УЛТРАЗВУКОВО ИЗПИТВАНЕ ЗА ОЦЕНЯВЯНЕ НА МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА НА ОТЛИВКИ ОТ СФЕРОГРАФИТЕН ЧУГУН

ULTRASONIC TESTING AND MECHANICAL PROPERTIES OF NODULAR CAST IRON

Ass.Prof. Ph.D. Popov Al.
Institute of Mechanics – BAS, Sofia, Bulgaria
E-mail: alpopov@abv.bg

Abstract: *In this paper the mechanical properties of nodular cast iron by means ultrasonic testing (UT) is presented. The relationships and probability density function for elastic modulus and mechanical properties are obtain.*

KEY WORDS: NODULAR IRON CASTING, ULTRASINIC TESTING

1. Въведение

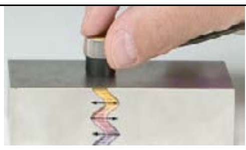
В леярската практика оценяването на механични свойства на отливки от сферографитен чугун е често срещана задача. Оценяват се якост на опън - σ_B, относително удължение - δ_5, твърдост по Бринел – HB. Използват се механични изпитвания т.е. разрушетелни методи [1].

Интерес за практиката представлява възможността оценяване на величините σ_B, δ_5, HB без да се разрушава отливката [4,5]. За целта се използват корелационни зависимости между σ_B, δ_5, HB и измерени скорости на разпространение на надлъжни и напречни ултразвукщови вълни - V_L и V_T, съгласно ASTM E 494-2010.

2. Измерване на скорости на ултразвука

За измерване на величините V_L и V_T се използват ултразвукови осезатели с пиезопластини (ПП) X - срез и Y- срез на ф-ма PANAMETRICS – САЩ (фиг.1.)

Фиг.1. *Осезател с ПП с X-срез*



Фиг.2. *Осезател с ПП с Y-срез*

Величините V_L и V_T се изчисляват от зависимостите, съгласно ASTM E 494-2010

$$(1)\quad V_{L,T} = \frac{2.l, mm}{(t_{L,T}), \mu s}$$

където l, mm - делелина на измервания образец, $t_{L,T}, \mu s$ - сътветно времена на разпространение на надлъжни и напречни ултразвукщови вълни.

Предсавяне на резултата от измерване на скоростите V_L и V_T. Относителната грешка за измерената скорост $\frac{\Delta V_{L,T}}{V_{L,T}}$ е [2]

$$(2)\quad \frac{\Delta V_{L,T}}{V_{L,T}} = 2.\left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta t_{L,T}}{t}\right)$$

където $\Delta V_{L,T}; \Delta l; \Delta t_{L,T}$ - абсолютни грешки съответно на скоростта, дебелината, времето. Толерантен интервал за измерената скорост [3]

$$(3)\quad \overline{V_{L,T}} \pm \left(1 + \frac{1}{n}\right)^{1/2} T(n;\alpha) S_{V_{L,T}}$$

Където $\overline{V_{L,T}}$ и $S_{V_{L,T}}$ са съответно средна стойност и стандартно отклонение за измерената скорост, n – брой на измерванията, $T(n;\alpha)$ - разпределение на Стюдънт при вероятност $\Pr = 1 - \alpha$.

За измерване на величините $t_{L,T}, \mu s$ се използва ултразвуково устройство US Key (ф-ма LECOEUR ELECTRONIQUE, Франция). Точността на измерване на времето на $t_{L,T}, \mu s$ е 0.01 μs.

Фиг.3. *US Key*

Фиг.4. *Display*

Микрометър Digimatic Micrometer (MITUTOYO, Япония). Обхват 0-30 mm. Този микрометър, единствен в света, измерва с точност на отчета 0.0001 mm и точност на измерването $\Delta S \ \pm 0.5\mu m$.

3.Модули на еластичност

Инженерната практика за еластичните характеристики на чугуна се използват: модул на Юнг – E и модул на хлъзгане – G [6]

$$(3)\quad E = \left(\frac{3-4(V_T/V_L)^2}{1-(V_T/V_L)^2}\right)\rho V_T^2\,;\; G = \rho V_T^2$$

както и коефициент на Поасон - ν

$$(4)\quad \nu = \frac{0.5-(V_T/V_L)^2}{1-(V_T/V_L)^2}\,,$$

където плътността $\rho, g/cm^3$.

Тъй като коефициента на Поасон, за сферографитни чугуни се изменя в малки граници $0.24 \le \nu \le 0.28$ [Димов,], то отношението $(V_T/V_L)^2$ също ще се изменя в малки граници и зависимостите (3) се записват като

$$(5)\quad E = [\xi(W)\rho]V_L^2\,;\; G = \rho V_T^2$$

където $\xi(W) = W\dfrac{3-4W}{1-W}$;$W = (V_T/V_L)^2$ се приемат за константи. В леярството е известно, че плътността на отливката се изменя с нейната марка [ ]. Например за ВЧ 42-12,45-5,50-2,60-2,70-3, плътността се изменя в интервала 7.27< $\rho, g/cm^3$ <7.41. Средната стойност за плътността е $med(\rho)$=7.31 – константа и следователно $[\xi_L(W)\rho]$ в (5) е константа.

