

УДК 620.179:534.6 (045)

## АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ ПРИ МИТТЄВОМУ РУЙНУВАННІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

С. Ф. Філоненко, д-р техн. наук, проф.;

Т. М. Косицка, канд. хім. наук, старш. наук. співроб.; Т. В. Німченко

Національний авіаційний університет

flona54@ukr.net

*Розглянуто результати моделювання результуючого сигналу акустичної емісії, який формується при механічній обробці матеріалу точінням, з урахуванням миттєвого руйнування композиційного матеріалу. Показано, що при миттєвому руйнуванні композиційного матеріалу на результуючому сигналі акустичної емісії відбувається поява викиду амплітуди. Визначено вплив площі миттєвого руйнування композиційного матеріалу на величину викиду амплітуди результуючого сигналу акустичної емісії. Проведено оцінювання співвідношення параметрів сигналів і показано, що при малих площах руйнування композиційного матеріалу відсутній внесок формованого імпульсного сигналу акустичної емісії в результуючий сигнал.*

**Ключові слова:** акустична емісія, композиційний матеріал, руйнування, точіння матеріалу, параметри сигналів.

*The outcomes of simulation of acoustic emission resulting signal are reviewed, which one is reshaped at machine work of cutting material, with allowance of instantaneous composite material destruction. It is shown, that at instantaneous destruction of composite material on an acoustic emission resulting signal there is appearance of let of amplitude. Influencing the area of instantaneous destruction of composite material on value of acoustic emission resulting signal of let of amplitude is determined. The estimations ratio of signals parameters are conducted and is rotined, that at the small areas of composite material destruction there is no contribution of a reshaped pulse of acoustic emission signal to a resulting signal.*

**Keywords:** acoustic emission, composite material, destruction, cutting material, signals parameters.

### Постановка проблеми

Явище акустичної емісії (АЕ) широко використовується під час дослідженні операцій механічної обробки матеріалів точінням. При цьому досліджують вплив різних параметрів операцій, що виконуються, на процеси акустичного випромінювання і параметри формованих сигналів АЕ. Проведені дослідження з використанням явища АЕ спрямовані на встановлення взаємозв'язку параметрів сигналів АЕ з параметрами технологічного процесу обробки матеріалів точінням. Такі взаємозв'язки є основою в розробці методів контролю та діагностики як стану різального інструменту, так і самого процесу різання.

Однак результати проведених досліджень показали ряд проблем у практичному додатку методу АЕ. Це, насамперед, зумовлено його високою чутливістю до процесів деформування і руйнування оброблюваного матеріалу, а також руйнуванням оброблюючого матеріалу. Наявність різних фізичних процесів, що є джерелами акустичного випромінювання в решті решт, складний результуючий сигнал АЕ. Інтерпретація такого сигналу, який реєструється АЕ апаратурою, становить значні труднощі. Проблема підсилюється наявністю різних технологічних факторів, що впливають як на процеси різання матеріалів, так і на формований сигнал АЕ.

До таких факторів належать: швидкість різання, глибина різання, швидкість позовжньої подачі, наявність пари взаємодіючих матеріалів (оброблюваний та оброблюючий матеріал) та ін.

Безумовно, для розв'язку проблеми інтерпретації АЕ інформації важливе значення мають теоретичні дослідження. Однак робіт, що належать до дослідження процесів формування сигналів АЕ під час механічної обробки матеріалів точінням, у науковій літературі досить мало.

Такі дослідження є основою в розробці моделей і моделюванні процесів випромінювання сигналів АЕ при дії різних факторів. Вони мають ґрунтуватися на обліку фізичних аспектів формування акустичного випромінювання, безпосередньо пов'язаного з фізичними аспектами деформування і руйнування матеріалів. Це дозволяє отримувати модельні закономірності зміни параметрів результуючих сигналів залежно від факторів, що впливають, та які слід очікувати в експерименті, і як наслідок, проводити інтерпретацію АЕ інформації. У свою чергу, отримані результати є основою методів контролю і діагностики процесів механічної обробки матеріалів точінням.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним з напрямків теоретичних досліджень АЕ в умовах статичного і динамічного навантаження матеріалів є подання реєстрованого сиг-

налу як стохастичного сигналу, тобто формованого сигналу в результаті протікання стохастичного процесу [1—6].

У такому підході існують деякі передумови. Як правило, описового характеру про фізичну природу процесів, які породжують акустичне випромінювання. Вони не торкаються фізичної сутності процесів, що протікають. За таких умов здійснюється визначення деякої кількості статистичних параметрів, які можуть характеризувати реєстроване акустичне випромінювання. Спостереження зміни величин даних параметрів є ознакою зміни (видозміни) процесів, які розвиваються в структурі матеріалу при його навантаженні. Однак встановлення кількісних взаємозв'язків отриманої інформації з параметрами факторів, які впливають, становлять значні труднощі.

