

ZMĘCZENIE MATERIAŁU POD KONTROLĄ

Mechanika pęknięcia

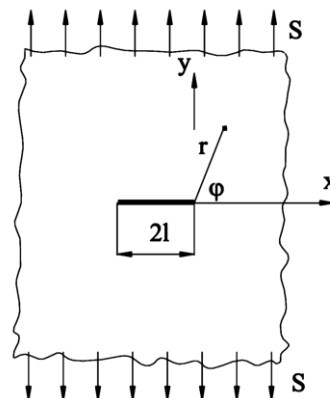
1. Dla nieograniczonej płyty stalowej ze szczeliną centralną o długości $l = 2$ [cm] i obciążonej naprężeniem $S = 120$ [MPa], wykonać wykres naprężeń σ_y w funkcji x na kierunku pęknięcia ($0 \leq x < \infty$), $y = 0$ dla I-go przypadku pęknięcia. Wykonać wykres przemieszczeń $U_y(x)$; ($-l \leq x \leq 0$) dla pęknięcia po przyłożeniu obciążenia.

$$U_y = \frac{K}{2G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} (\chi - \cos \Theta) \sin \frac{\Theta}{2}$$

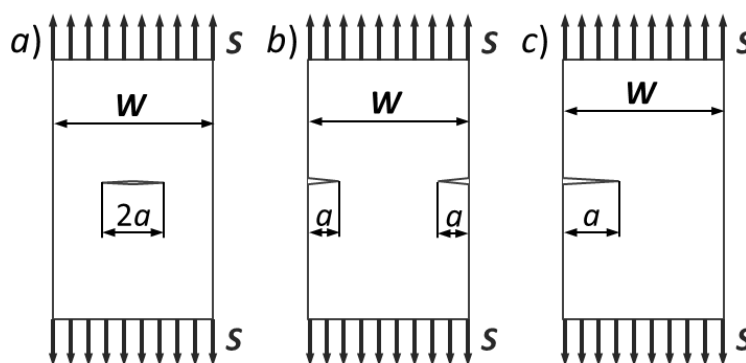
$$\chi = 3 - 4\nu \quad \text{– płaski stan odkształcenia}$$

$$\chi = \frac{3 - \nu}{1 - \nu} \quad \text{– płaski stan naprężenia}$$

ν – liczba Poissona

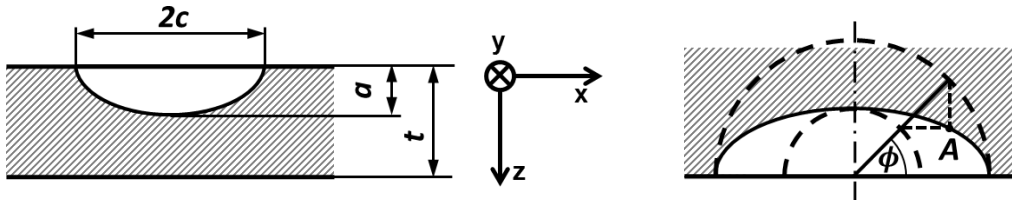


2. Współczynnik intensywności naprężeń dla elementów o skończonej geometrii określić można jako $K = FS\sqrt{\pi a}$. Wykorzystując wzory podane na wykładzie, wykreślić na zbiorczym wykresie zależność współczynnika korekcyjnego geometrii F w funkcji stosunku $\alpha = \frac{a}{W}$ dla trzech geometrii pęknięcia pokazanych na poniższych rysunkach.



3. Płyta z pęknięciem centralnym (wariant (a) na rysunku powyżej) o wymiarach: $b = 50$ mm, $t = 5$ mm oraz długość h rozciągana jest siłą $P = 50$ kN. Obliczyć wartość współczynnika intensywności naprężeń dla długości pęknięcia wynoszącej: $a_1 = 10$ mm oraz $a_2 = 30$ mm. Jaka jest krytyczna wartość długości pęknięcia a_c dla stopu aluminium 2014-T651 dla którego odporność na pęknięcie $K_{Ic} = 24 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$? Wykonać wykres K w funkcji a .

