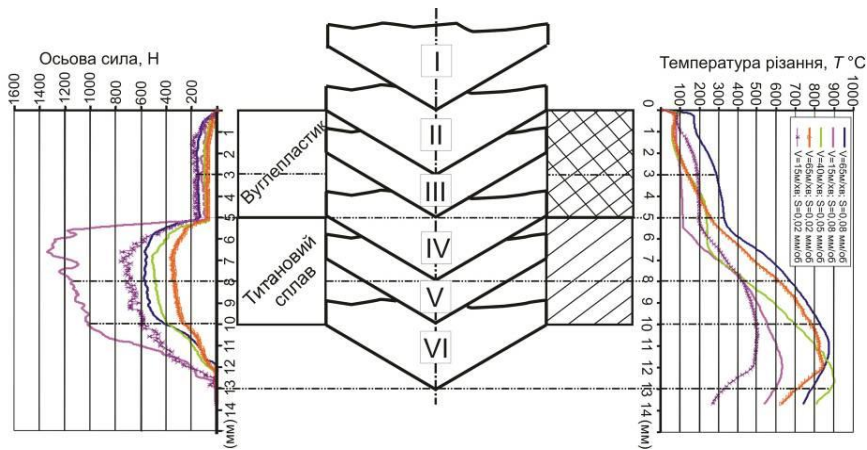


Рисунок 10 – Вплив режимів різання на температуру різання та осьову силу при свердлінні пакету вуглепластик/ титановий сплав гострим свердлом (перший отвір у серії дослідів)

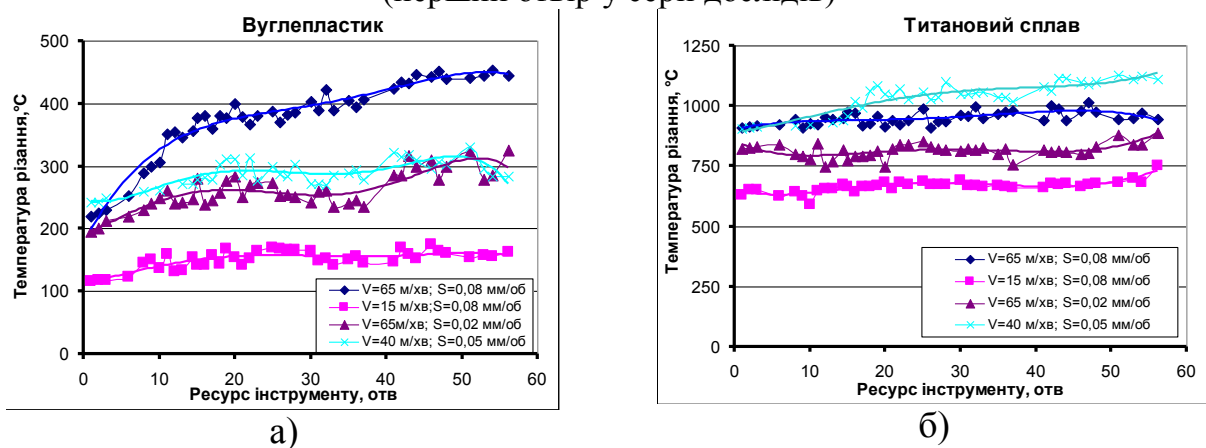


Рисунок 11 – Вплив технологічних параметрів на температуру різання у вуглепластику (а), та титановому сплаві (б)

У міру зростання зношення збільшуються розшарування, відхилення від круглості і глибина дефектів обробленої поверхні (рис. 12). Утворення сколів на різальних кромках різко погіршують якість отворів, зокрема шорсткість, у вуглепластику (Ra_{BII}), але у меншій мірі впливають на якість отворів у металі (Ra_{Ti}):

$$Ra_{BII} = (5,6 \cdot 10^{-3} R + 1) \cdot (0,85 + 3,3 \cdot 10^{-4} V + 0,56 \cdot S); \quad (4)$$

$$Ra_{Ti} = (7,6 \cdot 10^{-3} R + 1) \cdot (0,66 + 3,3 \cdot 10^{-3} V + 1,11 \cdot S). \quad (5)$$

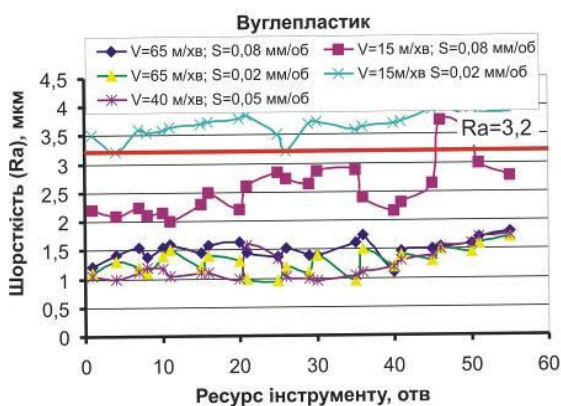


Рисунок 12 – Вплив технологічних параметрів на шорсткість поверхні у вуглепластику

