

УДК 620.179.162

DOI: 10.32326/1814-9146-2023-85-1-77-85

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ
АКУСТИЧЕСКОГО ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ
ПОПЕРЕЧНЫХ УПРУГИХ ВОЛН
В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ АЛЮМИНИИ***

© 2023 г. **Гончар А.В., Мишакин В.В., Ключников В.А.**

*Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального
исследовательского центра «Институт прикладной физики РАН»,
Нижний Новгород, Российская Федерация*

ndt@ipmran.ru

Поступила в редакцию 07.09.2022

Приведены результаты исследования температурных зависимостей скоростей поперечных упругих волн поликристаллического алюминиевого сплава АД0 в диапазоне температур от 20 до 45 °С. Для исследуемого материала определена температурная зависимость параметра акустического двулучепреломления, характеризующего расщепление поперечной ультразвуковой волны на две ортогонально поляризованные волны, распространяющиеся с разными скоростями. Расчет параметра акустического двулучепреломления проводился по данным прецизионного измерения времени распространения поперечных упругих волн (погрешность измерения времени распространения 1–2 нс), поляризованных вдоль и поперек направления проката.

Теоретические исследования показали, что для материалов со слабой анизотропией температурная зависимость параметра акустического двулучепреломления в основном связана с влиянием температуры на упругую анизотропию кристаллов, составляющих поликристаллический материал, и с характеристикой кристаллографической текстуры – коэффициентом функции распределения ориентировок W_{420} . Приведены поправки к величине параметра двулучепреломления при изменении температуры. Экспериментально получено, что параметр акустического двулучепреломления при повышении температуры увеличивается на 9%, что необходимо учитывать при его использовании в качестве диагностического параметра для оценки изменения характеристик статической и усталостной прочности.

Предложен алгоритм оценки прогнозирования температурной зависимости параметра акустического двулучепреломления однофазного материала при изменении кристаллографической текстуры в результате, например, пластического деформирования. Получено хорошее согласование прогнозируемой температурной зависимости параметра акустического двулучепреломления с экспериментальной зависимостью – погрешность отклонения расчетной кривой от экспериментальной составила 0,2–2% в температурном диапазоне 20–45 °С.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ИПФ РАН на 2021–2023 гг. по теме № 0030-2021-0025, регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 121071600007-3.

Ключевые слова: акустическое двулучепреломление, температурная зависимость, поликристалл, упругие модули.

Введение

Эффект акустического двулучепреломления проявляется в расщеплении поперечной ультразвуковой волны на две ортогонально поляризованные волны, распространяющиеся с разными скоростями. Известно, что на скорость распространения ультразвуковых волн существенно влияет кристаллографическая текстура материала – преимущественная ориентация кристаллов в поликристаллическом материале [1–3].

Связь скоростей объемных поперечных волн с коэффициентами функции распределения ориентировок (ФРО) W_{420} и W_{400} поликристаллического катанного листового материала выражается так [1]:

$$V_{zx}^2 \rho = \mu - c \frac{16}{35} \sqrt{2} \pi^2 \left(W_{400} - \sqrt{\frac{5}{2}} W_{420} \right), \quad (1)$$

$$V_{zy}^2 \rho = \mu - c \frac{16}{35} \sqrt{2} \pi^2 \left(W_{400} + \sqrt{\frac{5}{2}} W_{420} \right), \quad (2)$$

где V_{zx} и V_{zy} – скорости распространения поперечных волн вдоль толщины исследуемого листового материала, поляризованных вдоль и поперек направления проката; μ – модуль сдвига изотропного материала; c – параметр кубического кристалла, характеризующий его анизотропию; ρ – плотность. Для изотропного материала $W_{420} = 0$, $W_{400} = 0$, $V_{zx} = V_{zy} = V$, $\mu = \rho V^2$.

Параметр c определяется как:

$$c = c_{11} - c_{12} - 2c_{44}, \quad (3)$$

где c_{11} , c_{12} , c_{44} – компоненты тензора упругости в записи Фойгта.

При $c = 0$ кристалл является упругоизотропным, то есть в любом направлении могут распространяться чисто продольные и поперечные моды [4]. Ориентационное распределение кристаллов в этом случае не влияет на упругую анизотропию материала.