Теоретичні й експериментальні дослідження АЕ при механічній обробці матеріалів точінням ґрунтуються на припущенні того, що енергія акустичного випромінювання пропорційна енергії, яку витрачено на різання [7; 8], тобто пропорційна роботі на пластичне деформування матеріалу. Такий зв'язок описується виразом

$$RMS^2 = C_1(\sigma \dot{\epsilon} V),$$

де  $RMS$  — середньоквадратичне значення АЕ або амплітуди АЕ;  $C_1$  — коефіцієнт пропорційності;  $\sigma$  — постійно діюча напруга;  $\dot{\epsilon}$  — швидкість зміни деформації;  $V$  — обсяг матеріалу, який вступає в пластичну деформацію.

У працях [7—11] розглянуто ряд виразів, які описують зв'язок середньоквадратичного значення амплітуди АЕ з різними параметрами технологічного процесу механічної обробки матеріалів точінням. Такі параметри враховують глибину різання, швидкість різання, довжину зони контакту інструмент-стружка, швидкість поперечної подачі, передній кут інструменту, коефіцієнти, які пов'язані із загасанням сигналу АЕ, наприклад, між границею контакту стружки й інструменту, тощо.

Однак у використаному підході не враховуються фізичні процеси, які породжують акустичне випромінювання. Наприклад, протікання пластичної деформації, пов'язаної з рухом дислокацій, розвиток процесу руйнування, який пов'язаний з утворенням тріщин. Слід зазначити, що в результатах цілого ряду досліджень [7; 9; 12; 13] отримані експериментальні залежності, що визначають впливи параметрів технологічного процесу механічної обробки матеріалів точінням на  $RMS$ , мають відмінність або незначну узгодженість із теоретичними залежностями.

У працях [14; 15] було розглянуто модель і результати моделювання результуючого сигналу

АЕ при механічній обробці матеріалів точінням. Модель була побудована на моделях імпульсних сигналів АЕ, формованих при деформуванні заданого об'єму і руйнуванні оброблюваного матеріалу. При цьому не враховувалися процеси формування акустичного випромінювання під час руйнування оброблюючого матеріалу. Згідно з результатами проведеного моделювання результуючий сигнал АЕ, являє собою неперервний сигнал із сильно порізаною формою, що узгоджується з результатами багатьох експериментальних досліджень [16; 17].

Так само було показано, що зі зростанням глибини та швидкості різання відбувається зростання середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ і величини її розкиду. При цьому, згідно з результатами моделювання, значне збільшення спостерігається в стандартному відхиленні та дисперсії середнього рівня результуючого сигналу АЕ. Було показано, що результати теоретичних досліджень узгоджуються з експериментом.

Однак у процесі механічної обробки матеріалів точінням можливе й руйнування оброблюючого матеріалу. При цьому можливе безперервне руйнування достатньо тонкого поверхневого шару (зношування інструмента) оброблюючого матеріалу в процесі виконання операції різання або його миттєве руйнування з повною втратою різальної здатності. З погляду контролю процесів механічної обробки матеріалів точінням, дослідження таких умов формування результуючого сигналу АЕ становить значний інтерес.

#### Завдання досліджень

У роботі буде проведено моделювання формованих сигналів АЕ, при протіканні процесу пластичної деформації в заданому об'ємі оброблюваного матеріалу і його руйнуванні, а також при миттєвому руйнуванні оброблюючого матеріалу із заданою площею. Буде показано, що руйнування оброблюючого матеріалу призводить до появи викиду на результуючому сигналі АЕ. При цьому величина викиду буде залежати від площі руйнування ріжучого інструменту.

#### Результати досліджень

Відповідно до існуючих уявлень [18], основними процесами, що протікають при механічній обробці матеріалів точінням, є процеси послідовного пластичного деформування і руйнування оброблюваного матеріалу. У цьому випадку, згідно [14, 15] результуючий сигнал АЕ можна навести у вигляді

$$U_p(t) = \sum_j U_d(t-t_j) + \sum_l U_r(t-t_l), \quad (1)$$

де  $t_j, t_i$  — моменти часу появи імпульсних формованих сигналів АЕ ( $U_d$  і  $U_T$ ) при протіканні пластичної деформації в певному об'ємі оброблюваного матеріалу і руйнуванні його певної площі;  $t$  — поточний час.

