БЕЗРАЗРУШИТЕЛНО ОЦЕНЯВАНЕ НА СТРУКТУРАТА НА ОТЛИВКИ ОТ СФЕРОГРАФИТЕН ЧУГУН

NON-DESTRUCTIVE EVALUATION OF GREY CAST IRON STRUCTURE

НЕРАЗРУШАЮЩАЯ ОЦЕНКА
СТРУКТУР ОТЛИВОК ИЗ СФЕРОГРАФИТНОГО ЧУГУНА

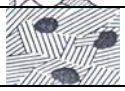
Ass.Prof. Ph.D. Popov Al.
Institute of Mechanics – BAS, Sofia, Bulgaria

Abstract: *In this paper the algorithm for non-destructive evaluation (NDE) of structural characteristics of grey cast iron is design. For this purpose the velocities and attenuation of propagation of longitudinal and transversal waves are measuring.*

KEY WORDS: *NDE OF STRUCTURE OF GREY CAST IRON , ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF GREY CAST IRON*

1.Въведение

Структурата на отливки от сферографитен чугун, както е известно [1,2], се определя от вида на металната основа (процентно съотношение на ферит – Ф и перлит - П) и степентта на сфероидация на графита – ССГ. Харастеристиките Ф, П и ССГ се опредлят от образец на който е изработен металографски шлиф. Видовете структури са дадени на фиг.1

Метална основа	Графитни включвания
Ферит - Ф	
Ферит + Перлит Ф+П	
Перлит - П	

Фиг.1.

Интерес за практиката представлява разработването на безразрушителен метод за оценяване на характеристиките Ф, П и ССГ. От литературата [3,4] е известно, че акустичните характеристики на материала: скорости и затихване при разпространение на ултразвукови вълни – V_L,V_T,α_L зависят от неговата структура.

Целта на настоящата статия е да се получат алгоритми за оценяване на Ф, П и ССГ чрез измерване на V_L, α_L.

За повишаване на информативността на съответния алгоритъм си използват измервания на твърдост по Бринел – *HB*.

2. Технически средства за измерване на акустични характеристики

За измерване на величините V_L, α_L се използват следните технически средства:

- универсален цифров ултразвуков дефектоскоп SITESCAN 150S;
- нормален осезател с честота 2 MHz и диаметър на пиезо-пластината 12 мм;
- калибрационен блок с известна скорост V_L = 5.92 mm/μs

Всичките на фирма SONATEST- Англия.

Измерването на величините V_L, α_L е съгласно ASTM E 494.

Линейните размери се измерват с цифров микрометър Micromaster 0-30 mm / 0.001 mm. Фирма TESA – Швейцария

За измерване на твърдост по Бринел *HB* се използва портативен твърдомер Hardness Tester M-295, фирма Wolpert Wilson Instruments, Германия.

Измерването на величината *HB* е съгласно ASTM A 956.

3. Неопределеност на резултата от измерването на V_L и α_L

3.1. За скоростта - V_L

Дефиниция [5]. "Неопределеността на измерването е параметър свързан с резултата от измерване, който характеризира разсейването на стойностите, които могат да бъдат приписани на измерваната величина."

Количественото оценяване на неопределеността на измерването се основава на вида на функционалната зависимост

$$(1) \qquad V_X = \frac{2.l_X}{T_X} \;\; ; \;\; V_X \equiv V_L$$

където T_X - време на разпространение на ултразвуковите вълни, в μs ; l_X – дебелина на измермания образиц, в mm. Общия вид на (1) е $V_X = F_X(l_X, T_X)$.

Стандартна неопределеност на измерването на V_L се определя чрез

$$(2) \qquad S_И(l_X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(l_X(i) - \overline{l_X})^2}{n-1}} \;;$$

$$(3) \qquad S_И(T_X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(T_X(i) - \overline{T_X})^2}{n-1}}$$

където

$\{ l_X(i), T_X(i) \mid i = 1,...,n \}$ – входни данни

$\{V_L(i) \mid i = 1,...,n \}$ – изходни данни

$\overline{l_X}$, $\overline{T_X}$ - медианни средни стойности.

