

Рисунок 3 – Влияние АН на ослабление ВГ в плексигласе: АН – нет (1); АН - плексиглас (2); АН - сталь толщиной 0,5-30 мм (3); ВГ в объеме образца (4)

практически не сказывается на амплитудных и угловых параметрах поля излучения ПЭП. При этом наблюдается существенное перераспределение потока акустической энергии в окрестности границы сред. В пользу жидкостной модели служит и тот факт, что расчетное значение величины $\Delta C = C - C_0$, полученное при воздействии АН, является отрицательным, и оно всего на 20% отличается от полученного в эксперименте. Установлено, что варьирование толщины жидкой звукопроводной прослойки между объектом и телом АН может также приводить к достаточно

УДК 620.179.1+534.1

ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ АМПЛИТУДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ И ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ

Баев А.Р.¹, Сергеева О.С.², Майоров А.Л.¹, Парадинец В.В.¹

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

²ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь

Большинство используемых на практике ответственных изделий машиностроительной, станкостроительной, авиационной промышленности, на транспорте и др. подвергаются поверхностному упрочнению путем термической, химико-термической и механической обработки, что обеспечивает их высокую прочность и долговечность. При этом глубина h упрочненного поверхностного слоя (УПС) может изменяться в диапазоне от десятков мкм до нескольких десятков мм, что, как правило, контролируется разрушающим методом и не дает достаточных гарантий качеству выпускаемой продукции. Известные же методы неразрушающего контроля (электромагнитные, токовихревые и др.), а также основанные на отражении ультразвуковых волн от границы УПС, не нашли широкого применения, что вызвано отсутствием

значимых изменений поля ВГ. Однако в этом случае механизм пространственного перераспределения поля излучения ПЭП совершенно другой и обусловлен проявлением эффекта волнового резонанса в жидкой прослойке.

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. – М.: Машиностроение, 2003. – 864 с.
2. Ермолов И. Н., Разыграев Н.П., Щербинский В. Г. Исследование ослабления ультразвуковых головных волн с расстоянием. - Дефектоскопия, 1979, №1, с.37-40.
3. Баев А. Р., Асадчая М. В. Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах. Часть 2. Влияние некоторых граничных условий на формирование акустического поля - Дефектоскопия, №9, 2005, стр. 32-43.
4. Белубекян М.В. Об условии существования волн Стоунли при скользящем контакте. - Изв. АН Арм.ССР. Механика, 1990, т.43, №4, с.52-56.
5. Аббакумов К.Е., Коновалов Р.С. Распространение акустических волн Стоунли в области границы твердых полупространств при нарушенном акустическом контакте.- Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003, №1, С. 10–16.
6. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. - М.: Наука, 1981. - 289 с.

надежной корреляции между информативным сигналом и глубиной УПС.

В ГНУ «ИПФ НАН Беларуси» разрабатываются на современной базе новые высокоэффективные средства ультразвукового контроля УПС и внедряются как для контроля стальных, так и чугунных изделий, имеющих плоскую, цилиндрическую, винтовую, зубчатую форму упрочняемой поверхности. При этом в качестве базового информативного параметра используется скорость C_R поверхностной волны (ПАВ) и поперечной подповерхностной волны (ППВ), хорошо коррелирующих с твердостью металла B . При этом обеспечивается точность измерения h в пределах 7-15 %. Проведение настоящих исследований направлено как на выявление возможностей повышения надежности и достоверности измерений, так и на упрощение используемой (прецизионной и дорогостоящей)

аппаратуры. С этой целью были изучены закономерности изменения амплитудных параметров поверхностной и поперечной подповерхностной волны [1] в зависимости от угла падения волны на объект β , акустической базы l между излучающим и принимающим волны пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП), рабочей частоты f в диапазоне 1-10 МГц.

В качестве источника и приемника УЗК использована преимущественно стандартная ультразвуковая аппаратура, измеритель временных интервалов ИИ-8 и др. Преобразователи выполнены как с твердотельной, так и жидкой (водяной) призмой.

В качестве объекта исследований использованы плоские образцы из стали Ст45 и упрочненные цементацией с последующей термической обработкой. Диапазон исследованных толщин УПС $h=0-1,5$ мм, чему соответствует диапазон безразмерных значений $h^*=h/\lambda_{\text{ПАВ}} \approx 0-5$, где $\lambda_{\text{ПАВ}}$ - длина ПАВ. Прозвучивание образцов производится как теневым, так и эхо-методом. Некоторые данные исследований представлены на рис. 1-3.

