

Буряк А.В.,***Буряк В.Г.****

*Хмельницький національний університет,

**Хмельницький обласний інститут після-

дипломної педагогічної освіти

м. Хмельницький, Україна

E-mail: viktorburiak1955@gmail.com**ТЕХНІЧНА ОЦІНКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ АНАЛІЗУ АКУСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ**

УДК 621.9

Розглядаються принципи формування раціональних технічних параметрів в процесі оброблення різанням. Виконується подальше вивчення умов утворення та закономірностей у поведінці акустичних коливних і хвильових процесів, що акумулюються в зоні різання.

Ключові слова: оброблення різанням, акустичні властивості матеріалів, причинно-наслідковий зв'язок, знос.

Вступ

Науковим напрямком, за яким побудовано основні принципи виконання аналізу акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу, з метою формування раціональних технічних параметрів процесу оброблення різанням, є вивчення умов утворення та закономірностей у поведінці акустичних коливних і хвильових процесів, що акумулюються в зоні різання [1, 2]. Поетапне вирішення поставлених задач передбачає: проведення аналізу енергетичних характеристик обробного і інструментального матеріалів та зміни їх величин за умов, що утворюються в зоні різання; моделювання взаємодії обробного і інструментального матеріалів внаслідок зміни їх енергетичних характеристик; встановлення зв'язку параметрів енергетичного стану, які отримано моделюванням та в результаті досліджень процесу оброблення різанням віброакустичними методами; систематизація результатів досліджень з використанням теорії зв'язку причин – наслідків.

Мета і постановка задачі

В роботі показаний теоретичний аналіз зміни акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу спрямований на вивчення закономірностей перерозподілу енергії хвилі внаслідок зміни акустичних властивостей обробного і інструментального матеріалів, а також за зміною умов процесу оброблення різанням.

Виклад матеріалів досліджень

Перерозподіл енергії хвилі визначається співвідношеннями коефіцієнтів енергії акустичної хвилі, які характеризують: частину енергії $\tilde{D}_{l,t}$,

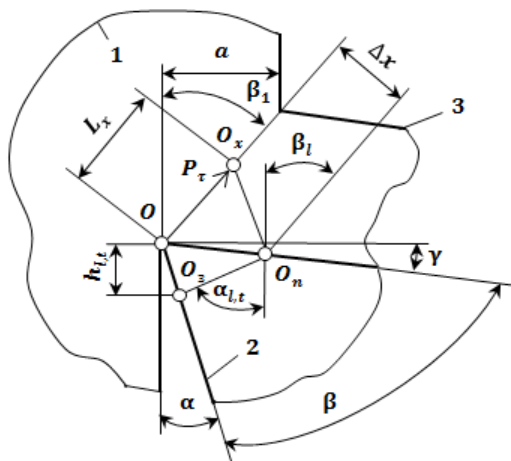


Рис. 1 – Розрахункова схема до визначення параметрів збуджених коливаний системи заготівка 1 – різець 2, зумовлених періодичним зсувом стружки 3

матеріалу та частину енергії $\tilde{R}_{l,t}$, що відбивається від робочої поверхні інструмента [2]. Встановлена характеристика названа коефіцієнтом перерозподілу енергії, що визначається за наступною формулою:

$$K_{l,t}^D = \frac{\tilde{D}_{l,t}}{\tilde{R}_{l,t}}. \quad (1)$$

Основні закономірності перерозподілу енергії акустичної хвилі визначені при точінні сплаву силумін інструментами, що оснащені ріжучими пластинами, виготовленими з алмазів синтетичних полікристалевих [3 - 7].

Визначення технічних характеристик стану виконано за розрахунковою схемою [2], рис. 1.

Графічні залежності ілюструють: рис. 2 – зміну коефіцієнта енергії K_l^D за аналізом повздовжньої хвилі в залежності від швидкості її розповсюдження C_l (рис. 2, а) та густини ρ (рис.

2, б) для інструментального матеріалу; рис. 3 – залежність коефіцієнта енергії $K_{l,t}^D$ трансформованих повздовжніх l і поперечних t хвиль від кута падіння повздовжньої хвилі β_l .

Встановлено, що за зміною акустичних характеристик інструментального матеріалу (рис. 2) та за зміною умов процесу оброблення різанням (рис. 3) відбувається значний перерозподіл величин енергії хвилі, яка проникає і відбивається від поверхні контакту обробного і інструментального матеріалів. Цей факт використано у подальшому методологічному обґрунтуванні при виборі інструментального матеріалу, забезпеченні надійності і підвищенні ефективності процесу оброблення різанням.

