



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Integralność konstrukcji

Wykład Nr 5

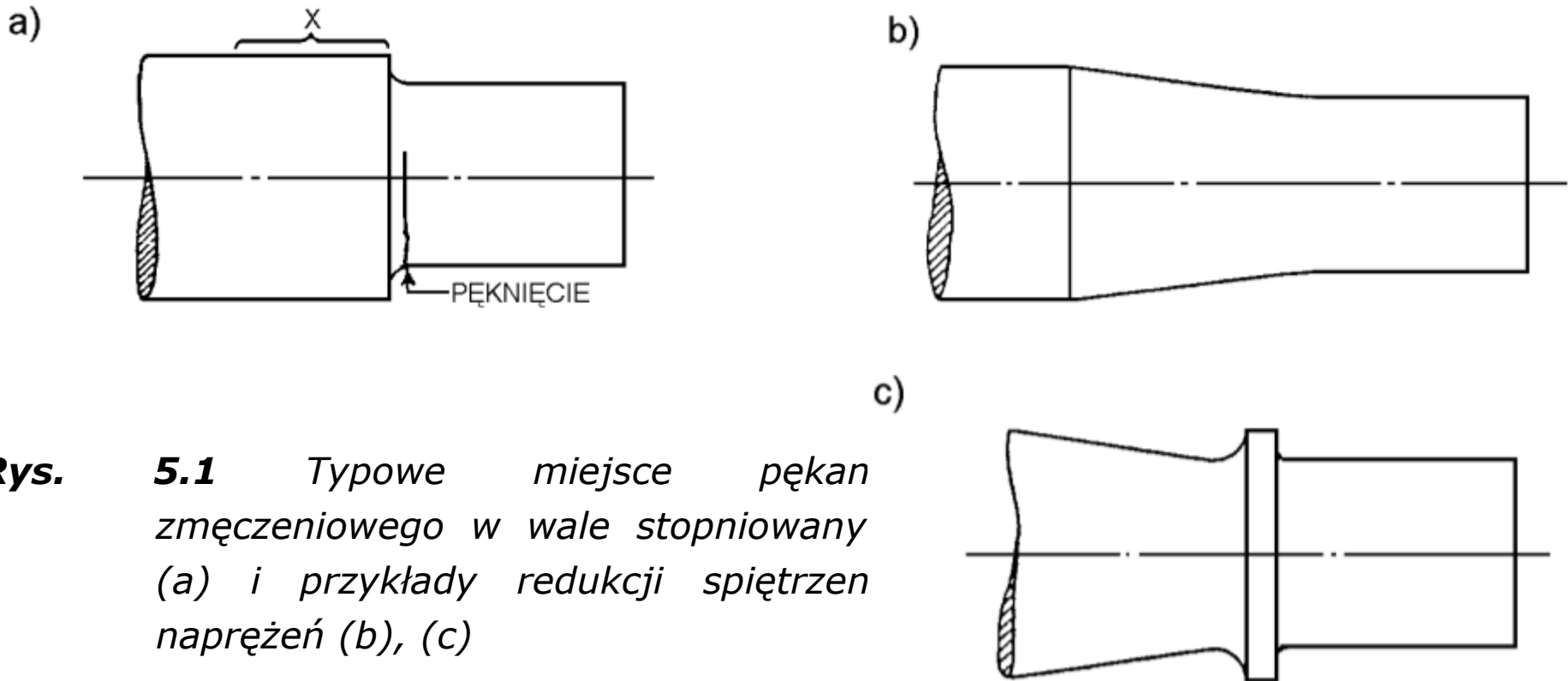
PROJEKTOWANIE W CELU UNIKNIĘCIA ZMĘCZENIOWEGO

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Wytrzymałości, Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji

<http://zwmik.imir.agh.edu.pl/Dydaktyka/IMIR/index.htm>

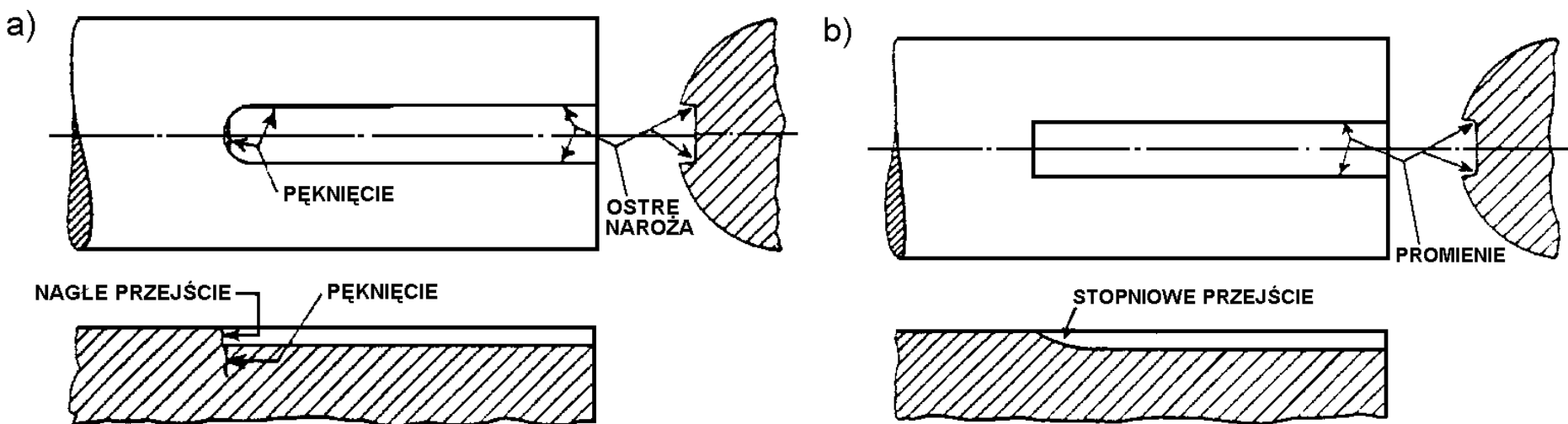
5.1. KSZTAŁTOWANIE ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH

- a) Zmniejszenie wrażliwości na korb q (patrz równanie 4.19) przez odpowiedni dobór parametrów geometrycznych w celu minimalizacji współczynnika kształtu (koncentracji naprężeń) k_t , por. rys. 4.15, 4.22, 4.23 i przykłady na rys. 5.1 - 5.3.



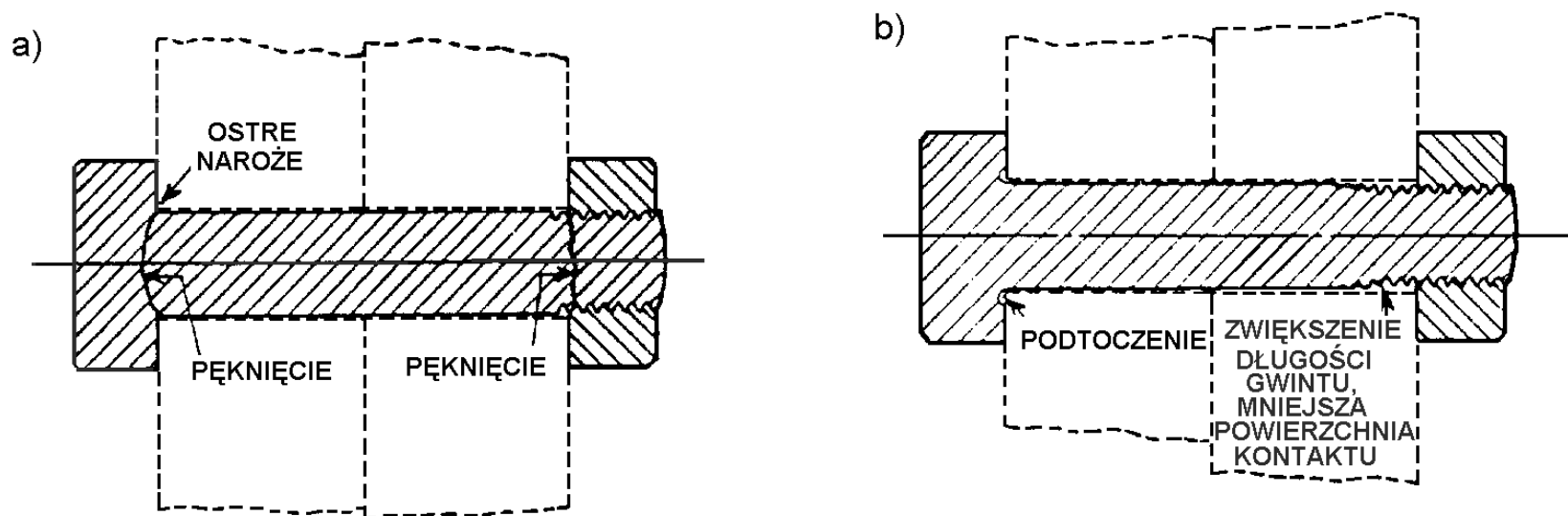
Rys. 5.1 Typowe miejsce pękan zmęczeniowego w wale stopniowany (a) i przykłady redukcji spiętrzen naprężeń (b), (c)

