Спеціалізована вчена рада К 23.073.02
Вченому секретарю О.К. Дідику
25030, м. Кропивницький, проспект
Університетський, 8.
Кіровоградський національний
технічний університет

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ОРЛА ВАДИМА МИКОЛАЙОВИЧА

«Підвищення ефективності гідроабразивного різання листових композитних заготовок за рахунок ефекту ініційованого тріщиноутворення»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.03.01 – «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»

1.Загальна характеристика

Дисертаційна робота виконана в Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України і присвячена актуальній науково-технічній задачі – підвищенню ефективності гідроабразивного різання тонколистових матеріалів з композитів шляхом створення умов появи та керованого розвитку тріщин втоми в зоні борозенки різа в сукупності з основним процесом.

Рецензована робота містить вступ, п'ять розділів, загальні висновки по роботі, список використаних джерел та додатки.

Загальний обсяг роботи – основний текст представлено на 183 машинописних сторінках, повний текст викладено на 211 сторінках, у тому числі 73 рисунки і 21 таблиця на 26 сторінках, додатки на 8 сторінках, список використаних джерел з 184 найменувань.

2.Оцінка актуальності роботи та відповідність її планам наукових досліджень

Вітчизняна промисловий комплекс на сьогодні беззаперечно зобов'язаний забезпечувати високу якість власної продукції задля досягнення достатнього рівня її конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Рішення проблеми з якістю продукції на підприємствах різних галузей господарювання безпосередньо пов'язано із забезпеченням їх у своїй переважній більшості *новітніми технологіями* від отримання заготовок до складання виробу та його реалізації на основі глибоких маркетингових досліджень. З огляду на потужно прискорений розвиток сучасного матеріалознавства, вітчизняний ринок постійно поповнюється новими конструкційними матеріалами з високими фізико-механічними показниками та іншими затребуваними характеристиками (висока корозійна стійкість, низька зношуваність, невелика питома вага, вартісні переваги тощо). До таких безперечно відносяться і композиційні матеріали, зокрема склопластики, вуглепластики та інші, які знайшли своє широке використання у різних галузях. При цьому гідроабразивне різання таких матеріалів займає пріоритетне місце з поміж інших технологічних операцій, яке хоч і досить продуктивне та широко застосовуване в промисловості, усе ж енерговитратне та потребує постійного удосконалення, у тому числі і шляхом використання зовнішнього

циклічного навантаження оброблюваного матеріалу з метою формування умов появи та керованого розвитку тріщин в зоні різання. Передбачувана ефективність консолідованого різання обумовлюються властивостями технологічної обробляючої системи і є результатом взаємовпливу множини факторів конструктивного, технологічного та функціонального характеру, теоретичний аналіз котрих, дослідження та реалізація обґрунтованих результатів представляє досить складну науково-технічну задачу.

Виходячи з цих позицій, дисертаційна робота Орла В.М., спрямована на підвищення ефективності гідроабразивного різання листових композитних заготовок за рахунок додатково ініційованого тріщиноутворення, присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі і має важливе прикладне значення.

Виконання дисертаційної роботи пов'язано з науковою тематикою Кременчуцького національного університету і виконувалися на підставі держбюджетних, господарських договірних та пошукових тем внутрішнього фінансування: фундаментальної держбюджетної теми «Розробка теорії струминно-лазерного різання композитів на основі функціонально-орієнтованого підходу» (Д.Р. №111U001898, 2010–13 рр.), держбюджетної теми №29 Д/13 «Створення ефективних технологій з оптимізацією параметрів технологічного оснащення для формоутворення виробів з шаруватих та дискретних композитних матеріалів» (Д.Р. №0113U002173, 2013–2014 рр.), господарської договірної теми «Розробка технології та виготовлення комплекту зразків з ВВКМ 3D-структури для визначення властивостей матеріалу» (Д.Р. № 0116U000939 – замовник Державне підприємство «КБ «Південне», м. Дніпро, 2016 р.). Отже, дисертаційна робота Орла В.М. виконувалась у відповідності до плану наукових досліджень в межах програми ДКНТ України «Ресурсозберігаючі технології».