Важливою технічною характеристикою енергетичного стану є об'єм ріжучої частини інструмента в якому діє імпульс енергії акустичних хвиль. Графічні залежності (рис. 4) ілюструють вплив швидкості C_l' (рис. 4, а) та кута β_l падіння (кута атаки) хвилі (рис. 4, б) на зміну величини об'єму V_l , в якому діє повздовжня хвиля (об'єм V_l визначений за розрахунковою схемою [2], рис. 1).

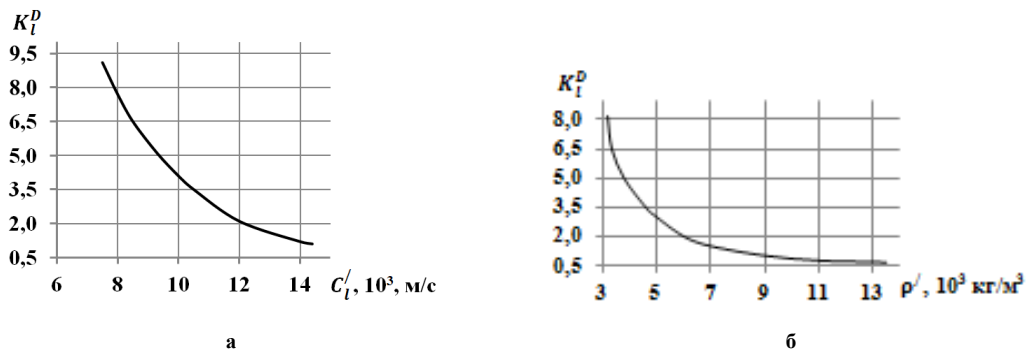


Рис. 2 – Залежність коефіцієнта енергії акустичної хвилі від акустичних властивостей інструментального матеріалу:
а – швидкість розповсюдження хвилі;
б – густина для інструментального матеріалу

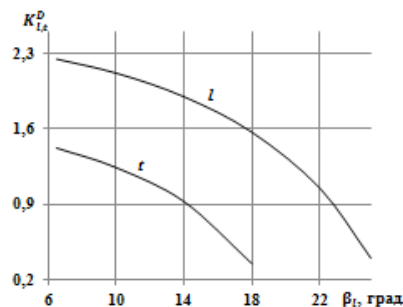


Рис. 3 – Залежність коефіцієнта енергії від кута падіння хвилі

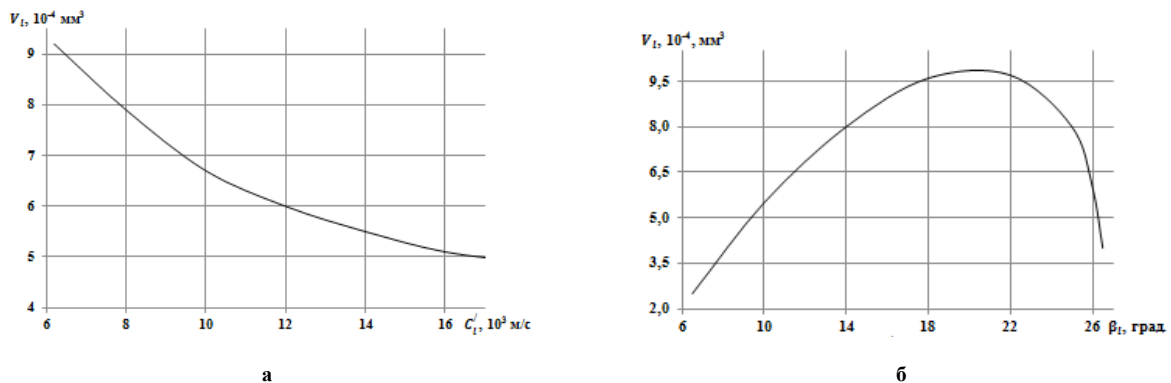


Рис. 4 – Залежності величини об'єму робочої частини інструмента від:
а – швидкості розповсюдження;
б – кута падіння повздовжньої хвилі

Встановлено екстремальний характер залежності V_l від кута β_l , що надає можливості у пошуку раціональних умов процесу оброблення різанням.