a) Zmniejszenie wrażliwości na korb q (patrz równanie 4.19) przez odpowiedni dobór parametrów geometrycznych w celu minimalizacji współczynnika kształtu (koncentracji naprężeń) k_t , por. rys. 4.15, 4.22, 4.23 i przykłady na rys. 5.1 - 5.3.



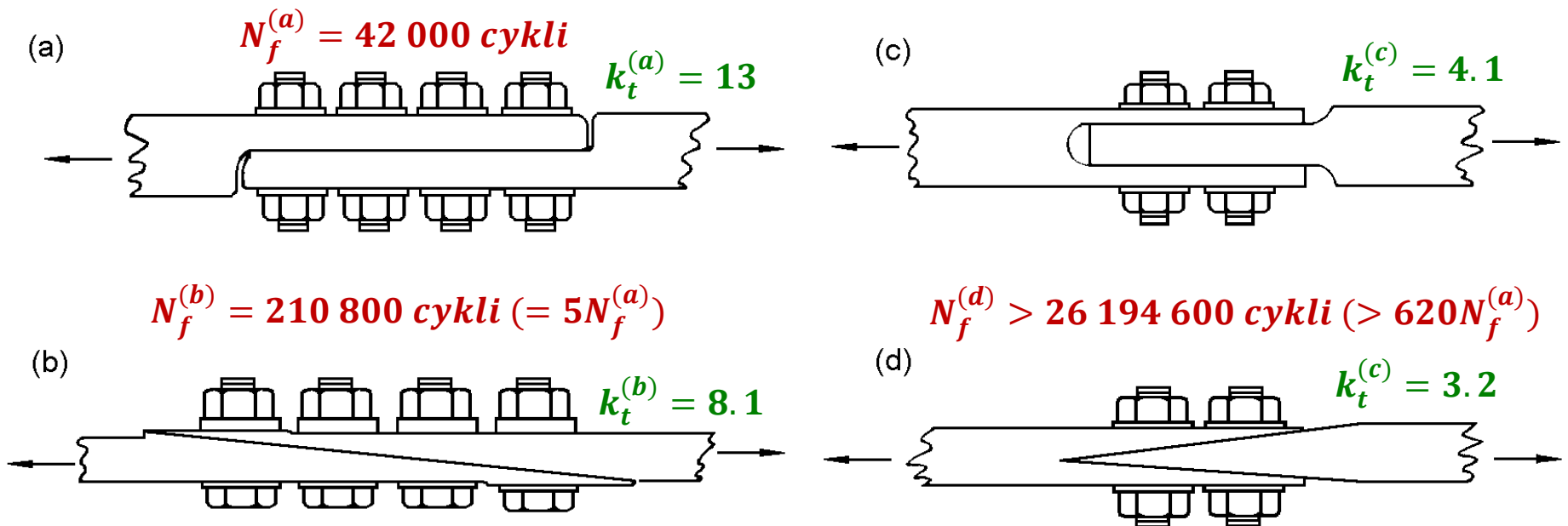
Rys. 5.2 Typowe pęknięcia zmęczeniowe w otworze wpustowym (a) i przykład redukcji spiętrzenia naprężeń (b)