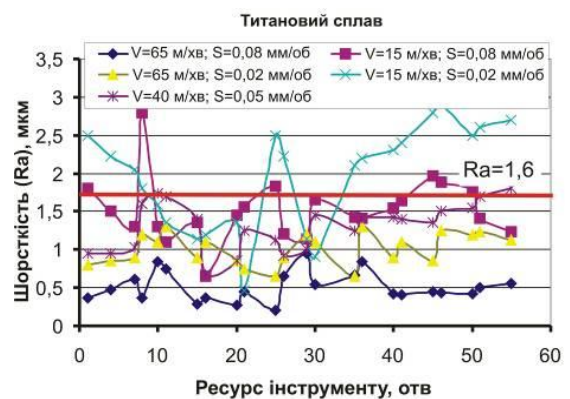


Рисунок 13 – Вплив технологічних параметрів на шорсткість поверхні у титановому сплаві

За результатами аналізу експериментальних даних встановлено, що на точність отворів впливають режими різання. Обумовлена швидкістю різання температура різання при різних режимах, призводить до температурного розширення свердла, що обумовлює збільшення номінального розміру отвору і зниження його точності. Найбільш істотним фактором, що впливає на точність отвору в вуглепластику (Ra_{Tu}) і титановому сплаві (TD_{Ti}) є подача.

$$TD_{ВП} = (6,2 \cdot 10^{-3} R + 1) \cdot (-28 - 6,2 \cdot V + 6,9 \cdot 10^3 S - 105VS + 0,11V^2); \quad (6)$$

$$TD_{Ti} = (1,96 \cdot 10^{-2} R + 1) \cdot (471 - 1,65V - 1,5 \cdot 10^4 S - 28VS + 1,7 \cdot 10^5 S^2). \quad (7)$$

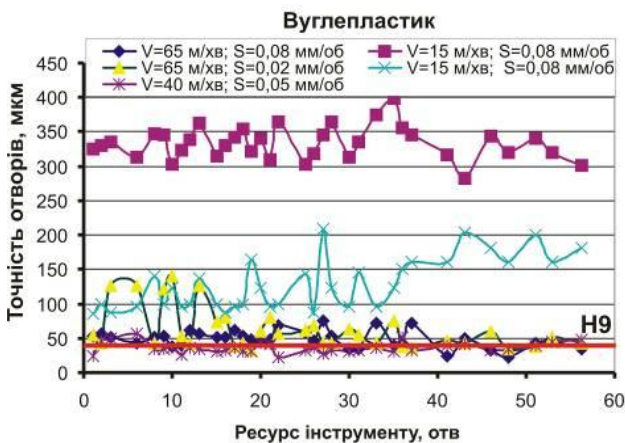


Рисунок 14 – Вплив технологічних параметрів на точність отвору у вуглепластику

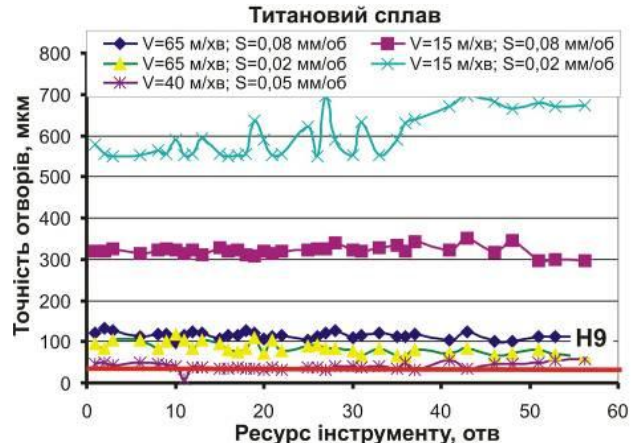


Рисунок 15 – Вплив технологічних параметрів на точність отвору у титановому сплаві

