

УДК 620.17

DOI: 10.32326/1814-9146-2026-88-1-68-77

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ
И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА
АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИТА, УПРОЧНЕННОГО
ПОЛЫМИ АЛЮМОСИЛИКАТНЫМИ МИКРОСФЕРАМИ***

© 2026 г. Курашкин К.В., Гончар А.В., Соловьев А.А.

*Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального
исследовательского центра «Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова РАН», Нижний Новгород, Российская Федерация*

ndt@ipmran.ru

Поступила в редакцию 16.10.2025

Рассматривается актуальная проблема неразрушающей оценки прочностных свойств литых алюмоматричных композитов по данным ультразвукового контроля. Представлены результаты ультразвуковых исследований перспективного литого изотропного композиционного материала на основе алюминиевого сплава А6, упрочненного полыми алюмосиликатными микросферами. С помощью эхо-импульсного метода определены скорости продольных и сдвиговых ультразвуковых волн в образцах, содержащих фракции микросфер размерами 40–80 мкм и 100–200 мкм, со степенью насыщения 5, 10 и 15%. На основе измерений времен распространения ультразвуковых волн рассчитаны значения коэффициента Пуассона. Установлено, что как скорости распространения продольных и сдвиговых волн, так и коэффициент Пуассона уменьшаются прямо пропорционально степени насыщения сплава полыми алюмосиликатными микросферами, при этом углы наклона прямых существенно различаются в зависимости от размера микросфер. Для образцов композита, содержащих микросферы размерами 40–80 мкм, соответствующие углы наклона линейных зависимостей меньше, чем для образцов композита, содержащих микросферы размерами 100–200 мкм. Также получено, что при одинаковой степени насыщения скорости ультразвуковых волн и коэффициент Пуассона в образцах, содержащих микросферы меньшего размера, больше, чем в образцах, содержащих микросферы большего размера. Установлена отрицательная линейная корреляция коэффициента Пуассона и предела прочности для исследованной выборки. Показано, что определяемый с помощью ультразвуковых волн коэффициент Пуассона может использоваться как информативный параметр неразрушающего контроля алюмоматричного композита, упрочненного полыми алюмосиликатными микросферами. Предложены эмпирические формулы для оценки предела прочности композита и степени насыщения полыми микросферами по данным ультразвуковых измерений.

* Выполнено за счет гранта РФФИ №25-29-00922, <https://rscf.ru/project/25-29-00922/>, регистрационный номер НИОКТР 125021702350-8.

Ключевые слова: алюмоматричный композит, ультразвуковой контроль, предел прочности, коэффициент Пуассона.

Введение

В последние годы новые композиционные материалы на основе алюминия получили распространение в автомобилестроении, аэрокосмической и военной промышленности при изготовлении легких конструкционных деталей. Практический интерес к применению алюмоматричных композитов в качестве конструкционных материалов обусловлен их высокой удельной прочностью в сочетании с низкой плотностью, что позволяет уменьшить массу элементов конструкций [1, 2].

Наиболее простым и дешевым способом изготовления алюмоматричных композитов является литье с механическим замешиванием в расплав упрочняющих частиц. В роли наполнителя, как правило, используется различная керамика, в первую очередь Al_2O_3 , SiO_2 , SiC и TiC [1, 3]. Качество получаемого таким способом композита зависит от температуры, скорости отвердевания, времени выдержки и других факторов [1]. При этом прочностные свойства определяются не только химическим составом, концентрацией и размерами упрочняющих частиц, но и однородностью их распределения и степенью адгезии с матрицей [3–5]. Неоднородное распределение упрочняющих частиц и поры на границе матрица/наполнитель являются основными дефектами в литых алюмоматричных композитах [3–5].

Для подтверждения качества создаваемых композиционных материалов обычно проводятся механические испытания и металлографический анализ микроструктуры образцов. Однако из-за особенностей технологии изготовления литые алюмоматричные композиты могут иметь локальные неоднородности структуры, которые выявляются только при сплошном стопроцентном контроле и часто приводят к браку при изготовлении изделий. Поэтому актуальна потребность в неразрушающем контроле создаваемых алюмоматричных композитов и изделий из них.

