

УДК 620.179:534.6

Филоненко С. Ф.

Нацирнальный авиационный университет. Украина, г. Киев

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ УПРАВЛЯЕМОЙ ГЛУБИНЕ РЕЗАНИЯ КОМПОЗИТА И ИЗНОСЕ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Проведено исследование закономерностей изменения энергии акустической эмиссии при механической обработке композиционного материала для случая износа обрабатывающего инструмента из композиционного материала и управляемой глубине резания. Определены и описаны закономерности изменения энергетических параметров акустической эмиссии в зависимости от износа обрабатывающего инструмента. Получены данные по процентному приросту энергетических параметров акустической эмиссии при возрастании износа инструмента. Определена чувствительность энергетических параметров акустической эмиссии. Показано, что процентный прирост дисперсии среднего уровня энергии акустической эмиссии опережает процентный прирост среднего уровня энергии и его стандартного отклонения.

Ключевые слова: акустическая эмиссия; композиционный материал; энергия; сигнал; механическая обработка; статистические характеристики; износ; инструмент; закономерности.

Введение

Контроль и мониторинг состояния обрабатывающего инструмента является одной из проблем в обеспечении качества изделий из композиционных материалов (КМ). Особое значение данная проблема имеет в роботизированных технологических процессах с управлением через нейронные сети.

Для решения проблемы контроля и мониторинга состояния обрабатывающего инструмента используются различные методы, основанные на измерении сил резания, температуры, вибрации и других. В последние годы широкое использование имеет метод акустической эмиссии (АЭ). Широкое использование метода АЭ основано на его высокой чувствительности к процессам деформирования и разрушения поверхностных слоев материалов, включая и КМ. Это обеспечивает возможность получения информации о процессах, которые происходят на макро, микро и субмикро уровнях. Однако значительные объемы информации и сложный характер изменения акустического излучения на уровнях протекающих процессов приводит к проблеме его интерпретации. Проблема усложняется и действием различных факторов – технологических параметров механической обработки, физико-механических характеристик обрабатываемого и обрабатывающего КМ, а так же износом режущего инструмента. При таких условиях усложняется

задача определения информативности параметров акустического излучения и информативного параметра для контроля и мониторинга технологического процесса механической обработки КМ.

Теоретические исследования с определением закономерностей влияния различных факторов на параметры акустического излучения направлены на решение задачи интерпретации информации, определения чувствительности и информативности обрабатываемых параметров. Результаты исследований в данном направлении являются основой в разработке методов контроля и мониторинга технологических процессов. Одной из задач такого контроля и мониторинга является задача определения состояния обрабатывающего инструмента. Безусловно, исследование влияния износа режущего инструмента на закономерности изменения параметров акустической эмиссии представляет научный и практический интерес.

Постановка задач исследования

Целью работы является исследование закономерностей изменения энергетических параметров акустического излучения при механическом разрушении поверхностного слоя обрабатываемого КМ, с учетом износа обрабатывающего инструмента и контролируемой (управляемой) глубине резания. Для достижения цели были поставлены следующие

задачи: провести статистическую обработку данных моделирования с определением энергетических параметров акустического излучения при механическом разрушении поверхностного слоя обрабатываемого КМ, с учетом отсутствия износа и износе обрабатывающего инструмента из КМ и контролируемой глубине резания; провести описание закономерностей изменения энергетических параметров акустического излучения при механическом разрушении поверхностного слоя обрабатываемого КМ, с учетом отсутствия износа и износе обрабатывающего инструмента из КМ и контролируемой глубине резания; провести сравнение процентного прироста энергетических параметров АЭ при износе обрабатывающего инструмента из КМ и управляемой глубине резания.

Анализ источников и публикаций

Исследование процессов механической обработки материалов, включая и КМ, с использованием АЭ связано с анализом влияния технологических параметров на АЭ, а так же с контролем и мониторингом состояния (износа) обрабатывающего инструмента. Исследования охватывают все виды механической обработки КМ – точение, фрезерование, сверление, шлифование [1-5]. Результаты исследований показывают эффективность метода АЭ. Преимущества метода основаны на высокой чувствительности к процессам, которые протекают в структуре материала при его деформировании и разрушении. В тоже время, данные преимущества приводят к возникновению ряда проблем. Они связаны с интерпретацией значительных объемов информации и идентификацией процессов, которые протекают при механической обработке материалов.