Зношення вершин свердла істотно впливає на розшарування, яке призводить до зміни механізму утворення стружки і, як наслідок стиснення, а не зрізання волокон вуглепластику. Критерії зношення свердла залежать від порядку шарів у пакеті. При свердлінні пакету ВПКМ/ метал критерієм зношення свердла слід прийняти фаску зношення, що забезпечує формування якісних отворів без розшарувань на вході. Разом з тим при свердлінні пакету метал/ вуглепластик критерієм зношення є температура на межі шарів в момент повного виходу головної різальної кромки з шару металу, забезпечуючи тим самим відсутність термічної деструкції вуглепластику. Встановлено регресійну залежність фаски зношення поблизу поперечної різальної кромки ($h_{з\ n.p.k.}$) та при вершині свердла ($h_{з\ e.}$) від режимів різання для пакету вуглепластик/ титановий сплав відповідно:

$$h_{з\ n.p.k.} = (0,58 \cdot R + 1) \cdot (1,52 + 3 \cdot 10^{-10} V + 5,56 \cdot S); \quad (8)$$

$$h_{з\ e.} = (0,81 \cdot R + 1) \cdot (0,85 + 3,3 \cdot 10^{-4} V + 0,56 \cdot S). \quad (9)$$

Перевірка кількісної адекватності визначених залежностей виконано за критерієм Фішера з рівнем значущості 0,05.

П'ятий розділ присвячено розробці практичних рекомендацій щодо забезпечення якості і точності циліндричних отворів при свердлінні за один прохід твердосплавним свердлом пакетів вуглепластик/ титановий сплав на

основі ймовірнісно-статистичного аналізу та вартісної оцінки запропонованого технологічного процесу.

Кожний технологічний процес свердління отворів у пакеті вуглепластик/титановий сплав при різних режимах різання був досліджений на сталість за методикою ймовірнісно-статистичного аналізу та методом великої вибірки ($N \geq 50$) (рис. 14). Перевірка нульової гіпотези про розподіл випадкової величини, а саме розмірної точності отворів, виконано за критеріями Пірсона (χ) та Колмагорова (λ). Це дозволило зробити висновок про сталість чи несталість технологічних процесів обробки отворів у пакетах вуглепластик/титановий сплав при досліджуваних режимах різання.

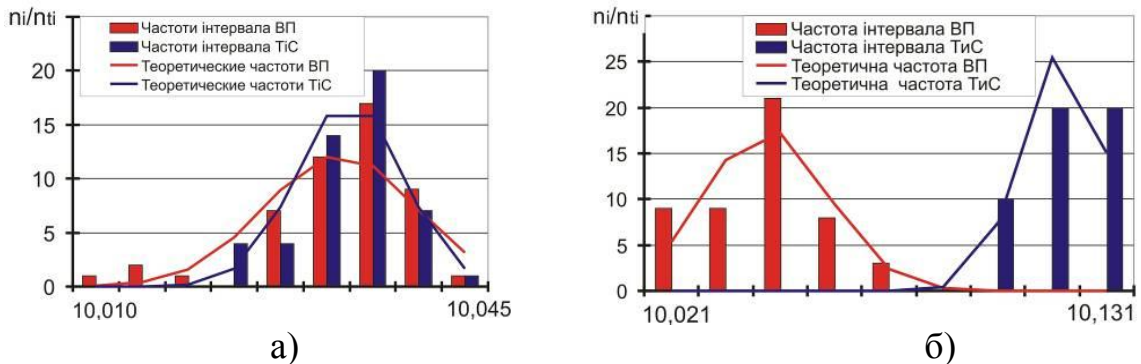


Рисунок 14 – Результати дослідження точності та сталості технологічного процесу при а) $V = 40$ м/хв, $S = 0,05$ мм/об; б) $V = 65$ м/хв, $S = 0,08$ мм/об

Проведений аналіз дозволив виконати розрахунок коефіцієнту точності K_m , що дозволило зробити висновок щодо вірогідного відсотку браку при свердлінні отворів на кожному з п'яти досліджуваних режимах різання. Встановлено, що технологічний процес свердління отворів при $V = 40$ м/хв, $S = 0,05$ мм/об є найбільш сталим за розсіюванням відхилення номінального розміру (рис. 14 а). Так $\lambda=0,424$ ($\lambda (1-0,20)=1,07$); $\chi=5,237$ ($\chi (2,0,05)=6$), а вірогідний брак складає $P = 0,05$. Разом з тим встановлено, що найбільші відхилення номінального розміру були отримані при $V = 65$ м/хв, $S = 0,08$ мм/об, далеко за межами допуску на розмір $\varnothing 10H9$.

За результатами вимірів доведено, що різальна кромка свердла адаптується до умов, в яких вона застосовується. Так відхилення розміру отворів, сформованих новим свердлом у 1,5– 2 рази більша, ніж свердлом, що обробило 10– 15 отворів (рис. 15). При цьому найбільші відхилення мають місце у шарі вуглепластику. Це пов'язано з тим, що на різальній кромці та на вершині формується стабілізуюча фаска, яка забезпечує менші коливання сили різання при обертанні свердла та менше середнє квадратичне відхилення розміру. Після припрацювання свердло протягом 5– 45 отворів працює з достатньо низьким відхиленням розміру та малою шорсткістю поверхні. Але подальше зростання фаски зношування призводить до збільшення сили різання та температури, і погіршення якості отворів. При цьому більші швидкості різання та менші подачі забезпечують більший ресурс для отворів низької точності у той час, як менші швидкості різання та більші подачі забезпечують більший ресурс для точних отворів (рис. 16).

