

ВПЛИВ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Національний авіаційний університет
E-mail: Fiona54@ukr.net

Розглянуто результати моделювання результуючих сигналів акустичної емісії при зміні об'єму оброблюваного матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площі його руйнування. Показано закономірності зміни параметрів формованих сигналів акустичної емісії – середнього рівня амплітуди і енергії результуючих сигналів та їх сумарної енергії. Проведено аналіз дисперсії середнього рівня амплітуди і енергії результуючих сигналів акустичної емісії та їх стандартних відхилень. Виконано математичний опис отриманих залежностей. Показано їх інформативність.

Ключові слова: акустична емісія, глибина різання, деформація, діагностика, модель сигналу, різання матеріалу, руйнування.

Постановка проблеми

Дослідження акустичної емісії (АЕ) при механічній обробці матеріалів точінням спрямовані на вирішення питань, пов'язаних із розробкою методів контролю та діагностики:

- методів АЕ контролю та діагностики процесу різання;
- методів АЕ контролю та діагностики стану різального інструмента.

Це зумовлено високою чутливістю АЕ до процесів пластичної деформації та руйнування матеріалів.

Більшість праць, які присвячені вивченню АЕ при різанні матеріалів точінням, стосується експериментальних досліджень АЕ.

У дослідженнях, які проводяться, вивчаються закономірності зміни АЕ залежно від параметрів різання матеріалів. Однак отримані закономірності в більшості випадків різняться між собою і не узгоджуються з запропонованим теоретичними моделями.

Теоретичні та експериментальні дослідження проводяться з визначенням закономірностей зміни середньоквадратичного значення амплітуди (СКЗ АЕ – АЕ RMS). Це зумовлено тим, що під час побудови моделей формування сигналів АЕ намагаються, перш за все, врахувати технологічні параметри механічної обробки матеріалів точінням, вважаючи, що між АЕ і роботою на деформування і руйнування матеріалу існує пропорційний зв'язок.

За таких умов не враховуються фізичні основи формування сигналів АЕ при деформуванні і руйнуванні матеріалів. Такий підхід не дозволяє визначати первинні формовані сигнали АЕ, які з урахуванням динаміки процесу різання формують результуючий сигнал. Це обмежує кількість параметрів акустичного випромінювання і закономірності їх зміни, які можливо досліджувати теоретично.

Під час розроблення методів контролю, діагностики процесів механічної обробки матеріалів точінням та стану різального інструменту такі дослідження є актуальними. Їх результати мають бути обґрунтуванням вибору та застосування критеріальних оцінок та діагностичних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При статичному навантаженні матеріалів, як показують дослідження [1–7], реєстровані сигнали АЕ являють собою імпульсні сигнали або їх послідовність. У той же час, сигнали АЕ, які реєструються при дослідженнях динамічних процесів (різання, тертя, шліфування), є неперервними і характеризуються деяким середнім рівнем амплітуди і величиною її розкиду [8–13].

Різниця в характері акустичного випромінювання зумовлює і різні підходи, які використовують під час побудови моделей сигналів АЕ.

Наприклад, у працях [1; 4; 14; 15] під час побудови моделей імпульсних сигналів АЕ враховують фізичні уявлення про процеси пластичної

деформації та руйнування, які є джерелами акустичного випромінювання:

- розрив міжатомних зв'язків;
- відрив дислокацій;
- подолання потенційних бар'єрів;
- руйнування окремих елементарних об'ємів (елементів).

В основу побудови моделей АЕ при перебігу динамічних процесів, наприклад, при різанні матеріалів, покладено уявлення, що пластична деформація є джерелом акустичного випромінювання, а між роботою на пластичну деформацію і енергією АЕ є прямо пропорційний зв'язок [16]. З урахуванням цього та параметрів різання в працях [16–18] розглянуто ряд моделей зміни СКЗ АЕ при механічній обробці матеріалів точінням.

Однак експериментальні дослідження АЕ при різанні матеріалів показують неузгодженість закономірностей зміни СКЗ АЕ від теоретичних моделей при зміні швидкості різання, швидкості поперечної подачі, глибини різання, переднього кута різання та інших параметрів [19].

Модель результуючого сигналу АЕ, який формується при механічній обробці матеріалів точінням, розглянуто у праці [20].

В основу побудови моделі покладено моделі імпульсних сигналів АЕ [21], які формуються при протіканні в матеріалі пластичної деформації і руйнуванні.

Уважаючи, що при виконанні механічної обробки матеріалів точінням основними процесами є процеси послідовного деформування і руйнування оброблюваного матеріалу [22], результуючий сигнал АЕ подано у вигляді

$$U_p(t) = \sum_j U_d(t-t_j) + \sum_i U_T(t-t_i), \quad (1)$$

де t_j , t_i – моменти часу появи імпульсних сигналів АЕ від пластичної деформації U_d та руйнування U_T оброблюваного матеріалу.