b) uniknięcie **frettingu** (gdy możliwe są małe przemieszczenia między ciasno przylegającymi powierzchniami, tlenki metali obecne tam zwykle w formie proszku powodują uszkodzenie powierzchni. Konsekwencja - inicjacja i rozwój pęknięć zmęczeniowych). Przykłady: rys. 5.3 i 5.4.



Rys. 5.3 Typowe miejsca pęknięć zmęczeniowych (a) i niektóre sposoby ich uniknięcia (b).

5.1. KSZTAŁTOWANIE ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH



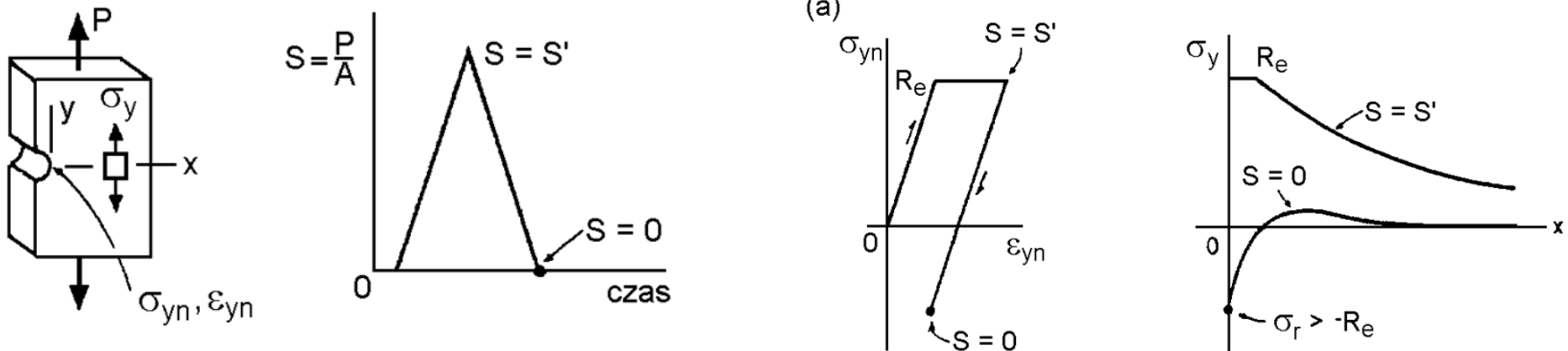
Rys. 5.4 Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych połączeń śrubowych: a) połączenie zakładkowe (jednocięte) stopniowane, b) połączenie dwucięte, c) połączenie zakładkowe ukosowane, d) połączenia dwucięte podwójnie ukosowane.

Celowość stosowania przedstawionych wyżej geometrii: a) i c) - minimalizacja naprężeń zginających; b) i d) - bardziej równomierne przenoszenie obciążeń przez śruby