4. Zbiornik ciśnieniowy wykonany ze stali klasy ASTM A517-F posiada grubość ścianki $t = 50$ mm i pracuje w temperaturze pokojowej. Podczas okresowej kontroli w ścianie zbiornika wykryto pęknięcie o kształcie półeliptycznym pokazanym na rysunku o wymiarach $2c = 40$ mm, $a = 10$ mm. W obszarze wykrytego pęknięcia obliczono naprężenia bez uwzględnienia pęknięcia równe: $S_x = 150$ MPa, $S_y = 300$ MPa. Określić wartość współczynnika bezpieczeństwa na kruche pękanie. Czy konieczne jest wyłączenie zbiornika z eksploatacji w celu wykonania naprawy? Przyjąć $K_{Ic} = 187$ MPa \sqrt{m} , $R_e = 690$ MPa.



Potrzebne zależności¹:

$$K_{IA} = \lambda_s(\phi) \cdot S_y \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} f(\phi)$$

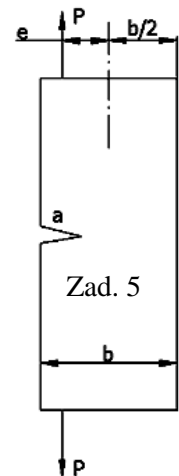
$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65}$$

$$\lambda_s = \left[1.13 - 0.09 \left(\frac{a}{c}\right)\right] [1 + 0.1(1 - \sin \phi)^2]$$

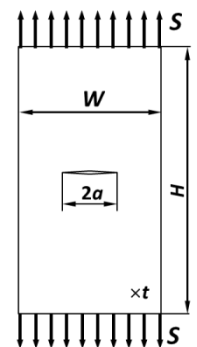
$$f(\phi) = \left[\sin^2(\phi) + \left(\frac{a}{c}\right)^2 \cdot \cos^2(\phi)\right]^{0.25}$$

$$K_{I_{max}} = K_I \left(\phi = \frac{\pi}{2}\right)$$

5. Określić wartość współczynnika intensywności naprężeń dla przypadku niesymetrycznego obciążenia płyty z pęknięciem krawędziowym jak na rysunku.

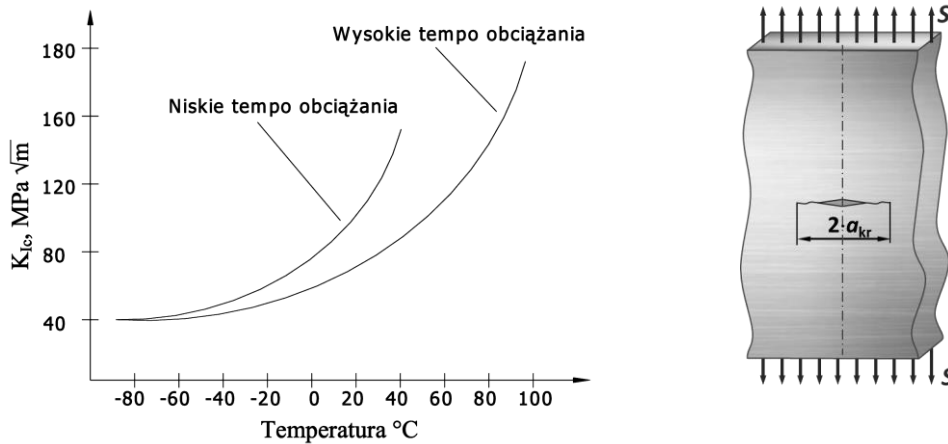


6. Płyta z pęknięciem centralnym o długości $2a$ i o wymiarach: szerokość $W = 100$ mm, wysokość $H = 200$ mm oraz grubość $t = 5$ mm obciążona została siłą $P = 50$ kN. Przyjmując długość pęknięcia $a = 10$ mm sprawdzić, czy dla rozważanego elementu prawdziwe są wzory LSMP (liniowo sprężystej mechaniki pęknięcia). Oszacować wymiary strefy plastycznej. Wykonać obliczenia przy powyższych założeniach przyjmując $a_c = 16,3$ mm, $R_e = 415$ MPa.



