

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ ПРИ РАЗРУШАВАНЕТО ПРИ ДИНАМИЧНО НАТОВАРВАНЕ

Георги Генов

Шуменски университет „Еп. К. Преславски“

Ключови думи: механика на разрушаване, динамично натоварване

Резюме: *Определянето на характеристиките на разрушаването е достатъчно сложен процес. Затрудненията са вследствие на трудното определяне на величините при експерименталните тестове, както и фиксирането на стойностите. Настоящото изследване представлява опит да се даде отговор на различните проблемни въпроси, свързани с механиката на разрушаване при динамично натоварване.*

DETERMINATION OF FRACTURE CHARACTERISTICS UNDER DYNAMIC LOADING

Georgi Genov

Bishop. K. Preslavski University of Shoumen

Keywords: *fracture mechanics, dynamic load*

Abstract: *The determination of the destruction process characteristics is complicated enough. The difficulties are due to the difficulty of determining the values under experimental tests, as well as the values' fixing. This study is an attempt to provide an answer to the various issues related to fracture mechanics under dynamic loading.*

1. Въведение

Определянето на характеристиките на механиката на разрушаване при статично натоварване е една относително сложна процедура. За съжаление, тя става още по-затруднителна при динамични натоварвания. Това се дължи, от една страна, на експерименталните трудности при регистриране на параметрите, характеризиращи в този случай процеса на разрушаване - сила (P), деформация (f), разтваряне на пукнатината (v) и време (τ), а от друга от трудното фиксиране на стойностите на величините, необходими за провеждане на съответните изчисления.

Усъвършенстването на тестовото оборудване донякъде компенсират трудностите.

Безспорно, най-много експерименти в ударната динамика (без балистичните тестове) са реализирани при провеждане на изпитвания на триточково огъване по метода на Шарпи.

Динамичните характеристики, получени при разрушаването се използват в следните случаи:

1. За контрол на качествата на материалите.
2. За сравнителен анализ на различни материали при при разчетите на различни конструкции и съоръжения.
3. Оценяване на моментното състояние на материалите на различни конструкции и съоръжения.
4. При анализ на причините за разрушаване на конструкциите и съоръженията.

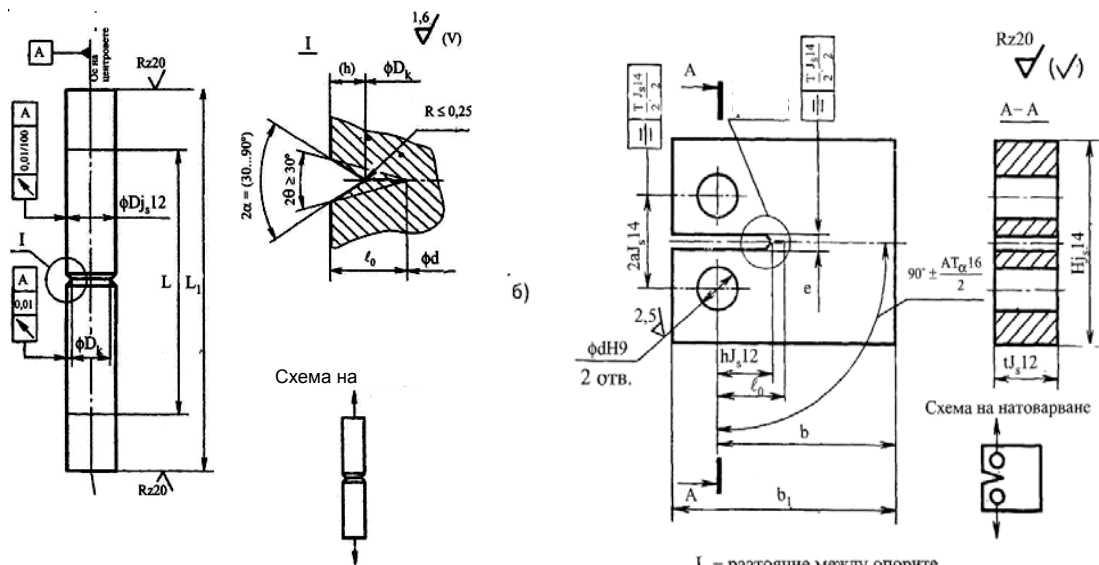
При провеждане на динамични изпитвания се регламентира скоростта, с която се увеличава коефициентът на интензивност на напреженията K_I на линейния участък на

деформирани: от $1,5 \cdot 10^6$ до $5 \cdot 10^6 \frac{MPa\sqrt{m}}{s}$.

