

ВЛИЯНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛ ВСЕСТОРОННЕГО СЖАТИЯ ПРИ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ НА СВОЙСТВА СПЛАВА ВТ1-0

П.А. Хаймович, Е.В. Черняева, Н.А. Шульгин*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: pavel.41@bk.ru;

**Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Изучено влияние на свойства сплава ВТ1-0 приложения сил всестороннего сжатия в условиях криогенных температур как при деформировании сплава, так и в отсутствие деформации. Показано, что упрочнение материала обнаруживается только в той части заготовки, которая испытала деформацию, т. е. сам факт пребывания сплава в условиях всестороннего сжатия не приводит к упрочнению материала. В то же время измерения акустической эмиссии (АЭ) говорят о том, что в приповерхностных слоях действия сил всестороннего сжатия и в отсутствие деформирования вызывают некоторые изменения структуры, которые обуславливают увеличение энергии и (в меньшей степени) медианной частоты сигналов АЭ, чему предлагается возможное объяснение.

ВВЕДЕНИЕ

Приложение высокого давления оказывает существенное влияние на многие физические свойства твердых тел: приобретают другие значения тепло- и электропроводности, смещается температура сверхпроводящего перехода [1]. В значительной мере оказываются иными и механические свойства твердых тел, если деформировать их не в нормальных условиях, а при всестороннем сжатии, т. е. под большим гидростатическим давлением [2]. Дополнительные возможности в области получения новых свойств металлических материалов открыло применение квазигидроэкструдирования при криогенных температурах, чаще называемое сейчас барокриодеформированием (БКД) [3, 4]. Принципиальным отличием этого вида воздействия на материалы от традиционной гидроэкструзии является то, что в качестве передающей давление среды применяется не жидкость, а твердое тело, пластичность которого при температуре деформирования во много раз превышает пластичность деформируемого объекта.

До настоящего времени остается дискуссионным вопрос, приводит ли к необратимым изменениям в структуре и механических свойствах материала сам факт приложения к нему сил всестороннего сжатия без его деформирования. Такие эксперименты проводились [5], но при комнатной температуре. В настоящей же работе с применением упомянутого выше метода БКД предпринята попытка, найти ответ на этот вопрос для случая приложения к металлу сил всестороннего сжатия в условиях криогенных температур.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве объекта исследования был применен титановый сплав ВТ1-0 в виде прутка диаметром 10 мм, из которого вырезались образцы в поперечном и продольном осевом сечениях для получения информации по свойствам сплава, их однородности

по объему в исходном состоянии. Из этого же прутка были вырезаны заготовки для БКД, которые затем подвергались деформированию при 77 К по специальной программе. Эта программа заключалась в том, что после прохождения матрицы частью заготовки продавливание останавливали, устройство разгружали и извлекали частично продеформированную заготовку. Особенностью получаемого объекта было то, что часть его не испытала пластической деформации продавливанием через матрицу, однако находилась под действием сил всестороннего сжатия при 77 К, а вторая часть испытала деформацию выдавливанием при этой температуре (степень деформации ~ 53%). Затем вырезали таблетки в поперечном сечении каждой из частей (продеформированной и не испытывавшей деформацию), а также пластину в осевом сечении по всей длине частично продеформированной заготовки.

Механические свойства полученных объектов оценивали измерением микротвердости, контролируя ее уровень как в сечении, перпендикулярном оси, так и в осевом сечении по всей длине частично продеформированной заготовки.

В качестве инструмента структурных исследований использовали метод акустической эмиссии, уже находивший применение при исследовании свойств металлов, претерпевших БКД [6].

Этот метод, основанный на анализе параметров упругих волн АЭ (числа импульсов, скорости счета, энергии и др.), давно и успешно применяется в практике неразрушающего контроля потенциально опасного оборудования [7]. В настоящее время к традиционным методикам все чаще добавляют спектральный анализ сигналов АЭ, использующий преобразование Фурье (или подобные ему преобразования). Для анализа спектральных характеристик оказалось удобным использовать кривые спектральной плотности мощности, медианные частоты (частоты, делящие площадь под кривой спектральной плотности пополам) и энергию сигналов.

