

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ТИТАНА В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМАЦИИ

П.И. Стоев, И.И. Папиров

*Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”,
г. Харьков, Украина; E-mail: stoev@kipt.kharkov.ua*

Изучены особенности акустической эмиссии (АЭ) при пластической деформации текстурированного титана ВТ1-0 для образцов, вырезанных в различных направлениях относительно оси прокатки листа, в исходном состоянии и при отжигах при температурах 630 и 850 °С. Установлено, что АЭ образцов различной ориентации в состоянии заводской поставки характеризуется малой активностью и низкой амплитудой сигналов. Показано, что на параметры АЭ, т.е. зависимости активности, суммы импульсов и средней амплитуды АЭ от перемещения захватов большое влияние оказывают температура и продолжительность термической обработки. Отжиги образцов титана при температурах 630 и 850 °С приводят к изменению механизмов деформации. Вклад в общую деформацию низкоамплитудных дислокационных источников в результате отжига уменьшается и основную роль начинают играть высокоамплитудные источники, вероятнее всего, двойники. Проведенные термообработки приводят к заметному уменьшению различий параметров акустической эмиссии у образцов с различной ориентацией и к сближению механизмов, обеспечивающих пластическую деформацию, но при этом анизотропия механических свойств у листов титана не исчезает из-за сохранения текстуры.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование определенных текстур, образующихся в процессе обработки давлением или пластической деформации, является эффективным методом, который широко используется при создании новых конструкционных материалов с высоким уровнем эксплуатационных характеристик. Поэтому изучению текстурированных материалов со значительной анизотропией механических физических, электрических свойств уделяется большое внимание, и они проводятся с привлечением разнообразных экспериментальных методов. Метод акустической эмиссии широко применяется для изучения процессов пластической деформации и разрушения металлов. В настоящее время для большого количества конструкционных материалов продолжают исследования по изучению структурных факторов и условий испытаний на акустико-эмиссионные характеристики [1-3]. Особый научный интерес представляют исследования особенностей акустических параметров текстурированных металлов. Однако, кроме сообщения авторов для циркония [4] и работ для углеродистой стали [5], кремнистого чугуна [6], титана и сплава титана Ti-6Al-4V [7], экспериментальные данные исследований акустических параметров для материалов с анизотропией механических свойств практически отсутствуют.

Целью данной работы является изучение АЭ текстурированного листового титана в различных направлениях относительно оси прокатки материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

В данной работе использованы образцы титана, которые вырезали механическим способом из

листового технического титана ВТ1-0 толщиной 2 мм под углами 0, 45 и 90° относительно оси прокатки. Длина рабочей части и сечение исходных образцов составляли 20 мм и 6 мм² соответственно. Образцы изучали в исходном состоянии (заводской прокатанный лист) и после термической обработки 630 и 850 °С.

Для регистрации сигналов АЭ использовали разработанный совместно с Институтом проблем машиностроения АН Украины многоканальный акустический комплекс М400, позволяющий регистрировать импульсы АЭ различной амплитуды. Пьезопреобразователь из керамики ЦТС-19 (резонансная частота 180 кГц) через слой смазки, которая улучшает акустический контакт образец-датчик, прижимали с постоянным усилием к поверхности образца специальным держателем.

Механические испытания на растяжение проводили на универсальной испытательной машине 1958-У10-1 по стандартной методике со скоростью $2 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹ при комнатной температуре. При испытании образцов через определенный интервал времени (от 1 до 10 с) синхронно регистрировали параметры деформирования (приложенная нагрузка, перемещение захвата) и количество импульсов АЭ, которое поступало на каждый из восьми амплитудных счетчиков-дискриминаторов акустического комплекса. Сбор, обработку и анализ экспериментальных результатов проводили с помощью ЭВМ.

Средняя амплитуда импульса АЭ рассчитывалась по формуле:

$$A_{cp} = \left(\sum_{i=1}^8 k_i N_i \right) / \left(\sum_{i=1}^8 N_i \right),$$

где k – амплитудный уровень счетчика; N – число импульсов АЭ, которые приходят на i -й счетчик за выбранный интервал времени; i – порядковый номер

счетчика сигналов АЭ (комплекс М400 имеет 8 амплитудных счетчиков).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице приведены механические свойства испытанных образцов титана в исходном состоянии и после термообработки.

Анализ данных испытаний образцов на растяжение показал, что листы титана имеют анизотропию механических свойств, а именно:

- предел текучести всегда ниже у образцов ориентированных поперек направления прокатки (ОПП) и максимален у образцов, ориентированных вдоль прокатки (ОВП);

- предел прочности максимален у образцов ОПП.

Известно, что анизотропия механических свойств листов в основном связана с различным сопротивлением пластической деформации в разных направлениях в плоскости листа, и основная причина пластической анизотропии листов – кристаллографическая текстура [8].

Рассмотрим особенности кривых деформации и параметров акустической эмиссии этих образцов в процессе растяжения.

На рис.1 приведены кривые растяжения образцов титана ОВП, О45П (образцы, ориентированные под углом 45° к оси прокатки) и ОПП в исходном состоянии (состояние заводской поставки). У образцов ОПП в области напряжений выше предела текучести деформация проходит при более высоких напряжениях, и ход кривых упрочнения существенно отличается от кривых упрочнения для образцов ОВП и О45П. Наблюдаемое различие кривых деформации, вероятно, связано с особенностями образования шейки при растяжении: у образцов ОВП и О45П сосредоточенная деформация с образованием шейки начинается сразу же после достижения предела текучести. Деформация локализуется в узкой области шейки, и поэтому величина удлинения до разрушения у этих образцов значительно ниже по сравнению с образцами ОПП, у которых наблюдается более равномерная деформация по всему объему рабочей части образца.