В цілому, оцінка працездатності композиційних інструментів виконується за аналізом акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу для конкретних умов процесу оброблення різанням з урахуванням сукупності дії збуджених коливань і хвиль, обґрунтованих за відповідними розрахунковими схемами.

Зв'язок характеристик мікроструктурного енергетичного стану інструментального матеріалу, що визначається поза процесом та їх зміна за умов, що утворені в процесі різання виконуються із застосуванням теорії причинно-наслідкового зв'язку (ПНЗ) [8, 9, 10]. Для довільного числа наслідків q_i ($i = 1 \dots m$) і n – ного порядку причинності, зв'язок характеристик енергетичного стану описується основним диференціальним рівнянням причинно-наслідкового зв'язку [10]:

$$\begin{aligned}
 K. = \frac{d^n P}{dt^n} + \dots + K_i \frac{d^i P}{dt^i} + \dots + K_1 \frac{dP}{dt} + K_0 P = t^n \sum_{\beta} \frac{d^n Q}{dq_1^n} \frac{\partial Q}{\partial q_1} + dq_1 \sum_{\beta} \frac{\partial^j Q}{\partial q_1^j} + dq_1 \sum_{\beta} \frac{\partial^{n-2} Q_m}{\partial q_1^{n-2}} + \\
 + dq_1 \sum_{\beta} \frac{\partial^{n-1} Q_m}{\partial q_1^{n-1}} + dq_1 \frac{\partial^n Q_m}{\partial q_1^n} \sum_{\beta} (n-1) \sum_{\beta} [j] \dots [2] + \dots + \frac{d^n Q}{dq_1^n} \frac{\partial Q}{\partial q_1} + dq_1 \sum_{\beta} \frac{\partial^j Q}{\partial q_1^j} + dq_1 \sum_{\beta} \frac{\partial^{n-2} Q_m}{\partial q_1^{n-2}} + \\
 + dq_1 \sum_{\beta} \frac{\partial^{n-1} Q_m}{\partial q_1^{n-1}} + dq_1 \frac{\partial^n Q_m}{\partial q_1^n} \sum_{\beta} (n-1) \sum_{\beta} [j] \dots [2] + \dots \\
 \dots + dq_m \sum_{\beta} \frac{\partial^{n-1} Q_m}{\partial q_m^{n-1}} + dq_m \frac{\partial^n Q_m}{\partial q_m^n} \sum_{\beta} (n-1) \sum_{\beta} [j] \dots [2] \}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

В формулі (2) у загальному випадку об'єкт системи заготівка – інструмент – стружка перебуває під впливом сукупності компонентів P в часі t , що викликає зміну внутрішніх параметрів Q_m .

Рішення основного рівняння ПНЗ спрощується за розглядом конкретних умов процесу оброблення різанням.

За результатами приведених вище доводів, оцінка працездатності композиційних інструментів за аналізом акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу в процесі оброблення різанням і виконується за етапами (рис. 5).

Суть запропонованих етапів утворення методології оцінки працездатності композиційних ріжучих інструментів, з метою підвищення ефективності і надійності процесу в процесі оброблення різанням, полягає у наступному.

Етап 1. Розробка методів вимірювання і контролю, а також проведення аналізу характеристик енергетичного стану обробних і інструментальних матеріалів.

Головна задача постає в забезпеченні вимірювань акустичних властивостей матеріалів, які приймають участь в процесі оброблення різанням. Тут виконується аналіз та статистична оцінка параметрів енергетичного стану обробних і інструментальних матеріалів. Широко використовуються методи вимірювань швидкості розповсюдження звуку в матеріалах. Іншим параметром є густина матеріалів, значення котрої визначаються розрахунковим методом та за результатами експериментальних досліджень.

Вагоме значення на даному етапі досліджень має оцінка робочих поверхонь інструмента, як фактор перерозподілу величини і напрямку потоків енергії коливань і хвиль при їх переході в інструментальний матеріал зі сторони обробного матеріалу. З урахуванням енергетичного стану мікроструктури робочих поверхонь композиційного інструмента, параметрів системи “зерно - в'язучий” матеріали, нахилу мікронерівностей тощо, визначається імпеданс інструментального матеріалу.

Недовершеність мікроструктури інструментального матеріалу, ступінь схильності до внутрішнього тертя композиційних ріжучих пластин визначається у відносних дослідженнях методами акустичної емісії.

