

Проведено моделювання акустичного випромінювання при зносі обробного інструменту з композиційного матеріалу. Показано, що при контрольованій глибині різання знос обробного інструменту приводить до зростання амплітудних параметрів акустичної емісії. Визначено, що при зносі обробного інструменту збільшення середнього рівня амплітуди сигналу акустичної емісії випереджає збільшення його стандартного відхилення і дисперсії

Ключові слова: акустична емісія, композиційний матеріал, амплітуда сигналу, механічна обробка, статистичні характеристики, глибина різання

Проведено моделирование акустического излучения при износе обрабатываемого инструмента из композиционного материала. Показано, что при контролируемой глубине резания износ обрабатываемого инструмента приводит к возрастанию амплитудных параметров акустической эмиссии. Определено, что при износе обрабатываемого инструмента увеличение среднего уровня амплитуды сигнала акустической эмиссии опережает увеличение его стандартного отклонения и дисперсии

Ключевые слова: акустическая эмиссия, композиционный материал, амплитуда сигнала, механическая обработка, статистические характеристики, глубина резания

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ГЛУБИНЕ РЕЗАНИЯ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ

С. Ф. Филоненко

Доктор технических наук,
профессор, директор
Институт информационно-
диагностических систем
Национальный авиационный университет
пр. Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058
E-mail: fils0101@gmail.com

1. Введение

Одним из методов исследования процессов механической обработки композиционных материалов (КМ) является метод акустической эмиссии (АЭ). Исследования охватывают широкий круг вопросов, которые касаются не только анализа влияния технологических параметров механической обработки КМ, но и влияния износа режущего инструмента на АЭ.

Важной проблемой является проблема мониторинга состояния (износа) режущего инструмента. Результаты исследований [1–4] показывают сложный характер акустического излучения. Это обусловлено не только изменением условий взаимодействия пары материалов (обрабатываемый – обрабатывающий материалы), но и наличием большого числа влияющих факторов. Такими факторами являются параметры технологического процесса, а также физико-механические характеристики материалов.

С точки зрения учета влияния различных факторов на акустическое излучение, значение имеют теоретические исследования. Они базируются на моделях и моделировании акустического излучения при действии преобладающего фактора. Такие исследования позволяют получить не только закономерности изменения параметров акустического излучения, но и определить их чувствительность к влияющему фактору. Безусловно, что результаты таких исследований являются основой в решении проблемы разработки методов контроля и мониторинга технологических процессов механической

обработки материалов, включая и контроль износа режущего инструмента из КМ.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Исследования акустического излучения при механической обработке КМ показывают, что регистрируемые сигналы АЭ являются непрерывными сигналами [1–5]. При обработке таких сигналов основными анализируемыми параметром являются среднее или среднеквадратическое значение (СКЗ) амплитуды, их статистические характеристики и спектры.

Исследования сигналов АЭ проводят при нормальном и изношенном состоянии режущего инструмента. Так, в работе [1] показано, что износ режущего инструмента при точении композита не влияет на характер АЭ, а приводит к падению СКЗ амплитуды регистрируемого сигнала и величины его разброса. Подобные результаты получены в работе [2], т. е. износ и повреждение режущего инструмента приводит к падению СКЗ амплитуды сигнала АЭ и величины его разброса. При этом показано, что повреждение инструмента сопровождается падением амплитуд низкочастотной и высокочастотной составляющих в спектре регистрируемых сигналов АЭ. Уменьшение среднего значения амплитуды сигнала АЭ и его стандартного отклонения при увеличении износа режущего инструмента показано в работе [3]. При этом отмечено уменьшение и амплитуды основной несущей частоты

в спектре сигнала АЭ. В работе [6] исследована закономерность изменения накопленного значения СКЗ амплитуд регистрируемого сигнала АЭ при возрастании износа инструмента по задней грани. При этом показано, что с возрастанием его износа происходит падение скорости накопления СКЗ амплитуд сигналов АЭ, т. е. уменьшение величины СКЗ их амплитуд. В то же время, в работе [7] показано, что с возрастанием износа резца по задней грани практически не наблюдается изменений в среднем и СКЗ амплитуд АЭ, а также площади под огибающей регистрируемых сигналов. Однако при больших износах резца происходит падение скорости накопления значений анализируемых параметров АЭ. В работе [8] определено, что возрастание износа практически не влияет на СКЗ амплитуды регистрируемого сигнала АЭ.