Імпульсні сигнали АЕ від пластичної деформації U_d та руйнування U_T оброблюваного матеріалу описуються виразами [20]:

$$U_D(t) = u_0 \alpha t e^{-B \alpha t}, \quad (2)$$

$$U_T(t) = U_0 \alpha^3 t^2 e^{-b \alpha t}, \quad (3)$$

де u_0 – максимальна амплітуда зміщення при миттєвому вступі заданого об'єму матеріалу з визначеними фізико-механічними характеристиками у пластичну деформацію:

$$u_0 = a_0 M \frac{v_D}{\ell} \delta_D;$$

a_0 – амплітудне значення одиночного імпульсу збурення, який формується одиночною рухомою дислокацією;

M , B – параметри, які залежать від фізико-механічних характеристик матеріалу і характеризують щільність рухомих дислокацій від деформації;

v_D – швидкість руху дислокації;

ℓ – відстань, яку проходить дислокація між двома актами випромінювання;

δ_D – середня тривалість одиночного імпульсу збурення;

U_0 – максимальна амплітуда зміщення при миттєвому руйнуванні заданої площі матеріалу з визначеними фізико-механічними характеристиками за міцністю:

$$U_0 = N_0 c k;$$

N_0 – загальна кількість елементарних об'ємів, що руйнуються у визначеній площині;

c , b – коефіцієнти, які залежать від фізико-механічних характеристик матеріалу і характеризують розподіл елементарних об'ємів N_0 , що руйнуються, за міцністю;

k – коефіцієнт пропорційності;

α – швидкість навантаження;

Параметр M пов'язаний із кількістю дислокацій і пропорційний об'єму матеріалу, що вступає у пластичну деформацію.

Результати досліджень, які проведено у роботі [20], з моделюванням сигналів АЕ згідно з виразом (1) показали, що результуючі сигнали АЕ, які формуються при послідовному деформуванні і руйнуванні оброблюваного матеріалу, є неперервним сигналом із порізаною формою.

Дослідження дозволили визначити загальні закономірності зміни результуючих сигналів АЕ при зміні факторів, що впливають. Так, визначено, що при збільшенні об'єму матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування відбувається зростання середнього рівня амплітуд результуючих сигналів АЕ та величин їх розкиду (величин дисперсії та стандартного відхилення).

Збільшення об'єму матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування зумовлено зростанням глибини різання оброблюваного матеріалу. Такі зміни у формованих

результуючих сигналів АЕ, а також порізанисть їх форми зумовлено різницею в параметрах імпульсних сигналів АЕ, які формуються при протіканні пластичної деформації і руйнуванні матеріалу, а також зміною умов їх перекриття в часі.

Результати моделювання результуючих сигналів АЕ узгоджуються з результатами експериментальних досліджень.

Важливим є визначення закономірностей зміни параметрів формованих результуючих сигналів АЕ при виконанні механічної обробки матеріалів точінням із математичним їх описом залежно від факторів, що впливають, зокрема, впливу глибини різання на закономірності зміни амплітудно-енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ.

Метою роботи є:

- моделювання акустичного випромінювання при збільшенні глибини різання оброблюваного матеріалу (об'єму матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування) з визначенням закономірностей зміни амплітудно-енергетичних параметрів формованих результуючих сигналів АЕ;

- проведення математичного опису отриманих закономірностей з визначенням їх статистичних характеристик;

- аналіз зростання амплітудно-енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ при збільшенні глибини різання та їх інформативність.

Моделювання результуючих сигналів

Дослідження моделювання результуючих сигналів АЕ згідно з виразом (1) показали, що формовані сигнали характеризуються деяким середнім рівнем амплітуди і величиною її розкиду [20].

Типовий модельний результуючий сигнал АЕ згідно з виразом (1) показано на рис. 1, *a* у відносних одиницях.

При моделюванні час подано в нормованих одиницях, а параметри, що входять до виразів (2), (3), зведені до безрозмірних величин:

$$b = 15; B = 10; \tilde{\alpha} = 150.$$

Проміжки часу між появами імпульсних сигналів АЕ у відносних одиницях задавалися у вигляді

$$\Delta \tilde{t}_{ij} = 0,002 + \tilde{\delta},$$

де величина $\tilde{\delta}$ змінювалася від 0,0 до 0,0005 довільним чином.

При моделюванні вважалося, що об'єм матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площа руйнування, відносно початкових значень, які дорівнювали одиниці, були у два рази більше.

Сигнали АЕ, які зареєстровано при дослідженні процесів механічної обробки алюмінію марки АЛ-25 точінням з використанням алмазноствердосплавного різця, показано на рис. 1, *б*.