Самым распространенным видом неразрушающего контроля литых алюмоматричных композитов является оперативный и надежный ультразвуковой контроль. Анализ амплитуды, скорости и затухания ультразвуковых волн позволяет определить эффективные упругие свойства [4–9], контролировать концентрацию и размер упрочняющих частиц [4, 6, 8, 10], оценить пористость [5, 11, 12] и выявить локальные неоднородности [13].

С целью уменьшения затрат на механические испытания создаваемых алюмоматричных композитов представляется перспективным применение ультразвукового контроля для оценки прочностных свойств.

В настоящей статье исследуется возможность прогнозировать предел прочности литого алюмоматричного композита, упрочненного полыми алюмосиликатными микросферами, на основе анализа коэффициента Пуассона, определяемого с помощью продольных и сдвиговых ультразвуковых волн.

1. Материал и методы исследований

Исследовались образцы, представляющие собой темплеты круглого сечения диаметром 25 мм и толщиной 9 мм, изготовленные из литого композита на основе алюминиевого сплава А6 (алюминий технической чистоты), упрочненного полыми алюмосиликатными микросферами. Технология получения композита описана в

статье [14]. Исследованная выборка состояла из шести образцов. Три образца содержали фракцию микросфер размерами 40–80 мкм, три образца содержали фракцию микросфер размерами 100–200 мкм. Все исследованные образцы имели пористость менее 0,1%. Предел прочности при растяжении алюмоматричного композита также определялся в [14]. В таблице 1 представлены основные характеристики исследованных образцов композита и соответствующие этим характеристикам значения предела прочности при растяжении по данным из статьи [14].

Таблица 1

Характеристики исследованного композита

Номер образца	Степень насыщения, %	Размер микросфер, мкм	Предел прочности σ_B , МПа
1	5	40–80	121
2	10	40–80	148
3	15	40–80	185
4	5	100–200	117
5	10	100–200	139
6	15	100–200	181

На рис. 1 в качестве примера показана полученная с помощью оптического микроскопа микроструктура композита со степенью насыщения 15% полыми алюмосиликатными микросферами размерами 100–200 мкм.

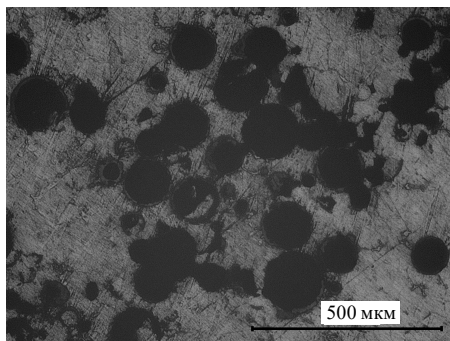


Рис. 1. Микроструктура алюмоматричного композита, упрочненного полыми алюмосиликатными микросферами

Методика ультразвуковых исследований подробно описана в статье [15]. Времена распространения продольных и сдвиговых волн измерялись эхо-импульсным методом между первым и вторым донными сигналами. На каждом образце измерения повторялись по 10 раз. Скорости распространения продольных V_l и сдвиговых V_s волн рассчитывались с помощью выражений:

$$V_l = \frac{2h}{t_l}, \quad (1)$$

$$V_s = \frac{2h}{t_s}, \quad (2)$$

где h – толщина образца в месте установки пьезоэлектрического преобразователя, измеренная с помощью цифрового микрометра; t_l и t_s – времена распространения продольных и сдвиговых волн соответственно.

Коэффициент Пуассона ν вычислялся через времена распространения продольных и сдвиговых волн, прошедших одинаковый путь:

$$\nu = \frac{0,5 - (t_l/t_s)^2}{1 - (t_l/t_s)^2}. \quad (3)$$

Коэффициент Пуассона является относительной величиной, для вычисления которой не требуется определять плотность и измерять толщину, что делает его удобным информативным параметром для неразрушающей оценки состояния материала [16–20].