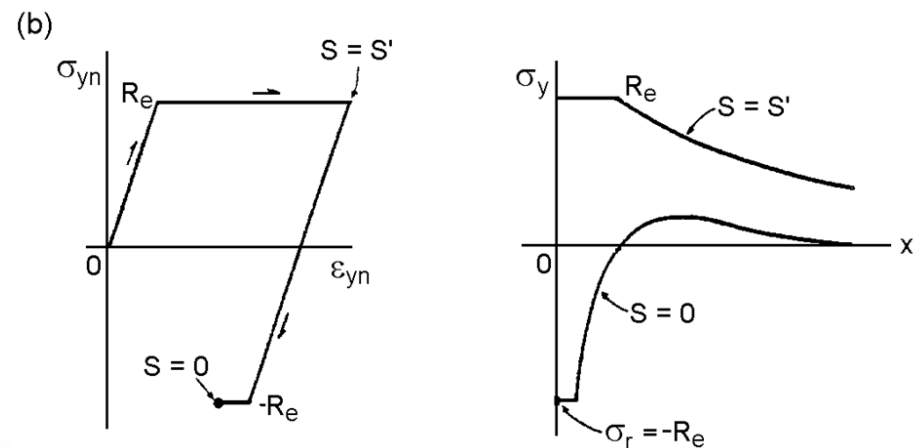
Skutek: na rys. 5.4 podano szacunkowe wartości współczynnika k_t oraz trwałości N_f obserwowane w badaniach próbek o danej geometrii ze stopu 7075-T6 przy $R=0.5$ [1].

[1] Sines G. Waisman J.K (red) Zmęczenie Metali. WNT W-wa, 1962. (tytuł org. Metal Fatigue, tłum. A. Turno)

c) Stosowanie zabiegów wprowadzających na powierzchni ujemne naprężenia wstępne w miejscu karbu, które nakładają się na obciążenia użytkowe, powodując obniżenie naprężeń średnich (młotkowanie, śrutowanie, wstępne przeciążenie dodane do lokalnych naprężeń powyżej Re)

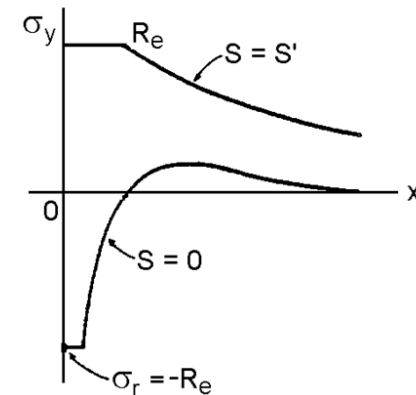
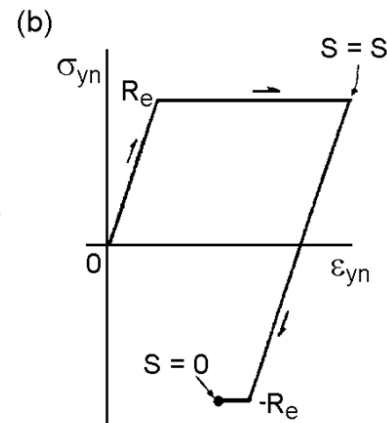
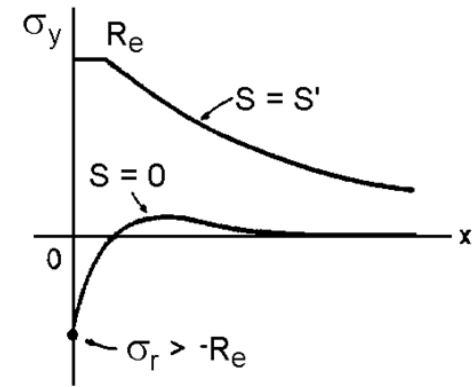
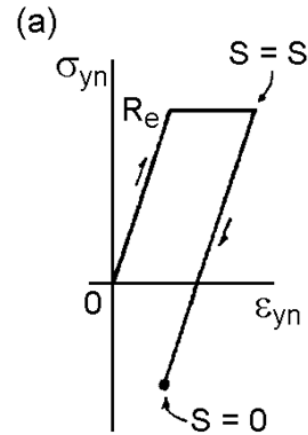
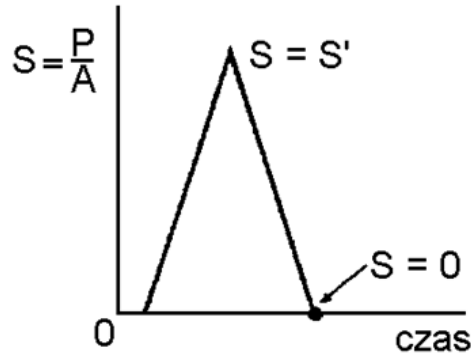
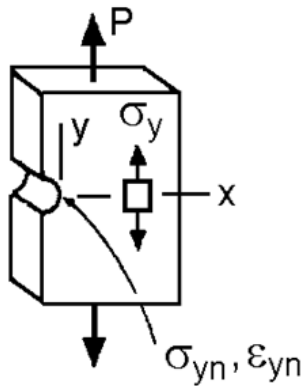