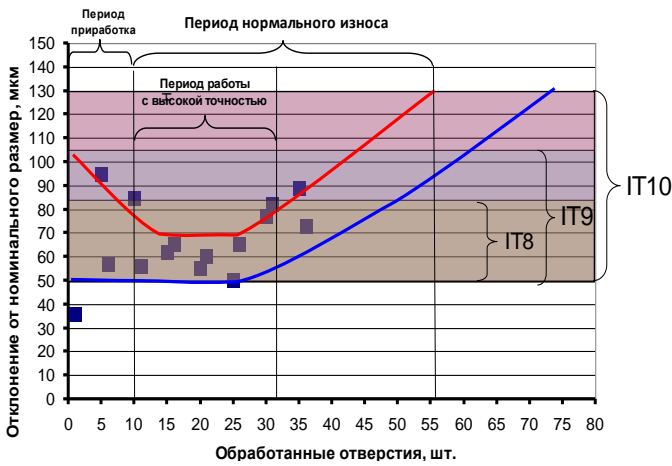


Рисунок 15 – Зміна відхилення розміру отвору від номінального значення зі зношенням свердла при обробці пакету вуглепластик/VT1-0 ($D = 10$ мм, $V = 40$ м/хв; $S = 0,05$ мм/об)

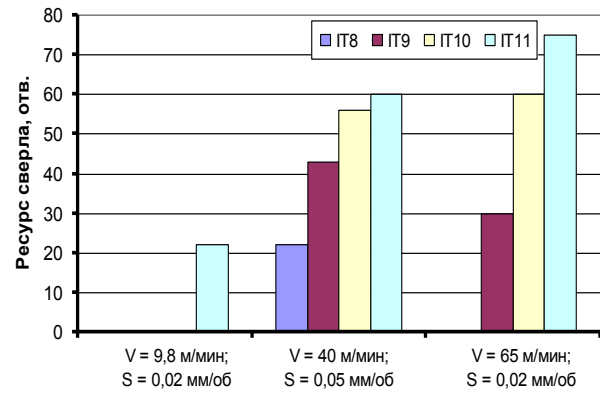


Рисунок 16 – Вплив режиму різання на ресурс свердел, визначений за критерієм забезпечення заданого допуску

Вартісну оцінку технологічного процесу виконано за критерієм технологічної собівартості обробки C_T (10):

$$C_T = Z_o + Z_{ин} + Z_э + P_p, \quad (10)$$

де Z_o – заробітна плата основних виробничих робітників, грн./отв; $Z_{ин}$ – витрати на інструмент, грн./отв; $Z_э$ – витрати на технологічну електроенергію, грн./отв; P_p – інші виробничі витрати, грн./отв.

Використовуючи отримані емпіричні залежності і підставивши їх у вираз (11) отримуємо вираз для вартісної оцінки обробки отворів у пакетах з урахуванням вимог до забезпечення необхідної точності та якості отворів, що вирішена як екстремальна задача з визначеними обмеженнями по фасці зношення свердла та показників розмірної точності і якості отворів

$$C_T = 2,2 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\pi D l}{1000 V S} + T_B \right) \chi_{cm} + \frac{1,62 \cdot 10^6 V S \left(\frac{\pi D l}{1000 V S} + T_B \right)}{R \pi D l} + \quad (11)$$

$$+ 0,12 \left(\frac{\pi D l}{1000 V S} + T_B \right) + 5,25 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\pi D l}{1000 V S} + T_B \right) \chi_{cm}$$

за умови $[h_3] \leq 50$ мкм, $\neq 0$; $[TD] \leq 36$ мкм, $\neq 0$; $[Ra] \leq 1,6$ мкм, $\neq 0$; $R \neq 0$; $15 \leq V \leq 65$ м/хв; $0,02 \leq S \leq 0,08$ мм/об.

Таким чином, підвищення ресурсу свердел при свердлінні отворів у пакетах вуглепластик/ титановий сплав може бути забезпечено шляхом впровадження у технологічний процес етапу припрацювання нових свердел протягом перших п'яти отворів, застосуванням однакового для всіх шарів режиму різання, визначенням швидкості різання за рекомендаціями виробника свердла для металевого шару, застосуванням більших подач для формування отворів IT8– IT9 и менших для отворів IT10– IT12. Для перевірки рекомендацій з обробки вуглепластика використано цільне свердло з однокарбідного твердого сплаву GUEHRING-SL R-RT100U 5510 K/P95377 Ø10мм. Застосування цих рекомендацій дозволило скоротити собівартість оброблення

одного отвору *IT9* у пакеті вуглепластик/ титановий сплав товщиною 10 мм до 35 грн. за отвір.