2. Результаты и их обсуждение

Как следует из данных таблицы 1, насыщение алюминиевого сплава А6 полыми алюмосиликатными микросферами приводит к увеличению предела прочности при растяжении. Для композита со степенью насыщения микросферами 15% предел прочности увеличивается в среднем на 160% по сравнению с пределом прочности 70 МПа для исходного сплава А6. При этом размеры микросфер слабо влияют на упрочнение; разница значений предела прочности для образцов, содержащих микросферы размерами 40–80 мкм и 100–200 мкм, в среднем составляет 5 МПа. Зависимости предела прочности композита от степени насыщения полыми алюмосиликатными микросферами показаны на рис. 2, где зависимость 1 – для композита с микросферами размером 40–80 мкм, 2 – с микросферами 100–200 мкм.

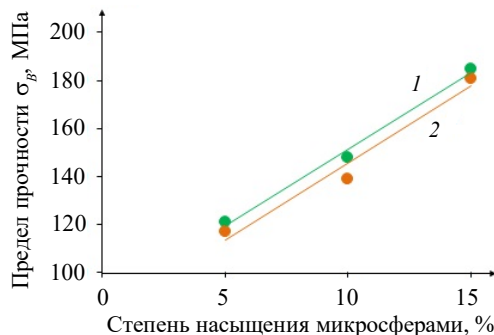


Рис. 2. Зависимости предела прочности композита от степени насыщения полыми алюмосиликатными микросферами [14]

Скорости распространения ультразвуковых волн линейно уменьшаются с увеличением степени насыщения сплава полыми алюмосиликатными микросферами (рис. 3 и рис. 4), где зависимость 1 – для композита с микросферами размером 40–80 мкм, 2 – с микросферами 100–200 мкм. Для образцов, содержащих микросферы размерами 40–80 мкм и 100–200 мкм, углы наклона прямых различны. Скорости ультразвуковых волн в композите, насыщенном микросферами размерами 100–200 мкм, меньше, чем в композите, насыщенном микросферами размерами 40–80 мкм. При степени насыщения, равной 0, то есть для исходного сплава А6, прямые пересекаются. Значения скоростей продольных и сдвиговых волн для исходного сплава А6, полученные в результате регрессионного анализа, составляют 6580 ± 20 м/с и 3160 ± 10 м/с соответственно. Очевидно, что при насыщении алюминиевой матрицы полыми микросферами уменьшается не только плотность, но и эффективные модули

упругости композита. Следует отметить, что насыщение сплава полыми микросферами оказывает больший эффект на скорость продольных волн, чем на скорость сдвиговых волн. При одинаковой степени насыщения абсолютное значение уменьшения скорости продольных волн в пять раз больше, чем абсолютное значение уменьшения скорости сдвиговых волн. Так как все исследованные образцы имели пористость менее 0,1%, влияние пористости на скорости ультразвуковых волн не заметно по сравнению с эффектом от насыщения полыми алюмосиликатными микросферами.

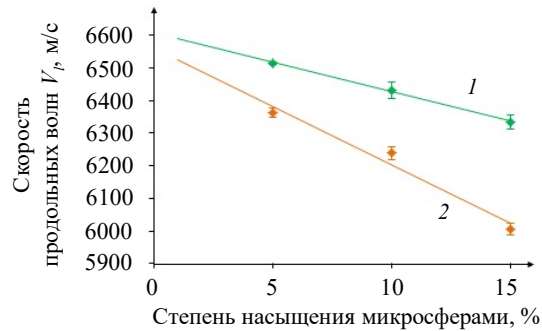


Рис. 3. Зависимости скорости продольных волн в композите от степени насыщения полыми алюмосиликатными микросферами

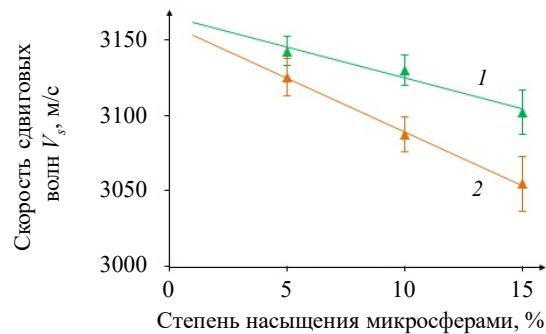


Рис. 4. Зависимости скорости сдвиговых волн в композите от степени насыщения полыми алюмосиликатными микросферами

На рис. 5 показаны линейные зависимости коэффициента Пуассона, рассчитанного по формуле (3), от степени насыщения композита упрочняющими микросферами.