Наблюдаемые различия в характере кривых деформации сказываются и на зависимости активности АЭ и общей суммы импульсов от деформации (рис.2, а,б).

Механические свойства образцов листового титана ВТ1-0 при растяжении

Обработка	Направление вырезки образцов относительно оси прокатки					
	поперек		45°		вдоль	
	Механические свойства					
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_B , МПа	σ_T , МПа
Исх. сост	476	397	450	418	455	420
Отжиг при 650 °С 1 ч	396	261	384	279	393	264
Отжиг при 850 °С 1 ч	381	292	378	323	375	326
Отжиг при 850 °С 3 ч	385	285	381	317	377	319,5

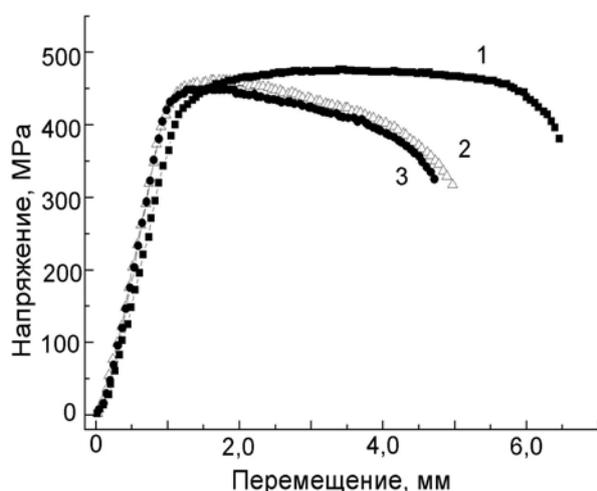


Рис.1. Зависимость растягивающего напряжения от величины перемещения захватов испытательной машины для образцов: 1 – ОПП; 2 – О45П; 3 – ОВП

Зависимость $\dot{N}(\Delta l)$ от направления вырезки для образцов титана в исходном состоянии представляет собой три кривые активности АЭ, расположенные в следующем порядке: верхняя кривая описывает поведение образца ОПП, ниже проходят кривые для О45П и ОВП.

При анализе данных (см. рис.2) необходимо учитывать существенное влияние на характер кривых зависимости $\dot{N}(\Delta l)$ и $N(\Delta l)$ упрочненного поверхностного слоя образцов, которое авторы исследовали для листового титана в работе [9].

Из рис.2 следует:

- величина активности АЭ образцов ОВП и О45П вплоть до разрушения практически не меняется и остается небольшой;

- активность АЭ в течение всего процесса растяжения более высокая у образцов ОПП;
- регистрация сигналов АЭ у ОПП образцов начинается в области напряжений ниже предела текучести (эту особенность мы наблюдали ранее в работе [10] при растяжении титана);
- общее количество зарегистрированных импульсов АЭ максимально у ОПП образцов и приблизительно в 4 раза больше, чем у образцов ОВП.

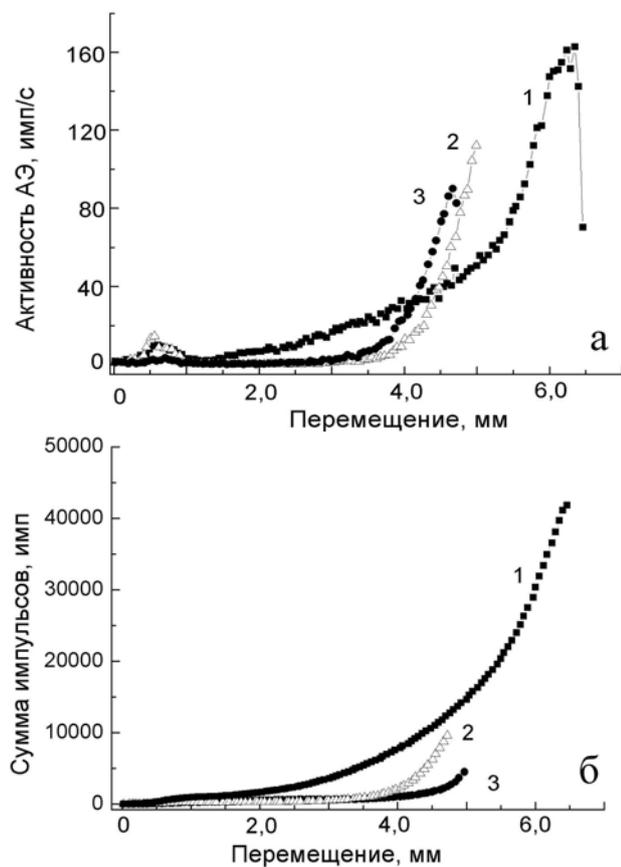


Рис.2. Зависимость активности (а) и суммы импульсов АЭ (б) от перемещения захватов для образцов титана: 1 - ОПП, 2 - О45П, 3 - ОВП

Анализ амплитудного распределения сигналов АЭ, зарегистрированных у этих же образцов (см. рис.3) показал следующее:

- основной вклад в активность АЭ при испытаниях образцов титана с различной ориентацией дают низкоамплитудные импульсы;
- различие кривых $\dot{N}(\Delta l)$ и $N(\Delta l)$ у этих образцов определяется также только величиной зарегистрированных низкоамплитудных сигналов АЭ;
- высокоамплитудные сигналы начинают обнаруживаться лишь на стадии предразрушения и разрушения и их количество приблизительно одинаковое для всех образцов.

