

вающих препятствия в динамическом режиме. При этом с увеличением степени упрочнения (дозы облучения) данный эффект может достигаться при более низких скоростях деформации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Неклюдов И.М., Камышанченко Н.В. Радиационное упрочнение и охрупчивание металлов//Структура и радиационная повреждаемость конструкционных материалов. -М.: Металлургия, 1996.- 168 с.
2. Волобуев А.В., Ожигов Л.С., Пархоменко А.А. Вопросы Атомной Науки и Техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 164, 3 1996.
3. Неклюдов И.М., Ожигов Л.С., Пархоменко А.А. и др. Физические явления в твердых телах.//Материалы второй научной конференции. – Харьков: ХГУ, 1995. –С. 132.
4. Малыгин Г.А.. ФТТ 33, 4, 1069 1991.
5. Малыгин Г.А.. ФТТ 33, 6, 1855 1991.
6. Малыгин Г.А.. ФТТ 34 , 11, 3605 1992.
7. Малыгин Г.А.. ФТТ 37 , 1, 3 (1995).
8. Попов Л.Е., Пудан Л.Я., Колупаева С.Н. и др. Математическое моделирование пластической деформации. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1990. – 184с .
9. Ханнанов Ш.Х.. ФММ 78, 2 , 31 (1994).
10. Малыгин Г.А.–ФТТ 38, 8, 2418 (1996).
11. Рыбин В.В.. Большие пластические деформации и разрушение металлов. –М.: Металлургия, 1986.–268 с.
12. Wechsler M.S. Proc. Conf. on Fundamental Aspects Radiation Damage Metals. Gatlinburg. Tenn. 2 , 991 (1976).
13. Wolfer W.G. and Boltax A. Proc. Int. Conf. on Irradiation Embrittlement and Creep in Fuel Cladding and Core Component. London. 31, 1973.
14. Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М., Ожигов Л.С. и др. Некоторые проблемы физики радиационных повреждений материалов.–Киев: Наук. Думка, 1979.–330 с.
15. Grobe M., Bohmert J. and Viehrig H.W. Nucl J.Mat. 211, 177 (1994).
16. Неклюдов И.М., Ожигов Л.С., Пархоменко А.А. Физика прочности и пластичности металлов и сплавов//Труды 13-й международной конференции. – Самара: Изд-во Самарского политехн. ин-та, 1992. – С. 29.

## ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ БЕРИЛЛИЯ

**П.И. Стоев**

*Изучено влияние ТЦО на акустические спектры и механические свойства двух партий бериллия с различным уровнем механических свойств, полученных из одного и того же порошка при разных параметрах горячего прессования.*

*Показано, что термоциклическая обработка бериллия приводит к исчезновению первого пика на зависимости  $N(\sigma)$  и существенному уменьше-*

*нию активности акустической эмиссии. Из анализа акустических спектров сигналов АЭ следует, что при ТЦО радикально меняет внутреннюю структуру и облегчает процессы деформации, что приводит к снятию внутренних напряжений.*

*Общее количество регистрируемых импульсов и амплитуда сигналов уменьшается по мере снятия внутренних напряжений, поэтому с помощью метода АЭ можно оценивать уровень внутренних напряжений в бериллии и проводить оптимизацию параметров термических обработок.*

Уровень микронапряжений является важнейшей структурной характеристикой материала, связанной с его релаксационной способностью [1].

Микронапряжения в поликристаллическом материале возникают как на стадии его производства (из-за анизотропии коэффициентов линейного расширения кристаллической решетки, присутствия в матрице вторичных фаз и др.), так и в результате последующих механических обработок (пластическая деформация при низких температурах).

Если материал работает в режиме теплосмен или под нагрузкой, то возникают дополнительные напряжения, складываясь с остаточными они существенно влияют на поведение материала вплоть до его разрушения. Кроме того, необходимо учитывать, что напряжения распределяются по объему материала крайне неравномерно. Поэтому контроль уровня напряжений становится важнейшей проблемой при выборе сорта материала и прогнозирования его поведения в различных условиях эксплуатации.

Рентгеновские методы, используемые для определения величины внутренних остаточных напряжений достаточно трудоемкие, поэтому часто для качественной оценки уровня внутренних напряжений используют другие методы. По нашему мнению, метод изучения акустической эмиссии (АЭ) может оказаться перспективным для решения этой задачи.

