

В.О. Залога, д.т.н., проф.
В.В. Нагорний, магістр
Сумський державний університет

ОЦІНКА СТУПЕНЯ ЗНОСУ ІНСТРУМЕНТУ МЕТОДОМ ВІБРОДІАГНОСТИКИ

Розглянуто оцінку ступеня зносу різального інструменту (фрези), яка виконана традиційним для вібродіагностики методом, методом контролю рівня звуку, який генерується, в даному випадку, процесом обробки металу.

Вступ. Машинобудівна галузь розвивається в напрямку створення ресурсозберігаючих повнофункціональних систем машин з високим ступенем автоматизації при використанні мікропроцесорних систем управління.

Ефективна робота таких машин при різкому скороченні кількості обслуговуючих їх висококваліфікованих фахівців неможлива без створення ефективних автоматизованих засобів управління ними. Останнє можна здійснити лише за допомогою розвинених інформаційних технологій контролю, складовою частиною яких є діагностика.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для виконання діагностики необхідна інформація про поточний стан заготовки (оброблюваної деталі), інструменту та металорізального верстата [1]. Причому, для інструменту як діагностуючий параметр розглядається ступінь його зносу. Недоступність зони різання для прямого спостереження змушує отримувати інформацію про процеси обробки матеріалів за непрямими параметрами. Подібним непрямим параметром може бути, наприклад, шум, що генерується в процесі різання [2–5]. Для контролю шуму та аналізу характеру його зміни по мірі зносу інструменту можна запозичити методи, які традиційно використовуються у вібродіагностиці технічного стану різноманітних машин і механізмів.

У роботі розглядається оцінка ступеня зносу різального інструменту (фрези), що виконується традиційним для вібродіагностики методом, методом контролю рівня звуку, що випромінюється в даному випадку процесом фрезерування заготовки [6–13].

Викладення основного матеріалу

1. Встановлення залежності ступеня зносу інструменту від рівня звуку, що генерується в процесі механічної обробки

Технічна діагностика і, вібродіагностика зокрема, ґрунтується на кореляції між структурними параметрами та їх діагностичними ознаками. Структурний параметр характеризує стан об'єкта діагностування. Як структурного параметра для різального інструменту можна розглядати площу плями контакту різальної кромки інструменту із заготовкою S_{KOH} . Як діагностичну ознаку, що реагує на зміну площі контактної плями, слід використовувати традиційний для вібродіагностики параметр – рівень звуку $A_{ЗВ}$, що генерується в процесі механічної обробки і реєструється за допомогою мікрофону. Для здійснення процедури діагностування необхідно встановити залежність між зазначеними параметрами. Для встановлення подібної залежності, скористаємося балансом потужностей, що спостерігається при різанні.

На генерацію звуку витрачається потужність $W_{ЗВ}$, складова певної частини потужності верстата W_B , при цьому, природно, основна частина його потужності витрачається на процес обробки матеріалу $W_{ОБР}$. Строго кажучи, на власне процес обробки, наприклад, на процес фрезерування на фрезерному верстаті, витрачається тільки частина потужності $W_{ОБР}$. Ця корисна частина потужності $W_{PIЗ}$ визначається, як і у будь-якій іншій машині, величиною коефіцієнта корисної дії η , в даному випадку верстата:

$$W_{ДИЦ} = \eta \cdot W_{ІАД} \quad (1)$$

При цьому спостерігається наступний баланс потужностей:

$$W_B = W_{ІАД} + W_{С\hat{A}} \quad (2)$$

Вираз (2) з урахуванням (1) можна переписати таким чином:

$$W_B = \frac{W_{PIЗ}}{\eta} + W_{ЗВ} \quad (3)$$

Потужність, що витрачається на різання, визначається з такого виразу:

$$W_{PIЗ} = P_{PIЗ} \cdot V_{PIЗ} \quad (4)$$

де $P_{PIЗ}$ і $V_{PIЗ}$ – відповідно зусилля і швидкість різання.