¹ Anderson L. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications.

7. Odporność na pękanie zmienia się z temperaturą oraz tempem obciążenia, co pokazano na rysunku dla stali o $R_e = 690$ MPa.



- określić maksymalny tolerowany wymiar pęknięcia dla wysokiego oraz niskiego tempa obciążenia w temperaturze pokojowej (20°C), gdy szeroka płytką z centralnym pęknięciem obciążona zostanie naprężeniem $S = 300$ MPa;
 - próbkę wykonaną z powyższej stali obciążano powoli w temperaturze pokojowej do naprężenia $S = 400$ MPa. W jakiej temperaturze obciążyć można szybko powyższą próbkę do tego samego naprężenia tak aby tolerowany był wymiar pęknięcia o tej samej wielkości?
 - czy stal ta może być wykorzystana w temperaturze -60°C przy naprężeniach $S = 280$ MPa w obecności pęknięcia o długości $2a = 25$ mm?
8. Zwartą rozciąganą próbkę zaprojektowano i badano zgodnie z PN-87/H-04335. Wartość funkcji a/W pokazano w tabelicy poniżej. Zmierzono siłę $P_Q = 36$ kN. Wymiary próbki wynosiły: $B = 25$ [mm], $W = 50$ [mm] oraz $a = 25$ [mm]. Próbkę wykonano ze stali, dla której $R_e = 276$ [MPa].

a/W	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55
$f(a/W)$	8,34	8,58	8,83	9,09	9,37	9,66	9,96	10,29	10,63	10,98	11,36

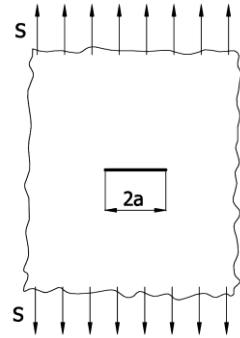
- przedyskutować ważność uzyskanej wartości odporności na pękanie K_{Ic} w świetle powyższej normy;
 - w przypadku nie spełnienia wymagań normy, przedyskutuj przy zastosowaniu jakiej procedury doprowadzić można powyższy test do ważności w celu uzyskania wartości odporności na pękanie dla płaskiego stanu odkształcenia;
9. Wartość współczynnika intensywności naprężeń dla płyty o szerokości W obciążonej jak na rysunku 1 obliczyć można z zależności:

$$K_I = \frac{S\sqrt{\pi a}}{\sqrt{\cos \frac{\pi a}{W}}}$$

- określić minimalną dozwoloną szerokość płyty W_{min} wykonanej z materiału, dla którego odporność na pękanie wynosi $K_{Ic} = 70$ $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$. Płytę obciążono naprężeniem o wartości $S = 200$ MPa, a pęknięcie ma długość $2a = 50$ mm;
- jakim naprężeniem obciążyć można płytę, gdy szerokość jej będzie bardzo duża?

10. Element o znacznej szerokości z pęknięciem centralnym wykonano z materiału, dla którego odporność na pękanie $K_{Ic} = 55 \text{ MPa}\sqrt{m}$ oraz $R_m = 690 \text{ MPa}$. Zakładając możliwość wystąpienia pęknięcia elementu na wskroś określić zależność pomiędzy naprężeniem (S) oraz długością pęknięcia (a). Obliczenia zilustrować rysunkiem. Wykreślić zależność pomiędzy naprężeniem dopuszczalnym a długością pęknięcia $S_{dop}(a)$ przyjmując współczynnik bezpieczeństwa równy 2 (dla R_m oraz dla K_{Ic}).

