

# **КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ ЧУГУНА**

## **УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ТОЛЩИНОМЕРОМ UT-4DL**

**ЛУКИН Виктор Анатольевич** – технический директор ООО «УЛЬТРАТЕХ», Москва

### **Введение**

Согласно данным издания Modern Casting (№ 12, 2015) из года в год наблюдается устойчивый рост мирового выпуска отливок. Так, в 2014 году было выпущено более 103,6 млн. т, причем, доля отливок из серого чугуна (СЧ) составляла 47,46 млн. т, из высокопрочного чугуна (ВЧ) – 25,03 млн. т, стали - 11,05 млн. т. Надо отметить, что объем отливок из СЧ более чем в 4 раза, а ВЧ почти в 2,5 раза превосходит объем стального литья, что в совокупности составляет 75% всего объема выпуска отливок. В технологически развитых странах наблюдается четко выраженная тенденция сокращения выпуска отливок из стали при ежегодно увеличивающемся на 2-3% выпуске отливок из чугуна.

В связи с увеличением объемов производства и применения чугуна в промышленности, появления новых перспективных видов, например, чугунов с вермикулярной формой графита (ЧВГ), занимающих промежуточное положение по прочности между СЧ и ВЧ, в настоящее время задача развития и совершенствования методов контроля изделий из различных видов чугуна является высокоприоритетной и перспективной.

### **Постановка задачи**

В качестве методов контроля могут быть использованы стандартные лабораторные методы контроля структуры образцов из чугуна посредством металлографических исследований, косвенные методы проверки на прочность образцов механическим разрушением и их разновидности. Указанные методы требуют изготовления специальных образцов из отливок или объектов контроля (ОК), изготовленных из чугуна [1].

К методам неразрушающего контроля (НК) относятся активные ультразвуковые (УЗ) методы, дающие самые быстрые и точные результаты без разрушения объекта контроля (ОК) или отливки из чугуна, через оценку скорости распространения или затухания продольных ультразвуковых колебаний (УЗК) в материале [5, с.599; 3, с.434].

Применяемые активные УЗ методы делятся на две группы, использующие сквозное прохождение УЗК (амплитудный теневой метод) и отражение УЗК (эхо-импульсный метод) [3, с.94]. Из-за использования технических средств УЗ НК старых модификаций или с ограниченными техническими характеристиками донный сигнал на изделиях, изготовленных из чугуна, при использовании эхо-импульсного метода получить не удается, поэтому УЗ контроль проводится этими средствами теневым методом, что требует наличия двух специально подготовленных поверхностей ввода и донной, параллельных друг другу для сквозного прозвучивания двумя идентичными преобразователями. Теневой метод имеет свои преимущества в лабораторных условиях, но перспектив практического применения на производстве по сравнению с эхо-импульсным у него нет.

Таким образом, главной задачей испытаний является практическое подтверждение возможности использования ультразвукового толщиномера UT-4DL:

- при УЗ НК изделий и ОК из различных видов чугуна эхо-импульсным методом при одностороннем доступе к стенке ОК (подбор типов РС ПЭП, настроек прибора при измерениях);

- при определении физико-механических свойств чугуна в отливках для их идентификации из-за нестандартной формы графита и разбраковки посредством измерения скорости продольных УЗК в них;

- при измерении толщины изделий и ОК из различных видов чугуна (определение диапазона измеряемых толщин и погрешности измерений).

### Теория

Виды литейного чугуна: СЧ, ЧВГ, ВЧ имеют большие различия по химическому составу, условиям литья, что обуславливает значительные различия структуры отливок. Особый вид чугуна – отбеленный чугун, где углерод входит в химическое соединение с железом (цементит), в данном исследовании не рассматривается. Химический состав и структура чугуна определяет его физико-механические свойства: прочность (предел прочности при растяжении  $\sigma_B$ ), твердость (обычно НВ), модуль упругости  $E$  [3 с.435]. По прочности наименее прочным является СЧ, наиболее прочным соответственно ВЧ, промежуточное положение занимает ЧВГ. В СЧ, ЧВГ, ВЧ углерод содержится в виде графита различной формы.

