

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Бао Фэнюань

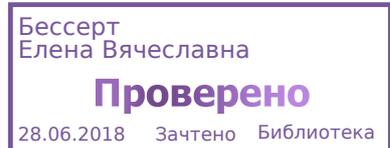
**Исследование поврежденности корпусных изделий методом  
акустической эмиссии**

Направление подготовки

22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2018



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный университет»

Научный руководитель

доктор технических наук,  
доцент Башков Олег Викторович

Рецензент

кандидат технических наук,  
Матвеевко Дмитрий Викторович

Защита состоится «\_\_\_\_\_» июня 2018 года в \_\_\_\_\_ часов \_\_\_\_\_ мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. ...

Автореферат разослан \_\_\_\_ июня 2018 г.

Секретарь ГЭК

Белова Инна Валерьевна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Акустическая эмиссия (АЭ) — техническая диагностика, основанная на явлении возникновения и распространения упругих колебаний (акустических волн) в различных процессах, например, при деформации напряжённого материала, истечении газов, жидкостей, горении и взрыве и др. Акустическая эмиссия является одним из методов неразрушающего контроля, который играет немаловажную роль в промышленном производстве благодаря преимуществам (большой диапазон обнаружения, быстрое получение динамического статуса в реальном времени и т.д.). Однако при наличии окраски и защитных покрытий в зоне контакта возможно влияние на результат АЭ, что в последствии может привести к низкой информативности регистрируемых сигналов АЭ.

### **Цель исследования**

Целью данной работы являлось исследование влияния газопламенного напыления на стали чистых металлов на регистрируемые сигналы АЭ в условиях растяжения.

### **Задачи исследования**

- 1) нанести покрытия чистых металлов алюминия и цинка на сталь газотермическим напылением;
- 2) статистические испытания материалов с покрытием и без покрытия с одновременной регистрацией акустической эмиссии;
- 3) анализ регистрируемых сигналов акустической эмиссии (АЭ) при деформации и разрушении образцов Ст3 с покрытием и без покрытия;
- 4) идентификация источников АЭ при деформации стали с различными покрытиями.

**Объектом** исследований является процесс накопления поврежденности в ст3 с покрытием, возникающей при нагружении. **Предметом** исследований является покрытие, полученное методом газотермического напыления из различного материала.

## **Методы исследования**

При выполнении работы для механического испытания образцов пользовались методом испытания на растяжение. Для анализа процессов разрушения применялся метод акустической эмиссии.

**Новизна полученных результатов** заключается в следующем:

- 1) разработан и успешно апробирован метод определения стадий деформации стали Ст3;
- 2) установлено, что при наличии покрытий Al и Zn параметры и формы регистрируемых сигналов меняются;
- 3) установлено отношение между энергией и амплитудой сигналов АЭ, возбуждаемых в процессе испытания на растяжение различными дефектами;
- 4) приведены результаты параметрического анализа данных акустической эмиссии и исследования надежности анализа результатов, полученных при испытаниях на растяжение в образце с покрытием;

## **Достоверность и обоснованность результатов исследования**

Экспериментальные исследования проведены с использованием современного оборудования. Подготовка и испытания образцов проведены в соответствии с действующими государственными стандартами. Определение уровня свойств полученных материалов проводилось с применением статистических методов оценки погрешности измерений. При анализе данных АЭ пользовались апробированными методиками.

## **Практическая значимость и ценность работы**

Результаты работы могут быть применены для прогнозирования стадии деформаций стали Ст3, а также для оценки надежности сигналов, полученных при испытаниях на растяжение и определение влияния покрытия на результаты.

**Личный вклад автора** заключается в формулировании задач диссертационной работы, проведении механических испытаний, анализе и

обобщении экспериментальных данных, сопоставлении результатов исследований с известными литературными данными и формулировании выводов по полученным результатам.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлено обоснования актуальности темы диссертационной работы, изложены основные направления проведённых исследований, сформулированы цель и задачи исследований.

**В первом разделе** представлен метод газотермического напыления и несколько методов для обработки сигналов акустической эмиссии.

**Во втором разделе** диссертационной работы описаны материалы, используемые при проведении исследований, методы механических испытаний и анализа данных акустической эмиссии, а также методы исследования структуры СтЗ с различным покрытием.

**В третьем разделе** диссертационной работы представлены результаты исследования влияния газопламенного напыления на стали чистых металлов на регистрируемые сигналы АЭ в условиях растяжения.

Амплитуда этой синусоидальной волны экспоненциально уменьшается по времени, соответствует следующей формуле:

$$u(t) = A_1 e^{-nt} \sin(\omega t)_{(t \geq 0)}, \quad (3.2)$$

$$\int_{\infty}^t u(t) dt = \frac{1}{n} (1 - e^{-nt}) - \frac{1}{n} (1 - e^{-n(t_0)}) , \quad (3.3)$$

Если  $V$  установлен как допустимый порог сигнала, длительность сигнала от 0 до  $\ln \frac{V}{A_1}$ , после замены времени амплитудой обнаруживается, что энергия растёт экспоненциально с амплитудой, т. е:

$$E = K e^{n(A-V)t} , \quad (3.4)$$

С точки зрения всего процесса растяжения корреляция образца 3 (с покрытием цинка) и образца 2 (с покрытием алюминия) является последовательной (рисунок 3.9), соответственно, 0.8028, 0.8747, 0.8637 и 0.7581, 0.8504, 0.851.

