ZMĘCZENIE MATERIAŁU POD KONTROLĄ

Mechanika pękania

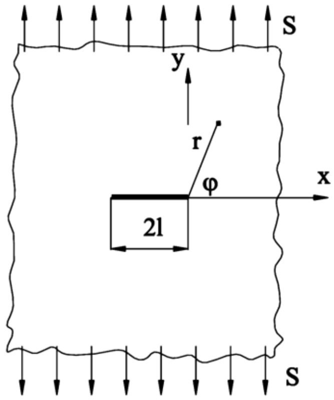
MP-1. Dla nieograniczonej płyty stalowej ze szczeliną centralną o długości l = 2 [cm] i obciążonej naprężeniem S = 120 [MPa], wykonać wykres naprężeń σ_y w funkcji x na kierunku pęknięcia ($0 \leq x < \infty$), y = 0 dla I-go przypadku pękania. Wykonać wykres przemieszczeń $U_y(x)$; ($-l \leq x \leq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

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

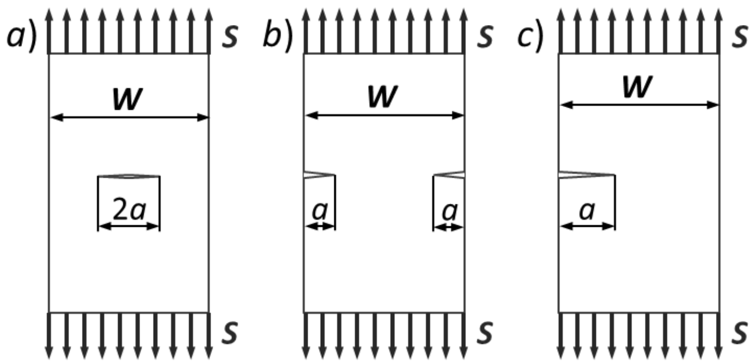
$\chi = 3 - 4\nu$ – płaski stan odkształcenia

$\chi = \dfrac{3-\nu}{1-\nu}$ – płaski stan naprężenia

ν – liczba Poissona

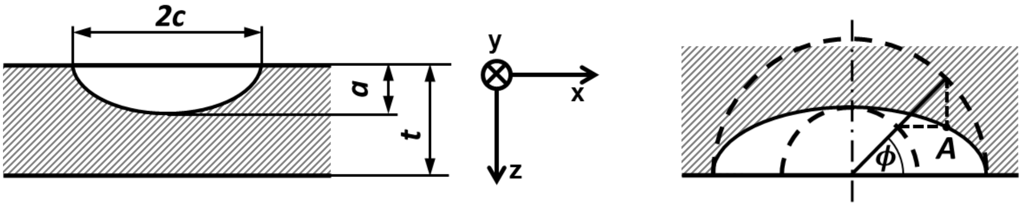


MP-2. Współczynnik intensywności naprężeń dla elementów o skończonej geometrii określić można jako $K = FS\sqrt{\pi a}$.
Wykorzystując wzory podane na wykładzie, wykreślić na zbiorczym wykresie zależność współczynnika korekcyjnego geometrii F w funkcji stosunku $\alpha = \dfrac{a}{W}$ dla trzech geometrii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



MP-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 pękanie $K_{Ic} = 24\ MPa\sqrt{m}$? Wykonać wykres K w funkcji a.

MP-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 ściance 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 zależności[1]:

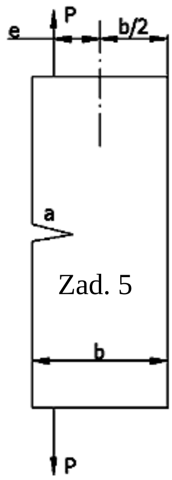
$$K_{IA} = \lambda_s(\phi) \cdot S_y \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} f(\phi)$$

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

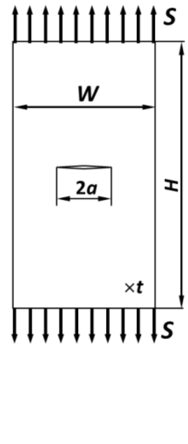
$$\lambda_s = \left[1.13 - 0.09 \left(\frac{a}{c}\right)\right] [1 + 0.1(1 - \sin\phi)^2]$$

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

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



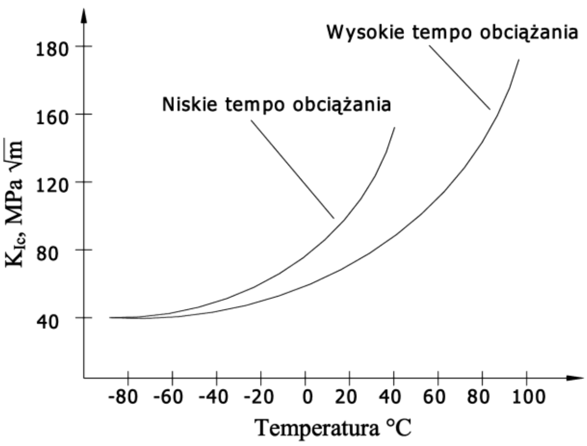
MP-5. Określić wartość współczynnika intensywności naprężeń dla przypadku niesymetrycznego obciążenia płyty z pęknięciem krawędziowym jak na rysunku.

