

УДК 621.891

Забезпечення якості отворів в деталях з полімерних композитних матеріалів свердлами з модифікованими робочими поверхнями

О. Петров

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація.** Тенденції останніх років у різних галузях машинобудування свідчать про дедалі ширше використання композиційних матеріалів (КМ). Серед широкого класу використовуваних КМ для виготовлення різноманітних деталей в авіа-, ракето-, суднобудуванні, енергетичному машинобудуванні значного поширення набули полімерні композиційні матеріали (ПКМ). Висока питома міцність, технологічність і жорсткість, порівняно низька собівартість роблять ПКМ незамінною альтернативою металевих матеріалів, які використовували раніше. Деталі та конструкції з ПКМ збираються з деталями та конструкціями з металевих матеріалів. Переважна більшість таких з'єднань виконують шляхом установки сполучних елементів (болтів, заклепок) у попередньо оброблені отвори, створюючи в тому числі точкові механічні з'єднання. Основним технологічним чинником забезпечення надійності цих з'єднань, насамперед, є якість поверхні та точності одержаних отворів. Недотримання якісних параметрів може призвести до високих контактних навантажень, зниження ресурсу та руйнування конструкції (вузла). Технологічні процеси, що забезпечують якісні параметри отворів після механічної обробки, значною мірою залежать і визначаються використанням спеціального різального інструменту. Питання використання різального інструменту з модифікованими робочими поверхнями у вигляді дискретних ділянок для обробки деталей з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на сьогоднішній час достатньо не вивчене, тому є актуальним.*

***Ключові слова:** композитні матеріали (КМ); полімерні композитні матеріали (ПКМ); свердло; свердління; механічна обробка отворів; спеціальний ріжучий інструмент, якість отворів в деталях з ПКМ.*

Актуальність теми дослідження

ПКМ є переважною альтернативою традиційним металевим матеріалам, у ряді пріоритетних і наукомістких галузях машинобудування (авіа-, ракето-, судно-, енергетика, медицина, космос). Поверхні деталей з ПКМ можуть бути будь-якої вихідної складності та криволінійності. Використовуючи деталі з ПКМ можна вирішити такі завдання як підвищення міцності, корозійної стійкості, зниження ваги, зменшення радіолокаційної помітності тощо. Ціна виробництва деталей порівняно з металевими матеріалами зменшується через зниження частки механічної обробки та збільшення коефіцієнта використання матеріалу. При використанні деталей та конструкцій з ПКМ досягається збільшення ресурсу експлуатації в 2–5 разів, зниження маси конструкції та матеріаломісткості конструкції на 30–50 %, а також зниження трудомісткості виробництва на 20–40 % [1]; [6]. Основний спосіб кріплення таких деталей і конструкцій з ПКМ, точкове механічне з'єднання (болтове/заклепувальне/шпилькове), при цьому виникає питання якості отриманих отворів так як механічна обробка деталей із ПКМ має свою специфіку. Технологічний процес отримання якісного отвору деталей із ПКМ визначає наступну міцність та надійність з'єднання.

Свердління – це основна технологічна та найбільш трудомістка операція при обробці деталей з ПКМ [1]; [2]; [10]. Важливою умовою є вибір різального інструменту та режимів різання, що дозволить на стадії технологічної підготовки виробництва керувати точністю та якістю поверхні отворів із забезпеченням високої продуктивності процесу свердління. Різальний інструмент, повинен забезпечувати необхідну точність і якість оброблюваної поверхні, мати високий опір зносу. Підвищення технологічності виготовлення дозволить знизити вартість інструменту і, як наслідок, вартість виробу з ПКМ. Тому питання щодо підвищення продуктивності інструменту та забезпечення якості оброблюваних отворів в ПКМ є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Композитний матеріал – це неоднорідний матеріал, що складається з двох і більше компонентів, серед яких виділяють матрицю (основу, яка виконує роль зв'язника), яка забезпечує спільну роботу армуючих елементів та наповнювача (ущільнювача, волокон та дисперсних частинок), який виконує функцію армування, з можливістю отримання заздалегідь поставлених характеристик [3]. Механічні властивості КМ можна адаптувати для конкретного застосування шляхом зміни розташування армуючих елементів та за рахунок зміни пропорції “армуючі елементи/ зв’язник”. Фізико-механічними характеристиками ПКМ, відміни від металів, тому є відмінності в механічній обробці виробів з ПКМ. До таких властивостей можна віднести: анізотропія; абразивна дія наповнювача на ріжучий інструмент; пружність матеріалу, що обробляється, збільшує сили тертя; низька теплопровідність ПКМ; термічна деструкція; висока твердість наповнювача та низька пластичність зв’язуючого (матриці).