На рисунке 1 представлены структуры различных видов чугуна, формы графитных включений [2, с.207]. В СЧ видны включения графита пластинчатой формы, в ВЧ шаровидной, в ЧВГ вермикулярной. Форма графита, содержащегося в чугуне, и структура металлической основы оказывает непосредственное влияние на физико-механические свойства отливок. С другой стороны, форма графита в чугуне, крупность графитовых включений (от 1 до 8 баллов) и их количество определяют скорость продольных УЗК, т. е. зная скорость, можно получить информацию о форме графитных включений.

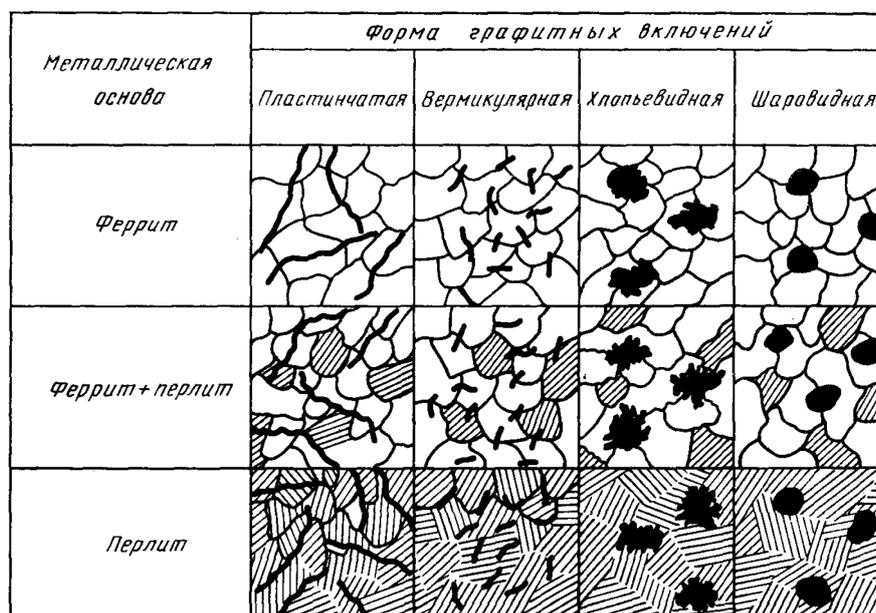


Рисунок 1 Форма графитных включений в отливках чугуна

Исследованиями установлено, что в чугуне с выпавшим графитом скорость УЗК увеличивается и приближается к соответствующему показателю скорости УЗК в стали при [3, с.434; 5 с. 599]:

- уменьшении размеров графитовых включений;
- трансформации формы графитовых включений от пластинчатой через вермикулярную и хлопьевидную к шаровидной;

- уменьшении в процентном отношении количества включений пластинчатых графитовых выделений в отливке с шаровидным графитом;
- уменьшении в процентном отношении к железу содержания графита (уменьшение степени эвтектичности);
- увеличении в процентном отношении к ферриту содержания перлита (или цементита) в металлической матрице.

Большим количеством исследований установлено существование устойчивых корреляционных взаимосвязей между акустическими свойствами, в частности скоростью продольных УЗК в отливке чугуна, и формой, крупностью, количеством графитовых включений в ней, а соответственно, и с физико-механическими свойствами материала отливки [3, с.435; 5, с.599].

Иными словами, по результатам измерения скорости продольных УЗК можно контролировать не только структурные характеристики отливки, например, по величине скорости сделать вывод о процентном содержании шаровидного графита в контролируемой отливке, или, например, в двух отливках, идентичных по процентному содержанию графита (одинаковая степень эвтектичности), по различию в скорости продольных УЗК определить какая отливка содержит графит пластинчатой формы, а какая шаровидной. Но, что важнее, это возможность по результатам измерения скорости продольных УЗК контролировать физико-механические свойства материала отливки, оценивать такие важные характеристики, как: Б<sub>В</sub>, НВ, Е [3, с.435; 5, с.600-603].

Важно также отметить, что значение скорости УЗК зависит, во-первых, от композиции сплава чугуна, его однородности, процентного соотношения форм графита и других технологических переменных, во-вторых, зернистости чугуна, в-третьих, толщины стенки ОК.