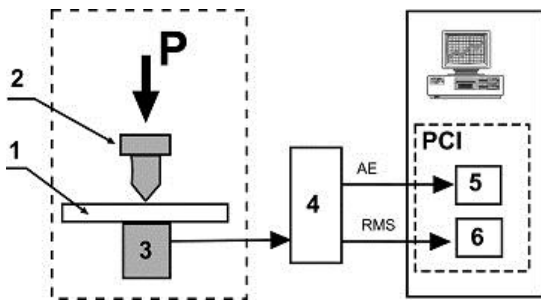


Рис. 1. Общая схема акустико-эмиссионной установки: P – нагрузка; 1 – образец; 2 – индентор; 3 – датчик АЭ; 4 – усилитель MSAE-FA010; 5, 6 – платы АЦП

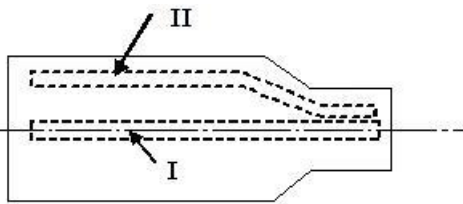


Рис. 2. Области измерения (I, II) акустической эмиссии на частично продавленной заготовке сплава VT1-0

Общая схема акустико-эмиссионной аппаратуры показана на рис. 1. Инициирование АЭ осуществляли путем внедрения твердосплавного конического индентора. Из-за малых размеров образцов индентирование проводили непосредственно на датчике АЭ. В качестве силового привода была использована испытательная машина ИМ-4А. Предварительная нагрузка P на индентор составляла 100 Н, максимальная – 1000 Н.

Для регистрации и преобразования АЭ-сигналов в электрические применяли датчик MSAE-L2 и усилитель MSAE-FA010 с общим усилением 80 дБ. В ходе экспериментов измеряли дискретную АЭ (АЭ) и ее среднеквадратическое напряжение на выходе усилителя (RMS) и оцифровывали мгновенные значения сигналов АЭ, превышающих заданный порог, для вычисления их спектра.

Индентирование с записью сигналов АЭ проводили на пластине, вырезанной в осевом сечении частично проэкструдированной заготовки, вдоль оси образца (рис. 2, область I) и в приповерхностной области (см. рис. 2, область II). Также была изучена АЭ в образцах из металла в исходном состоянии.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

2.1. МИКРОТВЕРДОСТЬ ИСХОДНОГО И ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ ДАВЛЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛА

Механические свойства исходного прутка сплава VT1-0 исследовались измерением микротвердости на таблетках, вырезанных поперек прутка (направление нагружения индентора совпадало с осью прутка) (рис. 3, кривая 1), и на пластинах, вырезанных в осевом сечении прутка (нагружение индентора происходило перпендикулярно оси прутка) (см. рис. 3, кривая 2). В обоих случаях проводили несколько

серий измерений по диаметру прутка, усредняя затем полученные результаты. Как следует из полученной при этом информации, механические характеристики прутка постоянны по его объему, но измеренный уровень микротвердости для второго случая несколько выше. Это может объясняться наличием текстуры, определяемой технологией изготовления таких прутков.

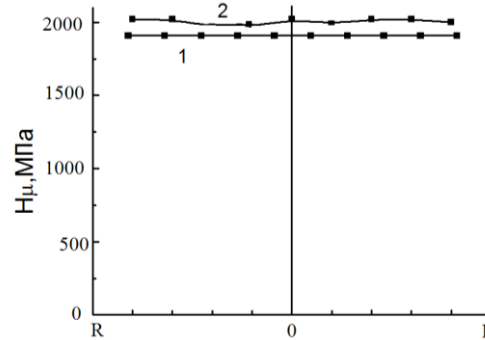


Рис. 3. Микротвердость исходного прутка сплава VT1-0 в поперечном сечении (1) (нагружение индентора вдоль оси прутка) и в продольном сечении (2) (нагружение индентора перпендикулярно оси прутка)

На рис. 4 (кривая 1) показано распределение величины микротвердости, измеренное на таблетке, которая вырезана в поперечном сечении прутка, подвергнутого в камере высокого давления экструдионного устройства всестороннему сжатию давлением около 18 кбар при 77 К.

Эта таблетка вырезалась в той части заготовки, которая не прошла матрицу. Как видно, микротвердость осталась на том же уровне, как и у прутка в исходном состоянии (см. рис. 3, кривая 1), т. е. пребывание под давлением 18 кбар (при 77 К) не повлияло на механические характеристики сплава. Часть заготовки, прошедшая матрицу, конечно же испытала упрочнение, микротвердость металла при этом существенно возросла, но по сечению экструдата уровень постоянен, т. е. упрочнение по объему при этом виде деформирования достаточно однородно (см. рис. 4, кривая 2).

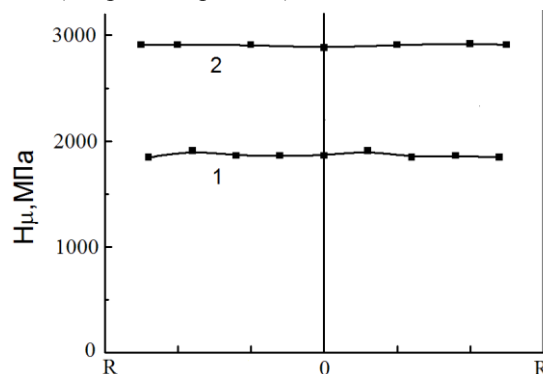


Рис. 4. Микротвердость сплава VT1-0 в поперечном сечении прутка, подвергнутого в камере высокого давления только всестороннему сжатию при 77 К (1) и испытавшего деформацию продавливанием через матрицу (~ 53%) методом БКД при 77 К (2)

Общая картина распределения микротвердости в заготовке, испытавшей воздействие по упомянутой выше программе, показана на рис. 5.