Проводимые исследования показывают, что при механической обработке КМ на акустическую эмиссию влияют различные факторы. Данными факторами являются параметры технологического процесса, физико-механические характеристики обрабатываемого и обрабатывающего материалов, а так же износ обрабатывающего инструмента. Однако полученные закономерности изменения параметров АЭ имеют сложный и противоречивый характер. Это приводит к ограниченному использованию метода АЭ при контроле и мониторинге технологических процессов механической обработки КМ.

В работе [6], при исследовании процесса сверления показано, что АЭ обладает большей чувствительностью к возникновению расслоения КМ. Это позволяет использовать метод АЭ для оптимизации и контроля технологического процесса. При возникновении расслоения обрабатываемого КМ, как отмечено в работе [7], происходит изменение характера накопления амплитуд сигналов АЭ, а так

же появление выбросов среднеквадратического значения (СКЗ) АЭ. В работе [8] показано, что увеличение износа режущего инструмента при сверлении КМ приводит к возрастанию СКЗ амплитуд сигналов АЭ. Аналогичный результат получен и в работе [9] при точении композита. В тоже время, в работе [10] показано, что при механической обработке КМ на параметры сигналов АЭ (среднее значение и СКЗ амплитуды, стандартное отклонение и другие) влияют технологические факторы – скорость продольной подачи резца, скорость резания, глубина резания. При этом связь амплитудных параметров сигналов АЭ с износом обрабатывающего инструмента имеет сложный и не стабильный характер. Однако показано, что при возрастании износа инструмента, в общем случае, наблюдается падение СКЗ амплитуды сигнала АЭ. Такое падение СКЗ амплитуды сигналов АЭ при износе и повреждении обрабатывающего инструмента получено и в работе [11]. При этом наблюдается падение амплитуды низкочастотной и возрастание амплитуды высокочастотной составляющих в спектре сигналов АЭ. В тоже время, в работе [12] отмечено, что износ и повреждение обрабатывающего инструмента приводят к падению амплитуд низкочастотной и высокочастотной составляющих в спектре сигналов АЭ, скорость изменения амплитуд сигналов АЭ возрастает. Исследования, проведенные в работе [13], показали, что с увеличением износа обрабатывающего инструмента происходит возрастание дисперсии энергии сигналов АЭ. При этом определено, что возрастание износа приводит к уменьшению b -параметра распределения энергий сигналов АЭ.

Теоретические исследования амплитудных параметров сигналов АЭ при износе обрабатывающего инструмента и управляемой глубине резания проведены в работе [14]. Рассмотрена модель формирования результирующего сигнала АЭ, в основе которой лежит формирование импульсных сигналов АЭ при разрушении поверхностного слоя обрабатываемого КМ и износе обрабатывающего инструмента из КМ [15, 16]. Исследования показали, что при износе обрабатывающего инструмента и управляемой глубине резания не наблюдается изменений в характере акустического излучения. Однако при возрастании износа обрабатывающего инструмента из КМ увеличение среднего уровня амплитуды сигнала АЭ опережает увеличение стандартного отклонения и дисперсии среднего уровня амплитуды АЭ.

В тоже время, энергия сигнала АЭ является наиболее емким параметром. Исследование влияния износа режущего инструмента при управляемой глубине резания на закономерности изменения энергетических параметров АЭ, безусловно, представляет научный и практический интерес.

Результаты исследований

Для проведения исследований проведем моделирование энергии акустического излучения с последующей статистической обработкой данных. При моделировании примем условия, которые рассмотрены в работе [14]. Технологические параметры механической обработки являются постоянными величинами. В процессе механической обработки разрушение элементарных площадок поверхностного слоя обрабатываемого КМ происходит с преобладающим механическим разрушением [15] и сопровождается формированием энергии акустического. Износ режущего инструмента происходит при действии поперечной силы с разрушением элементарных площадок обрабатываемого КМ, согласно модели “пучка волокон” [16], и сопровождается излучением акустической энергии. Разрушение элементарных площадок обрабатываемого и обрабатываемого КМ происходит последовательным образом. Излучение акустической энергии имеет импульсный характер. С учетом условий [14] энергию результирующего сигнала АЭ можно представить в виде