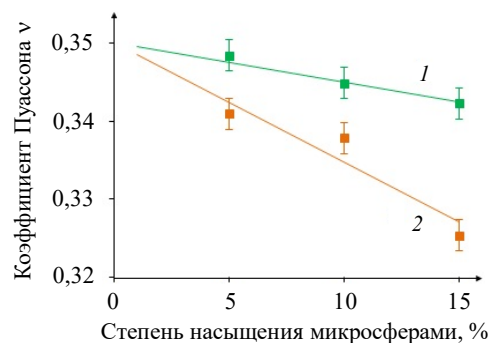


Рис. 5. Зависимости коэффициента Пуассона композита от степени насыщения полыми алюмосиликатными микросферами

Углы наклона прямых существенно различаются для образцов, содержащих микросферы размерами 40–80 мкм и 100–200 мкм. Коэффициент Пуассона 0,35 соответствует исходному сплаву А6. На рис. 5 зависимость 1 соответствует композиту с микросферами размером 40–80 мкм, 2 – с микросферами 100–200 мкм.

Для композита, изготавливаемого по такой же технологии, при известном размере микросфер можно по данным ультразвукового контроля определять степень насыщения:

$$n = \frac{0,35 - \nu}{d} \cdot 10^5, \quad (4)$$

где n – степень насыщения микросферами, выраженная в %; d – средний размер микросфер в мкм; ν – коэффициент Пуассона, полученный по данным ультразвукового контроля.

На рис. 6 представлены корреляционные связи предела прочности и коэффициента Пуассона для исследованных образцов композита. Как можно видеть, коэффициент Пуассона имеет отрицательную линейную корреляцию с пределом прочности. При этом углы наклона прямых существенно различаются для образцов, содержащих микросферы размерами 40–80 мкм (зависимость 1 на рис. 6) и 100–200 мкм (зависимость 2). Точка пересечения прямых соответствует пределу прочности и коэффициенту Пуассона исходного алюминиевого сплава А6.

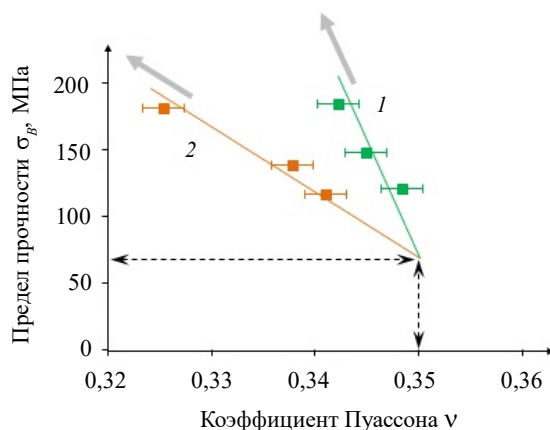


Рис. 6. Связь коэффициента Пуассона и предела прочности композита (стрелками указано возрастание степени насыщения)

Линейная корреляция между пределом прочности и коэффициентом Пуассона объясняется тем, что оба параметра изменяются пропорционально степени насыщения сплава полыми алюмосиликатными микросферами. С помощью множественной регрессии данных экспериментальных исследований получено эмпирическое соотношение, которое можно использовать для прогнозирования предела прочности:

$$\sigma_B = 70 + (22530 - 120d)(0,35 - \nu), \quad (5)$$

где предел прочности σ_B определяется в МПа.

Абсолютная ошибка прогнозирования предела прочности с помощью формулы (5) для исследованной выборки не превышает 15 МПа.