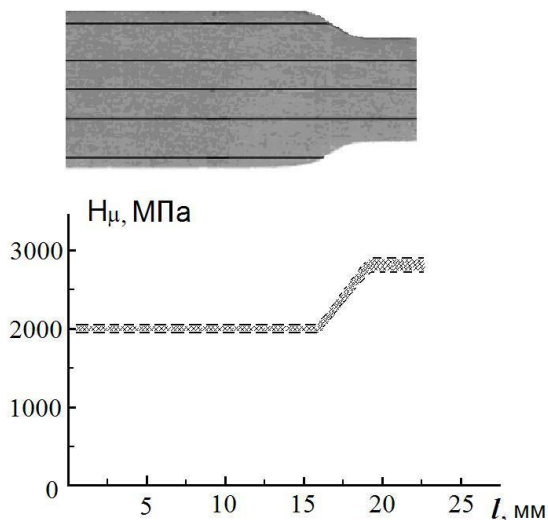


Рис. 5. Уровень микротвердости (заштрихованная область) сплава ВТ1-0, пребывавшего в условиях всестороннего сжатия ($P \sim 18$ кбар) при 77 К. Первые 15 мм – недеформированная часть, далее – часть заготовки, претерпевшая деформацию. Микротвердость измеряли вдоль линий, нанесенных на фотографию пластины, вырезанной в осевом сечении частично продавленной заготовки

Как следует из рисунка, рост микротвердости, связанный с упрочнением материала, обнаруживается только в той части заготовки, которая испытала деформацию при вхождении в матрицу. В левой, недеформированной части микротвердость осталась на исходном уровне, т. е. сам факт пребывания сплава в условиях всестороннего сжатия не привел к упрочнению материала.

2.2. ПАРАМЕТРЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ИСХОДНОГО И ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ ДАВЛЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛА

Измерения АЭ проводились на образцах сплава ВТ1-0, вырезанных в продольном и поперечном направлениях из прутка диаметром 10 мм как в исходном состоянии, так и после БКД. На рис. 6 показано распределение параметров АЭ, измерявшейся при индентировании в центре и по краям пластины, которая вырезана в осевом продольном сечении исходного прутка. Видно, что акустические параметры в центре и по краям образца немного различаются. Аналогичные измерения, проведенные на таблетках, вырезанных в поперечном сечении, показали меньшую неравномерность свойств.

На рис. 7 приведены результаты измерения АЭ в образце, который вырезан из прутка, прошедшего частичное деформирование продавливанием (см. рис. 2). АЭ в области I недеформированной части прутка была практически идентичной АЭ материала в исходном состоянии. Однако индентирование материала приповерхностных слоев (область II) этой же части прутка показало изменение параметров АЭ, т. е. действие сил всестороннего сжатия вызва-

ло какие-то изменения структуры металла, которые обусловили увеличение энергии и медианной частоты сигналов АЭ. В области же, испытавшей БКД, наблюдаются обычное [6] снижение энергии сигналов и увеличение их медианной частоты. Причем различия между центральными и приповерхностными слоями практически отсутствуют.

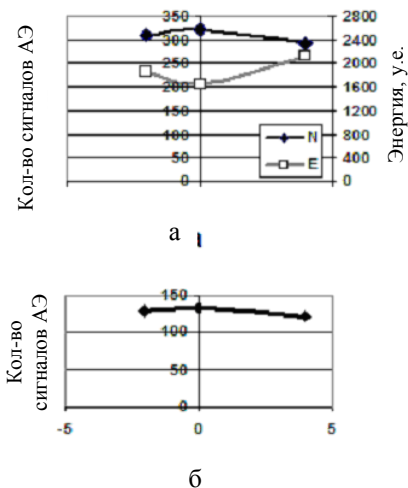


Рис. 6. Параметры АЭ, измеренные на пластине, вырезанной в осевом сечении из исходного прутка сплава ВТ1-0: N – количество сигналов АЭ, E – энергия АЭ