Из анализа зависимости средней амплитуды импульсов АЭ от деформации для образцов титана различной ориентации в исходном состоянии следует, что у исследованных образцов характер изменения в процессе растяжения и абсолютные величины A_{cp} практически одинаковы.

Принято считать, что амплитуда сигнала АЭ дает информацию о природе источника, который генерирует акустическую волну [3,11]. Преобладание в спектрах АЭ образцов титана низкоамплитудных сигналов и невысокие значения A_{cp} позволяют предположить, что АЭ в процессе деформации генерируется низкоамплитудными дислокационными источниками, и основным механизмом деформирования образцов листового титана (в исходном состоянии) с различной ориентацией относительно оси прокатки является дислокационное скольжение.

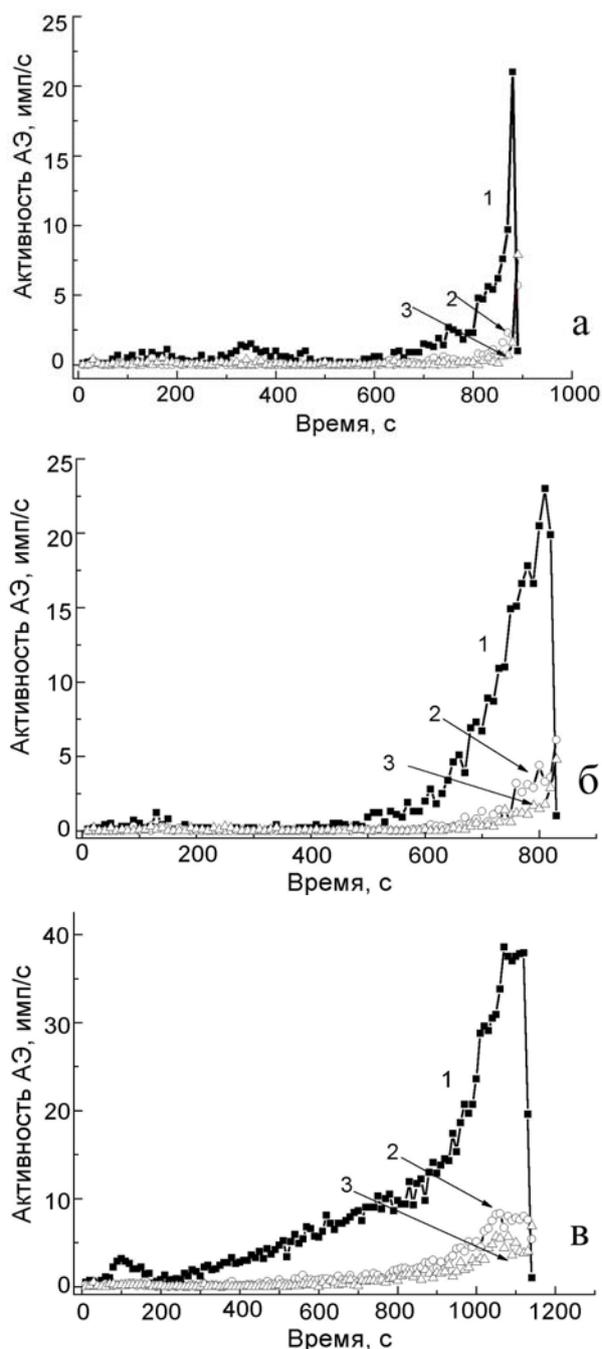


Рис.3. Зависимость активности АЭ от времени растяжения для сигналов низкой амплитуды (кривая 1), средней амплитуды (кривая 2) и высокой амплитуды (кривая 3) у образцов ОВП (а), О45П (б) и ОПП (в)

Различия в кривых деформации и зависимостях акустических параметров от направления вырезки образцов, вероятно, связаны с особенностями скольжения по этим направлениям в текстурированном материале (различным количеством благоприятно ориентированных для скольжения зерен), которые определяются ориентационными параметрами сформированной текстуры.

По литературным источникам холодная прокатки титана приводит к образованию $(0001)[10\bar{1}0]$ текстуры, которая повернута на угол $\pm 30^\circ$ от нормали к плоскости проката в поперечном оси прокатки направлении (так называемая «двойная текстура»). Прокатка при температурах $550...580^\circ\text{C}$ приводит к образованию $(0001)[11\bar{2}0]$ текстуры с разбросом $\pm 40^\circ$ в поперечном направлении [12]. В титане имеется, по крайней мере, 30 возможных систем скольжения и двойникования. Все элементы сдвига и двойникования имеют одно и то же направление $[11\bar{2}0]$.

Преобладающей плоскостью сдвига при всех температурах является плоскость $(10\bar{1}0)$. Критическое напряжение скольжения по плоскости призмы для технического титана равно 50 МПа, в то время как для плоскости базиса титана такой же чистоты оно составляет 110 МПа.

Листовой титан в состоянии поставки имеет мелкозернистую структуру ($d \approx 10...12$ мкм), поэтому скольжение по плоскости базиса у таких образцов крайне ограничено. Можно полагать, что деформация у образцов всех ориентаций реализуется за счет призматического скольжения.

