

DOI 10.32820/2079-1747-2020-25-62-69
УДК621.9

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТИВ

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Малицький Ігор Федорович: ORCID: 0000-0003-0026-2791; malickiy1925@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювальному виробництві; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Сичов Юрій Іванович: ORCID: 0000-0002-6576-8083; shanhaj_2007@ukr.net; кандидат технічних наук; завідувач кафедрою інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювальному виробництві; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

В останні десятиліття темпи зростання виробництва композиційних матеріалів постійно зростають, в основному завдяки їх застосуванню в ракетній і авіакосмічній техніці.

Завдяки зниженню вартості, композиційні матеріали почали використовувати в інших галузях: хімічне машинобудування, медицина, транспорт, виробництво товарів народного споживання.

Не менш складним завданням є конструювання і механічна обробка виробів з композиційних матеріалів. Широке застосування волокнистих полімерних композиційних матеріалів стримується саме через проблеми забезпечення якості поверхневого шару при їх механічній обробці.

Проблеми пов'язані з тим, що відмінність пружних і міцнісних властивостей зв'язувача і наповнювача в композиційному матеріалі призводить до того, що під дією механічних сил і температури в поверхневому шарі матеріалу при різанні відбувається масовий розрив адгезійних зв'язків між волокнами і матрицею і руйнування поверхневого шару по поверхнях розділу структурних компонентів композиту. Це призводить до виникнення специфічного дефекту "Ворсистості" обробленої поверхні. Крім цього відбувається термомеханічне реструктурування полімерних складових композиту. Глибина дефектного шару при цьому може досягати 300 ... 500 мкм.

Вищезазначені дефекти поверхневого шару значно знижують експлуатаційні показники виробів з композиційних матеріалів - механічну міцність, твердість, вологопоглинання, діелектричні властивості і інші.

До теперішнього часу немає науково-обґрунтованих рекомендацій по механічній обробці композиційних матеріалів, що дозволяють уникнути руйнування поверхневого шару.

Ключові слова: Волокнисті полімерні композитні матеріали, механічна обробка, анізотропія, якість поверхневого шару.

Сычев Ю.И., Малицкий И.Ф. «Совершенствование процесса резки полимерных композитов».

В последние десятилетия темпы роста производства композиционных материалов постоянно растут, в основном благодаря их применению в ракетной и авиакосмической технике.

Благодаря снижению стоимости, композиционные материалы начали использовать в других областях: химическое машиностроение, медицина, транспорт, производство товаров народного потребления.

Не менее сложной задачей является конструирование и механическая обработка изделий из композиционных материалов. Широкое применение волокнистых полимерных компо-

зиционных материалов сдерживается именно из-за проблем качества поверхностного слоя при их механической обработке.

Проблемы связаны с тем, что различие упругих и прочностных свойств связующим и наполнителя в композиционном материале приводит к тому, что под действием механических сил и температуры в поверхностном слое материала при резке происходит массовый разрыв адгезионных связей между волокнами и матрицей и разрушения поверхностного слоя по поверхностям раздела структурных компонентов композита. Это приводит к возникновению специфического дефекта "ворсистости" обработанной поверхности. Кроме этого происходит термомеханическая реструктурирования полимерных составляющих композита. Глубина дефектного слоя при этом может достигать 300 ... 500 мкм.

Вышеупомянутые дефекты поверхностного слоя значительно снижают эксплуатационные показатели изделий из композиционных материалов - механическую прочность, твердость, влагопоглощение, диэлектрические свойства и другие.

К настоящему времени нет научно обоснованных рекомендаций по механической обработке композиционных материалов, позволяющих избежать разрушения поверхностного слоя.

Ключевые слова: Волокнистые полимерные композитные материалы, механическая обработка, анизотропия, качество поверхностного слоя.

Sychev Yu., Malitskiy I. «Improving the process of cutting polymer composites».

In recent decades, the growth rate of production of composite materials has been constantly growing, mainly due to their use in rocket and aerospace engineering.

Due to lower costs, composite materials began to be used in other areas: chemical engineering, medicine, transport, and the production of consumer goods.