3.Оцінка наукової новизни результатів дисертації

Автором дисертаційної роботи Орлом Вадимом Миколайовичем отримано наступні наукові результати:

1. Вперше сформульовано, теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено гіпотезу щодо можливості підвищення ефективності гідроабразивного різання листових композитних матеріалів за рахунок суміщення основного процесу з накладеними зовнішніми циклічними навантаженнями розтягу задля ініціювання в зоні борозенки різу умов тріщиноутворення та керованим розвитком тріщин; при цьому напрям розвитку зініційованих мікротріщин обумовлюється лінією дії силового навантаження та орієнтацією площин адгезії компонентів композитного матеріалу;

2. Отримали подальший розвиток наукові положення механіки руйнування для оцінки швидкість розвитку тріщин втоми від зовнішнього навантаження в композиційних матеріалах та встановлено їх вплив на підвищення продуктивності гідроабразивного різання; експериментально встановлені коефіцієнти пропорційності для моделі розвитку тріщин в пружному середовищі для випадку гідроабразивного різання неоднорідних армованих тонких пластин з композитів;

3. Отримали подальший розвиток наукові основи гідроабразивного різання композитів, зокрема доведено, що ініційоване тріщиноутворення може бути локалізоване за рахунок збільшення подачі, яке призводить до перенесення гідроабразивного впливу в область вершини тріщини, внаслідок чого зменшується опір ковзно-ударному руйнуванню та підвищується ефективність процесу. Необхідне збільшення швидкості перенесення гідравлічного впливу обумовлюється величиною енергії вивільнення деформацій при тріщиноутворенні в зоні абразивного руйнування і визначається силовою характеристикою, амплітудою та частотою циклічного навантаження;

4. Удосконалено модель надійності процесу гідроабразивного різання з ініційованим тріщиноутворенням та показано, що ймовірність параметричної відмови визначається узгодженістю швидкості контурної подачі з умовами ініціювання тріщиноутворення у тонколистовому композитному матеріалі.

4. Оцінка достовірності та обґрунтованості положень дисертації

В дисертаційній роботі значна увага приділена строгій обґрунтованості основних наукових положень та висновків. Отримані теоретичні та практичні результати не протирічать існуючим, перевіреним експериментально теоріям, логічно доповнюючи та розвиваючи їх.

Теоретичною базою досліджень є положення теорії різання, механіки руйнування, теорії гідромеханіки, математичного моделювання, теорії систем автоматичного регулювання і адаптивного керування, математичної теорії оптимальних процесів і синтезу технічних систем.

Експериментальні дослідження виконані в лабораторних умовах з використанням розробленого патентованого оснащення, контрольно-вимірювальної апаратури, методів тензометрії, осцилографії, електронної растрової мікроскопії, енергодисперсійного рентгенівського мікроаналізу, сучасного програмного забезпечення тощо. Дослідження базувались на математичному планування експериментів.

Прийняті в дисертаційній роботі основні положення та припущення є коректними, співвідносяться з загальноприйнятими та не видозмінюють фізичної сутності досліджуваних явищ.

Вищенаведене дозволяє зробити висновок, що сформульовані в дисертаційній роботі основні положення, рекомендації та висновки є обґрунтованими, а отримані результати – достовірними.

5. Цінність отриманих результатів для науки і техніки

Результати дисертаційної роботи Орла В.М. «Підвищення ефективності гідроабразивного різання листових композитних заготовок за рахунок ефекту ініційованого тріщиноутворення» є вагомим вкладом в теорію і практику різання гідроабразивним способом листових матеріалів з композитів з урахуванням множини факторів функціонального, конструктивного, кінематичного та технологічного характеру.

Автором на основі теоретичних узагальнень, математичного моделювання та експериментальних досліджень розроблено оригінальну мотодику до вибору прогресивних схем гідроабразивного різання композиційних матеріалів широкого спектру фізико-механічних характеристик.

На основі наукових положень та результатів проведених досліджень розроблені рекомендації для практичного використання результатів на виробництві та виконано їх впровадження на підприємствах, зокрема на ДП КБ «Південне», що дає можливість зробити висновок про цінність отриманих в дисертаційній роботі результатів для науки та народного господарювання.