Реалізація рекомендацій дозволила замінити багатопрохідну технологію обробки отворів у пакетах вуглепластик/ титановий сплав на однопрохідну (рис.17).

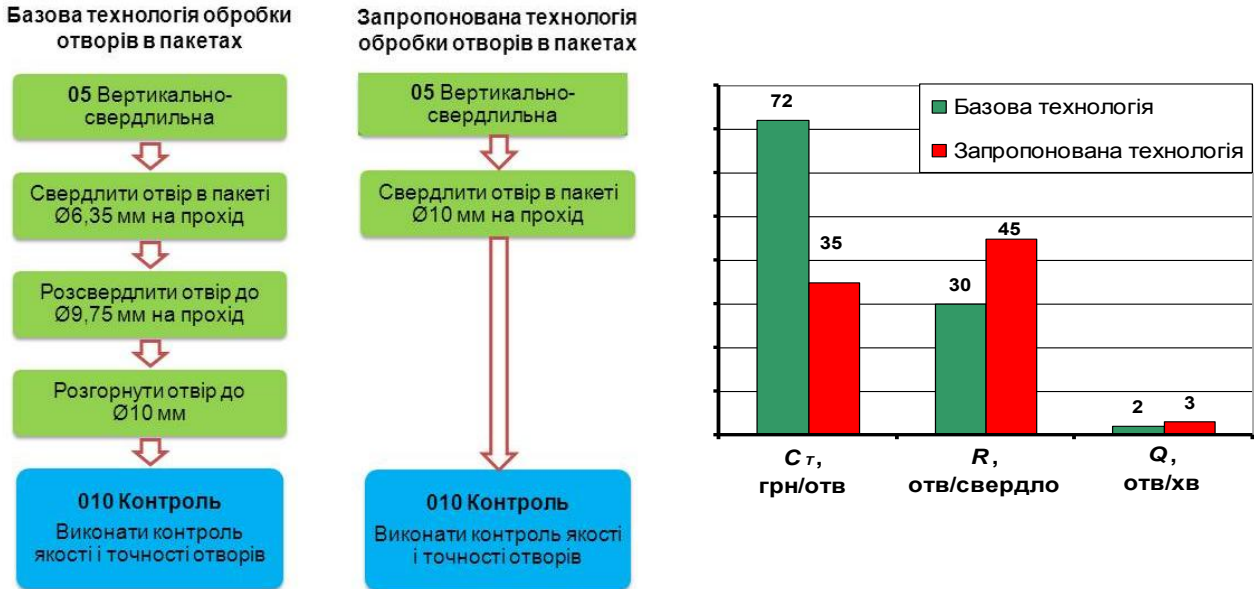


Рисунок 17 – Преваги запропонованої однопрохідної технології свердління отворів в пакетах вуглепластик/ титановий сплав

Це дозволило підвищити продуктивність процесу свердління деталі «Рукав» А.231.1940.060.000_01 (КБ «Горизонт 12») на 30% і в 2 рази скоротити витрати на інструмент.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу зниження технологічної собівартості обробки циліндричних отворів в пакетах вуглепластик/титановий сплав за рахунок вдосконалення структури та параметрів технологічного процесу свердління.

1. Резервом зниження технологічної собівартості формування отворів є скорочення кількості технологічних переходів шляхом забезпечення точності та якості безпосередньо при свердлінні отворів за один прохід за рахунок раціональних режимів різання.

2. Розроблена в роботі бездротова система вимірювання забезпечила можливість реєстрації температури на задній поверхні свердла, що обертається, з похибкою $0,1^{\circ}\text{C}$ і частотою дискретизації 200 Гц. Розрахована методом скінчених елементів коригувальна функція дозволила оцінити температуру безпосередньо у вершині свердла в заданий момент часу.

3. Оцінка механізму пошкоджень поверхні виконано за допомогою скінчено-елементної мікромеханічної моделі різання ВПКМ, яка у разі свердління має близько 10^6 елементів і вимагає при сучасному розвитку обчислювальної техніки більше 40 годин роботи ЕОМ на один дослід.

Скорочення обчислювальної трудомісткості моделі забезпечено в роботі шляхом роздільного розгляду взаємодії кожної з різальних кромek свердла із заготовкою в головній січній площині і приведення завдання до еквівалентного 2D прямокутного різання на основі перетворення відносних орієнтації волокон, головного руху різання і різальної кромки інструменту.

