

Изобретение относится к области неразрушающего контроля и может быть использовано при измерении остаточных напряжений в слабопроводящих углепластиковых композиционных материалах (КМ).

Более близкий по технической сущности к заявляемому способу измерения остаточных напряжений является способ, по которому эталонный преобразователь возбуждается частотой  $\omega_1$ , а измерительный - частотой  $\omega_2$ , после чего сравниваются абсолютные значения амплитуды эталонного и измерительного преобразователей, делая вывод о величине остаточных напряжений. Недостатком этого способа является влияние на результаты измерения изменений химического состава, структуры, анизотропии свойств и других механических факторов.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа контроля остаточных напряжений путем исключения влияния флуктуации амплитуды на измерения, что повышает точность измерений.

Поставленная задача решается тем, что в способе измерения остаточных напряжений в слабопроводящих композиционных материалах, заключающемся в том, что эталонное и контролируемое изделия зондируют электромагнитным полем определенной частоты с помощью накладного вихретокового преобразователя, измеряют амплитуды сигналов на эталонном и контролируемом изделиях и определяют отношение амплитуд этих сигналов, согласно изобретению, дополнительно измеряют амплитуды сигналов эталонного и контролируемого изделий на другой частоте, определяют отношение амплитуд сигналов на этой частоте и по разности отношений амплитуд сигналов на обеих частотах судят о величине остаточных напряжений.

На чертеже изображено устройство для реализации способа измерения остаточных напряжений. Электромагнитное поле преобразователя 1, питаемого от генератора 2 переменным током частотой  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , зондирует изделие 6 и реакция этого взаимодействия через амплитудный детектор 3 и балансный усилитель постоянного тока 4 регистрируется в виде амплитуды сигнала  $U$  на индикаторе 5.

Первоначально преобразователь 1 устанавливают на изделие - эталон 7 (без остаточных напряжений) и измеряют, амплитуду сигнала  $U_{31}$  и  $U_{32}$  на частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , а затем на этих же частотах измеряют амплитуду сигнала  $U_{1p}$  и  $U_{2p}$  на изделии 6 (с остаточными напряжениями).

Таким образом преобразователь 1, установленный на эталон, при одной установке возбуждается двумя частотами. Имеющиеся при этом одни и те же мешающие факторы (зазор, флуктуации проводимости и т.д.) будут проявлять себя в виде дополнительных приращений амплитуды сигналов на первой и второй частоте практически одинаково.

Поскольку в дальнейшем определяется отношение этих сигналов, то воздействия мешающих факторов взаимно компенсируются.

Аналитически это можно представить следующим образом. Пусть амплитуда эталонного сигнала на первой частоте равна:

$$U_{1э} = U_{1э0} + \Delta U_1, \quad (1)$$

где  $\Delta U_1$  - помеха за счет влияния мешающих воздействий; тогда амплитуда на другой частоте

$$U_{2э} = U_{2э0} + \Delta U_2 \quad (2)$$

причем, помеха  $\Delta U_1 \approx \Delta U_2 \approx \Delta U$  не является каким-то внешним проявлением мешающих воздействий, а функционально связана с основным сигналом  $U_{1э}$ ,  $U_{2э}$ , т.е. самостоятельно она появиться не может, появляется лишь одновременно с основным сигналом. Именно это предположение дает возможность представить помеху как погрешность основного измерения:

$$U_{1э} = U_{1э0} + \Delta U_1 = U_{1э0} + \alpha_1 U_{1э0} \quad (3)$$

где  $\alpha \ll 1$  - коэффициент, показывающий, какую часть основного сигнала составляет помеха.

Аналогично:

$$U_{2э} = U_{2э0} + \Delta U_2 = U_{2э0} + \alpha_2 U_{2э0} \quad (4)$$

тогда отношение:

$$A_1 = \frac{U_{1э}}{U_{2э}} = \frac{U_{1э0} + \alpha_1 U_{1э0}}{U_{2э0} + \alpha_2 U_{2э0}} = \frac{U_{1э0} (1 + \alpha_1)}{U_{2э0} (1 + \alpha_2)} \quad (5)$$

И для рабочего измерения:

$$A_2 = \frac{U_{1p}}{U_{2p}} = \frac{U_{1p0} + \alpha_1 U_{1p0}}{U_{2p0} + \alpha_2 U_{2p0}} = \frac{U_{1p0} (1 + \alpha_1)}{U_{2p0} (1 + \alpha_2)} \quad (6)$$

Если произвести выбор смежных частот при измерениях, обеспечивающих стабилизацию  $\alpha$ , то можно

считать, что  $\alpha_1 \approx \alpha_2$ , и тогда отношение  $A_1 = \frac{U_{1э0}}{U_{2э0}}$  и  $A_2 = \frac{U_{1p0}}{U_{2p0}}$  не зависит от помех.

Величина остаточных напряжений оценивается по значениям  $p = A_2 - A_1$  с использованием тарировочных зависимостей, зависящих от структуры КМ. Для композиционных материалов типа углепластиков именно отношение сигнал-шум при оценке напряженного состояния послужило основой для разработки предлагаемого способа измерения,

При этом способе значительно повышается точность измерения в виду того, что флуктуация амплитуды за счет изменения чистоты поверхности и анизотропия свойств композиционного материала в различных

точках не оказывает влияния на измерения, так как оценка остаточных напряжений производится по относительным величинам.