Неоднородность (присутствие различных форм) и неравномерность распределения графитовых включений по объему приводит к значительной флуктуации скорости распространения продольных УЗК по различным акустическим трактам или направлениям прозвучивания ОК.

Зернистость чугуна, представляющего конгломерат крупных зерен феррита, перлита и графита (рисунок 1) совершенно различных по своим упругим свойствам, объясняет его ярко выраженную упругую анизотропию [5, с.129] и также приводит к погрешности измерения скорости УЗК из-за трансформации типов УЗ волн в зернах, «заваливания» фронтов и изменения формы измерительных эхоимпульсов, повышенного уровня структурных помех [5, с.544], значительного затухания и рассеяния.

Скорость продольных УЗК в отливках из СЧ линейно зависит от толщины стенки изделия. В дополнение на этой зависимости сказывается еще степень эвтектичности. Этот факт затрудняет представляющие интерес измерения толщины стенки в механически недоступных местах, например, корпусах ДВС [5, с.602].

На основании проведенного анализа, в качестве дополнительной задачи для проводимых исследований выбрана задача разработки рекомендаций, позволяющих на практике избежать значительного влияния указанных факторов на точность измерения скорости УЗК.

### **Проведение исследований**

Для проведения исследований была выбран чугун СЧ15 ГОСТ 1412-85 в связи с тем, что отливки из СЧ обладают предельными значениями характеристик для чугунов, затрудняющими проведение УЗ контроля особенно эхо-импульсным методом. Получение положительных результатов исследований на образцах из СЧ позволит однозначно утверждать о возможности выполнения УЗ контроля эхо-импульсным методом на других видах чугуна, у которых характеристики приближаются к показателям стали.

1 Физико-механические характеристики отливки из чугуна СЧ15 ГОСТ 1412-85 представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические характеристики отливки из чугуна СЧ15 ГОСТ 1412-85

Марка чугуна	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Твердость НВ (стенка 30 мм)	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Модуль упругости $E \times 10^{-2}$ , МПа	К-т линейного расширения $\alpha$ , 1/°C
СЧ15	150	200	7,0x10 <sup>3</sup>	700-1100	9,0x10 <sup>-6</sup>

2 Химический состав отливки из чугуна СЧ15 ГОСТ 1412-85 представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав отливки из чугуна СЧ15 ГОСТ 1412-85

Марка чугуна	Основные компоненты в %			Примеси в %, не более	
	C	Si	Mn	P	S
СЧ15	3,15	1,8	0,8	0,3	0,026

Степень эвтектичности чугуна отливки (насыщение чугуна углеродом) определяется по формуле из [5, с.600] с использованием данные из таблицы 2:

$$S_C = [C] / (4,23 + 0,312 \cdot [Si] + 0,275 \cdot [P]) = 3,15 / (4,23 + 0,312 \cdot 1,8 + 0,275 \cdot 0,3) = 0,65.$$

3 Исследование образца из отливки при помощи разрушающих и металлографических методов контроля.

3.1 Определена структура, размер зерна образца из отливки толщиной 5 мм. Изображение образца с зернистой структурой на сломе приведены на рисунке 2. Микроструктура чугуна отливки с пластинчатым графитом показана на рисунке 3.



Рисунок 2 Изображение образца с зернистой структурой на сломе (размер зерна 6-7 по шкале ASTM)



Рисунок 3 Микроструктура чугуна отливки с пластинчатым графитом (увеличение x135)

4 Объект исследования, использовавшийся при выполнении исследований.

4.1 Из одной отливки чугуна СЧ15 ГОСТ 1412-85 (длина отливки 450 мм) изготовлен комплект стандартных ультразвуковых образцов (СОУЗ) в количестве 7 штук для использования в качестве объекта исследования. Все образцы цилиндрической формы. Диаметр каждого образца 36 мм, высота от 10 до 150 мм. Шероховатость поверхностей ввода и донной  $R_z$ , не более 6,3 мкм. Внешний вид образцов приведен на рисунке 4.

