

ZMĘCZENIE MATERIAŁU POD KONTROLĄ

Metoda odkształcenia lokalnego

EN-1. Krzywa S-N elementu konstrukcyjnego pracującego przy obciążeniach zginających o współczynniku działania karbu $k_f=2.3$ ma równanie:

$$S_{ar} = 1100 \cdot N_f^{-0.118} \text{ MPa, ważne dla } 10^3 \leq N_f \leq 10^6 \text{ w przypadku cyklu wahadłowego.}$$

Element ten ma być poddany w eksploatacji $N=5000$ cykli o amplitudzie nominalnego naprężenia zginającego $S_a=210$ MPa i nominalnym naprężeniu średnim $S_m=150$ MPa.

Wyznaczyć współczynniki bezpieczeństwa:

- w trwałościach
- w naprężeniach.

W obu przypadkach obliczenia zinterpretować graficznie na wykresie $S_{ar} - N_f$.

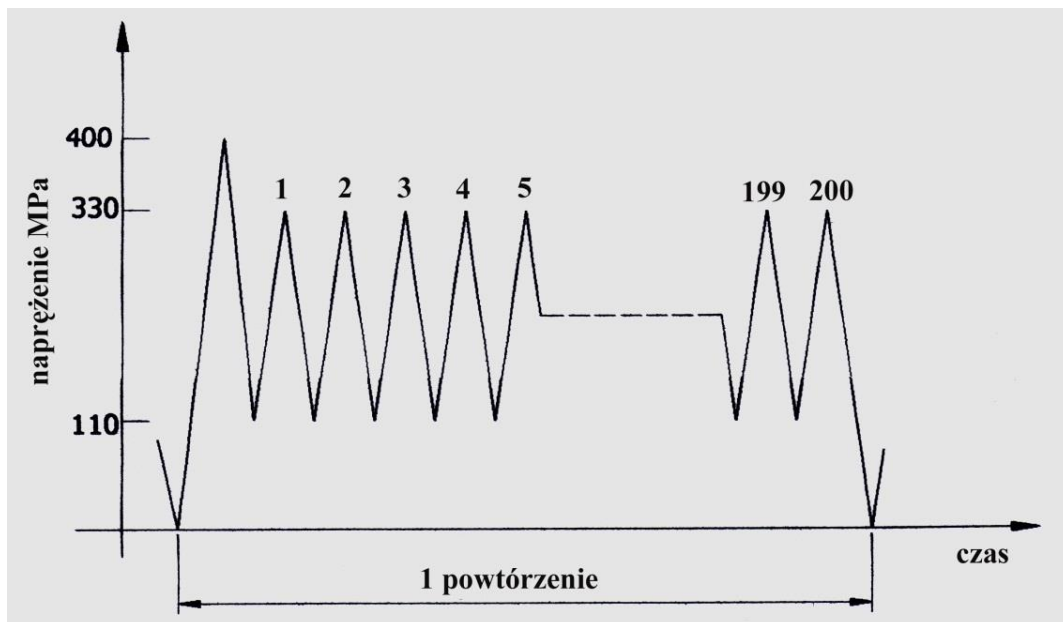
Dane materiałowe: $R_e=1103$ MPa, $R_m=1172$ MPa.

EN-2. Krzywa S-N elementu konstrukcyjnego pracującego w cyklu wahadłowym przy obciążeniach zginających o współczynniku działania karbu $k_f=2,3$ ma równanie:

$$S_{ar} = 1100 \cdot N_f^{-0.118} \text{ MPa, ważne dla } 10^3 \leq N_f \leq 10^6.$$

Dane materiałowe: $R_e=1103$ MPa, $R_m=1172$ MPa

Element poddany jest w eksploatacji wielokrotnie powtarzalnej historii nominalnych naprężeń zginających pokazanej na rysunku.



a) określić jaka liczba powtórzeń spowoduje zniszczenie zmęczeniowe elementu;

b) w eksploatacji elementu historia ta ma być powtórzona 1000 razy przy współczynnikach bezpieczeństwa: 10 w trwałościach i 1,5 w naprężeniach. Czy te współczynniki są zachowane? Jeśli nie, to jak należy przeskalować eksploatacyjną historię naprężenia (tzn. przez jaki współczynnik należy pomnożyć wartość naprężeń), by element mógł pracować przez 1000 jej powtórzeń ?