6. Ступінь висвітлення основних результатів дисертації у наукових виданнях

Основні положення дисертаційної роботи Орла В.М. в достатній мірі відображені а авторефераті. Зміст автореферату та основних положень дисертації – ідентичні. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, викладені в 14 опублікованих наукових працях, у тому числі: 6 статтях у фахових виданнях (у тому числі 1 одноосібна), занесених до міжнародних наукометричних баз (зокрема SCOPUS), 1 – у закордонному періодичному виданні, 1 патенту на корисну модель. Основні положення дисертації доповідались на 6-ти вітчизняних та міжнародних конференціях наукових та науково-практичних конференціях.

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на розширеному засіданні кафедри процесів і обладнання механічної та фізико-технічної обробки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського 26 травня 2016 р.

7. Загальна характеристика роботи

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета та задачі досліджень, приведена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, вказано на особистий внесок автора та зв'язок з науковими темами, приведена інформація про апробацію роботи.

У першому розділі автором виконано поглиблений аналіз сутності гідроабразивного різання, відображені його переваги та окремі недоліки при виконанні технологічних операцій в різних галузях господарювання; вагому увагу дисертант звернув на особливості процесу гідроабразивного різання композитних матеріалів, які, з огляду на їх якісні характеристики, широко використовуються в народному господарстві держави; відмічено стримуючі фактори більш широкого його впровадження з огляду на високу енергоємність та недостатньо високу рентабельність процесу при лінійному та контурному різанні різноманітних матеріалів, і у першу чергу заготовок значних товщин.

Задля підвищення ефективності гідроабразивного різання автором дисертаційного дослідження розглянуто можливість використання ослаблення опору композитів різанню за рахунок мікротріщин в зоні борозенки різу, утворених внаслідок зовнішнього циклічного навантаження, накладеного на заготовку і суміщеного з основним процесом.

В розділі даються посилання на публікації вітчизняних і зарубіжних науковців з огляду на сформульовану мету і задачі дисертаційного дослідження.

В другому розділі, виходячи з позицій нагальної необхідності досягнення більш високої ефективності гідроабразивного різання, автором обґрунтована доцільність суміщення основного процесу з формування за рахунок зовнішнього циклічного силового навантаження розтягом умов утворення мікротріщин в зоні борозенки різу та керованого їх розвитку при підвищених подачах матеріалу; підтверджена правомірність використання в роботі основних положень механіки руйнування для оцінювання розвитку мікротріщин і його параметра – коефіцієнта інтенсивності напружень K_I.

Автором підтверджено виникнення плоско-деформованого напруженого стану в зоні різу за рахунок одночасної дії гідроабразивного струменя і розтягуючих циклічних зусиль, обгрунтовано зниження міцності матеріалу композиту та активне тріщиноутворення в зоні борозенки різу (ст. 72 – 73) та виконано комп'ютерне моделювання процесу. Отримані результати стали підставою для синтезу приводу з залежним регулюванням.

Розглянуто вплив структури квазікрихких композитних матеріалів на інтенсивність руйнування при гідроабразивному різанні, сформульовано гіпотези досліджень ініційованого тріщиноутворення щодо зниження опору матеріалу в зоні борозенки різу та можливості локалізувати його за рахунок регулювання робочої подачі.

В третьому розділі автором представлена методика дослідження параметрів розвитку тріщин, ініційованих зовнішнім циклічним навантаженням, для точного відтворення при основному процесі гідроабразивного різання оптимальних амплітуд, раціональних форм робочих навантажень і силових параметрів (табл.. 3.1, стор. 108 та 127) з огляду на розміри заготовок та механічних характеристик композитних матеріалів. Для встановлення параметрів, які характеризують розвиток ініційованих тріщин в зоні різу, використано тензометричні дослідження при зовнішньому навантаженні заготовок механізмом важільного типу, оснащеного двома кроковими двигунами. Передбачене роздільне керування приводами, що дає змогу отримувати складні форми зовнішнього навантаження та їх контролювали.

Візуалізація утвореної сітки мікротріщин здійснювалась засобами растрової мікроскопії з попереднім нанесенням на композитні матеріали тонких струмопровідних плівок товщинами 2 – 5 мкм для підвищення голографічного контрасту. Здійснено метрологічне опрацювання отриманих результатів.