Полученные результаты показывают, что коэффициент Пуассона может использоваться как информативный параметр неразрушающего ультразвукового контроля

перспективных алюмоматричных композитов, упрочненных полыми алюмосиликатными микросферами. При соблюдении технических условий изготовления таких композитов, когда пористость не превышает 0,1%, определение коэффициента Пуассона позволяет локально оценить степень насыщения сплава и спрогнозировать прочность изделия, если известен средний размер микросфер.

Заключение

Ультразвуковые исследования образцов литого изотропного композита на основе алюминиевого сплава А6, упрочненного полыми алюмосиликатными микросферами, показали следующее:

- скорости распространения продольных и сдвиговых волн уменьшаются пропорционально степени насыщения сплава микросферами, при этом коэффициент пропорциональности зависит от размера микросфер;
- коэффициент Пуассона, определяемый с помощью ультразвуковых волн, также прямо пропорционально уменьшается при насыщении сплава микросферами, при этом угол наклона линейной зависимости определяется размером микросфер;
- коэффициент Пуассона имеет отрицательную линейную корреляцию с пределом прочности.

Определение коэффициента Пуассона с помощью ультразвуковых волн можно использовать для неразрушающей оценки степени насыщения сплава микросферами и прочности изделия, если соблюдаются идентичные технические условия изготовления композита.

Авторы выражают благодарность А.Д. Романову за предоставление образцов алюмоматричного композита для выполнения исследований.

Список литературы

1. Garg P., Jamwal A., Kumar D., Sadasivuni K.K., Hussain Ch.M., Gupta P. Advance research progresses in aluminium matrix composites: Manufacturing and applications. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019. Vol. 8. Iss. 5. P. 4924–4939. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.028>.
2. Chak V., Chattopadhyay H., Dora T.L. A review on fabrication methods, reinforcements and mechanical properties of aluminum matrix composites. *Journal of Manufacturing Processes*. 2020. Vol. 56. Pt. A. P. 1059–1074. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.05.042>.
3. Banerji A., Surappa M.K., Rohatgi P.K. Cast aluminum alloys containing dispersions of zircon particles. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 1983. Vol. 14. P. 273–283. <https://doi.org/10.1007/BF02661024>.
4. Rohatgi P.K., Raman S., Majumdar B.S., Banerjee A. Ultrasonic techniques in evaluation of metal matrix particulate composites. *Materials Science and Engineering: A*. 1990. Vol. 123. Iss. 1. P. 89–97. [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(90\)90214-n](https://doi.org/10.1016/0921-5093(90)90214-n).
5. Bindumadhavan P.N., Wah H.K., Prabhakar O. Assessment of particle-matrix debonding in particulate metal matrix composites using ultrasonic velocity measurements. *Materials Science and Engineering: A*. 2002. Vol. 323. Iss. 1-2. P. 42–51. [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(01\)01399-5](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(01)01399-5).
6. Lee J.-H., Park Y.-Ch. Nondestructive characterization of metal matrix composite by ultrasonic measurement. *Composites Engineering*. 1995. Vol. 5. Iss. 12. P. 1423–1431. [https://doi.org/10.1016/0961-9526\(95\)00076-y](https://doi.org/10.1016/0961-9526(95)00076-y).
7. Mouchtachi A., El Guerjouma R., Baboux J.C. Non destructive ultrasonic evaluation of fibrous metal matrix composites. *Applied Composite Materials*. 1994. Vol. 1. P. 387–393. <https://doi.org/10.1007/bf00568043>.