EN-3. Dobrać parametry równania Mansona-Coffina $\left(\varepsilon_a = \varepsilon_{ae} + \varepsilon_{ap} = \frac{\sigma_f'}{E}(2N_f)^b + \varepsilon_f'(2N_f)^c \right)$

w oparciu o przedstawione poniżej wyniki badań zmęczeniowych przeprowadzonych w myśl normy E-739 (PN-84/H-04334) na próbkach ze znormalizowanej stali **SAE 1015**. Zilustrować na wspólnym wykresie (w skali podwójnie logarytmicznej) wyznaczone zależności: $\varepsilon_{ae} = f(2N_f)$, $\varepsilon_{ap} = f(2N_f)$, oraz $\varepsilon_a = f(2N_f)$ na tle zadanych wyników badań zmęczeniowych. Obliczyć parametry materiałowe n' oraz H' wg zależności: 7.8a, 7.8b (wykład 7: Metoda odkształcenia lokalnego) i porównać je z parametrami wyznaczonymi w zadaniu 6 – Problemy do wykładu 3 (wyznaczanie cyklicznej krzywej odkształcenia dla stali SEA 1015).

Lp.	ε_a	σ_a (MPa)	$2N_f$
1	1.47079E-02	372.5	1.1200E+03
2	1.02091E-02	337.6	1.8600E+03
3	8.29462E-03	318.7	2.6400E+03
4	6.43158E-03	296.6	5.3500E+03
5	5.13067E-03	277.4	8.5000E+03
6	4.62244E-03	268.8	9.3750E+03
7	3.38821E-03	243.8	2.1600E+04
8	2.53891E-03	221.0	3.7000E+04
9	2.16808E-03	208.7	5.6000E+04
10	1.94805E-03	200.4	7.6800E+04
11	1.79806E-03	194.2	1.1500E+05
12	1.42441E-03	176.2	1.7000E+05
13	1.08455E-03	154.8	4.5000E+05
14	9.56591E-04	145.0	7.5000E+05
15	9.04016E-04	140.5	1.0750E+06
16	7.67111E-04	127.5	2.3335E+06
17	6.60758E-04	115.7	3.8000E+06
18	6.09051E-04	109.4	5.5500E+06
19	5.76126E-04	105.0	7.1000E+06
20	5.52455E-04	101.8	1.1500E+07

gdzie:

