

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ–КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Башков О.В., д.т.н., профессор, начальник Центра

Коллективного Пользования «Новые материалы и технологии»

Муравьев В.И., д.т.н., профессор, главный научный консультант (vmuravyev@mail.ru)

Лончаков С.З., к.т.н., старший научный сотрудник

Фролов А.В., к.т.н., докторант

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

(681013, Россия, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27)

Аннотация. Предложены результаты теоретического и экспериментального исследования влияния концентрации напряжений на повреждаемость титановых сплавов. Исследовали образцы титановых сплавов ОТ4 (α -класс) и ВТЗ-1 ($\alpha + \beta$ -класс) с различными радиусами концентраторов напряжений. Оценено влияние концентрации напряжений на параметры акустической эмиссии при использовании образцов различных радиусов. Показаны графическая зависимость объема материала, вовлекаемого в деформацию, от распределения максимальных местных напряжений и диаграмма распределения основных параметров АЭ для образцов с различными радиусами концентраторов напряжений из сплавов ОТ4 и ВТЗ-1 в зависимости от номинального разрушающего напряжения. Приведены результаты теоретического и экспериментального исследований влияния концентрации напряжений α на повреждаемость титановых сплавов ОТ4 и ВТЗ-1. Результаты исследований могут быть использованы для разработки методик диагностирования конструкций с точки зрения определения наименее опасной формы концентратора напряжений.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, титановые сплавы, степень деформации, концентраторы напряжений, разрушающие напряжения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-12-912-918

Надежность инженерных сооружений и конструкций в большой степени определяется способностью противостоять повреждаемости при эксплуатационных нагрузках [1, 2]. Наличие концентраторов напряжений может оказывать катастрофическое влияние на прочность металлоконструкций.

Исследованиями [3 – 5] при использовании анализа акустико-эмиссионной информации на стадии упругой деформации установлена возможность прогнозирования предельных характеристик материала на примере образцов сплавов ОТ4 и ВТЗ-1, а именно, установлена зависимость между механическими характеристиками материала и параметрами акустической эмиссии (АЭ).

В настоящей работе приведены результаты теоретического и экспериментального исследований влияния концентрации напряжений α на повреждаемость титановых сплавов ОТ4 и ВТЗ-1.

Для оценки влияния концентрации напряжений на параметры АЭ была проведена серия экспериментов на образцах с концентраторами напряжений, на каждый эксперимент использовали по десять образцов с различными радиусами концентраторов напряжений. Исследовали образцы двух титановых сплавов ОТ4 (α -класс) и ВТЗ-1 ($\alpha + \beta$ -класс). Концентраторы напряжений выполняли в виде выточек по краям рабочей части образцов, радиусы этих концентраторов составляли

0,5, 2,0, 5,5 и 12,0 мм. Все эксперименты проводили при скорости деформирования $v_2 = 71,1$ мм/ч.

В процессе испытания проводили регистрацию сигналов АЭ с помощью двух закрепленных на противоположных концах образца пьезоэлектрических преобразователей. Сигнал с выхода каждого датчика АЭ усиливали, фильтровали от низкочастотных помех (с частотой до 20 кГц) и амплитудно демодулировали. Далее сигнал подвергали аналого-цифровому преобразованию с частотой дискретизации 170 кГц и динамическим диапазоном 70 дБ и обрабатывали на компьютере [6, 7]. Анализировали амплитуду, длительность, энергию, плотность энергии, коэффициент формы, проводили разделение сигналов АЭ по типам генерирующих их источников по специальной методике [5, 6, 8, 9]. Для фильтрации сигналов АЭ от помех, возникающих в зоне захватов образцов, проводили локацию источников АЭ с использованием взаимно-корреляционного анализа.

Регистрация сигналов АЭ в процессе нагружения [10, 11] сопровождалась съемкой изменений микроструктуры поверхности полированных образцов. Предел прочности, приведенный в описании результатов экспериментов, рассчитывали как отношение максимальной нагрузки при деформировании образца к площади сечения нетто (сечение в узкой части образца). Для образцов с радиусом концентратора 0,5 мм

скорость счета сигналов АЭ плавно повышается с ростом степени деформации. Суммарное число сигналов АЭ и максимальная скорость счета для образцов из ОТ4 имеют большие, чем для образцов из ВТЗ-1, значения.