8. Toozandehjani M., Ostovan F., Shamshirsaz M., Matori Kh.A., Shafiei E. Velocity and attenuation of ultrasonic wave in Al–Al₂O₃ nanocomposite and their correlation to microstructural evolution during synthesizing procedure. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. Vol. 15. P. 2529–2542. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.065>.
9. Erol A., Bilici V.Ö., Yönetken A. Characterization of the elastic modulus of ceramic-metal composites with physical and mechanical properties by ultrasonic technique. *Open Chemistry*. 2022. Vol. 20. P. 593–601. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0180>.
10. Gür C.H., Ogel B. Non-destructive microstructural characterization of aluminium matrix composites by ultrasonic techniques. *Materials Characterization*. 2001. Vol. 47. Iss. 3-4. P. 227–233. [https://doi.org/10.1016/s1044-5803\(01\)00174-7](https://doi.org/10.1016/s1044-5803(01)00174-7).
11. Mukhopadhyay A.K., Phani K.K. An analysis of microstructural parameters in the minimum contact area model for ultrasonic velocity-porosity relations. *Journal of the European Ceramic Society*. 2000. Vol. 20. Iss. 1. P. 29–38. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(99\)00092-8](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(99)00092-8).
12. Podymova N.B., Kalashnikov I.E., Bolotova L.K., Kobeleva L.I. Laser-ultrasonic nondestructive evaluation of porosity in particulate reinforced metal-matrix composites. *Ultrasonics*. 2019. Vol. 99. Article No 105959. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2019.105959>.
13. Krishnamurthy S., Matikas T. E., Karpur P. Role of matrix microstructure in the ultrasonic characterization of fiber-reinforced metal matrix composites. *Journal of Materials Research*. 1997. Vol. 12. P. 754–763. <https://doi.org/10.1557/jmr.1997.0110>.
14. Romanov A.D., Romanova E.A., Chernyshov E.A., Ob'edkov A.M., Semenov N.M., Kaverin B.S., Vilkov I.V. Production of aluminum matrix composite material hardened with hollow ceramic microspheres. *Metallurgist*. 2021. Vol. 65. P. 320–325. <https://doi.org/10.1007/s11015-021-01160-7>.
15. Гончар А.В., Курашкин К.В., Сергеева О.А., Соловьев А.А. Влияние пластической деформации на анизотропию упругих свойств и скорости ультразвуковых волн в низкоуглеродистой стали. *Проблемы прочности и пластичности*. 2022. Т. 84. №2. С. 259–271. DOI: 10.32326/1814-9146-2022-84-2-259-271.
16. Kuliev G.G. Determination of the Poisson's ratio in stressed media. *Doklady Earth Sciences*. 2000. Vol. 370. P. 206–209.
17. Carvajal L., Artigas A., Monsalve A., Vargas Y. Acoustic birefringence and Poisson's ratio determined by ultrasound: tools to follow-up deformation by cold rolling and recrystallization. *Materials Research*. 2017. Vol. 20. P. 304–310. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-1082>.
18. Мишакин В.В., Гончар А.В., Ключников В.А., Курашкин К.В. Исследование влияния пластического деформирования на кристаллографическую текстуру и ультразвуковые характеристики низколегированной стали. *Проблемы прочности и пластичности*. 2021. Т. 83. №3. С. 255–264. <https://doi.org/10.32326/1814-9146-2021-83-3-255-264>.
19. Kirikov S.V., Mishakin V.V., Klyushnikov V.A. Influence of microcracks on Poisson's ratio during plastic deformation of austenitic steel. *Technical Physics*. 2023. Vol. 68. P. S449–S456. <https://doi.org/10.1134/S1063784223900656>.
20. Mishakin V.V., Klyushnikov V.A., Gonchar A.V., Sergeeva O.A. Using the Poisson's ratio and acoustic anisotropy parameter to assess damage and accumulated plastic strain during fatigue failure of austenitic steels. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2024. Vol. 60. P. 699–708. <https://doi.org/10.1134/S1061830924700712>.

References

1. Garg P., Jamwal A., Kumar D., Sadasivuni K.K., Hussain Ch.M., Gupta P. Advance research progresses in aluminium matrix composites: Manufacturing and applications. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019. Vol. 8. Iss. 5. P. 4924–4939. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.028>.
2. Chak V., Chattopadhyay H., Dora T.L. A review on fabrication methods, reinforcements and mechanical properties of aluminum matrix composites. *J. Manuf. Process*. 2020. Vol. 56. Pt. A. P. 1059–1074. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.05.042>.
3. Banerji A., Surappa M.K., Rohatgi P.K. Cast aluminum alloys containing dispersions of zircon particles. *Metall. Mater. Trans. B*. 1983. Vol. 14. P. 273–283. <https://doi.org/10.1007/BF02661024>.