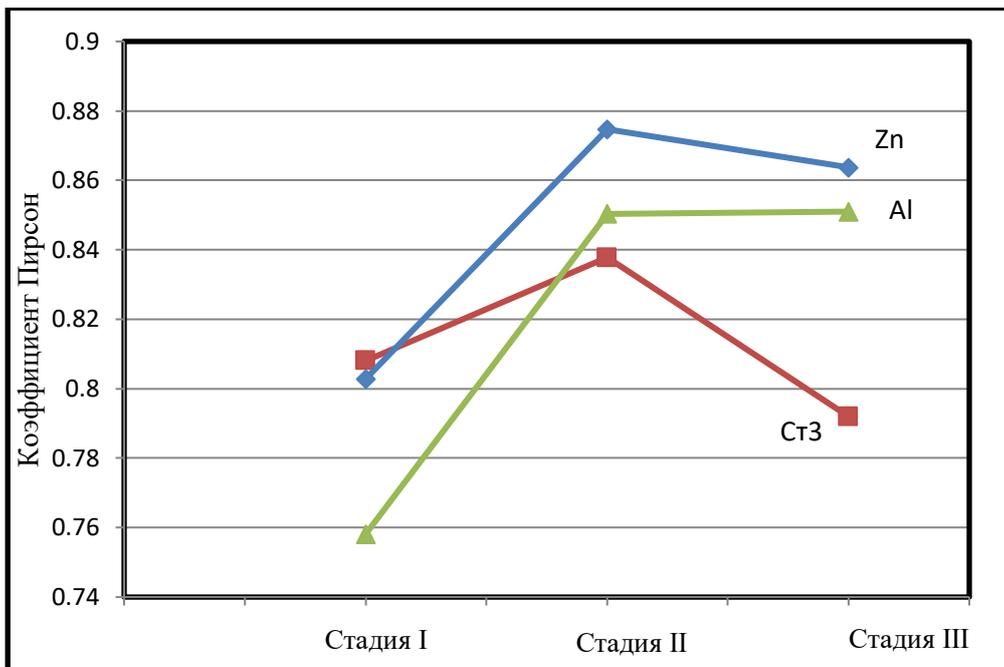
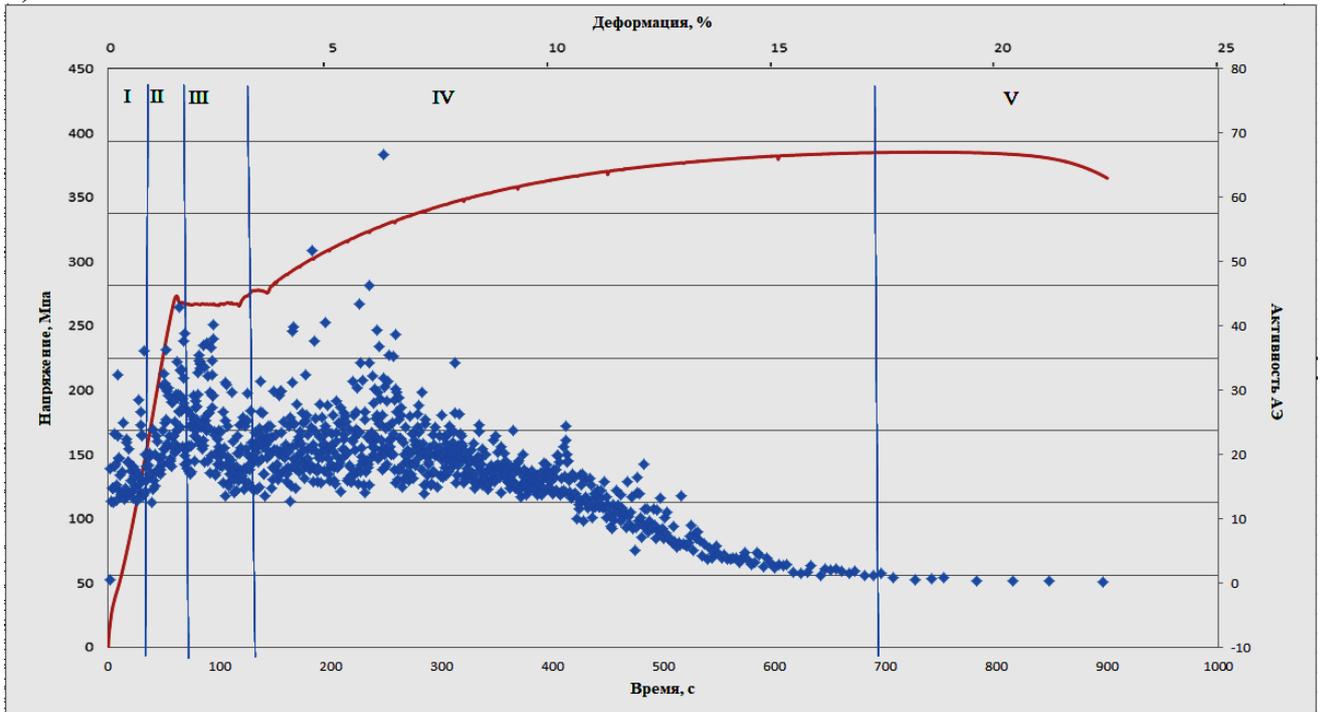