В обоих материалах с данным радиусом концентратора наблюдается максимальный (на уровне $0,77\sigma_b$) скачок энергии АЭ. Изменение структуры поверхности образцов, связанное, по всей видимости, с выходом групп дислокаций на поверхность, не совпадает со временем резкого выброса упругой энергии АЭ. Для материала ОТ4 изменение структуры наблюдается на уровне $0,86\sigma_b$. На основании сказанного можно сделать вывод о том, что необратимые повреждения в материале наступают задолго до того, как они становятся видимыми при помощи приборов визуального контроля. Это может быть связано с тем, что излучение порции энергии АЭ происходит при выходе группы дислокаций не только на поверхность материала, но также и на поверхность кристалла. Существует ограничение степени увеличения оптических приборов, как следствие, наблюдается более поздний момент регистрации происходящих изменений структуры. Использование электронных сканирующих микроскопов возможно лишь после проведения эксперимента. Неизбежное разгружение материала приводит к не совсем корректным результатам, так как обратное движение дислокаций при его разгрузке влечет за собой изменение структуры по сравнению с напряженным состоянием материала.

На образцах с радиусом концентратора 2,0 мм сохраняется плавный непрерывный рост суммарного числа сигналов АЭ от времени. Но при этом для сплава ВТЗ-1 более ярко выражена область текучести, что характеризуется наличием пика скорости счета к моменту разрушения материала. Суммарная энергия АЭ в среднем уменьшается по сравнению с образцами с радиусом концентратора 0,5 мм. Суммарное число сигналов АЭ при этом имеет большее значение. Видимые изменения структуры сплава ОТ4 наблюдаются на уровне $0,97\sigma_b$, сплава ВТЗ-1 – на уровне $0,88\sigma_b$.

Численные значения параметров АЭ (а именно, суммарное число сигналов и суммарная энергия АЭ) имеют еще меньшие величины на образцах с радиусом концентратора 5,5 мм. Вместе с уменьшением общего числа сигналов снижается и число сигналов, идентифицируемых как сигналы от микротрещин. Визуальные изменения структуры объектов исследований наблюдаются для сплава ОТ4 на уровне $0,95\sigma_b$, для ВТЗ-1 – на уровне $0,93\sigma_b$.

Акустическая эмиссия при нагружении образцов с радиусом концентратора 12,0 мм имеет большую активность, чем у образцов с концентратором радиусом 5,5 мм. Излучаемая при этом суммарная энергия для образцов из исследуемых материалов имеет наименьшее значение. Все сигналы АЭ равномерно распределены по всему диапазону напряжений при нагружении

материала. Начальная область нагружения, соответствующая уровню напряжений $(0,22 - 0,28)\sigma_b$, сопровождается всплеском активности АЭ. Это, вероятнее всего, связано с тем, что увеличение радиуса концентратора влияет на уменьшение локализации объема, вовлекаемого в деформацию. Другими словами, увеличивается число вовлекаемых в деформацию дефектов. При этом в гетерогенном материале всегда имеются дефекты кристаллической решетки, которые начинают проявлять себя на ранней стадии деформирования. Количество дефектов, попадающих в область концентратора напряжений, уменьшается пропорционально уменьшению радиуса концентратора.

Известно [12], что при увеличении концентрации напряжений уменьшается область материала, вовлекаемая в деформацию. Ранее установлено, что суммарное число сигналов АЭ с некоторой степенью вероятности можно описывать степенными зависимостями от действующих напряжений. Эти теоретические предположения подтверждены рядом экспериментальных данных. В литературе предлагается классифицировать все источники АЭ следующим образом: неактивные, активные, критически активные, катастрофически активные. Поскольку источник АЭ может изменять свою активность, то и классификацию источников АЭ нужно проводить с привязкой к действующим напряжениям. Так, один и тот же источник может классифицироваться как неактивный при низких нагрузках и как активный при высоких [13].

С другой стороны, справедливым будет предположение о том, что в материале всегда присутствуют дефекты структуры, которые можно разделить по их размеру на ряд групп; в первую группу можно включить все точечные и линейные дефекты кристаллической решетки (дислокации и т.д.); во вторую (в порядке увеличения размеров дефектов) несплошности между зернами; в третью – неметаллические включения, трещины; четвертая группа может характеризоваться дефектностью структуры материала с точки зрения размера зерна (чем крупнее зерно, тем менее прочны связи между ними и тем менее прочен материал в целом). Однако проведенное разделение дефектов на группы является условным. Зависимость общего числа дефектов от их размера и опасности для образца можно представить в виде экспоненциальной зависимости, что подтверждено данными АЭ.

