СЕКЦІЯ 3
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ

УДК 629.735.33.015.4

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ НА ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ОТВОРІВ В КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ

[1)]Лупкін Б. В., [2)]Андреєв О. В., [1)]Антонюк В. С. [3)]Майорова К. В.
[1)]Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
[2)]Державне підприємство «АНТОНОВ», Київ, Україна,
[3)]НАУ ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна
E-mail: victor.antoniuk@gmail.com

У процесі створення авіаційної техніки, найважливішою проблемою є забезпечення якості продукції, її надійність і довговічність. З метою зниження маси та трудомісткості в літакобудуванні знаходять широке застосування конструкції з різних композиційних матеріалів (КМ).

Одним із завдань, при механічному оброблені композиційних матеріалів, є забезпечення міцності вузлів з'єднання, що здійснюються за допомогою отворів [1].

Процес свердління – одна з найскладніших операцій механічного оброблення, оскільки при його здійсненні реалізується схема косокутного різання і процес відбувається у закритому просторі. В результаті виконання операції свердління в зоні оброблення виділяється велика кількості тепла, що впливає на адгезійні сили, змінюється структура та хімічний склад композита, внаслідок чого знижуються його експлуатаційні властивості.

Поверхні, отримані при свердлінні композиту, можуть мати різний характер і величину залишкових напружень, а також супроводжуватися утворенням специфічних дефектів, які не зустрічаються при обробленні металів. До дефектності отворів (рис. 1) відносяться порушення цілісності поверхневого шару композиту внаслідок: розшарування, незрізання волокна, мікротріщин, задирів, спучення та термодеструкції тощо [2].

Експериментальними дослідженнями встановлено, що на якісні показники обробленої поверхні після свердління впливають такі фактори як: геометричні параметри та розташування різального клину щодо напряму структурних складових (волокон) композиційного матеріалу, а також режими різання.

У процесі кінематичного обертання та подачі різального клину, при свердлінні циклічно змінюються динамічні характеристики на певних ділянках поверхні отвору, які залежать від схеми контакту з волокнами [3].

При різанні композитів під впливом пластичної деформації складових компонентів і тертя інструментального матеріалу в контактній зоні різального клину з волокнами наповнювача інтенсивно виділяється тепло [4].

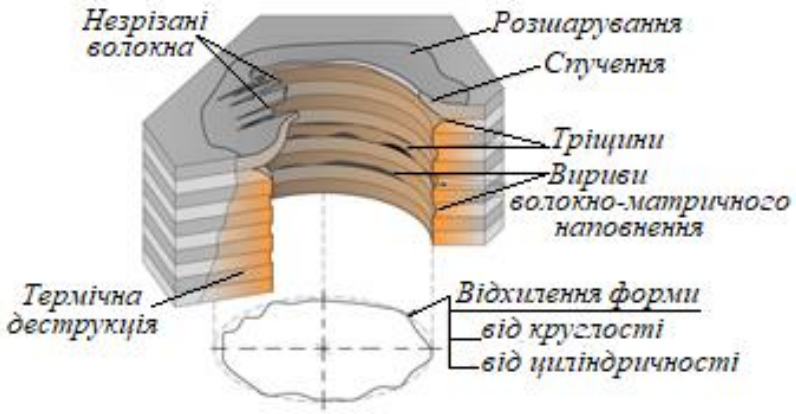

Рис.1. Схематичне зображення розташування дефектів отвору в композиційному матеріалі [2]

Накопичення тепла в зоні різання залежить також від здатності композиційного матеріалу до теплопоглинання та теплопровідності. Інтенсивність його виділення залежить від швидкості різання та від геометричних параметрів інструмента і має найбільший вплив на якісні параметри отвору при заданій структурі композиту.

Аналіз схеми контакту різальних крайок свердла з матеріалом композиту в отворі дозволяє виділити характерні ділянки, у яких по-різному відбувається формування якісних параметрів та зношування інструмента [5].

На рисунку 2 показано схеми контактування різального клина з волокнами композиційного матеріалу при свердлінні на характерних дільницях з кутами контакту поверхні отвору.