При цьому сигнали  $U_d$  й  $U_T$  описуються співвідношеннями

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

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

де  $u_0 = a_0 M \frac{v_D}{\ell} \delta_D$  —  $a_0$  — амплітудне значення одиночного імпульсу збурювання, утвореного одиночною рухливою дислокацією;  $\delta_D$  — середня тривалість одиночного імпульсу збурювання;  $v_D$  — швидкість руху дислокації;  $\ell$  — відстань, яку проходить дислокація при своєму русі;  $M, B$  — параметри, які залежать від фізико-механічних характеристик матеріалу (характеризують розподіл щільності рухливих дислокацій від деформації для певного об'єму матеріалу);  $\alpha$  — швидкість навантаження (деформування);  $U_0 = N_0 c k$ ;  $N_0$  — загальне число мікрооб'єгів, що руйнуються, у певній площі;  $k$  — коефіцієнт пропорційності;  $c, b$  — коефіцієнти, які залежать від фізико-механічних характеристик матеріалу за міцністю (характеризують розподіл елементарних об'єгів за міцністю, що руйнуються).

За наявності руйнування оброблюючого інструменту, тобто процесу, що є джерелом акустичного випромінювання, формований результуючий сигнал АЕ при механічній обробці матеріалів точінням можна навести у вигляді

$$U_p(t) = \sum_j U_d(t-t_j) + \sum_i U_T(t-t_i) + \sum_k U_{km}(t-t_k), \quad (4)$$

де  $U_p, U_d, U_T, U_{km}$  — відповідно результуючий сигнал АЕ та імпульсні формовані сигнали АЕ під час протікання пластичної деформації та руйнування оброблюваного матеріалу, а також формований імпульсний сигнал АЕ при руйнуванні оброблюючого матеріалу;  $t_j, t_i, t_k$  — моменти часу появи сигналів АЕ  $U_d, U_T$  і  $U_{km}$  відповідно.

Якщо як оброблюючий матеріал використовується композиційний матеріал (КМ), то вираз для імпульсного сигналу АЕ, формованого при його руйнуванні, згідно з [19] має вигляд

$$U_{km}(t) = \frac{1}{\tau_0} u_1 \alpha t e^{-\chi(t_0-t)} - \frac{1}{e^{\tau_0 \chi}} (e^{-\chi(t_0-t)} - e^{\chi t_0}), \quad (5)$$

де  $\tau_0$  — параметр, який за величиною збігається з періодом теплових (власних) коливань атомів ґратки твердого тіла;  $\chi = \frac{\gamma \alpha}{kT}$ ;  $t_0 = \frac{U_1}{\gamma \alpha}$ ;  $U_1$  — початкова енергія активації процесу руйнування;  $k$  — стала Больцмана;  $T$  — температура;  $\gamma$  — структурно чутливий коефіцієнт;  $\alpha$  — швидкість навантаження матеріалу;  $u_1 = N_1 \beta \delta_1$  — максимально можливий зсув при миттєвому руйнуванні  $N_1$  елементів КМ (визначає площу руйнування);  $N_1$  — початкова кількість елементів КМ, які руйнуються;  $\beta$  — стала;  $\delta_1$  — середня тривалість одиночного імпульсу збурювання під час руйнування одиночного елемента КМ.

Оскільки процеси руйнування і деформування оброблюючого матеріалу, згідно з існуючими уявленнями, відбуваються послідовним чином, то поява сигналу  $U_d$  передус появі сигналу  $U_T$ . Якщо вважати, що не відбувається руйнування оброблюючого матеріалу, тобто  $U_{km} = 0$ , то формований результуючий сигнал при деформуванні і руйнуванні оброблюваного матеріалу буде відповідати сигналам, розглянутим у працях [14; 15] для різних глибин і швидкостей різання.

Іншими словами, результуючий сигнал АЕ буде являти собою безперервний сигнал з деяким середнім рівнем амплітуди та величиною її розкиду. При цьому на формованому сигналі АЕ не буде спостерігатися яких-небудь особливостей у зміні його амплітуди.

Припустимо, що в процесі механічної обробки матеріалу точінням у деякий момент часу відбувається миттєве руйнування оброблюючого матеріалу, тобто руйнування КМ із заданою площею. У цьому випадку, складова  $U_{km}$  у виразі (4) не буде дорівнювати нулю, і буде вносити свій внесок у результуючий сигнал АЕ  $U_p$ . Відповідно до цього проведемо моделювання результуючого сигналу АЕ у відносних одиницях. При цьому вважатимемо, що обсяг оброблюваного матеріалу, який вступає в пластичну деформацію, і площа його руйнування у відносних одиницях дорівнюють одиниці.

Площу руйнування КМ у відносних одиницях будемо змінювати стосовно площі руйнування оброблюваного матеріалу.

Результати моделювання результуючих сигналів АЕ, згідно з (4), будемо наводити у вигляді графічних залежностей зміни їх амплітуди в часі. Виконуючи розрахунки  $U_p$  усі параметри, які входять у вираз для імпульсних сигналів (2), (3) і (5), приведемо до безрозмірних величин, а час буде наведено у відносних одиницях.