No less difficult task is the design and machining of products from composite materials. The widespread use of fibrous polymer composite materials is constrained precisely because of the problems of the quality of the surface layer during their machining. The problems are due to the fact that the difference in the elastic and strength properties of the binder and filler in the composite material leads to the fact that under the action of mechanical forces and temperature in the surface layer of the material during cutting there is a mass break of the adhesive bonds between the fibers and the matrix and the destruction of the surface layer at the interface structural components of the composite. This leads to the occurrence of a specific "hairiness" defect of the treated surface. In addition, thermomechanical restructuring of the polymer components of the composite takes place. The depth of the defective layer can reach 300 ... 500 microns.

The above-mentioned defects of the surface layer significantly worsen properties of products made of composite materials such as their mechanical strength, hardness, moisture absorption, dielectric properties and others.

To date, there are no scientifically based recommendations on the machining of composite materials to avoid the destruction of the surface layer.

Keywords: fibrous polymer composite materials, machining, anisotropy, surface layer quality.

Актуальність. Робота присвячена встановлення умов ефективної механічної обробки волокнистих полімерних композитів. Широке застосування волокнистих полімерних композиційних матеріалів стримується саме через проблеми забезпечення якості поверхневого шару при їх механічній обробці.

Ціль роботи. Сформулювати проблеми, які виникають при обробці композитних матеріалів. Розібрати впливи режимів різання на створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача.

Изложение основного материала.

1. Аналіз літературних джерел показав, що технологічні проблеми, що виникають в процесі різання волокнистих полімерних композитів зводиться до двох основних: складність забезпечення необхідної якості поверхневого шару і підвищений знос ріжучих інструментів.

Володіючи теоретично високими експлуатаційними властивостями волокнисті полімерні композити (ВПК) в цілому, мають істотно занижені експлуатаційні характеристики, оброблених різанням поверхонь. Визначаються вони в першу чергу якістю обробленої поверхні і станом поверхневого шару. Складність забезпечення їх стану на необхідному рівні є однією з основних особливостей ВПК і однією з основних проблем. Маючи гетерогенну структуру з яскраво вираженою анізотропією властивостей, що характеризується в ряді випадків низьким адгезійним зв'язком між матрицею і наповнювачем, здатну руйнуватися під дією механічних факторів, композити руйнуються при різанні вздовж поверхонь розділу композитів, утворює специфічні дефекти: розшарування і наявність виступаючих над обробленою поверхні не зрізаних волоком - так звану "ворсистість". Цьому сприяє, в значній мірі, різні фізико-механічних властивостей входять композит компонентів. Крім того, після механічної обробки, поверхневий шар є деструктивним [1].

Зниження міцності адгезійних зв'язків між матрицею і волоком під дією механічних сил, теплоти і механохімічних процесів, висока межа міцності при розтягуванні і відносно подовження при розриві волокон, більш низький опір зрушенню вздовж волокон, ніж поперек, відмінність пружних властивостей зв'язувача і наповнювача, призводять до того, що розшарування перешкоджають руйнуванню ВПК, як монолітної гомогенної структури.

Через дефектності поверхневого шару складно домогтися необхідної низької шорсткості обробленої поверхні, вимір якої, до того ж, достовірно утруднене через згадані вище причини.

Суттєвою особливістю ВПК як уже було відзначено вище є їх низька теплостійкість. Залежно від типу сполучного теплостійкість цих матеріалів становить 160-300 ° С [2]. При температурах, вище зазначених, відбувається вигорання сполучного, на поверхні обробленої деталі з'являються припік. Тому рівень температур в зоні різання повинен бути значно менше, ніж при обробці металів. Це ускладнюється ще й тим, що в більшості випадків не допускається застосування СОТС.

Вищеназвані дефекти поверхні і поверхневого шару значно знижують експлуатаційні показники виробів з ВПК, таких як: механічна міцність, твердість обробленої поверхні, опір стиранню, вологопоглинання, діелектричні показники.

Другий, не менш важливою проблемою є низька стійкість ріжучих інструментів при обробці полімерних волокнистих композитів.

