

нів Гопкинсона може бути також використана для вивчення енергетичних характеристик руйнування твердих сплавів та дослідження процесу врізання. Отримані експериментальні результати про міцність твердих сплавів можуть бути використані для прогнозування вірогідності руйнування різців.

**Ключові слова:** автоматизована система, міцність, електромагнітний прискорювач, динамічне навантаження, надтверді матеріали.

<sup>1)</sup>А. А. Осадчий, <sup>1)</sup>Е. Л. Писаренко, <sup>2)</sup>Л. Н. Девин

<sup>1)</sup>Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев, Украина

<sup>2)</sup>Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

### СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ УСКОРИТЕЛЕМ

В статье описана установка для контроля прочности хрупких материалов при динамической нагрузке. Разработана конструкция и изготовлен электромагнитный ускоритель, который позволяет проводить механические испытания на прочность хрупких материалов со скоростью до 10 м/с. Установлено, что установка на базе мерных стержней Гопкинсона может быть также использована для изучения энергетических характеристик разрушения твердых сплавов и исследования процесса врезания. Полученные экспериментальные результаты о прочности твердых сплавов могут быть использованы для прогнозирования вероятности разрушения резцов.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, прочность, электромагнитный ускоритель, динамическая нагрузка, сверхтвердые материалы.

Надійшла до редакції  
20 травня 2018 року

Рецензовано  
29 травня 2018 року

УДК 004.896

### МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ

Богаčov Є. В., Коробцов Є. І., Шевченко В. В.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського", Київ, Україна

E-mail: [evheniykorobtsov@gmail.com](mailto:evheniykorobtsov@gmail.com)

Дана стаття пояснює необхідність розробки методів підвищення достовірності діагностики стану різального інструменту, описуючи процес різання на мікроструктурному рівні, за допомогою якого визначається проблема зношення різального інструменту та можливий шлях її вирішення. Запропоновано метод діагностики стану різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва, який базується на вимірюванні сигналу акустичної емісії та потужності різання. Цей метод дозволяє контролювати інтенсивність зношення різального інструменту та прогнозувати його стійкість, що дає можливість підвищити точність, якість та ефективність механообробки.

**Ключові слова:** діагностика, процес різання, автоматизація, різальний інструмент, зношення, стійкість різального інструменту.

#### Вступ

При серійному автоматизованому виробництві деталей дуже важливо проводити діагностику різального інструменту, так як найчастіше за все, а саме 63% від загальної кількості несправностей, які виникають в технологічно-оброблюваних системах (ТОС), припадають саме на відмову різального інструменту. При цьому для виявлення та усунення

відмов необхідно затратити біля 10% від загального часу роботи верстатів. З відмови інструменту на одній операції часто слідує і вихід з ладу інструментів на інших позиціях, що спричиняє відмови інших вузлів верстата та випуск бракованої продукції [1].

При відсутності достовірної інформації про всі види впливу навколишнього середовища на різальний інструмент та без моніторингу його стану може

привести до незапланованих аварій на виробництві. Без вище перелічених умов неможливо вчасно зреагувати та усунути джерела похибок, змінити зношений різальний інструмент, скоректувати режими різання тощо. Тому неминучим є випуск деякої серії бракованої продукції, тобто такої, яка не задовольняє технічні вимоги креслення.

Тому для усунення або мінімізації збоїв на виробництві необхідно глибше досліджувати процес різання на фізичному рівні та взаємозв'язки, які виникають при різанні, щоб створити нові, більш ефективні методи та засоби діагностики стану різального інструменту.

### **Постановка проблеми**

У процесі механічної обробки, робочі поверхні різального інструменту піддаються впливу дій різного роду факторів, таких як фізико-механічні, теплові, електричні, дифузійні, адгезійні та хімічні, що зменшує працездатність різального інструменту через вплив пластичної деформації, пошкодження чи зношення інструменту. Причому перераховані фактори проявляються в таких граничних умовах, які звичайно не зустрічаються ні при випробуваннях матеріалів, ні в інших технологічних процесах. Поступово зростаючий розмір зношення, як по задній, так і по передній поверхні інструменту призводить до руйнування конструктивних елементів різального інструменту. В результаті, знижується якість і точність механічної обробки, зростає відсоток браку, знижується продуктивність. Виробництво стає недоцільним і економічно збитковим [2].

Тому вкрай необхідним є використання методу підвищення достовірності діагностики працездатності різального інструменту, безпосередньо в процесі механічної обробки, що дасть можливість своєчасно проводити заміну різального інструменту, а також виключити можливість непередбаченого виходу з ладу самого інструменту, втрати працездатності.