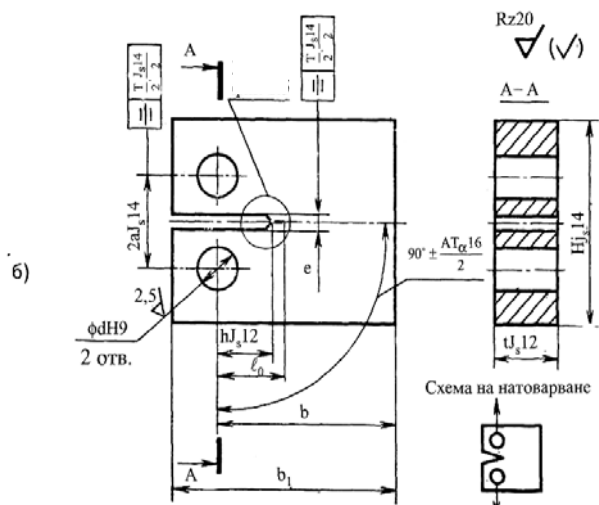
2. Образци и изпитателно оборудване

За определянето на характеристиките на пукнатиноустойчивостта при динамично натоварване (фиг. 1) се препоръчват цилиндрични образци с кръгообразна пукнатина за изпитване на централен опън (фиг. 1а); правоъгълни образци за изпитване на ексцентричен опън (фиг. 1б); плоски правоъгълни образци с едностранна пукнатина за изпитване на триточково огъване (фиг. 1в), а така също и образци в съответствие с различни стандарти.

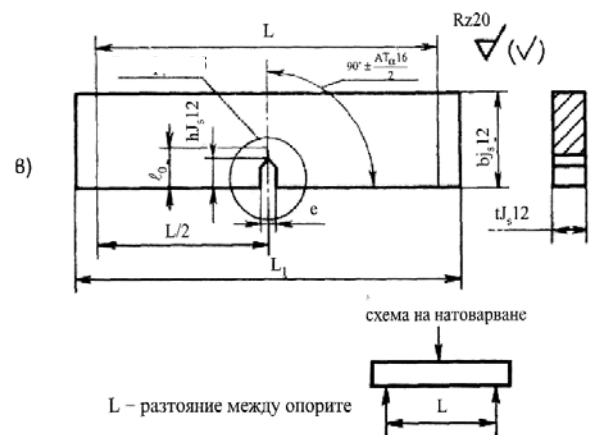
Обикновено изискванията към изготвянето на образците и нанасянето на уморна пукнатина са: за образци на ексцентричен опън (фиг. 1б) - $0,3 < \frac{l}{b} < 0,7$; за образци на триточково огъване (фиг. 1в) $0,2 < \frac{l}{b} < 0,6$ и $4 < \frac{L}{b} < 8$.



$L=5D$ - разстояние между частите на пробата, служещи за закрепване
 $d=(0,6\pm 0,7)D$;
 $L_1 \geq 7D$;
 $l_0 = 0,5(D-d) \geq h+1,5 \text{ mm}$;
 $l_0 = 3,7 \cdot h \cdot \text{tg}\alpha$;
 $D_k = D - 2h \approx (0,65 - 0,85)D$



L - разстояние между опорите
 $b = 2t$; $b_1 = 1,25b$; $H = 1,2 b$; $2a = 0,55b$; $d = 0,25b$;
 $l_0 = (0,45 - 0,55)b$; $e \leq 0,06b$; $h \approx (0,35 + 0,50)b$



$b = 2t$; $l_0 = (0,45 - 0,55)b$; $e \leq 0,06b$; $L = 4b$; $L_1 = 4b + 0,5b$; $h \approx (0,35 + 0,50)b$