Рисунок 3.9 – Амплитудно-энергетическая корреляция образцов с различным покрытием в процессе растяжения

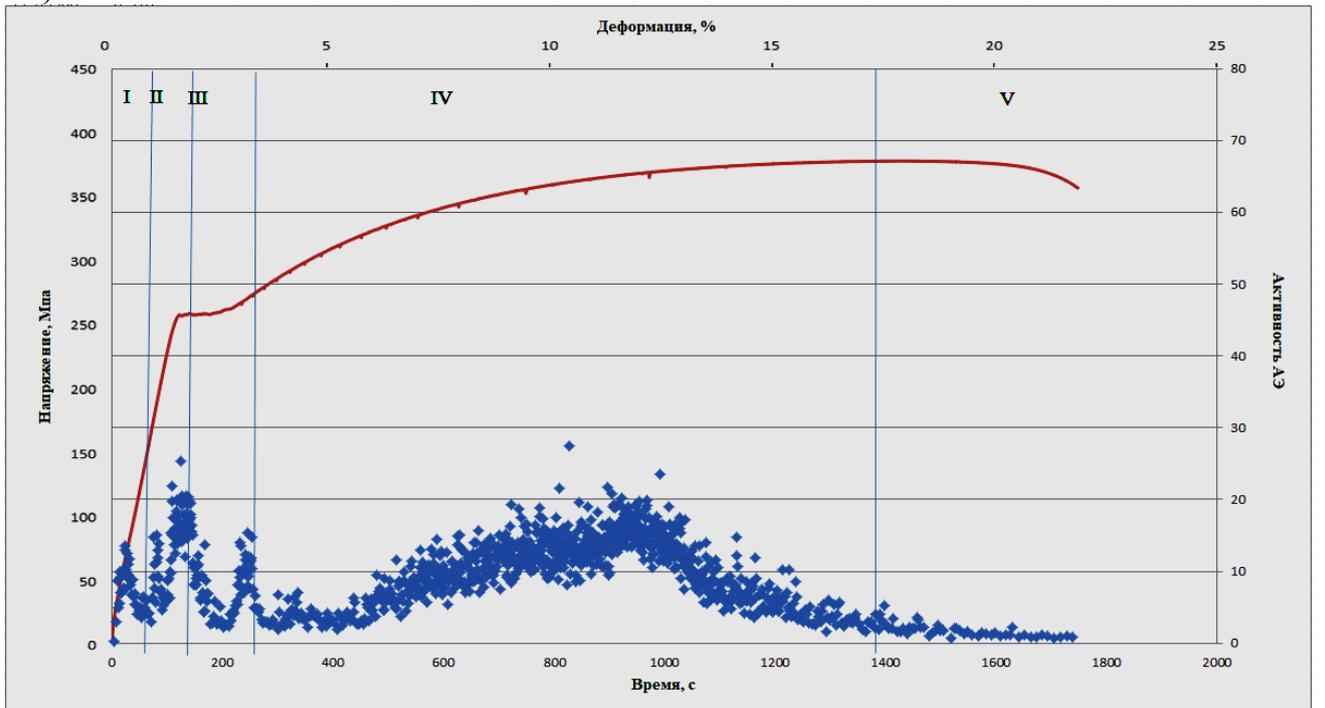
Стоит отметить, что корреляция Пирсона сталей типа Ст3 быстро снижалась на Стадии №III, это указывает на то, что линейная зависимость между энергией и амплитудой проявляется незначительно. Это объясняется тем, что источник сигнала АЭ непостоянен и во многих областях возникают множество сигналов различного типа в одно и тоже время, формируя смешанную картину, состоящую из совокупности сигналов разных параметров.

На рисунке 3.10 представлена зависимость активности АЭ от нагрузки по времени, можно видеть, что влияние покрытия на диаграмму растяжения незначительно, однако сигналы АЭ ведет себя по-разному на каждой стадии процесса растяжения. В середине процесса растяжения сопротивление скольжения решеток увеличивается по накоплению дислокаций, что приводит к увеличению нагрузок.

a)



б)



В)