Для гармонійного акустичного випромінювання середня питома потужність звуку дорівнює:

$$W_{С\hat{A}} = 0,5 \cdot D_{С\hat{A}} \cdot V_{С\hat{A}} \quad (5)$$

де $P_{ЗВ}$ і $V_{ЗВ}$ – амплітуди тиску і коливальної швидкості на випромінюючій поверхні.

Так як швидкість звуку в повітрі величина постійна ($V_{ЗВ} = 331$ м/с), то потужність, що витрачається на генерацію звуку, змінюється прямо пропорційно зміні амплітуди звукового тиску $P_{ЗВ}$. Те ж саме можна сказати і про потужність, що витрачається на механічну обробку, за умови постійності швидкості різання. Інтенсивність (амплітуда) звукової хвилі $A_{ЗВ}$, так само прямо пропорційна амплітуді звукового тиску, тобто:

$$A_{ЗВ} \sim P_{ЗВ} \quad (6)$$

Сила різання залежить від величини руйнівного напруження $\sigma_{РУЙ}$ сі від площі плями контакту різальної кромки інструменту із заготовкою $S_{КОН}$:

$$P_{РИЗ} = \sigma_{РУЙ} \cdot S_{КОН} \quad (7)$$

З урахуванням виразів (4), (5) і (7) співвідношення (3) перетворюється до такого вигляду:

$$W_A = \frac{\sigma_{ДОЕ} \cdot S_{ЕІІ} \cdot V_{Д²ІС}}{\eta} + 0,5 \cdot D_{СА} \cdot V_{СА} \quad (8)$$

Розв'яжемо вираз (8) щодо звукового тиску:

$$P_{ЗВ} = \frac{2}{V_{ЗВ}} \cdot W_B - \frac{2 \cdot \sigma_{РУЙ} \cdot S_{КОН} \cdot V_{РИЗ}}{\eta \cdot V_{ЗВ}} \quad (9)$$

З рівняння (9) випливає, що величина звукового тиску, а, згідно з (6) і величина звукового сигналу $A_{ЗВ}$, лінійно залежать від площі контактної плями $S_{КОН}$. Причому, у міру зростання площі плями контакту, рівень звукового тиску падає, тому що зменшуване в (9) – постійна величина. Для виконання практичних розрахунків в (9) треба позбутися від параметрів, конкретна величина яких не піддається оперативній оцінці. З цією метою спочатку визначимо дві різниці між початковим значенням звукового тиску і його величинами, зареєстрованими в два моменти часу реєстрації звукового тиску (звукового сигналу), а саме, в поточний момент часу і в момент, що передує зняттю інструменту на перезаточки (момент вичерпання його стійкості), а потім знайдемо відношення цих різниць. У момент зняття інструменту на перезаточку рівень звуку мінімальний, а площа плями контакту інструменту з заготовкою максимальна. При цьому під поточним моментом часу розуміється перший вимір звуку, який був виконаний на початку процесу обробки заготовки.

Різниця тиску:

$$P_{ЗВ}^{ПОЧ} - P_{ЗВ}^{МІН} = (S_{КОН}^{МАХ} - S_{КОН}^{ПОЧ}) \cdot \frac{2 \cdot \sigma_{РУЙ} \cdot V_{РИЗ}}{\eta \cdot V_{ЗВ}} \quad (10)$$

$$P_{ЗВ}^{ПОЧ} - P_{ЗВ}^{ПОТ} = (S_{КОН}^{ПОТ} - S_{КОН}^{ПОЧ}) \cdot \frac{2 \cdot \sigma_{РУЙ} \cdot V_{РИЗ}}{\eta \cdot V_{ЗВ}} \quad (11)$$