$$E_p(t) = \sum_j E_{jM}(t-t_j) + \sum_i E_{iW}(t-t_i), \quad (1)$$

где $t_j = j\Delta t_j \pm \delta_M$, $t_i = i\Delta t_i \pm \delta_W$ – моменты времени излучения энергии E_{jM} и E_{iW} импульсных сигналов АЭ, соответственно, при разрушении площадок обрабатываемого КМ и разрушении обрабатываемого КМ; j – номер разрушаемой элементарной площадки обрабатываемого КМ или соответствующий номер формируемого импульсного сигнала АЭ ($j = 0, \dots, n$); Δt_j – интервал времени между началом формирования последующего импульсного сигнала АЭ по отношению к предыдущему при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ; δ_M – случайная составляющая в моменте времени появления каждого последующего импульсного сигнала АЭ при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ; i – номер разрушаемой элементарной площадки обрабатываемого КМ или соответствующий номер формируемого импульсного сигнала АЭ ($i = 0, \dots, m$); Δt_i – интервал времени между началом формирования последующего импульсного сигнала АЭ по отношению к предыдущему при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ; δ_W – случайная составляющая в моменте времени появления каждого последующего импульсного сигнала АЭ при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ; $E_{jM} \sim U_{jM}^2$; U_{jM} – амплитуда j -го сигнала АЭ при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ; $E_{iW} \sim U_{iW}^2$; U_{iW} – амплитуда i -го сигнала АЭ при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ.

Расчет энергии E_{jM} и E_{iW} импульсных сигналов АЭ будем проводить по выражениям

$$E_{jM}(t) = \Delta t_k \sum_{\ell} U_{jM\ell}^2(\ell \cdot \Delta t_k), \quad (2)$$

$$E_{iW}(t) = \Delta t_k \sum_{\ell} U_{iW\ell}^2(\ell \cdot \Delta t_k), \quad (3)$$

где $\ell = 0, \dots, k$ – номер расчетного значения амплитуды j -го и i -го сигналов АЭ на их длительности; Δt_k – интервал времени между расчетными значениями амплитуд и энергий j -го и i -го сигналов АЭ ($\Delta t_k = \text{const}$).

Выражения, которые описывают изменение амплитуды импульсных сигналов АЭ U_{jM} и U_{iW} , рассмотрены в работе [14]:

- при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ

$$U_j(t) = u_0 t \alpha v_0 e^{r\alpha t} e^{-\frac{v_0}{r\alpha}(e^{r\alpha t} - 1)}, \quad (4)$$

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 материала; v_0, r – постоянные, которые определяются свойствами КМ;

- при разрушении элементарных площадок обрабатываемого КМ

$$U_i(t) = U_0 V_0 \sigma e^{R\sigma} e^{-V_0 \int_{t_0}^t e^{R\sigma} dt}, \quad (5)$$

где U_0 – максимально возможное смещение при мгновенном разрушении заданной площади КМ, состоящей из N_1 одиночных элементов; α – скорость нагружения материала;

$$\sigma = \alpha t (1 - \alpha t) (1 - g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0 (1 - \alpha t_0) (1 - g\sqrt{\alpha t_0});$$

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.

Проведем моделирование, согласно (1), с учетом (2)...(5), при изменении износа обрабатываемого инструмента и управляемой глубине резания, а так же выполним анализ закономерностей изменения энергетических параметров акустического излучения. Условия моделирования примем такими же, как и в работе [14]. На начальном этапе отсутствует износ режущего инструмента, который возникает в некоторый момент времени t_0 . Параметры u_0 и U_0 в выражениях (4) и (5) пропорциональны площадям разрушения элементарных площадок обрабатываемого и обрабатываемого КМ. При отсутствии износа значения u_0 и U_0 в относительных единицах примем равными: $\tilde{u}_0 = 1, \tilde{U}_0 = 0$. При возникновении