Найпоширенішими видами з’єднання в конструкціях з ПКМ є заклепувальні та шпильково-болтові з’єднання, які забезпечують міцність, якість, надійність та ресурс роботи конструкцій[1;4]. Утворення механічного точкового з’єднання є відповідальною операцією, від якості отвору залежить міцність з’єднання. Якість отвору визначається виконанням наступних вимог: розмірна точність діаметрів отворів; просторове положення осі отвору щодо поверхні; шорсткість отриманої поверхні; відхилення від циліндричності отриманого отвору (точність форми); кромки отвору не повинні мати сколів, тріщин, розривів, розшарування.

Зважаючи на вищевикладене, можна відзначити наступне:

1. ПКМ є важкооброблюваними і вимагають використання спеціальних режимів обробки та високоякісного ріжучого інструменту;
2. Операції механічної обробки отворів у ПКМ становлять основну частину трудомісткості та загальної собівартості виробу;
3. Впровадження спеціалізованого обладнання для обробки отворів, раціональний вибір різального інструменту та режимів різання сприяють досягненню необхідних критеріїв якості отворів та мінімізації їх собівартості.

Постановка задачі

Підвищення якості поверхні та точності отворів у деталях з ПКМ можливе шляхом використання спеціального різального інструменту (матеріал та геометрія) та оптимізації режимів різання. Для розробки методологічних основ технологічних процесів свердління отворів у деталях ПКМ необхідно:

1. Провести багатокритеріальний аналіз процесу свердління отворів з урахуванням конкретного виду ПКМ, інструменту та необхідних параметрів якості поверхні, точності та економічності процесу;
2. Дослідити закономірності впливу теплових процесів на форму отриманих отворів під час свердління з урахуванням конкретного виду ПКМ, інструменту, режимів;
3. Дослідити вплив вибраного інструменту (матеріал та геометрія) з урахуванням режимів різання на точність та шорсткість поверхні отворів у ПКМ;
4. Дослідити залежності точності отворів з урахуванням конкретного виду ПКМ, інструментів, режимів;
5. Дослідити залежність мікрогеометрії поверхні отворів;
6. Дослідити вплив наявності мастильно-охолоджуючих технологічних засобів на шорсткість та точність отворів;
7. Розробити конструктивне рішення свердла мінімізуючи вплив теплових розширень оброблюваного матеріалу та інструменту на точність отворів.

По п.1. При збільшенні сил різання та затуплені інструменту утворюються тріщини між волокном і матрицею, відбувається викрашування матриці з оброблюваної поверхні виробу, особливо в місцях входу та виходу інструменту. В залежності від причини виникнення дефекту розглядають розшарування зовнішнього шару на поверхні врізання ріжучого інструменту(рис. 1) та розшарування зовнішнього шару на поверхні виходу ріжучого інструменту(рис. 2).

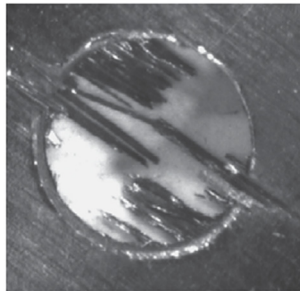


Рис. 1.