Відношення різниць:

$$\frac{P_{ЗВ}^{ПОЧ} - P_{ЗВ}^{ПОТ}}{P_{ЗВ}^{ПОЧ} - P_{ЗВ}^{МІН}} = \frac{S_{КОН}^{ПОТ} - S_{КОН}^{ПОЧ}}{S_{КОН}^{МАХ} - S_{КОН}^{ПОЧ}} \quad (12)$$

З урахуванням (6) вираз (12) запишеться в такому вигляді:

$$\frac{A_{ЗВ}^{ПОЧ} - A_{ЗВ}^{ПОТ}}{A_{ЗВ}^{ПОЧ} - A_{ЗВ}^{МІН}} = \frac{S_{КОН}^{ПОТ} - S_{КОН}^{ПОЧ}}{S_{КОН}^{МАХ} - S_{КОН}^{ПОЧ}} \quad (13)$$

Вираз, що стоїть у правій частині рівності (13), змінюється від нуля до одиниці і характеризує ступінь затуплення інструменту в процесі його експлуатації. Відповідно до виразу, що розташований у лівій частині, є діагностичною ознакою процесу деградації різальних властивостей інструменту. Помінявши ці частини рівності місцями і позначивши праву частину через $\Delta S_{ВИДН}$, отримаємо формулу, що пов'язує структурний параметр інструменту $\Delta S_{ВИДН}$ та його діагностичну ознаку:

$$\Delta S_{ВИДН} = \frac{A_{ЗВ}^{ПОЧ} - A_{ЗВ}^{ПОТ}}{A_{ЗВ}^{ПОЧ} - A_{ЗВ}^{МІН}} \quad (14)$$

У міру зносу інструменту рівень звуку змінюється за таким законом:

$$A_{ЗВ} = A_{ЗВ}^{ПОЧ} + \alpha \cdot A_{ЗВ}^{ПОЧ} \cdot \left(\frac{t - t_{ПОЧ}}{T_{ЗМИН} - t} \right)^\beta \quad (15)$$

де α , β , $T_{ЗМИН}$ – дослідні параметри формули, які визначаються в процесі апроксимації результатів контролю рівня звуку, що генерується процесом різання. При цьому $T_{ЗМИН}$ – напрацювання інструменту до чергової зміни на перезаточку (стійкість інструменту); t , $t_{ПОЧ}$ – напрацювання інструменту, відповідно до початкового і поточного моментів часу.

Добуток $\alpha \cdot A_{ЗВ}^{ПОЧ}$ характеризує різницю між поточним і мінімальним рівнем звуку.

$$\alpha \cdot A_{ЗВ}^{ИСХ} = A_{ЗВ} - A_{ЗВ}^{MIN} \quad (16)$$

З урахуванням (15) і (16) вираз (14) набуде такого вигляду:

$$\Delta S_{ВІДН} = \frac{\left(\frac{t - t_{ПОЧ}}{T_{ЗМІН} - t}\right)^\beta}{\left(\frac{t - t_{ПОЧ}}{T_{ЗМІН} - t}\right)^\beta + 1},$$

або в більш компактній формі, яка є зручною для реалізації на комп'ютері:

$$\Delta S_{ВІДН} = \frac{(t - t_{ПОЧ})^\beta}{(t - t_{ПОЧ})^\beta + (T_{ЗМІН} - t_{ПОЧ})^\beta} \quad (17)$$

Співвідношення (17) дозволяє визначати ступінь зміни площі контактної плями інструменту і, тим самим, оцінити ступінь його зносу. Ефективність даного методу оцінки зносу інструменту була перевірена експериментально на прикладі циліндричної фрези.

2. Експериментальна оцінка ступеня зносу інструменту методом вібродіагностики

2.1 Методика і предмет експерименту

Експеримент проводився на вертикальному фрезерному верстаті моделі 6Р13. Загальний вигляд експериментальної установки наведено на рисунку 1. Реєстрація шумового сигналу здійснювалася за допомогою мікрофону, розміщеного в безпосередній близькості від зони різання. Зареєстрований сигнал подавався на комп'ютер, де він перетворювався в цифрову форму і піддавався обробці з метою визначення ступеня зносу фрези.