Фиг. 1. Образци за определяне на параметрите на механиката на разрушаване при динамично натоварване: а) цилиндричен образец с кръгообразна пукнатина; б) правоъгълен образец за ексцентричен опън; в) образец за изпитване на триточково огъване

Изпитателните машини трябва да са снабдени със специална апаратура за записване на диаграмите, с помощта на които се определят параметрите, необходими за провеждане на изчисленията. Такива диаграми могат да бъдат: сила (P) - време (τ), сила (P) - деформация (f), сила (P) - разтваряне на пукнатината (v), деформация (f) - време (τ), разтваряне на пукнатината

(ν) - време (τ). При едновременната регистрация на две или повече диаграми е необходимо да се обезпечи възможността за взаимното им съпоставяне във времето. Ако непосредствено записване на диаграмите $P-\nu$ или $P-f$ е затруднено, то при синхронното записване на диаграмите $P-\tau$ и $\nu-\tau$ или $f-\nu$ се построяват диаграмите $P-\nu$ или $P-f$.

3. Обработка на резултатите

При ударно натоварване, принципна особеност се явява възникването на инерционни сили, предизвикани от масата на образеца като реакция на динамичното въздействие. При изпитването по метода на Шарпи, например, тази инерционна сила предизвиква превишаване на сигнала, регистриращ силата P , в сравнение с нейната реална стойност. За да се избегне това влияние, обикновено образецът се изпитва двукратно. Първият път образецът се изпитва до разрушаване, като се записва диаграмата $P-\tau$. След това счупените половинки се фиксират една към друга с лепкава лента и така образецът се изпитва повторно, като се записва диаграмата $P_{и}-\tau$, която в случая е резултат само от въздействието на инерционните сили, тъй като усилието за разрушаване го няма. Изваждайки от диаграмата $P-\tau$ стойностите на диаграмата $P_{и}-\tau$, ще получим истинската диаграма $\tilde{P}-\tau$, в която е изключено влиянието на въпросните инерционни сили. На фиг. 2 са дадени три различни по характер случаи. На графиките с τ_n е обозначено времето, което съответства на началния линейен участък на диаграмата, а с τ_0 периода на собствени колебания на образеца. Трите диаграми на фигурата разглеждат различни ситуации в зависимост от съотношението $\frac{\tau_n}{\tau_0}$.

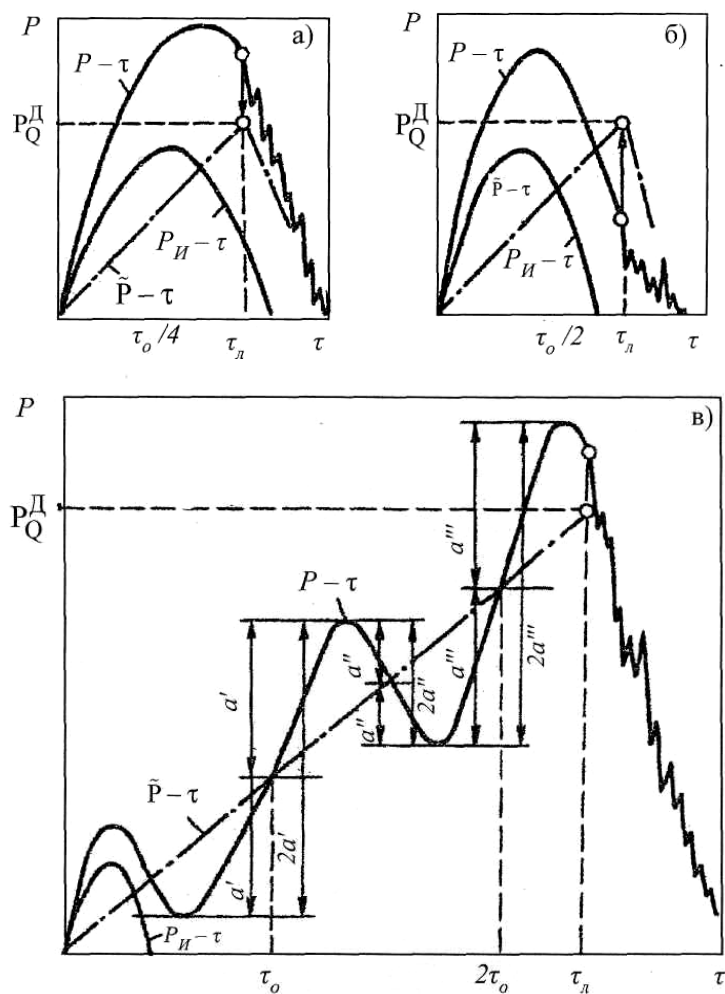
Фиг. 2а се отнася за значения на $\frac{\tau_n}{\tau_0} \leq 0,5$. В този случай разрушаването се фиксира в района на първата полувървна от колебанията на осцилограмата. Краят на началния линейен участък на диаграмата $\tilde{P}-\tau$, който се реализира за време t , определя значението P_Q^D , което се използва в последващите изчисления на K_{IC}^D .