Излучаемые волны АЭ являются отражением процессов динамической перестройки материала и связаны как с характеристиками материала (структурное состояние, химический и фазовый составы, деформационно-прочностные свойства и др.), так и с условиями нагружения (напряженное состояние, скорость, температура испытания).

В работах, выполненных в институте ВНИИНМ им. Бочвара, с помощью специальных термообработок удавалось существенно понизить уровень внутренних напряжений в бериллии [2]. При этом показано, что чем сильнее понижаются механические свойства в результате термоциклической обработки (ТЦО) по сравнению с исходным состоянием, тем ниже оказывается уровень внутренних остаточных напряжений в материале.

Целью данной работы является изучение особенностей в спектрах АЭ, вызванных термоциклической обработкой горячепрессованного бериллия.

В качестве материала использовали две партии горячепрессованного бериллия технической чистоты, полученные из одного и того же порошка, но

при различных режимах прессования. Уровень механических свойств в исходном состоянии составил:

1 -я партия -  $\sigma_T$  - 33,0 кг/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_B$  - 48,0кг/мм<sup>2</sup>;  $\epsilon$ - 2,2%;

2 -я партия -  $\sigma_T$  - 24,0 кг/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_B$  - 40,0кг/мм<sup>2</sup>;  $\epsilon$ - 3,5%.

Механические испытания на растяжение выполнялись по стандартной методике на универсальной испытательной машине 1958 У10-1 при комнатной температуре. Скорость перемещения активного захвата - 0,2 мм/мин. На каждую точку использовали на менее трех образцов. Параметры нагружения регистрировали синхронно с параметрами 8 - канального амплитудного анализатора импульсов АЭ. Регистрация и дальнейшая обработка полученной информации производилась с помощью ЭВМ типа «IBM PC/AT 386». Для исключения сигналов АЭ от деформации головок перед механическими испытаниями проводилось обжатие головок образцов нагрузкой, превышающей величину напряжения разрушения рабочей части образца.

В работе использовали круглые (гагаринские) образцы на растяжение с диаметром рабочей части 5 мм. Образцы вырезали механическим путем из блоков, подвергали химическому травлению, а затем электрохимической полировке. Последующая термоциклическая обработка заключалась в их нагреве на воздухе до температуры 600<sup>0</sup> С и охлаждении в масле (обычно проводили 5 циклонов нагрев-охлаждение).

Механические свойства после ТЦО:

1 -я партия -  $\sigma_T$  - 24,1 кг/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_B$  - 44,8кг/мм<sup>2</sup>;  $\epsilon$ - 3,0%;

2 -я партия -  $\sigma_T$  - 23,0 кг/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_B$  - 36,5кг/мм<sup>2</sup>;  $\epsilon$ - 2,7%.