4. У зв'язку із зміною кута орієнтації волокна глибина і характер пошкоджень уздовж твірної отвору односпрямованого ВПКМ змінюються. Теоретично виявлено та експериментально підтверджено, що найменше витягування і обсяг не зрізаних волокон спостерігається при кутах орієнтації волокон близьких до 45° , а найбільші пошкодження – при кутах близьких до 135° . Застосування спіральних свердел скорочує амплітуду зміни кута спрямованості волокна і створюють рівномірний рівень пошкоджень обробленої поверхні. Свердла із стандартним кутом підйому гвинтової лінії 35° забезпечують прийнятний баланс між витягуванням волокон і міжшаровим розшаруванням.

5. Формування отворів по *IT9* необхідної якості без термічної деструкції за один перехід твердосплавним свердлом при незмінному режимі різання може бути забезпечено за рахунок:

- свердління пакета з боку вуглепластика;
- застосування підвищених подач в поєднанні зі швидкостями різання, вибраними за рекомендаціями для титанового сплаву;
- впровадження етапу попереднього припрацювання свердел протягом п'яти отворів.

При обробці отворів за *IT10 – IT12* напрямком свердління пакета не має значення, а зниження технологічної собівартості може бути досягнуто за рахунок свердління на малих подачах і підвищених швидкостях різання. Ймовірнісно-статистичний аналіз експериментального технологічного процесу свердління отвору $\varnothing 10H9$ твердосплавним свердлом Guehring 5510 у пакеті вуглепластик (0/90, $h = 5$ мм) / титановий сплав (BT1-0, $h = 5$ мм) підтвердив, що найбільш стійким технологічний процес є при $V = 40$ м/хв, і $S = 0,05$ мм/об.

6. У результаті впровадження теоретичних положень і практичних рекомендацій отримано ефект підвищення продуктивності технологічного процесу на 30% і скорочення технологічної собівартості при виготовленні деталі «Рукав» на ТОВ «Горизонт 12» (сmt. Гора, Київська обл.) за рахунок застосування раціональних режимів різання і скорочення структури технологічного процесу. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес Сумського державного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор): монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залого, В.А. Колесник и др. под общей редакцией проф. В.А. Залого. – Сумы, Университетская книга, 2013. – 272 с.

Здобувачем виконано аналітичний огляд сучасних наукових робіт присвячених питанню механічної обробки композиційних матеріалів та пакетів з металевим шаром.

2. Колесник В.А. О влиянии ориентации волокон на механизм разрушения волокнистых полимерных композиционных материалов / Д.В. Криворучко, В.А. Колесник, А.И. Мужецкий// Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. Серія: Технічні науки. – Краматорськ, 2012. – Вип. 2(27). – С. 35 – 41.

Здобувачем встановлено вплив орієнтації волокон на пошкодження ВПКМ методом скінчених-елементів.

3. Колесник В.А. Измерение температуры при сверлении волокнистых полимерных композиционных материалов / В.А. Залого, Д.В. Криворучко, В.А. Колесник, А.А. Нешта, И.О. Осадчий// Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков, 2013. – Вып. 84. – С. 138 – 146.

Здобувачем експериментально визначено розподіл температури різання уздовж головної різальної кромки свердла при свердлінні ВПКМ.

4. Колесник В.А. О формировании микрорельефа обработанной резанием поверхности/ В.А. Колесник, Д.В. Криворучко, В.Г. Евтухов// Технологические системы. – Киев, 2013. – Вып. 3(64). – С. 60–69.

Здобувачем експериментально встановлено вплив кута спрямованості волокна на характер пошкоджень поверхні ВПКМ.

5. Колесник В.А. Исследование свойств волокнистых полимерных композиционных материалов / Д.В. Криворучко, И.О. Осадчий, В.А. Колесник // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків, 2014. – Вип. 9. – С. 74 – 82.

Здобувачем визначені фізико-механічні та трибологічні властивості епоксидної смоли і вуглепластика.

6. Kolesnyk V.O. The Effect of Tool Wear on Cutting Temperature When Drilling CFRP/Steel Stacks / V.O. Kolesnyk, D.V. Kryvoruchko, M. Hatala, D. Mital // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2015. – № 1, т.73. – С. 10–14.

Здобувачем встановлено вплив зношення свердла на температуру різання при свердлінні пакетів вуглепластик/ метал.

7. Kolesnyk V.O. The Effect of Cutting Temperature on Carbide Drilling Life in the Process of CFRP/Steel Stacks Drilling/ V.O. Kolesnyk, D.V. Kryvoruchko, M. Hatala [та ін.]// Manufacturing Technology (Czech Republic) – 2015. – № 3 т.15. – С. 357–362.

Здобувачем встановлено вплив температури різання на ресурс свердла при свердлінні пакету вуглепластик/ метал.