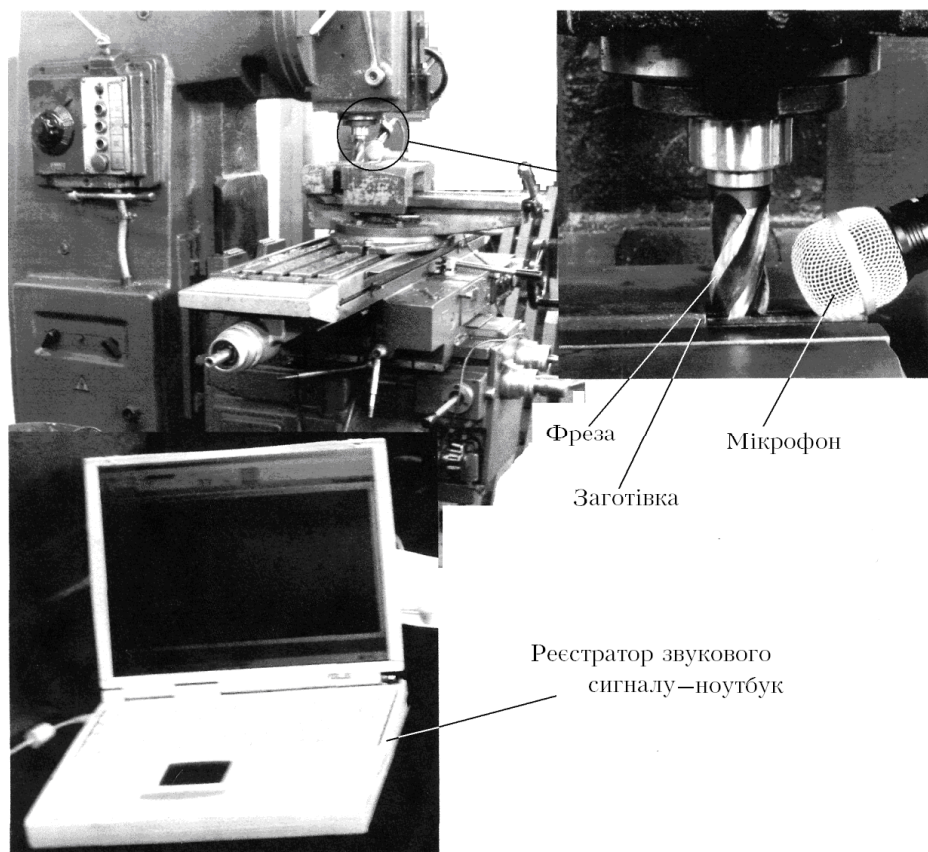


Рис. 1. Експериментальна установка

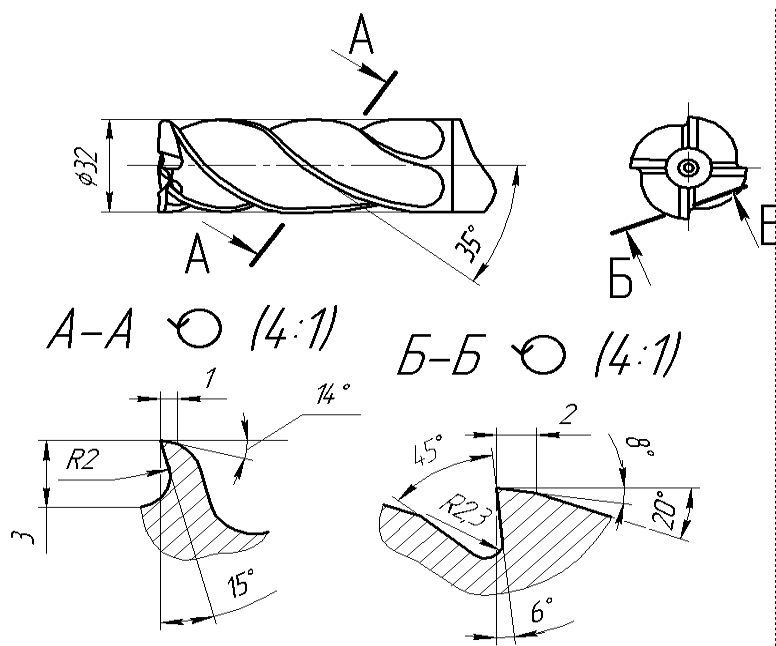


Рис. 2. Ескіз фрези

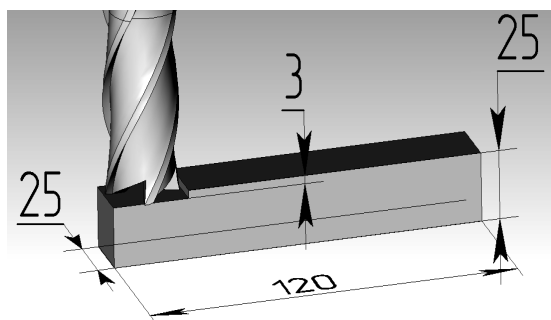


Рис. 3. Схема фрезерування

Ескіз фрези і схема фрезерування показано, відповідно на рисунках 2–3.

Для проведення експериментів використовувалася фреза з чотирма гвинтовими зубами, кутом нахилу зуба, що дорівнює 30° і діаметром 25 мм. Вона була виготовлена з матеріалу Р6М5 відповідно до ГОСТ 17026-7.1. Вибір матеріалу фрези (сталь Р6М5) і заготовки (Ст-45) визначався необхідністю досить швидкого вичерпання ресурсу інструменту (за 3–4 проходи). Критерієм припинення процесу різання було різке погіршення якості оброблюваної поверхні і поява кольорів мінливості на інструменті.

Результати експерименту наведено на рисунках 4–7. На рисунках 4 і 5 представлено, відповідно, тимчасова реалізація і спектр шуму. З останнього випливає, що максимум шуму припадає на частоту 240 Гц. Тимчасова реалізація ілюструє знакозмінний характер шумового сигналу. На рисунку 6 показано характер зміни рівня шуму від початку фрезерування до моменту зняття фрези на Perezatochku і наведено графік функції (15), який апроксимує ці зміни.