Выражения (1) и (2) получены для однофазного поликристаллического материала или для материалов, в которых объемная доля одной фазы существенно преобладает над объемной долей других фаз.

Параметр акустического двулучепреломления B для ортотропного материала связан со скоростями и временем распространения поперечных волн выражением [5]:

$$B = \frac{2(V_{zx} - V_{zy})}{V_{zx} + V_{zy}} = \frac{2(t_{zy} - t_{zx})}{t_{zx} + t_{zy}}, \quad (4)$$

где t_{zx} и t_{zy} – времена распространения поперечных волн вдоль толщины исследуемого элемента, поляризованных вдоль и поперек оси симметрии (например, направления проката).

Для материала в состоянии поставки параметр двулучепреломления зависит от его термопластической обработки при изготовлении. Его величина может меняться при последующем силовом нагружении, приводящем к пластическим, упругопластическим циклическим деформациям и, соответственно, к изменению ориентационного распределения кристаллов [6–11].

Параметр B связан с одной из характеристик текстуры материала (коэффициентом ФРО W_{420}) и применяется для оценки величины пластической деформации [12–14] для расчета долговечности конструкционных материалов [15]. Однако представленные расчетные алгоритмы не учитывают изменение температуры, которое может оказывать значительное влияние на погрешность измерения. Температурная поправка ΔB к величине параметра двулучепреломления при комнатной температуре B_0 выражается как:

$$\Delta B = B(T) - B_0. \quad (5)$$

Изменение температуры приводит к изменению упругих модулей материала [16–19] и, соответственно, к изменению параметра B . Для материалов со слабой анизотропией, используя уравнения (1), (2), (4), можно получить:

$$B(T) \cong mW_{420} \frac{c(T)}{\mu(T)}, \quad (6)$$

где $m = (16/35)\sqrt{5}\pi^2$.

Соотношение $c(T)/\mu(T)$ с учетом значения величины W_{420} определяет температурную зависимость акустического двулучепреломления. Для соотношения $c(T)/\mu(T)$ из выражения (6) получим:

$$\frac{c(T)}{\mu(T)} \cong \frac{B(T)}{mW_{420}}. \quad (7)$$

Проведенные исследования [20] показали, что при комнатной температуре в образцах, изготовленных из материала одной поставки, наблюдается значительный разброс параметра B и коэффициентов ФРО. Предположим, что зависимость соотношения c/μ от температуры не изменяется при пластической обработке металла в некотором диапазоне деформации. В этом случае температурную зависимость акустического двулучепреломления $B(T)$ одного образца можно использовать для прогнозирования $B(T)$ других образцов из материала той же поставки или для того же образца, но с другим коэффициентом ФРО W_{420} , изменение которого произошло в результате деформации. Из выражения (6) получим

$$B_i(T) = B_1(T) \frac{W_{420}^{(i)}}{W_{420}^{(1)}}, \quad (8)$$

где $B_i(T)$ – температурная зависимость параметра акустического двулучепреломления i -го образца.

Коэффициент ФРО W_{420} можно определить из выражений (1) и (2), применяя данные измерений при одной фиксированной температуре, например, комнатной T_0 :

$$W_{420} = \frac{V_{zx, T=T_0}^2 - V_{zy, T=T_0}^2}{2mc_0} \rho_0. \quad (9)$$

Ориентация кристаллов в поликристаллическом материале, не находящемся вблизи точки плавления и не претерпевающим фазовых изменений, не является температурно-зависимой. В этом случае коэффициенты ФРО остаются постоянными, в частности, коэффициент W_{420} .

В настоящей статье приведены результаты экспериментального и теоретического исследования температурных зависимостей скоростей поперечных упругих волн, параметра акустического двулучепреломления, а также отношения параметра c ,

характеризующего упругую анизотропию кристаллов, к модулю сдвига изотропного поликристаллического материала в диапазоне температур 20–45 °С.

Техника эксперимента

Исследование проводилось на двух образцах из сплава АД0 с содержанием алюминия 99,6%, содержание других элементов не превышало 0,3%. Сплав АД0 широко используется в различных отраслях машиностроения, в частности, при создании электротехнического оборудования.