Результати вимірювань і контролю, які отримано на першому етапі досліджень, являються вихідними даними для наступних етапів аналізу енергетичного стану обробних і інструментальних матеріалів в процесі оброблення різанням.

Етап 2. За результатами досліджень акустичних властивостей обробних і інструментальних матеріалів, енергетичного стану поверхонь та внутрішньої мікроструктури композиційних ріжучих пластин, на даному етапі виконується моделювання контактної взаємодії з використанням теорії акустичних коливань і хвиль.

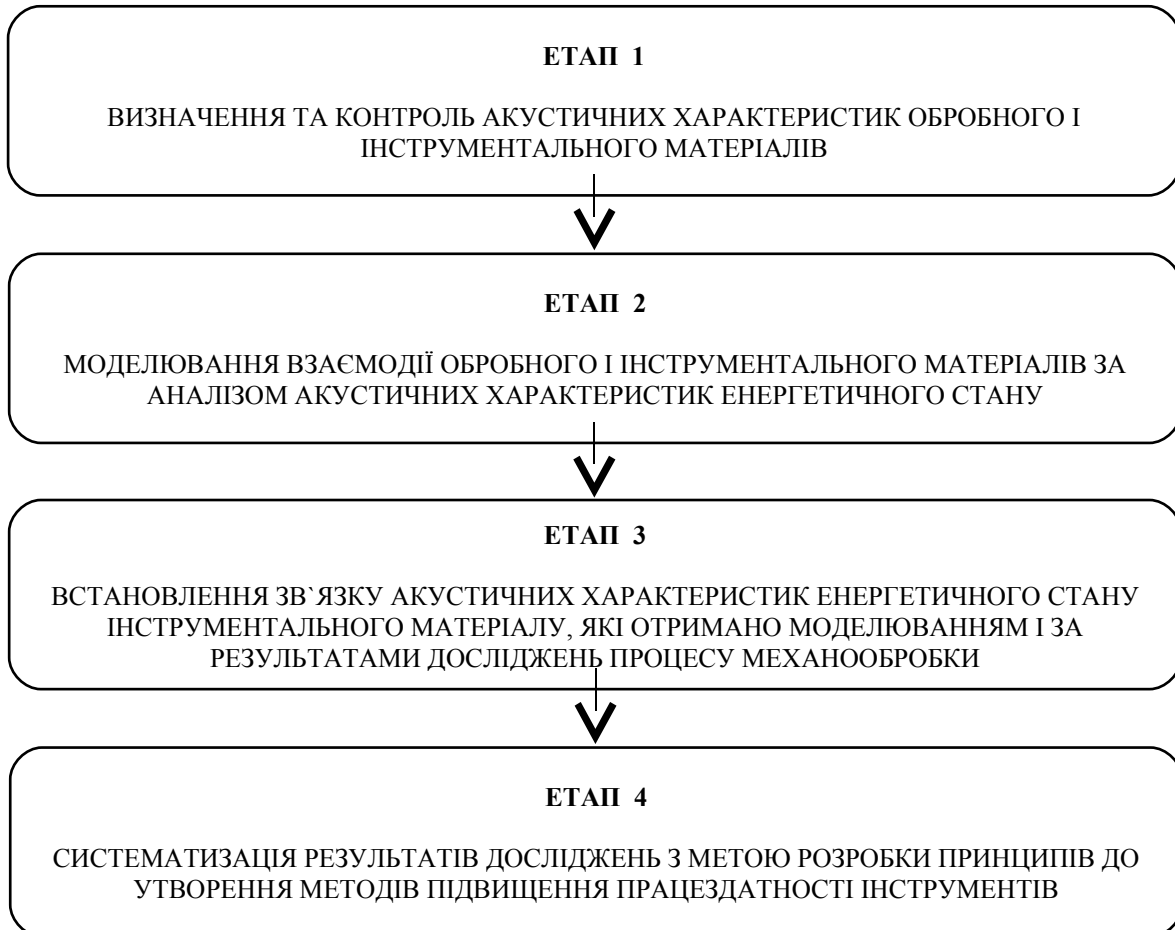


Рис. 5 – Етапи систематизації результатів досліджень

У працях [1, 2] виконано аналіз процесу різання, як технологічної системи, обов'язковою умовою якої є утворення, розповсюдження і перетворення коливань і хвиль з виконанням строгих фізичних законів енергетичних перетворень. Фізичні основи випромінювання, розповсюдження, відбиття, заломлення, інтерференції, дифракції тощо акустичних хвиль мають загальні закономірності, що і в процесах коливань і хвиль механічних, оптичних, електромеханічних та ін. Таким чином, моделювання енергетичного стану у процесі оброблення різанням з використанням акустичних методів та засобів вимірювань і контролю являється перспективним напрямком. Вирішення задач вибору інструментального матеріалу, забезпечення ефективності і надійності інструментів в процесі оброблення різанням виконується з позицій аналізу здібностей вибраного матеріалу чинити опір коливним і хвильовим рухам, які діють зі сторони обробного матеріалу. Здібність чинити опір може бути оцінена акустичним імпедансом, як відношення комплексного тиску до об'ємної коливної швидкості, а також закономірностями розповсюдження енергії коливань і хвиль, що описуються строгими фізичними законами.

Об'єктами досліджень і аналізу є:

1. Границя в контакті обробного і інструментального матеріалів.
2. Співвідношення величин коливної енергії, що пройшла і відбилася на границі контакту матеріалів.
3. Рівень стійкості мікроструктури інструментального матеріалу до внутрішнього тертя.

4. Теоретичний аналіз за результатами моделювання джерел утворення коливних і хвильових процесів в зоні різання.

Запропонований підхід до аналізу та оцінки енергетичного стану обробних і інструментальних матеріалів, а також у моделюванні процесу механообробки в цілому, описано в публікації [1, 2].