Другой вариант классификации дефектов основан на их активности: в определенном объеме материала существует некое число дефектов, «срабатывающих» или «излучающих» при определенном уровне напряжений, возникающих в объеме. «Срабатывающим» или «излучающим» при данном напряжении следует считать дефект, который излучает импульс упругой энергии, регистрируемый при заданной чувствительности измерительной аппаратурой во время своего движения, изменения размера или развития.

Число излучающих дефектов имеет степенную зависимость от действующих напряжений (рис. 1) [13]:

$$N \sim A\sigma^n, \quad (1)$$

где A – коэффициент пропорциональности; σ – действующие в материале напряжения; n – показатель степени.

Конечное число излучающих дефектов связано с конечным возможным напряжением в материале. В данном случае речь идет о напряжениях, действующих в макрообъемах, в области, подвергнутой деформированию при приложении внешних сил. Наряду с напряжениями, действующими в макрообъемах, в материале существуют и микронапряжения, которые возникают во всех участках отдельно взятого зерна или кристалла.

При этом максимальные напряжения в микрообластях могут достигать теоретического предела прочности материала, превышение которого ведет к разрыву молекулярных связей [14]. При увеличении числа разрывов молекулярных связей материал разрушается в том месте, где эти связи были ослаблены наличием дефектов. Все расчеты, связанные с определением теоретической прочности материалов, не учитывают их гетерогенности.

Равномерное распределение напряжений по площади поперечного сечения стержня имеет место только в тех случаях, когда поперечные сечения по длине стержня постоянны. Наличие резких изменений площади поперечного сечения вследствие резких переходов, отверстий, выточек, надрезов и т.д. приводит к неравномерному распределению напряжений и к увеличению их в отдельных местах сечения. Это явление называется концентрацией напряжения [15], а вызывающие концентрацию напряжений отверстия, выточки, царапины и т.д. являются концентраторами

напряжений. Дефекты, связанные с неоднородностью структуры материала, также могут являться концентраторами напряжений.

Увеличение коэффициента α концентрации напряжений ведет к увеличению напряжений, действующих в месте концентрации (местных напряжений)

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}, \quad (2)$$

где σ_{\max} – наибольшее местное напряжение; $\sigma_n = P/d$ – номинальное напряжение, определяется как среднее в ослабленном сечении; P – усилие в сечении; d – площадь ослабленного сечения (площадь нетто).

Отношение максимального усилия, при котором происходит разрушение образца, к исходной площади ослабленного сечения можно назвать номинальным пределом прочности.

Теоретические коэффициенты концентрации зависят от формы и размеров концентратора, имеют различные значения в зависимости от соотношения радиуса скругления к сечению в ослабленном месте.

На рис. 2 приведены графики изменения коэффициента α при различных отношениях радиуса концентратора к сечению в ослабленном месте r/d .

На основании приведенных выражений (1) и (2) выведено соотношение $N \sim \alpha_n^n$, показывающее, что при постоянном номинальном напряжении ($\sigma_n = \text{const}$) число источников АЭ пропорционально концентрации напряжений.

Справедливым будет утверждение, что объем V вовлекаемого в деформацию материала пропорционален отношению r/d .

Наиболее вероятно, что данная зависимость не является линейной. Максимальное напряжение в ослабленном сечении пропорционально концентрации напряжений $\sigma_{\max} \sim \alpha$, что следует из выражения (2).

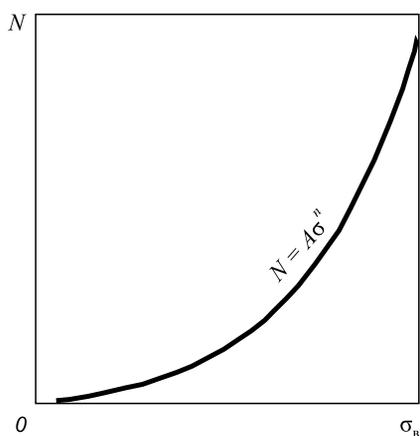


Рис. 1. Вид зависимости числа источников АЭ от действующих в материале напряжений

Fig. 1. Type of dependence of the number of AE sources on stresses operating in the material

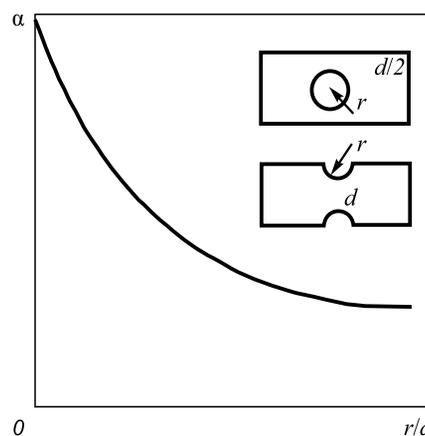


Рис. 2. Вид зависимости коэффициента концентрации напряжений от размера концентратора

Fig. 2. Type of dependence of stress concentration coefficient on the concentrator size

Зависимость объема материала, вовлекаемого в деформацию, от максимальных местных напряжений должна иметь распределение, аналогичное представленному на рис. 2.