При деформации мелкозернистых материалов регистрируются сигналы АЭ, которые имеют малую амплитуду. Высокая степень наклепа поверхностного слоя листа в результате прокатки приводит к тому, что большая часть сигналов, выходящих на поверхность материала к датчику, имеет амплитуду ниже порогового уровня регистрации аппаратуры, поэтому у всех образцов наблюдается малая активность вплоть до предразрушающих напряжений.

Кроме того, сосредоточенная деформация, которая наблюдается при растяжении у образцов ОВП и О45П и более равномерная у ОПП, по-видимому, и приводит к низкой активности АЭ у первых и более высокой у образцов, ориентированных поперек оси прокатки. Поэтому образцы титана в исходном состоянии характеризуются низкой амплитудой сигналов и малой активностью АЭ.

Более высокая активность АЭ у ОПП образцов, по-видимому, может быть связана с тем, что в начальный момент деформирования в этом материале большая доля зерен ориентирована благоприятно для деформации, которая и начинается при значительно меньших напряжениях, тогда как у ОВП и О45П образцов рост активности АЭ наблюдается значительно выше предела текучести.

Уровень механических свойств, их анизотропия, особенности процессов деформации и разрушения во многом определяются структурным состоянием материала. Так например, с увеличением размера зерна у титана активизируется работа механизма двойникования и увеличивается частота скольжения по плоскости базиса. Поэтому представляло интерес исследовать влияние различных термообработок на характер изменения кривых деформации и зависимость акустических параметров в процессе пластической деформации.

На рис. 4 приведены кривые деформации образцов титана различной ориентации, отожженных при 630°C в течение одного часа.

Из сравнения рис.4 и 1, видно, что термическая обработка при 630°C приводит к снижению пределов прочности и пластичности у образцов всех ориентаций. Это вызвано тем, что отжиг при 630°C приводит к снятию наклепа, деформационного упрочнения, снижению внутренних напряжений и ре-кристаллизации структуры листового титана. Деформация материала начинается при меньших напряжениях, становится более однородной, и все образцы показывают большее удлинение.

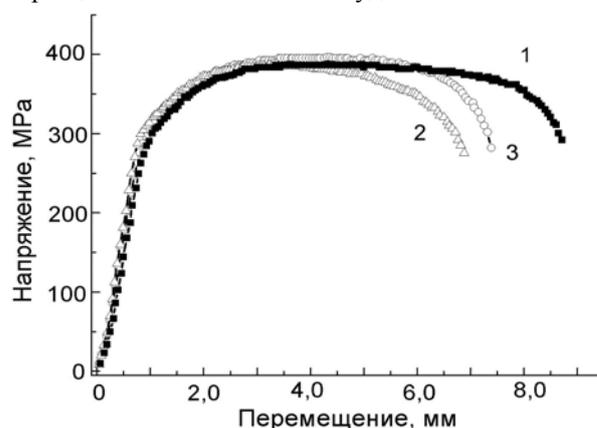


Рис.4. Зависимость растягивающего напряжения от перемещения захватов испытательной машины для отожженных (630°C , 1 ч) образцов: 1 – ОПП; 2 – О45П; 3 – ОВП

Существенное различие по сравнению с нетермообработанными образцами наблюдается на зависимости активности и средней амплитуды импульса АЭ (рис.5, а, б).

У ОПП и ОВП образцов значительная активность наблюдается при напряжениях ниже предела текучести. В области предела текучести активность АЭ остается постоянной и далее по мере увеличения нагрузки растет вплоть до разрушения. Обращает на себя внимание подобие кривых активности АЭ для образцов ОВП и ОПП. Еще одной особенностью кривых зависимости $\dot{N}(\Delta l)$ является то, что в области напряжений между пределом текучести и разрушением величина dN/dl для образцов О45П имеет тенденцию к росту - производная положительная, в то время как для образцов ОВП и ОПП – она отрицательная. У О45П активность АЭ в области напряжений ниже предела текучести не очень высокая, но после прохождения предела текучести рост активности АЭ у этого

образца проходит сильнее, чем у ОПП и ОВП. При напряжениях, близких к разрушающим, величины активностей АЭ у всех отожженных образцов с различной ориентировкой становятся сравнимыми.

Различия в особенностях процесса деформирования образцов листового титана влияют и на зависимость средней амплитуды импульса АЭ в процессе растяжения (см. рис.5,б). Сравнивая графики зависимости A_{cp} исходных и термообработанных образцов титана, следует отметить, что отжиг приводит к существенному увеличению средней амплитуды импульса АЭ и к аномальному поведению зависимости $A_{cp}(\Delta l)$ в области предразрушения: наблюдаемая нами ранее эта зависимость для ряда конструкционных металлов (бериллий, медь, алюминий и др.) имела тенденцию роста A_{cp} на конечной стадии деформирования.