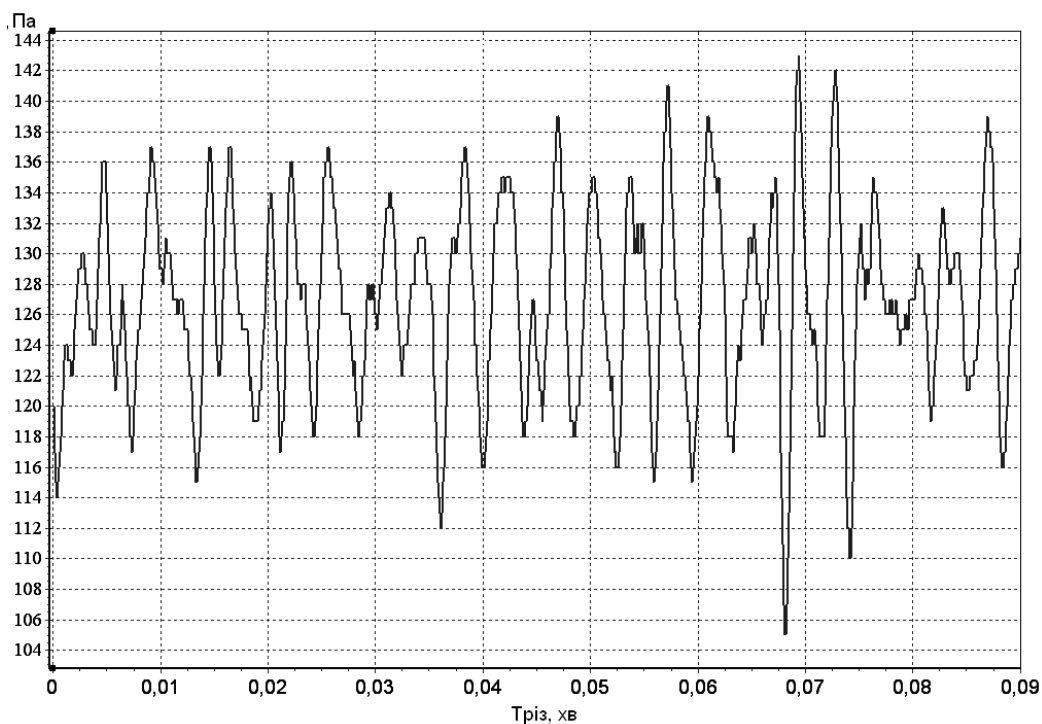


Рис. 4. Часова реалізація звуку

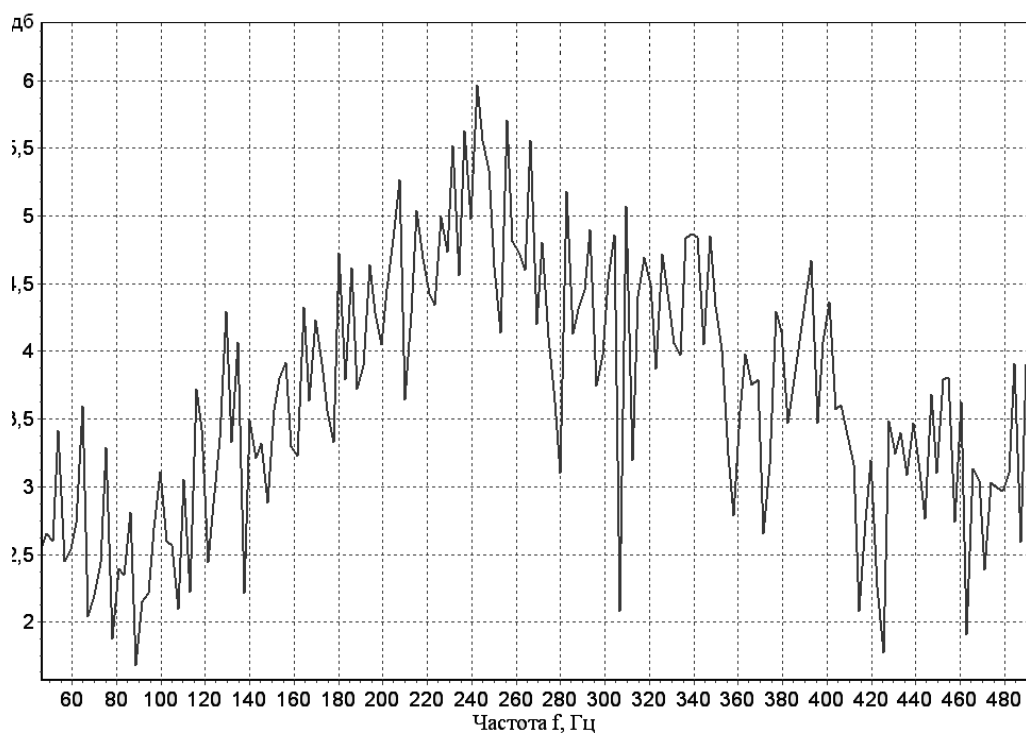


Рис. 5. Частотний спектр звуку

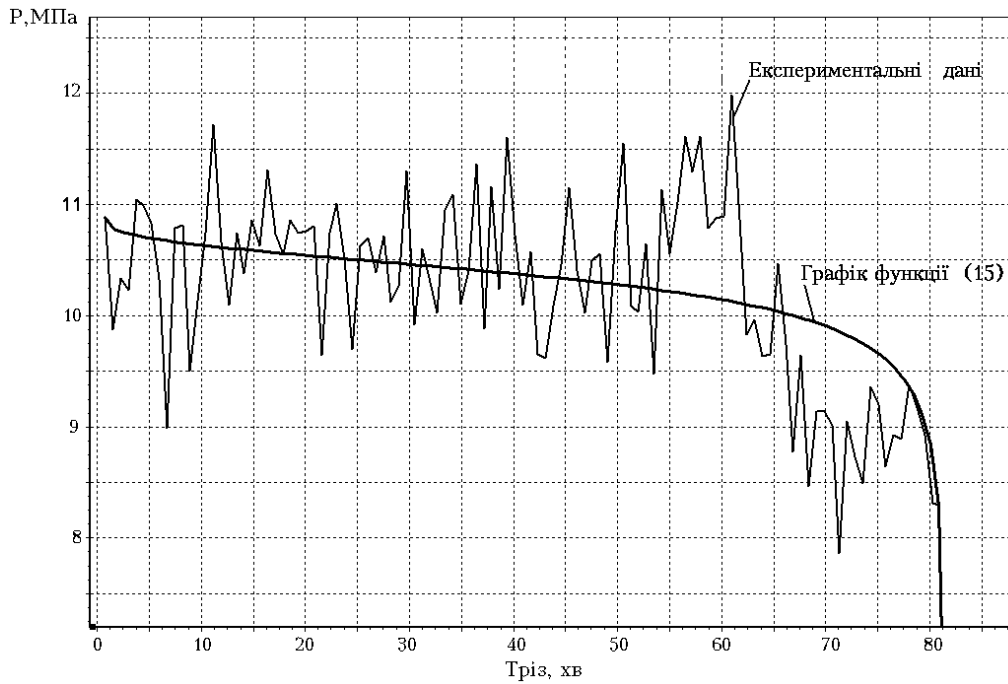


Рис. 6. Зміна рівня звуку за час різання

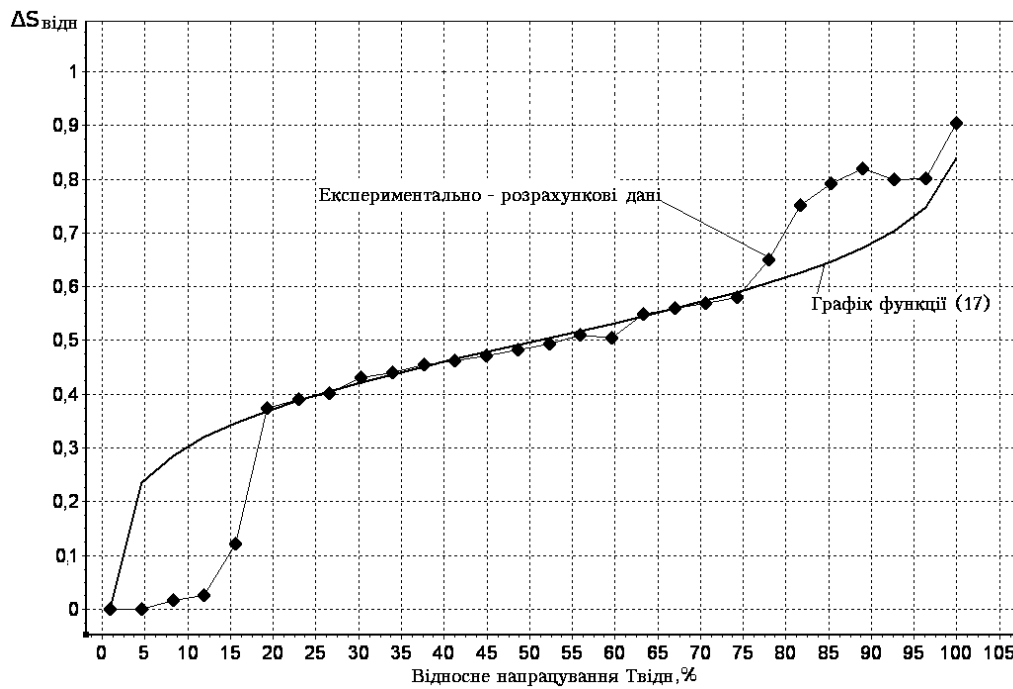


Рис. 7. Зміна ступеня зносу фрези за час різання

2.2. Результати експерименту

На рисунку 7 наведено дані, що ілюструють мету експерименту, перший з яких (точки) показують результати розрахунку за формулою (17) відносної величини площі плями контакту $\Delta S_{\text{відн}}$, виконаного в дискретні моменти часу (моменти вимірювання рівня шуму). Суцільна лінія представляє собою графік функції (17), як параметри використовуються такі параметри, що визначені при останньому (перед зняттям фрези на перезаточку) контролем її стану. З даного рисунка видно, що на момент зняття фрези на перезаточку ступінь її зносу становила 90 %. Це означає, що площа плями контакту складала 90 % від гранично допустимого її значення.

Висновок. Оцінка ступеня зносу інструменту, виконана традиційним для вібродіагностики методом, методом контролю рівня шуму, випромінюваного процесом металообробки, показала, що до моменту зняття інструменту на перезаточки ступінь його зносу складала 90 %. У свою чергу, необхідність зміни

