

УДК 620.179.1+534.1

**ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТРУКТУРОСКОПИИ ЧУГУНОВ****Баев А.Р.<sup>1</sup>, Майоров А.Л.<sup>1</sup>, Бабук Е.П.<sup>2</sup>, Асадчая М.В.<sup>1</sup>, Жаворонков К.Г.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси» Минск, Республика Беларусь<sup>2</sup>ОАО «Минский автомобильный завод»-управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» Минск, Республика Беларусь

Повышение надежности и достоверности структуроскопии чугунов требует дальнейшего совершенствования различных методов неразрушающего контроля, где лидирующее положение занимают акустические методы контроля, основанные именно на объемном зондировании объекта упругой модой. В настоящее время наиболее информативным параметром, коррелирующим с их физико-механическими свойствами является скорость объемной волны – продольной ( $C_L$ ) и (в меньшей степени) поперечной ( $C_T$ ). Повышение точности измерений и расширение номенклатуры контролируемых чугунных изделий разных марок и геометрии требует совершенствования методик акустических измерений и повышение их точности.

С этой целью в настоящей работе проведен анализ предложенных схем возбуждения-приема упругих волн и акустических устройств для контроля физико-механических характеристик чугунов марки СЧ 20, даны рекомендации, а также представлены некоторые данные о взаимосвязи скорости упругих мод с твердостью  $B_r$  и временным сопротивлением разрыва образцов  $\sigma_r$  преимущественно марки СЧ 20. На рисунке 1 приведена одна из простых, но эффективных схем прозвучивания с помощью прибора типа ИЧ (разработка ИПФ НАН Б) для отбраковки высокопрочного чугуна от серого теневым способом нашедшая применение на предприятиях как в РБ, так и за рубежом. При этом величину скорости продольной волны определяют по формуле:  $= L(t_0 - \Delta t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)^{-1}$ , где  $\Delta t$  – поправку на временную задержку, создаваемую акустическим контактом ( $\Delta t_1$ ), дифракцию ( $\Delta t_1$ ), а также волноводным эффектом ( $\Delta t_2$ ) – в результате суперпозиции информативного акустического сигнала и отраженного от боковых стенок детали. Измерения проводят, используя статистические данные обработке известных результатов и введением программной обработки измерений.

Как легко показать, наиболее высокая погрешность измерений  $C_L$  может быть при контроле объектов с малой толщиной и отрицательным радиусом кривизны контактной поверхности  $R$ , а с другой стороны – достаточно длинными, но ограниченными в поперечном сечении размерами. Т.е., при определении оптимальных условий измерений необходим анализ направленности поля излучения  $\Phi_{II}(\alpha, \theta)$  и поля

приема  $\Phi_{II}(\alpha', \theta')$ , т.к. функция прохождения акустического импульса

$$N \sim K_{II} K_{II} \Phi_{II}(\alpha, \theta) \Phi_{II}(\alpha', \theta'), \quad (1)$$

где  $K_{II}$  и  $K_{II}$  – коэффициенты передачи упругих волн от преобразователя к объекту и обратно, соответственно. При этом все из указанных множителей зависят не только от длины звукопровода, но и от кривизны контактных поверхностей объекта. В частности, если радиус контактной поверхности объекта  $R < 0$ , поперечный размер рабочей излучающей или приемной поверхности преобразователя  $d$ , а минимальная толщина детали  $h$ , то дополнительная относительная погрешность измерений из за отсутствие учета кривизны объекта  $\delta^* \sim 0,5 C_L d^2 (C_L^*)^{-1}$ , где  $C_f$  – скорость волны в контактной жидкой среде.



Рисунок 1 – Пояснение к схеме отбраковки высокопрочного чугуна от серого теневым методом

Для расширения технических возможностей и повышения точности измерений нами предложено использовать разноапертурные пьезопреобразователи (рис 2), позволяющие управлять ближней и дальней зоной прозвучивания. производительность и точность измерений

При этом если пренебречь особенностями прохождения УЗК в звукопроводе такого преобразователя, то его ближняя зона  $\sim d^2/\lambda$ , а угловое расхождение акустического луча в материале объекта  $\omega \sim \arcsin(\lambda/d_i)$ , где  $\lambda$  – длина волны в чугуне. В данном случае обе поверхности звукопроводов (или временных задержек), лежащие оппозитно поверхности пьезопластины расположены на одинаковом расстоянии. Т.е. с помощью одной пары преобразователей представляется возможным реализовать три-четыре схемы прозвучивания, обеспечив не только существенное расширение

ние номенклатуры контролируемых изделий, но повысить надежность и точность измерений.