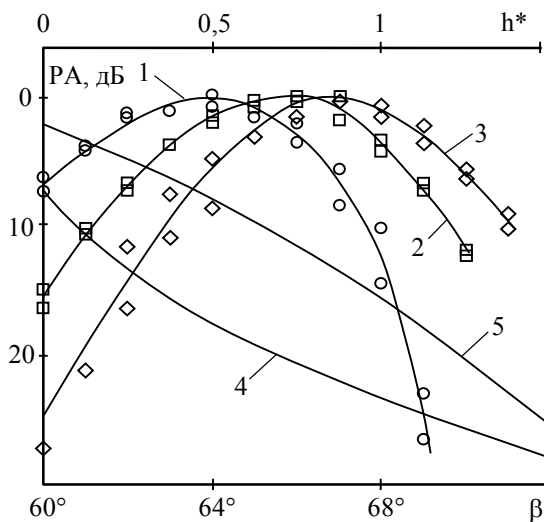


Рисунок 1 – Безразмерная амплитуда ПАВ от угла призмы β (1-3) и глубины УПС h^* (4, 5) в режиме отражения: $h^*=0$ (1); 0,25 (2); 0,9 (3); $\beta=60^\circ$ (4); 69° (5); $f=1,8$ МГц

В указанном частотном диапазоне на образцах с различной глубиной упрочненного закалкой ТВЧ слоя получены зависимости амплитуды ПАВ (A_R) и ППВ (A_T) от угла падения волны на образец β , варьируемый в диапазоне, включающем второй критический угол $\beta_2 = \arcsin(C_1/C_T)$ и оптимальный угол возбуждения ПАВ $\beta_R = \arcsin(C_1/C_R)$, где C_1 – скорость УЗК в призме ПЭП. Как установлено, зависимости $A_R(\beta)$ имеют вид, подобный параболе (рис.1), угол максимума которой монотонно возрастает с увеличением глубины

УПС. Подобные зависимости имеют место и для амплитудно-угловой зависимости ППВ $A_T(\beta)$ в окрестности второго критического угла β_2 . Как показывает анализ акустического тракта измерительной системы, отклонение угла призмы ПЭП от оптимального всего на 1-2° может вызвать изменение амплитуды сигнала на 5-10 дБ и более.

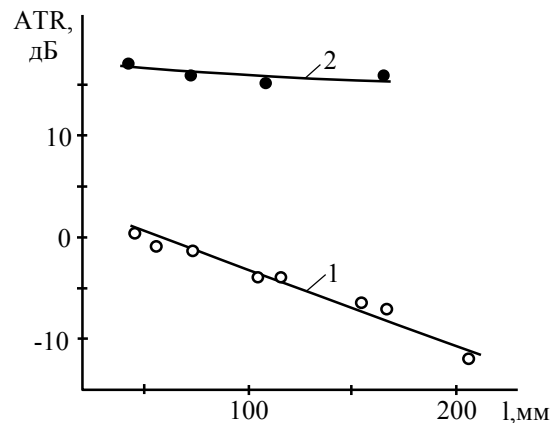


Рисунок 2 – Амплитудная зависимость $ATR=AT/AR$ от расстояния в режиме отражения: $h^*=0$ (1); 2,5 (2); $f=5$ МГц, $\beta=58^\circ$

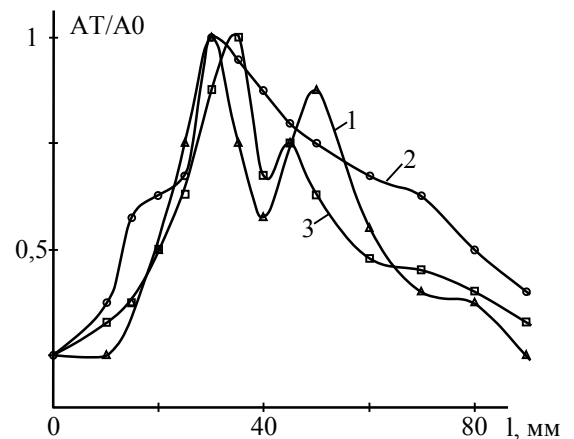


Рисунок 3. Амплитуда поперечной волны от расстояния до отражающей грани образца с УПС глубиной $h^* \approx 5$: $\beta=23^\circ$ (1); $25,5^\circ$ (2); 26° (3); призма ПЭП водяная