У процесі проведення розрахунків сигналу АЕ  $\tilde{U}_{km}$  час буде нормований на  $t_0$ , а параметр  $\chi$  на  $\frac{\gamma}{kT}$ . За таких умов  $\tilde{\chi} = \tilde{\alpha}$ . Значення параметрів  $b$ ,  $B$  і  $\tilde{\alpha}$  для оброблюваного матеріалу оберемо рівними:  $b = 15$ ;  $B = 10$ ;  $\tilde{\alpha} = 150$ . Значення параметрів  $\tau_0$ ,  $\tilde{\chi}$  і  $(1/\tau_0 \tilde{\chi})$  мають дорівнювати:  $\tau_0 = 1\ 000\ 000$ ;  $\tilde{\chi} = 150$ ;  $(1/\tau_0 \tilde{\chi}) = 666\ 666$ .

Площу руйнування КМ позначимо як  $D_{km}$ . Значення  $\tilde{D}_{km}$  стосовно площі руйнування оброблюваного матеріалу у відносних одиницях мають дорівнювати: 0,1; 0,2; 0,5; 0,7. При цьому час руйнування КМ від початку процесу механічної обробки матеріалу у відносних величинах буде становити 0,4.

Проміжки часу між появою імпульсних сигналів  $U_d$  і  $U_T$  у відносних величинах задавалися у вигляді  $\Delta \tilde{t}_y = 0,00175 + \tilde{\delta}$ , де значення  $\tilde{\delta}$  змінювалося в діапазоні величин від 0,0 до 0,0003 довільним чином.

Вибір значень параметрів  $b$  і  $B$  був обумовлений таким. Вважатимемо, що оброблюваний матеріал характеризується малою неоднорідністю своїх властивостей. Це означає, що для матеріалу із заданими фізико-механічними характеристиками елементарні об'єми, що руйнуються, згідно з моделлю (3), мають малий розкид за міцністю. За таких умов, параметр  $b$  завжди більше одиниці, тобто  $b \gg 1$ .

Водночас величина деформації при пластичному руйнуванні матеріалу значно більша, ніж при утворенні тріщини. Тому взяли  $B < b$ . Співвідношення величин  $\chi$  і  $1/\chi\tau_0$  вибиралися виходячи з того, що період власних коливань атомів твердого тіла значно менше часу розвитку процесу руйнування, тобто  $(1/\chi\tau_0) \gg \chi$ .

Результати проведеного моделювання результуючих сигналів АЕ, згідно з обраними умовами, показано на рис. 1.

