

## ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ В ОБРАЗЦЕ, ПОЛУЧЕННОМ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2024 г. Алексей Леонидович Владыкин<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> – ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашникова, 426069 Ижевск, Студенческая, 7

\* - vladykin-ndt@mail.ru

Мартенситно-старееющие стали, обладающие высокой прочностью и вязкостью, нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Благодаря своим уникальным свойствам, включая повышенную теплостойкость и низкий порог хладноломкости, эти стали позволяют создавать детали, способные выдерживать экстремальные тепловые и механические нагрузки. Важной особенностью мартенситно-старееющих сталей является их способность к упрочнению за счет термической обработки. Отжиг на твердый раствор, проводимый при высоких температурах, позволяет получить структуру материала с высокой пластичностью и прочностью.

В последние годы большое количество исследований, включая циклические испытания, было посвящено анализу микроструктуры и механических свойств мартенситно-старееющих сталей, полученных методом аддитивных технологий [1]. Отмечено, что твердость металлов, полученных методом прямого лазерного спекания, различается по разным частям готового образца, возможно и различие по структуре. После старения сплава увеличивается его твердость и прочность.

Целью исследования является оценка акустической анизотропии по скоростям продольных и поперечных волн в образце стали 17-4 PH, полученном методом аддитивных технологий.

Исследовался образец из стали 17-4 PH, изготовленный методом селективной лазерной плавки (SLM), после отжига на твердый раствор. Химический состав стали 17-4 PH (AISI): C – 0,07 %, Cr – 17 %, Ni – 4 %, Cu – 4 %. Образец выполнен в виде диска диаметром 75 мм и толщиной 15 мм.

При исследовании использован структуроскоп электромагнитно-акустический СЭМА с применением электромагнитно-акустического преобразователя, формирующего в образце плоско поляризованные поперечные волны, распространяющиеся нормально поверхности ввода. Для излучения продольной волны использован дефектоскоп ДЮ-1000 РА с пьезопреобразователем на основе гибкой пьезопленки ПВДФ. Распространение поперечных волн параллельно направлению оси роста образца, а продольных – перпендикулярно оси роста с вводом по цилиндрической поверхности (рис. 1). Преобразователи поперечных волн поворачивали на плоской поверхности образца, изменяя плоскость поляризации от 0 до 170 градусов. В этом же направлении излучались

продольные волны с боковой поверхности. Регистрируемое время распространения волн пересчитывали с учетом пути в соответствующие скорости. Погрешность определения скорости объемных волн не превышала  $\pm 2$  м/с.

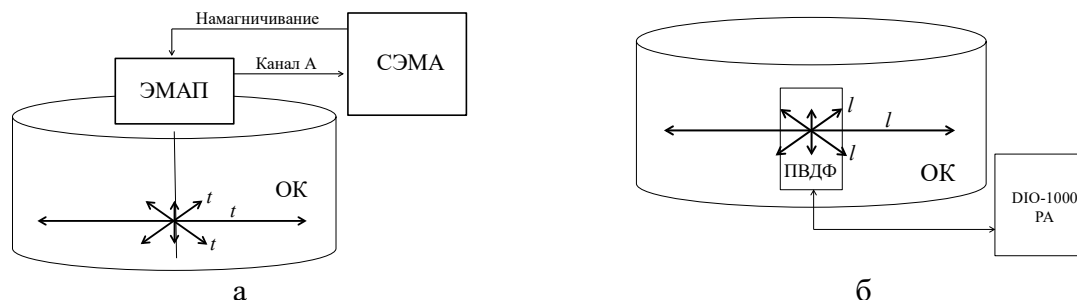


Рис. 1. Направление поляризации поперечной волны (а) и продольной волны (б).

Результаты определения скоростей упругих волн представлены в табл. 1.

Таблица 1

Скорость объемных волн в образце стали 17-4 PH после отжига

Угол поворота	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$C_t$ , м/с	3139	3139	3139	3139	3139	3138	3118	3118	3117
$C_l$ , м/с	5815	5816	5813	5801	5794	5789	5793	5799	5805
Угол поворота	90	100	110	120	130	140	150	160	170
$C_t$ , м/с	3118	3117	3118	3117	3139	3140	3140	3140	3140
$C_l$ , м/с	5810	5811	5803	5793	5792	5814	5797	5825	5819

В результате исследований установлено, что скорость поперечной волны резко изменяется на 20 м/с при 50 градусов относительно первоначального положения плоскости поляризации луча, что указывает на существенную анизотропию образца. Данный переход повторяется через 90 градусов. Скорость продольной волны плавно изменяется на величину около 20 м/с с периодичностью 45 градусов относительно первоначального положения, что также указывает на анизотропию образца.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность оценки анизотропии свойств по скорости упругих волн в образцах дисперсионно-старееющих сталей, изготовленных методом аддитивного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Муравьев В.В., Муравьева О.В., Владыкин А.Л. Акустические и электромагнитные свойства мартенситно-старееющего железохромоникелевого сплава с добавлением меди при механическом растяжении // Дефектоскопия. 2023. № 5. С. 12-20.