7. Kruche pękanie

Do tej pory pracowaliśmy głównie z siłą, czyli oporem materiału przed odkształceniem. Teraz zajmiemy się wytrzymałością (ang. *toughness*, po polsku czasem nazywana "wiązkością"), czyli odpornością materiału na propagację pęknięć.

Wyobraźmy sobie sytuację, że w naszym rozciąganym materiale znajduje się niewielkie pęknięcie. Oczywiście, obecność pęknięcia w przekroju zmniejsza jego powierzchnię i automatycznie podnosi wartość panującego w nim naprężenia. Jeśli jednak założymy, że pęknięcie jest zaniedbywalnie małe z punktu widzenia powierzchni przekroju, to pozostają nam dwie możliwości - albo materiał będzie się zachowywał tak, jakby tego pęknięcia nie było, albo pęknięcie zacznie propagować i materiał ulegnie zerwaniu na długo przed tym, zanim naprężenie osiągnie wartość σ_y.

Obecność szczeliny w materiale zawsze będzie miała taki sam skutek - lokalnie będzie dochodziło do koncentracji naprężeń. Dla szczeliny o długości c i ostrym zakończeniu, będącej w materiale pod wpływem naprężenia σ, miejscowa wartość naprężenia w odległości r od jej końca wynosi:

$$\sigma_{local} = \sigma\left(1 + Y\sqrt{\frac{\pi c}{2\pi r}}\right) \qquad (7.1)$$

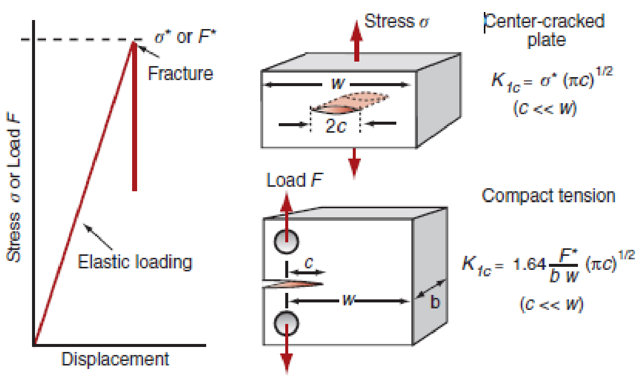
gdzie Y jest wartością stałą (z reguły bliską 1) zależną od geometrii szczeliny. Dla $r >> c$ naprężenia będą dążyły do σ, podczas gdy dla $r << c$:

$$\sigma_{local} = \sigma Y \frac{\sqrt{\pi c}}{\sqrt{2\pi r}} \qquad (7.2)$$

Pojawiający się w liczniku iloczyn definiujemy jako współczynnik intensywności naprężeń K_1:

$$K_1 = Y\sigma\sqrt{\pi c} \qquad (7.3)$$

W przypadku gdy wartość K_1 przekroczy wartość krytyczną, będziemy mieli do czynienia z propagacją pęknięcia. Wartość tą nazywamy krytycznym współczynnikiem intensywności naprężeń K_{1c}. Idea wyznaczania K_{1c} jest stosunkowo prosta - wprowadzamy do materiału szczelinę o określonej geometrii i poddajemy go obciążeniu, aż do momentu gdy ulegnie zerwaniu. Poniżej schematycznie przedstawiono dwa typowe warianty tego badania:



Rys. 7.1. Możliwe warianty wyznaczania wartości K_{1c}.

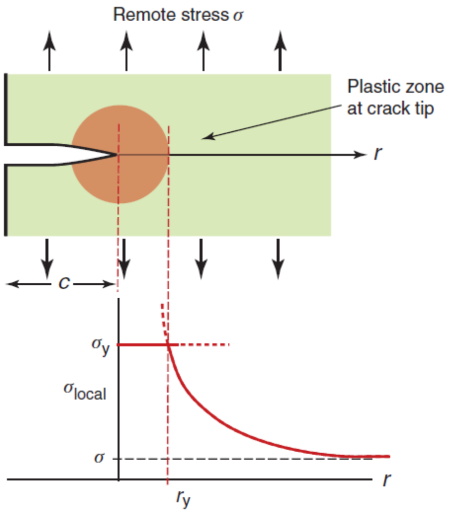
Gdy materiał o przekroju A ulega pęknięciu, powstają nam dwie nowe powierzchnie, o łącznej energii wynoszącej $2A\gamma$ (γ - energia powierzchniowa na jednostkę powierzchni). Oznacza to, że energia którą włożymy w nasz układ aby doprowadzić do zerwania, musi na jednostkę powierzchni być większa niż 2γ, co wyrażamy równaniem:

$$G \geq 2\gamma \tag{7.4}$$

gdzie G jest współczynnikiem uwalniania energii. Zazwyczaj faktyczna wartość energii dostarczonej do układu znacznie przekracza 2γ, przez co stosujemy odpowiednio wyskalowany krytyczny współczynnik uwalniania energii G_c, który możemy powiązać z wartością K_{1c}:

$$\frac{K_{1c}^2}{E} = G_c \tag{7.5}$$

Czynnikiem, który stanowi o tym, że współczynnik uwalniania energii jest zazwyczaj znacznie większy od energii tworzących się powierzchni, jest obecność pola oddziaływań wokół krawędzi naszej szczeliny. Są to albo oddziaływania plastyczne, albo tworzenie się mikrospękań, delaminacja - jednym słowem procesy, które pochłaniają dodatkową energię. Zgodnie z równaniem (7.1), naprężenia wokół czubka szczeliny maleją zgodnie z relacją $\sigma_{local} \sim (r)^{-1/2}$. Nie mogą jednak one w żadnym punkcie przekroczyć wartości σ_y, przez co powstaje nam pewien obszar, w którym naprężenie to utrzymuje się na stałym poziomie - jest to właśnie nasze pole oddziaływań.



Rys. 7.2. Obszar oddziaływań plastycznych wokół wierzchołka szczeliny.

W pierwszym przybliżeniu, moglibyśmy po prostu wyznaczyć jego zasięg r_y, poprzez rozwiązanie równania (7.1), jednak ze względu na dodatkowe procesy zachodzące w materiałach, w rzeczywistości ten zasięg jest większy i wynosi:

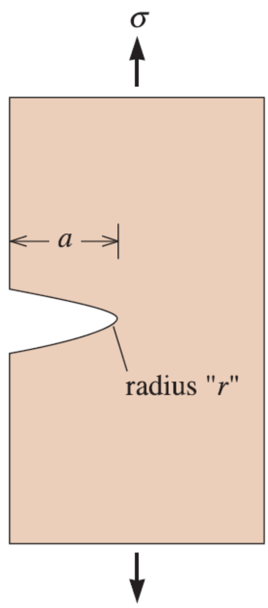
$$r_y = \frac{K_1^2}{\pi\sigma_y^2} \tag{7.6}$$

Wielkość tą możemy bezpośrednio powiązać z krytycznym rozmiarem szczeliny:

$$c_{crit} = \frac{K_{1c}^2}{\pi\sigma_y^2} \tag{7.7}$$

Omawiane przypadki odnosiły do sytuacji, gdy mieliśmy do czynienia ze szczeliną o "ostrym" końcu. W przypadku gdy jesteśmy w stanie określić minimalną krzywiznę występującą na końcu szczeliny, naprężenia maksymalne w tym punkcie możemy wyrazić jako:

$$\sigma_{local} = 2\sigma\sqrt{\frac{a}{r}} \tag{7.8}$$



Rys. 7.3. Przypadek szczeliny o zaokrąglonym końcu.