По-перше, це пов'язано з абразивним впливом твердого наповнювача (скляні, вуглецеві, борні волокна).

По-друге, природа зносу ріжучих інструментів при обробці композиційних матеріалів відрізняється від природи зносу інструменту при обробці металів. У зоні різання при розриві полімерних ланцюгів утворюються вільні радикали у вигляді метиленових, гідроксильних, карбонільних і альдегідних груп і вуглеводневих комбінацій, які є поверхнево-активними речовинами. Вільні радикали полімеру, що зазнав деструкції, адсорбується на контактних по-

верхніх різального клина знижують їх поверхневу енергію (ефект Ребіндера) і аномально інтенсифікують знос [3]. Знос відбувається за рахунок масового відриву поверхнею різання ослаблених ефектом адсорбованого зниження міцності поверхневих мікрочастинок інструментального матеріалу і зростання зародкових мікротріщин.

По-третє, при різанні волокнистих полімерних композитів, вибір критерію зносу інструментів в переважній більшості випадків визначає технологічний ознака - неприпустиме погіршення якості обробки. Причому величина критерію зносу в 5-8 разів менше, ніж при металообробці, що істотно знижує стійкість ріжучих інструментів.

По-четверте, зміна навколишнього середовища при виході ріжучого клина з оброблюваного матеріалу призводить до: збільшення сили тертя і, отже, температури різання; зниження теплопровідності і, отже, підвищення тепло-напруженості процесу різання; збільшення радіуса округлення різальної крайки і, отже, до необхідності зменшення величини критерію зносу.

По-п'яте, через значні сил пружної післядії інтенсифікується знос по задній поверхні, зростає радіальна складова сили різання, посилюється вплив механічного та теплового факторів на процес руйнування по поверхнях розділу.

По-шосте, потрапляння в зону різання продуктів зносу, дисперсированого наповнювача і зв'язуючого призводить до інтенсифікації зносу ріжучого інструменту.

Резюмуючи вищевикладене можна стверджувати, що основними проблемами, що виникають в процесі різання волокнистих полімерних композитів є: складність забезпечення необхідної якості обробленої поверхні, яка проявляється в: надзвичайній складності отримання необхідної шорсткості обробленої поверхні; наявності на обробленої поверхні незрізаних волокон - «ворсистість»; розшаруванні оброблюваного матеріалу; наявності дефектного поверхневого шару; низька стійкість різального інструменту, яка проявляється у високій інтенсивності зносу по задній поверхні і збільшення радіуса округлення різальної крайки.

2. Вплив режимів різання.

Швидкість різання. Зі збільшенням швидкості різання відзначається поліпшення якісних характеристик процесу обробки для всіх представників волокнистих полімерних композитів, які використовувалися, в дослідженні. Однак це поліпшення менш яскраво виражено для точіння і свердління, на відміну від фрезерування, оскільки ці види обробки є більш теплонапружених через безперервне контактування інструменту з оброблюваним матеріалом і утисненого різання (для свердління) рис. 1 – 3.

Поліпшення якісних характеристик процесу обробки пов'язано зі зниженням енерговитрат при різанні і збільшенням питомої енергії різання, а так само зниженням сил різання, що в кінцевому підсумку дозволяє зменшити ворсистість за рахунок зменшення руйнувань по поверхні розділу структурних компонентів і знизити ступінь деструкції полімерних складових і глибину дефектного шару композиту. Підвищення питомої енергії впливу контактних поверхонь ріжучого інструменту на окремі волокна і мікрооб'ємах матриці і зниження межі текучості забезпечують зниження величини напруг і деформацій.

Це забезпечує помітне зниження глибини дефектного шару. На основі наведеного дослідження можна зробити висновок про доцільність застосування високошвидкісної обробки при фрезеруванні для забезпечення не тільки необхідної якості, а й значного збільшення продуктивності обробки.