При $\alpha = 1$ (то есть при равномерном распределении напряжений по площади поперечного сечения) объем деформируемого материала является бесконечным в предположении неограниченного размера стержня или пластины с одинаковой площадью сечения по всей длине. Но даже при одинаковой площади сечения по всей длине неограниченно длинного изделия, подвергаемого нагружению, существуют так называемые слабые места, концентрация дефектов в этих областях превышает среднюю концентрацию по всему объему материала. Это означает, что объем реального гетерогенного материала, вовлекаемого в деформацию, всегда конечен. Конечными также являются и максимальные напряжения, они зависят от формы и размера концентратора напряжений и материала.

Очевидно, что суммарное количество излучающих дефектов N при определенной концентрации напряжений может быть рассчитано как произведение числа дефектов (источников импульсов АЭ) для единичного объема $N_{уд}$ и объема материала, вовлекаемого в деформацию, при коэффициенте концентрации α_n :

$$N = N_{уд} V. \quad (3)$$

Установлено, что в зависимости от формы концентратора напряжений и, как следствие, от вида кривой изменения объема материала, вовлекаемого в деформацию, характер распределения кривой суммарного количества излучающих дефектов может быть различен. Это связано с тем, что объем материала, вовлекаемого в деформацию, как правило, зависит от свойств самого материала. Для учета чувствительности материала к местным напряжениям в расчетные формулы вводят вместо теоретического эффективный коэффициент концентрации напряжений, который определяется как отношение разрушающей нагрузки P_1 для образца без концентратора к разрушающей нагрузке P_2 такого же образца, но с концентратором напряжений ($k = P_1/P_2$). Как правило, эффективный коэффициент оказывается меньше теоретического и $1 \leq k \leq \alpha$.

Распределение общего числа сигналов можно представить в виде зависимости от радиуса концентратора напряжений (рис. 3).

Серия проведенных экспериментов позволяет подтвердить с некоторой степенью вероятности справедливость предложенной модели. На рис. 4 представлены графики распределения основных параметров АЭ в зависимости от радиуса концентратора для титановых сплавов ОТ4 и ВТ3-1. Все данные АЭ приведены не как средние значения для серии испытаний n образцов, а как результаты АЭ при растяжении конкретного образ-

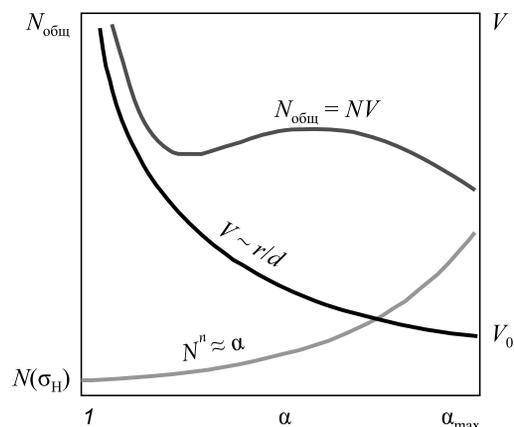


Рис. 3. Зависимость общего числа источников АЭ от концентрации напряжений

Fig. 3. Dependence of a total number of AE sources on stress concentrations

ца, параметры АЭ для которого наиболее близки к средним значениям основных параметров АЭ.

На диаграммах представлены значения параметров АЭ на момент разрушения образца. Для сплава ОТ4 максимальное суммарное число сигналов соответствует радиусу концентратора 2 мм, минимальное – радиусу 5,5 мм.

Суммарная энергия равномерно убывает с увеличением радиуса концентратора. Необходимо заметить, что максимальное значение суммарного числа сигналов и суммарной энергии АЭ соответствует образцу с бесконечным радиусом концентратора (плоский образец).

На зависимости суммарного числа сигналов можно пронаблюдать подтверждение предложенного утверждения о характере распределения этой величины. Для суммарной энергии наблюдается несколько иная картина распределения. Это связано с тем, что суммарная энергия сигналов АЭ, излучаемых дефектами при их движении, не подчиняется степенному закону распределения. Вид распределения в этом случае не установлен. Можно лишь утверждать, что наименьшее значение суммарной энергии АЭ соответствует образцам с радиусом концентратора более 12,0 мм.