Для измерения скоростей распространения сдвиговых волн V_{zx} и V_{zy} применялся эхо-импульсный метод. Использовались образцы круглого сечения с диаметром рабочей зоны 8 мм типа II в соответствии с ГОСТ 25.502-79. На каждом образце в рабочей зоне с двух сторон были выточены плоские параллельные площадки для проведения ультразвуковых измерений. Образцы с прикрепленными к ним ультразвуковыми датчиками и термопарой помещались в емкость, в которую нагнетался теплый воздух для увеличения температуры. Нагрев проводился до температуры 45 °С. После нагрева образцы охлаждались естественным путем со скоростью примерно 0,5 °С/мин, при этом амплитудно-временная диаграмма (рис. 1а) записывалась с шагом 1 °С.

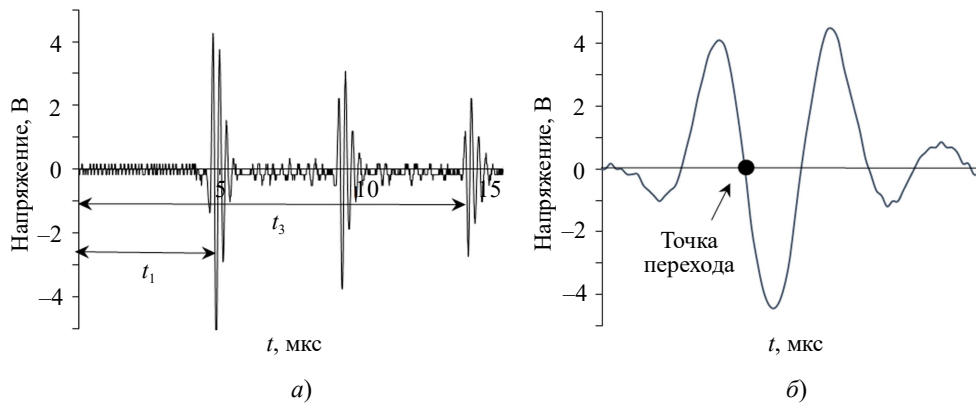


Рис. 1. Амплитудно-временная диаграмма сдвиговых волн

Для возбуждения сдвиговых волн применялся пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) V156 (рис. 2) с диаметром 6 мм излучающей пластины фирмы Olympus и несущей частотой 5 МГц.

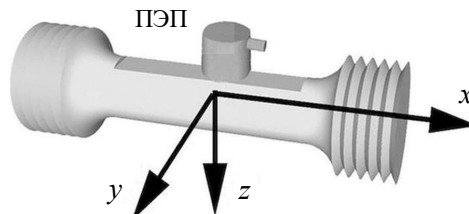


Рис. 2. Схема акустических измерений

Полученная временная развертка заносилась в файл данных для анализа и обработки в программе MathCAD. Для повышения точности измерений данные интерполировались сплайнами.

После обработки погрешность измерения времени была не более 1–2 нс. Время распространения упругих волн $t = 0,5(t_3 - t_1)$ измерялось между первым t_1 и третьим t_3 отраженными импульсами по точкам перехода нуля между минимумом и максимумом в импульсе (см. рис. 1б).

Значения скоростей упругих волн V были получены из отношения толщины h (измерялась микрометром) к временам t :

$$V = \frac{2h}{t}. \quad (10)$$

Коэффициент линейного расширения для алюминия $\alpha = 2,2 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ [3], плотность при комнатной температуре $\rho_0 = 2700 \text{ кг/м}^3$ [3]. Модули при комнатной температуре T_0 составляют: $c_{11} = 10,69 \text{ ГПа}$, $c_{12} = 6,26 \text{ ГПа}$, $c_{44} = 2,85 \text{ ГПа}$ [4]; параметр $c = -1,27 \text{ ГПа}$ согласно (3). Коэффициент ФРО W_{420} определялся с помощью выражения (9) при комнатной температуре.

Результаты исследования

В результате исследований были получены скорости V_{zx} и V_{zy} при различных температурах (рис. 3, а – для образца 1, б – для образца 2).