износа и постоянной глубине резания значения u_0 и U_0 примем равными: $\tilde{u}_0=1,0$, $\tilde{U}_0=0,1$; $\tilde{u}_0=1,0$, $\tilde{U}_0=0,2$; $\tilde{u}_0=1,0$, $\tilde{U}_0=0,3$; $\tilde{u}_0=1,0$, $\tilde{U}_0=0,4$. Увеличение значения \tilde{U}_0 означает увеличение износа или площади разрушения обрабатываемого КМ. При моделировании параметры, которые входят в выражениях (4) и (5), приведем к безразмерным величинам. Время представим в относительных единицах. Положим, что $R > r$, т.е. дисперсность свойств обрабатываемого КМ меньше дисперсности свойств обрабатываемого КМ. Значения параметров v_0 , r , V_0 , R и α примем равными: $\tilde{v}_0=1000000$; $\tilde{r}=10000$; $\tilde{V}_0=1000000$; $\tilde{R}=14000$; $\tilde{\alpha}=10$. Исходя из длительности сигнала АЭ при разрушении обрабатываемого КМ интервал времени Δt_j примем равным $\tilde{\Delta t}_j=0,0000015$, а значение $\tilde{\delta}_M$ 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 $\tilde{g}=0,1$. Исходя из методики расчета [16] значение напряжения начала разрушения $\sigma_0 = \alpha t_0$ обрабатываемого КМ равно: $\tilde{\sigma}_0 = 0,0009958408846174917$. Исходя из длительности сигнала АЭ при разрушении обрабатываемого КМ интервал времени Δt_i примем равным $\tilde{\Delta t}_i=0,0000015$, а значение $\tilde{\delta}_w$ будем изменять в диапазоне величин от 0 до 0,0000049 произвольным образом. При моделировании проводились расчеты 5000 амплитуд и энергий сигналов АЭ для каждой пары значений параметров u_0 и U_0 , а величина Δt_k составляла $\tilde{\Delta t}_k=0,000002$.

Результаты статистической обработки данных моделирования приведены в табл. 1, где приняты следующие обозначения: \tilde{u}_0 – глубина резания в относительных единицах; \tilde{U}_0 – износ инструмента в относительных единицах; \tilde{E} – средний уровень энергии сигнала АЭ; $s_{\tilde{E}}$ – стандартное отклонение среднего уровня энергии сигнала АЭ; $s_{\tilde{E}}^2$ – дисперсия среднего уровня энергии сигнала АЭ.

В соответствии с табл. 1 на рис. 1 показаны зависимости изменения статистических энергетических параметров сигналов АЭ при увеличении износа инструмента и контролируемой глубине резания КМ.

Результаты проведенных исследований (рис. 1) показывают, что при увеличении износа обрабатываемого инструмента происходит возрастание статистических энергетических параметров акустического излучения. При этом средний уровень энергии акустического излучения, его стандартное отклонение и дисперсия с увеличением износа обрабатываемого инструмента имеют линейный характер возрастания.

Статистическая обработка данных с аппроксимацией зависимостей, приведенных на рис. 1, показала, что они хорошо описываются линейными функциями вида

$$\tilde{Z} = a + b\tilde{U}_0, \quad (6)$$

где \tilde{Z} – средний уровень энергии сигнала АЭ (\tilde{E}) или стандартное отклонение среднего уровня энергии сигнала АЭ ($s_{\tilde{E}}$) или дисперсия среднего уровня энергии сигнала АЭ ($s_{\tilde{E}}^2$); a и b – коэффициенты аппроксимирующего выражения.

Критерием выбора аппроксимирующих функций (6) для описания зависимостей изменения энергетических параметров сигналов АЭ, которые показаны на рис. 1, являлся минимум остаточной дисперсии.

Значения коэффициентов a и b аппроксимирующего выражения (6) составляют: для среднего уровня энергии сигнала АЭ – $a = 13,15357 \times 10^{-6}$; $b = 4,75449 \times 10^{-6}$; для стандартного отклонения среднего уровня энергии сигнала АЭ – $a = 2,63483 \times 10^{-6}$; $b = 2,40058 \times 10^{-6}$; для дисперсии среднего уровня энергии сигнала АЭ – $a = 6,83061 \times 10^{-12}$; $b = 1,49378 \times 10^{-11}$. При описании зависимостей рис. 1 выражением (6) коэффициенты корреляции R и остаточные стандартные отклонения SD равны: для среднего уровня энергии сигнала АЭ – $R = 0,99839$,

Таблица 1

Статистические энергетические параметры результирующего сигнала АЭ при возрастании износа режущего инструмента и управляемой глубине резания для механической модели разрушения поверхностного слоя

| \tilde{u}_0 | \tilde{U}_0 | \tilde{E} | $s_{\tilde{E}}$ | $s_{\tilde{E}}^2$ |
|---------------|---------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1,0 | 0,0 | $3,16565 \times 10^{-6}$ | $2,63437 \times 10^{-6}$ | $6,93991 \times 10^{-12}$ |
| 1,0 | 0,1 | $3,62995 \times 10^{-6}$ | $2,86609 \times 10^{-6}$ | $8,21448 \times 10^{-12}$ |
| 1,0 | 0,2 | $4,11365 \times 10^{-6}$ | $3,12574 \times 10^{-6}$ | $9,77022 \times 10^{-12}$ |
| 1,0 | 0,3 | $4,51045 \times 10^{-6}$ | $3,36161 \times 10^{-6}$ | $1,13004 \times 10^{-11}$ |
| 1,0 | 0,4 | $5,10265 \times 10^{-6}$ | $3,5869 \times 10^{-6}$ | $1,28659 \times 10^{-11}$ |