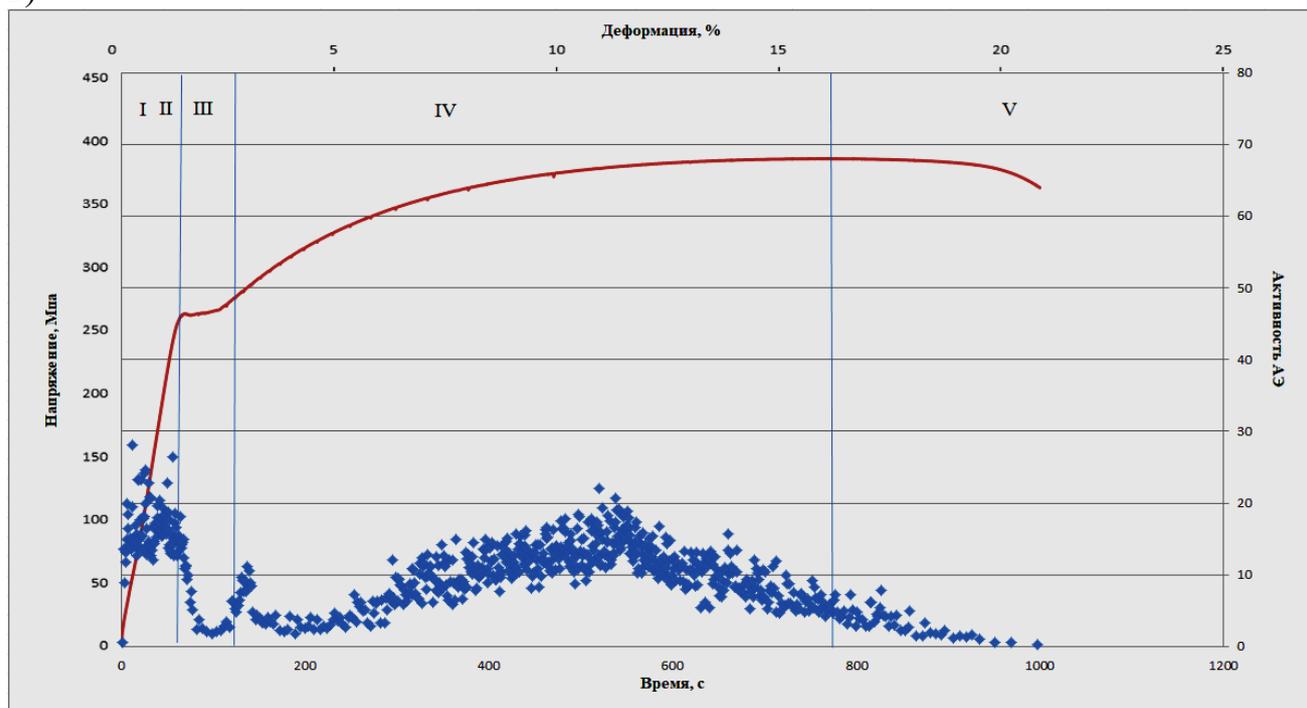
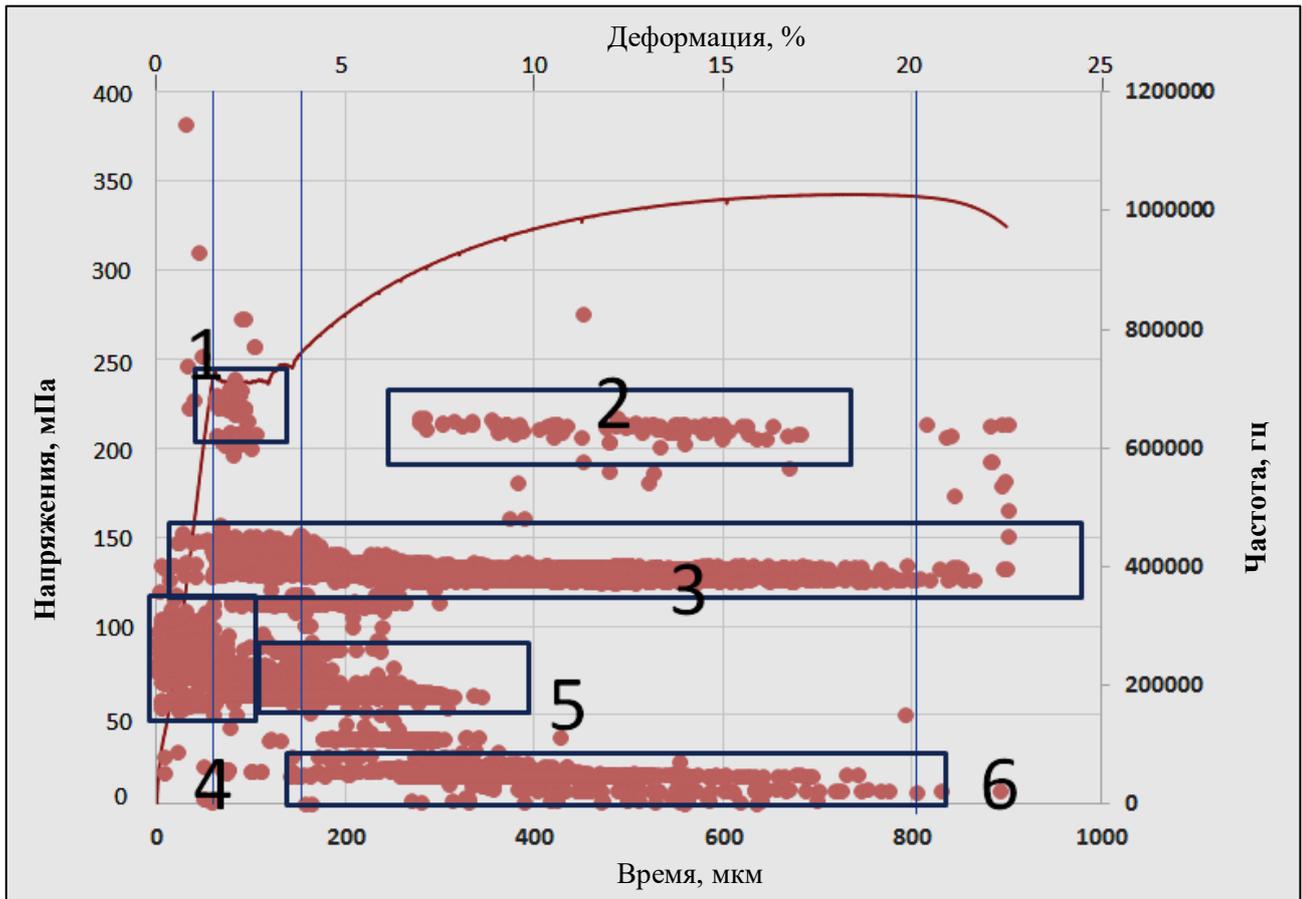