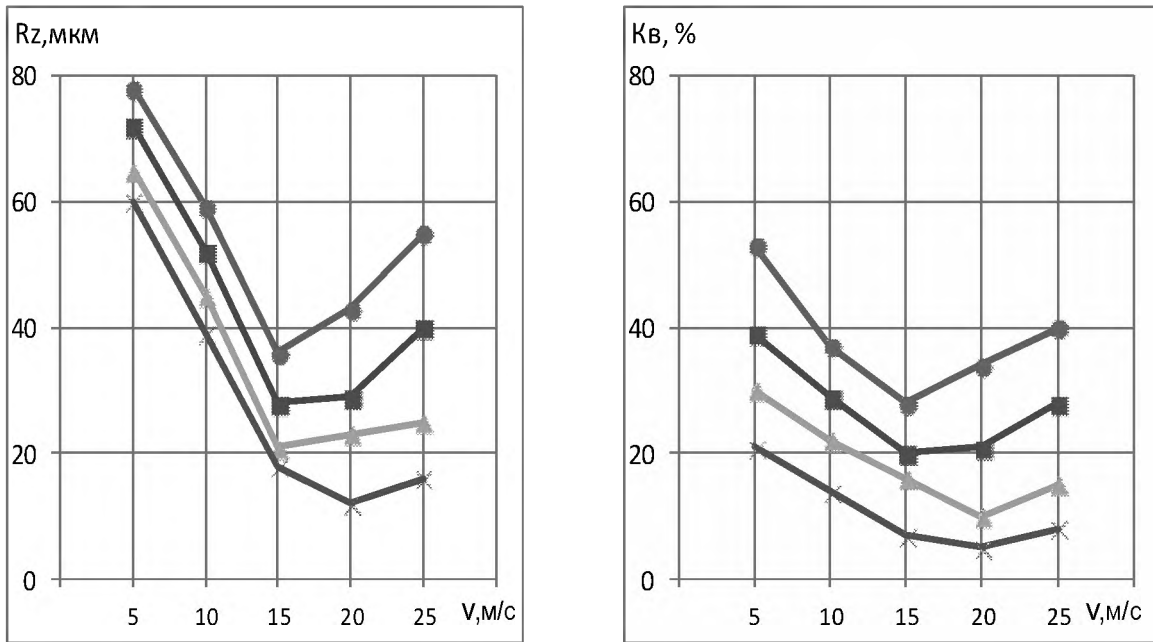


Рис.1 Вплив швидкості різання на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: ×—× – склопластика, ▲—▲ – склоорганопластика, ■—■ – углеорганопластика, ●—● – органопластика.