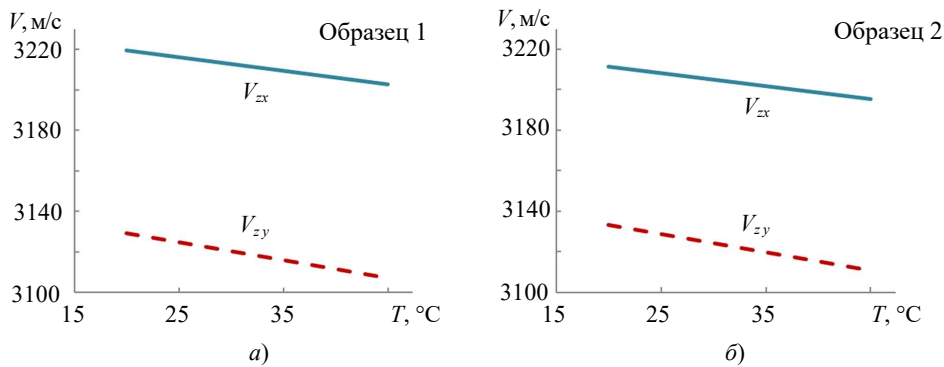


Рис. 3. Зависимости скоростей V_{zx} и V_{zy} от температуры T

Получено, что при температуре 20°C скорости V_{zx} и V_{zy} различаются примерно на 2,5% для обоих образцов. При увеличении температуры различие увеличивается и достигает 3%. Значения W_{420} при $T = T_0$ составили: $W_{420}^{(1)} = -0,006$ для образца 1 и $W_{420}^{(2)} = -0,005$ для образца 2. Расчет проводился с помощью выражения (9).

Зависимость соотношения c/μ от температуры для образца 1 приведена на рис. 4. Для определения соотношения использовалось выражение (7).

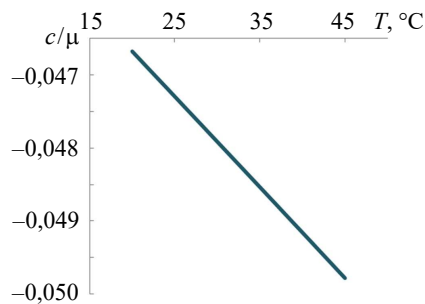


Рис. 4. Изменение отношения c/μ образца 1 при изменении температуры

На рис. 5 приведены зависимости параметра акустического двулучепреломления B от температуры T для первого B_1 и второго B_2 образцов и прогнозируемая кривая $B_{2\text{расч}}$, полученная с помощью выражения (8).

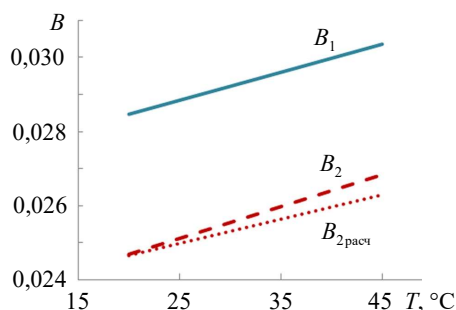


Рис. 5. Зависимости параметра B для двух образцов от температуры

Как следует из рис. 5, температурная поправка $\Delta B(T)$ для исследуемых материалов достигает 9% от значения B_0 в диапазоне температур 20–45 °C. Такие заметные температурные изменения параметра B необходимо учитывать при его использовании в качестве диагностического параметра.

Расчетная зависимость $B_{2\text{расч}}(T)$ (см. рис. 5) хорошо согласуется с экспериментальной кривой $B_2(T)$. Расхождение расчетных и экспериментальных значений для образца 2 составляет от 0,13 до 2% в температурном диапазоне 20–45 °C. Таким образом, использование алгоритма прогнозирования зависимости $B_i(T)$ с помощью выражения (8) позволяет рассчитать температурную зависимость акустического двулучепреломления с погрешностью не более 2%.

Заключение

Исследования показали, что на температурную зависимость акустического двулучепреломления в поликристаллическом материале влияет температурная зависимость модулей упругости и кристаллографическая текстура.

Экспериментальные исследования влияния температуры в диапазоне температур 20–45 °C на параметр акустического двулучепреломления в сплаве АД0 показали, что температурная поправка для исследуемого материалов достигает 9%. Разработан алгоритм прогнозирования влияния температуры на параметр акустического двулучепреломления в однофазном материале. Отличие прогнозируемых значений от экспериментальных составляет не более 2%.