Комбинирана стандартна неопределеност на измерването на V_L е

(4) $S_И(V_X) =$

$$= \sqrt{\frac{\partial F_X}{\partial l_x} S_И{}^2(l_X) + \frac{\partial F_X}{\partial T_X} S_И{}^2(T_X)}$$

Разширена неопределеност на измерването на V_L е интервала

(5) $(V_L - U_X;\ V_L + U_X)$

където $U_X = \frac{1}{\sqrt{n}} t\left(\frac{\alpha}{2}; n-1\right) S_И(V_X)$

3.2. За затихването α_L

Използва се функционалната зависимост

$$(6) \qquad \alpha_L = \frac{N_m - N_{m+n}}{2.nl_X}$$

където N_m и N_{m+n} – амплитуди на отразените еха съответно с *m*-та и (*m*+*n*)- та кратност, в dB. Общия вид на (6) е $V_X = F_X(N_X, l_X)$, където е въведено означението $N_X = N_m - N_{m+n}$.

Стандартна неопределеност на измерването на α_L е интервала

$$(7) \qquad S_И(N_X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(N_X(i) - \overline{N_X})^2}{n-1}};$$

където

$\{ l_X(i), N_X(i) \mid i = 1,...,n \}$ – входни данни

$\{ \alpha_L(i) \mid i = 1,...,n \}$ – изходни данни

$\overline{N_X}$ - медианна оценка на средната стойност.

Комбинирана стандартна неопределеност на измерването на α_L е

$$(8) \qquad S_И(\alpha_L) = = \sqrt{\frac{\partial F_X}{\partial N_x} S_И{}^2(N_X) + \frac{\partial F_X}{\partial l_X} S_И{}^2(l_X)}$$

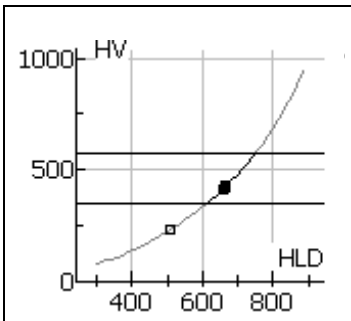
Разширена неопределеност на измерването на α_L е интервала

(9) $(\alpha_L - W_X;\ \alpha_L + W_X)$

където $W_X = \frac{1}{\sqrt{n}} t\left(\frac{\alpha}{2}; n-1\right) S_И(\alpha_L)$

4. Неопределеност на резултата от измерването на HB

Известно е, че диначимното измерване на *HB* се осъществява чрез измерване на твърдост по Лииб – *HLD*. Връзката между двете твърдости е дадена на фиг.2.



Тъй като HV ~ HLD и HV ~ HB

=> HB ~ HLD

Фиг.2.

Стандартна неопределеност на измерването на *HB* се определя чрез

$$(10) \qquad S_И(HB) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(HB(i) - \overline{HB})^2}{n-1}}$$

където

$\{ HB(i) \mid i = 1,...,n \}$ – изходни данни

$\overline{HB}$ - медианна оценка на средната стойност.

Разширена неопределеност на измерването на *HB* е интервала

(11) $(HB - U_X;\ HB + U_X)$

където $U_X = \frac{1}{\sqrt{n}} t\left(\frac{\alpha}{2}; n-1\right) S_И(HB)$

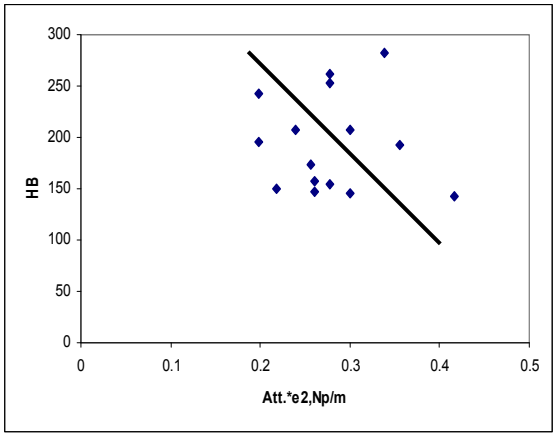
3. Оценки

3.1. Безразрушително оценяване на (Ф, П)

Оценяването на процентното съотношение ферит, перлит *(Ф,П)* на металната основа в се осъществява в пространство „затихване на ултразвуковите вълни – твърдост по Бринел”.