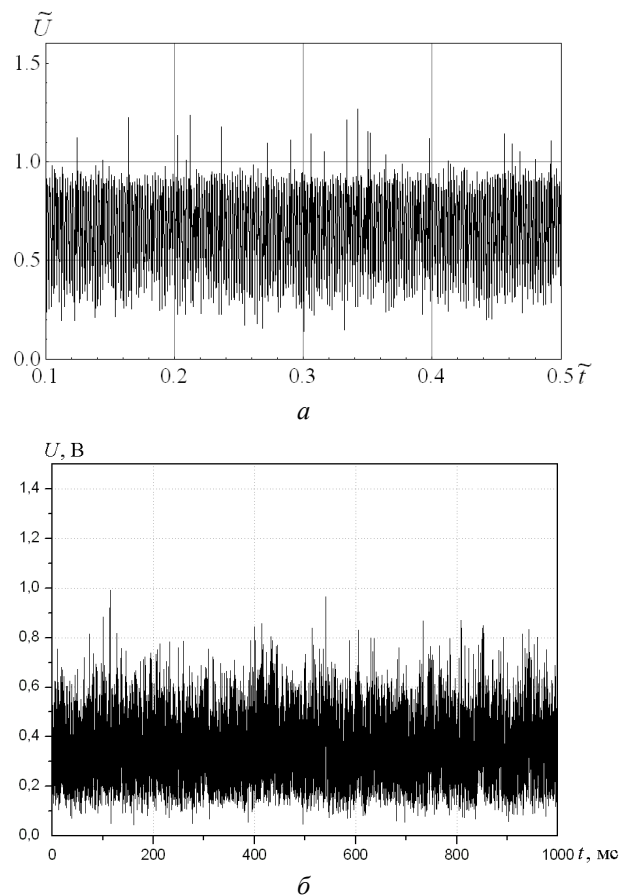


Рис. 1. Результуючі сигнали АЕ при механічній обробці матеріалів точінням:

a – модельний сигнал;

б – результуючий сигнал

Під час оброблення деталі швидкість її обертання становила 1400 хв^{-1} , поперечна подача різця 150 мм/хв , глибина різання $0,2 \text{ мм}$.

Із рис. 1 видно, що модельний і реальний сигнали АЕ подібні за своїми формами, тобто являють собою неперервні з сильно порізаною формою сигнали.

Моделювання результуючого сигналу АЕ (рис. 1, *a*) проводилося для заданих значень параметрів, що входять у вирази (2) і (3). Це стосується параметрів, які характеризують параметри процесу різання:

- швидкість навантаження (обертання) оброблюваної деталі;

- глибина різання (об'єм матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площа руйнування).

У разі зміни значень цих параметрів буде відбуватися і зміна параметрів результуючого сигналу АЕ.

Для розрахунків параметрів модельних результуючих сигналів АЕ з визначенням закономірностей їх зміни залежно від глибини різання оброблюваного матеріалу будемо проводити моделювання результуючих сигналів АЕ згідно з виразом (1).

За їх результатами будемо розраховувати амплітудно-енергетичні параметри формованих сигналів та їх статистичні показники. При розрахунках будемо визначати:

- середній рівень амплітуди \tilde{U}_C (медіану) результуючого сигналу АЕ на заданому інтервалі Δt_m усереднення;
- дисперсію $s_{\tilde{U}}^2$;
- стандартне відхилення $s_{\tilde{U}}$;
- середній рівень енергії \tilde{E}_C результуючого сигналу АЕ на заданому інтервалі Δt_m усереднення;
- дисперсію $s_{\tilde{E}}^2$;
- стандартне відхилення $s_{\tilde{E}}$;
- сумарну енергію \tilde{E}_Σ результуючого сигналу АЕ на заданому інтервалі Δt_a аналізу.

За результатами розрахунків будемо будувати та обробляти залежності зміни параметрів результуючих сигналів АЕ при зміні глибини різання.

При моделюванні результуючих сигналів АЕ і розрахунках їх параметрів будемо вважати, що проводиться обробка матеріалу з заданими фізико-механічними характеристиками.

Усі параметри, що входять у вирази (2) і (3), зведені до безрозмірних величин:

$$b = 15; B = 10; \tilde{\alpha} = 150.$$

Проміжки часу між появами імпульсних сигналів АЕ у відносних одиницях, тобто сигналів від пластичної деформації і руйнування, будемо задавати у вигляді

$$\Delta \tilde{t}_{ij} = 0,002 + \tilde{\delta},$$

де значення $\tilde{\delta}$ будемо змінювати від 0,0 до 0,0005 довільним чином.

При моделюванні будемо вважати, що змінюється глибина різання \tilde{h} , збільшуються об'єм матеріалу, який вступає у пластичну деформацію,

і площа руйнування відносно початкових значень, які у відносних величинах беремо за одиницю.