Rys. 5.5 Odciążenie elementu z karbem po uprzednim lokalnym płynięciu. Wykres $\sigma - \epsilon$ w karbie i rozkład naprężeń resztkowych w przekroju karbu: a) bez lokalnego uplastycznienia przy odciążeniu ($k_t S' < 2R_e$); b) lokalne uplastycznienie przy odciążeniu ($k_t S' \geq 2R_e$); σ_r - naprężenia wstępne w karbie



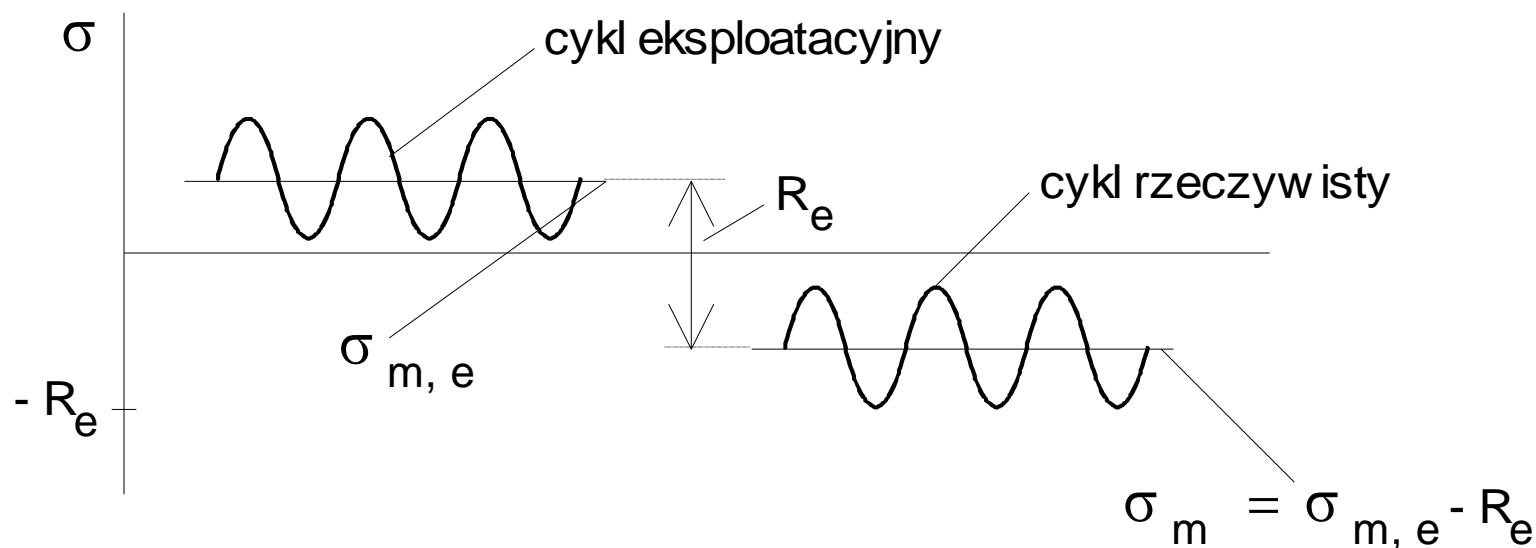
5.1. KSZTAŁTOWANIE ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH

c) Stosowanie zabiegów wprowadzających na powierzchni ujemne naprężenia wstępne w miejscu karbu, które nakładają się na obciążenia użytkowe, powodując obniżenie naprężeń średnich (młotkowanie, śrutowanie, wstępne przeciążenie dodane do lokalnych naprężeń powyżej Re)



Uwaga: ujemne przeciążenie wstępne o tej samej wartości spowodowałoby strefę plastyczną z rozciągającymi naprężeniami resztkowymi.

