

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. В. Рощупкин, Н. А. Семашко, Е. В. Лановенко, В. В. Лановенко, Акустические свойства титанового сплава VT20 в диапазоне температур 300–1300 К, *ТВТ*, 2001, том 39, выпуск 4, 679–681

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением  
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 13.58.232.22

28 сентября 2024 г., 04:16:07



УДК 620.179

## АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT20 В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 300–1300 К<sup>1</sup>

© 2001 г. В. В. Рошупкин\*, Н. А. Семашко\*\*, Е. В. Лановенко\*\*, В. В. Лановенко\*\*

\*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

\*\*Комсомольский на Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре

Поступила в редакцию 11.01.2001 г.

### ВВЕДЕНИЕ

Титановые сплавы как современные и перспективные материалы авиационной промышленности обладают особыми механическими и физическими свойствами, в частности, высокой удельной прочностью, пластичностью, вязкостью и др. Очевидно, что весь комплекс эксплуатационных и технологических свойств определяется структурой сплава. Свойства сплавов титана в условиях эксплуатации могут значительно меняться. Это связано как с исходными свойствами самого титана (например ползучестью и взаимодействием с воздухом при высокой температуре), так и с превращениями в структуре его сплавов, которые имеют место в процессе длительной эксплуатации, и не всегда могут быть предсказаны заранее.

Представленные в работе экспериментальные исследования акустических свойств (скорости звука  $C_d$  и коэффициента затухания ультразвуковых колебаний  $\alpha$ ) относятся к числу физических свойств, позволяющих получить обширную информацию о структурных, магнитных и других превращениях в металлах и сплавах.

По данным о скорости звука можно определить модуль нормальной упругости  $E$ , который характеризует силы межатомного взаимодействия, и сопротивляемость металла деформации, т.е. его жесткость.

Коэффициент затухания позволяет определить внутреннее трение  $Q^{-1}$ , которое свидетельствует о способности материала необратимо рассеивать энергию упругой деформации. Существенно, что величина внутреннего трения может изменяться при релаксации напряжений по границам зерен, при полиморфных превращениях, ферромагнетизме и т. п.

Анализ импульсных методов измерения акустических параметров на основании теории распространения акустических волн в твердых телах [1–3] показал, что для измерения скорости звука

и коэффициента затухания в широком интервале температур целесообразно использовать образцы стержневого типа с выносом преобразователя в холодную зону.

**Описание методики эксперимента.** Образец в виде тонкого стержня длиной 50–60 мм и диаметром 1.5–1.6 мм располагается внутри трубчатого нагревателя, находящегося в вакуумной камере. К образцу лазерной сваркой приваривается проволочный звукопровод длиной 250–300 мм и диаметром 2 мм, выполненный из коррозионно-стойкой стали. Рабочая часть образца находится в зоне равномерного нагрева, а верхняя часть звукопровода с пьезопреобразователем через вакуумное уплотнение выводится за пределы вакуумной камеры и находится в холодной зоне, что обеспечивает нормальную работу пьезопреобразователя. Для регулирования температуры использована система, позволяющая осуществлять поддержание температуры с погрешностью не более 1°C, а также проводить нагрев и охлаждение образца с заданной скоростью.

С целью увеличения точности измерения скорости звука была использована оригинальная методика, заключающаяся в том, что длительность запускающих импульсов подбиралась достаточно малой и соизмеримой с периодом колебаний несущей частоты. При этом появляется возможность визуально наблюдать заполняющие импульсы несущей частоты внутри пакета радиоимпульса, а скорость звука и коэффициент затухания измерять по пикам несущей частоты в пакете.

Суммарная погрешность при измерении скорости, включающая погрешности измерения длины рабочего участка и времени прохождения импульса от границы звукопровод–образец до торца и обратно, не превышает 0.2%. Погрешность измерения коэффициента затухания не превышает 1%. При реализации методики измерений учитывалось линейное расширение рабочей части образца в процессе нагрева.

Скорость звука  $C_d$  определялась по известной длине  $l$  рабочего участка образца и времени  $t$

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 98-02-16696).

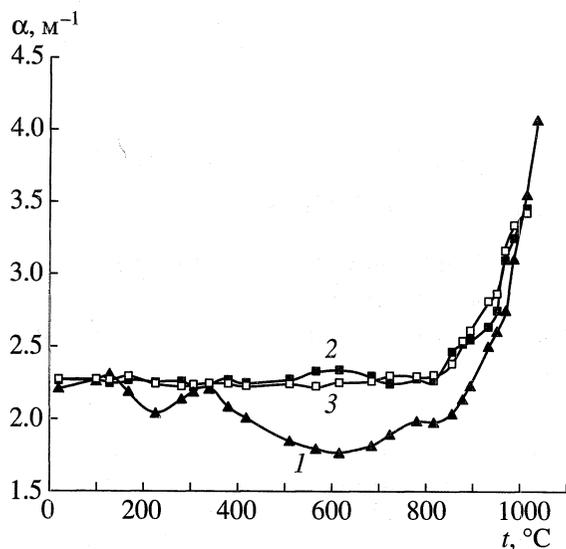


Рис. 1. Зависимость коэффициента затухания ультразвуковых волн в сплаве ВТ20 от температуры: 1 – нагрев деформированного образца, 2 – нагрев, 3 – охлаждение отожженного образца.

