

УДК 620.179.16

АМПЛИТУДНО-УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАВ,
ВОЗБУЖДАЕМЫХ В МЕТАЛЛАХ С УПРОЧНЕННЫМ
ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ

М. В. АСАДЧАЯ, *О. С. СЕРГЕЕВА, *С. В. САДОВСКИЙ, Н. Н. ГИЛЬ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
*ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Могилев, Беларусь

В настоящее время в промышленности широко используются изделия с упрочненным поверхностным слоем (УПС), выполненным закалкой ТВЧ, цементацией, лазерным отжигом, химико-термической обработкой и другими технологиями. УПС представляет собой среду с плавно изменяющимися по высоте физико-механическими свойствами, причем, как показывают исследования [1], эти свойства хорошо коррелируют с таким акустическим параметром, как скорость поверхностной волны (ПАВ).

Для контроля параметров УПС по данным скорости ПАВ в качестве источника волн используются наклонные пьезопреобразователи (ПЭП), угол призмы которых β соответствует максимуму коэффициента преобразования энергии продольной волны в ПАВ: $\beta = \arcsin(C_L/C_R)$, где C_L/C_R – скорости продольной волны в призме и ПАВ в объекте соответственно.

Предполагается, что если изменения упругих свойств в поверхностном слое не превышают нескольких процентов, это не влияет на точностные характеристики метода измерений. Однако, полученные экспериментальные данные, а также анализ особенностей формирования акустических полей в объектах с УПС показывают, что изменение безразмерной толщины слоя $h^* = h/\lambda$ в достаточно широком диапазоне сопровождается значимым для достоверности измерений изменением параметров сигнала ПАВ.

Важным фактором, оказывающим воздействие на эффективность излучения ПАВ, является угол призмы β , от которого существенно зависит коэффициент преобразования падающей продольной волны в ПАВ K_{LR} . Расчет K_{LR} для реальных условий прозвучивания объектов с УПС весьма затруднителен. Кроме того, при определенных условиях, на результаты измерений может оказать влияние и сопутствующая мода – подповерхностная поперечная волна (ППВ), генерируемая одновременно с поверхностной волной и имеющая скорость на 8–10 % больше [2].

Для проведения экспериментальных исследований применялись пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) с переменным углом призмы β . Частотный диапазон исследований $f = 1\text{--}5$ МГц. Стальные образцы в форме параллелепипеда размерами 40×40×100 мм были подвергнуты поверхностному

упрочнению закалкой ТВЧ. Глубина УПС h на разных образцах составляет от 0 до 1,5 мм.

На рис.1 представлены зависимости амплитуды ПАВ A_R от β . Как установлено, угол максимума амплитуды волны β_m возрастает с увеличением относительной глубины упрочненного слоя в диапазоне $h' = h/\lambda = 0-0,5$. Т.е. β_m возрастает с увеличением h при $f = \text{const}$, либо с увеличением рабочей частоты, но при постоянной глубине h .

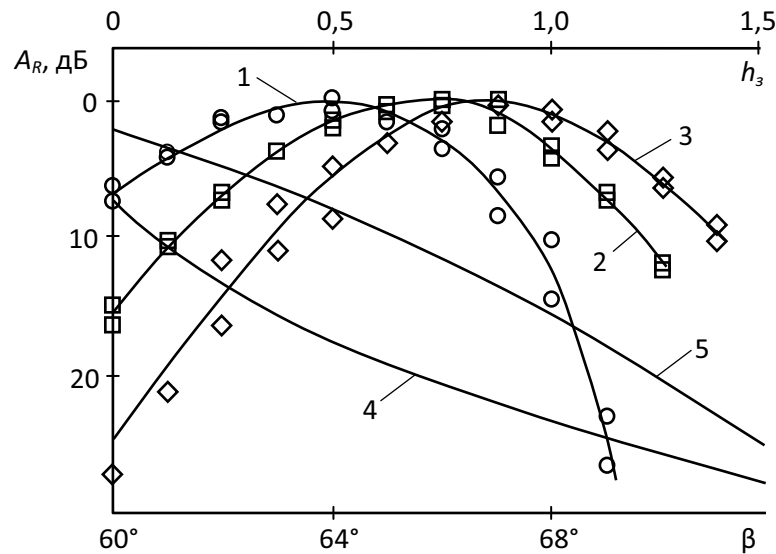


Рис. 1. Зависимость нормализованной амплитуды отраженного сигнала рэлеевской волны на частоте 1,8 МГц от угла призмы β (1–3) и от глубины закаленного слоя h_s (4, 5): h , мм = 0 (1); 0,4 (2); 1,5 (3); $\beta=60^\circ$ (4); 69° (5)