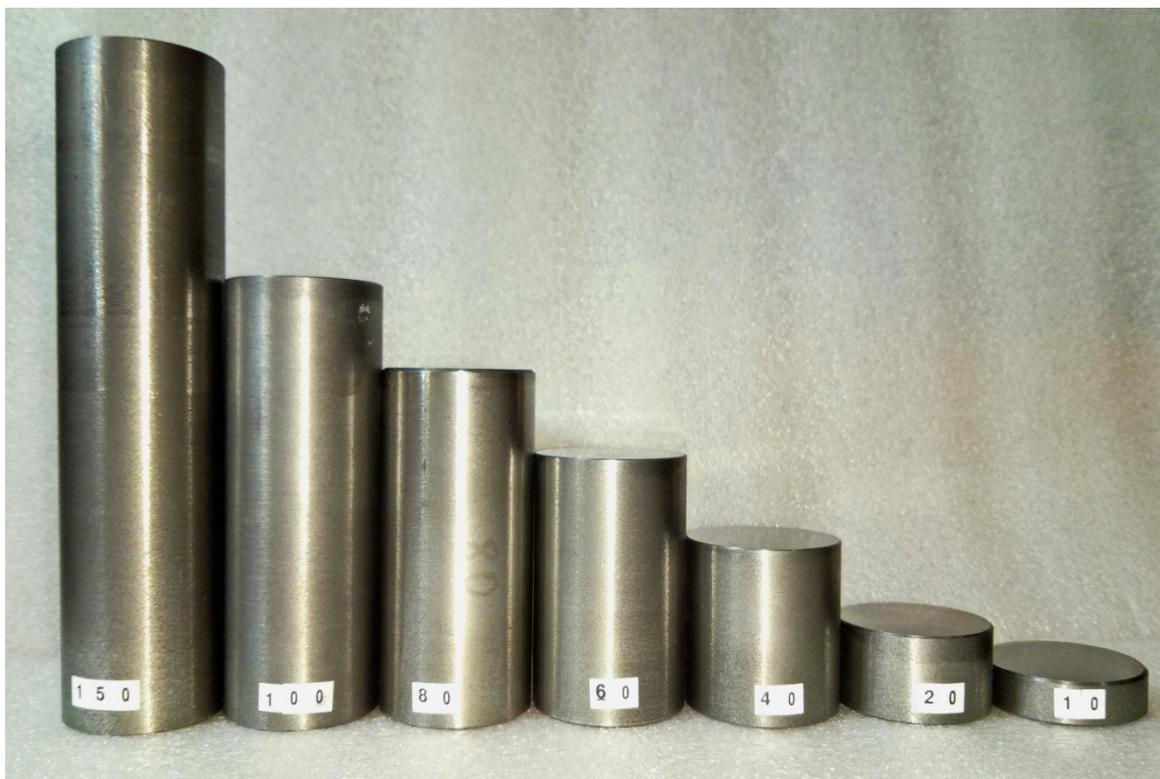


Рисунок 4 Внешний вид образцов комплекта СОУЗ, используемых для исследований

4.2 Перечень образцов комплекта СОУЗ и их параметры представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Перечень образцов комплекта СОУЗ и их параметры

Наименование образца комплекта СОУЗ	Номинальное значение толщины образца, Н <sub>х</sub> , мм	Геометрический размер в направлении прозвучивания, Н <sub>г</sub> , мм	Материал образца
№ 02-18 СЧ15 Н10	10,0	10,00	СЧ15 ГОСТ 1412-85
№ 02-18 СЧ15 Н20	20,0	20,01	СЧ15 ГОСТ 1412-85
№ 02-18 СЧ15 Н40	40,0	40,01	СЧ15 ГОСТ 1412-85
№ 02-18 СЧ15 Н60	60,0	60,01	СЧ15 ГОСТ 1412-85
№ 02-18 СЧ15 Н80	80,0	80,01	СЧ15 ГОСТ 1412-85
№ 02-18 СЧ15 Н100	100,0	100,01	СЧ15 ГОСТ 1412-85
№ 02-18 СЧ15 Н150	150,0	150,01	СЧ15 ГОСТ 1412-85

5 Средства УЗ контроля, использовавшиеся при выполнении исследований.