Такими кутами обмежених ділянок контакту різального клину при свердлінні композиційного матеріалу є:

– дільниці з кутами контакту φ від 0° до 90° (аналогічна ділянка з кутами φ від 180° до 270°);
– дільниці з кутами φ від 90° до 180° (з кутами φ від 270° до 360°);
– дільниці з кутами φ = 0° (аналогічно 180°) і φ = 90° (аналогічно 270°).

На ділянках (рис. 2, *а*) отворів з кутами контакту різального клину від φ = 0° до φ = 90°, а також від φ = 180° до 270°, на волокна наповнювача діють зовнішні стискаючі зусилля (у реактопластів вони в 5…6 раз вище ніж у термопластів).

При досягненні граничної величини на стиск волокна крихко руйнуються у вигляді пилоподібної стружки. Під зусиллям однієї зі складових сили різання різальний клин задньою гранню вдавлює волокна композиту у в'язкопружну матрицю. Така кінематична схема контакту свердла з волокнами композиційного матеріалу при свердлінні сприяє зниженню шорсткості поверхні, але при цьому зростають сила тертя та температура в зоні різання. Зростання сил тертя сприяє інтенсифікації абразивного зношування інструмента. У міру затуплення різального клина збільшується радіус різальної кромки, зростає тиск на матеріал і, як наслідок, збільшується висота незрізаних

витягнутих волокон l_1 (ворсистість), утворюються мікротріщини, що знижує якість та точність оброблення.

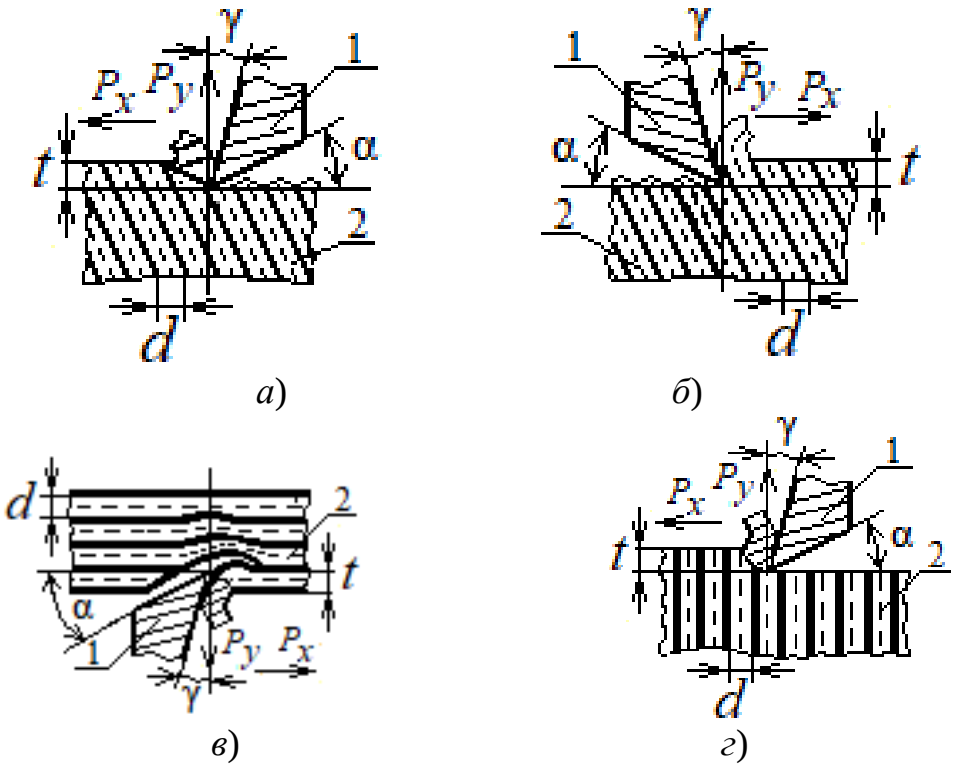

Рис. 2. Схема контактування різального клина з волокнами композиційного матеріалу при свердлінні на дільницях з кутами контакту φ від 0° до 90° та від 180°до 270°, (*а*); φ від 90°до 180° та від 270° до 360°, (*б*), а також при φ=0° та 180°, (*в*) і φ=90° та 270° (*г*); 1 – різальна крайка свердла; 2 – композит; P_x, P_y, – складові сили різання; γ – передній кут; α – задній кут; *d* – діаметр волокна композиту.

