

Таким образом, проведенный сравнительный анализ способов контроля прохождения очистных устройств и автономных приборов показывает перспективность применения сигнализаторов прохождения, основанных на методике бесконтактной регистрации ВТО акустическим способом.

Список литературы

1. А.С. Шумаилов, Р.Г. Исхаков, М.К. Авдеев, В.Р. Хайретдинов. Исследование ультразвукового метода контроля прохождения очистных устройств и автономных приборов в трубопроводном транспорте // Надежность функционирования нефтепроводного транспорта. – 1983. – С. 75–80.
2. Е.М. Климовский, Ю.В. Колотиллов. Методы и оборудование для определения местоположения очистных и разделительных устройств в трубопроводе. Транспорт нефти. ВНИИОЭНГ, 1987 г., стр. 12–16.
3. В.В. Супрунчик, Н.М. Коновалов, М.О. Мызников. Система сопровождения внутритрубных снарядов «ССВС-001» // Трубопроводный транспорт нефти. – № 12. – 2003. – С. 9–12.
4. Н.А. Валуева, М.А. Лаврентьев, С.Л. Львов. Сигнализатор прохождения очистных и разделительных устройств по магистральным трубопроводам. Проблемы автоматизированного управления объектами нефтяной промышленности. – Киев, 1989. – С. 54–58.

О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛАХ НА СКОРОСТЬ И ЗАТУХАНИЕ ВОЛН РЭЛЕЯ

*А.Г. Лунев, А.В. Бочкарева
г. Томск, Россия*

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (ИФПМ СО РАН)

Адрес: 634021, г. Томск, пр. Академический 2/1

Телефон: +7 (3822) 49-18-81; Факс +7 (3822) 49-25-76

E-mail: agl@ispms.tsc.ru

В данной работе представлены результаты исследований, направленных на изучение отдельного влияния на скорость звука действующих в образце макронапряжений и микронапряжений, обусловленных дислокационными механизмами деформирования металлов. С этой целью используется циклическое и релаксационное деформирование алюминия и сплава Д1, что позволило рассмотреть изменение скорости рэлеевских волн с точки зрения вклада трех составляющих – макронапряжения, плотность неподвижных дислокаций, плотность и скорость подвижных дислокаций.

В работе рассматриваются полученные зависимости затухания рэлеевских волн в деформируемых сплавах, на которых была обнаружена стадийность, связанная, по-видимому, со стадийностью деформационной кривой.

Исследование параметров прохождения акустических сигналов в металлических материалах непосредственно в процессе их деформирования представляет большой интерес для решения прикладных задач неразрушающего ультразвукового контроля. Однако данное направление недостаточно изучено и на сегодняшний день отсутствует модель, описывающая причинно-следственные связи скорости и затухания акустических волн со структурными превращениями, происходящими в материалах при их де-

формировании. Такое положение объясняется малым количеством исследователей, занятых в данном направлении, сложностью характера изменения скорости и затухания в процессе деформации и неоднозначностью влияния на параметры акустических сигналов свойств материалов, изменяющихся с деформацией.

На данный момент в ИФПМ СО РАН накоплен значительный объем результатов измерения скорости рэлеевских волн в процессе деформирования различных металлов и сплавов [1–3]. Выявлен ряд особенностей, характерных для некоторых материалов. Так, например, для малоуглеродистых сталей появление зуба и площадки текучести сопровождается ростом скорости рэлеевских волн с последующим падением. На стадиях линейного упрочнения были отмечены участки постоянства скорости рэлеевских волн. Пластическое течение сплава Д1 сопровождается знакопеременным изменением скорости звука, что, по-видимому, связано с эффектом прерывистой текучести сплава Д1 (рис. 1). Несмотря на полученные результаты, четкого представления о механизмах, влияющих на скорость ультразвука, нет. Отсутствуют работы, изучающие затухание рэлеевской волны в процессе деформирования материалов.

Данная работа направлена на разделение влияния структурных изменений и макронапряжений на скорость рэлеевских волн в процессе деформирования поликристаллического алюминия и сплава Д1, а также изучение затухания волн Рэлея при деформировании сплава Д1.