Съгласно изложеното по-горе за плътностите на разпределение $p(E)$ и $p(G)$ на случайните величинни *E* и *G* може да се запише при

означение $a = [\xi(W)\rho]$

$$(6)\quad p_E(E) = \left|\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{a}\right)\right]\left(\frac{E}{a}\right)^{-1/2}\right| p_{V_L}\left(\left(\frac{E}{a}\right)^{1/2}\right)$$

$$(7)\quad p_G(G) = \left|\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\rho}\right)\right]\left(\frac{G}{\rho}\right)^{-1/2}\right| p_{V_T}\left(\left(\frac{G}{\rho}\right)^{1/2}\right)$$

Тъй като обикновенно плътностите на разпределение $p_{V_L}(.)$ и $p_{V_T}(.)$ не са известни, то в първо приближение може да се приеме равномерно разпределение

$$(8)\quad p_{V_{L,T}}(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{\beta-\alpha} & x \in [\alpha,\beta] \\ 0 & x \notin [\alpha,\beta] \end{cases}$$

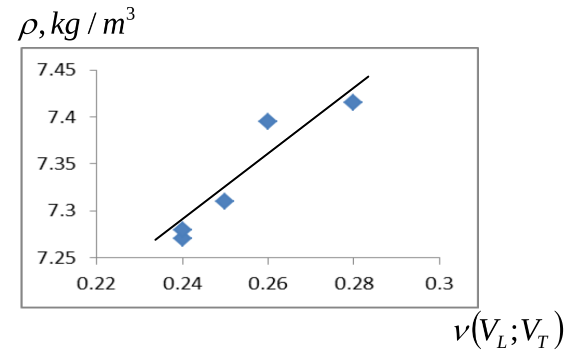
където $\alpha \equiv \min(V_{L,T})$ и $\beta \equiv \max(V_{L,T})$ са параметри на разпределението.

4. Плътност на чугуна

В леярството е известно, че плътността на отливката се изменя с нейната марка [4.5].
Например за чугун със сфероидален графит марки 42-12, 45-5, 50-2, 60-2, 70-3, 7.27< $\rho, g/cm^3$ <7.41. Следователно може да се приеме, че $med(\rho)$=7.31. В [5] е дадено, че плътността $\rho, g/cm^3$ може да се определи чрез $V_L(m/s)$. Това дава основание, за по-голяма информативтост, да се търси регресионна зависимост коефициент на Поасон - ν и плътност - $\rho, kg/m^3$

$$(9)\quad \nu(V_L;V_T) = \gamma_0 + \gamma_1\rho$$

Построена е зависимост (8) при коефициент на корелация 94%.



Фиг.5.

5. Твърдост по Бринил

В [4,5] е коментиран регресионния модел

$$(10)\quad V_L(m/s) = h_0 + h_1.HB$$

При цялата негова условност зависимост (10) намира приложение в практкиката. Един по-добър подход е да се потърси детрминистична зависимост между
коефициенти на Ламе, т.е. $(V_L;V_T)$ и твърдост по Бринел – *HB*. Такава зависимост е получена в [6] т.е.

(11) $HB \approx \frac{4}{5}\left(\mu.\frac{\lambda+\mu}{\lambda+2\mu}\right)$

където коефицентите на Ламе $\lambda + 2.\mu = \rho V_L^2$;
$\mu = \rho V_T^2 \Rightarrow HB = HB(V_L;V_T)$.
За да се получат зависимости за плътностите на разпределение $p(\lambda)$ и $P(\mu)$
зависимостите (5) се представят във вида
$\lambda = a_\lambda(\nu)E$; $\mu = a_\mu(\nu)E$, където $a_\lambda(\nu) = \frac{\nu}{(1+\nu)(1-2.\nu)}, a_\mu(\nu) = \frac{1}{2.(1+\nu)}$. За плътностите на разпределение $p(\lambda)$ и $P(\mu)$ се получават зависимостите

(12) $p_\lambda(\lambda) = a_\lambda^{-1}\ p_E(E);\ p_\mu(\mu) = a_\mu^{-1}\ p_E(E)$

6. *Якост на опън*

6.1. класическа зависимост на Бринел (1900 год).