Температурний фактор та сила різання є причиною утворення мікротріщин у зоні контакту «волокно-матриця», а також деструкції (піролізу), що впливає на міцнісні характеристики заклепкових і болтових з'єднань.

Аналогічний процес при різанні відбувається на дільницях отвору з кутами від φ = 180° до 270°.

Ділянки отворів (рис. 2, *б*) з кутами контакту від φ = 90° до 180° (аналогічно від φ = 270° до 360°) характеризуються зростанням зусиль розтягу, що діють по осі волокна.

При досягненні граничних зусиль розтягу волокна руйнуються, залежно від фізико-механічних характеристик волокна, величини зносу (радіуса різальної крайки) та адгезійного зчеплення. Крихке руйнування, або обрив волокон відбувається на різній висоті від поверхні різання, що сприяє утворенню ворсистості та спотворенню розмірної точності.

На ділянках отвору (рис. 2, *в*) з кутами контакту різального клина φ = 0° і 180° відбувається зміна зовнішніх сил, які діють, на волокна наповнювача. У цих точках відбувається стрибкоподібна зміна зусиль розтягу на стискаючі.

Така зміна зовнішніх сил викликає розтріскування і розшарування волокон у верхніх шарах деформаційної зони композиту (рис. 2, *в*).

Аналогічно на торцевих ділянках (рис. 2, *г*) з кутами φ = 90° і 270° відбуваються сколи поверхневого шару композиту. Таке руйнування поверхневих шарів на вході та виході різальної крайки з отвору отримало назву «крайовий ефект».

Причиною такого ефекту є:

– менша міцність адгезійного зв'язку верхнього шару волокон із внутрішніми шарами композиту;

– збільшення відсоткового змісту наповнювача понад 60 %;

– одна зі складових сили різання, від бічної різальної крайки свердла, що вступає в процес різання, після проходу конусної частини свердла.

При свердлінні вугле- та склопластиків на рекомендованих швидкостях різання (V = 50÷100 м/хв.) різання під впливом деформаційних зусиль та сил тертя, у закритій зоні оброблення розвивається температура до 200…250°С.

З урахуванням низької питомої об'ємної теплоємності та теплопровідності пластмас ($2{,}2\cdot10^{-3}$ Вт·см$^{-1}$·°С$^{-1}$), вона менша ніж у металів.

За результатами експериментальних досліджень, при свердлінні вуглепластика УОЛ 300-1А встановлено, що у приповерхневих контактних шарах, глибиною до 300…500 мкм, через температурний фактор розвивається деструкція складових матриці композиту і одночасно по глибині отвору відбувається усадка (зменшення номінального розміру), величина якої залежить, як від температури різання, так і від фізико-механічних властивостей оброблюваного композиційного матеріалу.

Ключові слова: композити, наповнювач, свердління.

Література

[1] А. В. Андреев, В. Е. Гайдачук, А. В. Кондратьев, О. В. Орлов, "Концепция технологического обеспечения создания эффективных конструкций отечественных гражданских самолетов из полимерных композиционных материалов в современных условиях", *Авиационно-космическая техника и технология*, № 3(138), с. 64–76, 2017.

[2] L. N. Devin, A. I. Grechuk, & B. V. Lupkin, "Drilling of Composites Using Tools of Polycrystalline Superhard Materials", *J. Superhard Mater.*, vol. 40, pp. 58–64, 2018. DOI: 10.3103/S1063457618010094

[3] Б. В. Лупкін, В. С. Антонюк, Ю. Я. Корольков, О. В. Андревєв, "Підвищення точності процесу свердління композиційних полімерних матеріалів", на *XX Міжнар. наук.-техн. конф. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*, Краматорськ-Тернопіль, 2022, с.138-139.

[4] В. С. Антонюк, С. Ан. Клименко, С. А. Клименко, *Теплові явища при обробці матеріалів різанням*. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2014.

[5] Б. В. Лупкін, О. В. Андреєв, В. С. Антонюк, С. П. Вислоух, Ю. А. Корольков, О. В. Волошко, "Прогнозування параметрів шорсткості поверхні отвору при свердлінні композиційних матеріалів", на *Міжнар. наук.-техн. конф. Прогресивні технології в машинобудуванні РТМЕ-2023*, Львів – Звенів, 2023, с. 62 – 66.