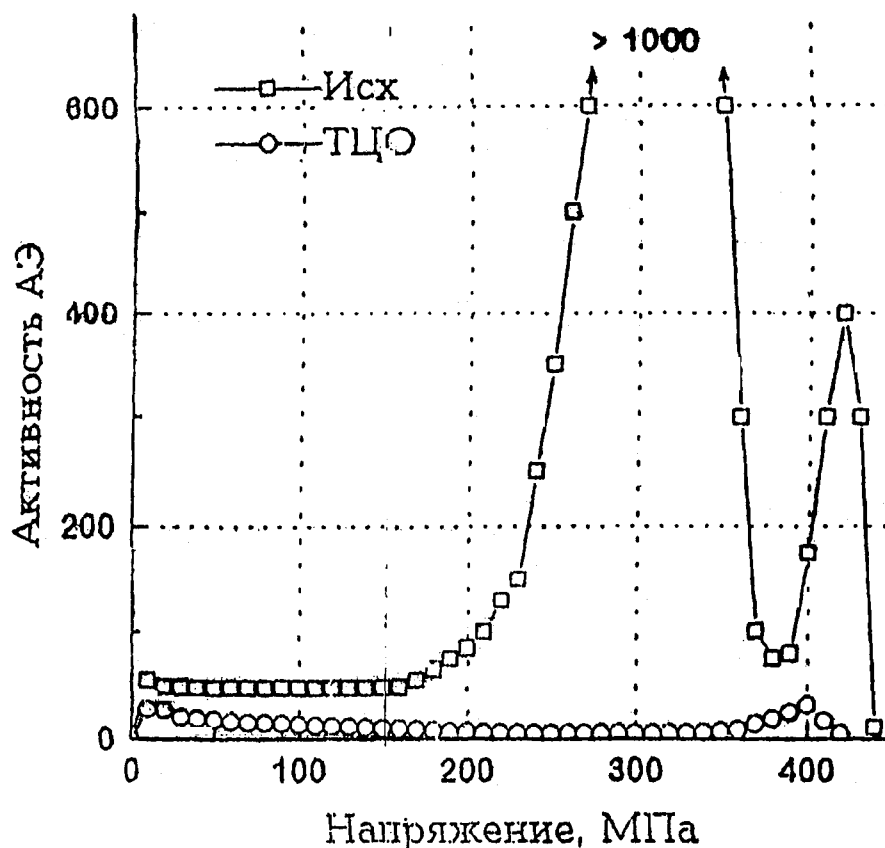


Рис. 1

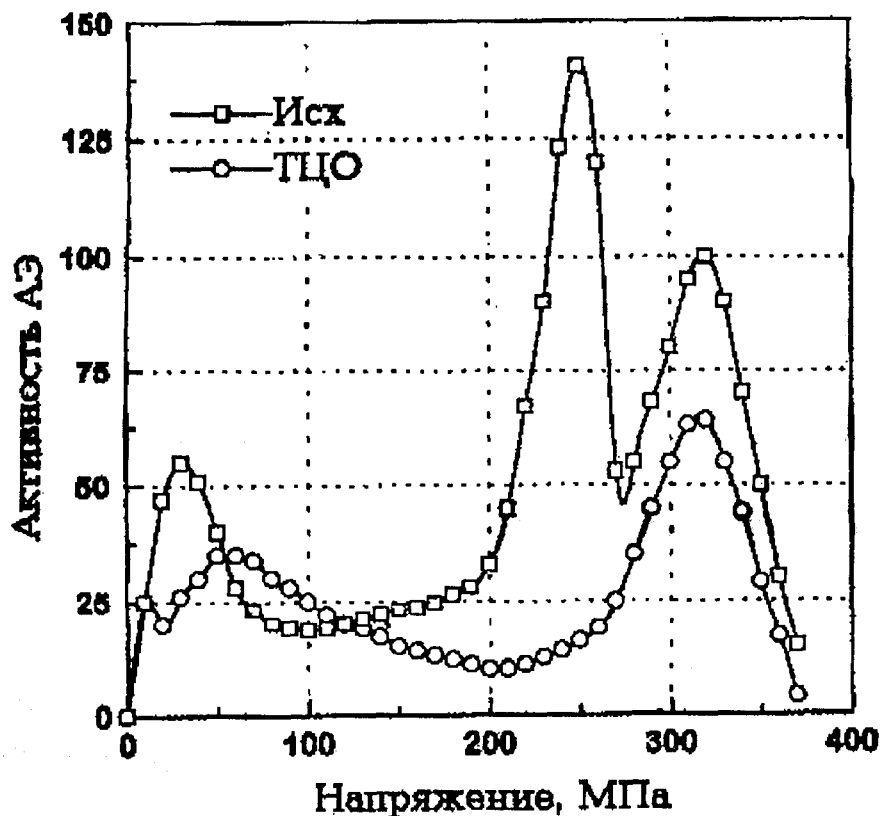


Рис.2

На рис.1, 2 приведены зависимости активности акустической эмиссии от приложенного растягивающего напряжения  $N(\sigma)$  для исходных и термообработанных образцов. Видно, что зависимость  $N(\sigma)$  нетермообработанного материала имеет два максимума: первый в области предела текучести материала и второй в районе напряжений, предшествующих разрушению. На всех этапах деформирования образцов активность АЭ материала 1 (с более высокими механическими свойствами) превосходит в 2-2,5 раза активность металла в партии 2. У материалов после ТЦО первый максимум АЭ исчезает, а величина второго меняется. Кроме того, влияние ТЦО на изменение активности проявляется сильнее у материала с более высокими механическими свойствами. Общая сумма импульсов регистрируемой АЭ материала после ТЦО всегда снижается по отношению к исходному состоянию (рис.3).

Следует обратить внимание на важную особенность: материал, который после ТЦО имеет минимальное значение предела текучести  $\sigma_T$ , дает и минимальное общее количество регистрируемых импульсов АЭ.