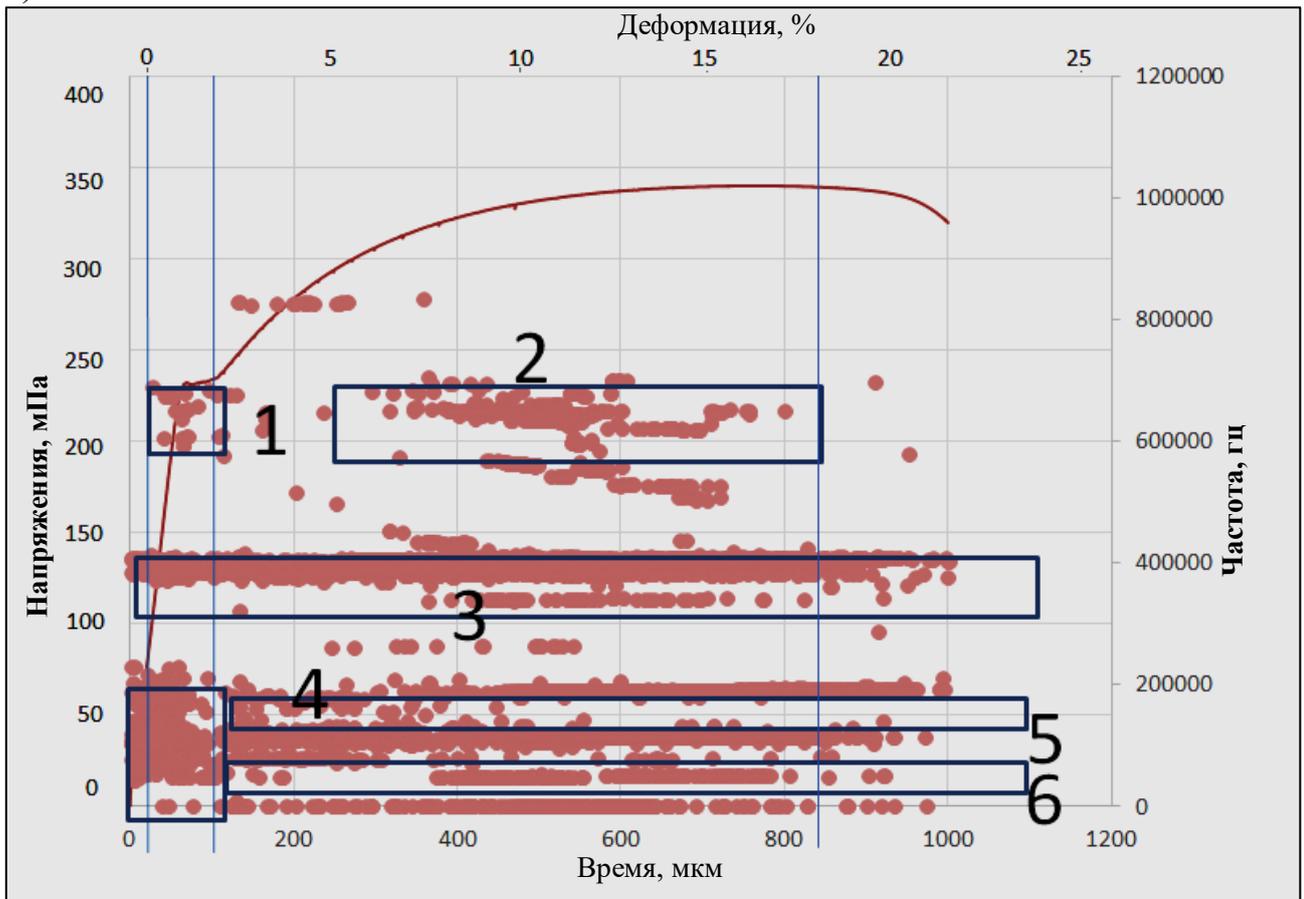
Рисунок 3.10 – Зависимость активности АЭ от нагрузки по времени: а – без покрытия; б – с покрытием алюминием; в – с покрытием цинком

Классификация сигналов представлена в таблице 3.1. Как показано на рисунке 3.11, в спектре частота-время каждого образца присутствуют частоты группы №1 (см. таблицу 3.1), и их частотный диапазон и стадия получения сигналов одинаковы, это указывает на то, что присутствие покрытия не влияет на сигнал этой группы. Предполагается, что все сигналы из этой группы происходят из подложки.