Для характеристики отличия амплитуды ПАВ, возбуждаемой при одном и том же угле падения продольной волны β на поверхности сырого образца и образца с упрочненным слоем, введен параметр $\xi_R = 20 \log(A_R/A_{R0})$, где A_{R0} соответствует нулевой глубине УПС. Как показывают исследования, наибольшее расхождение кривых $A_R(\beta)$ и $A_{R0}(\beta)$ достигается в случае $\beta_{m0} > \beta > \beta_{my}$, где углы β_{m0} и β_{my} соответствуют углам падения волны на сырой образец и образец с упрочненным слоем, для которых амплитуда ПАВ достигает максимума. Это весьма наглядно проявляется на частоте $f=1,8$ МГц и менее выражено для $f=1$ МГц. Так, для углов падения волны $69^\circ \geq \beta \geq 60^\circ$ возрастание глубины УПС от нуля до 1,4–1,5 мм сопровождается монотонным падением ξ_R более чем на 20 дБ (рис. 1), а при $\beta = \beta_{m0} = 64^\circ$ (оптимальном для возбуждения ПАВ в сыром образце) $\xi_R \sim 4-6$ дБ. При возможности точной установки углового положения излучающего и (или) приемного ПЭП ($\sim 0,1^\circ$) и измерения амплитудно-угловых зависимостей $A_R(\beta)$ представляется возможным производить оценку глубины УПС с погрешностью 0,1–0,2 мм.

Данные одновременного измерения амплитуд ПАВ и ППВ, приведенные на рис. 2, получены для случая, когда угол падения продольной волны на объект выбран в диапазоне углов $\arcsin(C_L/C_T) = \beta_1 \leq \beta \leq \beta_2 = \arcsin(C_L/C_R)$, где C_T – скорость поперечной волны в образце. Именно в этом угловом диапазоне β наиболее значительно изменяется отношение амплитуд указанных мод.

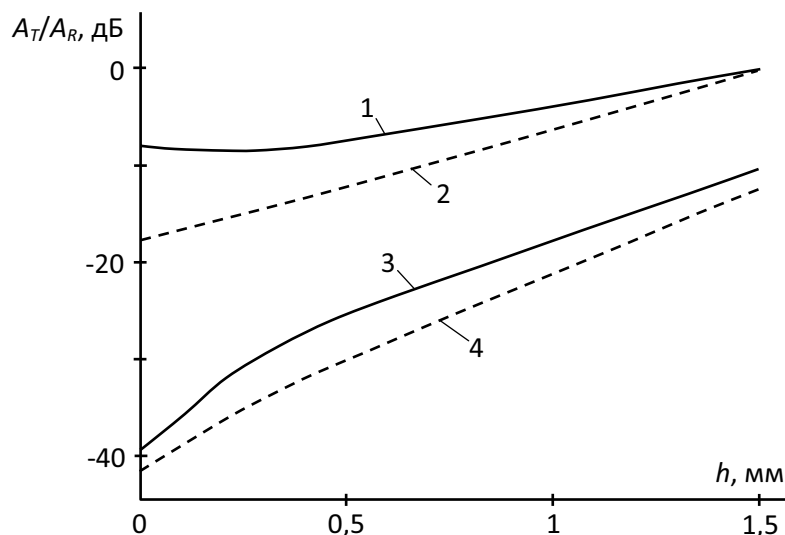


Рис. 2. Зависимость отношения амплитуд ППВ и ПАВ от глубины УПС: частота f , МГц = 5 (1, 2); 1,8 (3, 4)

Экспериментально установлено, что ход зависимости отношения амплитуд $\xi = A_R/A_T$ от β существенно зависит от глубины УПС, что свидетельствует о перераспределении вклада энергии падающей продольной волны в поверхностную и объемную моды. Знание хода функции $\xi(\beta)$ на разных рабочих частотах и образцах с УПС позволяет существенно повысить соотношение сигнал-шум и обеспечить высокую точность измерения скорости ПАВ. С другой стороны, поскольку ход $\xi(\beta)$ существенно зависит от глубины УПС, то представляет интерес использовать такие зависимости для решения обратной задачи – определения глубины УПС. Но для этого необходимо учесть влияние шероховатости поверхности объекта на ослабление ПАВ и обеспечить высокую стабильность акустического контакта в измерительной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баев, А. Р.** Ультразвуковой метод анализа поверхностного упрочнения металлических изделий / А. Р. Баев, А. Л. Майоров, М. А. Тищенко // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 4. – С. 167–271.
2. **Баев, А. Р.** Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах. Волны в объектах с плоской свободной границей / А. Р. Баев, М. В. Асадчая // *Дефектоскопия*. – 2005. – № 9. – Ч. 1. – С. 19–31.