Теоретические исследования АЭ при механической обработке КМ с изменением его физико-механических характеристик рассмотрены в работе [9]. Полученные результаты показали, что при механической обработке КМ формируются непрерывные сигналы АЭ с сильно изрезанной формой. При этом изменение значения влияющего фактора не приводит к изменению характера акустического излучения. Статистическая обработка данных моделирования показала влияние исследованного фактора на падение амплитудных параметров сигналов АЭ, а также их чувствительность.

Подходы, рассмотренные в [9], могут быть использованы для исследования АЭ при износе обрабатываемого инструмента из КМ с контролируемой глубиной механической обработки, что, несомненно, представляет научный и практический интерес.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является исследование влияния износа режущего инструмента из КМ на АЭ при механической обработке КМ с контролируемой глубиной резания.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- провести моделирование результирующих сигналов АЭ, формируемых в процессе механической обработки КМ с контролируемой глубиной резания, при износе обрабатываемого инструмента из КМ;

- провести статистическую обработку результатов моделирования с получением данных по амплитудным характеристикам АЭ без износа и с износом обрабатываемого инструмента из КМ при контролируемой глубине резания;

- определить влияние износа обрабатываемого инструмента из КМ на амплитудные характеристики АЭ.

4. Анализ влияния износа обрабатываемого инструмента из композиционного материала на амплитудные характеристики акустической эмиссии при контролируемой глубине резания

Будем рассматривать процесс механической обработки КМ при условиях, как и в работе [9], для случая преобладающего механического разрушения

его поверхностного слоя. Механическая обработка осуществляется инструментом из КМ. Будем считать, что технологические параметры механической обработки являются постоянными, а обрабатываемый и обрабатывающий КМ имеют заданные физико-механические характеристики. При обработке происходит последовательное разрушение элементарных площадок (S_T) поверхностного слоя КМ одинакового размера. Площадка S_T состоит из N_0 разрушаемых элементов КМ. При разрушении каждой площадки возникает одиночный импульсный сигнал АЭ. Для механической модели разрушения поверхностного слоя КМ импульсный сигнал АЭ, как и в работах [9] описывается выражением вида

$$U_j(t) = u_0 t \alpha v_0 e^{\alpha t} e^{-\frac{v_0}{\alpha} (e^{\alpha t} - 1)}, \tag{1}$$

где u_0 – максимально возможное упругое смещение, которое распространяется по материалу при мгновенном разрушении заданной площади КМ, состоящей из N_0 одиночных элементов; α – скорость нагружения; v_0, γ – постоянные, которые определяются свойствами КМ.

Также будем считать, что при механической обработке КМ происходит износ режущего инструмента из КМ. Для заданных условий механической обработки износ представляет собой последовательное разрушение элементарных площадок (S_z) обрабатываемого инструмента из КМ. Площадка S_z состоит из N_1 разрушаемых элементов КМ. При разрушении каждой площадки возникает одиночный импульсный сигнал АЭ. При износе обрабатываемого КМ примем модель импульсного сигнала, которая рассмотрена в работе [10]

$$U_i(t) = U_0 V_0 [\alpha t (1 - \alpha t) (1 - g \sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0 (1 - \alpha t_0) (1 - g \sqrt{\alpha t_0})] \times e^{R[\alpha t (1 - \alpha t) (1 - g \sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0 (1 - \alpha t_0) (1 - g \sqrt{\alpha t_0})]} \times -V_0 \int_{t_0}^t e^{R[\alpha t (1 - \alpha t) (1 - g \sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0 (1 - \alpha t_0) (1 - g \sqrt{\alpha t_0})]} dt, \tag{2}$$

где U_0 – максимально возможное смещение при мгновенном разрушении заданной площади КМ (S_z), состоящей из N_1 одиночных элементов; α – скорость нагружения КМ; V_0, R – постоянные, зависящие от характеристик КМ; t, t_0 – текущее время и время начала разрушения элементов КМ; g – коэффициент, зависящий от геометрических размеров элементов КМ.

При последовательном разрушении элементарных площадок S_T и S_z результирующий сигнал АЭ представим в виде

$$U_p(t) = \sum_j U_j(t - t_j) + \sum_i U_i(t - t_i), \tag{3}$$

где $t_j = j \Delta t_j \pm \delta_1, t_i = i \Delta t_i \pm \delta_2$ – моменты времени появления сигналов АЭ U_j и U_i , соответственно, при разрушении площадок обрабатываемого КМ и износе (разрушении) обрабатываемого КМ; j – номер разрушаемой площадки обрабатываемого КМ или номер формируемого импульсного сигнала АЭ $U_j (j=0, \dots, n)$; Δt_j – интервал времени между началом

формирования последующего импульсного сигнала АЭ U_j по отношению к предыдущему; δ_1 – случайная составляющая в моменте времени появления каждого последующего импульсного сигнала АЭ U_j , i – номер разрушаемой площадки обрабатываемого КМ или номер формируемого импульсного сигнала АЭ U_i ($i=0, \dots, m$); Δt_i – интервал времени между началом формирования последующего импульсного сигнала АЭ U_i по отношению к предыдущему; δ_2 – случайная составляющая в моменте времени появления каждого последующего импульсного сигнала АЭ U_i .