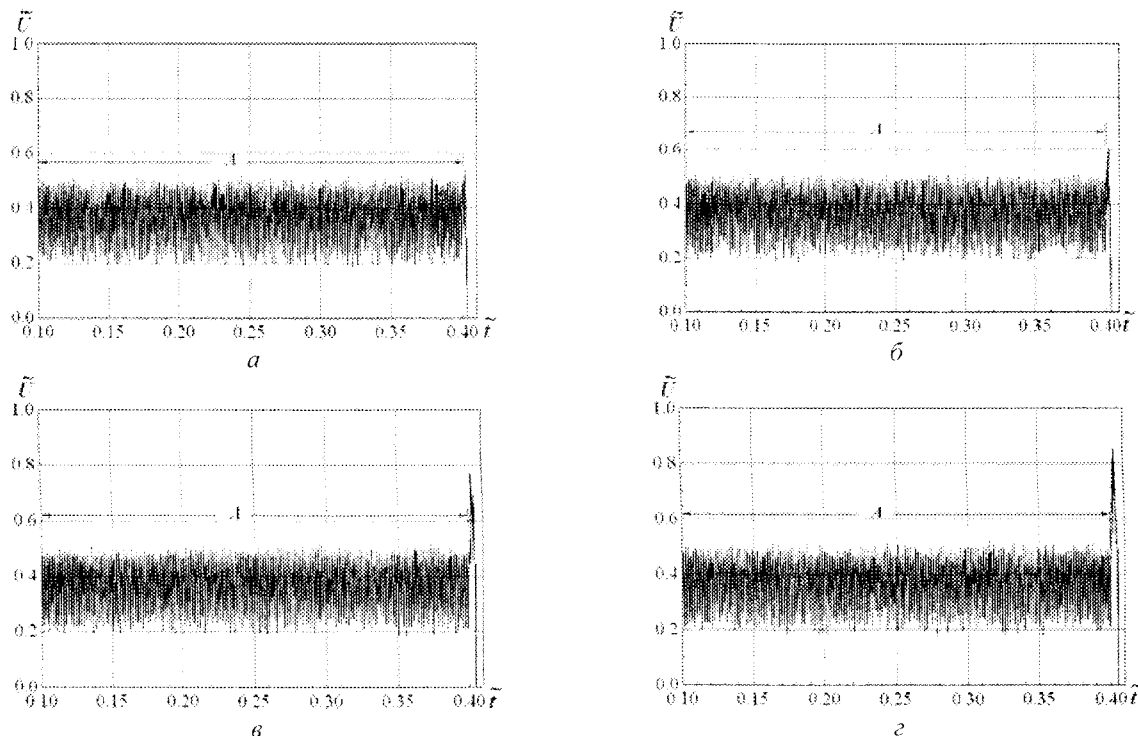


Рис. 1. Моделльні результуючі сигнали акустичної емісії, згідно з (4).

під час механічної обробки матеріалу точінням. Параметри моделювання: для формованих сигналів при деформуванні та руйнуванні оброблюваного матеріалу —  $\tilde{\alpha} = 150$ ,  $b = 15$ ,  $B = 10$ , проміжок часу між появою сигналів АЕ  $U_d$ ,  $U_T$  —  $\Delta \tilde{t}_y = 0,00175 + \tilde{\delta}$ , значення  $\tilde{\delta}$  змінювалося довільним чином

у діапазоні величин від 0,0 до 0,0003, об'єм оброблюваного матеріалу, який вступає в пластичну деформацію, і площа його руйнування у відносних одиницях рівні 1; для сигналу АЕ від руйнування композиційного матеріалу —  $\tau_0 = 1000000$ ;  $\tilde{\chi} = 150$ ;  $(1/\tau_0 \tilde{\chi}) = 666666$ , площа миттєвого руйнування композиційного матеріалу у відносних величинах:  $a = 0,1$ ;  $b = 0,2$ ;  $v = 0,5$ ;  $z = 0,7$ .

Час миттєвого руйнування композиційного матеріалу у відносних величинах становив 0,4

Результати проведеного моделювання (рис. 1) показують, що в процесі механічної обробки матеріалів точінням за відсутності руйнування оброблюючого матеріалу (КМ) формований результуючий сигнал АЕ являє собою безперервний сигнал (рис. 1, ділянка А). Він характеризується деяким середнім рівнем амплітуди і величиною її розкиду.

Як показала обробка отриманих даних, на ділянці А (рис. 1), яка відповідає часу деформування і руйнування оброблюваного матеріалу без руйнування КМ, середній рівень амплітуди  $\tilde{U}_p$  результуючого сигналу АЕ становить у відносних величинах  $\tilde{U}_p = 0,3861$ . При цьому стандартне відхилення  $s_{\tilde{U}}$  і дисперсія  $s_{\tilde{U}}^2$  середнього рівня амплітуди дорівнюють:  $s_{\tilde{U}} = 0,08282$ ;  $s_{\tilde{U}}^2 = 0,00686$ .

У разі виникнення миттєвого руйнування КМ, як показують результати моделювання, на формованому результуючому сигналі АЕ спостерігається явно виражений викид амплітуди (рис. 1). Величина викиду амплітуди визначається площею руйнування КМ.

Згідно з результатами моделювання, при значенні  $\tilde{D}_{km} = 0,1$  амплітуда викиду  $\tilde{U}_B$  у відносних одиницях становить  $\tilde{U}_B = 0,5474$ .

У разі зростання площі руйнування в два рази, тобто з  $\tilde{D}_{km} = 0,1$  до  $\tilde{D}_{km} = 0,2$ , амплітуда викиду  $\tilde{U}_B$  зростає в 1,1 разу.

Якщо площа руйнування збільшується в п'ять разів, тобто з  $\tilde{D}_{km} = 0,1$  до  $\tilde{D}_{km} = 0,5$ , то амплітуда викиду  $\tilde{U}_B$  зростає в 1,41 разу, а при збільшенні площі руйнування в сім разів, тобто з  $\tilde{D}_{km} = 0,1$  до  $\tilde{D}_{km} = 0,7$  амплітуда викиду  $\tilde{U}_B$  зростає в 1,57 разу.

Як показують результати моделювання, не залежно від часу миттєвого руйнування КМ величина викиду амплітуди результуючого сигналу АЕ залежить від площі руйнування.

Дійсно, згідно з отриманими даними, для площі руйнування КМ  $\tilde{D}_{km} = 0,7$  при часі руйнування КМ 0,4 і 0,45 амплітуда викиду результуючого сигналу АЕ, відповідно до рис. 1, з і рис. 2, у відносних одиницях не змінюється і становить  $\tilde{U}_B = 0,859$ .

З рис. 1 також видно, що при зменшенні площі миттєвого руйнування КМ відбувається поступове зменшення величини амплітуди викиду результуючого сигналу АЕ.