Механические испытания проводились на разрывной машине Instron1185, деформированию подвергались образцы в форме двойной лопатки с рабочей длиной 50 мм и площадью поперечного сечения $10 \times 2 \text{ мм}^2$. Скорость подвижного захвата 0.2 мм/мин. Непосредственно в процессе деформирования образцов проводили измерение скорости прохождения в них волн Рэлея. Для этого на образец устанавливался датчик с передающим и приемным пьезопреобразователями. Измерение скорости проводилось установкой ANDA, функционирующей по принципу автоциркуляции импульсов, далее в результатах будет использована частота автоциркуляции $\nu = v \cdot d$, где v – скорость рэлеевской волны, d – расстояние между передающим и приемным преобразователями. Диаграмма нагружения

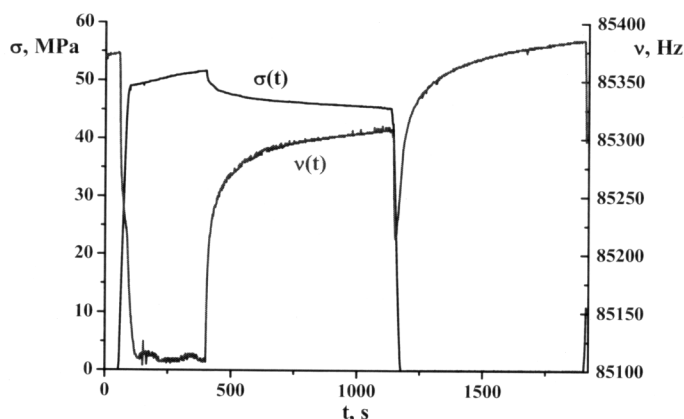


Рис. 2. Цикл нагружения образца алюминия

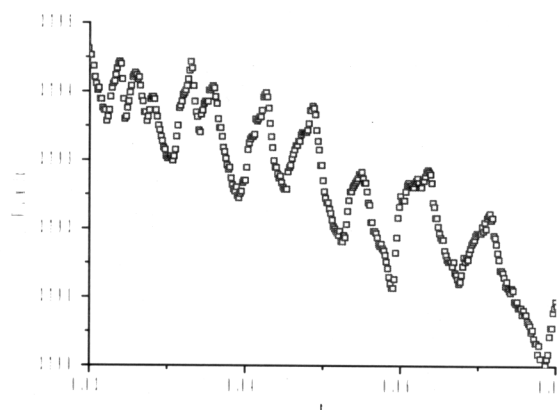


Рис. 1. Изменение скорости рэлеевских волн в процессе деформирования сплава Д1

и изменение скорости звука записывались в файл компьютера.

Циклическое нагружение образцов Al и сплава Д1 проводилось по следующей схеме. Образец деформировался растяжением до 0,5–1 %, после чего подвижный захват машины останавливался, наблюдалась релаксация в течение 15–20 минут, образец разгружался, выдерживалась пауза в течение 10 минут, после чего проводился следующий цикл нагружения (рис. 2).

Известно, что на участке квазиупругой деформации скорость звука пропорциональна приложенным напряжениям, во время пластического течения исследуемого материала в нем помимо увеличения макронапряжений происходит рост числа дислокаций в целом и изменение плотности и скорости подвижных дислокаций. Для разделения влияния на скорость звука трех описанных факторов отметим, что разгруженный образец по истечении определенного времени (релаксации) характеризуется отсутствием макронапряжений и подвижных дислокаций, следовательно, скорость звука в указанных условиях зависит от плотности неподвижных дислокаций. На участке квазиупругой деформации скорость звука зависит только от приложенного напряжения и пропорциональна ему. Учитывая изложенное, запишем суммарное изменение частоты автоциркуляции (скорости) рэлеевских волн с деформацией в виде:

$$\Delta v = \Delta v(\sigma) + \Delta v(\rho_s) + \Delta v(\rho_m, v_m) \quad (1)$$

Результирующие зависимости слагаемых изменения частоты автоциркуляции от деформации, полученные из экспериментов по циклическому нагружению, в уравнении (1), для сплава Д1 представлены на рис. 3.

