

УДК 538.4

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ ДВУХФАЗНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ТС4

К. В. БЕРЕЖНОЙ¹, С. К. КИСЕЛЕВА, В. В. АСТАНИН

¹ kirillbereznoi@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В статье рассмотрены результаты влияния микроструктуры двухфазного титанового сплава ТС4 на коэффициент затухания. Показано, что для крупнозернистой структуры характерен высокий коэффициент затухания, по сравнению с мелкозернистой.

Ключевые слова: ультразвук, коэффициент затухания, двухфазный титановый сплав, микроструктура

ВВЕДЕНИЕ

Титан и сплавы на его основе находят широкое применение в тех отраслях промышленности, где особенно ценны такие характеристики как высокая удельная прочность, жаропрочность и высокая устойчивость к коррозии. Среди наиболее важных отраслей стоит выделить авиационную, ракетную и судостроительную отрасли.

Однако титановые сплавы относятся к группе труднодеформируемым материалов [6, 7] и существенным их недостатком является анизотропия механических свойств, которая, как известно, объясняется неоднородностью структуры в объеме деформированных полуфабрикатов [8, 9]. Этот недостаток поковок уменьшает пределы воспринимаемых металлом нагрузок, и тем самым снижает долговечность и ресурс изделий [1]. В связи с этим очень важно проводить постоянный контроль микроструктуры на всех этапах как деформационной, так и термической обработки заготовок из титановых сплавов, особенно двухфазных.

Перспективным методом неразрушающего контроля является ультразвуковой метод, который обеспечивает безопасность применения и оперативность измерений [2-5]. Несмотря на то, что ультразвук широко используется в дефектоскопии и структурометрии материалов [10, 11] он еще недостаточно развит для оценки структурных параметров.

В связи с этим, совершенствование существующих методов ультразвукового контроля микроструктуры является актуальной задачей.

В данной статье будет выполнен анализ чувствительности метода ультразвуковых колебаний к структуре двухфазного титанового сплава ТС4.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная часть работы была проведена на деформированном прутке квадратного сечения стороной 20 мм сплава ТС4 (Ti-6Al-4V), который является представителем класса двухфазных титановых сплавов.

Для исследования влияния структуры на ультразвуковые характеристики были получены следующие образцы с мелкозернистой (МЗ) и крупнозернистой (КЗ) структурами:

1) МЗ структура – нагрев до температуры 950 °С, выдержка 30 минут, охлаждение с печью;

2) КЗ структура – нагрев до температуры 1050 °С, выдержка 30 минут, охлаждение с печью.

Нагрев образцов осуществляли с использованием муфельной печи «Nabertherm GmbH» (Germany).

Исследования микроструктуры проводили с использованием оптического микроскопа «Аxiotech – 100NT». Оценивали следующие стандартные параметры микроструктуры титановых сплавов: длина пластин α -фазы (l_α), мкм; толщина пластин α -фазы (t_α), мкм; объемная доля α -фазы (V_α), %; размер β -зерен (D_β), мкм; толщина α -оторочки ($t_{отор}$), мкм.

Количественный анализ проводили по трем полям зрения с общим числом частиц не менее 2000, что позволило получить относительную ошибку определения параметров структуры 5% при доверительной вероятности 0,95 [12].

Ультразвуковые исследования проводили с использованием дефектоскопа «УДЗ-71» с преобразователями П-111-2,5 и П-111-5,0. Определяли коэффициент затухания, который является структурно чувствительным параметром, что позволяет использовать его для оценки параметров структуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходная микроструктура прутка титанового сплава ТС4, показанная на рисунке 1а, имеет области равноосной формы α -фазы (белые участки на рис. 1а) и области превращенной β -фазы (темные участки на рис. 1а) [13, 14]. Для исходного деформированного состояния характерно наличие металлографической текстуры – пластины α -фазы вытянуты в направлении прокатки (рис. 1а).

Микроструктура сплава в МЗ и КЗ состояниях показана на рис. 1б и 1в соответственно. МЗ структура, полученная в результате нагрева в двухфазную ($\alpha+\beta$)-область с последующим медленным охлаждением до комнатной температуры не имеет существенных отличий по сравнению с исходным состоянием. Подтверждением этого является количественный анализ микроструктуры, представленный в таблице 1. Длина и толщина пластин α -фазы меняется незначительно, в пределах ошибки. Повышение объемной доли α -фазы (V_α) связано с переходом в более стабильное состояние в результате нагрева и последующего медленного охлаждения.