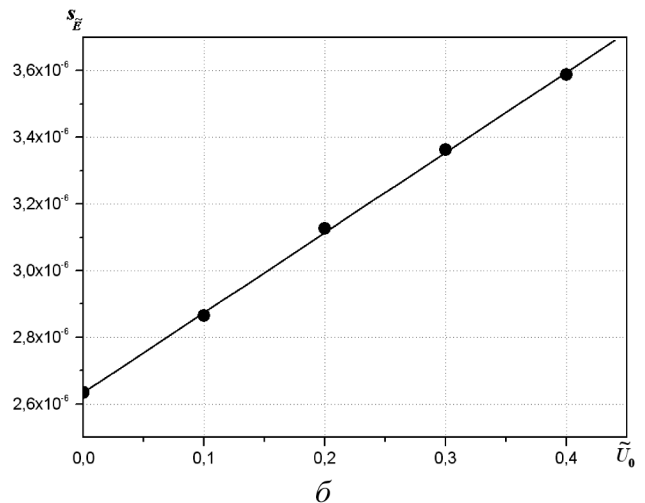
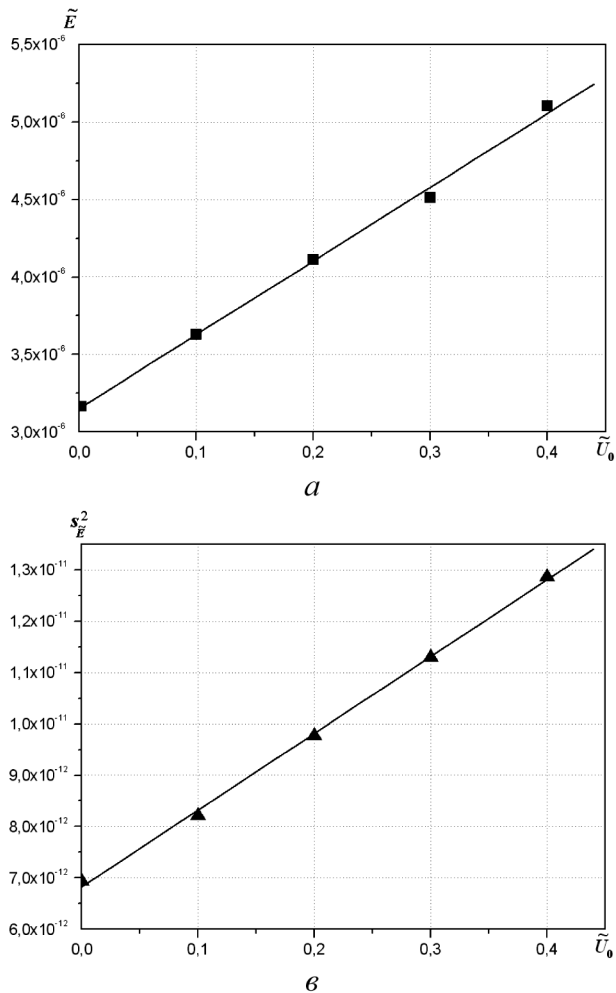


Рис. 1. Графики изменения среднего уровня энергии \tilde{E} (■) акустического излучения, его стандартного отклонения s_E (●) и дисперсии s_E^2 (▲) при механической обработке КМ для механической модели разрушения поверхностного слоя в зависимости от износа обрабатывающего инструмента и контролируемой глубине резания

$SD = 4,93001 \times 10^{-8}$; для стандартного отклонения среднего уровня энергии сигнала АЭ – $R = 0,99974$, $SD = 1,00705 \times 10^{-8}$; для дисперсии среднего уровня энергии сигнала АЭ – $R = 0,99933$, $SD = 1,00122 \times 10^{-13}$.