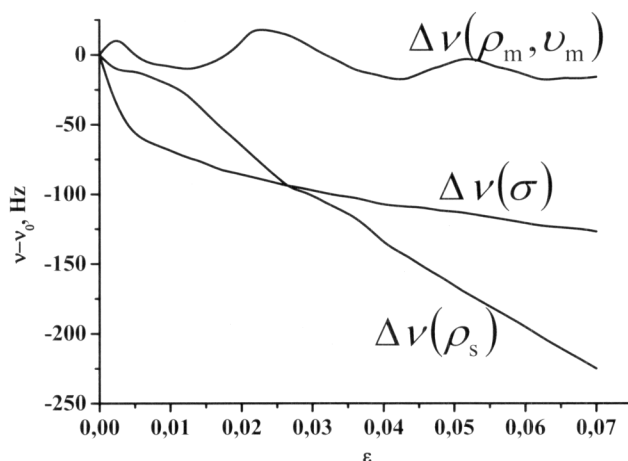


Рис. 3. Составляющие изменения частоты автоциркуляции в сплаве Д1

Оказалось, что изменение скорости звука, связанное с изменением плотности и скорости подвижных дислокаций практически не зависит от деформации. Учитывая, что скорость движения дислокаций с ростом деформации (напряжений) увеличивается, а плотность подвижных дислокаций уменьшается, то факт постоянства рассматриваемого слагаемого скорости звука можно объяснить, по-видимому, зависимостью скорости звука от произведения плотности на скорость подвижных дислокаций. Подтверждение данному предположению можно найти из исследования релаксационных кривых нагружаемого материала. Эксперименты по исследованию изменения скорости рэлеевских волн в процессе релаксации сплава Д1, алюминия и ряда сталей показали, что скорость растет со временем по логарифмическому закону вида

$$v = v_0 + \gamma \cdot \ln(\psi t + 1), \quad (2)$$

где v_0 — скорость звука в момент остановки захвата;

γ, ψ — коэффициенты, зависящие от материала и деформации.

Оказалось, что γ изменяется линейно по отношению к общей деформации образца. Используя данный факт и уравнение Орована, мы получили приближенную оценку изменения скорости звука в виде

$$\Delta v \sim \Delta v \sim \frac{1}{\tau_0 \cdot \rho_m \cdot b \cdot V_m}, \quad (3)$$

где τ_0 – зависит от скорости захвата и длины образца;

ρ_m, V_m – плотность и скорость подвижных дислокаций, соответственно.

Представленное уравнение подтверждает предположение о зависимости скорости звука от произведения плотности подвижных дислокаций на их скорость. В отличие от сплава Д1 и исследованной позднее стали марки 09Г2С, в образцах поликристаллического алюминия наблюдается рост скорости звука в разгруженном состоянии до значений, превышающих скорость звука в исходных не нагруженных образцах. В связи с этим объяснение изменения скорости по выше описанной схеме на данный момент затруднительно.

Как указывалось выше, исследование затухания рэлеевских волн непосредственно в процессе деформирования образцов также имеет научный интерес. Исследование проводили на образцах сплава Д1 с помощью генератора импульсов, датчика от описанной выше установки ANDA и платы аналого-цифрового преобразования (АЦП).

В процессе растяжения образцов Д1 до разрыва приходящие от передающего к приемному преобразователю рэлеевские волны регистрировались АЦП и записывались в файл компьютера. После чего производился расчет энергии каждого прошедшего импульса по формуле (4)

$$E = \int_t h^2(t) dt, \quad (4)$$

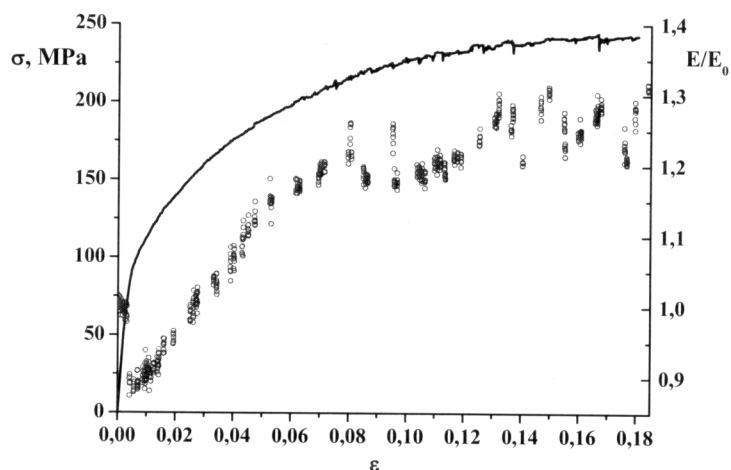


Рис. 4. Изменение энергии прошедшей волны Рэлея от деформации в сплаве Д1

Оказалось, что, вопреки ожиданиям, энергия прошедшего импульса увеличивается с деформацией и имеет ряд перегибов (рис. 4), которые мы связываем с изменением показателя параболичности деформационной кривой.

Список литературы

1. Зуев Л.Б., Семухин Б.С., Бушмелева К.И. Зависимость скорости ультразвука от действующего напряжения при пластическом течении поликристаллов // ЖТФ. – 1999. – Том 69. – Вып. 12. – С. 100–101.
2. Зуев Л.Б., Семухин Б.С., Бушмелева К.И. Изменение скорости ультразвука при пластической деформации Al // ЖТФ. – 2000. – Том 70. – Вып. 1. – С. 52–56.
3. Зуев Л.Б., Семухин Б.С., Лунев А.Г. О связи локализации пластической деформации и акустических свойств алюминия и сплава Д16 // Металлы. – 2004. – № 3. – С. 99–107.