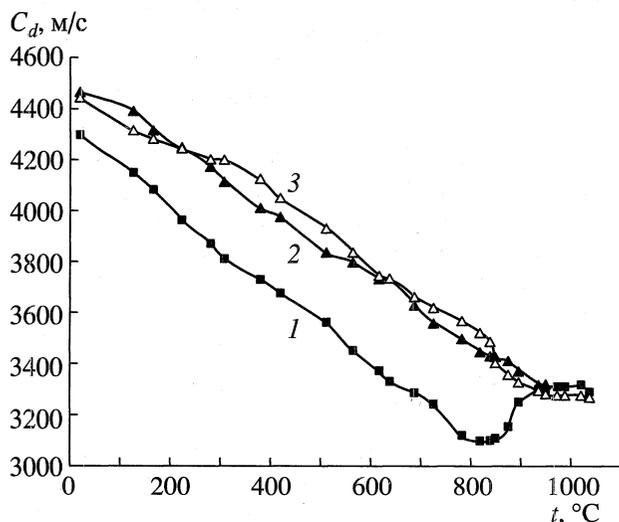


Рис. 2. Зависимость скорости звука в сплаве ВТ20 от температуры: 1 – нагрев деформированного образца, 2 – нагрев, 3 – охлаждение отожженного образца.

прохождения импульса между границей звукопровод–образец и нижний торец образца

$$C_d = 2l/\tau.$$

Коэффициент затухания рассчитывался по формуле [1]

$$\alpha = [\ln(1 - \beta^2)/\beta - \ln(U_{\text{тор}}/U_{\text{гр}})]/2l,$$

где  $\beta$  – коэффициент отражения;  $U_{\text{тор}}$  и  $U_{\text{гр}}$  – амплитуды импульсов, отраженных от торца образца и границы образец–звукопровод соответственно. Таким образом, измерение коэффициента затухания сводится к измерению амплитуд двух им-

пульсов, отраженных от границы образец–звукопровод и торец образца.

**Обсуждение результатов.** В работе проводилось исследование образцов из титанового сплава ВТ20 следующего состава (в мас. %): Al – 6–7, Zr – 1.5–2.5, V – 1–2.5, Mo – 1–2. Данный сплав относится к псевдо  $\alpha$ -сплавам. В его основе  $\alpha$ -структура и небольшое количество  $\beta$ -фазы (до 5%) из-за дополнительного легирования  $\beta$ -стабилизаторами. Было проведено исследование двух типов образцов. Образцы первого типа изготавливались из прутков диаметром 20 мм, которые деформировались протяжкой до диаметра 2 мм. Степень деформации исходного состояния составляла 90%. Образцы второго типа подвергались полному отжигу при температуре 1000°C в течение 1 ч и охлаждались вместе с печью. Исследования проводились на частоте 275 кГц.

Полученные температурные зависимости коэффициента затухания  $\alpha$  и скорости звука  $C_d$  представлены на рис. 1, 2.

На температурной зависимости коэффициента затухания (рис. 1) исходного образца наблюдаются три максимума. Максимумы при 120 и 300°C обусловлены, по-видимому, релаксацией напряжений по границам зерен. Третий максимум начинается при 800°C и заканчивается в области 950°C. Этот температурный интервал соответствует началу и концу рекристаллизационного отжига. Дальнейшее повышение коэффициента затухания в диапазоне температур 950–1020°C соответствует области структурного фазового превращения. Коэффициент затухания отожженного образца отличается стабильностью как при нагреве, так и при охлаждении. Благодаря процессам рекристаллизации его температурная зависимость сглаживается, и в интервале 0–870°C значительных изменений коэффициента затухания не наблюдается. Это подтверждает тот факт, что термическая обработка стабилизирует структуру материала. Вблизи температуры 950°C происходит увеличение коэффициента затухания, что свидетельствует о структурном фазовом переходе  $\alpha \rightarrow \beta$ .

Температурная зависимость скорости звука (рис. 2) наглядно демонстрирует влияние отжига на скорость звука, а следовательно, и на упругие свойства сплава. При комнатной температуре скорость звука отожженного образца возрастает на 4%, а в диапазоне температур 500–700°C эта разница увеличивается до 10–12%, что свидетельствует об увеличении пластичности материала. При температурах 850–950°C у деформированного образца наблюдается резкое увеличение скорости звука, а при 960–1020°C – незначительное ее уменьшение. У отожженного образца область полиморфных превращений смещается в область температур выше 950°C. Это подтверждает вы-

воды авторов работы [4] о том, что отжиг уменьшает количество  $\beta$ -фазы и расширяет температурный интервал существования  $\alpha$ -фазы. Легирование изменяет области стабильности фаз и делает возможным существование при комнатной температуре не только  $\alpha$ -, но и  $\beta$ -фазы. Доля остаточной  $\beta$ -фазы растет по мере увеличения количества легирующих элементов, ее стабилизирующих. Наряду с легированием важными факторами, влияющими на структуру титана и его сплавов, являются условия протекания фазовой перекристаллизации.

Загрязненность титана примесями даже в небольшом количестве приводит к тому, что  $\alpha$ -титан при  $\beta \rightarrow \alpha$ -превращении в процессе медленного охлаждения образуется в форме пластин, по границам которых в виде мелких частиц расположена вторая фаза, которая представляет собой  $\alpha$ -фазу иной, чем матрица, легированности.

Проведенное исследование позволило заключить, что характер изменения акустических

свойств титановых сплавов определяется в основном тремя факторами: свойствами  $\alpha$ - и  $\beta$ -титана, влиянием легирующих элементов на свойства обеих модификаций титана и соотношением количества  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз в сплаве.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения. М.: Изд-во стандартов, 1970. 238с.
2. Кудрявцев Б.Б. Ульттраакустические методы исследования вещества. М.: Изд-во министерства просвещения РСФСР, 1961. 133с.
3. Головин С.А., Пушкар А., Левин Д.М. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов. М.: Metallurgia, 1987. 192с.
4. Аношкин Н.Ф., Бочвар Г.А., Ливанов В.А. и др. Metallogрафия титановых сплавов. М.: Metallurgia, 1980. 465 с.