Рассмотрим чувствительность статистических энергетических параметров сигналов АЭ к увеличению износа обрабатывающего КМ при условии постоянства глубины резания. Проведем обработку данных (табл. 1) с определением процентного прироста энергетических параметров сигналов АЭ при увеличении износа инструмента, по отношению к их начальным значениям при отсутствии износа инструмента. Результаты проведенных расчетов в виде зависимостей изменения процентного прироста энергетических параметров АЭ показаны на рис. 2. На рис. 2. приняты следующие обозначения: $\Delta \tilde{Z} \%$ – процентный прирост среднего уровня энергии сигнала АЭ, его стандартного отклонения или дисперсии; \tilde{U}_0 – параметр, характеризующего увеличение износа обрабатывающего инструмента.

Из результатов проведенных исследований видно, что при механической обработке КМ для случая преобладающего механического разрушения его поверхностного слоя и управляемой (контролируемой) глубины резания увеличение износа

обрабатывающего инструмента должно приводить к возрастанию статистических энергетических параметров результирующих сигналов АЭ (табл. 1, рис. 1, рис. 2). При этом процентный прирост сред-

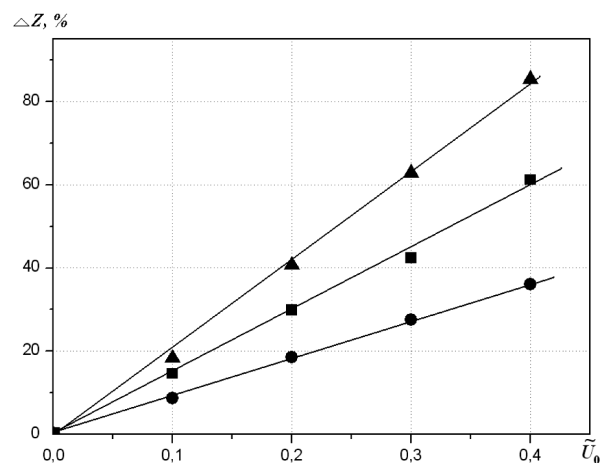


Рис. 2. Графики изменения процентного прироста среднего уровня энергии \tilde{E} (■) его стандартного отклонения s_E (●) и дисперсии s_E^2 (▲) при механической обработке КМ для механической модели разрушения поверхностного слоя в зависимости от износа обрабатывающего инструмента при управляемой глубине резания

него уровня энергии сигналов АЭ опережает процентный прирост стандартного отклонения среднего уровня энергии сигналов АЭ. В тоже время, процентный прирост дисперсии среднего уровня энергии сигналов АЭ опережает процентный прирост среднего уровня энергии сигналов АЭ и его стандартного отклонения. Так, при увеличении износа обрабатываемого инструмента от $\tilde{U}_0=0$ до $\tilde{U}_0=0,3$ процентный прирост дисперсии среднего уровня энергии сигналов АЭ опережает процентный прирост среднего уровня энергии сигналов АЭ и его стандартного отклонения, соответственно, в 1,479 раз и в 2,276 раз. При дальнейшем возрастании \tilde{U}_0 до $\tilde{U}_0=0,4$ процентный прирост дисперсии среднего уровня энергии сигналов АЭ опережает процентный прирост среднего уровня энергии сигналов АЭ и его стандартного отклонения, соответственно, в 1,396 раз и в 2,362 раза.

Проведенные исследования показывают, что наиболее чувствительным или информативным энергетическим параметром акустического излучения к возрастанию износа обрабатываемого инструмента при контролируемой глубине резания является дисперсия среднего уровня энергии сигналов АЭ.

Заключение

Проведены исследования закономерностей изменения акустической энергии при возрастании износа обрабатываемого инструмента, который возникает в процессе механической обработки КМ для случая преобладающего механического разрушения его поверхностного слоя с управляемой глубиной резания. По результатам моделирования энергии акустического излучения определены значения статистических энергетических параметров при отсутствии и износе обрабатываемого инструмента из КМ. Получены закономерности изменения среднего уровня энергии сигналов АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии при увеличении износа обрабатываемого инструмента. Показано, что с увеличением износа инструмента статистические энергетические параметры сигналов АЭ имеют линейный характер возрастания. Проведено математическое описание полученных закономерностей. Выполнена обработка данных с определением процентного прироста статистических энергетических параметров сигналов АЭ при увеличении износа обрабатываемого инструмента. Определено, что наибольшую чувствительность (информативность) к увеличению износа обрабатываемого инструмента при контролируемой глубине резания имеет дисперсия среднего уровня энергии сигналов АЭ - прирост дисперсии среднего уровня энергии сигналов АЭ опережает прирост среднего уровня энергии и его стандартного отклонения.