В результате изучения АЭ при испытаниях на растяжение образцов горячепрессованного бериллия в исходном состоянии обнаружено два максимума на зависимости  $N(\sigma)$ . Ширина, абсолютные значения максимумов активности АЭ и соотношение между их величинами зависят от механических свойств исследуемого материала и его предыстории. Термоциклическая об-

работка бериллия приводит к исчезновению первого максимума на кривой зависимости  $N(\sigma)$ .

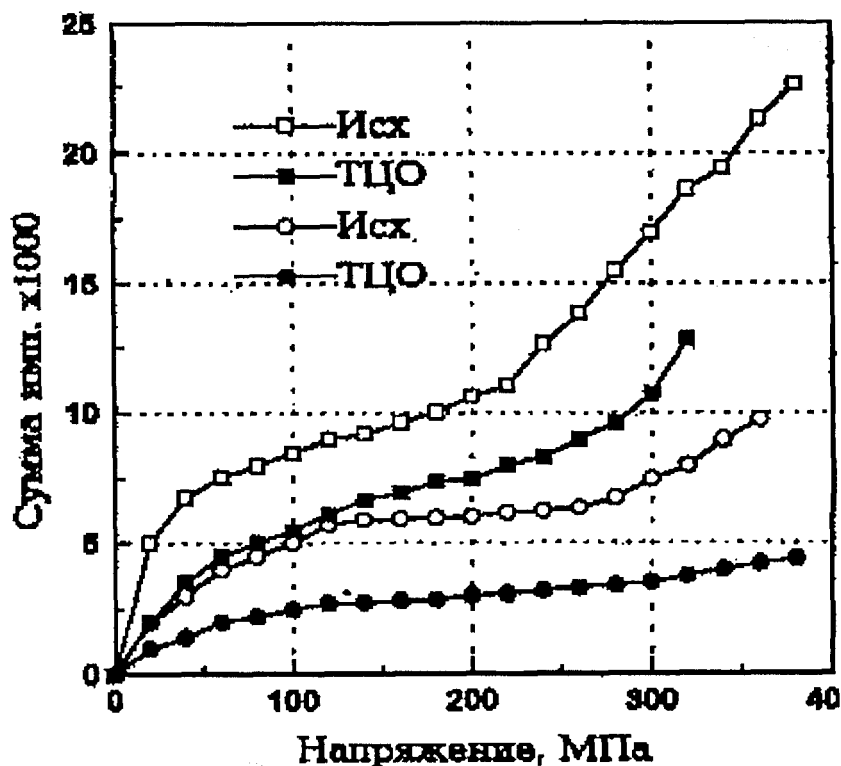


Рис.3

Авторы [3] считают, что это вызвано проявлением эффекта Кайзера, который заключается в исчезновении АЭ при повторном нагружении образца до уровня напряжений, соответствующих предварительному. Высокий градиент температуры на поверхности и внутри образца приводит, по их мнению, к сильному сжатию материала, то есть, при ТЦО в металле возникают напряжения выше предела текучести, что и ведет к исчезновению сигналов АЭ в этой области напряжений при последующем испытании.

Однако величина сжимающих напряжений, возникающих при быстром охлаждении, зависит от тепловых характеристик, объемов материала и градиента температуры, но для образцов небольших размеров они, по оценкам, не превышают 200 МПа. Поэтому действием этих напряжений нельзя объяснить исчезновение первого максимума на зависимости  $N(\sigma)$  у бериллия с пределом текучести 300 МПа, которое наблюдается в эксперименте. Кроме того, самый большой эффект подавления первого максимума после ТЦО наблюдается именно у наиболее прочных материалов, для которых эффект Кайзера должен быть минимальным.

С нашей точки зрения, механизм воздействия термоциклической обработки на бериллий иной. Исследование микропластичности бериллия показывает, что ТЦО приводит к увеличению плотности подвижных дислокаций (в результате образования новых и раскрепления имеющихся дислокаций).

Анализ кривых деформационного упрочнения, построенных в координатах  $\sigma - (\varepsilon)^{1/2}$ , для исходного и прошедшего ТЦО бериллия показывает, что абсолютная величина дополнительного упрочнения  $\sigma_p$ , которая характеризует подвижность дислокаций у обработанного материала, изменяется. Процессы скольжения дислокаций у такого материала облегчены и начинаются при более низких напряжениях.