Теоретичну і практичну цінність запропонована методологія має ще й за рахунок того, що, завдяки вибору акустичних параметрів, існує можливість зв'язку (прямого і зворотного) з системами віброакустичного слідування за процесом різання, які вже зарекомендували себе, як ефективні та надійні засоби контролю і управління. Як показано у роботі [1], при обробці сталі 12X18H9T з використанням серійних ріжучих пластин Р6М5, ВК60М, ВОК60 і композита КО5, відбувається перерозподіл енергії за амплітудою і частотою коливань. Суттєві розбіжності характеристик енергетичного стану на границі контакту обробних і інструментальних матеріалів встановлено при розрахунках тиску, який зумовлює хвиля на робочу передню поверхню інструмента з кутом падіння $\beta: \beta = 0$. Також, на даному етапі аналізу характеристик енергетичного стану визначаються граничні (критичні) кути падіння хвилі на робочі поверхні інструмента і умови утворення неоднорідних хвиль. На границі контакту обробного і інструментального матеріалів таких кутів може бути три: $\beta^1; \beta^2; \beta^3$, які мають місце в залежності від співвідношення швидкостей розповсюдження акустичних хвиль в матеріалах, при трансформації швидкостей на складові C_ℓ і C_t .

Етап 3. Встановлюється теоретичний зв'язок акустичних характеристик енергетичного стану за результатами моделювання коливних і хвильових процесів у механообробці, отриманих на етапі 2, з віброакустичними параметрами системи діагностування і управління, що мають місце безпосередньо в процесі різання.

У залежності від параметрів структурно-енергетичного стану робочих поверхонь інструмента, внутрішньої мікроструктури та внутрішнього тертя, зміни шорсткості поверхонь інструмента в процесі його зношування, на основі аналізу джерел коливних і хвильових процесів проводиться оцінка віброакустичних сигналів (ВАС) в процесі різання.

Передбачається приєднання до системи ВАС підсистеми оцінки енергетичного стану в процесі механообробки. У підсистему оцінки енергетичного стану в процесі оброблення різанням закладаються дані про розсіювання енергії акустичних коливань і хвиль внаслідок приросту величини зносу інструмента, який супроводжується зміною параметрів шорсткості Ra , Sm , q зношуваних поверхонь [2].

Дослідження джерел збудження коливних і хвильових процесів дозволяють виконати аналіз зміни напрямків дії головної хвилі, умови розсіювання, затухання та ін., що дозволяє визначити місце розташування датчиків системи ВАС, їх необхідну кількість з обґрунтуваннями найбільшої інформативності при слідуванні за процесом різання.

Етап 4. Проводиться систематизація результатів досліджень характеристик енергетичного стану і зв'язку (прямого і зворотного) з системою ВАС діагностування та управління в процесі оброблення різанням. На даному етапі використовується теорія причинно-наслідкового зв'язку [8, 9, 10]. Застосування теорії причинно-наслідкового зв'язку дозволяє обґрунтувати шляхи підвищення ефективності і надійності в процесі оброблення різанням.