Результаты проведенных исследований показывают, что АЭ возможно использовать при разработке методов контроля и управления параметрами технологического процесса механической обработки КМ. В тоже время интерес представляет исследование закономерностей изменения параметров АЭ при износе обрабатываемого инструмента для случая не контролируемой (не управляемой) глубины резания.

Литература

- [1] Teti R. Advanced monitoring of machining operations/R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell, D. Dornfeld//CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2010. – Vol. 59. – P. 717–739.
- [2] Siddhpura A. A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process/A. Siddhpura, R. Paurobally//International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2013. – Vol. 65. – No. 1. – P. 371–393
- [3] Dutta S. Application of digital image processing in tool condition monitoring: A review/S. Dutta, S.K. Pal, S. Mukhopadhyay, R. Sen// CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2013. – Vol. 6. – P. 212–232
- [4] Rizal M. A Review of Sensor System and Application in Milling Process for Tool Condition Monitoring/ M. Rizal, J.A. Ghani, M.Z. Nuawi, C.H.C. Haron// Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 7. – No. 10. – P. 2083–2097.
- [5] Piljek P. Micromachining – review of literature from 1980 to 2010/ P. Piljek, Z. Keran, M. Math// Interdisciplinary Description of Complex Systems. – 2014. – Vol. 2. – No. 1. – P. 1–27.
- [6] Karimi N.Z. Effect of the drilling process on the compression behavior of glass/epoxy laminates/ N.Z. Karimi, H. Heidary, G. Minak, M. Ahmadi// Composite Structures. – 2013. – Vol. 98. – P. 59–68.
- [7] Sudha A. J. AE Waveform analysis of Delamination in GFRP Composite materials during drilling/ A. J. Sudha, B.S. Sampathkumar, C. A. Vijaya // International Journal of Engineering and Technology. – 2009. – Vol. 1. – No. 1. – P. 63–66.
- [8] Eatona M.J. Ensuring drill quality in composite materials using acoustic emission/M. J. Eatona, M. R. Pearson, C. Byrne, P. Pricketta, R. Pullina, K. M. Holforda// ECCM16 – 16th European conference on composite materials (Seville, Spain, 22–26 June 2014). – P. 1–8.
- [9] Olufayo O. A. Acoustic Emission Monitoring in Ultra-High Precision Machining of Rapidly Solidified Aluminium /O. A. Olufayo, K. Abou-El-Hossein// PROCEEDINGS International Conference on Competitive Manufacturing (Coma '13, 30 January – 1 February 2013 Stellenbosch, South Africa). – 2013. – P. 307–312/

- [10] Fadare D.A. Influence of cutting parameters and tool wear on acoustic emission signal in high-speed turning of Ti-6Al-4V Alloy/ D.A. Fadare, W.F. Sales, J. Bonney, E.O. Ezugwu// Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences. – 2012. – Vol. 3. – No 3. – P. 547–555.
- [11] Qin F. Delamination wear of nano-diamond coated cutting tools in composite machining/ F. Qin, J. Hu, Y.K. Chou, R.G. Thompson // Wear. – 2009. – Vol. 267. – P. 991–995.
- [12] Lu P. An investigation into interface behavior and delamination wear for diamond-coated cutting tools/ P. Lu //A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the department of mechanical engineering in the Graduate School of the University of Alabama. – 2013. – 155 p.
- [13] Mukhopadhyay C. K. Statistical analysis of acoustic emission signals generated during turning of a metal matrix composite/ C. K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, B. Raj, S. Venugopal //J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. and Eng. – 2012. – Vol. 34. – No. 2. – P. 145–154.
- [14] Филоненко С.Ф. Влияние износа режущего инструмента при контролируемой глубине резания на акустическую эмиссию / С.Ф. Филоненко// Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – No 6/9(78). – С. 47–50.
- [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.– No 4. – P. 95–103.
- [16] Filonenko S.F. Acoustic emission in composite materials friction/ S.F. Filonenko, A.P. Kosmach// Aviation/ – 2014. –Vol. 18. – No 2. – P. 57–63.

Filonenko S. F.