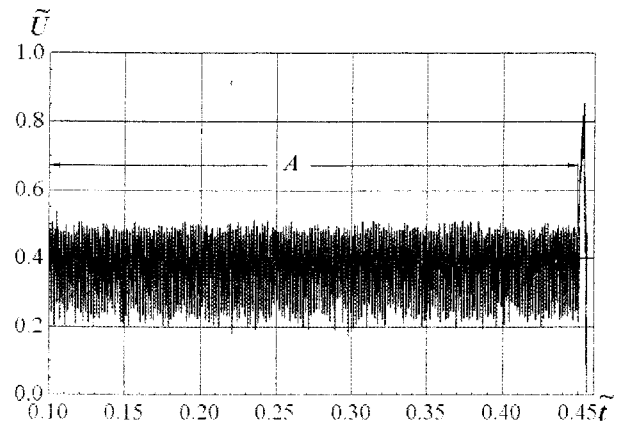


Рис. 2. Модельний результуючий сигнал акустичної емісії, згідно з (4), при механічній обробці матеріалу точінням. Параметри моделювання: для формованих сигналів при деформуванні та руйнуванні оброблюваного матеріалу —  $\tilde{\alpha} = 150$ ,  $b = 15$ ,  $B = 10$ , проміжок часу між появою сигналів АЕ  $U_d$ ,

$U_T - \Delta\tilde{t}_{ij} = 0,00175 + \tilde{\delta}$ , значення  $\tilde{\delta}$  змінювалося

довільним чином у діапазоні величин від 0,0 до 0,0003, об'єм оброблюваного матеріалу, який вступає в пластичну деформацію, і площа його руйнування у відносних одиницях дорівнює 1;

для сигналу АЕ від руйнування композиційного матеріалу —  $\tau_0 = 1000000$ ;  $\tilde{\chi} = 150$ ;  $(1/\tau_0 \tilde{\chi}) = 666666$ .

площа миттєвого руйнування композиційного матеріалу у відносних величинах рівна 0,7.

Час миттєвого руйнування композиційного матеріалу у відносних величинах становив 0,45

Як показали результати моделювання, при площі руйнування КМ, величина якої становить менше ніж 6 % від площі руйнування оброблюваного матеріалу, на результуючому сигналі АЕ практично не спостерігається викиду амплітуди.

На рис. 3 показано результат моделювання результуючого сигналу АЕ за умов, які використані для побудови графіків рис. 1. Однак площа миттєвого руйнування КМ, у цьому випадку, становила  $\tilde{D}_{km} = 0,05$  (5 % від площі руйнування оброблюваного матеріалу).

З рис. 3 видно, що на результуючому сигналі АЕ в момент часу миттєвого руйнування КМ (час руйнування у відносних одиницях дорівнює 0,4) не спостерігається викиду амплітуди на результуючому сигналі.

При цьому числові значення середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ, його стандартного відхилення і дисперсії зберігаються такими ж, як і у випадку відсутності руйнування КМ.

Як показують результати розрахунків, відсутність викиду на результуючому сигналі АЕ не спостерігається при площах руйнування КМ < 6 % від площі руйнування оброблюваного матеріалу.

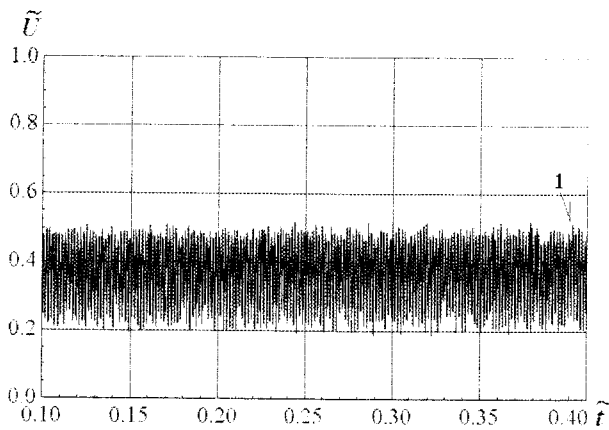


Рис. 3. Модельний результуючий сигнал акустичної емісії, згідно з (4), при механічній обробці матеріалу точінням.

Параметри моделювання: для формованих сигналів під час деформування та руйнування оброблюваного матеріалу —  $\tilde{\alpha} = 150$ ,  $b = 15$ ,  $B = 10$ , проміжок часу між появою сигналів АЕ

$$U_d, U_T — \Delta \tilde{t}_{ij} = 0,00175 + \tilde{\delta}, \text{ значення } \tilde{\delta}$$

змінювалося довільним чином у діапазоні величин від 0,0 до 0,0003, об'єм оброблюваного матеріалу, який вступає в пластичну деформацію, і площа його руйнування у відносних одиницях

дорівнюють 1; для сигналу АЕ  $U_{km}$

від руйнування композиційного матеріалу —

$$\tau_0 = 1000000; \tilde{\chi} = 150; (1/\tau_0 \tilde{\chi}) = 666666,$$

площа миттєвого руйнування композиційного матеріалу у відносних величинах 0,05.