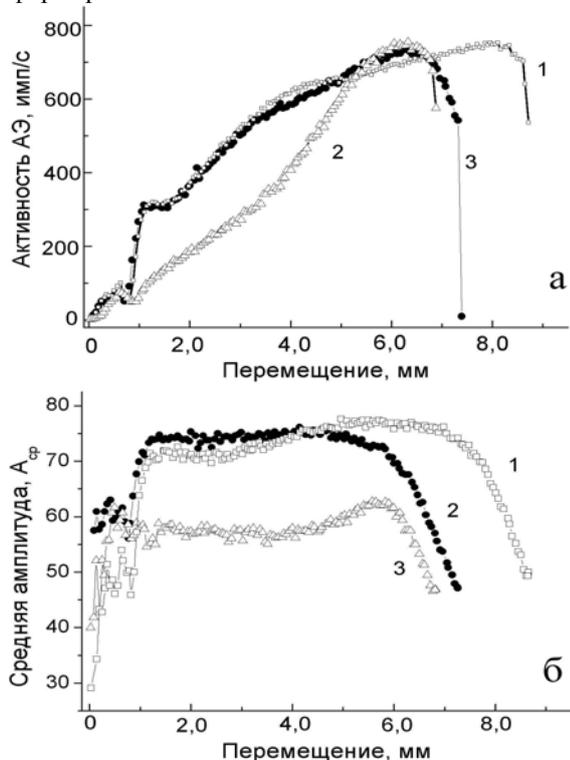


Рис.5. Зависимость активности АЭ (а) и средней амплитуды (б) от перемещения захватов для отожженных при 630°С (1 ч) образцов титана: 1 - ОПП; 2 - О45П; 3 - ОВП

Для понимания природы этой аномалии мы изучили амплитудную зависимость импульсов АЭ, а также, чтобы выяснить за счет чего происходит выравнивание активности АЭ образцов ОВП, ОПП и О45П в предразрушающей области деформирования, был проведен анализ изменения активности АЭ сигналов различной амплитуды в процессе растяжения. На рис. 6 приведены зависимости активности АЭ для низко- и высокоамплитудных сигналов для отожженных при 630 °С образцов титана.

Установлено, что более сильное увеличение активности АЭ в процессе деформирования образцов О45П связано с присутствием в спектре большей доли низкоамплитудных сигналов (см.

рис.6,а, кривая 2). Доля высокоамплитудных сигналов в спектре АЭ у этих образцов ($N_{BA}/N_{HA} \approx 3$) на всем этапе деформирования ниже, чем у ОВП и ОПП ($N_{BA}/N_{HA} \approx 7,5 \dots 8$). Таким образом, равенство величин интегральной активности АЭ у образцов О45П достигается в результате большего вклада низкоамплитудных сигналов.

Аномальный вид зависимости A_{cp} в области предразрушения определяется специфическим характером изменения активности высокоамплитудных сигналов АЭ (см. рис. 6,б). Для образцов всех ориентацией абсолютные значения активности импульсов АЭ самой высокой амплитуды в несколько раз выше, чем активность сигналов АЭ меньших амплитуд, но во второй половине процесса пластического деформирования активность этих сигналов начинает постепенно снижаться и в конце испытания она сравнивается с активностью сигналов меньших амплитуд.

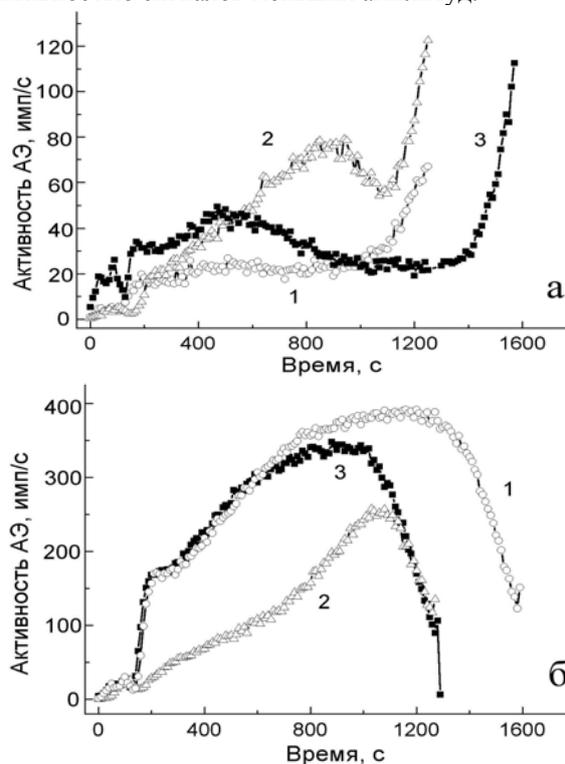


Рис.6. Зависимость активности низкоамплитудных (а) и высокоамплитудных (б) сигналов АЭ от времени растяжения для отожженных образцов: 1 - ОПП; 2 - О45П; 3 - ОВП

Из рис 6 видно, что низкоамплитудные сигналы имеют восходящий характер зависимости $\dot{N}(\Delta l)$ во второй части растяжения, а высокоамплитудные - нисходящий. Поскольку количество высокоамплитудных сигналов существенно больше низкоамплитудных, интегральная зависимость A_{cp} для всех амплитуд имеет ниспадающую ветвь во второй половине пластического деформирования.

Уменьшение активности высокоамплитудных сигналов во второй части испытания можно связать с уменьшением объема образца (из-за образования шейки), который излучает импульсы. Известно, что уменьшение объема материала,

излучающего АЭ, приводит к снижению общего количества регистрируемых импульсов АЭ.

Однако зависимости A_{cp} , приведенные на рис. 7 и 8 для образцов, отожженных при 850 °С, показывают, что этот фактор вряд ли является основным в формировании ниспадающей части кривой A_{cp} . Если при отжиге в течение 1 ч еще просматривается тенденция снижения A_{cp} в конце деформирования, то при более длительном отжиге (3 ч) значения A_{cp} не уменьшаются в предразрушающей области напряжений. Вероятнее всего, при режимах термообработки 630 °С 1 ч возникает такая структура материала, что источников генерации импульсов высокой амплитуды в процессе деформирования образуется недостаточно и некоторой части испытания они просто исчерпываются.