National Aviation University. Ukraine, Kiev

REGULARITY OF ACOUSTIC ENERGY RADIATION AT CONTROLLED CUTTING DEPTH OF COMPOSITE AND TREATING TOOL WEAR

The research of acoustic emission energy legitimacies change at composite material machining for a case of treating tool from composite material wear and controlled cutting depth is conducted. Are determined and described of acoustic emission energy parameters regularity change depending on the treating tool wear. The data of acoustic emission energy parameters percentage increment at ascending of tool wear are obtained. The sensitivity of acoustic emission energy parameters is determined. Is shown, that the acoustic emission energy average level dispersion percentage increment advances of energy average level percentage increment and its standard deviation.

Keywords: *acoustic emissions; composite material; energy, signal; machining; statistical characteristics; wear; tool; regularity.*

References

- [1] Teti R. Advanced monitoring of machining operations/R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell, D. Dornfeld//CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2010. – Vol. 59. – P. 717–739.
- [2] Siddhpura A. A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process/ A. Siddhpura, R. Paurobally//International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2013. – Vol. 65. – No. 1. – P. 371–393
- [3] Dutta S. Application of digital image processing in tool condition monitoring: A review/S. Dutta, S.K. Pal, S. Mukhopadhyay, R. Sen// CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2013. – Vol. 6. – P. 212–232
- [4] Rizal M. A Review of Sensor System and Application in Milling Process for Tool Condition Monitoring/ M. Rizal, J.A. Ghani, M.Z. Nuawi, C.H.C. Haron// Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 7. – No. 10. – P. 2083–2097.
- [5] Piljek P. Micromachining – review of literature from 1980 to 2010/ P. Piljek, Z. Keran, M. Math// Interdisciplinary Description of Complex Systems. – 2014. – Vol. 2. – No. 1. – P. 1–27.

- [6] Karimi N.Z. Effect of the drilling process on the compression behavior of glass/epoxy laminates/ N.Z. Karimi, H. Heidary, G. Minak, M. Ahmadi// Composite Structures. – 2013. – Vol. 98. – P. 59–68.
- [7] Sudha A. J. AE Waveform analysis of Delamination in GFRP Composite materials during drilling/ A. J. Sudha, B.S. Sampathkumar, C. A. Vijaya // International Journal of Engineering and Technology. – 2009. – Vol. 1. – No. 1. – P. 63–66.
- [8] Eatona M. J. Ensuring drill quality in composite materials using acoustic emission/M. J. Eatona, M. R. Pearson, C. Byrne, P. Prickett, R. Pullina, K. M. Holford// ECCM16 – 16th European conference on composite materials (Seville, Spain, 22–26 June 2014). – P. 1–8.
- [9] Olufayo O. A. Acoustic Emission Monitoring in Ultra-High Precision Machining of Rapidly Solidified Aluminium / O. A. Olufayo, K. Abou-El-Hossein// PROCEEDINGS International Conference on Competitive Manufacturing (Coma '13, 30 January – 1 February 2013 Stellenbosch, South Africa). – 2013. – P. 307–312.
- [10] Fadare D.A. Influence of cutting parameters and tool wear on acoustic emission signal in high-speed turning of Ti-6Al-4V Alloy/ D.A. Fadare, W.F. Sales, J. Bonney, E.O. Ezugwu// Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences. – 2012. – Vol. 3. – No 3. – P. 547–555.
- [11] Qin F. Delamination wear of nano-diamond coated cutting tools in composite machining/ F. Qin, J. Hu, Y.K. Chou, R.G. Thompson // Wear. – 2009. – Vol. 267. – P. 991–995.
- [12] Lu P. An investigation into interface behavior and delamination wear for diamond-coated cutting tools/ P. Lu //A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the department of mechanical engineering in the Graduate School of the University of Alabama. – 2013. – 155 p.
- [13] Mukhopadhyay C. K. Statistical analysis of acoustic emission signals generated during turning of a metal matrix composite/ C. K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, B. Raj, S. Venugopal //J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. and Eng. – 2012. – Vol. 34. – No. 2. – P. 145–154.
- [14] Filonenko S. F. Vlijanje iznosa rezhushhego instrumenta pri kontrolirujemoj glubine rezanija na akusticheskuju jemissiju/ S. F. Filonenko // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2015. – No 6/9(78). – C.47–50.
- [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.– No 4. – P. 95–103.
- [16] Filonenko S.F. Acoustic emission in composite materials friction/ S.F. Filonenko, A.P. Kosmach// Aviation/ – 2014. –Vol. 18. – No 2. – P. 57–63.