Відносно початкової глибини різання \tilde{h}_0 , значення якої дорівнює $\tilde{h}_0 = 1$, відбувається її збільшення від 1,5 до 3,5 разів.

При розрахунках параметрів результуючого сигналу АЕ інтервал усереднення $\Delta \tilde{t}_m$ та інтервал аналізу $\Delta \tilde{t}_a$ приймемо рівними між собою, а їх значення буде дорівнювати довжині вибірки \tilde{T}_B , на якій проводиться побудова графіка зміни амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі, тобто

$$\Delta \tilde{t}_m = \Delta \tilde{t}_a = \tilde{T}_B = 0,4$$

у нормованих одиницях (рис. 1, а).

Результати розрахунків закономірностей зміни \tilde{U}_C , \tilde{E}_C і \tilde{E}_Σ результуючих сигналів АЕ від \tilde{h} відповідно до визначеної процедури досліджень показано на рис. 2 у відносних одиницях.

Із рис. 2 видно, що закономірності зміни \tilde{U}_C , \tilde{E}_C і \tilde{E}_Σ різняться між собою. При збільшенні \tilde{h} середній рівень амплітуди \tilde{U}_C результуючих сигналів АЕ (рис. 2, а) зростає за лінійним законом:

$$\tilde{U}_C = A + B\tilde{h}, \quad (4)$$

де A, B – коефіцієнти.

Аналіз отриманої залежності (рис. 2, а) показав, що коефіцієнти A і B апроксимуючого виразу (4) дорівнюють:

$$A=0,00184; B=0,37574.$$

При апроксимації отриманої залежності, яку показано на рис. 2, а, виразом (4) дисперсія s_1^2 для ймовірності $p=0,99996$ становить $s_1^2=0,00368$.

Залежності зміни середнього рівня енергії \tilde{E}_C і сумарної енергії \tilde{E}_Σ результуючих сигналів АЕ (рис. 2, б, в) зі збільшенням величини \tilde{h} мають подібний нелінійний характер зростання. Залежності описуються виразом

$$\tilde{P}_A = w + d\tilde{h}^z, \quad (5)$$

де \tilde{P}_A – аналізований параметр результуючих сигналів АЕ (середній рівень енергії \tilde{E}_C або сумарна енергія \tilde{E}_Σ);

d, z, w – коефіцієнти.

Аналіз отриманих залежностей (рис. 2, б, в) показав, що коефіцієнти d , z , w апроксимуючого виразу (4) дорівнюють:

– для середнього рівня енергії результуючих сигналів АЕ

$$d = 0,00012, z = 2,1456, w = 0,00003;$$

– для сумарної енергії результуючих сигналів АЕ

$$d = 0,02369, z = 2,1923, w = 0,00752.$$

При апроксимації залежності, яку показано на рис. 2, б, виразом (5) дисперсія s_2^2 для ймовірності $p = 0,99955$ становить $s_2^2 = 3,1423 \cdot 10^{-10}$.

При апроксимації залежності, яку показано на рис. 2, в, виразом (5) дисперсія s_3^2 для ймовірності $p = 0,99945$ становить $s_3^2 = 0,00002$.

Теоретичні та експериментальні дослідження результуючих сигналів АЕ [20], які формуються при зростанні глибини різання, показують, що відбувається не тільки збільшення середнього рівня амплітуди та енергії сигналів, але й значне зростання величини їх розкиду (дисперсії та стандартного відхилення).

Результати розрахунків закономірностей зміни дисперсії і стандартного відхилення середнього рівня амплітуди \tilde{U}_C та середнього рівня енергії \tilde{E}_C формованих результуючих сигналів АЕ при збільшенні величини \tilde{h} відповідно до визначеної процедури досліджень показано на рис. 3.

Із рис. 3 видно, що залежності зміни дисперсії $s_{\tilde{U}}^2$ середнього рівня амплітуди \tilde{U}_C , її стандартного відхилення $s_{\tilde{U}}$ та дисперсії $s_{\tilde{E}}^2$ середнього рівня енергії \tilde{E}_C і її стандартного відхилення $s_{\tilde{E}}$ при збільшенні глибини різання мають нелінійний характер зростання.

Отримані залежності (рис. 3) описуються степеневою функцією (5), де \tilde{P}_A – дисперсія середнього рівня амплітуди або її стандартне відхилення, дисперсія середнього рівня енергії або її стандартне відхилення.