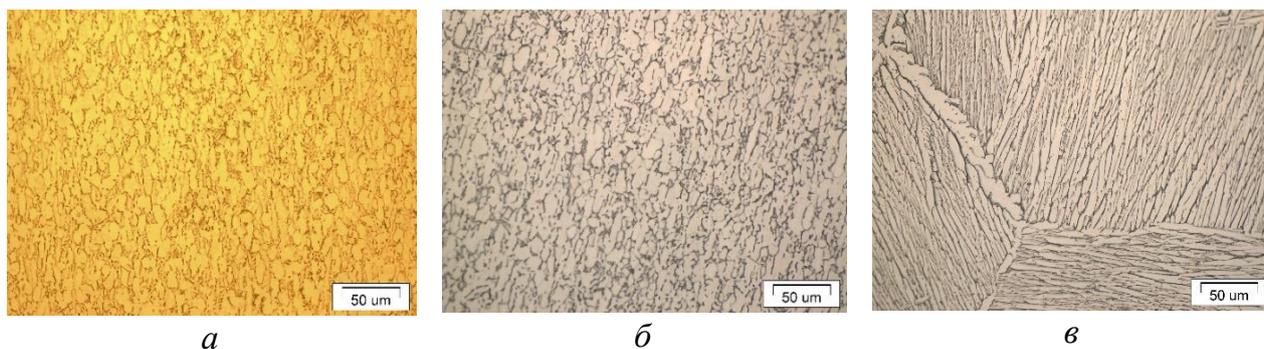


Рис. 1. Микроструктура сплава ТС4:

а – пруток; б – 950 °С, охлаждение с печью; в – 1050 °С, охлаждение с печью

КЗ структура имеет существенно другой вид (рисунок 1в). Как известно, при нагреве двухфазных титановых сплавов в однофазную β -область происходит полное полиморфное превращение по схеме $\alpha+\beta \Rightarrow \beta$. В результате последующего медленного охлаждения формируется структура, которая характеризуется образованием крупных β -зерен (средний размер 220 мкм), разделенных друг от друга α -оторочкой, толщина которой составляет 25 мкм. В пределах β -зерен располагаются толстые α -пластины, разделенные тонкой прослойкой β -фазы. Объемная доля α -фазы составила 95%.

Таблица 1

Параметры микроструктуры сплава ТС4

Состояние	l_{α} , мкм	t_{α} , мкм	V_{α} , %	D_{β} , мкм	$t_{гор}$, мкм	коэф затухания, Дб/мм при частоте 2,5/5,0
пруток	13±3	8±2	80±5	-	-	0,0404/0,0467
МЗ структура	16±3	10±2	89±5	-	-	0,0278/0,0359
КЗ структура	29±5	8±2	95±5	220±10	25±5	0,0459/0,0410

Результаты оценки коэффициента затухания при ультразвуковых исследованиях образцов сплава ТС4 представлены в таблице 1. Как видно, коэффициент затухания образцов в КЗ состоянии характеризуется самым высоким значением. Полученные данные имеют хорошее согласование с микроструктурными исследованиями.

Как известно, коэффициент затухания (δ) является суммой двух компонентов - коэффициента поглощения (δ_n) и рассеяния (δ_p).

$$\delta = \delta_n + \delta_p,$$

где δ - коэффициент затухания, Дб/мм;

δ_n - коэффициент поглощения, Дб/мм;

δ_p - коэффициент рассеяния, Дб/мм.

Поглощение обусловлено переходом энергии ультразвуковых колебаний в тепловую за счет внутреннего трения. В свою очередь рассеяние связано с акустическими структурными неоднородностями. Для металлов и сплавов структурной неоднородностью является зерно. При переходе ультразвуковой волны из одного зерна в другое происходит преломление и отражение волны на границе раздела зерен, в результате скорость волны меняется. Для КЗ структуры титанового сплава ТС4, полученной в результате охлаждения с печью с температуры однофазной β -области характерно наличие крупных β -зерен, толстые границы которых как раз могут являться акустическим препятствием распространению ультразвуковой волны. По этой причине для КЗ состояния титанового сплава наблюдалось самое высокое значение коэффициента затухания.