При этом, как можно показать, наблюдается различие в скорости следа падающего акустического пучка на объект и бегущей (в результате возбуждения) ПАВ вдоль границы объект-призма преобразователя:

$$\frac{\Delta \tilde{N}}{\tilde{N}_R} = -\Delta \beta \operatorname{tg} \beta_R,$$

где $\Delta \beta = \beta - \beta_R$. Т.е., при $\Delta \beta > 0$ след падающего акустического пучка будет отставать, а при $\Delta \beta < 0$ – опережать движение ПАВ. В результате этого

не только снижается чувствительность метода, но наблюдается изменение спектра возбуждаемой моды, что, естественно, скажется на достоверности измерения глубины УПС по данным скорости распространения ПАВ. Поэтому для повышения точности измерения C_R на разных частотах в объектах с УПС рекомендуется производить угловую подстройку амплитуды волны механическим или электронным (фазированная решетка) путем.

Важно отметить, что зависимости $A_R(\beta)$ и $A_T(\beta)$, полученные на разных частотах, несут информацию о качестве упрочнения УПС и могут быть использованы в качестве дополнительного информационного материала для определения глубины УПС. Если твердость на поверхности объекта с УПС известна, шероховатость поверхности $Rz \ll \lambda_{ПАВ}$, а точность установки β не хуже $0,1-0,2^\circ$, то представляется возможным производить предварительную оценку глубины УПС по данным амплитудных зависимостей $A_R(\beta)$, снимаемых как в режиме прохождения, так и в режиме отражения.

При падении продольной волны на образец под углом, близким ко второму критическому, существенно возрастает энергия ППВ и, соответственно, падает энергия возбуждаемой ПАВ. Наличие упрочненного поверхностного слоя, являющегося акустически неоднородным, вызывает рефракцию подповерхностной поперечной волны, что сопровождается изменением структуры поля излучения. Согласно полученным данным, для угла падения волны $\beta \approx \beta_2$ и значений характерной глубины слоя $h_\lambda < h_\lambda^*$ логарифмические зависимости $A_T^* = A_T/A_{TO}$ и

УДК 621.7.015:539.431

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ИХ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ

Барандич Е.С., Выслоух С.П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

Из теории резания металлов известно, что механическая обработка вызывает пластическую деформацию, нагрев и структурные преобразования в поверхностном слое материала обрабатываемой детали и сопровождается возникновением неравномерных по глубине и значению остаточных деформаций и напряжений. В зависимости от того, какое явление является доминирующим (пластическая деформация, нагрев или структурные преобразования), поверхностный слой может отличаться значениями глубины и степени упрочнения, величиной и знаком остаточных напряжений. Эти параметры, а также параметры шероховатости поверхности, в основ-

$A_{TR} = A_T/A_R$ от длины акустической базы l имеют квазилинейный вид. Причем (что весьма важно) их угол наклона ϕ к оси l уменьшается с ростом безразмерной глубины УПС (рис.2). Ослабление же подповерхностной волны с расстоянием по мере увеличения глубины УПС уменьшается. Т.е., вследствие эффекта рефракции значительная часть энергии ППВ концентрируется в окрестности создаваемого подповерхностного звукового канала. Т.о., установленное наличие однозначной связи между ϕ и h_λ для указанных амплитудных зависимостей, позволяет использовать еще один достаточно простой способ оценки глубины УПС.

Исследования (рис.3), проведенные в режиме отражения на частоте 10 МГц с использованием локальной иммерсионной ванны, показали, что при достаточно больших значениях $h > h^{**}$ зависимости $A_T(l)$ имеет ряд экстремумов, что было ранее обнаружено сотрудниками ЦНИИТМАШ (Москва). С одной стороны, это может быть использовано для оценки глубины УПС, коррелирующей с координатами положения экстремумов. С другой стороны, в этом случае эффекты рефракции существенно затрудняют измерительную процедуру оценки глубины упрочненного слоя h по данным угла наклона кривых $A_{T,R}(l)$.

1. Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В., Сергеева О.С., Коновалов Г.Е. Особенности возбуждения ПАВ в металлах с поверхностным упрочненным слоем. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2012, №3, с.3-14.

ном характеризуют качество поверхностного слоя и оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей.

В настоящее время известно большое количество научных исследований, которые подтверждают факт влияния параметров качества поверхностного слоя деталей приборов на их эксплуатационные свойства. Усталостная прочность деталей существенно зависит от шероховатости их поверхностей [1, 2]. Наличие на поверхности деталей, работающих в условиях циклических и знакопеременных нагрузок, отдельных дефектов и неровностей способствует концентрации напряжений, которые могут превысить предел