Фиг. 2б разглежда случая, при който $0,5 < \frac{\tau_n}{\tau_0} < 0,75$, т.е. когато разрушаването се реализира непосредствено след първата полувървна на колебанията. Краят на линейния участък определя стойността на P_Q^D и времето τ_n .

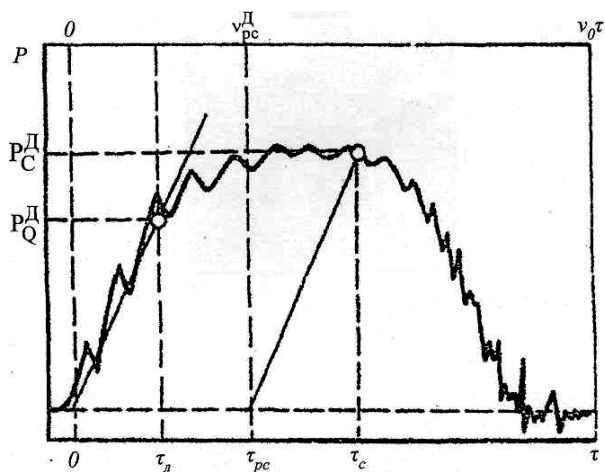
На фиг. 2в е показана ситуацията, когато $\frac{\tau_n}{\tau_0} \geq 0,75$. Тогава диаграмата $P-\tau$ се изглажда в своя начален участък чрез осредняване на колебанията. По този начин получаваме реалната диаграма $\tilde{P}-\tau$, крайт на началния линейен участък, на която определя времето τ_n и търсената сила P_Q^D .

На фиг. 3 е представен пример на най-често срещаните диаграми, записвани при изпитването на триточково огъване по метода на Шарпи, при който $\frac{\tau_n}{\tau_0} \geq 0,75$. В края на началния линейен участък на диаграмата, получен чрез усредняване на записаните осцилации, се определят параметрите τ_n и P_Q^D . На същата диаграма се фиксира и максималното усилие $P_Q^D \equiv P_{\max}^D$ и съответното време τ_c .

Определянето на характеристиките на механиката на разрушаването при динамично натоварване, такива като критичната стойност на коефициента на интензивност на напрежението при плоскодеформирано състояние K_{IC}^D , разтварянето във върха на пукнатината δ_C^D при максимално натоварване, критичната стойност на J-интеграла J_{IC}^D и предела на пукнатиноустойчивост I_C^D , се извършва по същите методики за изчисляване като при статичното натоварване. Да разгледаме накратко намирането на две от посочените характеристики - K_{IC}^D и I_C^D .



Фиг. 2. Схема, поясняваща обработката на осцилограмите „сила (P) - време (τ)“



Фиг. 3. Схема на осцилограмата „сила (P) - време (τ)“, получена при изпитване по метода на Шарпи

При изчисляване на K_{IC}^D , е необходимо от начало да се определи условната характеристика K_Q^D , след което да се провери, дали се изпълнява условието:

$$(1) \quad K_Q^D \equiv K_{IC}^D$$

За образца на фиг. 1 в величината K_Q^D се определя по формулата:

$$(2) \quad K_Q^D = \frac{P_Q^D L}{t \sqrt{b^3}} Y_4$$

За съотношението $\frac{L}{b} = 4$ тарировочната функция Y_4 се изчислява в съответствие със следната формула:

$$(3) \quad Y_4 = 1,93 - 3,07 \left(\frac{l}{b}\right) + 14,53 \left(\frac{l}{b}\right)^2 - 25,11 \left(\frac{l}{b}\right)^3 + 25,8 \left(\frac{l}{b}\right)^4$$

Значенията на Y_4 са дадени в таблица.