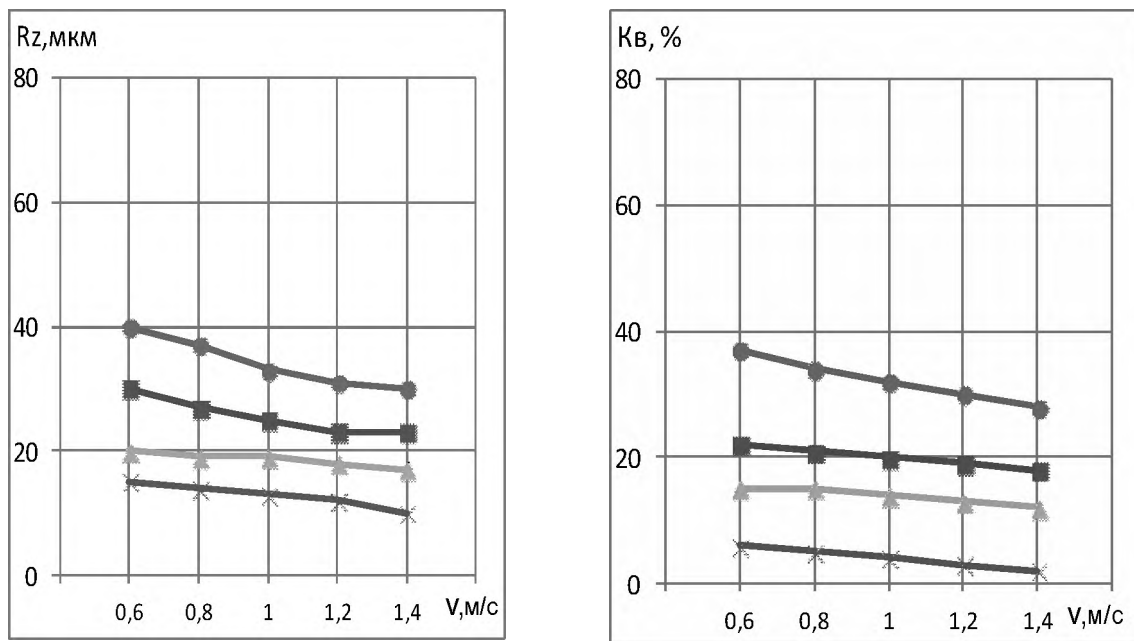


Рис. 2 Вплив швидкості різання на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при точінні: ×—× – склопластика, ▲—▲ – склоорганопластика, ■—■ – углеорганопластика, ●—● – органопластика.

В якості альтернативи точіння, для збільшення продуктивності і якості поверхневого шару можна рекомендувати фрезоточіння. Як видно з графіків при збільшенні швидкості різання вище оптимальної, спостерігається погіршення стану поверхневого шару, що пояснюється погіршенням енергетичних характеристик процесу різання.

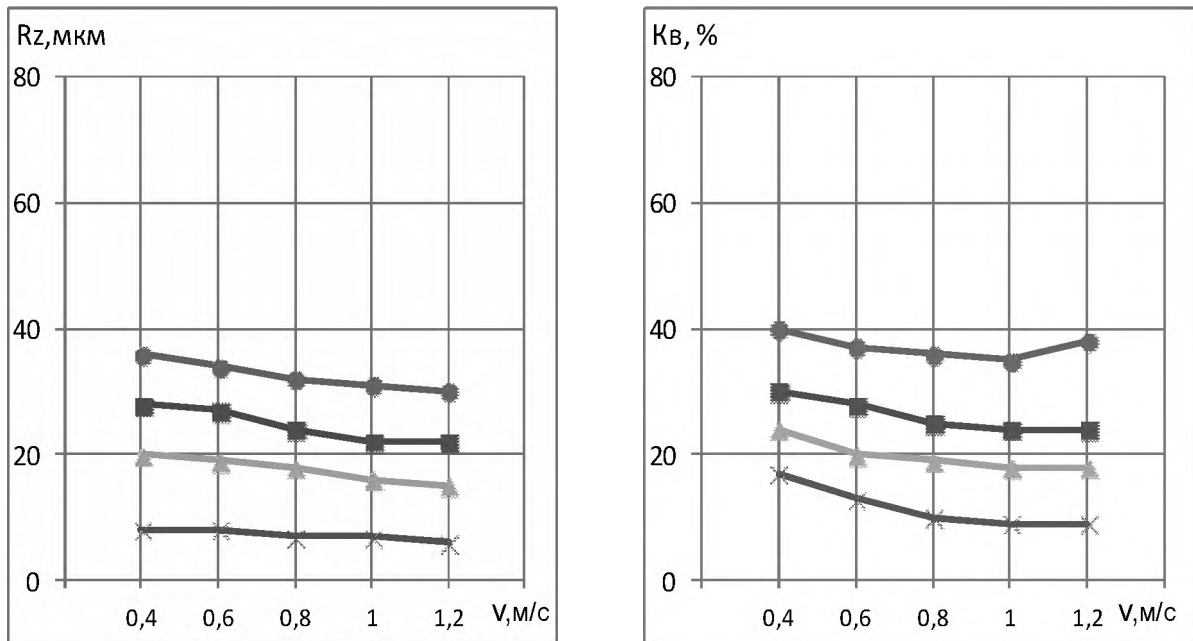


Рис. 3 Вплив швидкості різання на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів під час свердління: ×—× – склопластика, ▲—▲ – склоорганопластика, ■—■ – углеорганопластика, ●—● – органіластика.

Подача і глибина різання. При збільшенні глибини різання і подачі росте площа перетину зрізаного шару, що викликає зростання складових сили різання, підвищення роботи різання і зниження питомої енергії впливу контактних поверхонь інструменту на окремі волокна і мікрооб'ємах матриці. Це призводить до зростання шорсткості, ворсистості обробленої поверхні і ступеня деструкції полімерних складових (рис. 4 – 6).