ε_a - amplituda całkowitego odkształcenia

σ_a - amplituda naprężenia

N_f - liczba cykli do zniszczenia

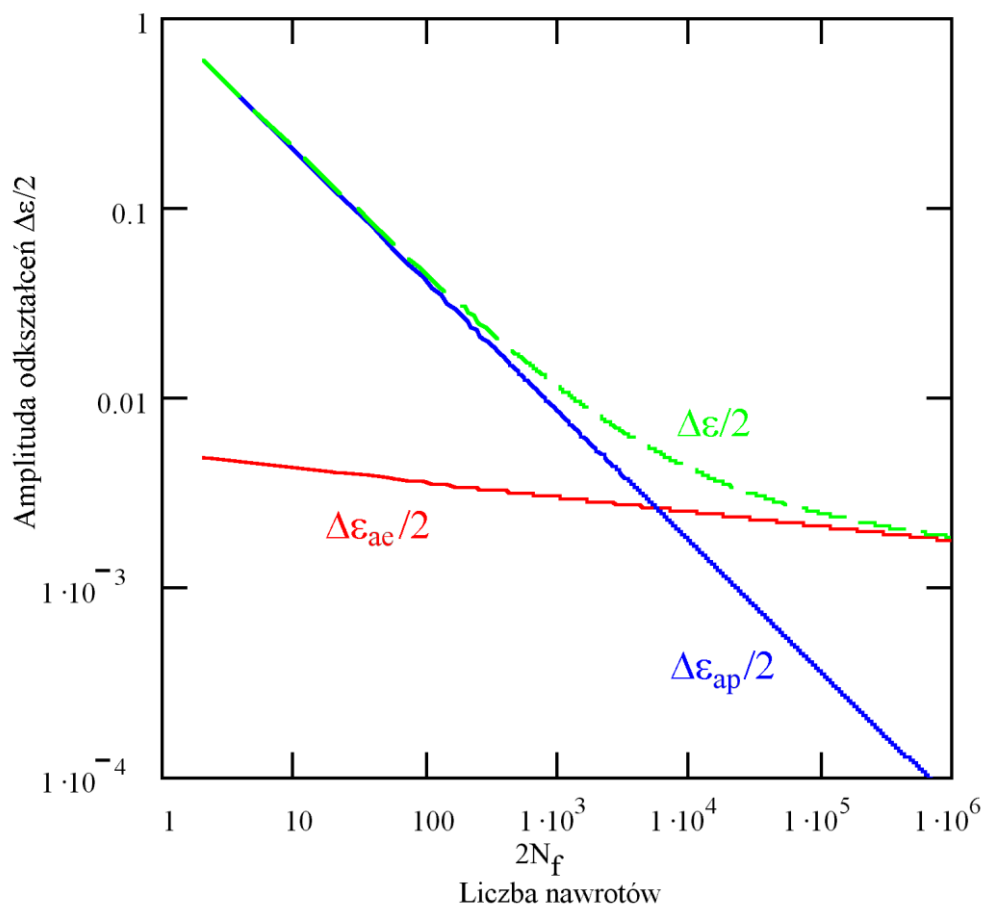
Moduł Younga: $E = 206\ 000$ MPa

EN-4. Na rysunku przedstawiono graficzną interpretację wzoru Coffina – Mansona dla pewnej stali, dla której $E=2,05 \cdot 10^5$ MPa

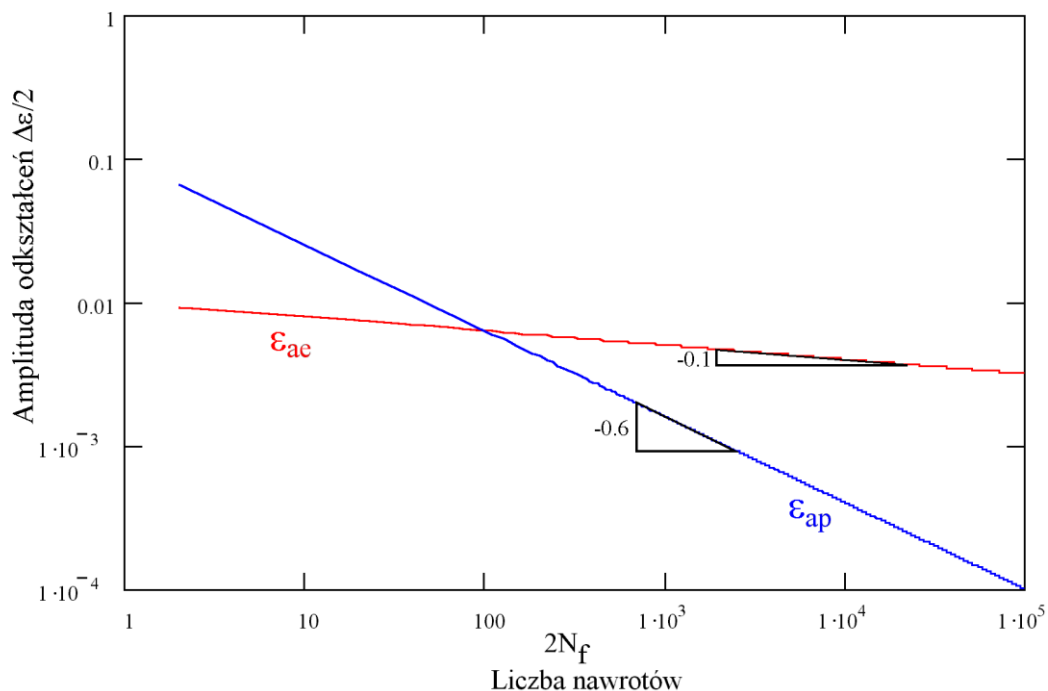
- przyporządkować linii $\Delta\varepsilon_{ap}/2-2N_f$ odpowiednie równanie
- przyporządkować linii $\Delta\varepsilon_{ae}/2-2N_f$ odpowiednie równanie
- przyporządkować linii $\Delta\varepsilon_a/2-2N_f$ odpowiednie równanie
- podać zależność na σ_a lub $\Delta\sigma/2$ w funkcji $2N_f$