Аналіз залежностей (рис. 3) показав, що коефіцієнти d , z і w апроксимуючого виразу (4) дорівнюють:

– для дисперсії $s_{\tilde{U}}^2$ середнього рівня амплітуди результуючих сигналів АЕ

$$d = 0,00032, z = 4,7342, w = 0,01348;$$

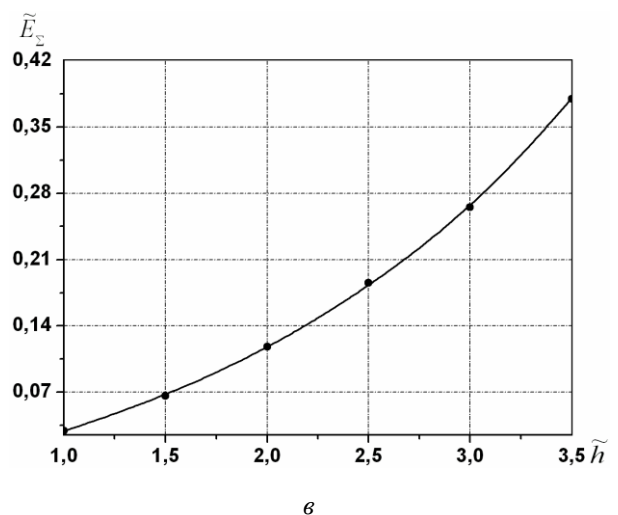
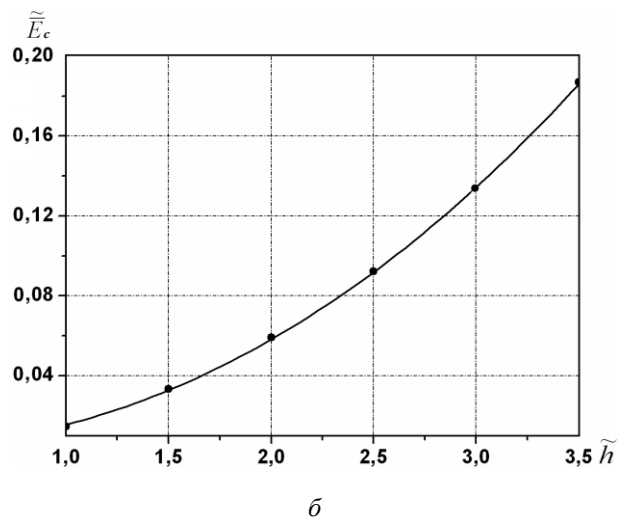
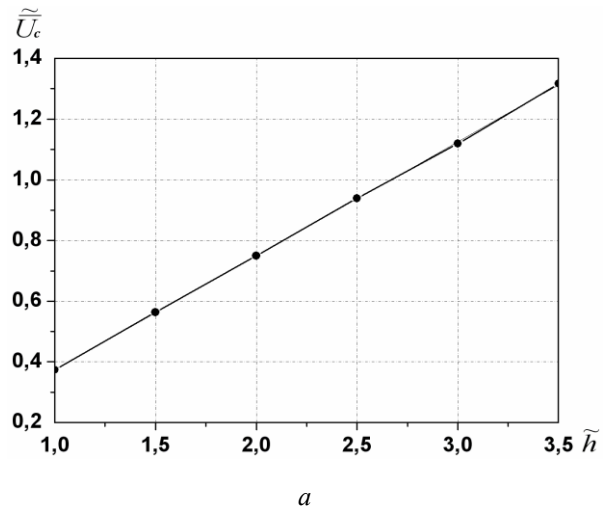


Рис. 2. Залежності зміни середнього рівня амплітуди \tilde{U}_C (а), середнього рівня енергії $\tilde{E}_C \times 10^{-2}$ (б) і сумарної енергії \tilde{E}_Σ (в) результуючих сигналів АЕ від об'єму матеріалу, що вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування

– для стандартного відхилення $s_{\tilde{U}}$ середнього рівня амплітуди результуючих сигналів АЕ

$$d = 0,0139,$$

$$z = 2,385,$$

$$w = 0,0827;$$

– для дисперсії $s_{\tilde{E}}$ середнього рівня енергії результуючих сигналів АЕ

$$d = 9,0 \cdot 10^{-15},$$

$$z = 15,644,$$

$$w = 0,04953 \cdot 10^{-6};$$

– для стандартного відхилення $s_{\tilde{E}}$ середнього рівня енергії результуючих сигналів АЕ

$$d = 7,01 \cdot 10^{-8},$$

$$z = 7,985,$$

$$w = 0,00016.$$

При апроксимації залежностей, які показано на рис. 3, виразом (5) імовірність їх опису і дисперсія дорівнювали:

– для кривої рис. 3, а:

$$r = 0,98399, \text{ дисперсія } 0,00006;$$

– для кривої рис. 3, б:

$$r = 0,98523, \text{ дисперсія } 0,00033;$$

– для кривої рис. 3, в:

$$r = 0,99873, \text{ дисперсія } 2,9139 \cdot 10^{-15};$$

– для кривої рис. 3, г:

$$r = 0,98376, \text{ дисперсія } 1,0249 \cdot 10^{-8}.$$

Отримані результати показують, що збільшення об'єму матеріалу, що вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування оброблюваного матеріалу призводить до зростання амплітудно-енергетичних параметрів формованих