Метод підвищення достовірності діагностики працездатності різального інструменту повинен забезпечувати отримання точної інформації про стан різального інструменту, здійснювати контроль стану різального інструменту в режимі реального часу, запобігати непередбачуваним відмовам в своїй роботі, а також сприяти зниженню ймовірності неправильної оцінки працездатності різального інструменту, і невірних дій системи автоматизованого контролю процесу обробки. Також цей метод діагностики повинен мати можливість використання в умовах автоматизованого виробництва без особливих конструктивних змін ТОС [3].

**Метою цієї роботи** є розробка методу підвищення достовірності діагностики стану різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва на основі контролю параметрів акустичної емісії та потужності різання.

### **Опис методу діагностики**

Процес різання супроводжується різноманітними фізико-хімічними явищами, такими як механі-

чні, електричні, теплові, адгезійні, дифузійні і ін., які виникають в результаті взаємодії інструменту із заготовкою. Всі ці явища в своїх параметрах, кожен у своїй мірі, несуть відображену інформацію про процес різання, знаючи залежність яких від зносу, можна оцінити величину зносу різального інструменту, а також залишкову стійкість [4].

На підставі проведених експериментальних досліджень, можна зробити висновок, що найбільш інформативними параметрами, на підставі яких можна з упевненістю судити про стан різального інструменту, є акустична емісія і потужність різання [5].

Тому, метод підвищення достовірності діагностики працездатності різального інструменту має бути заснований на вивченні сигналу акустичної емісії та потужності різання.

Але, все ж, переважним параметром вважається акустична емісія зони різання, яка виникає внаслідок дії домінуючих фізико-механічних процесів різання і в повній мірі характеризує процеси, які виникають при різанні, тому в даному методі, основна оцінка стану інструменту і коригування процесу обробки, буде проводиться по сигналу акустичної емісії (АЕ).

Даний метод діагностики працездатності різального інструменту має два контури контролю. Перший контур контролю являє собою швидко реагуючу підсистему аварійної зупинки, яка на підставі потужності різання, у випадку її виходу з допустимої межі, виробляє швидко але безпечно (без непередбачуваних наслідків) аварійну зупинку. Аварійна зупинка може бути викликана різким підвищенням сили різання, причиною чого може бути затуплення різального інструменту, наявність в матеріалі заготовки твердих включень або непередбачуване збільшення глибини різання при чорновій обробці деталі. Також основною причиною аварійної зупинки може бути поломка інструменту. Всі ці непередбачені фактори легко відстежити і відреагувати на них, аналізуючи зміни потужності різання [6].

Другий контур являє собою підсистему оцінки і прогнозування стану різального інструменту, що здійснюється на підставі комбінаційного параметра АЕ [7], який має вигляд:

$$W_M = \frac{A^2 \cdot N_\Sigma}{P_C}, \quad (1)$$

де  $A^2 \cdot N_\Sigma$  – потужність акустичної емісії;  $A$  – амплітуда сигналу АЕ;  $N_\Sigma$  – активність сигналу АЕ;  $P_C$  – потужність різання [8].

Значення амплітуди і активності сигналу АЕ визначається аналізом вимірюваного сигналу акустичної емісії, а потужність різання розраховується за наступною формулою [9]:

$$P_C = \frac{V_C \cdot t \cdot f_n \cdot k_{c0.4} \cdot k_{\rho\phi} \cdot k_{\rho f}}{60 \cdot 10^3}, \quad (2)$$

де  $V_C$  – швидкість різання;  $t$  – глибина різання;  $f_n$  – подача на оберт;  $k_{\rho f}$  – поправочний коефіцієнт на

величину подачі;  $k_{\rho\rho}$  – поправочний коефіцієнт на головний кут в плані;  $k_{c0.4}$  – питома сила різання, залежить від виду і властивостей оброблюваного матеріалу і дорівнює нормальній силі різання при зрізанні стружки перетином 1 мм<sup>2</sup> з подачею 0.4 мм/об.

Знаючи співвідношення комбінаційного параметра АЕ ( $W_M$ ) і величини зносу різального інструменту, проводиться аналіз ступеня зносу різального інструменту ( $h_u$ ), розраховується інтенсивність зносу і проводиться моделювання математичних моделей зносу, за якими здійснюється прогнозування зношення різального інструмента. Аналізуючи ступінь зношення, інтенсивність зношення і прогнозованого раніше зношення, робиться висновок про можливість коригування режимів обробки для зниження зношення [10].

