

УДК 620.179.16

Основные тенденции в области ультразвукового контроля изделий аддитивного производства

Щипаков Никита Андреевич^{1,2}

shchipak@bmstu.ru

SPIN-код: 9716-6579

Ворыханов Александр Витальевич^{1,2}

voryhanov00@yandex.ru

¹ НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведен обзор современного состояния исследований в области ультразвукового контроля изделий аддитивного производства (АП). Проведен анализ основных факторов, препятствующих проведению качественного неразрушающего контроля. Определены основные тенденции современных исследований в области ультразвукового контроля изделий АП, а также намечены проблемные вопросы, требующие проведения дальнейших теоретических и экспериментальных работ.

Ключевые слова: анизотропия, аддитивное производство, селективное лазерное плавление, ультразвуковой контроль, неразрушающий контроль

Передовые методы неразрушающего контроля (НК) используются для эффективного обнаружения различных дефектов в различных слоях изделий АП. Однако корректная оценка качества изделия как при изготовлении, так и в эксплуатационных условиях до сих пор вызывает сложности, которые связаны с рядом факторов, обусловленных многообразием технологических процессов и большим набором регулируемых параметров в каждом из них, а также сложной геометрией контролируемых объектов [1]. Существующие подходы неразрушающего контроля таких деталей во многом опираются на опыт, накопленный в смежных областях, таких как порошковая металлургия, лазерная сварка и литье. Хотя применимость методов НК из этих областей активно исследуется, сохраняются существенные технологические пробелы, требующие решения.

Как показал анализ, одним из наиболее перспективных методов контроля является ультразвуковой. Возможности ультразвукового метода позволяют осуществлять прозвучивание изделия в полном объеме, а также выявлять разноориентированные дефекты размерами порядка нескольких сотен микрометров и более. Однако в силу того, что изделия АП обладают достаточно выраженной анизотропией механических свойств, вопрос применения ультразвукового метода значительно усложняется.

Анизотропия может быть объяснена несколькими факторами, такими как микроструктурные дефекты, остаточные напряжения, границы зоны расплава и кристаллографическая текстура [2]. В исследовании [3] делается вывод о том, что именно кристаллографическая текстура является основным фактором, оказывающим наибольшее влияние на механическую анизотропию.

При УЗК анизотропных аустенитных сварных швов, а также проката проблема влияния анизотропии на результаты контроля решалась, главным образом, за счет выбора оптимальных параметров и схемы контроля, которые обеспечивают наиболее высокую чувствительность, а также минимальное отклонение ультразвукового пучка от прямолинейного распространения. Настройку чувствительности рекомендовано производить на настроечных образцах, где угол между направлением прозвучивания и осью кристаллитов является аналогичным тому, который реализуется в процессе контроля изделия. В этих случаях контроль реализуется таким образом, что угол между направлением прозвучивания и осями кристаллитов остается постоянным. В случае с изделиями АП с сложной геометрией, затруднительно обеспечить постоянство между направлением прозвучивания и осью кристаллитов. В изделиях АП отсутствуют сварные соединения, контроль необходимо осуществлять, чтобы выявить дефекты в объеме основного металла. Геометрические особенности изделий АП обуславливают необходимость прозвучивания под разными углами по отношению к направлению выращивания изделия. Поскольку для изделий АП характерна направленность кристаллографической текстуры вдоль направления выращивания, то акустические свойства могут изменяться симметрично относительно этого направления.

Основными тенденциями в области ультразвукового контроля изделий аддитивного производства является разработка оптимальных методов оценки анизотропии и создание моделей, способных автоматически проводить корректировку параметров ультразвукового контроля в зависимости от свойств материалов. Однако все предложенные на данный момент решения могут быть реализованы лишь по схемам контроля с использованием продольных волн, что значительно ограничивает номенклатуру контролируемых изделий [2, 4, 5].

Таким образом, несмотря на большое количество исследований в представленной области, на данный момент проблема неразрушающего контроля готовых изделий СЛП остается недостаточно изученной. Будущие исследования должны быть направлены на разработку модели способной установить связь между различием скорости поперечных волн и отклонением амплитуды отраженного сигнала по отношению к направлению выращивания, на основе которых можно будет разработать методику неразрушающего контроля изделий СЛП сложной формы с учетом их уникальных свойств.

Список источников

- [1] Koester L.W., Taheri H., Bigelow T.A., Collins P.C., Bond L.J. Nondestructive testing for metal parts fabricated using powder-based additive manufacturing. *Materials Evaluation*, 2018, vol. 76 (4).
- [2] Дегтярев М.Н. *Разработка методики ультразвукового контроля изделий, изготовленных методом селективного лазерного плавления*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023, 115 с.
- [3] Charmi A. Mechanical anisotropy of additively manufactured stainless steel 316L: An experimental and numerical study. *Mater. Sci. Eng.*, 2021, vol. 799. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140154>

-
- [4] Lane C. The Development of a 2D Ultrasonic Array Inspection for Single Crystal Turbine Blades. URL: https://www.researchgate.net/publication/258569808_The_development_of_a_2D_ultrasonic_array_system_for_the_in_situ_inspection_of_single_crystal_turbine_blades (accessed 11.12.2025).
 - [5] Honarvar F., Varvani-Farahani A. A review of ultrasonic testing applications in additive manufacturing: Defect evaluation, material characterization, and process control. *Ultrasonics*, 2020, vol. 108. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106227>