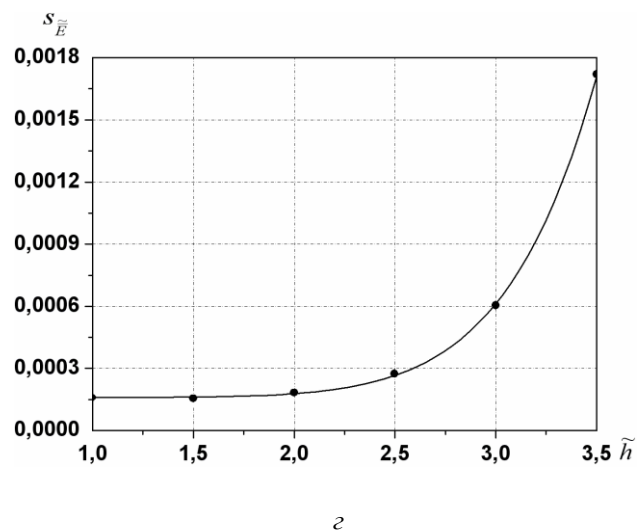
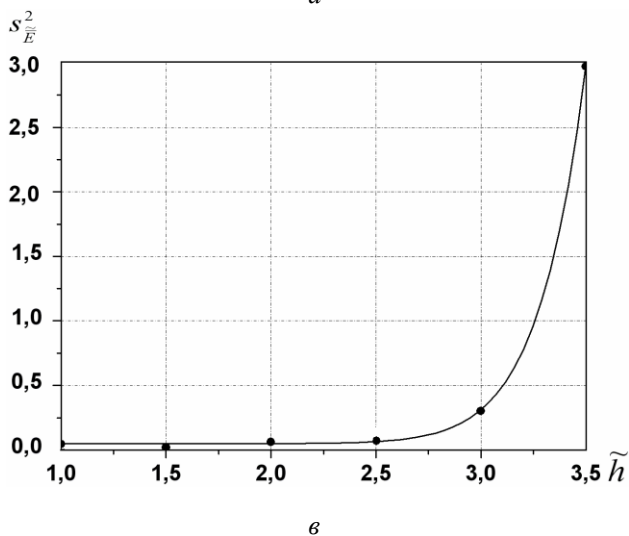
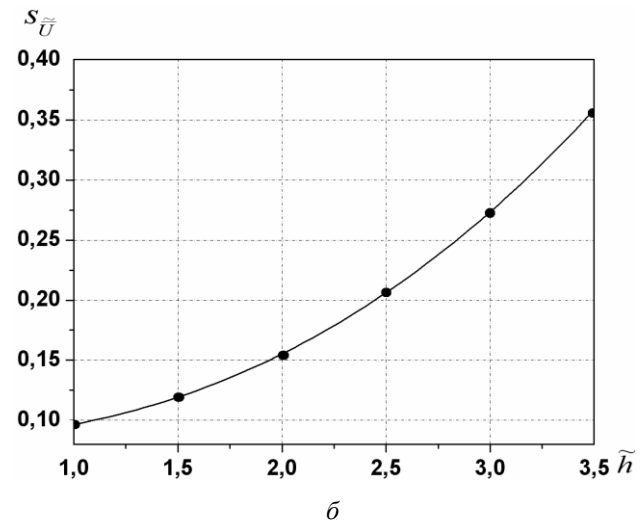
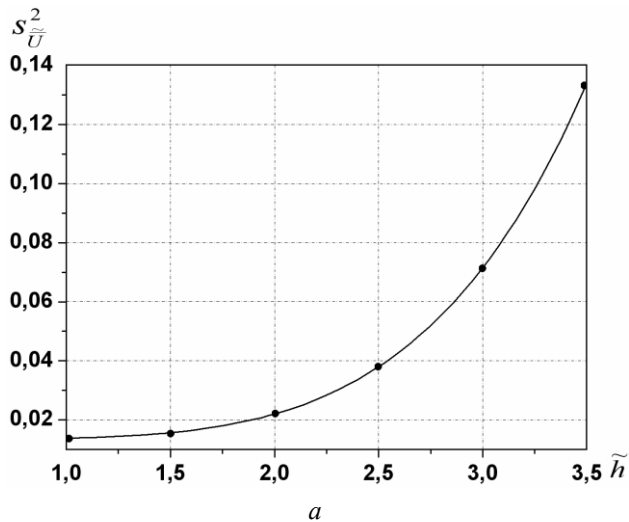


Рис. 3. Залежності зміни дисперсії $s_{\tilde{U}}^2$ (а) і стандартного відхилення $s_{\tilde{U}}$ (б) середнього рівня амплітуди \tilde{U}_C , дисперсії $s_{\tilde{E}}^2 \cdot 10^{-6}$ (в) і стандартного відхилення $s_{\tilde{E}}$ (г) середнього рівня енергії \tilde{E}_C результуючих сигналів АЕ від об'єму матеріалу, що вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування

результуючих сигналів АЕ та величин їх розкиду. Однак таке зростання відбувається по-різному.