Математична модель зношення різального інструменту має наступний вигляд:

$$h_u = \Delta h_u + \frac{k_w \cdot j_u \cdot A^2 \cdot N_\Sigma}{V_C \cdot t \cdot f_n \cdot k_{c0.4} \cdot k_{\rho\rho} \cdot k_{\rho f}}, \quad (3)$$

де  $\Delta h_u$  – наявне зношення, мм;  $j_u$  – інтенсивність зношення  $j_u = \frac{h_u(i)}{h_u(i-1)}$ ,  $k_w$  – поправочний коефіцієнт по співвідношенню зношення інструменту і комбінаційного параметру АЕ, який визначається експериментально для різних комбінацій матеріалів «інструмент – деталь» і заноситься в базу даних.

Розрахунок прогнозованого зношення різального інструменту здійснюється за такою формулою [11]:

$$h_{\text{прогноз}}(i+1) = j_u \cdot \left( \frac{h_u(i) + h_u(i-1)}{2} \right). \quad (4)$$

Алгоритм функціонування методу підвищення достовірності діагностики різального інструменту представлений на рис. 1.

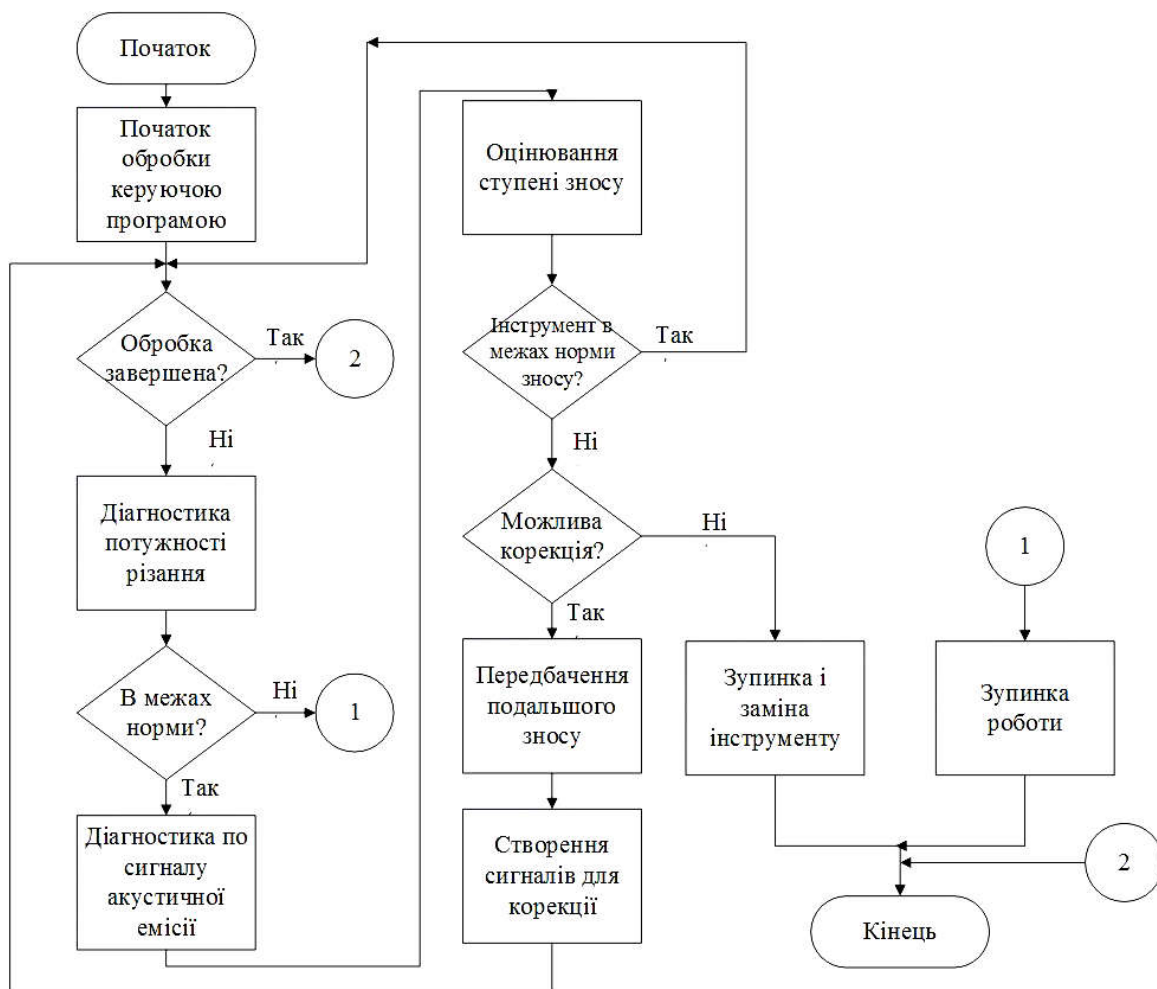


Рис. 1. Алгоритм функціонування методу підвищення достовірності діагностики працездатності різального інструменту