Список литературы

1. Allen D.R., Sayers C.M. The measurement of residual stress in textured steel using an ultrasonic velocity combinations technique. *Ultrasonics*. 1984. Vol. 22. Iss. 4. P. 179–188. [https://doi.org/10.1016/0041-624X\(84\)90034-9](https://doi.org/10.1016/0041-624X(84)90034-9).
2. Sayers C.M. Ultrasonic velocities in anisotropic polycrystalline aggregates. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1982. Vol. 15. No 11. P. 2157–2167. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/15/11/011>.
3. Hirao M., Aoki K., Fukuoka H. Texture of polycrystalline metals characterized by ultrasonic velocity measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1987. Vol. 81. Iss. 5. P. 1434–1440. <https://doi.org/10.1121/1.394495>.
4. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. *Ультразвуковые методы в физике твердого тела*. М.: Мир, 1972. 308 с.

5. Spies M., Schneider E. Nondestructive analysis of textures in rolled sheets by ultrasonic techniques. *Texture, Stress, and Microstructure*. 1990. Vol. 12. No 4. P. 219–231. <https://doi.org/10.1155/TSM.12.219>.
6. Gonchar A.V., Kurashkin K.V., Andreeva O.V., Anosov M.S., Klyushnikov V.A. Fatigue life prediction of structural steel using acoustic birefringence and characteristics of persistent slip bands. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2022. Vol. 45. Iss. 1. P. 101–112. <https://doi.org/10.1111/ffe.13586>.
7. Carvajal L., Sosa M., Artigas A., Luco N., Monsalve A. Ultrasonic assessment of the influence of cold rolling and recrystallization annealing on the elastic constants in a TWIP steel. *Materials*. 2021. Vol. 14. P. 6559–1–6559-14. <https://doi.org/10.3390/ma14216559>.
8. Schneider E. Ultrasonic birefringence effect – Its application for materials characterisations. *Optics and Lasers in Engineering*. 1995. Vol. 22. Iss. 4-5. P. 305–323. [https://doi.org/10.1016/0143-8166\(94\)00032-6](https://doi.org/10.1016/0143-8166(94)00032-6).
9. Makowska K., Piotrowski L., Kowalewski Z.L. Prediction of the mechanical properties of P91 steel by means of magneto-acoustic emission and acoustic birefringence. *Journal of Nondestructive Evaluation*. 2017. Vol. 36. Iss. 2. P. 43–1–43-10. <https://doi.org/10.1007/s10921-017-0421-9>.
10. Gonchar A.V., Mishakin V.V., Klyushnikov V.A. The effect of phase transformations induced by cyclic loading on the elastic properties and plastic hysteresis of austenitic stainless steel. *International Journal of Fatigue*. 2018. Vol. 106. P. 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.10.003>.
11. Mishakin V.V., Klyushnikov V.A., Kassina N.V. Research on the fracture process of steels by the acoustic method and the pitch net method. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2009. Vol. 38. Iss. 5. P. 443–447. <https://doi.org/10.3103/S1052618809050069>.
12. Mishakin V.V., Gonchar A.V., Kirikov S.V., Klyushnikov V.A. Evaluation of condition of low-carbon steels experiencing plastic deformation using the effect of acoustic birefringence. *Nondestructive Testing and Evaluation*. 2021. Vol. 36. Iss. 2. P. 225–235. <https://doi.org/10.1080/10589759.2020.1728266>.
13. Belyaev A.K., Lobachev A.M., Modestov V.S., Pivkov A.V., Polyanskii V.A., Semenov A.S., Tret'yakov D.A., Shtukin L.V. Estimating the plastic strain with the use of acoustic anisotropy. *Mechanics of Solids*. 2016. Vol. 51. Iss. 5. P. 606–611. <https://doi.org/10.3103/S0025654416050149>.
14. Mishakin V., Gonchar A., Kurashkin K., Kachanov M. Prediction of fatigue life of metastable austenitic steel by a combination of acoustic and eddy current data. *International Journal of Fatigue*. 2020. Vol. 141. Article No 105846. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105846>.
15. Mishakin V.V., Gonchar A.V., Kurashkin K.V., Klyushnikov V.A., Kachanov M. On low-cycle fatigue of austenitic steel. Part I: Changes of Poisson's ratio and elastic anisotropy. *International Journal of Engineering Science*. 2021. Vol. 168. Article No 103567. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2021.103567>.
16. Kamm G.N., Alers G.A. Low-temperature elastic moduli of aluminum. *Journal of Applied Physics*. 1964. Vol. 35. Iss. 2. P. 327–330. <https://doi.org/10.1063/1.1713309>.
17. Chaston J.C. Materials for temperature measurement. *Modern Materials*. 1970. Vol. 7. P. 223–266. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-462207-4.50011-3>.
18. Varshni Y.P. Temperature dependence of the elastic constants. *Physical Review B*. 1970. Vol. 2. Iss. 10. P. 3952–3958. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.2.3952>.
19. Li W., Kou H., Zhang X., Ma J., Li Y., Geng P., Wu X., Chen L., Fang D. Temperature-dependent elastic modulus model for metallic bulk materials. *Mechanics of Materials*. 2019. Vol. 139. Article No 103194. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.103194>.
20. Klyushnikov V.A. Influence of plastic deformation temperature on ultrasonic and electromagnetic properties of austenitic steel. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Iss. 5. P. 2320–2322. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.679.r.2019.07.679>.