4. Rohatgi P.K., Raman S., Majumdar B.S., Banerjee A. Ultrasonic techniques in evaluation of metal matrix particulate composites. *Materials Science and Engineering: A*. 1990. Vol. 123. Iss. 1. P. 89–97. [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(90\)90214-n](https://doi.org/10.1016/0921-5093(90)90214-n).
5. Bindumadhavan P.N., Wah H.K., Prabhakar O. Assessment of particle-matrix debonding in particulate metal matrix composites using ultrasonic velocity measurements. *Materials Science and Engineering: A*. 2002. Vol. 323. Iss. 1-2. P. 42–51. [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(01\)01399-5](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(01)01399-5).
6. Lee J.-H, Park Y.-Ch. Nondestructive characterization of metal matrix composite by ultrasonic measurement. *Compos. Eng.* 1995. Vol. 5. Iss. 12. P. 1423–1431. [https://doi.org/10.1016/0961-9526\(95\)00076-y](https://doi.org/10.1016/0961-9526(95)00076-y).
7. Mouchtachi A., El Guerjouma R., Baboux J.C. Non destructive ultrasonic evaluation of fibrous metal matrix composites. *Appl. Compos. Mater.* 1994. Vol. 1. P. 387–393. <https://doi.org/10.1007/bf00568043>.
8. Toozandehjani M., Ostovan F., Shamsirsaz M., Matori Kh.A., Shafiei E. Velocity and attenuation of ultrasonic wave in Al–Al₂O₃ nanocomposite and their correlation to micro-structural evolution during synthesizing procedure. *J. Mater. Res. Technol.* 2021. Vol. 15. P. 2529–2542. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.065>.
9. Erol A., Bilici V.Ö., Yönetken A. Characterization of the elastic modulus of ceramic-metal composites with physical and mechanical properties by ultrasonic technique. *Open Chem.* 2022. Vol. 20. P. 593–601. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0180>.
10. Gür C.H., Ogel B. Non-destructive microstructural characterization of aluminium matrix composites by ultrasonic techniques. *Mater. Charact.* 2001. Vol. 47. Iss. 3-4. P. 227–233. [https://doi.org/10.1016/s1044-5803\(01\)00174-7](https://doi.org/10.1016/s1044-5803(01)00174-7).
11. Mukhopadhyay A.K., Phani K.K. An analysis of microstructural parameters in the minimum contact area model for ultrasonic velocity-porosity relations. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2000. Vol. 20. Iss. 1. P. 29–38. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(99\)00092-8](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(99)00092-8).
12. Podymova N.B., Kalashnikov I.E., Bolotova L.K., Kobeleva L.I. Laser-ultrasonic nondestructive evaluation of porosity in particulate reinforced metal-matrix composites. *Ultrasonics*. 2019. Vol. 99. Article No 105959. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2019.105959>.
13. Krishnamurthy S., Matikas T. E., Karpur P. Role of matrix microstructure in the ultrasonic characterization of fiber-reinforced metal matrix composites. *Journal of Materials Research*. 1997. Vol. 12. P. 754–763. <https://doi.org/10.1557/jmr.1997.0110>.
14. Romanov A.D., Romanova E.A., Chernyshov E.A., Ob'edkov A.M., Semenov N.M., Kaverin B.S., Vilkov I.V. Production of aluminum matrix composite material hardened with hollow ceramic microspheres. *Metallurgist*. 2021. Vol. 65. P. 320–325. <https://doi.org/10.1007/s11015-021-01160-7>.
15. Gonchar A.V., Kurashkin K.V., Sergeeva O.A., Solovyov A.A. Vliyanie plasticheskoy deformatsii na anizotropiyu uprugikh svoystv i skorosti ultrazvukovykh voln v nizkouglerodisty stali [Effect of strain on the elastic anisotropy and ultrasonic wave velocities in low-carbon steel]. *Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]*. 2022. Vol. 84. No 2. P. 259–271 (In Russian).
16. Kuliev G.G. Determination of the Poisson's ratio in stressed media. *Doklady Earth Sciences*. 2000. Vol. 370. P. 206–209.
17. Carvajal L., Artigas A., Monsalve A., Vargas Y. Acoustic birefringence and Poisson's ratio determined by ultrasound: tools to follow-up deformation by cold rolling and recrystallization. *Mater. Res.* 2017. Vol. 20. P. 304–310. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-1082>.
18. Mishakin V.V., Gonchar A.V., Klyushnikov V.A., Kurashkin K.V. Issledovanie vliyaniya plasticheskogo deformirovaniya na kristallograficheskuyu teksturu i ultrazvukovye kharakteristiki nizkolegirovannoy stali [Study of the effect of plastic deformation on the crystallographic texture and acoustic characteristics of low-alloy steel]. *Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]*. 2021. Vol. 83. No 3. P. 255–264. (In Russian).
19. Kirikov S.V., Mishakin V.V., Klyushnikov V.A. Influence of microcracks on Poisson's ratio during plastic deformation of austenitic steel. *Tech. Phys.* 2023. Vol. 68. P. S449–S456. <https://doi.org/10.1134/S1063784223900656>.
20. Mishakin V.V., Klyushnikov V.A., Gonchar A.V., Sergeeva O.A. Using the Poisson's