Забезпечення надійності процесу оброблення різанням в запропонованій методиці включає проведення розширеного аналізу в наступній послідовності:

1. Контроль та вимірювання швидкостей розповсюдження акустичних хвиль в інструментальному матеріалі C_ℓ і C_t , а також густини матеріалу. Виконується вибіркова або повна перевірка даних параметрів матеріалу заготовки і вже прийнятого (того, що встановлюється на верстаті) інструментального матеріалу, конкретної ріжучої пластини.

2. Контроль мікроструктурного стану робочих поверхонь ріжучої пластини після спікання і заточування.

3. Контроль внутрішнього мікроструктурного енергетичного стану інструментального матеріалу акустико-емісійними методами.

Таким чином, утворення методології вибору інструментального матеріалу і забезпечення надійності в роботі ріжучого інструмента можливе шляхом проведення аналізу однорідних енергетичних параметрів, що однозначно характеризують працездатність інструментів і відповідають умовам застосування теорії причинно-наслідкового зв'язку. Доведена доцільність використання акустичних властивостей обробних і інструментальних матеріалів та проведення аналізу закономірностей утворення і розповсюдження акустичних коливань і хвиль щодо ефективного застосування процесу оброблення різанням. Контроль і вимірювання вибраних акустичних характеристик матеріалів забезпечується як поза

процесом, так і в процесі оброблення різання методами ультразвукового контролю, акустичної емісії, а також за аналізом віброакустичних сигналів.

Висновки

У формуванні раціональних технічних параметрів в процесі оброблення різання перспективним є виконання аналізу акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу, вивчення умов утворення та закономірностей у поведінці акустичних коливних і хвильових процесів, що акумулюються в зоні різання. Встановлено, що за зміною акустичних характеристик інструментального матеріалу та за зміною умов процесу оброблення різання відбувається значний перерозподіл величин енергії хвилі, яка проникає і відбивається від поверхні контакту обробного і інструментального матеріалів. Важливою характеристикою енергетичного стану є об'єм ріжучої частини інструмента в якому діє імпульс енергії акустичних хвиль. Встановлено екстремальний характер залежності об'єму V_I , в якому діє повздовжня хвиля від кута падіння (кута атаки) хвилі β_I , що надає можливості у пошуку раціональних умов процесу оброблення різанням. Виконання зв'язку характеристик мікроструктурного енергетичного стану інструментального матеріалу, що визначається поза процесом та їх зміна за умов, що утворені в процесі різання можливе із застосуванням теорії причинно-наслідкового зв'язку. За результатами приведених вище доводів, оцінка працездатності композиційних інструментів за аналізом акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу в процесі оброблення різанням виконується за етапами. Доведена доцільність використання акустичних властивостей обробних і інструментальних матеріалів та проведення аналізу закономірностей утворення і розповсюдження акустичних коливань і хвиль щодо ефективного застосування процесу оброблення різанням.

Література

1. Бурак А.В., Бурак В.Г. Наукові основи до оцінки працездатності ріжучих інструментів за аналізом акустичних характеристик стану обробного і інструментального матеріалів // Проблеми трибології. – 2014. – № 4. – С. 23 - 30.
2. Бурак В.Г. Оцінка працездатності композиційних інструментів за аналізом акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №1. – С. 49 - 56.
3. Исследования стойкости композиционных режущих пластин на основе сверхтвердых зерен с диффузионными покрытиями / Бурак В.Г., Маслов В.П. – Хмельницкий, 1988. – 7с. – Рус. – Деп. в УкрНИИТИ 23.01.89, №373 – Ук 89.
4. Исследование области применения режущих пластин на основе зерен СТМ с диффузионными покрытиями / Бурак В.Г., Маслов В.П. – Хмельницкий, 1988. – 9с.- Рус. – Деп. в УкрНИИТИ 24.01.89, №375 – Ук 89.
5. Маслов В.П., Бурак В.Г., Вовк В.В. Исследование процесса точения оптических заготовок алмазным поликристаллическим резцом // Оптико-механическая промышленность. – 1990. – №12. – С. 56.
6. Маслов В.П., Бурак В.Г. Работоспособность режущих пластин из сверхтвердых материалов с диффузионным покрытием зерен // Станки и инструмент. – 1991. – №2. – С. 10 - 11.
7. Маслов В.П., Бурак В.Г. Испытания режущих инструментов из сверхтвердых материалов с диффузионным покрытием зерен // Станки и инструмент. – 1991. – №4. – С. 21.
8. К теории причинно-следственных связей / Троц А.А., Кокаровцев В.В., Бурак В.Г., Глушенко Ю.Б., Скицок В.И., Вайнтрауб М.А. – Киев, 1996. – 22 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 23.10.96, №1968 – Ук 96.
9. Троц А.А., Бурак В.Г., Глушенко Ю.Б. Причинно-следственные аспекты проектирования оснастки // Перспективные технологии, оснастка и методология подготовки производства. – Киев: НТУУ “КПИ”. – 1997. – С. 64 - 66.
10. Таланчук П. М., Остафьев В. А., Троц А. А., Махмудов К. Г., Мирзаев А. А., Глушенко Ю. Б. Дифференциальное уравнение причинно-следственных связей. — К.: Вестник КПИ. Приборостроение, 1995. — С. 3 - 19.