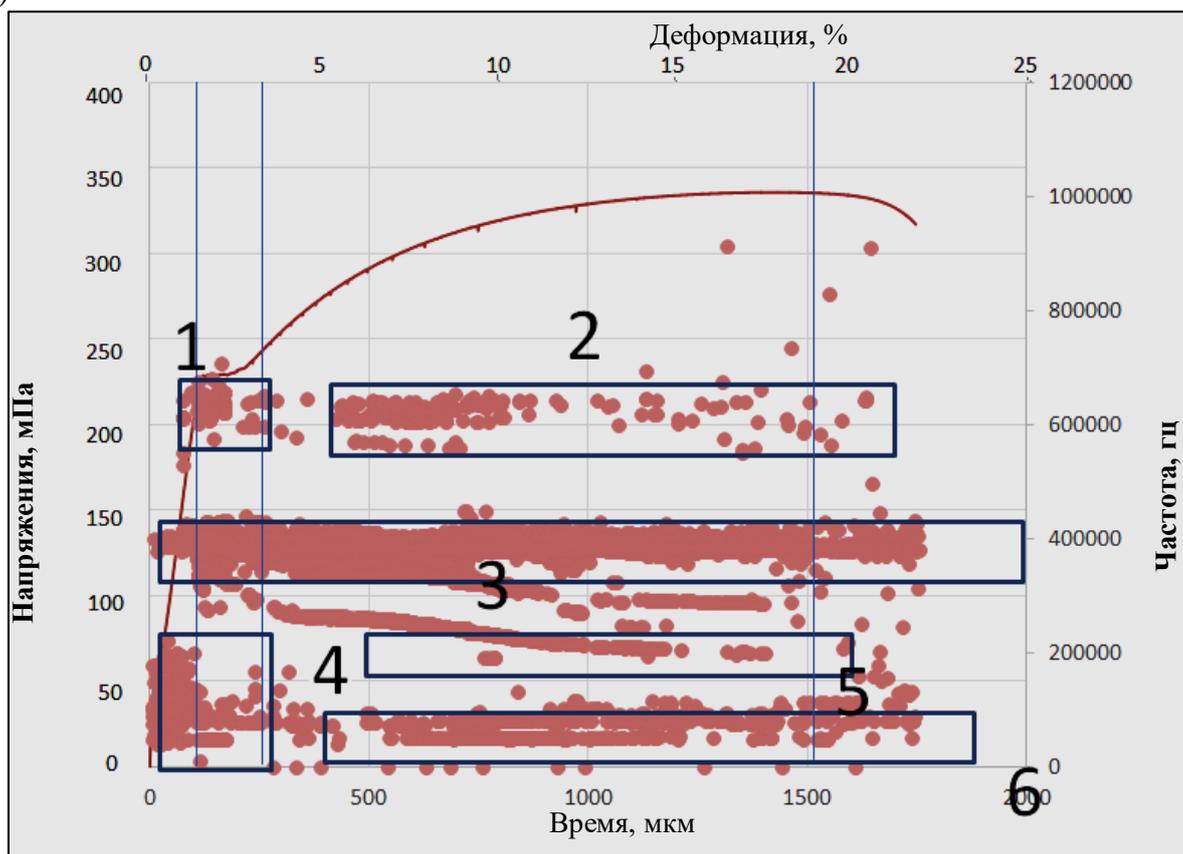
a)



б)



в)



1) течения (легкого скольжения); 2) упрочнения; 3) в течение всего периода деформации на (всех стадиях); 4) упругости; 5) течения и упрочнения; 6) упрочнения

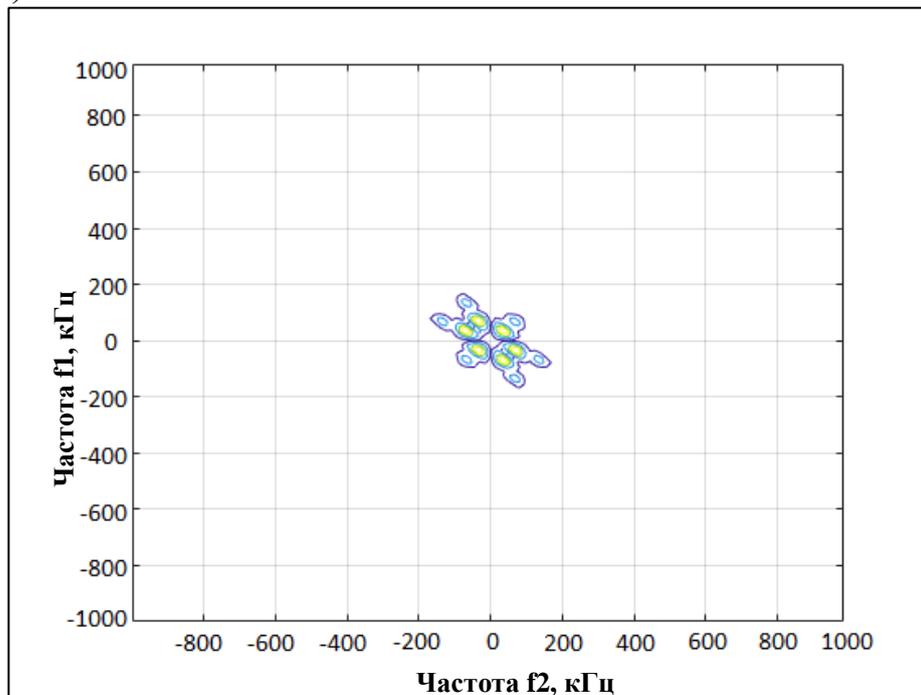
Рисунок 3.11 – Классификация сигналов акустической эмиссии из различных покрытий по частоте: а – без покрытия; б – с покрытием алюминием; в – с покрытием цинком;