Согласно (3), с учетом (1), (2) проведем моделирование сигнала АЭ при следующих условиях. Положим, что на начальном этапе механической обработки КМ нет износа обрабатываемого инструмента. Износ начинается с некоторого момента времени t_0 . При этом площадь разрушения обрабатываемого КМ будет постоянной, т. е. глубина резания является управляемой. Так как u_0 и U_0 пропорциональны S_T и S_Z , то на начальном этапе моделирования при отсутствии износа значения u_0 и U_0 примем равными: $\tilde{u}_0=1, \tilde{U}_0=0$. При возникновении износа значения u_0 и U_0 будут равны: $\tilde{u}_0=1,0, \tilde{U}_0=0,1; \tilde{u}_0=1,0, \tilde{U}_0=0,2; \tilde{u}_0=1,0, \tilde{U}_0=0,3; \tilde{u}_0=1,0, \tilde{U}_0=0,4$.

При моделировании параметры в выражениях (1) и (2) приведем к безразмерным величинам, а время будет представлено в нормированных единицах. Положим, что дисперсность свойств обрабатываемого КМ меньше дисперсности свойств обрабатываемого КМ, т. е. $R > r$. Значения параметров v_0, r, V_0, R и α примем равными: $\tilde{v}_0=1000000; \tilde{r}=10000; \tilde{V}_0=1000000; \tilde{R}=14000; \tilde{\alpha}=10$. Для заданных значений параметров, исходя из длительности сигнала АЭ, согласно расчетам по выражению (1), интервал времени Δt_j примем равным: $\tilde{\Delta t}_j=0,0000015$. Значение $\tilde{\delta}_1$ будем изменять в диапазоне величин от 0 до 0,0000049 произвольным образом.

Время t_0 начала износа обрабатываемого КМ примем равным $\tilde{t}_0=0,0001$. Значение параметра g примем равным $\tilde{g}=0,1$. Согласно методике [10], значение напряжения начала разрушения ($\sigma_0 = \alpha t_0$) обрабатываемого КМ равно: $\tilde{\sigma}_0=0,0009958408846174917$. Для заданных значений параметров, исходя из длительности сигнала АЭ, согласно расчетам по выражению (2), интервал времени Δt_i примем равными: $\tilde{\Delta t}_i=0,0000015$. Значение $\tilde{\delta}_2$ будем изменять в диапазоне величин от 0 до 0,0000049 произвольным образом.

Расчеты изменения амплитуды результирующих сигналов АЭ во времени в нормированных единицах, для принятых условий моделирования, показаны на рис. 1. При построении графиков рис. 1 проводились

расчеты 5000 амплитуд результирующего сигнала для каждой пары значений u_0 и U_0 .

Результаты расчетов (рис. 1) показывают, что износ обрабатываемого инструмента из КМ не приводит к изменению характера акустического излучения. Сигналы АЭ являются непрерывными с сильно изрезанной формой. Однако увеличение износа инструмента при постоянной глубине резания сопровождается увеличением среднего уровня амплитуды сигналов АЭ и величины его разброса.

Действительно, как показала статистическая обработка данных, в случае отсутствия износа режущего инструмента средний уровень амплитуды (\tilde{U}), стандартное отклонение среднего уровня амплитуды ($s_{\tilde{U}}$) и дисперсия среднего уровня амплитуды ($s_{\tilde{U}}^2$) составляют: $\tilde{U}=5,04126; s_{\tilde{U}}=2,49876, s_{\tilde{U}}^2=6,2438$.