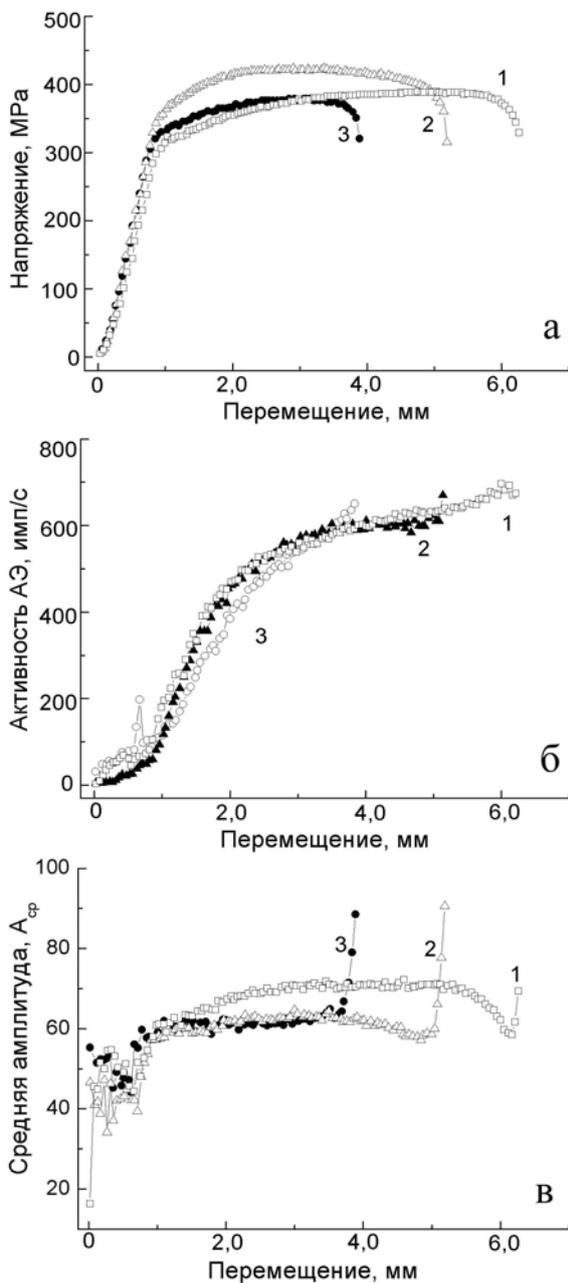


Рис. 7. Кривая деформации (а), зависимость активности АЭ (б) и средней амплитуды (в) от

перемещения захватов для отожженных при 850 °С (1 ч) образцов титана: 1 - ОПП; 2 - О45П; 3 - ОВП

В процессе термообработки образцов при 850 °С число высокоамплитудных источников на всех этапах деформирования достаточно высоко, и мы наблюдаем обычный ход зависимости $A_{cp}(\Delta l)$.

На рис. 8, а, б приведены кривые деформации образцов титана и зависимости активности АЭ от перемещения захватов для отожженных при 850 °С в течение 3 ч. Видно существенное различие кривых деформации этих образцов по сравнению с исходными и термообработанными при 630 °С : в области напряжений выше предела текучести все образцы деформируются с упрочнением. Отжиг при 850 °С приводит к снижению значений предела прочности и повышению предела текучести, удлинение образцов существенно уменьшается.

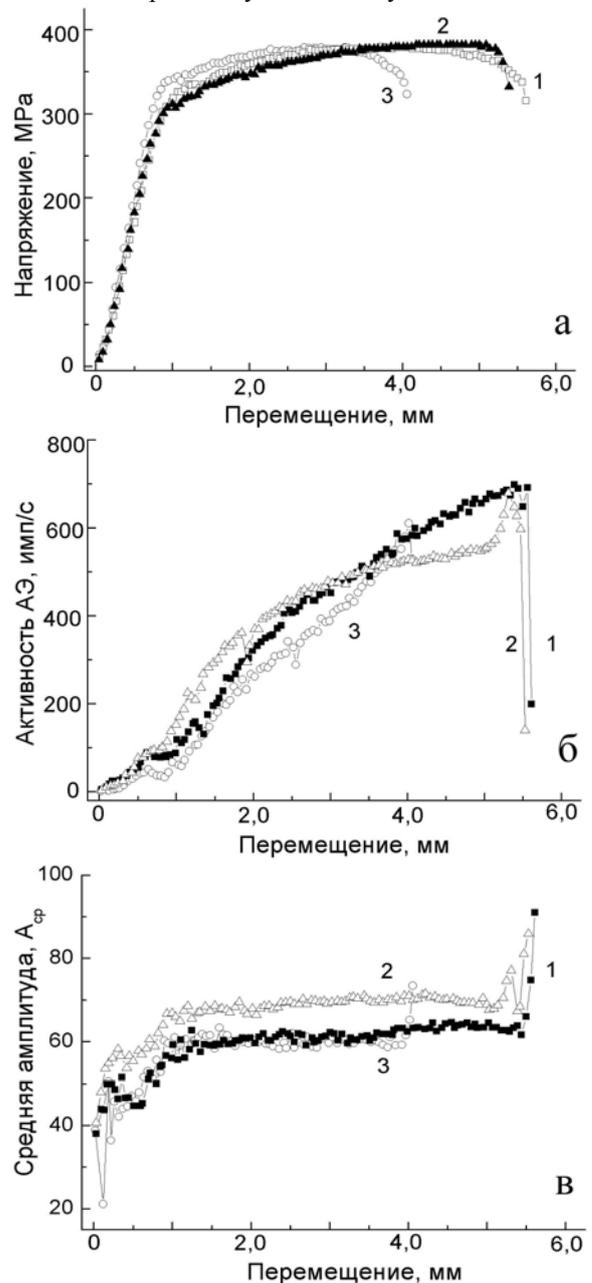


Рис. 8. Кривая деформации (а), зависимость активности АЭ (б) и средней амплитуды (в) от

перемещения захватов для отожженных при 850 °С (3 ч) образцов титана: 1 - ОПП; 2 - О45П; 3 - ОВП

Технически чистый титан представляет собой многокомпонентный сплав титана с небольшим количеством примесей кислорода, азота, углерода, водорода, железа, кремния, магния, никеля, марганца и др.

