

УДК 620.10

МЕХАНИКА

Г. Л. Петросян, Г. Куявяк

О модуле упругости чугуна

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном | 3/VII 1987)

Известно что чугун является пористым материалом, в котором пористость v_n , связанная с пустотами в чугуне, колеблется в зависимости от содержания углерода (¹). Если считать, что графит также создает пористость определенного значения v_r и ее можно учитывать только при растяжении образца, то для величины начальной пористости v_0 чугуна будем иметь:

при растяжении
$$v^+ = v_n + v_r, \tag{1}$$

при сжатии
$$v^- = v_n.$$

Анализ известных работ показывает, что эти и другие специфические особенности чугуна, связанные с его упругопластическим деформированием, изучены мало. Поэтому представляет большой интерес дальнейшее исследование физико-механических свойств чугуна с позиции современных представлений механики пористых спеченных материалов.

Целью настоящей работы является экспериментально-теоретическое обоснование возможности применения для чугуна методики исследования упругого деформирования реальных пористых материалов.

Сначала обсудим вопрос определения пористости чугуна v_r , создающейся графитом. Зная удельные веса графита γ_r и железа $\gamma_{ж}$, их веса G_r и $G_{ж}$, определяем соответствующие объемы

$$V_r = G_r / \gamma_r, \quad V_{ж} = G_{ж} / \gamma_{ж}. \tag{2}$$

Объем вещества чугуна будет равняться

$$V_{ч} = V_r + V_{ж}, \tag{3}$$

а его удельный вес

$$\gamma_{ч} = (G_r + G_{ж}) / V_{ч}. \tag{4}$$

Записав закон сохранения массы и учитывая выражения (2) — (4), определяем величину отношения объема железа к объему чугуна

$$V_{ж} / V_{ч} = (\gamma_{ч} - \gamma_r) / (\gamma_{ж} - \gamma_r).$$

Эта зависимость позволяет определить пористость материала v_r как отношение объема графита к объему чугуна:

$$v_r = (\gamma_{ж} - \gamma_{ч}) / (\gamma_{ж} - \gamma_r). \quad (5)$$

Исследования показали, что пористость v_n можно с большой точностью найти и по формуле определения относительной площади графита (2).

Пористость v_n определяется как отношение объема пор V_n к объему образца $V_{об}$: $v_n = V_n / V_{об}$, где $V_{об}$ определяется в зависимости от размеров образца, а $V_n = V_{об} - V_{ч}$.

Теперь обсудим вопрос связи модуля упругости первого рода E с пористостью v_0 чугуна. Для этого используем диаграмму связи модуля упругости с величиной массы графита, содержащегося в чугуне (1).

Используя формулы (2)–(5) и данные работы (1), строим диаграмму $E_v - v_r$ (сплошная линия 1–4–5 на рис. 1). Что касается