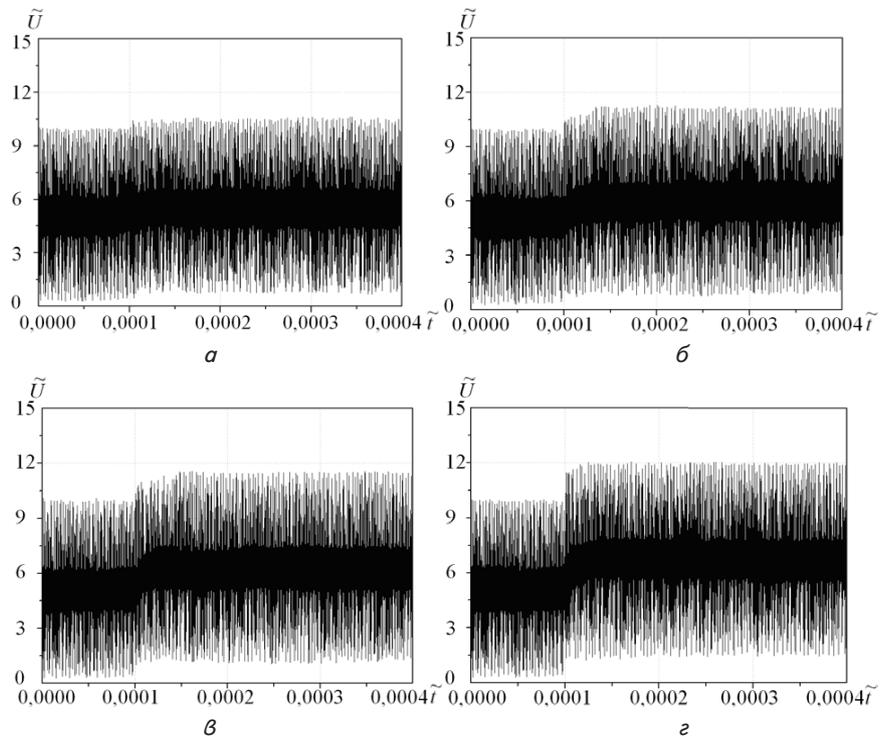


Рис. 1. Зависимости изменения амплитуд АЭ во времени в относительных единицах при механической обработке КМ инструментом из КМ. Интервалы времени: 0....0,0001 – отсутствие износа инструмента; 0,0001.....0,0004 – наличие износа инструмента. Значения параметров \tilde{u}_0 и \tilde{U}_0 ; на интервале времени 0....0,0001 – $\tilde{u}_0=1, \tilde{U}_0=0$; на интервале времени 0,0001.....0,0004 – а – $\tilde{u}_0=1, \tilde{U}_0=0,1$; б – $\tilde{u}_0=1, \tilde{U}_0=0,2$; в – $\tilde{u}_0=1, \tilde{U}_0=0,3$; г – $\tilde{u}_0=1, \tilde{U}_0=0,4$

Увеличение износа обрабатываемого инструмента до 0,1 (при постоянной глубине резания) приводит к увеличению среднего уровня амплитуды (\tilde{U}), его стандартного отклонения ($s_{\tilde{U}}$) и дисперсии ($s_{\tilde{U}}^2$), по отношению к их значениям без износа инструмента, соответственно: в 1,08651 раз, в 1,00473 раза и в 1,00947 раз. При возрастании износа до 0,2 значения $\tilde{U}, s_{\tilde{U}}$ и $s_{\tilde{U}}^2$ увеличиваются, соответственно: в 1,16756 раз, в 1,01983 раза и в 1,04006 раз. Если износ возрастает до 0,3, то значения $\tilde{U}, s_{\tilde{U}}$ и $s_{\tilde{U}}^2$ увеличиваются, соответственно: в 1,23461 раз, в 1,03802 раз и в 1,07749 раз. При возрастании износа до 0,4 значения $\tilde{U}, s_{\tilde{U}}$ и $s_{\tilde{U}}^2$ увеличиваются, соответственно: в 1,32202 раз, в 1,05704 раз и в 1,11733 раза.

5. Обсуждение результатов исследования влияния износа обрабатываемого инструмента из КМ на АЭ при контролируемой глубине резания

Проведенные исследования показывают, что при механической обработке КМ метод АЭ является чувствительным к износу режущего инструмента. При этом износ режущего инструмента не влияет на характер акустического излучения. Сигнал АЭ представляет собой непрерывный сигнал с сильно изрезанной формой. Исследования также показали, что если глубина резания является контролируемой, т. е. не изменяется с износом инструмента, то возрастание износа режущего инструмента должно приводить к возрастанию всех амплитудных параметров результирующего сигнала АЭ (среднего уровня амплитуды, его стандартного отклонения и дисперсии). Однако влияние износа обрабатываемого КМ на амплитудные параметры АЭ отличается от влияния других ранее исследованных факторов. Так [7, 8] при изменении свойств обрабатываемого КМ и величины их разброса наиболее чувствительным параметром является дисперсия среднего уровня амплитуды сигнала АЭ. При возрастании износа обрабатываемого КМ увеличение среднего уровня амплитуды сигнала АЭ опережает увеличение стандартного отклонения и дисперсии среднего уровня амплитуды.