Отжиг при высоких температурах приводит к падению пластичности и вызывается, по-видимому, перераспределением примесей кислорода и азота между границами и объемом зерен, а также старением наклепанного металла, которое сопровождается выпадением дисперсной фазы.

Характер изменения кривых $\dot{N}(\Delta l)$ и абсолютные значения активности для образцов всех ориентаций становятся близкими. Амплитудный анализ не показал существенного различия спектров сигналов АЭ у этих образцов, хотя у ОПП образцов сохраняется тенденция генерировать сигналы с более высокой A_{cp} .

На рис. 9 приведены характерные графики изменения зависимостей механических и акустических параметров для образцов титана определенной ориентации при различных обработках.

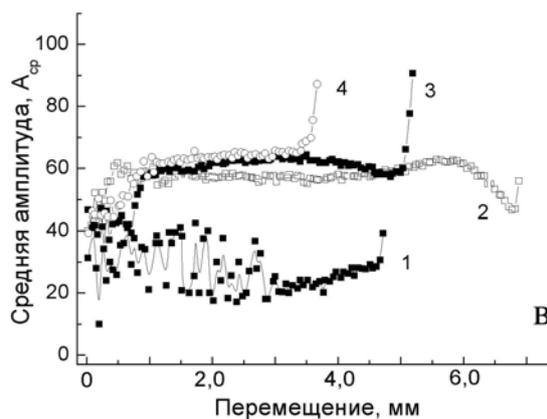
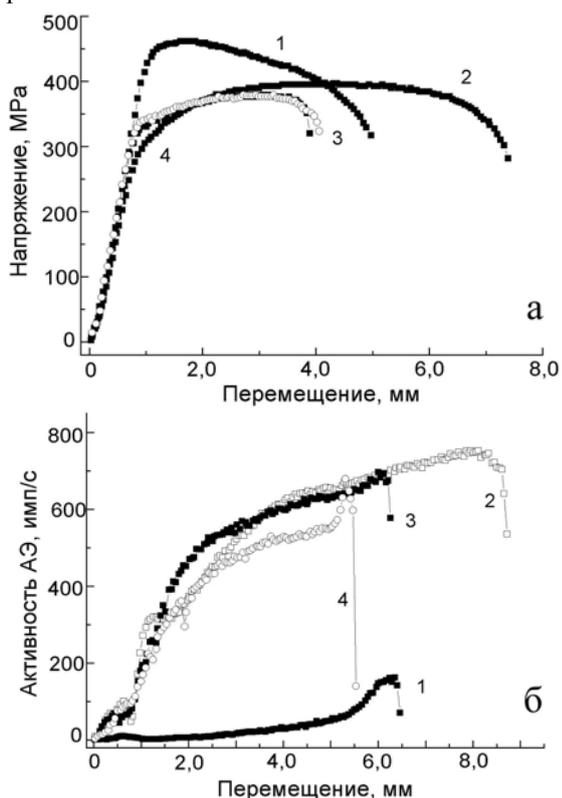


Рис.9. Кривые деформации для образцов ОВП (а), зависимости активности АЭ образцов ОПП (б) и зависимости A_{cp} для образцов О45П от перемещения (в) при различных обработках: 1 - исходное состояние; 2 – отжиг при 630 °С 1 ч; 3 – отжиг при 850 °С 1 ч; 4 – отжиг при 850 °С 3 ч

Таким образом, после термической обработки происходит изменение в механизме деформации образцов. Еще различимы дислокационные низкоамплитудные источники, но основную роль начинают играть источники высокоамплитудные, вероятнее всего, это двойники. Металлографические исследования показывают большое количество двойников, которые образовались в процессе деформирования растяжением.

Однако следует отметить, что хотя проведенные термообработки и приводят к существенному уменьшению различий акустических параметров у образцов с различной ориентацией и к близости механизмов, обеспечивающих деформацию, анизотропия механических свойств у листов титана сохраняется (см.таблицу). Термическими обработками не удалось повлиять на устойчивую закономерность возрастания удлинения: в исходных и отожженных образцах минимальное удлинение показывают ОВП, чуть выше эти значения у О45П и всегда максимальны - у образцов ОПП.

ВЫВОДЫ

Изучены особенности акустической эмиссии при пластической деформации текстурированного титана ВТ1-0 для образцов, вырезанных в различных направлениях относительно оси прокатки листа, в исходном состоянии и при отжигах при температурах 630 и 850 °С.

Установлено, что АЭ образцов различной ориентации в состоянии заводской поставки характеризуется малой активностью и низкой амплитудой сигналов.