Для сплава ВТ3-1 минимальное значение суммарного числа сигналов АЭ соответствует радиусу 5,5 мм (аналогично сплаву ОТ4), максимальное – радиусу 2,0 мм.

Образцу с радиусом концентратора 0,5 мм соответствует меньшее, чем для образцов с радиусом концентратора 2,0 мм, численное значение суммарного числа сигналов АЭ. По аналогии со сплавом ОТ4 можно предположить, что при увеличении радиуса концентратора сигналы АЭ будут увеличиваться. Как и в сплаве ОТ4 суммарная энергия АЭ для образцов из сплава ВТ3-1 монотонно уменьшается с ростом ра-

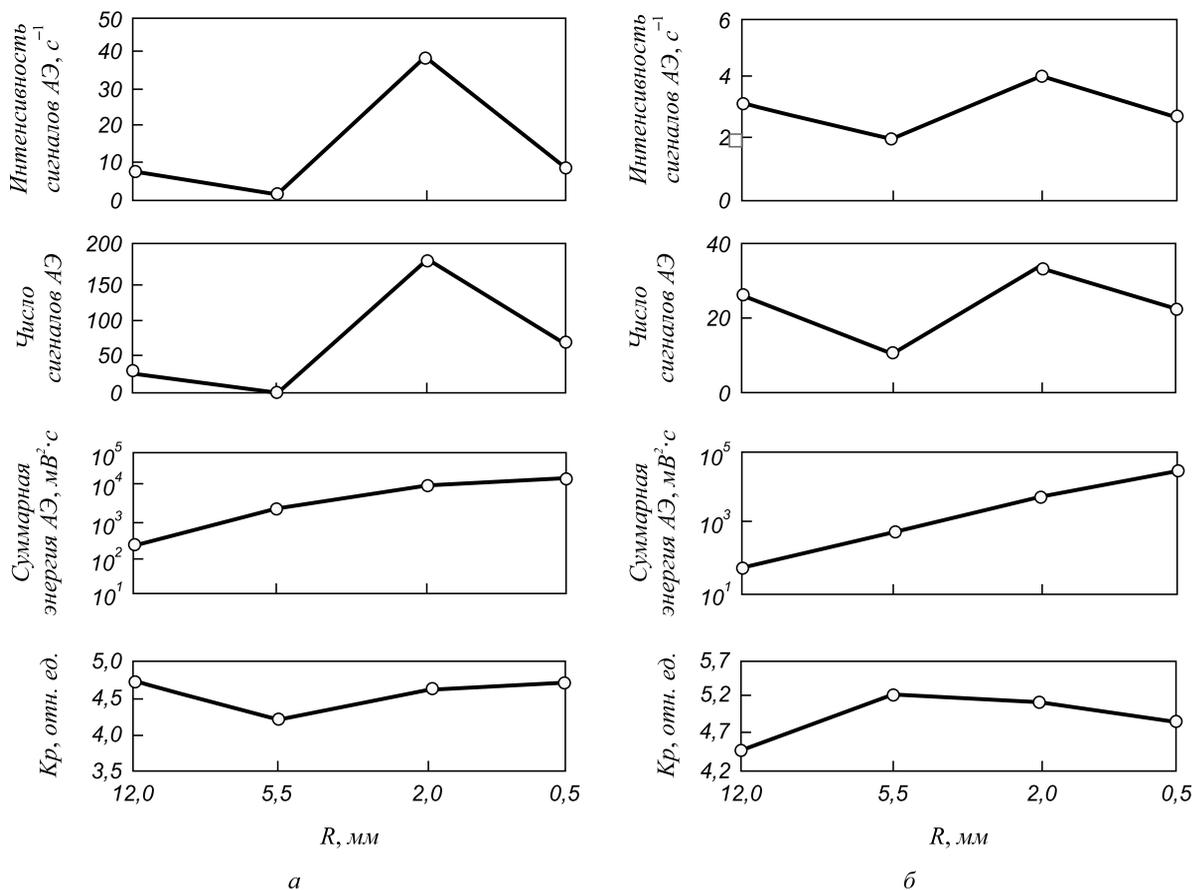


Рис. 4. Параметры АЭ на уровне $0,75\sigma_v$ в зависимости от радиуса концентратора для серии образцов из сплава ОТ4 (а) и VT3-1 (б)

Fig. 4. The AE parameters at the level of $0,75\sigma_v$ depending on the concentrator radius for a series of samples from OT4 (a) and VT3-1 (b) alloys

диуса концентратора. Минимальное значение энергии АЭ, видимо, соответствует образцам с радиусом концентратора более 12,0 мм.