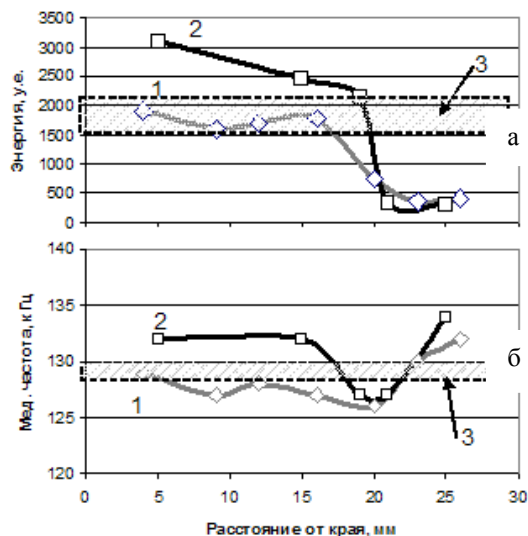


Рис. 7. Энергия (а) и медианная частота (б) сигналов АЭ при индентировании центральной части образца I (1) и его приповерхностной области II (2); 3 – область значений параметров АЭ в исходном материале

ВЫВОДЫ

Полученные с помощью измерений микротвердости результаты свидетельствуют о том, что механические характеристики металла, практически изотропного в исходном состоянии, в пределах точности измерений не изменяют факт приложения к металлу усилий всестороннего сжатия вплоть до 15...18 кбар, осуществляемого при криогенной температуре. Тем не менее, как следует из данных, полученных методами АЭ, пребывание в таких усло-

виях не проходит для металла бесследно. Но как повышение энергии АЭ, так и рост медианной частоты могут свидетельствовать не о тех или иных деформационных процессах, а наоборот – об уменьшении плотности дефектов в приповерхностных слоях прутка, находившегося в условиях всестороннего сжатия. Однако механизм таких релаксационных процессов не ясен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Л.Ф. Верещагин. *Избранные труды. Твердое тело при высоких давлениях*. М.: «Наука», 1981, 386 с.

2. Б.И. Береснев, Л.Ф. Верещагин, Ю.Н. Рябинин, Л.Д. Лившиц. *Некоторые вопросы больших пластических деформаций металлов при высоких давлениях*. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960, 80 с.

3. П.А. Хаймович. На пути к барокриодеформированию // *Перспективные материалы*. Тольятти: ТГУ, МИСиС, 2009, т. 3, с. 363-406.

4. А. с. СССР №1026883 / В.У. Асанов, П.А. Хаймович, 1981.

5. В.И. Зайцев. *Физика пластичности гидростатически сжатых кристаллов*. Киев: «Наукова думка», 1983, 188 с.

6. Е.В. Черняева, П.А. Хаймович, А.М. Полянский, В.А. Полянский, Д.Л. Мерсон, Е.Г. Замлер, Ю.А. Яковлев. Влияние барокриодеформирования на содержание водорода и акустическую эмиссию в техническом титане VT1-0 // *ЖТФ*. 2011, т. 81, в. 4. с. 131-134.

7. *Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов*: РД 03-131-97. Госгортехнадзор России, 1997.

Статья поступила в редакцию 30.01.2015 г.

ВПЛИВ ПРИКЛАДАННЯ СИЛ ВСЕБІЧНОГО СТИСКУ ПРИ КРІОГЕННИХ ТЕМПЕРАТУРАХ НА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ VT1-0

П.О. Хаймович, Є.В. Черняєва, Н.А. Шулгін

Вивчено вплив на властивості сплаву VT1-0 прикладання сил всебічного стиску в умовах криогенних температур як при деформації сплаву, так і при відсутності деформації. Було показано, що зміцнення матеріалу виявляється тільки в тій частині заготовки, яка зазнала деформацію, тобто сам факт перебування сплаву в умовах всебічного стиску не приводить до зміцнення матеріалу. В той же час вимірювання акустичної емісії (АЕ) говорять про те, що в приповерхневих шарах дії сил всебічного стиску і при відсутності деформування викликають деякі зміни структури, які обумовлюють збільшення енергії і (меншою мірою) медианної частоти сигналів АЕ, цьому пропонується можливе пояснення.

EFFECT OF HYDROSTATIC PRESSURE APPLICATION AT CRYOGENIC TEMPERATURES ON THE PROPERTIES OF VT1-0 ALLOY

P.A. Khaimovich, E.V. Cherniaeva, N.A. Shulgin

Attempt was made to determine the influence of hydrostatic pressure on the properties of the alloy VT1-0 at cryogenic temperatures both under straining of the alloy and without it. Hardening of the material is observed only in that part of the specimen, which experienced a deformation, while the very exposure of the alloy under hydrostatic pressure does not lead to strengthening of the material. At the same time, measurements of acoustic emission (AE) show that in the near-surface layers the forces of hydrostatic compression alone, i.e. without a deformation, cause some changes in the structure, which stipulate an increase of the energy and (to a lesser extent) of the median frequency of AE signals. An explanation of this phenomenon is suggested.