5.1 Ультразвуковой толщиномер УТ-4DL производства компании ООО «УЛЬТРАТЕХ» <http://www.ultratech.ru/pribor.html>. Заводской номер № 17002607.

5.2 Ультразвуковой преобразователь П112-2,5-12/2-Б модели 2,5Б12/2 производства компании ООО «ИСКАТЕЛЬ» <http://www.ultratech.ru/datchiki.html>. Серийный номер № 3552012.

5.3 Контактная смазка: гель для УЗК МИАСС <http://www.ultratech.ru/oil.html> и вазелиновое масло.

6 Подготовка УЗ средств контроля, выполнение настроек, калибровок.

6.1 На рисунке 5 и 6 показаны средства УЗ контроля и комплект СОУЗ в процессе проведения измерений скорости УЗК и толщины СОУЗ.



Рисунок 5 Средства УЗ контроля и комплект СОУЗ в процессе проведения измерений скорости



Рисунок 6 Средства УЗ контроля и комплект СОУЗ в процессе проведения измерений толщины

6.2 Перед проведением исследований была выполнена: корректировка параметров настроек и установок, затем калибровки и верификация ультразвукового толщиномера UT-4DL. Действия выполнялись в строгом соответствии со следующими документами:

- «Толщиномер ультразвуковой UT-4DL. Краткое руководство по началу работы» АИКА.412231.002РЭ [http://www.ultratech.ru/assets/quick-start-guide\\_2.4.pdf](http://www.ultratech.ru/assets/quick-start-guide_2.4.pdf);

- «Толщиномер ультразвуковой UT-4DL. Руководство по эксплуатации» АИКА.412231.001РЭ [http://www.ultratech.ru/assets/ut\\_4dl-рэ-ru-01.2017.pdf](http://www.ultratech.ru/assets/ut_4dl-рэ-ru-01.2017.pdf).

6.3 При проведении исследований были использованы базовая и дополнительная настройки ЭАТ толщиномера с целью оптимизации влияния структурных помех и шумов, вносимых зернистостью чугуна. Значение настраиваемых параметров приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Настройки ЭАТ при использовании преобразователя модели 2,5Б12/2

Настройки ЭАТ	Амплитуда импульса	Усиление ПТ	Порог	Бланкирование	Условия применения
Базовая (универсальная)	60	33	10	0	Среднее проникновение до 100 мм (литье, серый чугун, бронза) при малом уровне помех и шумов на малых толщинах. При затухании менее 20 дБ/м
Дополнительная	90	35	10	7,0-10,0	Высокое проникновение до 300 мм (литье, серый чугун, бронза) при отстройке бланкированием от помех и шумов на малых толщинах. При затухании от 20 до 30 дБ/м

6.4 После выполнения Р0-теста и высокоточной калибровки (1Point) на тонком образце толщиной 5,00 мм из стали 40Х13, задержка в призмах ультразвукового преобразователя П112-2,5-12/2-Б модели 2,5Б12/2 составила **3075 нс**.

6.5 При проведении исследований были использованы следующие режимы измерений: **Интервал Т, Скорость V, Толщина НМ**. В процессе измерений в режиме **Скорость V** ввод толщин образцов комплекта СОУЗ производился в процессе измерения.

7 Проведение испытаний, выполнение измерений.

7.1 Испытания проводились при нормальных условиях.

7.2 Типичный вид эхосигналов в образцах показан на рисунках 7-12.