Метод підвищення достовірності діагностики працездатності різального інструменту складається з датчика вимірювання сигналу акустичної емісії, сигнал від якого через підсилювач і фільтр низьких

частот надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Інший діагностичний сигнал від датчика вимірювання потужності різання, через підсилювач, також надходить на вхід АЦП. Пода-

льша обробка і аналіз вимірюваних параметрів проводиться за допомогою ЕОМ, до складу якої входить: блок оцінки інтенсивності і розміру зносу, де на підставі даних про максимальне і мінімальне значення потужності різання здійснюється моніторинг аварійного стану, в разі виходу значення потужності різання з допустимих меж на виконуючий механізм (блок керування двигуном, блок керування приводом подачі і ін.) подаються відповідні сигнали аварійної зупинки. Також в блоці спостерігається інтенсивність і значення зношення різального інструменту, при якому використовується поправочний коефіцієнт  $k_w$ , який знаходиться в БД. При оцінюванні зношення інструменту враховуються режими роботи ТОС, які від блоку ЧПК, який керує процесом обробки на підставі керуючої програми. Після визначення зношення, дані, про нього, передаються на блок, де відбувається моделювання процесу обробки, за допомогою якого обчислюється залишкова стійкість інструменту, а також проводиться прогнозування зношення інструменту, на основі даних отриманих від ЧПК. У блоці формуються керуючі, корекційні сигнали по зміні режимів обробки, які надходять на блок ЧПК. У разі, коли корекція процесу обробки неможлива, здійснюється зупинка процесу обробки або заміна різального інструменту. У системі ЧПК, на основі керуючих сигналів від блоку, вносяться зміни в команди керування, які надходять на виконуючі механізми

### Висновки

Запропонований метод діагностики працездатності різального інструменту, який базується на зміні сигналу акустичної емісії і потужності різання, дає можливість проводити більш ефективний контроль зношення і відмови різального інструменту, підвищує надійність і точність, як процесу механічної обробки, так і ТОС в цілому, дозволяє зменшити кількість бракованих деталей, що є вимогою до автоматизованого виробництва. Подальшим розвитком, на основі даного методу, може бути розроблена система автоматизованого контролю стану всіх вузлів ТОС і процесу обробки в цілому, що дасть можливість не тільки абсолютно виключити непередбачені відмови оброблювальних систем, підвищити точність і надійність ТОС, а також підвищити якість і надійність кінцевої продукції.

### Література

УДК 004.896

**Е. В. Богачёв, Е. И. Коробцов, В. В. Шевченко**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина*

### МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Статья подчеркивает необходимость разработки метода повышения достоверности диагностики состояния режущего инструмента, Поставленная проблема описывает процесс резания на микроструктурном уровне, а так-

1. Григорьев С. Н. Диагностика автоматизированного производства. Москва: Машиностроение, 2011. 600 с.
2. Остафьев В. А., Тымчик Г. С., Шевченко В. В. Адаптивная система управления // Механизация и автоматизация управления. 1983. №1. С. 18 – 20.
3. Скороход А. А., Шевченко В. В. Система диагностики работоспособности режущего инструмента в условиях автоматизированного // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 4. Ч. 1. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33014> (дата звернення: 12.03.2018).
4. Залого В. А., Зинченко Р. Н., Шаповал Ю. В. Современное состояние вопроса о диагностике состояния режущего инструмента при фрезеровании // Резание и инструмент в технологических системах. 2013. №83. С. 118 – 126.
5. Шевченко В. В. Контроль состояния режущего инструмента с помощью электрических сигналов // Сборник научных трудов V научно-технической конференции Приборостроение: состояние и перспективы, Киев. 25-26 апреля 2006 г. – С. 112 - 113.
6. Симута М. О., Румбешта В. О., Підвисоцька В. С. Діагностика технічного стану різального інструмента при обробці // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. 2010. № 39. С. 111 – 116.
7. Подураев В. Н., Барзов А. А., Горелов В. А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. Москва: Машиностроение, 1988. 56 с.
8. Шевченко В. В., Заєць С. С., Олінійчук А. І. Аналіз акустичної емісії в процесах механічної обробки з використанням вейвлет-пакетів // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях. 2017. № 7 (1229). С. 233 – 238.
9. Деревянченко А. Г., Павелко В. Д., Андреев А. В. Диагностирование состояния режущих инструментов при прецизионной обработке. Одесса: Астропринт, 1999. 195 с.
10. Подураев В. Н., Барзов А. А. Анализ и прогнозирование процесса резания методом акустической эмиссии. Перспективы развития режущего инструмента. 1978. С. 323 – 328.
11. Алешин А. К., Гушин В. Г. Метод диагностики состояния инструмента Вестник научно-технического развития. 2009. №2. С. 3 – 6.