Визуальный контроль на осциллографе в процессе испытания образцов, прошедших ТЦО, показал, что АЭ начинается задолго до предела текучести и количество низкоамплитудных импульсов (чуть выше уровня фонового порога аппаратуры) АЭ резко возрастает при напряжениях, близких к пределу текучести. Другими словами, происходит изменение типа АЭ: из взрывной она переходит в непрерывную.

Авторы [3] считают, что за высокочастотную непрерывную эмиссию ответственно некогерентное движение дислокаций в результате торможения при взаимодействии их друг с другом или другими дефектами. Согласно другой точки зрения [4] непрерывная эмиссия – результат наложения большого числа импульсов взрывного типа малой амплитуды. Можно предположить, что ТЦО оказывает сильное влияние на дислокационную подвижность, повышая ее и меняя характер: вместо отрыва и движения крупных групп дислокаций, регистрируемых в виде импульсов АЭ, происходит движение малых групп, приводящих к непрерывной АЭ, которая из-за особенностей аппаратуры не может быть зарегистрирована (в виде отдельных импульсов).

Полученные в настоящей работе данные свидетельствуют, что ТЦО радикально меняет внутреннюю структуру материала и облегчает процессы деформаций.

Известно [5], что пластическая деформация является одним из основных механизмов релаксации внутренних напряжений. Поэтому, чем при более низких напряжениях будет начинаться пластическая деформация, тем раньше начнется и активнее пройдет релаксация напряжений и сильнее понизится уровень внутренних напряжений.

Таким образом, сравнивая микропластические характеристики и механические свойства бериллия в исходном состоянии и после ТЦО, можно оценить и степень облегчения пластической деформации и уровень остаточных внутренних напряжений в бериллии.

С другой стороны, изменение амплитуды сигналов и общего числа регистрируемых импульсов АЭ после ТЦО, как показано в данной работе, достаточно хорошо коррелирует со степенью облегчения процессов пластической деформации.

Поэтому метод АЭ можно использовать как индикатор уровня внутренних напряжений и как надежный инструмент при оптимизации параметров ТЦО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нейбер Г. Концентрация напряжений. - М., 1976.
2. Михайлов В.С., Трифонов Ю.И. Измерение остаточных напряжений в изделиях из бериллия. Отчет ВНИИНМ, инв. №2823, 1981.
3. Dunegan H.L., Tatro C.A. Acoustic emission effects during mechanical deformation. Measurement of mechanical properties. Ed. R.F. Bunshah V.5, Part 2, Techniques of metals research, 1967. Vol.12.-P.273-311.
4. Pollock A.A. Stress-wave emission - a new tool for industry// Ultrasonics, 1968. Vol.6. №2. P.88-92.
5. Папиров И.И., Тихинский Г.Ф. Пластическая деформация бериллия. - М.: Атомиздат, 1973. - 304 с.

### **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ НЕСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ АУСТЕНИТНЫХ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

**А.М. Паршин, М.А. Жукова, М.И. Криворук, Н.И. Куриленко**

Предлагаемая работа касается создания специальной аустенитной хромоникелевой вакуумно-плотной коррозионностойкой стали типа 18-8, обеспечивающей высокое качество металла и его рабочих поверхностей. Несмотря на ряд положительных свойств сталей типа 18-8-Ti, им свойственно как выкрашивание карбидов и нитридов титана или его карбонитридов (строчечность карбидов, скопления карбидов и др.), так и ослабление сцепляемости их с матрицей. В местах скопления карбидов титана (и ниобия) или их карбонитридов, как правило, имеются микротрещины. Это приводит не только к локальному снижению вязко-пластических свойств аустенитных материалов при относительно пластичной матрице, но и к потере газоплотности (особенно тонкостенных конструкций) и выкрашиванию карбидов, т.е. к ухудшению чистоты содержимого, «отравлению» его [1].

Удаление титана не является сложной задачей. Однако не стабилизированная титаном сталь склонна к межкристаллитной коррозии вследствие образования карбидов хрома. Последнее требует почти полного удаления углерода. Указанное является довольно сложной проблемой. Так, за период с 1958 года по настоящее время минимальное содержание углерода в аустенитных хромоникелевых сталях и сплавах уменьшилось с 0,08 до 0,02%. Это достигалось как чистотой матрицы (железа), так и легирующих элементов, а также применением специальных видов вакуумных переплавов.

Предотвращение попадания азота в сталь неизбежно требует применения защиты, т.е. исключения контакта жидкого металла с воздухом. Послед-