Przedstawić na rysunku, oraz określić wartości następujących wielkości:

- współczynnika cyklicznych odkształceń plastycznych ε'_f
- wykładnika cyklicznych odkształceń plastycznych c
- współczynnika wytrzymałości zmęczeniowej σ'_f
- wykładnika wytrzymałości zmęczeniowej b
- prześciowej trwałości zmęczeniowej $2N_t$
- wykładnika cyklicznego umocnienia n'



EN-5. Wykresy odkształceń sprężystych i plastycznych dla hartowanej stali **105** wykreślono na rysunku.



- Naszkieować sumaryczną krzywą amplitudy odkształceń $\Delta\epsilon/2$ w funkcji trwałości $2N_f$ oraz zapisz ilościowe równanie dla tej krzywej.
- Określić wartość przejściowej trwałości zmęczeniowej i odpowiadającej jej amplitudy odkształceń.
- Element wykonany z tej stali poddany wysokim odkształceniom uległ zniszczeniu podczas pracy po około 50 nawrotach obciążenia. Co można zrobić, jeśli chodzi o własności zmęczeniowe materiału, aby podwyższyć trwałości elementu, oraz jaki proces należałoby zastosować w celu uzyskania tych własności?
- W innych warunkach pracy zmęczenie wystąpiło po około jednym milionie nawrotów obciążenia. Zaproponować sposób podwyższenia trwałości zmęczeniowej w tych okolicznościach.

EN-6. Dane są dwa materiały:

- I Stal SAE 1015 normalizowana, o twardości 80 HB
 II Stal SAE 4142 hartowana i odpuszczana (260°), o twardości 450 HB

Dla stali tych własności monotoniczne i cykliczne zestawiono w poniższej tabeli:

Własności monotoniczne			Własności cykliczne		
Symbol	Stal SAE 1015	Stal SAE 4142	Symbol	Stal SAE 1015	Stal SAE 4142
E (MPa)	$2,06 \cdot 10^5$	$2,07 \cdot 10^5$	n'	0,24	0,12
$R_{e0,2}$ (MPa)	228	1584	H' (MPa)	1058	2080
R_m (MPa)	414	1757	σ_f' (MPa)	976	1937
q (%) przewężenie	68	42	ϵ_f'	0,76	0,706
σ_f (MPa)	725	1998	b	-0,14	-0,076
ϵ_f	1,14	0,71	c	-0,59	-0,87
n	0,26	0,047	$2N_{tr}$	79527	231