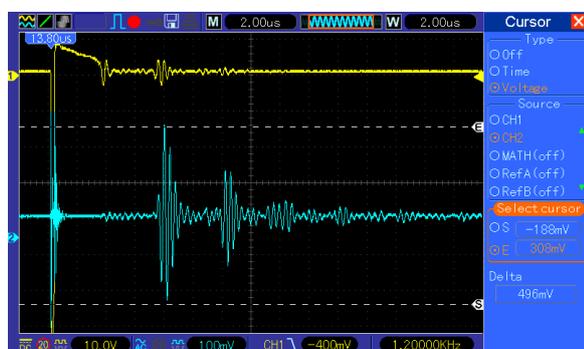


Рисунок 7 Вид эхосигнала в образце № 02-18 С415 Н10



Рисунок 8 Вид эхосигнала в образце № 02-18 С415 Н40



Рисунок 9 Вид эхосигнала в образце № 02-18 СЧ15 Н80

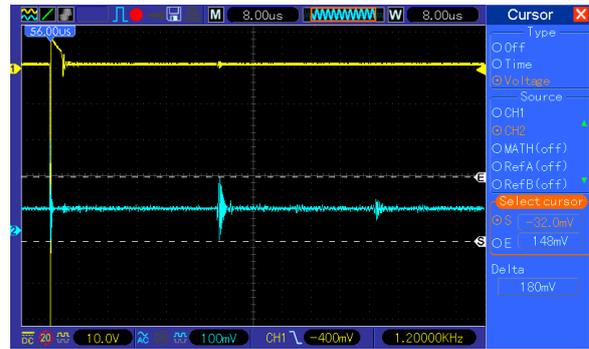


Рисунок 10 Вид эхосигнала в образце № 02-18 СЧ15 Н100



Рисунок 11 Значительные помехи в виде «травы» до 9,5 мкс.  
Настройка ЭАТ ошибочная



Рисунок 12 Минимизированный уровень помех до 9,5 мкс.  
Правильная настройка ЭАТ

7.3 Вид экранов толщиномера в процессе выполнения измерений показан на рисунках 13-18.



Рисунок 13 Вид экрана при измерении времени прохождения в образце № 02-18 СЧ15 Н20



Рисунок 14 Вид экрана при измерении времени прохождения в образце № 02-18 СЧ15 Н80



Рисунок 15 Вид экрана при измерении скорости УЗК в образце № 02-18 СЧ15 Н20

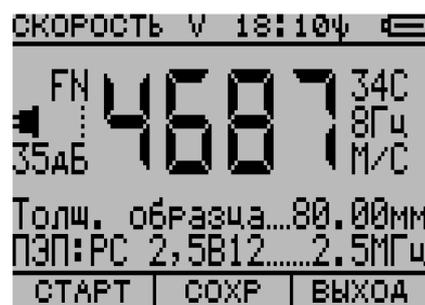


Рисунок 16 Вид экрана при измерении скорости УЗК в образце № 02-18 СЧ15 Н80



Рисунок 17 Вид экрана при измерении толщины образца № 02-18 СЧ15 Н20



Рисунок 18 Вид экрана при измерении толщины образца № 02-18 СЧ15 Н80

## 8 Результаты исследований.

8.1 Измерения мерительным инструментом геометрических размеров образцов комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания. Результаты измерений представлены в таблице 5.

Таблица 5 –Геометрические размеры образцов комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания

Наименование СОУЗ	Геометрический размер в направлении прозвучивания, Н <sub>и0</sub> , мм	Абсолютная погрешность (при Р=0,95), мм
№ 02-18 СЧ15 Н10	10,00	0,02
№ 02-18 СЧ15 Н20	20,01	0,02
№ 02-18 СЧ15 Н40	40,01	0,02
№ 02-18 СЧ15 Н60	60,01	0,05
№ 02-18 СЧ15 Н80	80,01	0,05
№ 02-18 СЧ15 Н100	100,01	0,05
№ 02-18 СЧ15 Н150	150,01	0,05

8.2 Измерения в режиме **Интервал Т** времени прохождения УЗК в образцах комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания. Результаты измерений представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Время прохождения УЗК в образцах комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания

Наименование СОУЗ	Время прохождения УЗК в направлении прозвучивания, Т <sub>и</sub> , мкс	Абсолютная погрешность (при Р=0,95), мкс
№ 02-18 СЧ15 Н10	2,120	0,006
№ 02-18 СЧ15 Н20	4,244	0,006
№ 02-18 СЧ15 Н40	8,541	0,006
№ 02-18 СЧ15 Н60	12,710	0,006
№ 02-18 СЧ15 Н80	16,950	0,006
№ 02-18 СЧ15 Н100	21,390	0,006
№ 02-18 СЧ15 Н150	32,080	0,006

8.3 Измерения в режиме **Скорость V** скорости продольных УЗК в образцах комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания. Результаты измерений представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Скорость продольных УЗК в образцах комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания.