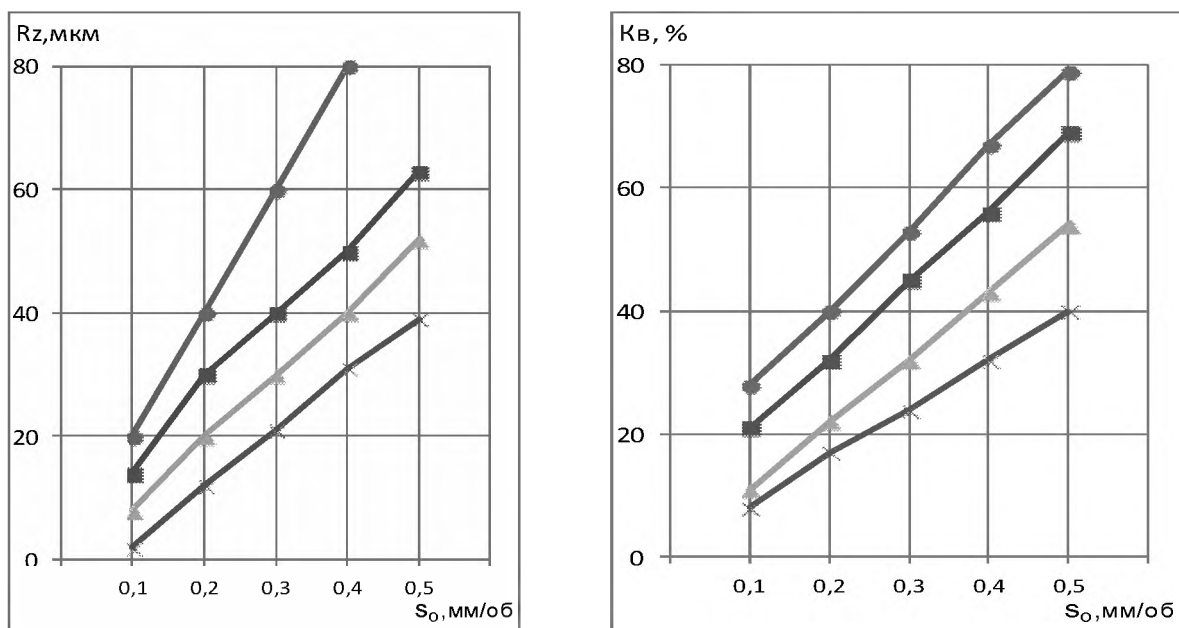


Рис. 4 Вплив осьової подачі на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів під час свердління: ×—× – склопластика, ▲—▲ – склоорганопластика, ■—■ – углеорганопластика, ●—● – органіластика.