Час миттєвого руйнування композиційного матеріалу у відносних величинах 0,4

Однак при площах руйнування КМ  $> 6\%$  від площі руйнування оброблюваного матеріалу на результуючому сигналі АЕ відбувається поступова поява явно вираженого викиду амплітуди.

На рис. 4 показано графік залежності відсоткової величини амплітуди імпульсного сигналу АЕ  $\tilde{U}_{km}$  від руйнування КМ стосовно середнього рівня амплітуди  $\tilde{U}_p$  результуючого сигналу АЕ,

тобто  $\Delta \tilde{U}_{km} = \frac{\tilde{U}_{km}}{\tilde{U}_p} \%$  для умов моделювання,

обраних під час побудови графіків рис. 1, залежно від відсоткової величини площі руйнування КМ ( $\tilde{D}_{km}$ ) стосовно площі  $\tilde{D}_T$  руйнування оброблюваного матеріалу, тобто  $\Delta \tilde{D}_{km} = \frac{\tilde{D}_{km}}{\tilde{D}_T} \%$ .

Аналіз залежності, показаної на рис. 4, показав, що вона добре описується таким виразом

$$\Delta \tilde{U}_{km} = A + B \Delta \tilde{D}_{km}. \quad (6)$$

Значення коефіцієнтів  $A$  і  $B$  апроксимуючого виразу (6) дорівнюють:  $A = -1,0388$ ;  $B = 1,6197$ .

При цьому ймовірність опису отриманої залежності становить  $p = 0,99987$  з дисперсією, що дорівнює 0,8565.

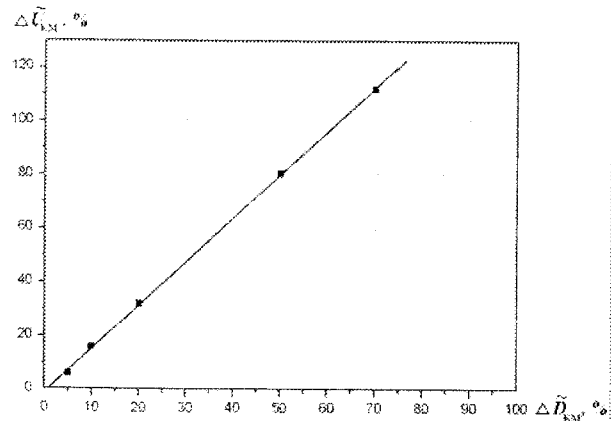


Рис. 4. Відсоткове відношення амплітуди імпульсного сигналу  $\tilde{U}_{km}$  від руйнування КМ відносно середнього рівня амплітуди  $\tilde{U}_p$  результуючого сигналу залежно від відсоткового відношення площі  $\tilde{D}_{km}$  руйнування КМ щодо площі  $\tilde{D}_T$  руйнування оброблюваного матеріалу

Відсутність викиду амплітуди на результуючому сигналі АЕ при малих площах руйнування КМ імовірно обумовлене такими умовами. Як показали результати розрахунків, при площах руйнування КМ  $< 6\%$  від площі руйнування оброблюваного матеріалу, амплітуда формованого імпульсного сигналу АЕ  $U_{km}$  має значення у відносних одиницях  $< 0,024$ . Величина такої амплітуди відносно середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ за відсутності руйнування КМ не перевищує  $6\%$  (рис. 4). З урахуванням стандартного відхилення середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ, внесок амплітуди імпульсного сигналу АЕ від руйнування КМ у результуючий сигнал є мінімальним, що не призводить до появи викиду на амплітуді результуючого сигналу АЕ.

## Висновки

Проведене моделювання формованих сигналів АЕ під час деформування і руйнування оброблюваного й оброблюючого матеріалу, як такий розглядався КМ. Моделювання проводилося за умови миттєвого руйнування КМ у певні моменти часу процесу механічної обробки матеріалу точінням.

Показано, що за відсутності руйнування КМ формований результуючий сигнал АЕ від деформування і руйнування оброблюваного матеріалу являє собою неперервний сигнал з деяким середнім рівнем амплітуди і величиною її розки-

ду. Миттєве руйнування КМ призводить до появи викиду амплітуди на результуючому сигналі АЕ. Викид амплітуди є явно вираженим. Показано, що момент часу появи викиду амплітуди відповідає моменту часу миттєвого руйнування КМ. При цьому величина викиду амплітуди на результуючому сигналі АЕ залежить від площі руйнування КМ. Зі зростанням площі руйнування КМ відбувається збільшення викиду амплітуди. Показано, що миттєве руйнування КМ із площею менше 6 % від площі руйнування оброблюваного матеріалу не приводить до появи викиду на результуючому сигналі АЕ.