8. Колесник В.А. Температура резания при сверлении пакетов углепластик/титановый сплав / В.А. Колесник, Д.В. Криворучко, Д. Митал // Резание и инструмент в технологических системах. – 2015. – № 85. – С. 126-135.

Здобувачем розроблено систему для вимірювання температури різання на свердлі, що обертається.

9. Колесник В.А. Особенности моделирования изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов методом конечных элементов/ А.И. Мужецкий, В.А. Колесник, А.В. Евтухов // Сучасні технології в

промислового виробництва: Матеріали 2-ї Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, (Суми, 17-20 квітня 2012 р.). – Суми: СумДУ. – 2012. – Ч.2. – С. 56–57.

Здобувачем досліджено можливість моделювання процесу різання композиційних матеріалів на різних рівнях деталізації скінчено-елементної моделі.

10. Kolesnyk V.A. Hole classification produced for aircraft industry in CFRP/ metal sandwiches/ V.A. Kolesnyk, D.V. Kryvoruchko// New Ways in Manufacturing Technologies: Proceeding 11th International Conference, (Prešov, 21–23 June 2012) – Prešov: Slovak Republic, Technical University of Kosice. – 2012. – P. 174–177.

Здобувачем виконано класифікацію типових отворів та технологічних процесів їх виготовлення для болтових з'єднань.

11. Колесник В.А. О влиянии ориентации волокон на поверхностные повреждения при обработке волокнистых полимерных композиционных материалов/ В.А. Колесник, Д.В. Криворучко// Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: Тези доповідей XII Всеукраїнської молодіжної науково - технічної конференції, (Київ, 22–25 жовтня 2012 р.) – Київ: НТУУ «Київський політехнічний інститут». – 2012. – С.70-71.

Здобувачем виявлено вплив кута орієнтації волокон на середню величину сили різання, амплітуду її коливань, глибину впливу леза на зрізається шар у напрямку головного руху, глибину пошкодження поверхні різання.

12. Колесник В.А. Формирование микрорельефа обработанной резанием поверхности волокнистых полимерных композиционных материалов/ В.А. Колесник, Д.В. Криворучко// SAMPE SUTEC Украина. Матеріали II Технічної конференції, (Київ, 15 листопада 2012 р.) – Київ: УкрНИИАТ. – 2012. – С. 31.

Здобувачем виконано порівняння результатів моделювання обробки композиційного матеріалу методом скінчених елементів і натурних експериментів.

13. Колесник В.А. Микро- мезомеханическое моделирование механической обработки волокнистых полимерных композиционных материалов – анализ расслаивания и вытягивания волокон/ В.А. Колесник// Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Збірник матеріалів Міжнародної науково - технічної конференції (Кременчук, 30 жовтня – 1 листопада 2013 р.) – Кременчук: Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського. – 2013. – С. 116.

Здобувачем встановлено вплив подачі на величину розшарування при свердленні вуглепластику.

14. Колесник В.А. Исследование влияния температуры на износ осевого режущего инструмента при сверлении пакетов углепластик/металл/ А.Н. Вощенко, В.А. Колесник, В.Г. Евтухов// Сучасні технології в промислового виробництва. Матеріали III Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (Суми, 22–25 квітня 2014 р.). – Суми: СумДУ. – 2012. – Ч.2. – С. 30-31.

Здобувачем встановлено, що одночасна обробка пакету вуглепластик/метал провокує більш стрімке підвищення температури в зоні різання в порівнянні з обробкою тільки вуглепластику.

15. Колесник В.А. Повышение качества цилиндрических отверстий при сверлении пакетов углепластик/ титановый сплав / В.А. Колесник, Д.В. Криворучко // *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Тези доповідей XIV Всеукраїнської молодіжної науково - технічної конференції (Суми, 27–31 жовтня 2014 р.). – Суми: СумДУ. – 2014. – С. 46.*

Здобувачем визначено критерій зношування свердла при обробці пакетів вуглепластик/метал, метал/вуглепластик.

16. Колесник В.О. Технологічне забезпечення якості при свердлінні циліндричних отворів в пакетах вуглепластик/ титановий сплав / В.О. Колесник // *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Тези доповідей XV Всеукраїнської молодіжної науково - технічної конференції (Житомир, 4–7 листопада 2015 р.) – Житомир: Житомирський державний технологічний університет. – 2015. – С. 46 - 49.*

17. Колесник В.А. Технологическое обеспечение качества отверстий при сверлении пакетов углепластик/титановый сплав / В.А. Колесник, М.А. Адамян, Д.В. Криворучко// *Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції (Одеса, 22 – 25 червня 2015 р.). – Київ, Одеса: НТУУ «Київський політехнічний інститут». – 2015. – С. 202 – 203.*

Здобувачем виконано ймовірно-статистичний аналіз сталості однопрохідної технології свердління отворів в пакетах вуглепластик/ титановий сплав.