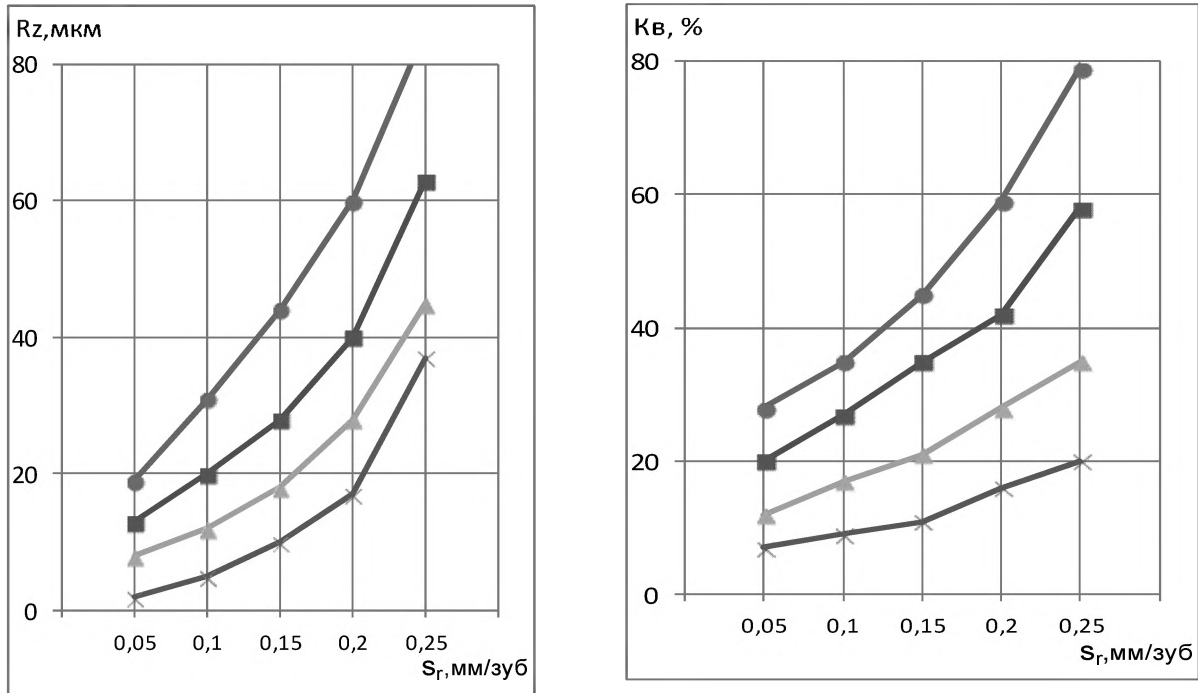


Рис. 5 Вплив подачі на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: ×—× – склопластика, ▲—▲ – склоорганопластика, ■—■ – углеорганопластика, ●—● – органопластика.