При анализе экспериментальных данных установлено, что разброс номинальных разрушающих напряжений для образцов с концентраторами напряжений довольно велик и может достигать 30 %, причем он увеличивается с уменьшением радиуса концентратора и имеет большее значение для сплава VT3-1. Введение β -стабилизаторов в сплав VT3-1 улучшает его прочностные свойства, но при этом неизбежно уменьшаются пластичность материала и восприимчивость к концентрации напряжений. Это, вероятно, связано с тем, что дефекты, попадающие в область концентратора, подвержены действию больших по величине напряжений. Нахождение некоторого глобального дефекта в зоне действия концентратора является менее вероятным. Но, если это все же случается, то наличие такого дефекта катастрофически сказывается на прочностных характеристиках изделия.

На рис. 5 приведена диаграмма распределения основных параметров АЭ для образцов с различными концентраторами напряжений из сплавов ОТ4 и VT3-1 в зависимости от номинального разрушающего напряжения.

Выводы. Установленные зависимости открывают новые возможности изучения физических свойств материалов, так как могут быть перенесены с макроскопических объемов образцов на микрообъемы конкретных материалов. Выявленные результаты исследований могут быть использованы для разработки методик диагностирования конструкций с точки зрения определения наименее опасной формы концентратора напряжений в конструкциях, где наличие таких концентраторов напряжений технологически необходимо.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семашко Н.А., Филоненко С.Ф., Мокрицкая Е.Б., Беликов О.В. Прогнозирование предельного состояния в понятиях микропластической деформации материала. – В кн.: Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела и прогрессивные технологии в машиностроении. Сб. научных трудов. – Владивосток: Дальнаука, 1997. С. 148 – 153.
2. Коллинз Дж.А. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ. Предсказание. Предотвращение. – М.: Мир, 1983. – 615 с.
3. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. – Киев, 1999. – 304 с.
4. Семашко Н.А., Муравьев В.И., Башков О.В., Фролов А.В. Прогнозирование предельного состояния сплава ОТ4 с использованием метода акустической эмиссии // Контроль. Диагностика. 2001. № 6. С. 30, 31.
5. Семашко Н.А., Фролов А.В., Муравьев В.И., Ляховицкий М.М. Применение новых параметров акустической эмиссии для

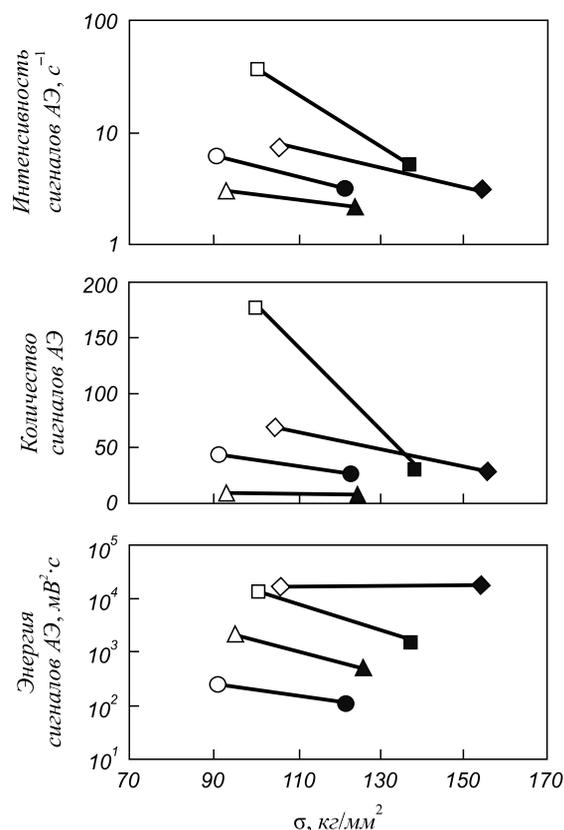


Рис. 5. Диаграммы распределения интенсивности сигналов АЭ (а), суммарного количества сигналов АЭ (б), суммарной энергии сигналов АЭ (в) образцов из сплавов ОТ4 (светлые точки) и VT3-1 (темные точки) в зависимости от номинального разрушающего напряжения при различных радиусах концентраторов напряжений: \diamond – 0,5 мм; \square – 2,0 мм; \triangle – 5,5 мм; \circ – 12,0 мм