Це обумовлене тим, що при таких площах руйнування КМ, формований імпульсний сигнал АЕ по амплітуді не перевищує 6 % від середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ, і практично не вносить внесок у результуючий сигнал. Водночас, інтерес становить дослідження впливу на результуючий сигнал поступового руйнування КМ із урахуванням зменшення глибини різання оброблюваного матеріалу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Иванов В. И. Акусто-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений / В. И. Иванов, В. М. Белов. — М.: Машиностроение, 1981. — 184 с.
2. Свириденко А. И. Акустические и электрические методы в триботехнике / А. И. Свириденко, Н. К. Мышкин, Т. Ф. Калмыков, О. В. Холодилов. — Минск: Наука и техника, 1987. — 280 с.
3. Бухало О. П. Применение, воспроизведение и сертификация импульсной модели стохастического сигнала // Измерительная техника. — № 6, 1997. — С. 24–44.
4. Lei X., Kusunose K. Quasi-static fault growth and cracking in homogeneous brittle rock under triaxial compressing using acoustic emission monitoring // J. of Geophys. Research. — V. 105, № B3, 2000. — P. 6127–6139.
5. Farrelly F. A. Statistical properties of acoustic emission signals from metal cutting processes / F. A. Farrelly, A. Petri, L. Pitolli, G. Pontualeb, A. Tagliani and P. L. Novi Inverardi // J. Acoust. Soc. Am. — 2004. — V. 116, No. 2. — P. 981–986.
6. Belgassim O. Tool Failure Detection Based on Statistical Analysis of Metal Cutting Acoustic Emission Signals / O. Belgassim, K. Jemielniak // World Academy of Science, Engineering and Technology. — 2011. — V. 74. — P. 551–558.
7. Lan, M. S. Acoustic emission and machining — process analysis and control / M. S. Lan, D. A. Dornfeld // Adv. Mfg Process., 1986. 1, 1–21.
8. Teti R. Modeling and experimental analysis of acoustic emission from metal cutting / R. Teti, D. A. Dornfeld // ASME J. of Eng. for Indu. — 1989. — V. 111. — P. 229–237.
9. Rangwala, S. and Dornfeld, D. A. A study of acoustic emission generated during orthogonal metal cutting — 1: energy analysis // Int. J. Mech. Sci. — 1991. — V. 33. — P. 471–487.
10. Saini, D. P. A quantitative model of acoustic emission in orthogonal cutting operations / D. P. Saini, Y. J. Park // J. Mater. Process. Technol., 1996, 58, 343–350.
11. 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. — V. 118. — P. 199–207.
12. Blum, T. and Inasaki, I. A study on acoustic emission from the orthogonal cutting process / T. Blum, I. A. Inasaki // J. Engng Ind. Trans. ASME, 1990, 12, 203–211.
13. Araujo, A. J. M. M. The generation mechanisms of acoustic emission in metal cutting / A. J. M. M. Araujo // PhD Thesis, University of Glamorgan, Wales, 2006. — 215 p.
14. Філоненко С. Ф. Акустична емісія при механічній обробці матеріалів точінням / С. Ф. Філоненко, Т. В. Німченко // Технологические системы. — 2011. — № 3 (56). — С. 50–56
15. Філоненко С. Ф. Акустическая эмиссия при изменении скорости обработки материалов точением / С. Ф. Філоненко, Т. В. Німченко, Т. Н. Кошцкая // Технологические системы. — 2011. — № 4 (57). — С. 80–88.
16. Ren Q. Application of Type-2 fuzzy estimation on uncertainty in machining: An approach on acoustic emission during turning process / Q. Ren, L. Baron, M. Balazinski // NAFIPS 2009: Fuzzy Information Processing Society, Annual Meeting of the North American (14–17 June 2009, Cincinnati, OH, USA). — P. 1–6.
17. Zaghbani I. Evaluation of sustainability of mould steels based on machinability data / I. Zaghbani, V. Songmene and G. Kientzy // Int. J. Machining and Machinability of Materials. — 2010. — V. 7. — No 1–2. — P. 58–81.
18. Аршинов В. А. Резание металлов и режущий инструмент / А. В. Аршинов. — М.: Машиностроение, 1976. — 400 с.
19. Філоненко С. Ф. Модель формирования сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционных материалов / С. Ф. Філоненко, В. М. Калита, Т. В. Німченко // Технологические системы, 2009. — № 2(46). — С. 17–25.