В четвертому розділі автором задля підвищення *продуктивності* гідроабразивного різання виокремленні з отриманих при дослідженнях та встановлені раціональні форми та амплітуди коливань зовнішнього циклічного навантаження оброблюваних заготовок. Обробці гідроабразивним різанням піддавались заготовки з акрилового пластика, склопластику, композитів з площинним і просторовим армуванням товщинами в межах 0,25…1,5 мм. Виявлено, що при прикладенні пилоподібних навантажень продуктивність технологічного процесу різання може зрости на 20 – 25% за рахунок збільшення робочої подачі заготовки, що співставне зі швидкість розвитку тріщин в зоні різу.

Підтверджено, що при значній довжині різу можливе неконтрольоване зростання швидкості тріщиноутворення, яка, зокрема, залежить від форми зони струминного впливу, наявності дефектів у тілі матеріалу, неоднорідністю адгезійного зчеплення тощо.

Для прогнозування надійності отримання якісного різу та побудови реальної моделі настання відмови, виходячи з 2 – го розділу (стор. 96), встановлені експериментально коефіцієнти C_2 і m_2, які залежать від режимів обробки. Отримано залежності ймовірності якості обробки від чинників струминного різання з керованим тріщиноутворенням.

В п'ятому розділі автором розроблена і викладена методика оцінки очікуваної продуктивності та точності обробки листових заготовок з композитних матеріалів при наявності зовнішнього циклічного їх навантаження, яка побудована на основі регресійної моделі контурної подачі, впливу інших технологічних режимів і характеристик оброблюваної гами матеріалів. В результаті статистичної обробки матеріалів досліджень встановлено рівень відповідальності усіх чинників за продуктивність процесу – точності установки заготовок, товщини матеріалу, напрямку різання, амплітуди і зусиль зовнішнього навантаження та інше при використанні на гідрорізному верстаті відповідних силових параметрів (тиску), розмірів і концентрації абразиву в струмені.

8. Зауваження по дисертації та автореферату

1. Вибір композитних матеріалів (акриловий пластик NOVATTRO товщиною 0,50-0,52 мм; С-С композит із просторовим армуванням товщиною 0,75-1,5 мм); карбон-полімерна композиція С-41 з площинним армуванням товщинами 0,25-0,75 мм; склопластик СВА товщинами 0,5-1,2 мм) з великої їх кількості з різними якісними характеристиками і кількісними показниками для досліджень у відповідності до мети дисертаційної роботи був обґрунтований практичною доцільністю та передбачуваною можливістю підвищити ефективність для використання найбільш прийнятного технологічного процесу його обробки – гідроабразивного різання. Однак, розглядаючи і обґрунтовуючи використання композитних матеріалів у різних галузях господарювання, дисертант мав би більш глибоко їх характеризувати з точки зору єдності або відмінностей фізико-механічних показників, структури, способу плетіння технологічної оброблюваності інструментами тощо. Це дозволило б автору більш коректно сформулювати основні принципи (методологічні, економічні тощо) щодо практичного використання отриманих результатів та їх узагальнення.

2. При постановці задач та обранні напрямку досліджень у першому та другому розділах дисертації автор дещо перебільшив обсяг приведеної додаткової інформації та цитувань провідних фахівців, зокрема у галузі механіки композитів та механіки руйнування. Це стосується сторінок 34-35, 37, 65 дисертації. Було б достатнім просто подати посилання на роботи науковців ([88], [89], [138]) і привести основні їх положення, а також зазначити можливість використання прийнятих до уваги математичних залежностей для випадку навантаження матеріалу гідроабразивним струменем. Це дозволило б уникнути певного переобтяження роботи і зробило б її сприйняття більш зручним.

3. В роботі, обґрунтовуючи підвищення ефективності гідроабразивного різання композитних матеріалів утворенням мікротріщин в зоні різу при накладанні на основний процес зовнішнього силового циклічного навантаження розтягом, автор використав апарат

комп'ютерного моделювання зародження і розвитку тріщин втоми та відомі і власно отримані результати чисто гідроабразивного різання. Однак більш вірогідними були б результати ефективності, якби мали місце *окремо* дослідження умов появи тріщини та її розвитку в конкретному композитному матеріалі лише при зовнішньому циклічному навантаженні з певними силовими характеристиками, *окремо* дослідження ефективності гідроабразивного різання в розрізі множини енергетичних і технологічних можливостей процесу та власне у розрізі запропонованого підходу гідроабразивного різання листових композитних матеріалів з ініційованим тріщиноутворенням. Співставлення усіх результатів додало б до отриманих в дисертації ще більше інформації для наукових висновків та пропозицій для практики використання.