При збільшенні величини \tilde{h} у три рази середній рівень амплітуди формованих сигналів АЕ \tilde{U}_C збільшується більш ніж у три рази (рис. 2, а). Середній рівень енергії результуючих сигналів \tilde{E}_C і сумарна енергія \tilde{E}_Σ на визначеному інтервалі вибірки \tilde{T}_B зростають відповідно більш ніж у 18 разів і більш ніж у 26 разів (рис. 2, б, в).

Більш значне зростання спостерігається в розкиді параметрів формованих сигналів АЕ – їх дисперсії та стандартному відхиленні.

Згідно з результатами проведених розрахунків при збільшенні величини \tilde{h} у три рази дисперсія $s_{\tilde{U}}^2$ середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ зростає більш ніж у 13 разів (рис. 3, а), а її стандартне відхилення $s_{\tilde{U}}$ – більш ніж у 3,5 рази (рис. 3, б). Дисперсія $s_{\tilde{E}}^2$ середнього рівня енергії формованого сигналу АЕ зростає більш ніж у 30 разів (рис. 3, в), а її стандартне відхилення – більш ніж у 11 разів (рис. 3, г).

З отриманих результатів видно, що чутливість параметрів формованих результуючих сигналів АЕ до зміни об'єму матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування різниться між собою. Більш чутливими щодо амплітуди результуючих сигналів АЕ є параметри, які характеризують їх енергії, – середній рівень енергії та сумарна енергія. Як інформативні параметри результуючих сигналів АЕ можуть використовуватися параметри, які характеризують розкид середнього рівня амплітуди й енергії формованих сигналів.

У разі збільшення величини \tilde{h} зростання дисперсії та стандартного відхилення середніх рівнів амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ значно перевищують зростання значень їх середніх рівнів.

Отже, зростання дисперсії і стандартного відхилення середніх рівнів амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ мають більшу чутливість до зростання об'єму оброблюваного матеріалу, що вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування. Таке зростання розкиду параметрів результуючих сигналів АЕ ймовірно пов'язане з особливостями формування імпульсних сигналів АЕ від пластичної деформації і руйнування та умовами їх перекриття в часі [20].

Висновки

Результати проведених досліджень з моделюванням акустичного випромінювання, яке формується у процесі механічної обробки матеріалів точінням, показали, що при збільшенні об'єму матеріалу, який вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування відбувається зростання амплітудно-енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ.

Показано, що середній рівень амплітуди результуючих сигналів АЕ збільшується за лінійним законом, а середній рівень енергії та сумарної енергії на визначеному інтервалі вибірки змінюються за нелінійними законами. Зростання енергетичних параметрів формованих результуючих сигналів АЕ відбувається більш прискорено, ніж зростання їх середнього рівня амплітуди.

Одночасно зі зростанням амплітудно-енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ при збільшенні об'єму матеріалу, що вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування відбувається зростання величини розкиду аналізованих параметрів.

Аналіз дисперсії середніх рівнів амплітуди і енергії формованих результуючих сигналів АЕ і їх стандартних відхилень показав, що дані параметри зростають за нелінійними законами. Зростання дисперсії і стандартного відхилення середніх рівнів амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ значно перевищують зростання значень їх рівнів. Це означає, що зростання дисперсії і стандартного відхилення середніх рівнів амплітуди та енергії результуючих сигналів АЕ мають більш високу чутливість до зростання об'єму оброблюваного матеріалу, що вступає у пластичну деформацію, і площі руйнування. Параметри можуть використовуватися як інформативні.

Визначення закономірностей зміни реальних результуючих сигналів АЕ при зміні глибини різання у процесі механічної обробки матеріалів точінням потребує подальших досліджень.

Література

1. *Іванов В.И.* Акустическая эмиссия в процессе когерентного разрушения / В.И. Иванов // Доклады АН СССР. – 1986. – Т. 287, № 2. – С. 302–306.
2. *Андрейкив А.Е.* Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения / А.Е. Андрейкив, Н.В. Лысак. – К.: Наукова думка, 1989. – 176 с.