Полученные результаты могут использоваться при разработке методов контроля и управления параметрами технологического процесса механической обработки КМ. Для обеспечения постоянства глубины резания с учетом износа обрабатываемого инструмента необходимо управлять подачей резца, что возможно

за счет анализ среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ. Безусловно, что дальнейшие исследования АЭ необходимо проводить при условии не контролируемой глубины резания, т. е. условия, когда износ резца сопровождается изменением глубины резания.

6. Выводы

1. Проведено моделирование результирующих сигналов АЭ при механической обработке КМ для случая износа обрабатываемого КМ и контролируемой глубиной резания, т.е. постоянстве глубины резания. Показано, что износ обрабатываемого инструмента не влияет на характер акустического излучения.

2. Для оценки влияния износа обрабатываемого инструмента на амплитудные параметры сигналов АЭ выполнена статистическая обработка результатов моделирования. При этом определены значения среднего уровня амплитуды, его стандартного отклонения и дисперсия при отсутствии и наличии износа обрабатываемого инструмента из КМ.

3. Проведены расчеты возрастания амплитудных параметров сигналов АЭ при увеличении износа обрабатываемого инструмента, по отношению к их значениям при отсутствии износа. Определено, что при возрастании износа обрабатываемого инструмента из КМ увеличение среднего уровня амплитуды сигнала АЭ опережает увеличение стандартного отклонения и дисперсии среднего уровня амплитуды на амплитудные характеристики АЭ.

Литература

1. Qin, F. Delamination wear of nano-diamond coated cutting tools in composite machining [Text] / F. Qin, J. Hu, Y. K. Chou, R. G. Thompson // *Wear*. – 2009. – Vol. 267, Issue 5-8. – P. 991–995. doi: 10.1016/j.wear.2008.12.065
2. Lu, P. An investigation into interface behavior and delamination wear for diamond-coated cutting tools [Text] / P. Lu. – Alabama, 2013. – 155 p.
3. Fadare, D. A. Influence of cutting parameters and tool wear on acoustic emission signal in high-speed turning of Ti–6Al–4V Alloy [Text] / D. A. Fadare, W. F. Sales, J. Bonney, E. O. Ezugwu // *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*. – 2012. – Vol. 3, Issue 3. – P. 547–555. Available at: <http://jeteeas.scholarlinkresearch.com/articles/Influence%20of%20Cutting%20Parameters%20and%20Tool%20Wear.pdf>
4. Ren, Q. High-order interval type-2 Takagi-Sugeno-Kang fuzzy logic system and its application in acoustic emission signal modeling in turning process [Text] / Q. Ren, M. Balazinski, L. Baron // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2012. – Vol. 63, Issue 9-12. – P. 1057–1063. doi: 10.1007/s00170-012-3956-z
5. Mukhopadhyay, C. K. Statistical Analysis of Acoustic Emission Signals Generated During Turning of a Metal Matrix Composite [Text] / C. K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, B. Raj, S. Venugopal // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2012. – Vol. 34, Issue 2. – P. 145–154. doi: 10.1590/s1678-58782012000200006
6. Giriraj, B. Prediction of tool wear in high speed machining using acoustic emission technique and neural network [Text] / B. Giriraj, V. P. Raja, R. Gandhinadhan, R. Ganeshkumar // *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*. – 2006. – Vol. 13. – P. 275–280.
7. Sundaram, S. Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques [Text] / S. Sundaram, P. Senthilkumar, A. Kumaravel, N. Manoharan // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2008. – Vol. 3, Issue 4. – P. 32–36. Available at: http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2008/jeas_0808_112.pdf
8. Prakash, M. Tool condition monitoring using multiple sensors approach in the microendmilling of aluminium alloy (AA1100) [Text] / M. Prakash, M. Kanthababu, S. Gowri, R. Balasubramaniam, J. R. Jegaraj // *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014)*. – Guwahati, Assam, India, 2014. – P. 394-1–394-6.
9. Филоненко, С. Ф. Влияние свойств обрабатываемого композиционного материала на акустическую эмиссию [Текст] / С. Ф. Филоненко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Т. 2, № 5 (74). – С. 60–64. doi: 10.15587/1729-4061.2015.40191
10. Filonenko, S. F. Acoustic emission in composite materials friction [Text] / S. F. Filonenko, O. P. Kosmach // *Aviation*. – 2014. – Vol. 18, Issue 2. – P. 57–63. doi: 10.3846/16487788.2014.926640