References

1. Allen D.R., Sayers C.M. The measurement of residual stress in textured steel using an ultrasonic velocity combinations technique. *Ultrasonics*. 1984. Vol. 22. Iss. 4. P. 179–188. [https://doi.org/10.1016/0041-624X\(84\)90034-9](https://doi.org/10.1016/0041-624X(84)90034-9).

2. Sayers C.M. Ultrasonic velocities in anisotropic polycrystalline aggregates. *J. Phys. D.* 1982. Vol. 15. No 11. P. 2157–2167. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/15/11/011>.
3. Hirao M., Aoki K., Fukuoka H. Texture of polycrystalline metals characterized by ultrasonic velocity measurements. *J. Acoust. Soc. Am.* 1987. Vol. 81. Iss. 5. P. 1434–1440. <https://doi.org/10.1121/1.394495>.
4. Truell R., Elbaum C., Chick B.B. *Ultrasonic Methods in Solid State*. New York. Academic press. 1969. 464 p.
5. Spies M, Schneider E. Nondestructive analysis of textures in rolled sheets by ultrasonic techniques. *Texture, Stress, and Microstructure*. 1990. Vol. 12. No 4. P. 219–231. <https://doi.org/10.1155/TSM.12.219>.
6. Gonchar A.V., Kurashkin K.V., Andreeva O.V., Anosov M.S., Klyushnikov V.A. Fatigue life prediction of structural steel using acoustic birefringence and characteristics of persistent slip bands. *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 2022. Vol. 45. Iss. 1. P. 101–112. <https://doi.org/10.1111/ffe.13586>.
7. Carvajal L., Sosa M., Artigas A., Luco N., Monsalve A. Ultrasonic assessment of the influence of cold rolling and recrystallization annealing on the elastic constants in a TWIP steel. *Materials*. 2021. Vol. 14. P. 6559-1–6559-14. <https://doi.org/10.3390/ma14216559>.
8. Schneider E. Ultrasonic birefringence effect – Its application for materials characterisations. *Opt. Lasers Eng.* 1995. Vol. 22. Iss. 4-5. P. 305–323. [https://doi.org/10.1016/0143-8166\(94\)00032-6](https://doi.org/10.1016/0143-8166(94)00032-6).
9. Makowska K., Piotrowski L., Kowalewski Z.L. Prediction of the mechanical properties of P91 steel by means of magneto-acoustic emission and acoustic birefringence. *J. Nondestr. Eval.* 2017. Vol. 36. Iss. 2. P. 43-1–43-10. <https://doi.org/10.1007/s10921-017-0421-9>.
10. Gonchar A.V., Mishakin V.V., Klyushnikov V.A. The effect of phase transformations induced by cyclic loading on the elastic properties and plastic hysteresis of austenitic stainless steel. *Int. J. Fatigue*. 2018. Vol. 106. P. 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.10.003>.
11. Mishakin V.V., Klyushnikov V.A., Kassina N.V. Research on the fracture process of steels by the acoustic method and the pitch net method. *J. Mach. Manuf. Reliab.* 2009. Vol. 38. Iss. 5. P. 443–447. <https://doi.org/10.3103/S1052618809050069>.
12. Mishakin V.V., Gonchar A.V., Kirikov S.V., Klyushnikov V.A. Evaluation of condition of low-carbon steels experiencing plastic deformation using the effect of acoustic birefringence. *Nondestruc. Test. Evaluation*. 2021. Vol. 36. Iss. 2. P. 225–235. <https://doi.org/10.1080/10589759.2020.1728266>.
13. Belyaev A.K., Lobachev A.M., Modestov V.S., Pivkov A.V., Polyanskii V.A., Semenov A.S., Tret'yakov D.A., Shtukin L.V. Estimating the plastic strain with the use of acoustic anisotropy. *Mechanics of Solids*. 2016. Vol. 51. Iss. 5. P. 606–611. <https://doi.org/10.3103/S0025654416050149>.
14. Mishakin V., Gonchar A., Kurashkin K., Kachanov M. Prediction of fatigue life of metastable austenitic steel by a combination of acoustic and eddy current data. *Int. J. Fatigue*. 2020. Vol. 141. Article No 105846. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105846>.
15. Mishakin V.V., Gonchar A.V., Kurashkin K.V., Klyushnikov V.A., Kachanov M. On low-cycle fatigue of austenitic steel. Part I: Changes of Poisson's ratio and elastic anisotropy. *Int. J. Eng. Sci.* 2021. Vol. 168. Article No 103567. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2021.103567>.
16. Kamm G.N., Alers G.A. Low-temperature elastic moduli of aluminum. *J. Appl. Phys.* 1964. Vol. 35. Iss. 2. P. 327–330. <https://doi.org/10.1063/1.1713309>.
17. Chaston J.C. Materials for temperature measurement. *Modern Materials*. 1970. Vol. 7. P. 223–266. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-462207-4.50011-3>.
18. Varshni Y.P. Temperature dependence of the elastic constants. *Phys. Rev. B.* 1970. Vol. 2. Iss. 10. P. 3952–3958. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.2.3952>.
19. Li W., Kou H., Zhang X., Ma J., Li Y., Geng P., Wu X., Chen L., Fang D. Temperature-dependent elastic modulus model for metallic bulk materials. *Mech. Mater.* 2019. Vol. 139. Article No 103194. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.103194>.
20. Klyushnikov V.A. Influence of plastic deformation temperature on ultrasonic and electromagnetic properties of austenitic steel. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Iss. 5. P. 2320–2322. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.679.r.2019.07.679>.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF ACOUSTIC BIREFRINGENCE OF SHEAR ELASTIC WAVES IN POLYCRYSTALLINE ALUMINUM*