Таблица

l/b	0,000	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045
0,20	1,737	1,740	1,744	1,747	1,751	1,755	1,759	1,764	1,769	1,774
0,25	1,780	1,785	1,791	1,797	1,803	1,810	1,817	1,824	1,832	1,839
0,30	1,848	1,856	1,865	1,874	1,883	1,893	1,903	1,913	1,924	1,939
0,35	1,946	1,958	1,969	1,982	1,995	2,008	2,022	2,036	2,050	2,065
0,40	2,080	2,096	2,112	2,129	2,146	2,164	2,182	2,201	2,220	2,240
0,45	2,600	2,282	2,303	2,326	2,349	2,372	2,397	2,422	2,448	2,474
0,50	2,501	2,529	2,558	2,588	2,618	2,649	2,682	2,715	2,749	2,784
0,55	2,820	2,857	2,895	2,934	2,974	3,015	3,058	3,101	3,146	3,192
0,60	3,239									

За проверката на условието [1] е необходимо да се пресметне критичната дебелина $t_{кр}$ на образца по формулата:

$$t_{кр} = \beta_k \left(\frac{K_Q^D}{\sigma_{0,2}^D} \right)$$

където $\beta_k = 2,5$ за стомана, алуминиеви и титанови сплави. За чугуни $\beta_k = 0,6$. Границата на провлачане $\sigma_{0,2}^D$ се определя експериментално. За нисковъглеродни стомани $\sigma_{0,2} \leq 700 \text{ MPa}$, приблизително може да се приеме $\sigma_{0,2}^D = 2\sigma_{0,2}$. Смята се, че [1] се реализира, ако се изпълняват условията:

$$(5) \quad \left| \begin{array}{l} \frac{t_{кр}}{t} \leq 1 \\ \varphi_C = \frac{t - t_C}{t} \cdot 100 \leq 1,5 \\ P_C^D \leq 1,1 P_Q^D \end{array} \right.$$

където t е номиналната, а t_C е минималната дебелина в сечението на лома на разрушеният образец.

Ако условието (4.1) не се изпълнява, то е необходимо при изпитване да се използват образци с по-голяма дебелина l .

Пределът на пукнатиноустойчивост I_C по дефиниция се определя по формулите за K , като в тях силата P_Q^D се замества със значението $P_C^D = P_{\max}^D$.

Това е величина, която при наличието на значителни пластични деформации характеризира за дадения образец и дебелина на сечението, пределната пукнатиноустойчивост на материала в дименсиите на механиката на разрушаването. При това с настъпването на крехко състояние I_C преминава в K_{IC} .

В такъв случай, понеже $P_C^D = P_Q^D$, можем да запишем:

$$(6) \quad I_C^D \geq K_{IC}^D$$

Очевидно, определянето на характеристиките на механиката на разрушаване при динамично натоварване е една от най-сложните проблеми в областта на изпитването на материалите и за да се получат сравними резултати е необходимо много точно съблюдаване на стандарта. В това отношение пределът на пукнатиноустойчивост I_C^D , който се получава експериментално най-леко и достоверно, се явява, според нас, една твърде перспективна характеристика, която може да бъде използвана успешно при сравнителна оценка на динамичната пукнатиноустойчивост на материалите.

4. Литература:

1. ASTM E 339-83 Plane strain Fracture Toughness of Metallic Materials, 1985.
2. F r a n c o a s, D. and P i n e a u A., From Charpy to Present Impact Testing,ESIS 2002, 2002.
3. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностойкости) при динамическом нагружении, Москва, 1983.
4. Ударные испытания металлов, Москва, Мир, 1973.