3. *Hamstadt M.A.* Modeling of buried acoustic emission monopole and dipole sources with a finite element technique / M.A. Hamstadt, A. O'Gallagher, J. Gary // *J. of acoustic emission.* – 1999. – Vol. 17. N 3–4. – P. 97–110.
4. *Dislocation unpinning model of acoustic emission alkali halide crystals* / B.P. Chandra, A.S. Gour, V.K. Chandra, Y. Patil // *Pramana. – J. of physics.* – 2004. – Vol. 62. N 6. – P. 1281–1292.
5. *Dynamic fracture model for acoustic emission* / M. Minozzi, G. Caldarelli, L. Pietronero, S. Zapperi // *Eur. Phys. J. B.* – 2003. – N 36. – P. 203–207.
6. *Филоненко С.Ф.* Особенности сигналов акустической эмиссии при пластическом деформировании и хрупком разрушении материалов / С.Ф. Филоненко, Н.И. Городыский, В.С. Бирюков // *Физико-химическая механика материалов.* – 1985. – № 6. – С. 105–106.
7. *Филоненко С.Ф.* Закономерности изменения акустической эмиссии при разрушении хрупких композиционных материалов / С.Ф. Филоненко, В.М. Калита, Т.В. Нимченко // *Технологические системы.* – 2009. – № 3 (47). – С. 27–33.
8. *Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission* / D.E. Lee, I. Hwang, C.M.O. Valente, J.F.G. Oliveira, D.A. Dornfeld // *Int. J. of Machine Tools & Manufacture.* – 2006. – Vol. 46. – P. 176–188.
9. *Statistical properties of acoustic emission signals from metal cutting processes* / F.A. Farrelly, A. Petri, L. Pitolli, G. Pontuale, A. Tagliani, P.L. Novi Inverardi // *J. Acoust. Soc. Am.* – 2004. – Vol. 116. – P. 981–986.
10. *Fu P.A* Hybrid Pattern Recognition Architecture for Cutting Tool Condition Monitoring / P. Fu, A.D. Hope // *Pattern Recognition Techniques, Technology and Applications.-I-Tech: Vienna, Austria, 2008.* – P. 547–558.
11. *Analysis of metal cutting acoustic emissions by time series models* / F. Polito, A. Petri, G. Pontuale, F. Dalton // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2010. – Vol. 48. – P. 897–903.
12. *Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques* / S. Sundaram, P. Senthilkumar, A. Kumaravel, N. Manoharan // *J. of Eng. and Applied Sciences.* – 2008. – Vol. 3. N 4. – P. 32–36.
13. *Murase Y.* Acoustic Emission and Cutting Resistance in Cutting of Solid Wood, MDF and Particleboard / Y. Murase, K. Matsumoto, T. Ohuchi // *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.* – 2008. – Vol. 53. N 2. – P. 485–490.
14. *Филоненко С.Ф.* Физические аспекты акустической эмиссии при протекании пластической деформации / С.Ф. Филоненко // *Надтверді матеріали: створення та застосування: зб. наук. пр.* – К.: НАН України. ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2007. – С. 131–138.
15. *Filonenko S.F.* Model of acoustic emission signal at the prevailing mechanism of composite material mechanical destruction / S.F. Filonenko, T.V. Nimchenko, A.P. Kosmach // *Aviation.* – 2010. – Vol. 14. N 4. – P. 95–103.
16. *Teti R.* Modeling and experimental analysis of acoustic emission from metal cutting / R. Teti, D.A. Dornfeld // *ASME J. of Eng. for Indu.* – 1989. – Vol. 111. – P. 229–237.
17. *Liu J.J.* Modeling and analysis of acoustic emission in diamond turning / J.J. Liu, D.A. Dornfeld // *J. of Manu. Sci. and Eng.* – 1996. – Vol. 118. – P. 199–207.
18. *Keraita J.N.* Lathe stability charts via acoustic emission monitoring / J.N. Keraita, H.J. Oyango, G.K. Misoi // *African Journal of Science and Technology. Science and Engineering Series.* – 2001. – Vol. 2. N 2. – P. 81–93.
19. *Araujo A. J. M. M.* Investigation of the role of dislocation motion in the generation of acoustic emission from metal cutting / A. J. M. M. Araujo, S.J. Wilcox, R.L. Reuben // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Journal of Engineering Manufacture.* – 2009. – Vol. 223. – Part B. – P. 1507–1518.
20. *Филоненко С.Ф.* Акустична емісія при механічній обробці матеріалів точінням / С.Ф. Филоненко, Т.В. Нимченко // *Технологические системы.* – 2011. – № 3 (56). – С. 50–56.
21. *Бабак В.П.* Модели формирования сигналов акустической эмиссии при деформировании и разрушении материалов / В.П. Бабак, С.Ф. Филоненко, В.М. Калита // *Технологические системы.* – 2002. – № 1 (12). – С. 26–34.
22. *Аршинов В.А.* Резание металлов и режущий инструмент / В.А. Аршинов. – М.: Машиностроение, 1976. – 400 с.