Наименование СОУЗ	Скорость продольных УЗК в направлении прозвучивания, $C_i$ , м/с	Абсолютная погрешность (при $P=0,95$ ), м/с
№ 02-18 СЧ15 Н10	4699	12
№ 02-18 СЧ15 Н20	4695	10
№ 02-18 СЧ15 Н40	4701	9
№ 02-18 СЧ15 Н60	4696	7
№ 02-18 СЧ15 Н80	4690	7
№ 02-18 СЧ15 Н100	4682	9
№ 02-18 СЧ15 Н150	4675	12

**Примечание.** Значительный разброс измеренных значений скорости продольных УЗК объясняется неоднородностью структуры, крупным зерном и различной толщиной образцов (см. выше).

8.3.1 Среднее значение скорости продольных УЗК в образцах комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания:  $C_{ср} = 4691$  м/с. Это значение близко к характерным значениям скорости УЗК в СЧ с такими: формой графитовых включений, степенью эвтектичности, зерном и др. [5, с.600].

8.4 Определение эквивалентной ультразвуковой толщины образцов комплекта СОУЗ.

8.4.1 Эквивалентная ультразвуковая толщина каждого образца определяется по формуле

$$N_{i \text{ экв}} = C_{ср} * T_{i \text{ соуз}},$$

где  $C_{ср}$  – среднее значение скорости ультразвуковых волн по комплекту образцов м/с;

$T_{i \text{ соуз}}$  – время прохождения волн в данном образце, с.

8.4.2 Абсолютная погрешность эквивалентной толщины вычисляется по формуле

$$\Delta N_{i \text{ экв}} = C_{ср} * \Delta T_{i \text{ соуз}},$$

где  $\Delta T_{i \text{ соуз}}$  – абсолютная погрешность времени прохождения ультразвуковых волн в образце.

Эквивалентная ультразвуковая толщина образцов комплекта СОУЗ приведена в таблице 8.

Таблица 8 - Эквивалентная ультразвуковая толщина образцов комплекта СОУЗ.

Наименование СОУЗ	Эквивалентная ультразвуковая толщина $N_{i \text{ экв}}$ , мм	Абсолютная погрешность (при $P=0,95$ ), мм
№ 02-18 СЧ15 Н10	9,945	0,028
№ 02-18 СЧ15 Н20	19,913	0,028
№ 02-18 СЧ15 Н40	40,162	0,028
№ 02-18 СЧ15 Н60	59,623	0,028
№ 02-18 СЧ15 Н80	79,502	0,028
№ 02-18 СЧ15 Н100	100,340	0,028
№ 02-18 СЧ15 Н150	150,480	0,028

**Примечание.** Значительные отклонения значений эквивалентной толщины от геометрических значений толщины образцов (см. таблицу 5) также объясняется неоднородностью структуры, крупным зерном и различной толщиной образцов.

8.5 Измерения в режиме **Толщина НМ** толщин образцов комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания. Результаты измерений представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Измеренные толщины образцов комплекта СОУЗ в направлении прозвучивания

Наименование СОУЗ	Средняя измеренная толщина в направлении прозвучивания, Н <sub>i</sub> , мм	Основная абсолютная погрешность $\Delta_H = H_i - H_{i\text{ экв}}$ , мм	Основная абсолютная погрешность $\Delta_{H1} = H_i - H_{i0}$ , мм	Предел допускаемой основной погрешности $\Delta_{нд}$ , мм
№ 02-18 СЧ15 Н10	9,97	0,02	- 0,03	± 0,08
№ 02-18 СЧ15 Н20	19,95	0,04	- 0,06	± 0,11
№ 02-18 СЧ15 Н40	40,09	- 0,07	0,08	± 0,17
№ 02-18 СЧ15 Н60	59,49	- 0,13	- 0,52	± 0,23
№ 02-18 СЧ15 Н80	79,39	- 0,11	- 0,62	± 0,29
№ 02-18 СЧ15 Н100	100,4	0,06	0,39	± 0,40
№ 02-18 СЧ15 Н150	150,4	- 0,08	0,39	± 0,55