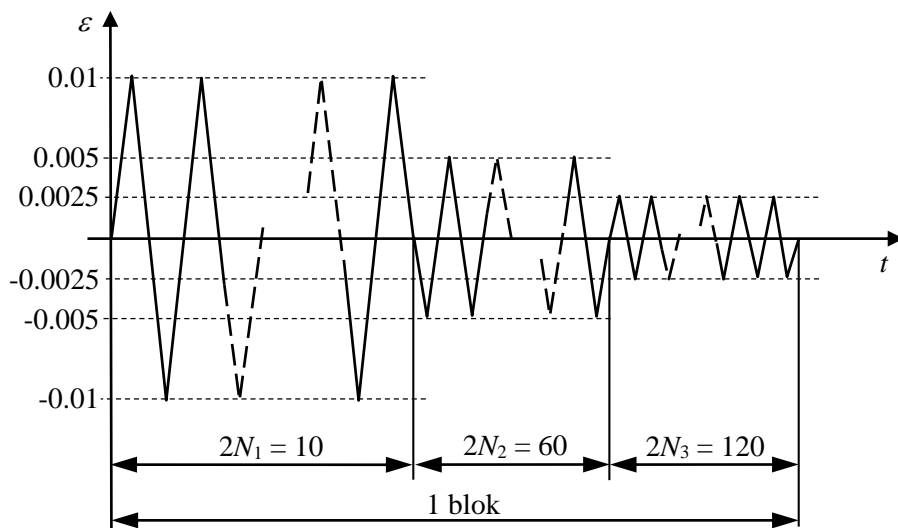
- Wykorzystując powyższe własności wykreślić dla obu materiałów wykresy $\epsilon_a - 2N$ w układzie podwójnie logarytmicznym.
- Który z materiałów jest bardziej odporny na zniszczenie niskocyklowe, a który na zniszczenie wysokocyklowe?
- Który z materiałów cyklicznie umacnia się, a który cyklicznie osłabia?
- Który z materiałów i dlaczego będzie bardziej czuły na zjawisko karbu? Odpowiedź uzasadnić wykorzystując równanie Petersona.
- Wykreślić na wspólnym wykresie rzeczywiste monotoniczne krzywe rozciągania i cykliczne krzywe odkształcenia obu materiałów. Który z materiałów i dlaczego będzie łatwiejszy do formowania?

EN-7. Pewien metal posiada następujące własności monotoniczne:

$$E=0,7 \cdot 10^5 \text{ MPa}; R_m=483 \text{ MPa}; \sigma_f=828 \text{ MPa}; \epsilon_f=1,0; n=0,25.$$

- Czy metal ten wykaże własności wskazujące na umocnienie czy osłabienie, jeżeli poddany zostanie powtarzalnym naprężeniom cyklicznym?
- Obliczyć odkształcenia osiągnięte w pierwszym półcyklu obciążenia dla naprężeń $\sigma_a = \pm 280 \text{ MPa}$.
- Oszacować stabilną wartość odkształceń plastycznych dla $\sigma_a = \pm 280 \text{ MPa}$, przyjmując: $n' = 0,15$, $\sigma_f' \cong \sigma_f$, $\epsilon_f' \cong \epsilon_f$.
- Oszacować trwałość zmęczeniową dla obciążeń $\sigma_a = \pm 280 \text{ MPa}$, przyjmując $c = -0,6$.
- Który z materiałów i dlaczego będzie łatwiejszy do formowania?

EN-8. Dla przedstawionej poniżej historii odkształcenia, wykorzystując wykresy $\epsilon_a - 2N_f$ wykonane dla stali **SAE 1015** i **SAE 4142** (zadanie 4), określić liczbę bloków obciążeń do zniszczenia dla każdego z tych materiałów, przy zastosowaniu hipotezy kumulacji uszkodzeń Palmgrena – Minera.



EN-9. Przy danych z przykładu w p. 7.5 i tabeli 7.1 (wykład nr 7) wyznaczyć trwałość korzystając z równania (7.19) posługując się metodą Newtona. Porównać wynik z otrzymanym w rozdziale 7.5.