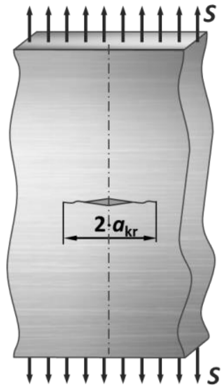


MP-6. Płyta z pęknięciem centralnym o długości $2a$ i o wymiarach: szerokość W = 100 mm, wysokość H = 200 mm oraz grubość t = 5 mm obciążona została siłą P = 50 kN. Przyjmując długość pęknięcia a = 10 mm sprawdzić, czy dla rozważanego elementu prawdziwe są wzory LSMP (liniowo sprężystej mechaniki pękania). 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.

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





a) określić maksymalny tolerowany wymiar pęknięcia dla wysokiego oraz niskiego tempa obciążenia w temperaturze pokojowej (20 °C), gdy szeroka płytka z centralnym pęknięciem obciążona zostanie naprężeniem S = 300 MPa;
b) 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?
c) czy stal ta może być wykorzystana w temperaturze –60 °C przy naprężeniach S = 280 MPa w obecności pęknięcia o długości $2a$ = 25 mm?

MP-8. Zwartą rozciąganą próbkę zaprojektowano i badano zgodnie z PN-87/H-04335. Wartość funkcji a/w pokazano w tablicy 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

a) przedyskutować ważność uzyskanej wartości odporności na pękanie K_{Ic} w świetle powyższej normy;
b) 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;

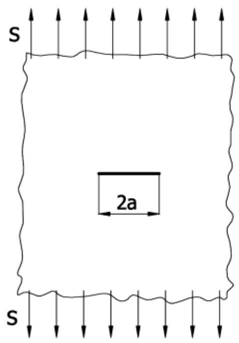
MP-9. Wartość współczynnika intensywności naprężeń dla płyty o szerokości W obciążonej jak na rysunku 1 obliczyć można z zależności:

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

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

MP-10. Element o znacznej szerokości z pęknięciem centralnym wykonano z materiału, dla którego odporność na pękanie K_{Ic} = 55 MPa$\sqrt{m}$ oraz R_m = 690 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 $\boldsymbol{S_{dop}(a)}$ przyjmując współczynnik bezpieczeństwa równy 2 (dla $\boldsymbol{R_m}$ oraz dla $\boldsymbol{K_{Ic}}$).

MP-11. W blasze poszycia samolotu wykonanego ze stopu aluminium o symbolu PA7 stwierdzono pęknięcie o długości $2a$ = 3 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 m/cykl, ΔK MPa), odporność na pękanie K_{Ic}= 60 MPa. Przyjmując, że blacha poszycia pracuje jak nieograniczona płyta z pęknięciem centralnym poddana obciążeniom sinusoidalnym w zakresie σ_{min}=0, σ_{max}=120 MPa określić trwałość konstrukcji do momentu zniszczenia.
Wykonać wykres $a(N)$ (krzywa wzrostu pęknięcia).

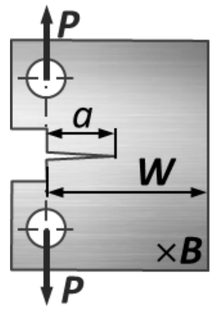


MP-12. Pokazaną na rysunku próbkę zwartą $C(T)$ wykonaną ze stali zgodnie z normami PN/H-04333 oraz ASTM E 647, poddano badaniu rozwoju pęknięcia zmęczeniowego przy obciążeniu stałoamplitudowym o współczynniku asymetrii cyklu R=0.1 i maksymalnej sile P_{max}=80 kN. Szerokość próbki W=100 mm, grubość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

Lp.	Liczba cykli $\boldsymbol{N}$ (tyś.)	Długość pęknięcia $\boldsymbol{a}$ (mm)
0	0	26.00
1	43	26.74
2	105	27.89
3	155	28.95
4	195	29.80
5	235	30.65
6	265	31.36
7	325	33.00
8	355	33.81
9	400	35.22

c.d.

Lp.	$\boldsymbol{N}$ (tyś.)	$\boldsymbol{a}$ (mm)
10	430	36.22
11	485	38.29
12	525	39.98
13	550	41.18
14	572	42.34
15	605	44.25
16	635	46.42
17	665	49.06
18	675	50.08
19	685	51.19



Wykreślić zależność a–N oraz w skali podwójnie logarytmicznej zależność da/dN–ΔK. Zgodnie z przytoczonymi normami, wartość współczynnika intensywności naprężeń obliczyć ze wzoru:

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

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

MP-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: $K_{Ic} = 70\ \text{MPa}\sqrt{m}$, $m = 3$, $C = 2{,}82\cdot10^{-12}$ (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 ΔS = 210 MPa przy R = 0.