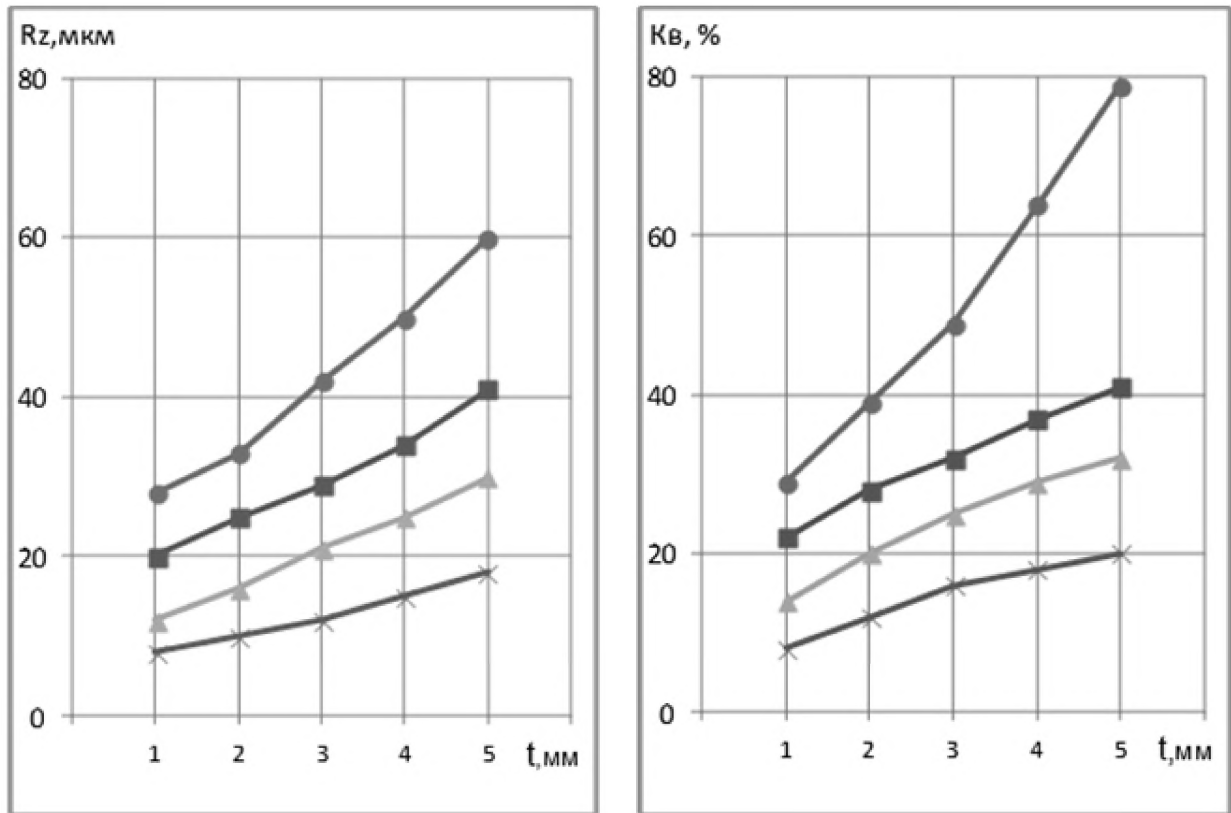


Рис.6 Вплив глибини різання на вихідні параметри якості обробки волокнистих полімерів при точінні: ×—× – склопластика, ▲—▲ – склоорганопластика, ■—■ – углеорганопластика, ●—● – органопластика.

Погіршення якості обробленої поверхні при збільшенні глибини різання і подачі пов'язано також із виникненням вібрацій через дії підвищених сил різання на технологічну систему. Як видно з графіків, для забезпечення необхідної якості поверхневого шару обробленого ПКМ необхідні значно менші значення подач, ніж при обробці металів, що пов'язано з порушеннями адгезійних зв'язків між компонентами композиту і виникненням механодеструкції полімеру. При рівному зносі ріжучого клина інструментальний матеріал практично не впливає на шорсткість обробленої поверхні, однак суттєво впливає на ворсистість обробленої поверхні через різних радіусів округлення різальної крайки і різної стійкості до макро і мікротріщин в період підробітки.

Висновки.

При обробці композиційних матеріалів, армованих органічними волокнами з низьким модулем пружності і великим відносним подовженням, перевагу слід віддавати інструментальним матеріалам, для яких при заточуванні можна отримати менші радіуси округлення різальної крайки (надтверді матеріали, дрібнозернисті тверді сплави).

Для зниження ступеня деструкції полімерних складових необхідно перевагу віддавати інструментальним матеріалам з підвищеною теплопровідністю для зниження тепло напруженості процесу різання.

Для забезпечення необхідної якості поверхневого шару обробленого ПКМ необхідні значно менші значення подач, ніж при обробці металів, що пов'язано з порушеннями адгезійних зв'язків між компонентами композиту і виникненням механодеструкції полімеру. Інструментальний матеріал практично не впливає на шорсткість обробленої поверхні, однак суттєво впливає на ворсистість обробленої поверхні через різних радіусів округлення різальної крайки і різної стійкості до макро і мікротріщин в період підробітки.

Список джерел

1. Гаврилова А. В. Повышение качества лезвийной обработки полимерных и композиционных материалов путем предварительного механического деформирования заготовок : автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. / А. В. Гаврилова – Хабаровск, 2009. – 20 с.
2. Верезуб Н. В. Підвищення ефективності вібраційного різання волокнистих полімерних композитів / Н. В. Верезуб, А. П. Тарасюк // Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2005. – № 11. – С. 80–85
3. Barker A. A. The fabrication and utilization of carbon and boron fibres in high performance composite materials /A. A. Barker // *Just. Metals.* – 1993. – Vol. 18, No 2. – Pp. 93–102.

References

1. Gavrilova, AV 2009, 'Povyshenie kachestva lezviynoj obrabotki polimernykh i kompozicionnykh materialov putem predvaritel'nogo mehanicheskogo deformirovaniya zagotovok', *Kand.tech.n. abstract, Habarovsk.*
2. Verezub, NV & Tarasiuk, AP 2005, 'Pidvyshchennia efektyvnosti vibratsiinoho rizannia voloknystykh polimernykh kompozytiv', *Visnyk skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, no. 11, pp. 80-85.
3. Barker, AA 1993, 'The fabrication and utilization of carbon and boron fibres in high performance composite materials', *Just. Metals*, vol. 18, no. 2, pp. 93-102.

Стаття надійшла до редакції 2 березня 2020 р.