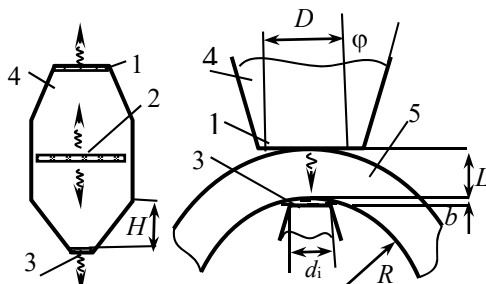


Рисунок 2 – Двухапертурные ПЭП для структуроскопии чугунов: 1 и 3 – рабочие поверхности звукопровода, 3 – звукопровод, 4 – пьезопластина, 5 – объект контроля

Отметим, что для уменьшения шумового фона в звукопроводах преобразователя угол наклона  $\varphi$  образующей конусной поверхности к акустической оси выбирают из условия  $\text{arctg}[(R_0 - d/2)/h_0] \geq \varphi \geq \pi/4$ , где  $R_0$  – радиус цилиндрической части звукопровода,  $h_0$  – высота усеченного конуса звукопровода.

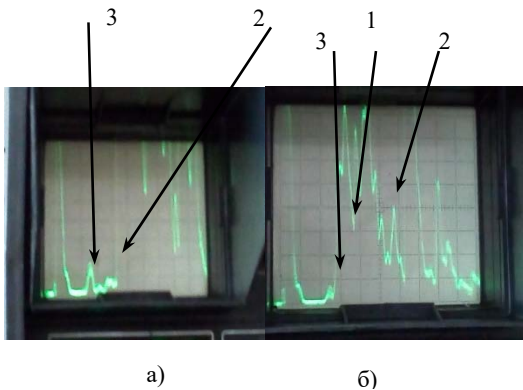


Рисунок 3. – Характерные осциллограммы ПЭП, работающего в раздельно-совмещенном режиме на образцах из стали (а) и серого чугуна (б): 1 – сигнал шумового фона (1) и донного отражения (2), 3 – сигнал акустического пролаза;  $f=5$  МГц

В случае, когда возможно только одностороннее прозвучивание объекта, то для измерения  $C_L$  были разработаны устройства, основанные на прозвучивании объекта подповерхностной продольной волной с использованием двух призматических и двух малоапертурных преобразователей. Последние используются только для приема волн, излучаемых с противоположных сторон призматическими преобразователями. При этом представляется в 2-3 раза повысить точность измерения скорости волны. Учитывая результаты нашей работы, выполненной по проекту БРФФИ Т13-159, где были обнаружено влияние структуры стальных образцов материала на амплитуду поверхностной волны, принимаемых движущимся ЭМА-преобразователем (~7-8 дБ и

более), а также результаты работы [2], была рассмотрена возможность диагностирования структуры чугунов с помощью предложенного в последней работе раздельно-совмещенного режима прозвучивания поверхности. При этом в качестве мощных рассеивателей поверхностной волны служили именно включения пластинчатого графита. Осциллограммы сигнала, при работе такого ПЭП (рисунок 3) указывают на принципиальную возможность качественной оценки структуры чугунов достаточно простым методом. При апробации такой методики на образцах чугунов марки СЧ20 на рабочей частоте 5 МГц было обнаружена тенденция уменьшения шумового фона, создаваемого рассеянием поверхностной волны с ростом прочности и твердости образцов. Предполагается, что использование метода структурных шумов позволит повысить надежность структуроскопии чугунов, а в некоторых случаях упростить ее.

Интересные результаты по изучению влияния твердости и временного сопротивления на скорость продольной волны в таких же образцах чугуна с пластинчатой структурой приведены на рисунке 4. Эти данные свидетельствуют о возможности использования акустического метода для отбраковки достаточно широко используемого чугуна марки СЧ20.

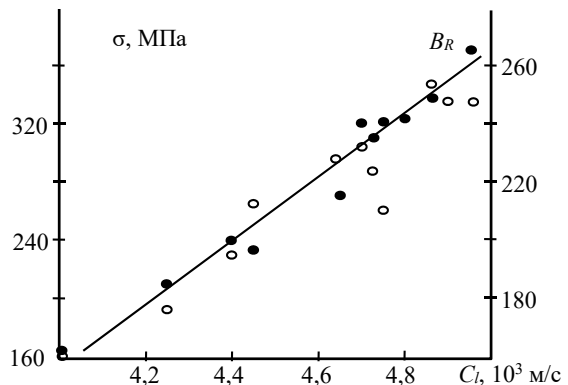


Рисунок 4 – Зависимость твердости (●) и временного сопротивления (○) от скорости продольной волны в чугуне СЧ20

### Литература

1. Баев А.Р., Асадчая М.В. Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах. Часть 1. Волны в объектах с плоской свободной границей. – Дефектоскопия. – 2005. – №9. – С.19-31.
2. Муравьев В.В., Муравьева О.В., Дедов А.И., Байтеряков А.В. Контроль структурного состояния сталей с помощью акустических шумов. – Приборы и методы измерений. – 2014 – №3. – С. 35-45.