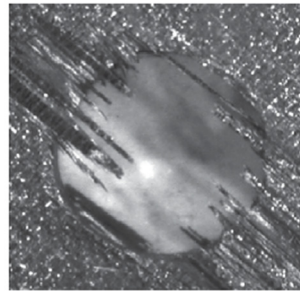


Рис. 2.

Експерименти [4;5] показали, що розшаровування при свердлінні найбільш активно відбувається в момент впливу поперечної ріжучої кромки на шари, що лежать попереду (“нижні”) і її виходу з контакту з заготовкою. Пов’язані з розшаровуванням ушкодження вздовж отвору нерівномірні. Область пошкодження навколо отвору має частково еліптичну форму [5;10]. На точність впливають пружна деформація системи під дією сили різання та пружне відновлення обробленого матеріалу, усадка обробленого отвору характерна особливістю обробки полімерних композитних матеріалів. Зменшення радіуса ріжучої кромки та/або збільшення заднього кута зменшує залишкову деформацію отворів [4;8]. Зношування інструменту призводить до збільшених сил різання, збільшення задирок, розшаровування, термічної деструкції, збільшення шорсткості. В основному зношування інструменту при обробці композитів відбувається по задній поверхні інструменту внаслідок пружного відновлення матеріалу. Знос по передній поверхні інструменту незначний і є наслідком абразивного зносу матеріалу заготовки, що руйнується, а також тертя стружки по передній поверхні і значних температур в зоні різання.

По п.2. Термодеструкція і розкладання для більшості ПКМ настає за температури більше ніж 300°C , збільшення дефектного шару у вигляді припалу та збільшення загальної кількості дефектів. Знизити температуру можна за рахунок використання нових інструментальних матеріалів, що мають високу теплопровідність і це дозволить відводити температуру в інструмент або застосування переривчастого різання.

По п.3. Використання швидкорізальних сталей обмежене через слабкий опір абразивному зношуванню, що ускладнює зрізання волокон в результаті чого спостерігається їх виривання з матриці та розшаровування. З метою підвищення продуктивності використовують нанесення покриттів у різний спосіб, таких як CVD, PVD. Великий вплив на точність і якість обробленої поверхні, стійкість і міцність інструменту мають геометричні параметри ріжучого інструменту. Основними геометричними параметрами ріжучої частини свердла є: кут при вершині 2ϕ ; задній кут α ; передній кут γ . Найбільший вплив на якість оброблених отворів та знос свердлів надає кут при вершині свердла 2ϕ . Із зменшенням кута 2ϕ знижується осьова сила, збільшується довжина ріжучої кромки. Надмірне зменшення кута 2ϕ впливає на тепловідведення, що призводить до перегріву свердла та погіршенню якості отвору. Зі збільшенням заднього, кута α відбувається зменшення тертя по задній грані, що сприяє меншому викрашуванню матриці і, як наслідок, підвищенню чистоти кромки отворів. Однак

при значному збільшенні відбувається погіршення чистоти отвору. Зі збільшенням переднього кута γ шорсткість отворів збільшується.

Висновки

У вітчизняній та зарубіжній літературі практично відсутні систематизовані відомості про механічну обробку отворів в деталях з ПКМ.

А саме:

- Відсутність методик розрахунку, що визначають вплив температурних факторів процесу різання на точність отворів деталей з ПКМ;
- Відсутність коректних моделей, що описують вплив режимів різання на якість поверхні та точність отворів залежно від матеріалу та геометрії інструменту в деталях з ПКМ;
- Відсутність різних конструкцій інструменту (свердл) для обробки ПКМ вітчизняного виробництва, серійного виконання. Весь інструмент має дуже високу вартість і не гарантує отримання необхідної точності отворів;
- Відсутні також рекомендації щодо вибору різальних інструментів, обладнання та оптимальних режимів обробки.

В даний час на підприємствах, що спеціалізуються на виробництві виробів з ПКМ, такі види механічної обробки як свердління виробляються найчастіше лезовим інструментом. В результаті проведення науково-технічних досліджень та патентних досліджень виявлено, що технічний рівень підготовки різального інструменту для обробки ПКМ, не до кінця досліджений. Проведений аналіз існуючих рішень та методів підвищення працездатності інструменту показав, що одним із перспективних напрямків вирішення проблеми є схема дискретного нанесення покриття.