Buryak A.V., Buryak V.G. The technical evaluation technique of the analysis of acoustic characteristics of the energy state of the tool material.

The article discusses the principles of formation of rational technological parameters in the process of cutting. Is further study of the conditions of formation and regularities in the acoustic behavior of oscillatory and wave processes, which are accumulated in the cutting zone.

Key words: cutting, the acoustic properties of materials, the cause and effect link, wear resistance.

References

1. Buriak A.V., Buriak V.H. Naukovi osnovy do otsinky pratsezdatsnosti rizhuchykh instrumentiv za analizom akustychnykh kharakterystyk stanu obrobnoho i instrumentalnoho materialiv. Problemy trybolohii. 2014. № 4. S. 23-30.
2. Buriak V.H. Otsinka pratsezdatsnosti kompozytsiinykh instrumentiv za analizom akustychnykh kharakterystyk enerhetychnoho stanu instrumentalnoho materialu. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. 1998. №1. S. 49-56.
3. Yssledovaniya stoikosty kompozytsyonnykh rezhushchykh plastyn na osnove sverkhтвердыkh zeren s dyffuzyonnyu pokrytiyamy. Buriak V.H., Maslov V.P. Khmelnytskyi, 1988. 7s. Rus. Dep. v UkrNYNTY 23.01.89, №373 - Uk 89.
4. Yssledovanye oblasti pryomeneniya rezhushchykh plastyn na osnove zeren STM s dyffuzyonnyu pokrytiyamy. Buriak V.H., Maslov V.P. Khmelnytskyi, 1988. 9s. Rus. Dep. v UkrNYNTY 24.01.89, №375 - Uk 89.
5. Maslov V.P., Buriak V.H., Vovk V.V. Yssledovanye protsessa tocheniya optycheskykh zahotvok almaznym polykrystallicheskyu reztsom. Optyko-mekhanicheskaia promyshlennost. 1990. №12. S. 56.
6. Maslov V.P., Buriak V.H. Rabotosposobnost rezhushchykh plastyn yz sverkhтвердыkh materyalov s dyffuzyonnyu pokrytiyem zeren. Stanky y ynstrument. 1991. №2. S. 10-11.
7. Maslov V.P., Buriak V.H. Ysprytaniya rezhushchykh ynstrumentov yz sverkhтвердыkh materyalov s dyffuzyonnyu pokrytiyem zeren. Stanky y ynstrument. 1991. №4. S. 21.
8. K teoryu prychnno-sledstvennykh svyazei. Trots A.A., Kokarovtsev V.V., Buriak V.H., Hlushenko Yu.B., Skytsiuk V.Y., Vaintraub M.A. Kyev, 1996.– 22 s. Rus. Dep. v HNTB Ukrayny 23.10.96, №1968 - Uk 96.
9. Trots A.A., Buriak V.H., Hlushenko Yu.B. Prychnno-sledstvennyye aspekty proektyrovaniya osnastky.Perspektyvnyye tekhnolohyy, osnastka y metodolohiya podhotovky proyzvodstva. Kyev: NTUU “KPY”. 1997. S. 64-66.
10. Talanchuk P. M., Ostafev V. A., Trots A. A., Makhmudov K. H., Myrzaev A. A., Hlushenko Yu. B. Dyfferentsyalnoe uravnenye prychnno-sledstvennykh svyazei. K.: Vestnyk KPY. Pryborostroenye, 1995. S. 3–19.