ratio and acoustic anisotropy parameter to assess damage and accumulated plastic strain during fatigue failure of austenitic steels. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2024. Vol. 60. P. 699–708. <https://doi.org/10.1134/S1061830924700712>.

**INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN ULTIMATE STRENGTH
AND POISSON'S RATIO OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITE REINFORCED
WITH HOLLOW ALUMINOSILICATE MICROSPHERES***

Kurashkin K.V., Gonchar A.V., Solovyov A.A.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences –
Branch of Federal Research Center “Institute of Applied Physics
n.a. A.V. Gaponov-Grekhov of the RAS”, Nizhny Novgorod, Russian Federation*

ndt@ipmran.ru

Received by the Editor 2025/10/16

The actual topic of nondestructive evaluation of strength properties of cast aluminum matrix composites using ultrasonic inspection data is considered. The results of ultrasonic investigations of promising cast isotropic composite material based on aluminum alloy AA1060, reinforced with hollow aluminosilicate microspheres, are presented. Using the echo pulse method, the velocities of longitudinal and shear ultrasonic waves were determined in the specimens containing fractions of microspheres with sizes of 40–80 μm and 100–200 μm , with saturation degree of 5, 10 and 15%. Based on measurements of the propagation times of ultrasonic waves, the values of the Poisson's ratio are calculated. It was found that both the propagation velocities of longitudinal and shear waves and the Poisson's ratio decrease in direct proportion to the degree of saturation of the alloy with hollow aluminosilicate microspheres, while the slope angles of straightlines vary significantly depending on the size of the microspheres. For the specimens of composite containing microspheres 40–80 μm , the corresponding slope angles of the linear dependences are smaller than for the specimens containing microspheres 100–200 μm . It was also found that, with the same degree of saturation, the ultrasonic wave velocities and the Poisson's ratio in the specimens containing smaller microspheres are greater than in the specimens containing larger microspheres. A negative linear correlation of the Poisson's ratio and the tensile strength has been established for the studied sampling. It is shown that the Poisson's ratio, determined using ultrasonic waves, can be used as an informative parameter for nondestructive testing of an aluminum-matrix composite reinforced with hollow aluminosilicate microspheres. Empirical formulas are proposed for evaluation the ultimate strength of composite and the degree of saturation with hollow microspheres from the ultrasonic measurements.

Keywords: aluminum matrix composite, ultrasonic testing, ultimate strength, Poisson's ratio.

* The study was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No 25-29-00922, <https://rscf.ru/project/25-29-00922/>.