Використання ріжучого інструменту з модифікованою робочою поверхнею у вигляді дискретних ділянок за рахунок дискретизації робочої поверхні зменшує час контакту інструменту з оброблюваною деталлю, а це призведе до можливості зниження температури в зоні різання, порівняно з інструментом з суцільним покриттям. Отже проведення досліджень що до модифікування робочої поверхні свердла, шляхом нанесення на нього покриття дискретного типу є актуальним.

Список літератури

1. Martin R. Reducing Costs in Aircraft: The Metals Affordability Initiative Consortium / R. Martin, D. Evans // *Journal of Operations Management*. – 2000. – Vol. 52, no. 3. – P. 24–28.
2. Drilling of composite structures / F. Lachaud, R. Piquet, F. Collombet, L. Surcin // *Composite Structures*. – 2001. – Vol. 52. – P. 511–516.
3. Faria P. E. Dimensional and Geometric Deviations Induced by Drilling of Polymeric Composite / P. E. Faria, J. C. Campos Rubio, A. M. Abrao // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. – 2009. – Vol. 28, no. 19. – P. 2353–2364.
4. Sheikh-Ahmad J. Y. Machining of Polymer Composites / J. Y. SheikhAhmad. – *Technology & Engineering*, 2008. – 230 p.
5. Campbell F. C. Manufacturing Processes for Advanced Composites / F. C. Campbell // Elsevier Science. – 2004. – Issue 1. – 532 p.
6. Криворучко Д.В., Залога В.А., Пасечник В.А., Колесник В.А., Емельяненко С.С. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор)/ монография Сумы 2013, с. 272.
7. Лабунец В.Ф., Корбут Є.В., Адаменко Ю.І. Перспективи використання композиційних матеріалів в авіа-космічній галузі. Проблеми тертя та зношування. Науково-технічний збірник. Київ, 2011, Вип. 56, С. 89–96;
8. А.П.Тарасюк, О.Л.Кондратюк, Н.В.Верезуб Технологія Механічної обробки полімерних матеріалів/ монографія/ Харків 2015, С. 226;
9. А.П. Тарасюк Вибір раціональних умов різання полімерних композитів, що забезпечують максимальні показники якості поверхні/Вісник СумДУ, Серія «Технічні науки», №4, 2012, С. 155-161.;

10. Wang X., Wang I., Investigation on trust in vibration drilling of fiber-reinforced plastics//Journal Mater.Process.Technol.-2004.vol.1486pp.239-244;

Ensuring the quality of holes in parts made of polymer composite materials with drills with modified working surfaces

O. Petrov

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. Trends in recent years in various branches of mechanical engineering indicate the increasingly widespread use of composite materials (CM). Among the wide class of CM used for the manufacture of various parts in aircraft, rocket, shipbuilding, and power engineering, polymer composite materials (PCM) have become widely used. High specific strength, manufacturability and rigidity, and relatively low cost make PCM an indispensable alternative to metal materials that were used earlier. Parts and structures made of PCM are assembled with parts and structures made of metal materials. The vast majority of such connections are made by installing connecting elements (bolts, rivets) in pre-machined holes, creating, among other things, point mechanical connections. The main technological factor for ensuring the reliability of these connections is, first of all, the quality of the surface and the accuracy of the holes obtained. Failure to comply with quality parameters can lead to high contact loads, reduced service life, and destruction of the structure (unit). Technological processes that ensure the quality parameters of holes after machining are largely dependent and determined by the use of a special cutting tool. The issue of using cutting tools with modified working surfaces in the form of discrete areas for machining parts made of polymer composite materials (PCM) has not been sufficiently studied to date, therefore it is relevant.

Keywords: composite materials (CM); polymer composite materials (PCM); drill; drilling; machining of holes; special cutting tool, quality of holes in PCM parts.