Таблица 3.1 – Классификация деформаций по частоте сигналов АЭ

Без покрытия						
Группа	1	2	3	4	5	6
time, s	50-120	260-680	>50	0-50	50-330	>140
max freq.Hz	550000-700000	560000-660000	342000-460000	150000-342000	150000-270000	<140000
Al						
Группа	1	2	3	4	5	6
time, s	95-200	420-1450	>0	0-95	-	>500
max freq.Hz	600000-700000	600000-700000	340000-440000	<200000	-	<114000
Zn						
Группа	1	2	3	4	5	6
time, s	50-120	300-800	>0	0-90	>110	>110
max freq.Hz	590000-690000	580000-700000	340000-430000	40000-230000	150000-200000	<130000

На рисунке 3.15 показаны характеристики сигнала в упругой стадии. Наблюдается, что интерференция сигнала не происходит за пределами области характеристической амплитуды, это указывает на то, что регистрируемый сигнал очень прост в это время и источник возбуждения сигнала дислокационный (наблюдается только на упругой стадии).

а)



б)

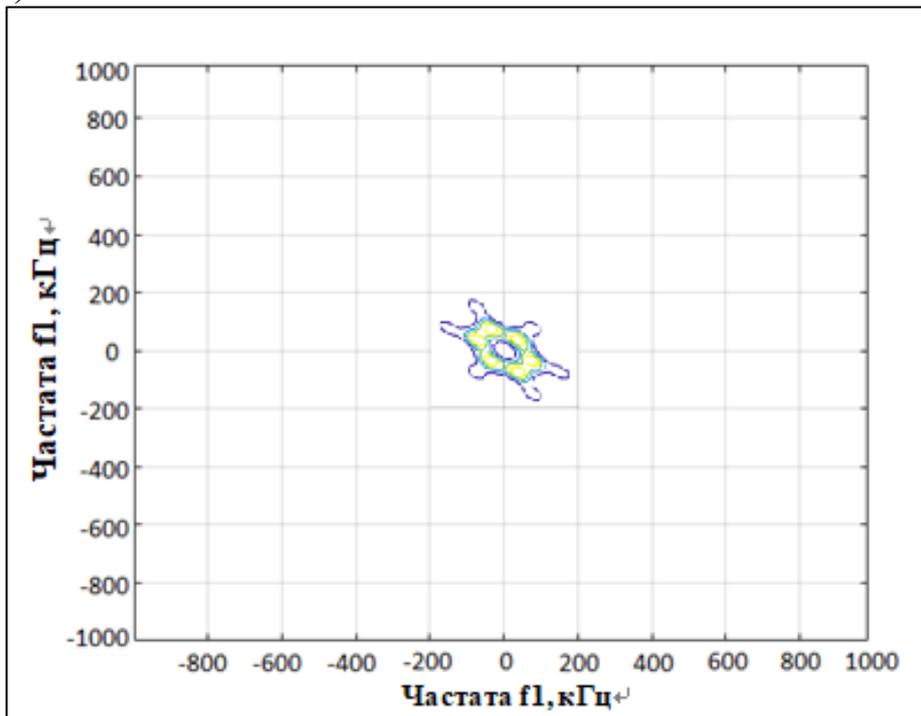
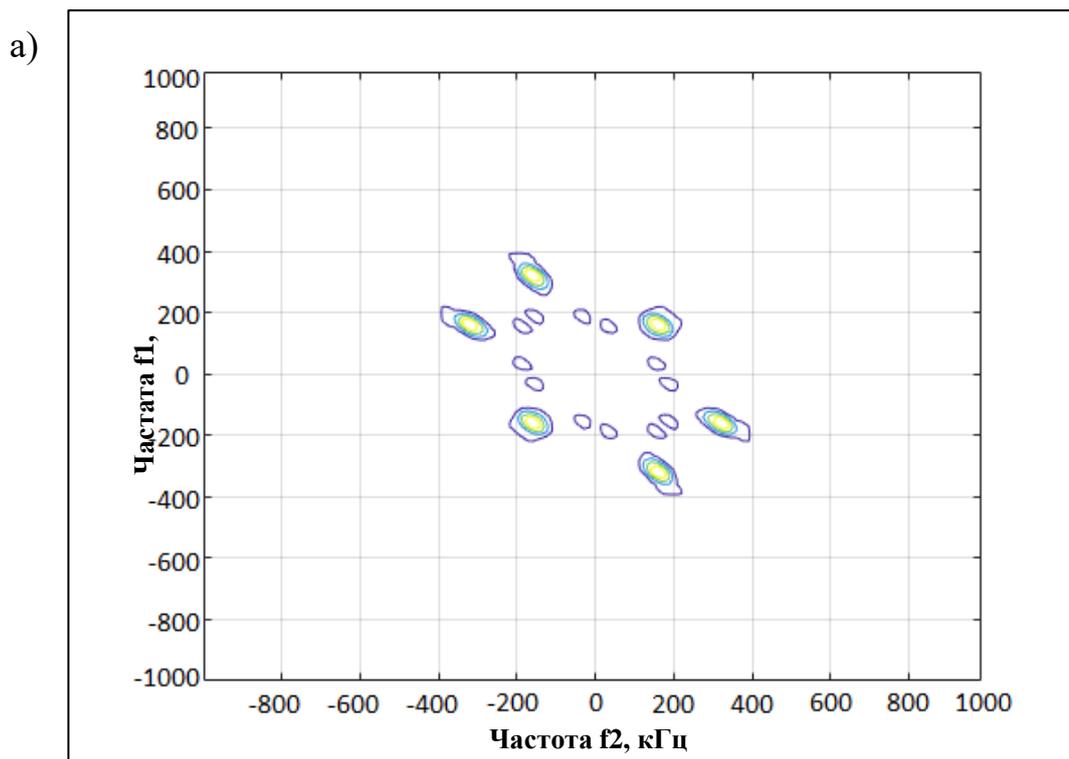