(13) $\sigma_B(kg/mm^2) \approx \frac{1}{3}HB(kg/mm^2)$

За нея плътността на разпредерение $p_{\sigma_B}(\sigma_B)$ на случайната величина σ_B е

(14) $p_{\sigma_B}(\sigma_B) = 3\ p_{HB}(3\sigma_B)$

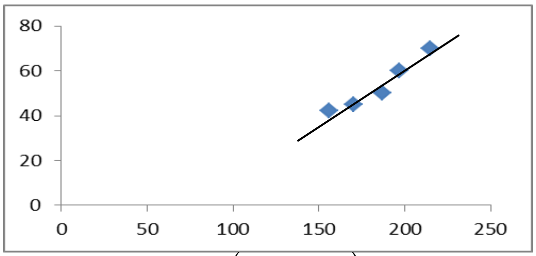
В първо приближение може да се приеме за $p_{HB}(\sigma_B)$ равномерно разпределение

(15) $p_{HB}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta-\alpha} & x \in [\alpha,\beta] \\ 0 & x \notin [\alpha,\beta] \end{cases}$

където $\alpha \equiv \min(HB)$ и $\beta \equiv \max(HB)$ са параметри на разпределението.

За сферографитен чугун, по данни от Димов, с.144. Аналитичния вид, при коеф.на корелация 97%, зависимостта от фиг.6. е
(16) $\sigma_B(kg/mm^2) = h_0 + h_1 HB_{\min}(kg/mm^2)$,
където $h_0;h_1$ подлежат на определяне.

$\sigma_B(kg/mm^2)$



$HB_{\min}(kg/mm^2) = HB(V_L;V_T)$
Фиг.6.

6.2. Зависимости на Воронкова

В литературата по ултразвуково изпитване често се цитира зависивостта

(17) $\sigma_B = A.E\ HB$

където A - коефициент, определян емперически и зависи от вида на чугуна и технологията на получаването му [4,5].

Тъй като са получени зависимодсти (5) и (9), то зависимост (17) може да се заише като
$\sigma_B = A.\ E(V_L;V_T;\rho)\ HB(V_L;V_T)$
В [5] е дадена зависимост

(18) $\sigma_B(kg/mm^2) = \sigma_0 + \sigma_1 V_L(km/s)$

6.3. Зависимост на Алешин

В [4] е дадена зависимост

(19) $\sigma_B = 0.053 V_L^2\ HB.$

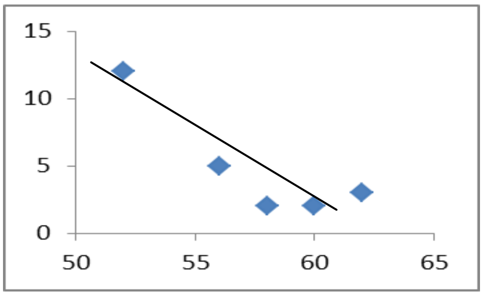
Тъй като $HB = HB(V_L\ V_T)$, зависимост (11), то може да се запише, че

(20) $\sigma_B \approx 0.053\,\rho\,(V_T V_L)^2\left[1-\left(\frac{V_T}{V_L}\right)^2\right]$

7. Относително удължение

Построена е зависимост

$\delta_5,\%$



$G, GPa = \rho V_T^2$
Фиг.10.

(21) $\delta_5 = \beta_0 + \beta_1.G$ **;** R= 87% **,**

За случайната величина δ_5 плътността на разпределение $p(\delta_5)$ е

(22) $p_{\delta_5}(\delta_5) = \dfrac{1}{\beta_1}\, p_G(G)$

Където плътността на разпределение $p_G(G)$ е дадена в (7).
Тъй като $G = \rho V_T^2$**,** то за δ_5 имаме

(23) $\delta_5 = \beta_0 + \beta_1.\left(\rho V_T^2\right)$

7. Заключение

В леярската практика маркировката на сферографитен чугун е (σ_B ; δ_5). Както беше показано по-горе величините (σ_B ; δ_5 ; *HB*, ρ) могат да се определят чрез измерване на скоростите на разпространение на ултразвуковите вълни т.е. (V_L V_T). Следователно за маркировката на сферографитен чугун може да се определи по схемата:

А/ Измерват се величините (V_L V_T)

Б/ Оценяват се величините (σ_B ; δ_5 ; *HB*, ρ)

ЛИТЕРАТУРА

1.*Золоторевский В.С.,* Механические свойства металлов, Мисис, Москва, 1998.

2. *Андреев М, В.Люцканов,* Лабораторна физика, изд.Техника, 1975

3. *Закс Ш.,* Теория статистических выводов, МИР, 1975.

4.*Иванушкин Е.С, Г.С.Белай,* Ультразвуковые методы контроля при производстве отливок, изд. Техника, Киев, 1984.

5.*Воронкова*,Ультразвуковой контроль чугунных отливок, www.ndt.ru/books/voronkova.shtml

6.Попов Ал., Безразрушително оценяване на механични свойства нажелязовъглеродни сплав /монография /, Изд. И-т по механика-БАН, поредеца МЕХАНИКА, януари 2013 (ISSN 1314-3034).