Образцы сплава ТС4 в состоянии поставки показывают более высокие значения коэффициента затухания по сравнению с образцами МЗ состояния. Поглощение ультразвука (δ_n), как известно, связано с подвижностью дефектов микроструктуры, таких как дислокации, растворенные атомы и вакансии. Для исходного деформированного состояния прутка характерна большая дефектность структуры, вызванная наклепом, чем для образцов после отжига. Металлографическая текстура, сформированная в направлении прокатки, также вносит вклад в повышение коэффициента затухания. При этом видно, что на высоких частотах (5МГц) коэффициент затухания выше. Поэтому для анализа структуры, полученной в результате отжига в однофазной α - и двухфазной ($\alpha+\beta$)-областях желательно применять высокие значения частоты.

Таким образом, результаты, полученные в данной работе, показывают хорошую согласованность двух методов анализа параметров структуры - металлографического и ультразвукового. Последний может быть рекомендован к практическому применению для неразрушающего контроля структуры заготовок титановых сплавов, полученной в результате горячей деформации или отжига с превышением температуры нагрева выше конца полиморфного ($\alpha+\beta$) $\Rightarrow\beta$ превращения в технологических процессах обработки металлов давлением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Метод оценки коэффициента затухания при ультразвуковых исследованиях является чувствительным по отношению к структуре двухфазного титанового сплава ТС4.

2. Крупнозернистая пластинчатая структура титанового сплава ТС4, характеризуется повышенным значением коэффициента затухания по сравнению с мелкозернистой равноосной структурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Е.И.Семенова. - М.:Машиностроение, 2010. 720 с.: ил.
2. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Под ред. В.В. Сухорукова, кн.5 Акустические методы контроля – М.: Высшая школа, 1992.
3. Неразрушающий контроль: Справ.: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль. // И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. М.: Машиностроение, 2004 – 864 с.
4. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И. Н. Ермолов. М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
5. ГОСТ Р 53205-2008. Контроль неразрушающий. Определение размеров зерен стали акустическим методом.
6. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы, состав, структура, свойства. 2009. – 506 с.
7. Солонина О. П., Глазунов С. Г. Жаропрочные титановые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 448 с.
8. Листвин Г.П., Саблина М.В. Влияние условий деформации и термической обработки на формирование структуры и механические свойства полуфабрикатов из сплава ВТ6 // Технология легких сплавов. – 1989. – №12. – с.55-59.
9. Перцовский Н.З., Брун М.Я., Семенова М.Н. Исследование полосчатости альфа-фазы в структуре штамповок из (альфа-бета)-титановых сплавов // Технология легких сплавов. – 1983. – №4. – с. 13-16.
10. Никитина Н.Е., Мотова Е.А., Тарасенко Ю.П. Неразрушающий контроль рабочих компрессорных лопаток авиационного двигателя // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. – №3(34). с. 291-295.
11. Новиков И.И., Рощупкин В.В., Кольцов А.Г. и др. Акустические свойства никелида титана // Перспективные материалы. – 2012. – №5. – с. 95-99.
12. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976. – 271 с.
13. Борисова Е.А., Бочвар Г.А. Металлография титановых сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 464 с.
14. Шаханова Г. В., Брун М. Я. Структура титановых сплавов и методы ее контроля // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1982. – № 7. – С. 19–22.

ОБ АВТОРАХ

БЕРЕЖНОЙ Кирилл Валерьевич, бакалавр по направлению «Машиностроение», магистр по направлению «Материаловедение и технологии материалов».

Киселева Светлана Камильевна, кандидат технических наук.

Астанин Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук.

METADATA

Title: Certification of the structure of two-phase titanium alloy TS4 by ultrasonic method.

Author: K. V. Berezhnoi¹, S. K. Kiseleva, V. V. Astanin

Affiliation:

¹ Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ hvr-01@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (30), pp. 25-28, 2024. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The study considers the results of a study of the effect of the microstructure parameters of a two-phase titanium alloy TC4 on the attenuation coefficient. After heat treatment of the samples according to the heating scheme to T = 1050 C, followed by cooling with a furnace, the highest attenuation coefficient was obtained.

Key words: ultrasound, attenuation coefficient, two-phase titanium alloy, microstructure.

About authors:

BEREZHNOI, Kirill Valerievich. Bachelor's degree in mechanical engineering. Master's degree in Materials Science.