4. Розглядаючи фактори виникнення параметричних відмов, автор зосередив увагу виключно на тому, що такі відмови настають у випадку, коли тріщина (або кілька тріщин) поширюються за зону струминного впливу, що в свою чергу спричинить дефектний різ, або шар матеріалу більшої товщини, що є неприпустимим з точки зору умов обробки. При цьому автор пов'язав кількість дефектів Nd з часом t, протягом якого ці дефекти збільшуються. Однак у кінцевій формулі параметр t відсутній. Варто було б виразити Nd як функцію t і тоді кінцевий вираз був би як $P(t)$. Окрім того, у разі, коли робоча подача при гідроабразивному різанні не буде супроводжуватись тріщиною, може виникнути зона непрорізання, що також спричинить параметричну відмову. Однак ймовірність виникнення подібної відмови автором не розглянута.

5. Пристосування з кліщовими пристроями та механічним приводом для ініціювання тріщиноутворення від зовнішнього циклічного навантаження в зоні струминного різання має свої переваги щодо установки (базування і закріплення) заготовок з тонколистового композитного матеріалу без його руйнування. З огляду на необхідність точної керованості розвитком тріщини, утвореної від зовнішнього циклічного навантаження, як за напрямком, так і за швидкістю та її співставністю з напрямком і швидкістю подачі при основному процесі гідроабразивного різання потребується постійний контроль значень силових навантажень циклу і, можливо, їх регулювання з ростом ініційованої тріщини. Адже в процесі її розвитку коефіцієнт інтенсивності напружень K_I в околі тріщини, у відповідності до положень механіки руйнування, буде закономірно збільшуватись, що може призвести до випереджувального розвитку ініційованої тріщини по відношенню до встановленої робочої подачі заготовки великих розмірів. У такому випадку варто було б шляхом зворотного зв'язку контролювати силове навантаження.

6. При визначені коефіцієнтів пропорційності у моделі розвитку ініційованої тріщини слід було б точно визначитись з умовами натікання струменя, витратами абразивних зерен, діаметром сопла, оскільки ці фактори систематичного характеру будуть безпосередньо впливати на ефективність гідроабразивного різання композитних матеріалів.

7. Перспектива подальшого використання запропонованого підходу до підвищення ефективності гідроабразивного різання за рахунок ініціювання тріщиноутворення у вершині різу від зовнішнього циклічного навантаження окрім показників якості отриманих заготовок, має бути підкріплена і економічними показниками, які пов'язані з мінімізацією енергетичних витрат процесу, витрат абразивних матеріалів, часу різання та інше. В дисертаційній роботі автору варто було б звернути на це увагу і навести результати оцінки ефективності для різних композиційних матеріалів та їх характеристик. Це значно посилило б висновки.

8. В тексті дисертації і у авторефераті зустрічаються граматичні помилки і стилістичні неточності.

9. Заключна оцінка дисертаційної роботи

Прорецензована дисертаційна робота Орла В.М. «Підвищення ефективності гідроабразивного різання листових композитних заготовок за рахунок ефекту ініційованого тріщиноутворення» являє собою закінчене наукове дослідження, присвячене актуальній темі,

має логічну структуру та цілісний характер, містить наукові результати, висновки і рекомендації, має наукову новизну та практичну цінність. Основні положення дисертації досить повно відображені в авторефераті.

Враховуючи актуальність, наукову новизну, практичну цінність отриманих в роботі науково обґрунтованих результатів, котрі у сукупності є значним досягненням в області технологічного процесу гідроабразивного різання композитних матеріалів заради підвищення його ефективності, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Орла В.М. «Підвищення ефективності гідроабразивного різання листових композитних заготовок за рахунок ефекту ініційованого тріщиноутворення» відповідає вимогам ДАК України (пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567) щодо кандидатських дисертацій по спеціальності 05.03.01 – «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти», а її автор – Орел В.М. – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент
Заслужений діяч науки і техніки України,
професор кафедри технологій машинобудування
Житомирського державного технологічного
університету, доктор технічних наук, професор П.П.Мельничук

Підпис доктора технічних наук, професора
підтверджую.
Вчений секретар університету,
кандидат економічних наук, доцент І.М.Вигівська

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний технологічний університет
і.к.05407870
Україна м.Житомир