**Примечание.** Основная абсолютная погрешность  $\Delta_H$  ультразвукового толщиномера UT-4DL при измерении значений толщины образцов СОУЗ, определенная по отношению к значениям эквивалентной толщины (см. таблицу 8), не превышает предела допускаемой основной абсолютной погрешности измерения толщины для данного толщиномера

$$\Delta_{нд / 0,01} = \pm (0,05 + 0,003 \cdot H_x), \Delta_{нд / 0,1} = \pm (0,1 + 0,003 \cdot H_x).$$

С практической точки зрения интересным при измерениях на реальных ОК может быть то, что основная абсолютная погрешность  $\Delta_{H1}$ , определенная по отношению к действительным значениям геометрических размеров образцов (см. таблицу 5), также в основном не превышает предела допускаемой основной абсолютной погрешности измерения толщины, хотя «разброс» значительно больше.

### Рекомендации

Проведенные исследования позволили разработать перечень рекомендаций, для того чтобы избежать значительного влияния различных факторов на точность измерения скорости УЗК.

В качестве рекомендаций на практике можно предложить

- проводить настройку приборов на СО из чугуна с известной композицией;
- для каждого конкретного случая измерений составлять карту скорости УЗК в зависимости от композиции сплава, его однородности, процентного соотношения форм графита и др.;
- использовать искатели с длиной волны, превышающей размер зерен в отливке, например, по результатам исследований, приведенных в [5, с.599], рекомендованы искатели, работающие на частотах: 0,5 МГц; 1,25 МГц; 2,5 МГц, как предельный вариант с рабочей частотой 4,0 МГц;
- значения скорости УЗК всегда проверять на СО из материала ОК;
- измерять скорость УЗК в двух местах, доступных для механического измерения толщины и наиболее сильно различающихся по толщине, а в других участках применять линейную интерполяцию [5, с.602].

## **Выводы**

1 На специально изготовленных образцах комплекта СОУЗ (толщины от 10 мм до 150 мм) из чугуна СЧ15 ГОСТ 1412-85 была продемонстрирована способность ультразвукового толщиномера UT-4DL быстро и точно измерять скорость продольных УЗК, время прохождения УЗК, толщину эхо-импульсным методом при одностороннем доступе к ОК.

2 Проведенные испытания позволили

- точно определить типы наиболее эффективных РС ПЭП для измерений на таком материале, как чугун и подобрать конкретную модель - 2,5Б12/2;
- уточнить настройки ЭАТ толщиномера для РС ПЭП 2,5Б12/2 при измерениях эхо-импульсным методом на образцах комплекта СОУЗ;
- разработать методику контроля физико-механических свойств СЧ, основывающуюся на наличии у предприятия образцов из комплекта СОУЗ;
- подтвердить метрологические характеристики толщиномера при измерениях на СЧ;
- оценить влияние структуры СЧ на точность измерений скорости УЗК, а также разработать комплекс рекомендаций по уменьшению этого влияния.

3 Результаты испытаний практически подтвердили, что ультразвуковой толщиномер UT-4DL с успехом может применяться при определении физико-механических свойств любых видов чугуна для их идентификации из-за нестандартной формы графита и разбраковки посредством измерения скорости продольных УЗК.

## **Литература**

1 Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. В 3-х т./Под ред. Бернштейна М. Л., Рохштадта А. Г.- 4-е изд., перераб. и доп. Т.1. Методы испытаний и исследования. В 2-х кн. Кн.1. – М.: Металлургия, 1991, 304 с.

2 Металлография. Учебник для вузов. Лившиц Б. Г.– М.: Металлургия, 1990. 236 с.

3 Методы акустического контроля металлов / Н. П. Алешин, В. Е. Белый, А. Х. Вopilкин и др.: Под ред. Н. П. Алешина. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с., ил.

4 Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. Пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. 283 с.: ил.

5 Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд. Й. Крауткремер, Г. Крауткремер; Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1991. 752 с.