вартість, такі як борні та вуглецеві волокна. Низький модуль пружності та недорогі волокна забезпечують гібридним композитам більшу стійкість до пошкоджень і знижують загальну вартість, тоді як дорожчі волокна з високим модулем пружності покращують несучу здатність та жорсткість композиту. Отже, гібридизація композитів може забезпечити високу жорсткість і міцність, покращити ударну стійкість та стійкість до втоми, забезпечити високу в'язкість на розрив і одночасно знизити загальну вагу та вартість [2].

Модулі пружності при розтягу, стиску і вигині трьохкомпонентних гібридних композиційних матеріалів (ГКМ) лінійно зростають зі збільшенням вмісту високомодульних волокон. Коефіцієнт Пуассона в цьому випадку лінійно зменшується від величини, характерної для ПКМ, що містить низькомодульні волокна, до величини, характерної для ПКМ з високомодульними волокнами.

Критичний вміст волокон з низьким модулем пружності (волокно типу В) в ГКМ збільшується зі зменшенням різниці відношення міцності низько- і високомодульних волокон (відповідно волокно С та В) і відношення їх модулів пружності:

$$\mu_{B\,\text{крит}} = \left[1 + \left(\frac{\overline{\sigma}_B^+}{\overline{\sigma}_C^+} - \frac{E_B^+}{E_C^+}\right)\right]^{-1}, \qquad (1)$$

де $\mu_{B\text{крит}}$ – критичний вміст волокон типу В; E_B, E_C – модулі пружності волокон; σ_B, σ_C – міцність волокон при розтягненні.

Мінімальна міцність трьохкомпонентного ГКМ обернено пропорційна критичному вмісту низькомодульного волокна.

Характер розподілу високомодульних волокон по поперечному перерізі КМ впливає на його пружні властивості, особливо коли діють напруження вигину.

Якщо високомодульні волокна розташовані в зовнішніх шарах, максимальна величина модуля пружності може бути вище, в порівнянні з обчисленою. Подібний композит слід розглядати як трьохкомпонентну структуру, що має оболонку з високомодульного КМ з наповнювачем між ними.

Список посилань

1. Sevkat E, Liaw B, Delale F. Ballistic performance of hybrid and non-hybrid composite plates. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*. 2012;47(7):453-470. doi:10.1177/0309324712457897

2. S. N. A. Safri, M. T. H. Sultan, M. Jawaid and K. Jayakrishna, Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: A review. Composites Part B: Engineering. 2018. **133**. P. 112-121. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.008

УДК 621.891

Петров О.Д., аспірант,
petrovsasha69@gmail.com
Корбут Є.В., канд.тех. наук, доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, korbut1@i.ua

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ, АРХІТЕКТУРИ ТА МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ НА РІЖУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБКИ ВУГЛЕПЛАСТИКУ

Підвищення ефективності та якості обробки полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), зокрема вуглепластиків, значною мірою залежить від забезпечення надійної роботи інструменту, що використовується для їх механічної обробки. ПКМ мають унікальні властивості, які вигідно відрізняють їх від металів і сплавів, що створює перспективи для

розробки нових конструкцій і технологій. Проте їх фізико-механічні характеристики ускладнюють процес різання, висуваючи додаткові вимоги як до конструкції різального інструменту, так і до матеріалу, з якого він виготовлений.

На основі досліджень [1–3] встановлено, що інструментальні матеріали для свердління ВПКМ повинні відповідати таким критеріям:

- мати високу стійкість до абразивного зношування лез, які контактують зі стружкою;
- забезпечувати низьке тертя з оброблюваним матеріалом;
- володіти високими теплостійкістю і теплопровідністю.

Оскільки зношування ріжучої кромки інструменту знижує його ефективність та призводить до пошкодження оброблюваного матеріалу, тому вибір інструментального матеріалу та конструкції інструмента має критичне значення. Дані про зношування інструментів з однакових матеріалів можуть суттєво відрізнятися [4] через різні умови використання, геометрію інструменту та методи обробки.

Найбільш придатними для виготовлення спіральних свердел є швидкорізальні сталі (ШРС) і тверді сплави (ТС), хоча вони демонструють нижчу стійкість до абразивного зношування та меншу надійність порівняно з іншими матеріалами. Це зумовлює необхідність підвищення їх працездатності.

Один зі стратегічних напрямів вдосконалення інструменту для обробки ВПКМ — не зміна матеріалу всього інструменту, а модифікація його поверхневого шару. Перспективним методом є нанесення зносостійких покриттів різного складу за допомогою різних технологій.

Для підвищення стійкості інструментів з ШРС і ТС найчастіше застосовують покриття на основі TiC, TiN, TiCN, AlCrN тощо[1, 5, 6]. Такі покриття добре працюють при обробці металів, проте при роботі з ПКМ ефект від них не завжди є достатнім через неможливість утворення малого радіуса заокруглення ріжучої кромки[2, 3].

Оскільки ПКМ є анізотропними і їх властивості суттєво відрізняються від металів, вибір оптимального складу покриття для інструментів, що обробляють вуглепластики, має враховувати такі вимоги: висока стійкість до абразивного зношування, хороша теплопровідність і низький коефіцієнт тертя.

Крім того, важливим критерієм є міцність покриття, яку можна оцінити лише через аналіз напружено-деформованого стану системи «покриття–основа». Метод нанесення покриття обирається з урахуванням економічної доцільності, технологічності та виробничих можливостей.

Список посилань

1. Корбут Є.В. Особливості обробки ВПКМ процесом різанням // Перспективні технології та прилади. – Луцьк, 2018. – С. 82–87.

2. Sheikh-Ahmad J.Y. Machining of polymer composite / J.Y. Sheikh-Ahmad. — Technology and Engineering, 2008. – 230 c.

3. Durao L.M. Machining of hybrid composites : Ph.D. dissertation : 05.03.01 / L.M. Durao. — Porto, 2005. – 242 c.

4. Vetter J., Burgmer W., Dederichs H., Perry A. The architecture and performance of compositionally gradient and multi-layer PVD coating // Materials Science Forum. – 1994. – Vols. 163–165. – P. 527–532.

5. Gerth J., Wiklund U. The influence of metallic interlayers on the adhesion of PVD TiN coatings on high-speed steel // Wear. – 2008. – Vol. 264, № 9–10. – P. 885–892.

6. Корбут Є.В., Радько О.В., Голомбієвський Г.Г. Підвищення стійкості різального інструмента комбінованими методами поверхневого зміцнення // Проблеми тертя та зношування. – Київ, 2015. – № 4. – С. 96–101.