АНОТАЦІЇ

Колесник В.О. Технологічне забезпечення якості при свердлінні циліндричних отворів в пакетах «вуглепластик/ титановий сплав». На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2016 р.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми зниження технологічної собівартості формування циліндричних отворів в пакетах вуглепластик/ титановий сплав. Основна ідея роботи полягає у науковому обґрунтуванні однопрохідної технології обробки пакетів вуглепластик/ титановий сплав, яка б забезпечувала формування отворів на рівні конструкторських вимог.

Одержані регресійні математичні моделі впливу швидкості різання та подачі на температуру різання, шорсткість та точність отворів та зношення різального інструменту, що дозволило дослідити її вплив на характер і механізми формування якісних показників отворів у пакетах.

Отримані результати дозволяють встановити поєднання швидкості різання, подачі, які дозволять забезпечити виконання отворів по *H9* за найменшою технологічною собівартістю.

Ключові слова: сталість технологічного процесу свердління отворів, методи механічної обробки, точність і якість отворів, технологічна собівартість, пакет углепластик/ титановий сплав.

Колесник В.А. Технологическое обеспечение качества при сверлении цилиндрических отверстий в пакетах «углепластик/ титановый сплав». На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2016 г.

Диссертация посвящена решению проблеме снижения технологической себестоимости формирования цилиндрических отверстий в пакетах углепластик/ титановый сплав. Основная идея работы заключается в научном обосновании однопроходной технологии обработки пакетов углепластик/ титановый сплав, обеспечивающей формирование отверстий на уровне конструкторских требований.

Для исследования влияния технологических параметров (V , S) на показатели размерной точности и качества отверстий в пакетах углепластик / титановый сплав были выполнены измерения осевой силы и температуры на вращающейся сверле методом искусственной термопары по средствам беспроводной измерительной системы. Методом конечных элементов были определены градиент температуры на режущей кромке сверла и моделирования процесса резания углепластика в среде программ ANSYS и LS-DYNA. Физико-механические свойства углепластика, углеродных волокон и матрицы были определены по стандартным методикам ГОСТ 11262-80, ГОСТ 4651-86 при нормальной температуре. Для определения коэффициента трения между инструментом и обрабатываемым материалом было проведено исследование трибологических свойств, реализованное методом вдавливания вращающегося в полупространстве сферического индентора при нормальной температуре. Измерения фаски износа режущей кромки сверла проводились с использованием растрового электронного микроскопа РЕМ100-УМ и оптического инструментального микроскопа МБС-9. Планирование модельных и натуральных экспериментов и обработка их результатов выполнены на основе теории многофакторного эксперимента и регрессионного анализа. Исследование устойчивости технологического процесса сверления при различных режимах резания был выполнен с использованием вероятностно-статистического анализа рассеивания номинального размера отверстий в пакете.

Аппроксимируя, методом наименьших квадратов, результаты экспериментальных исследований получены математические модели влияния технологических факторов (скоростей резания от 15 до 65 м/мин и подаче от 0,02 до 0,08 мм/об) на осевую силу, температуру резания, размерную точность,

расслаивание и шероховатость поверхности в отверстиях пакета углепластик/ титановый сплав.

Полученные результаты позволили установить сочетание скорости резания и подачи, которые позволят обеспечить обработку отверстий по Н9 по наименьшей технологической себестоимости.

Ключевые слова: устойчивость технологического процесса сверления отверстий, методы механической обработки, точность и качество отверстий, технологическая себестоимость, пакет углепластик / титановый сплав..

Kolesnyk V.O. Technological support of quality when drilling cylindrical holes in «CFRP/titanium alloy stack». Manuscript.

Thesis for scientific degree of Candidate of Technical sciences on specialty 05.02.08 – Mechanical engineering technologies. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2016.

Dissertation is devoted to solving the problem of reducing the cost of the process of formation of cylindrical holes in CFRP / Titanium alloy stacks. The basic idea is scientific substantiation single-pass stacks processing technology CFRP / titanium alloy that ensures the formation of holes at the level of design requirements.

These mathematical relationships influence of cutting speed and feed on the cutting temperature, surface roughness and precision holes and tool wear, which allowed to investigate its effect on the nature and mechanisms of quality indicators of the holes in stacks.

The results allow us to establish the combination of cutting speed, feed that will ensure that the holes on the H9 at the lowest cost technology.

Keywords: repeatability of production process of drilling holes, machining methods, accuracy and quality of holes, technological cost, CFRP/titanium alloy stack.

Підписано до друку 12.05.2016. Формат 60×84/16.

Обл.-вид. арк. 0,9. Ум. друк. арк. 1,1. Тираж 100 прим. Замовлення №444.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №3062 В від 17.12.2007