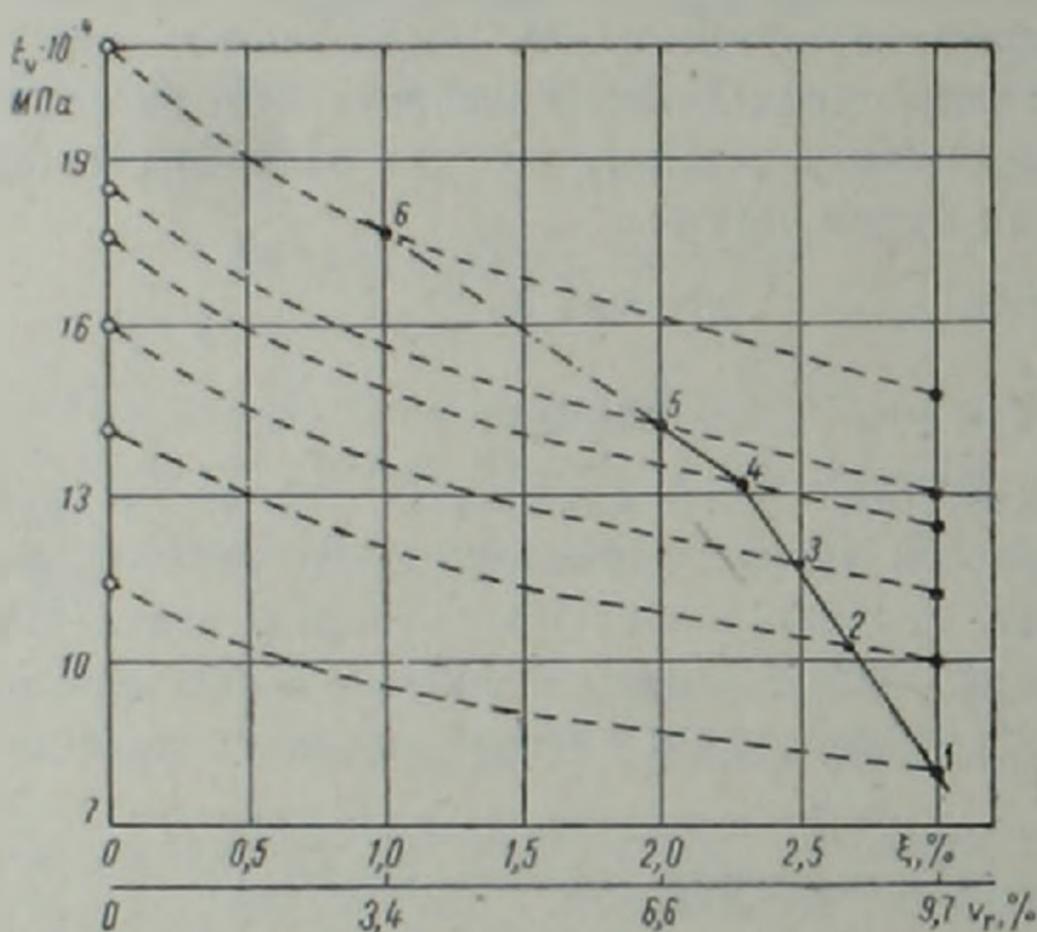


Рис. 1. Диаграмма модуля упругости чугуна в зависимости от пористости, создаваемой графитом

штрихпунктирной линии 5–6, то она является продолжением линии 4–5.

Для пористых порошковых материалов связь между модулем упругости пористого материала E_r и его пористостью v_0 выражается следующей зависимостью (3):

$$E_r = E(1 - v_0)^{2.6}, \quad (6)$$

где E — модуль упругости сплошной части материала.

Формула (6) позволяет определить модуль упругости вещества чугуна E . Для чугуна с различным содержанием графита на основании данных рис. 1 (точки 1–6) определяются величины модуля упругости вещества чугуна E при $v_n = 0,03$ и $v_0 = v^* = v_n + v_r$. Здесь предполагается, что кривая 1–4–5 (рис. 1) получена испытаниями образцов чугуна на растяжение. Полученные результаты показаны на оси E_v рис. 1 кружочками.

По формуле (6) были подсчитаны также значения модуля упру-

гости E_0 для различных величин содержания графита в чугуна, и по ним были построены кривые $E_0 - \nu^*$ (штриховые линии на рис. 1). Сопоставление этих кривых показывает, что с уменьшением содержания графита в чугуна интенсивность изменения модуля упругости чугуна E_0 уменьшается.

Большой практический интерес представляет установление связи между модулем упругости вещества чугуна E и величиной массы графита ξ (%), содержащегося в чугуна (кружочки на рис. 2). Эти

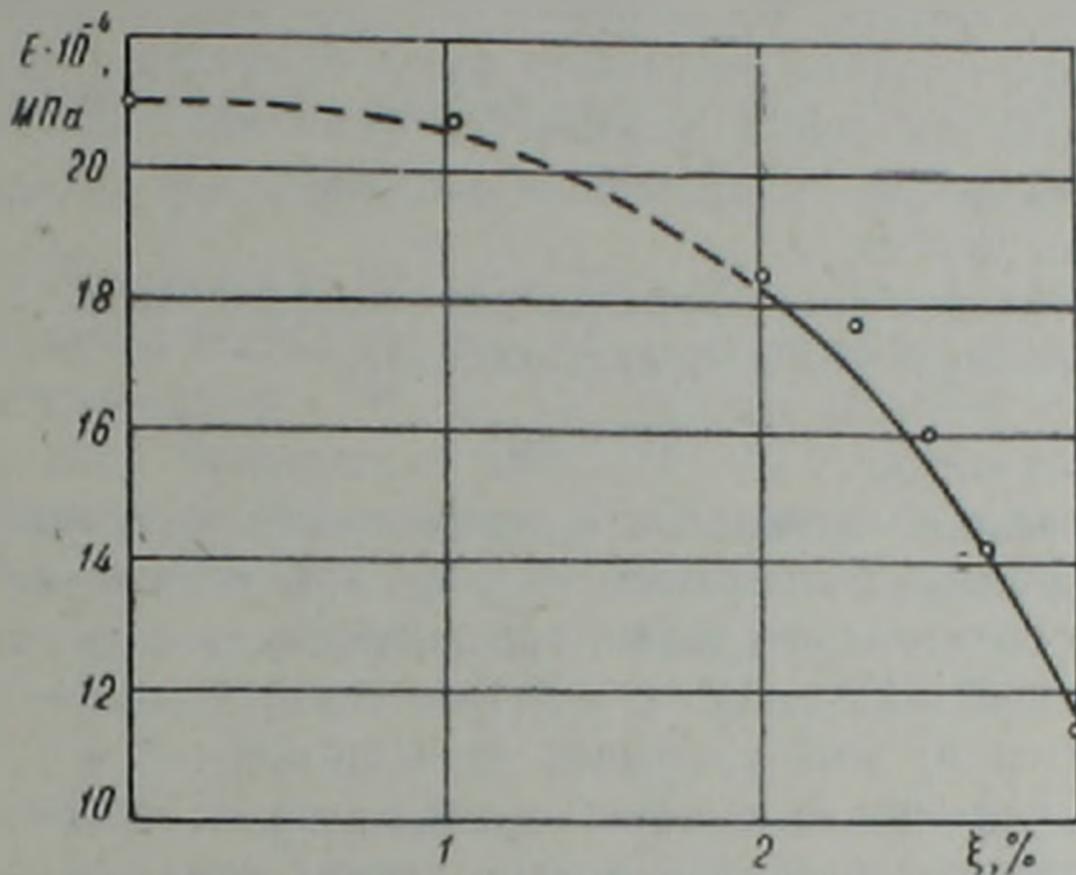


Рис. 2. График модуля упругости вещества чугуна в зависимости от величины массы графита, содержащегося в нем