EN-10. ¹Student został skazany na długoletnie więzienie za spanie na wykładzie ze Zmęczenia Materiałów pod Kontrolą. Osadzono go w celi po więźniu, który niedawno uciekł. Zbiegłemu więźniowi udało się złamać jeden z prętów w celi przez wyginanie go w jedną i drugą stronę, póki nie nastąpiło zmęczeniowe zniszczenie. Wyginał on wybrany pręt 1000 razy na dzień (1000 cykli = 2000 nawrotów w jedną stronę). Upłynęło tak niestety 20 lat, póki trwałość zmęczeniowa nie została przekroczona, po czym złamany pręt został wymieniony na identyczny pręt nowy. Nowy więzień także postanowił uciec, lecz chciał być w domu na Święta Bożego Narodzenia. Przypomniał sobie z wykładu ze Zmęczenia Materiałów pod Kontrolą (to był ten fragment zanim usnął), że karby przyspieszają zmęczeniowe zniszczenie. Zdecydował więc naciąć karb na jednym z prętów w celi. W *Podręczniku Użytecznych Informacji dla Skazańców* wyczytał, że współczynnik działania karbu dla nacięcia w stalowym pręcie wynosi $0.7874 \cdot x$, gdzie x jest głębokością karbu zmierzoną w mm. Zanotował także, że stalowy pręt w celi ma następujące właściwości zmęczeniowe: $b = -0.1$, $c = -0.5$, $\sigma_f = 1380$ MPa, $E = 2.06 \cdot 10^5$ MPa, $\epsilon'_f = 0.5$.

- Jaka musi być minimalna głębokość karbu, by pręt mógł być złamany w przeciągu dwóch tygodni, przy założeniu, że nowy więzień będzie wyginał pręt w taki sam sposób jak poprzednik (z taką samą siłą i w takim samym tempie) i że nowy pręt wykonany jest z materiału o identycznych właściwościach, co oryginalny?
- Dla wypełnienia czasu w trakcie wyginania pręta więzień postanowił opisać równaniem cykliczną krzywą odkształcenia męczonego materiału. Podać to równanie.
- Określić trwałość przejściową N_{Tr} materiału pręta

¹ Alten F. Grandt Jr. Fundamentals of Structural Integrity: Damage Tolerant Design and Nondestructive Evaluation

EN-11. ¹W futbolu amerykańskim, szczególnie na poziomie akademickim, często praktykowanym, choć niebezpiecznym zwyczajem jest łamanie przez kibiców słupków bramki po zwycięskim meczu swojej drużyny. Po kilkukrotnych nieudanych tego typu próbach, sfrustrowana niepowodzeniem grupa studentów postanowiła naciąć na słupkach karby, by przyspieszyć nukleację pęknięć zmęczeniowych w trakcie wyginania słupków bramki w jedną i w drugą stronę po kolejnym zwycięskim meczu. Na podstawie testu w pełnej skali, wykonanym na słupku z naciętym karbem ustalili, że 10 studentów może wywołać taką nominalną amplitudę naprężenia S_a ($R = S_{\min}/S_{\max} = -1$), przy której dezintegracja słupka nastąpi po 10 000 000 cykli obciążenia. Ponieważ studenci wątpili, by ochrona obiektu pozwoliła im pozostać na boisku przez odpowiednio długi czas, a też pragnęli powrócić do nauki rychło po meczu, postanowiono zaangażować do tej misji więcej studentów, by dzięki wyższym cyklicznym naprężeniom przyspieszyć zmęczeniowe zniszczenie słupka. Ilu studentów będzie potrzebnych by wywołać zmęczeniowe zniszczenie słupka po 100 nawrotach (tj. 50 cyklach) obciążenia?

Założyć przy tym, że:

- słupki wykonano z materiału o następujących własnościach: moduł Younga $E = 6.9 \cdot 10^4$ MPa, współczynnik wytrzymałości zmęczeniowej $\sigma'_f = 690$ MPa, wykładnik wytrzymałości zmęczeniowej $b = -0.07$, współczynnik ciągliwości zmęczeniowej $\epsilon'_f = 0.6$, wykładnik ciągliwości zmęczeniowej $c = -0.6$.
- generowana amplituda naprężenia nominalnego jest wprost proporcjonalna do liczby studentów trzęsących bramką.
- na słupku badanych i słupach na boisku wykonane zostały identyczne karby.



¹ Alten F. Grandt Jr. Fundamentals of Structural Integrity: Damage Tolerant Design and Nondestructive Evaluation