За получаване на дискриминиращата функция $z(HB; \alpha_L)$ се използват методите на дискриминантният анализ [6]. Резултатите са дадени на фиг.3.

Графично



Аналитично

Дискриминираща ф-я – z, където Att ≡ α_L

$z(HB;Att.) = -1++Att/maxAtt+ HB/maxHB$

Ако z(HB,Att.) < 0, то Ф ≥ 80% , П ≤ 20%
Ако z(HB,Att.) > 0, то Ф ≤ 40% , П ≥ 60%

Фиг.3.

3.2. Безразрушително оценяване на ССГ

За получаване на зависимост ССГ–V_L/5850 са подготвени образци с различна ССГ. Направени са металоглафски шлифове и е определена ССГ по [1]

$$(11) \qquad ССГ = \left[\left(\sum_{k=1}^{k=n} \Phi_k N_k\right) / \left(\sum_{k=1}^{k=n} N_k\right)\right] 100\%$$

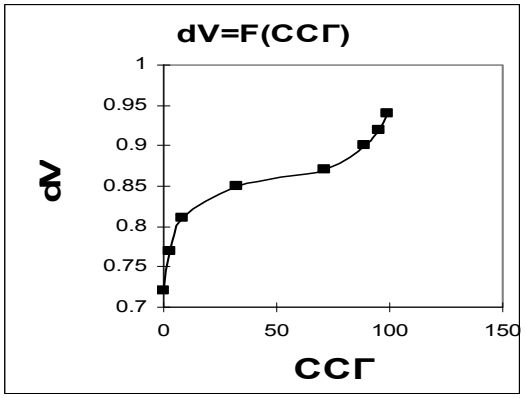
За безразрушителното оценяване на ССГ са измерени скоростите на разпространение на ултразвуковите вълни V_L (ASTM E 494) в подготвените образци. Зависимостта ССГ–V_L/5850 е показана на фиг.4. Коефициентите β_0 , β_1, β_2 са получени чрез линеаризиране на модела

$$(12) \qquad dV = \beta_0 \, X^{\beta_1} \, exp\,(\beta_2 X)$$

и прилагане на схемата

(13) HP50g => NUM.SLV => Solve Equation (12)

Графично



Аналитично

Ако ССГ≡ X, dV ≡ V_L / 5850, то числените стойности на параметрите в уравнението
$\beta_0 X^{\beta_1} exp\,(\beta_2 X) - dV = 0$ са
β_0=0.7462, β_1=0.0258, β_2=0.0012
при коефициент на корелация R= 0.95

Фиг.4.

5. Заключение

От изложеното по-горе се вижда, че безразрушително оценяване на (ССГ) чрез измерване на скорост V_L и на *(Ф,П)* чрез измерване на α_L и *HB* е възможно.

6. Литература

1. Литовка В.И., Повишение качества высокопрочностного чугуна в отливок, изд.Наукова думка, Киев, 1987.
2. Иванушкин Е.С., Г.Е.Белай, Ультразвуковые методы контроля при производстве отливок, изд. Техника, Кииев, 1984.
3. Алешин Н.П., В.Е.Белый и др., Методы акустического контроля металлов, изд. Машиностроение, 1989.
4. NDT Handbook. Ultrasonic Testing, V.7, Editor P. Mclntire, American Society for NDT,1991
5. Хр.Радев, Неопределеност на резултата от измерването, Софттрейд, 2001
6. Афифи А., С.Эйзен, Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ, Изд.МИР, Москва, 1982.