Fig. 5. Distribution diagrams of AE signal strengths (a), general number of AE signals (b), total AE signal energy (c) of the samples from OT4 alloys (bright spots) and VT3-1 alloys (dark spots), depending on a nominal failing stress at different stress concentrator radii: \diamond – 0.5 mm; \square – 2.0 mm; \triangle – 5.5 mm; \circ – 12.0 mm

- прогнозирования предельных механических характеристик титанового сплава ОТ4 // Контроль. Диагностика. 2002. № 12. С. 24 – 27.
- Семашко Н.А., Муравьев В.И., Фролов А.В., Крупский Р.Ф. Акустическая эмиссия в исследовательской практике пластической деформации и разрушения материалов // Материаловедение. 2004. № 7. Специальный выпуск. С. 36 – 40.
 - Муравьев В.И., Фролов А.В., Дмитриев Э.А. и др. Определение эффективности использования фазовых превращений в технологических операциях изготовления конструкций из сталей и сплавов методом акустической эмиссии // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре Государственного технического университета. 2011. № III-(7). С. 91 – 100.
 - Семашко Н.А., Муравьев В.И., Фролов А.В., Физулаков Р.А. Акустическая эмиссия при решении некоторых вопросов авиационного производства // Авиационная промышленность. 2004. № 2. С. 85 – 89.
 - Грин Р.Е. Характеристика источников АЭ для оценки прочности конструкций. – В кн. АЭ в диагностике предразрушающего состояния и прогнозирования разрушения сварных конструкций: Доклады I Международной школы стран – членов СЭВ. – М.: 1986. С. 26 – 36.
 - Куранов В.Н., Иванов В.И., Рябов А.Н. Особенности амплитудного расширения АЭ при зарождении и распространении усталостных трещин // Дефектоскопия. 1982. № 5. С. 36 – 39.
 - Ляховицкий М.М., Рощупкин В.В., Минина М.А. и др. Исследование кинетики структурных эволюций и превращений в титановом сплаве VT23 акустическим и dilatометрическим методами. – В кн.: Ультразвук и термодинамические свойства вещества. Вып. 6. – Курск: изд. Курского гос. ун-та, 2009. С. 8 – 17.
 - Хруцкий О.В., Юрас С.Ф. Акустико-эмиссионный метод диагностирования судовых энергетических установок. Учебное пособие. – Ленинград, 1985. – 47 с.
 - Иванов В.И., Быков В.П. Классификация источников акустической эмиссии // Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций. 1985. № 1. С. 67 – 74.
 - Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г. Кинетика разрушения. – М.: Металлургия, 1979. – 279 с.
 - Фесик С.П. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Будивельник, 1982. – 280 с.

Поступила 13 января 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. VOL. 58. No. 12, pp. 912–918.

THE RESEARCH OF DEFECTS – STRESS CONCENTRATORS BY THE ACOUSTIC EMISSION PARAMETERS AT THE PROCESS OF DAMAGE DEVELOPMENT

O.V. Bashkov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Centre of Collective Use “New Materials and Technologies”

V.I. Murav'ev, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Mechanical Engineering and Metallurgy”, Chief Research Consultant (vmuravyev@mail.ru)

S.Z. Lonchakov, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Spectral Analysis

A.V. Frolov, Cand. Sci. (Eng.), Doctoral

Komsomolsk-na-Amure State Technical University (27, Lenina ave., Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, 681013)

Abstract. The paper presents the results of the theoretical and experimental investigation of the influence of stress concentrators on the damaging of titanium alloys. The samples of OT4 (α -class) and VT3-1 ($\alpha + \beta$ -class) titanium alloys with different radii of stress

concentrators have been researched. It has been also estimated the influence of stress concentration on the parameters of acoustic emission when using the samples of different radii. In the article the authors have described the graphic dependence of the material volume, getting involved into the deformation, on the distribution of maximum local stresses and the distribution diagram of the main AE parameters for the samples with different radii of stress concentrators from OT4 and VT3-1 alloys in dependence on the nominal failing stress. The results of the theoretical and experimental investigation of the influence of stress concentrators α on the damaging of OT4 and VT3-1 titanium alloy have been given. The research results can be used for the development of construction-diagnostic technique on the point of view of the identification of a less dangerous form of stress concentrator.