Показано, что на параметры акустической эмиссии, т.е. на зависимости $\dot{N}(\Delta l)$, $N(\Delta l)$ и $A_{cp}(\Delta l)$ большое влияние оказывают температура и продолжительность термической обработки. Отжиги образцов титана при температурах 630 и 850 °С приводят к изменению механизмов деформации. Вклад в общую деформацию низкоамплитудных дислокационных источников в результате отжига уменьшается, и основную роль

начинают играть высокоамплитудные источники, вероятнее всего, двойники.

После отжига прокатанного титана при 630 °С 1 ч у образцов всех ориентаций наблюдается аномальный вид зависимости A_{cp} в области предразрушения. Установлено, что это вызвано специфическим характером изменения активности высокоамплитудных и низкоамплитудных сигналов АЭ в процессе пластической деформации материала.

Показано, что после отжига при 850 °С характер изменения кривых $\dot{N}(\Delta l)$ и абсолютные значения активности АЭ для образцов титана всех ориентаций становятся близкими. Амплитудный анализ не показывает существенного различия спектров сигналов АЭ у этих образцов, хотя у ОПП образцов сохраняется тенденция генерировать сигналы с более высокой средней амплитуды.

Проведенные термообработки приводят к заметному уменьшению различий параметров акустической эмиссии у образцов с различной ориентацией и к сближению механизмов, обеспечивающих пластическую деформацию, но при этом анизотропия механических свойств у листов титана не исчезает из-за сохранения текстуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Стрижало, Ю.В.Добровольский, В.А.Стрельченко. *Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций*. Киев: «Наукова думка», 1990, 232 с.
2. В.А.Грешников, Ю.Б.Дробот. *Акустическая эмиссия*. М.: «Изд-во стандартов», 1976, 272 с.
3. Н.А.Бунина. *Исследование пластической деформации металлов методом акустической эмиссии*. Л.: «Изд-во Ленинградского университета», 1990, 155 с.
4. П.И.Стоев, И.И.Папиров. Исследования акустических спектров циркония // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 1997, в.1(65), 2(66), с. 135–139.
5. J.Eisenblatter, P.Jax, H.J.Schwalbe. Acoustic emission in carbon steel // *Proc.2nd AE Symp.* 1974, p.505-507.
6. H.L.Dunegan, D.Harris. Acoustic emission-a new nondestructive testing tool // *Ultrasonics*. 1969, v.7, N3, p. 160–166.
7. H.Tanaka, R.Horiuchi. Acoustic emission due to deformation twinning in titanium and Ti-6Al-4V alloy// *Scripta Metallurgica*. 1975, v.9, p. 777-780.
8. И.П.Кудрявцев. *Текстуры в металлах и сплавах*. М.: «Металлургия», 1966, 292 с.
9. П.И.Стоев, И.И.Папиров. Влияние состояния поверхности на акустическую эмиссию титана // *Металлофизика*. 1991, т.ХІІІ, №10, с. 28–33.
10. П.И.Стоев, И.И.Папиров, В.И.Мощенко. Акустическая эмиссия титана // *ВАНТ. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники» (15)*. 2005, №7, с.15-22
11. О.В.Гусев. *Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов*. М.: «Наука», 1982, 108 с.
12. Е.В.Коллингз. *Физическое материаловедение титановых сплавов*. М.: «Металлургия», 1988, 223 с.

АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ ТИТАНУ У ПРОЦЕСІ ДЕФОРМУВАННЯ

П.І. Стоєв, І.І. Папіров

Вивчено особливості акустичної емісії при пластичній деформації титану VT1-0, який має текстуру, для зразків вирізаних у різних напрямках щодо осі прокатки листа, у вихідному стані та при відпалах при температурах 630 і 850 °С. Встановлено, що АЕ зразків різної орієнтації в стані заводського постачання характеризується малою активністю і низькою амплітудою сигналів. Показано, що на параметри АЕ, тобто залежності активності, загальної суми імпульсів та середньої амплітуди АЕ від переміщення захватів випробувальної машини великий вплив роблять температура і тривалість термічної обробки. Відпали зразків титану при температурах 630 та 850 °С приводять до зміни механізмів деформації. Внесок у загальну деформацію низькоамплітудних дислокаційних джерел, у результаті відпалу, зменшується та основну роль починають грати високоамплітудні джерела, імовірноше двійники. Проведені термообробки приводять до помітного зменшення розходжень параметрів акустичної емісії у зразків з різною орієнтацією та до зближення механізмів, що забезпечують пластичну деформацію, але при цьому анизотропія механічних властивостей листа титану не зникає через збереження текстури.

ACOUSTIC EMISSION OF TITAN DURING DEFORMATION

P.I. Stoev, I.I. Papirov

Features of acoustic emission during plastic deformation of textured titanium VT1-0 were studied. Samples of VT1-0 titanium were cut in different directions from axe of sheet rolling, used in initial stage and after annealing at 630 and 850 °C temperatures. It was defined that AE of samples of industrial titanium with different orientation is characterized by low activity and low amplitude of signals. Also was determinated that the parameter of acoustic emission (depending of activity, sum of impulses and function of average amplitude from moving of testing machine clams) depends on temperature and time of thermal treatment. Annealing of samples changes mechanisms of deformation. Contribution to total deformation of low-amplitude dislocation sources decreases after annealing and main contribution is provided by high-amplitude sources, probably twines. Thermal treatment brings to essential reducing of differences of acoustic emission parameters in samples with different orientation and to ap-

proaching of mechanisms of plastic deformation. Anisotropy of mechanical properties of titanium sheets does not vanish due to saving of texture.