Gonchar A.V., Mishakin V.V., Klushnikov V.A.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch
of Federal Research Center “Institute of Applied Physics of the RAS”,
Nizhny Novgorod, Russian Federation*

ndt@iprman.ru

Received by the Editor 2022/09/07

The article presents the results of a study of the temperature dependences of the shear elastic waves velocity of polycrystalline aluminum alloy AD0 in the temperature range from 20 °C to 45 °C. For the studied material the temperature dependence of the acoustic birefringence parameter characterizing the a shear ultrasonic wave splitting into two orthogonally polarized waves propagating at different velocities is determined. The calculation of the acoustic birefringence parameter was carried out according to the data of the propagation time precision measurement of shear elastic waves (the measurement error of the propagation time is 1-2 ns), polarized along and across the direction of rolling.

Theoretical studies have shown that for materials with weak anisotropy, the temperature dependence of the acoustic birefringence parameter is mainly related to the influence of temperature on the elastic anisotropy of the crystals that make up the polycrystalline material and the characteristic of the crystallographic texture – the coefficient of the orientation distribution function W_{420} . Corrections to the value of the birefringence parameter with temperature change are given. It was experimentally obtained that the acoustic birefringence parameter increases by 9% with increasing temperature, which must be taken into account by using it as a diagnostic parameter to evaluation changes in the characteristics of static and fatigue strength.

An algorithm is proposed for estimating the prediction of the temperature dependence of the acoustic birefringence parameter of a single-phase material when the crystallographic texture changes as a result of plastic deformation, for example. A good coincidence of the predicted temperature dependence of the acoustic birefringence parameter with the experimental one was obtained – the deviation error of the calculated curve from the experimental one was 0.2–2% in the temperature range of 20 °C to 45 °C.

Keywords: acoustic birefringence, temperature dependence, polycrystal, elastic modules.

*This work was supported by a government contract of Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences for fundamental research for 2021–2023, project No 0030-2021-0025.