Keywords: acoustic emission, titanium alloys, degree of deformation, stress concentrators, failing stresses.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-12-912-918

REFERENCES

1. Semashko N.A., Filonenko S.F., Mokritskaya E.B., Belikov O.V. Forecasting of the limiting state in the concept of material micro-plastic deformation. In: *Prikladnye zadachi mekhaniki deformiruemogo tverdogo tela i progressivnye tekhnologii v mashinostroenii. Sb. nauchnykh trudov* [Applied problems of the mechanics of deformable solids and progressive technologies in machine-building. Collected scientific papers]. Vladivostok: Dal'nauka, 1997, pp. 148–153. (In Russ.).
2. Callins Jack A. *Failure of materials in mechanical desighn. Analysis, Prediction, Prevention*. New York etc, John Wiley & Sons, 1981. (Russ.ed.: Callins J.A. *Povrezhdenie materialov v konstruktsiyakh. Analiz. Predskazanie. Predotvrashchenie*. Moscow: Mir, 1983, 615 p.).
3. Filonenko S.F. *Akusticheskaya emissiya* [Acoustic emission]. Kiev, 1999, 304 p. (In Russ.).
4. Semashko N.A., Murav'ev V.I., Bashkov O.V., Frolov A.V. Prognostication of the limiting condition of OT4 alloy with the use of acoustic emission method. *Kontrol'. Diagnostika*. 2001, no. 6, pp. 30–31. (In Russ.).
5. Semashko N.A., Frolov A.V., Murav'ev V.I., Lyakhovitskii M.M. Use of new acoustic emission parameters for the prognostication of the limiting mechanical characteristics of OT4 titanium alloy. *Kontrol'. Diagnostika*. 2002, no. 12, pp. 24–27. (In Russ.).
6. Semashko N.A., Murav'ev V.I., Frolov A.V., Krupskii R.F. Acoustic emission in a research practice of plastic deformation and material fracture. *Materialovedenie*. 2004, no. 7, Spec. Issue, pp. 36–40. (In Russ.).
7. Murav'ev V.I., Frolov A.V., Dmitriev E.A., Bashkov O.V., Tarasov E.A. Testing of phase transformation efficiency in technological operations of structure production from steel and alloys using the method of acoustic emission. *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011, no. III-1 (7), pp. 91–100. (In Russ.).
8. Semashko N.A., Murav'ev V.I., Frolov A.V., Fizulakov R.A. Acoustic emission at the resolution of the issues of aviation. *Aviatsionnaya promyshlennost'*. 2004, no. 2, pp. 85–89. (In Russ.).
9. Grin R.E. Characteristics of AE sources for the estimation of construction strength. In: *AE v diagnostike predazruchayushchego sostoyaniya i prognozirovaniya razrusheniya svarnykh konstrukt-sii: Dokl. I Mezhdunarodnoi shkoly stran – chlenov SEV* [AE in the diagnostic of a predestructive state and forecasting of welded structure damagings: Report I of the International school of member countries CMEA]. Moscow: 1986, pp. 26–36. (In Russ.).
10. Kuranov V.N., Ivanov V.I., Ryabov A.N. Characteristics of the amplitude distribution of acoustic emission in the nucleation and propagation of fatigue cracks. *The Soviet journal of nondestructive testing*. 1982, vol. 18, no. 5, pp. 362–365.
11. Lyakhovitskii M.M., Roshchupkin V.V., Minina N.A., Pokrasin M.A., Krupskii R.F. Research of structural evolution kinetics and transformation in VT23 titanium alloy by acoustic and dilatometric methods. In: *Ul'trazvuk i termodinamicheskie svoistva veshchestva. Vyp. 6* [Ultrasound and thermodynamic properties of substances. Issue 6]. Kursk: izd. Kurskogo gos. un-ta, 2009, pp. 8–17. (In Russ.).
12. Khrutskii O.V., Yuras S.F. *Akustiko-emissionnyi metod diagnostirovaniya sudovykh energeticheskikh ustanovok. Uchebnoe posobie* [Acoustic-emission diagnostic technique of ship power installation. Instructional aid]. Leningrad, 1985, 47 p. (In Russ.).
13. Ivanov V.I., Bykov V.P. Classification of acoustic emission sources. *Diagnostika i prognozirovanie razrusheniya svarnykh konstrukt-sii*. 1985, no. 1, pp. 67–74. (In Russ.).
14. Miklyaev P.G., Neshpor G.S., Kudryashov V.G. *Kinetika razrushe-niya* [Fracture kinetics]. Moscow: Metallurgiya, 1979, 279 p. (In Russ.).
15. Fesik S.P. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Reference book on strength of materials]. Kiev: Budyvel'nik, 1982, 280 p. (In Russ.).

Received January 13, 2014