данные хорошо аппроксимируются степенной зависимостью вида $E = a - b\xi^c$, где a , b и c коэффициенты аппроксимации. Достаточно хорошие результаты получаются при следующих значениях коэффициентов: $a = 21 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, $b = 34,5 \cdot 10^2 \text{ МПа}$, $c = 3$. Тогда имеем

$$E = (21 - 0,345\xi^3) \cdot 10^4 \text{ МПа.} \quad (7)$$

Результаты вычислений E по формуле (7) на рис. 2 показаны точками и сплошной линией при $2 \leq \xi \leq 3$ и штриховой при $0 \leq \xi \leq 2$. Следует отметить, что, так как первый участок кривой (сплошная линия) соответствует экспериментальным данным (1), формулу (7) можно использовать для чугуна, содержащего от 2 до 3% графита.

Подставляя выражение (7) в формулу (6), окончательно имеем

$$E_0 = (21 - 0,345\xi^3)(1 - \nu_0)^{1,6} \cdot 10^4 \text{ МПа.} \quad (8)$$

Полученная формула для модуля упругости чугуна является универсальной и учитывает в пределах $2 \leq \xi \leq 3$ влияние как графита, так и пористости чугуна.

Выражения (1)–(5) и (8) позволяют при заданных значениях величин массы графита, содержащегося в чугуна ξ , пористостей ν_a и ν_r определить начальные пористости ν_0 чугуна при растяжении (ν^+) и сжатии (ν^-) и по ним установить модули упругости чугуна при растяжении E^+ и сжатии E^- .

Так, например, при $\xi=2\%$; $\nu_r=0,066$; $\nu_n=0,03$ имеем $\nu^+=0,096$; $\nu^-=0,03$; $E^+=1,4 \cdot 10^5$ МПа; $E^-=1,69 \cdot 10^5$ МПа.

Полученные различные значения модуля упругости E при растяжении (E^+) и сжатии (E^-) позволяют заключить, что: 1) чугун является разномодульным материалом; 2) разномодульными могут являться те пористые материалы, в которых имеются твердые неметаллические включения (например, абразивно-металлические спеченные пористые материалы).

Следует отметить, что формула (6) для чугуна является приближенной. Более точные результаты будут получаться, если для чугуна в формуле (6) вместо степени 2,6 будет использоваться реальный коэффициент k , учитывающий специфические особенности деформирования чугуна.

Приведем методику определения коэффициента k . Сначала представим формулу (6) в следующем виде:

$$E_v = E(1 - \nu_0)^k. \quad (9)$$

Неизвестные величины E и k определяются на основании экспериментальных данных диаграммы $E_v - \nu_0$ при растяжении и сжатии. Для данного содержания графита при растяжении и сжатии соответственно имеем $E^+ = E(1 - \nu^+)^k$; $E^- = E(1 - \nu^-)^k$.

Решая систему этих уравнений относительно E и k , получаем $E = E^- / (1 - \nu^-)^k$, $k = \log_b A$, где $b = (1 - \nu^-) / (1 - \nu^+)$, $A = E^- / E^+$.

Таким образом, показано, что пористость оказывает существенное влияние на физико-механические свойства чугуна как естественно-пористого материала. Учетом же наличия свободного графита в чугуне доказывается, что он является разномодульным материалом.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса
Лодзинский политехнический институт

Գ. Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ. ԿՈՒՅԱԿՅԱԿ

Թուրքի առաձգականության մոդուլի մասին

Օգտագործելով թուրքի, որպես ծակոտկեն նյութի առանձնահատկությունները, դուրս է բերված նրա առաձգականության մոդուլի որոշման բանաձևը արտահայտված թուրքի ծակոտկենությունից և նրանում գրաֆիտի պարունակության դանգվածի մեծությունից: Յույց է արված, որ թուրք տարամոդուլ նյութ է:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Cz. Podrzucki, Cz. Kalama, Metalurgia i odlewnictwo zeliwa, Wydawnictwo „Slask” Katowice, 1976. ² H. Kujawlak, Cz. Podrzucki, Wpływ podstawowych czynników metalurgiczno-odlewniczych oraz obróbki cieplnej na strukturę żeliwnych pierścieni i:okowych do silników z zapłonem samoczynnym. Krystalizacja i własności stopów odlewniczych w Krakowie, Krakow, 1979, s. 67–89. ³ K. Osakada, S. Shima, Analytical methods for plastic working of sintered metals.—G. Int. Pulvermetal Tag. der DDR, 1977, Bd. 1.