

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ДИСПЕРСИОННО ТВЕРДЕЮЩИХ СТАЛЯХ В УСЛОВИЯХ СТАРЕНИЯ

© 2022 г. Александр Александрович Наговицын, О.В. Муравьева,
А. Л. Владыкин, К. Ю. Белослудцев
ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет имени
М.Т. Калашикова, 426069 Ижевск, Студенческая, 7
*pmkk@istu.ru

Дисперсионно-твердеющие сплавы - это материалы, упрочненные дисперсными частицами избыточной фазы, выделяющейся при старении. Стали данного класса сочетают высокую прочность, надежность и трещиностойкость материала с хорошими технологическими параметрами, в первую очередь свариваемостью. В работе исследованы высокопрочные хромоникелевые стали аустенитно-мартенситного класса (03X14H7B и XM-12 ASTM), применяемые для производства валов погружных центробежных насосов нефтедобывающих скважин. Высокие прочностные свойства сталей данного класса достигаются после комплексной термической обработки, состоящей из закалки или нормализации при температурах 925–1050 С, высокого отпуска при 745–775 С и старения при 350–500 С с охлаждением на воздухе (табл.1).

Известно, что структура и механические свойства сталей, определяемые режимами термообработки, напрямую влияют на их акустические свойства и упругие модули. Целью исследования является оценка скоростей акустических волн и упругих модулей в образцах мартенситно-старяющихся сталей в условиях старения.

При исследованиях использован зеркально-теневого метод на многократных отражениях. Метод реализован с помощью электромагнитно-акустического (ЭМА) преобразователя поперечной волны, а также фокусирующего пьезопреобразователя на основе гибкой пьезопленки ПВДФ продольной волны, обеспечивающих распространение волн по диаметральному направлению сечения цилиндрического образца. Погрешность определения скорости упругих волн не превышает ± 2 м/с. При оценке упругих модулей прутков (модуль Юнга E , модуль сдвига G , коэффициент Пуассона ν) используется их функциональная связь со скоростями распространения объемных (продольных и поперечных) волн в объекте при известной плотности ρ . Существенно, что при прозвучивании образца в одном сечении с использованием двух типов объемных (продольной и поперечных) волн появляется возможность определения коэффициента

Пуассона вне зависимости от толщины образца: $\nu = \frac{1 - 2\gamma^2}{2(1 - \gamma^2)}$, где $\gamma^2 = \frac{t_t^2}{t_l^2}$ – отношение

времен поперечной и продольной волн, пропорциональное отношению скоростей их распространения. Результаты определения скоростей упругих волн и модулей упругости представлены в таблице.

Таблица 1. Механические свойства и акустические характеристики исследуемых образцов

#	Марка стали	Режим термообработки	σ_B , МПа	C_t , м/с	C_l , м/с	ν	G , ГПа	E , ГПа
1	XM-12 ASTM	Отжиг на твердый раствор, 1040°C 0,5 ч на воздух	1070	3126	5789	0,294	79,2	205,1
2	XM-12 ASTM	Старение, 470°C, 3 ч	1455	3182	5849	0,289	82	211,6
3	XM-12 ASTM	Старение, 565°C, 3ч	1230	3203	5866	0,287	83,1	214
4	03X14H7B	Отжиг на твердый раствор, 1040°C, 0,5 ч на воздухе	1040	3145	5830	0,295	80,1	207,5
5	03X14H7B	Старение 450°C, 3 ч	1210	3187	5836	0,294	82,3	211,8

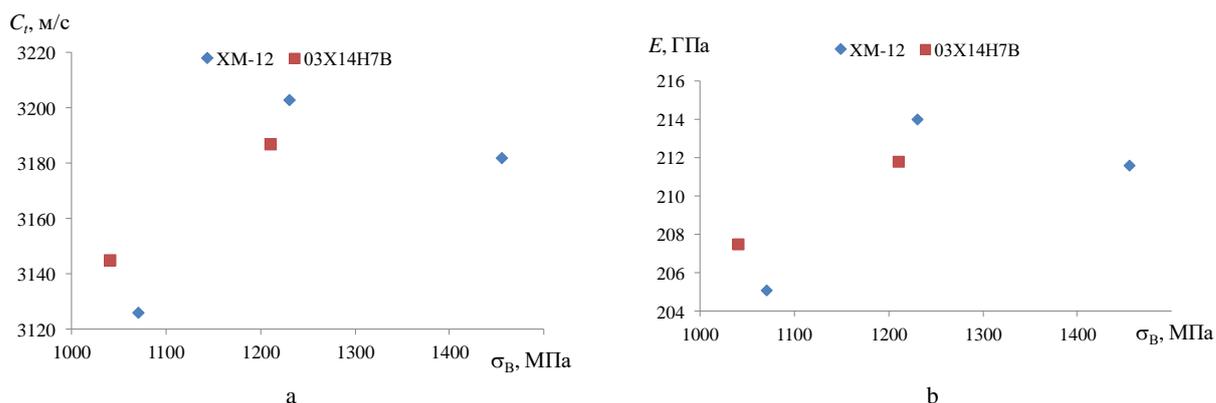


Рис. 1 Зависимости скорости поперечной волны (а) и модуля упругости (б) от предела прочности материала образца

В результате исследований установлено, что скорость объемных продольных и поперечных волн имеет минимальные значения для образцов после отжига на твердый раствор. Операция старения приводит к существенному росту скоростей объемных волн (на 2,4% для стали XM-12 и на 1,3% для стали 03X14H7B в случае поперечных волн). Те же закономерности наблюдаются для упругих модулей Юнга и сдвига, при этом коэффициенты Пуассона имеют противоположную тенденцию.

Влияние механических характеристик (прочности материала образца) на скорость поперечных волн и модуль Юнга показано на рис.1. Для операции отжига характерны минимальные значения механических характеристик и максимальные значения скоростей упругих волн и модулей упругости. Процесс старения образцов ведет к увеличению механических свойств (пределы прочности, текучести, твердость), сопровождающемуся ростом скоростей акустических волн и модулей упругости материала и уменьшением коэффициента Пуассона. Следует отметить, что увеличение температуры старения с 470°C до 565°C для стали XM-12 приводит к росту скоростей объемных волн, модулей Юнга и сдвига. при этом механические свойства несколько ухудшаются.

Проведенные исследования показали возможность оценки влияния операции старения на акустические характеристики материала, а предлагаемая методика может быть использована для структуроскопии дисперсионно-твердеющих сплавов.