же проблема контролю износа режущего инструмента и возможный путь ее решения. В основной части рассматривается метод диагностики состояния режущего инструмента в условиях автоматизированного производства, основанный на измерении сигнала акустической эмиссии и мощности резания. Основной задачей этого метода является сбор максимально точной информации о состоянии инструмента, чтобы исключить возможные непредвиденные ситуации, в которых система автоматизированного контроля может принять неверное решение и выполнить неправильное действие. Она позволяет контролировать интенсивность износа режущего инструмента и прогнозировать его работоспособность, что позволяет повысить точность, качество и эффективность механообработки.

**Ключевые слова:** диагностика, процесс резания, автоматизация, режущий инструмент, износ, работоспособность режущего инструмента.

**Ye. V. Bohachov, Ye. I. Korobtsov, V. V. Shevchenko**

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

## METHOD OF INCREASING THE RELIABILITY OF DIAGNOSTICS OF THE STATE OF THE CUTTING TOOL IN THE AUTOMATED PROCESSING OF PARTS

This article consists of an introduction that explains the need to develop methods of increasing the reliability for diagnosing the state of a cutting tool, from the problem that describes the cutting process at the microstructural level, the problem of wear of the cutting tool and the possible way to solve it is determined. In the main part, the method of increasing the reliability for diagnosing the state of a cutting tool under conditions of automated production is considered, based on the measurement of the acoustic emission signal and the cutting power. The main task of this method is to collect the most accurate information about the state of the instrument in order to exclude possible unforeseen situations in which the automated control system can make the wrong decision and perform the wrong action. The results of experimental studies are the main justification that the main parameters by which it is better to observe the state of the operability of the cutting tool is the signal of the acoustic emission of the cutting zone and the cutting power.

This diagnostic method works by a single algorithm, which has two variants of event development. The first option is a fast-responding emergency stop system, based on tracking and analyzing power cut changes. The second option is a subsystem diagnostics of the efficiency of the cutting tool, which evaluates and predicts the state of the cutting tool and is carried out on the basis of the combination parameter of acoustic emission. With the help of the presented formulas, it is possible to approximately predict the wear of the tool. Improving the method for diagnosing the operability of the cutting tool makes it possible to more accurately control the wear and durability of the cutting tool both in the machining process and in the technologically processing system as a whole.

The general functional block diagram of the diagnostic method is depicted graphically and is a good example of how this method can reduce the number of defective parts, by increasing reliability and accuracy in the conditions of automated production. It allows you to monitor the intensity of wear of the cutting tool and to predict its performance, which makes it possible to improve the accuracy, quality and efficiency of machining. Also at the end are conclusions and a list of references.

**Keywords:** diagnostics, cutting process, automation, cutting tools, wear, cutting tool operability.

*Надійшла до редакції  
25 квітня 2018 року*

*Рецензовано  
11 травня 2018 року*

УДК 621.95.01: 621.95.02

## МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ РЕЄСТРАЦІЄЮ СИГНАЛУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

<sup>1)</sup>Гречук А. І., <sup>1)</sup>Девін Л. Н., <sup>2)</sup>Глоба О. В.

<sup>1)</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

<sup>2)</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: [grechukand@gmail.com](mailto:grechukand@gmail.com), [Ldevin350@gmail.com](mailto:Ldevin350@gmail.com), [alexandr.globa.vasyl@gmail.com](mailto:alexandr.globa.vasyl@gmail.com)

**Проблематика.** Волокнисті полімерні композиційні матеріали (ВПКМ) широко використовуються в різних галузях сучасного машинобудування для виготовлення деталей складної форми. Свердління отворів в деталях з ВПКМ може супроводжуватися виникненням специфічних геометричних дефектів, які приводять до