інструменту визначалася традиційними для різання методами – за погіршення якості оброблюваної поверхні і появи кольорів мінливості на різальній кромці інструменту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Дядюра К.А. Управление качеством механической обработки резанием на основе информации технической диагностики / К.А. Дядюра, В.В. Нагорный // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2011. – № 2 (24). – С. 44–49.
2. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков. – М. : Машиностроение, 1989. – 296 с.
3. Нахапетян Е.Г. Контроль и диагностирование автоматического оборудования / Е.Г. Нахапетян. – М. : Наука, 1990. – 272 с.
4. Кибальченко А.В. Применение метода акустической эмиссии в условиях гибких производственных систем / А.В. Кибальченко. – М. : ВНИИТЭМР, 1986. – 56 с.
5. Акустика : справочник / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков и др. ; под ред. М.А. Сапожкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1989. – 336 с.
6. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля : практ. пособие / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов ; под ред. В.В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1991. – 283 с.
7. Подураев В.Н. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии / В.Н. Подураев, А.А. Базров, В.А. Горелов. – М. : Машиностроение, 1988. – 56 с.
8. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
9. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. Хаеа, В.М. Гах, К.Г. Громаков и др. ; под общ. ред. Г.Л. Хаеа. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.
10. Зінченко Р.М. Підвищення ефективності точіння за рахунок діагностики зношування інструменту по акустичному випромінюванню : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Р.М. Зінченко. – Х., 2005. – 23 с.
11. Залогова В.А. Исследование возможности применения метода диагностики по акустическому излучению при чистовом точении титанового сплава / В.А. Залогова, Р.Н. Зинченко // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – 2008. – № 4. – С. 118-125.
12. Нагорный В.М. Прогнозирование момента подналадки технологической системы механической обработки при возможных отклонениях от допустимых значений размеров обрабатываемых деталей / В.М. Нагорный, К.А. Дядюра // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 2. – С. 16–20.
13. Дядюра К.А. Прогнозирование работоспособности режущего инструмента на основе оценки напряжённого состояния поверхностного слоя обрабатываемого инструмента / К.А. Дядюра, В.В. Нагорный // Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». – 2010. – Вип. 111. – С. 66–70.

ЗАЛОГА Вільям Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

- прогресивні технологічні процеси;
- моделювання робочих процесів оброблення різанням.

НАГОРНИЙ Володимир В'ячеславович – магістр Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

- діагностування робочих процесів оброблення різанням.

Тел.: (0542)33–06–70.

E-mail: nagorny46@mail.ru

Подано 09.09.2011