Рисунок 3.15 – Характеристики дислокационных источников по биспектре: а – сигнал образца 2 в группе 4; б – сигнал образца 3 в группе 4

На рисунке 3.16(а) показаны характеристики сигнала СтЗ на стадии деформационного упрочнения в биспектре, частота и фаза характеристического сигнала четко выделяется, а компонент этого характеристического сигнала можно также найти на биспектре стали с покрытием (образец 2) на той же стадии. Кроме того, в данном биспектре имеется характерная амплитуда более низкой частоты. Эта частотная составляющая обусловлена растрескиванием покрытия.



б)

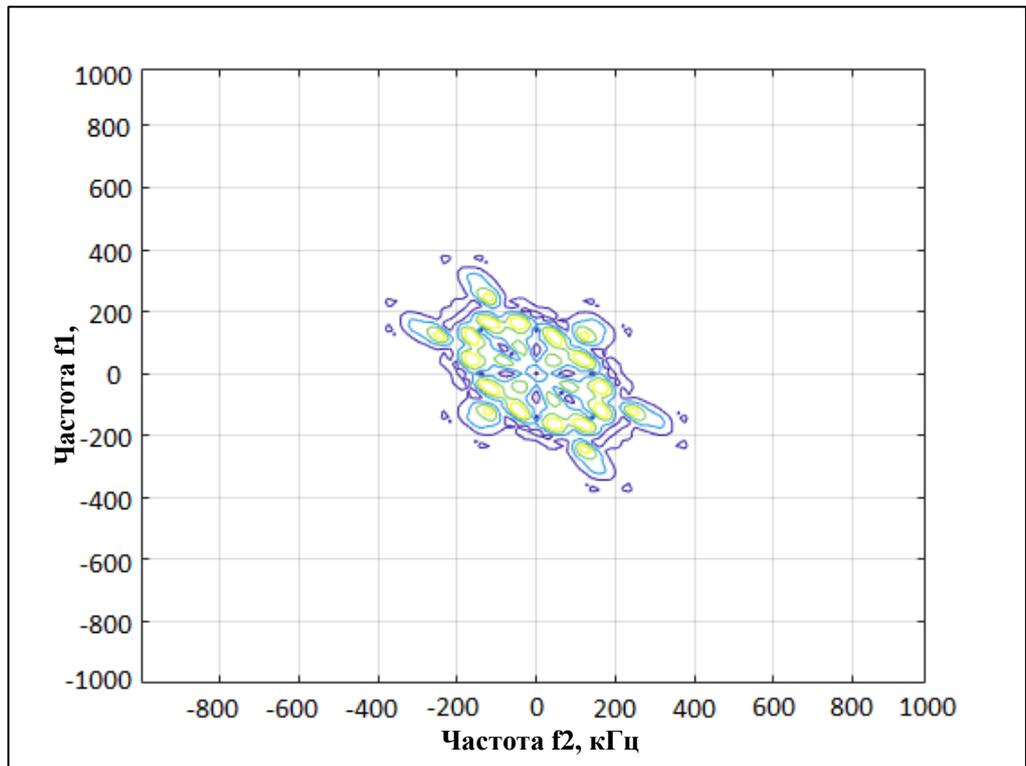


Рисунок 3.16 – Характеристики микротрещин и растрескивания покрытия источников по биспектре: а – сигнал образца 1 в группе 3; б – сигнал образца 2 в группе 6

## **Заключение**

В работе проведено исследование влияния газопламенного алюминиевого покрытия на регистрируемых сигналов АЭ в условиях растяжения и установлена зависимости, что в процессе растяжения энергия сигнала АЭ экспоненциально увеличивается с амплитудой.

На различных стадиях растяжения стали Ст3 по изменению параметров регистрируемой АЭ можно различать стадии эволюции различных видов дефектов и повреждений в структуре материала при его деформации.

Изменения, выявленные по медианной частоте могут характеризовать степень структурного механического повреждения во время процесса растяжения.

Сравнивая спектральный и биспектральный Фурье анализы, было обнаружено, что биспектральный анализ может лучше разделять характеристики сигналов АЭ, регистрируемых при деформации и разрушении различных покрытий. Методом биспектрального анализа получены характеристики сигнала, возбуждающегося в следствии разрушения покрытия на стадии деформационного упрочнения.