11. W blasze poszycia samolotu wykonanego ze stopu aluminium o symbolu PA7 stwierdzono pęknięcie o długości $2a = 3 \text{ mm}$. Stałe do wzoru Parisa uzyskane dla powyższego materiału przy współczynniku asymetrii cyklu $R=0$ wynoszą: $m = 4$, $C = 2,9 \cdot 10^{-11}$ (dla $da/dN \text{ m/cykl}$, $\Delta K \text{ MPa}$), odporność na pękanie $K_{Ic} = 60 \text{ MPa}$. Przyjmując, że blacha poszycia pracuje jak nieograniczona płyta z pęknięciem centralnym poddana obciążeniom sinusoidalnym w zakresie $\sigma_{min}=0$, $\sigma_{max}=120 \text{ MPa}$ określić trwałość konstrukcji do momentu zniszczenia.



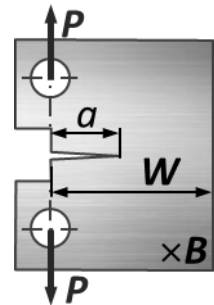
Wykonać wykres $a(N)$ (krzywa wzrostu pęknięcia).

12. Pokazaną na rysunku próbkę zwartą $C(T)$ wykonaną ze stali zgodnie z normami PN/H-04333 oraz ASTM E 647, poddano badaniu rozwoju pęknięcia zmęczeniowego przy obciążeniu stałoamplitudowym o współczynniku asymetrii cyklu $R=0.1$ i maksymalnej sile $P_{max}=80 \text{ kN}$. Szerokość próbki $W=100 \text{ mm}$, grubość $B=8 \text{ mm}$, początkowa długość pęknięcia $a_0=26 \text{ mm}$. Uzyskane wyniki badań zestawiono w tabeli:

c.d.

Lp.	Liczba cykli N (tyś.)	Długość pęknięcia a (mm)
0	0	26.00
1	17	26.28
2	43	26.74
3	65	27.11
4	80	27.41
5	105	27.89
6	120	28.17
7	155	28.95
8	195	29.80
9	220	30.32
10	235	30.65

Lp.	N (tyś.)	a (mm)
11	265	31.36
12	290	32.02
13	325	33.00
14	355	33.81
15	385	34.71
16	400	35.22
17	430	36.22
18	450	36.98
19	485	38.29
20	500	38.93
21	525	39.98



Wykreślić zależność $a-N$ oraz w skali podwójnie logarytmicznej zależność $da/dN-\Delta K$. Zgodnie z przytoczonymi normami, wartość współczynnika intensywności naprężeń obliczyć ze wzoru:

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B\sqrt{W}} \frac{\left(2 + \frac{a_{av}}{W}\right)}{\left(1 - \frac{a_{av}}{W}\right)^{3/2}} \left(0.886 + 4.64 \left(\frac{a_{av}}{W}\right) - 13.32 \left(\frac{a_{av}}{W}\right)^2 + 14.72 \left(\frac{a_{av}}{W}\right)^3 - 5.6 \left(\frac{a_{av}}{W}\right)^4\right)$$

gdzie a_{av} jest średnią arytmetyczną długości pęknięcia z dwóch kolejnych pomiarów. Oszacować wartości stałych materiałowych C i m do prawa Parisa.

13. Szeroka płyta z pęknięciem centralnym o długości $2a_0 = 3$ mm wykorzystywana jest w środowisku wody morskiej. Dla materiału tego w słonej wodzie uzyskano następujące dane laboratoryjne: $K_{Ic} = 70 \text{ MPa}\sqrt{m}$, $m = 3$, $C = 2,82 \cdot 10^{-12}$ (gdy da/dN w m/cykl, ΔK w $\text{MPa}\sqrt{m}$). Określić, po jakiej liczbie cykli płyta ulegnie zniszczeniu, jeśli obciążona zostanie naprężeniami o zakresie $\Delta S = 210 \text{ MPa}$ przy $R = 0$.