- d) Stosowanie zabiegów wprowadzających na powierzchni ujemne naprężenia wstępne w miejscu karbu, które nakładają się na obciążenia użytkowe, powodując obniżenie naprężeń średnich (młotkowanie, śrutowanie, wstępne przeciążenie dodane do lokalnych naprężeń powyżej R_e)



Rys. 5.6 Obniżenie naprężeń średnich w karbie dzięki ujemnym naprężeniom wstępnym ($\sigma_r = -R_e$).

5.2. WSPÓŁCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

Wprowadza się je w celu zrekompensowania niedokładnych założeń w obliczeniach (np.: niepewność co do obciążeń, statystycznej zmienności wytrzymałości zmęczeniowej materiału, wpływu procesu technologicznego, środowiska i in.).

Wyodrębnić można 3 podejścia związane z doбором współczynników bezpieczeństwa:

5.2. WSPÓŁCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

\hat{S}_a, \hat{N} - amplituda naprężenia i trwałość oczekiwana w eksploatacji;
 $S_a = f(N_f)$ - krzywa S-N odnosząca się do zniszczenia

Podejście 1:

Redukcja **naprężeń** w krzywej S-N przez współczynnik bezpieczeństwa w naprężeniach ($X_s = 1.5 \div 2$ lub więcej)

$$X_s = \frac{S_a}{\hat{S}_a} \quad (5.1)$$

gdzie: $S_a = f(N_f = \hat{N})$, p. A - rys. 5.7

Stąd **krzywa projektowa** ma równanie:

$$\hat{S}_a = \frac{f(\hat{N})}{X_s} \quad (5.2)$$

5.2. WSPÓŁCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

\hat{S}_a, \hat{N} - amplituda naprężenia i trwałość oczekiwana w eksploatacji;
 $S_a = f(N_f)$ - krzywa S-N odnosząca się do zniszczenia

Podejście 2:

Redukcja trwałości w krzywej S-N przez współczynnik bezpieczeństwa w trwałościach ($X_N = 10 \div 20$ lub więcej)

$$X_N = \frac{N_f}{\hat{N}} \quad (5.3)$$

przy czym: $\hat{S}_a = f(N_f)$, punkt B - rys. 5.7

Stąd **krzywa projektowa** ma równanie:

$$\hat{S}_a = f(X_N \cdot \hat{N}) \quad (5.4)$$

Podejście 1:

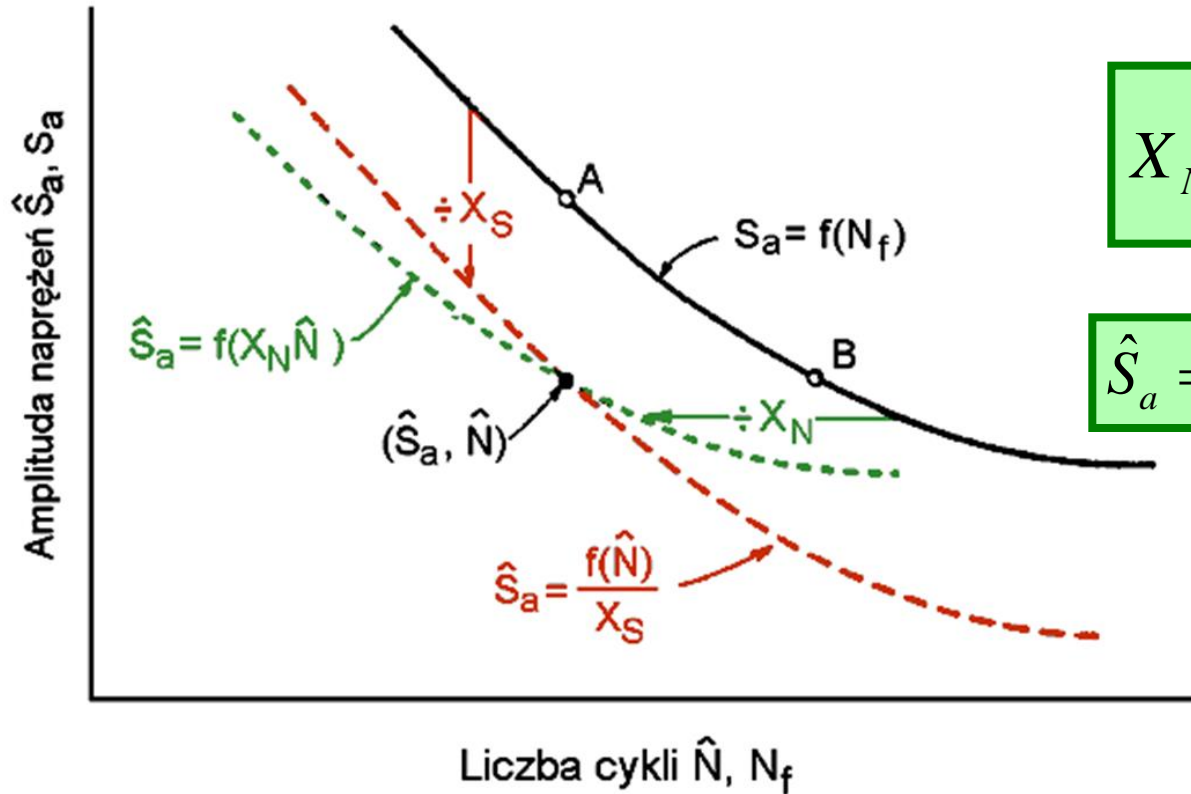
$$X_S = S_a / \hat{S}_a$$

$$\hat{S}_a = f(\hat{N}) / X_S$$

Podejście 2:

$$X_N = N_f / \hat{N}$$

$$\hat{S}_a = f(X_N \cdot \hat{N})$$



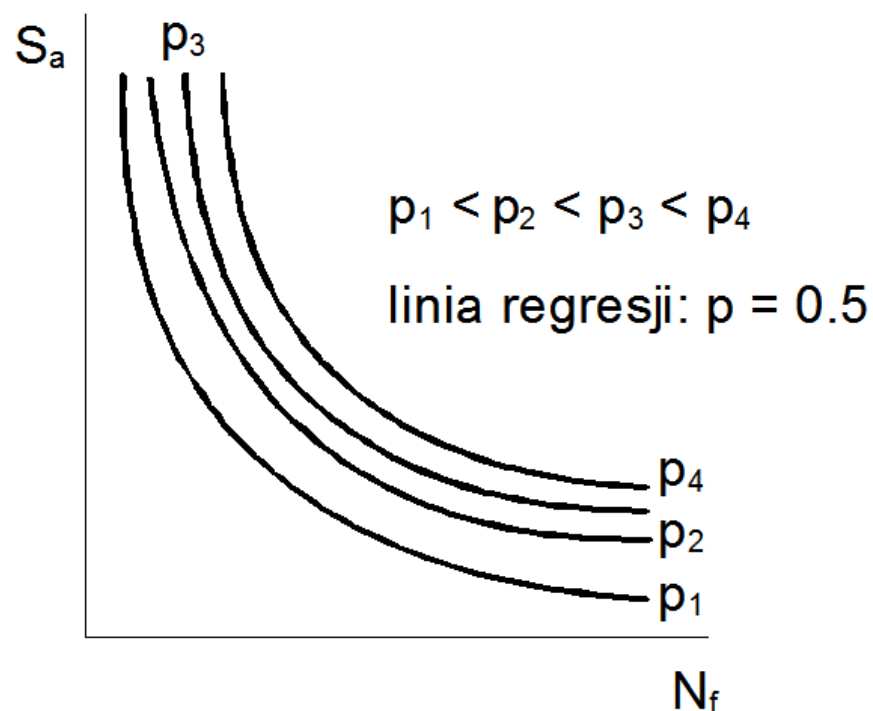
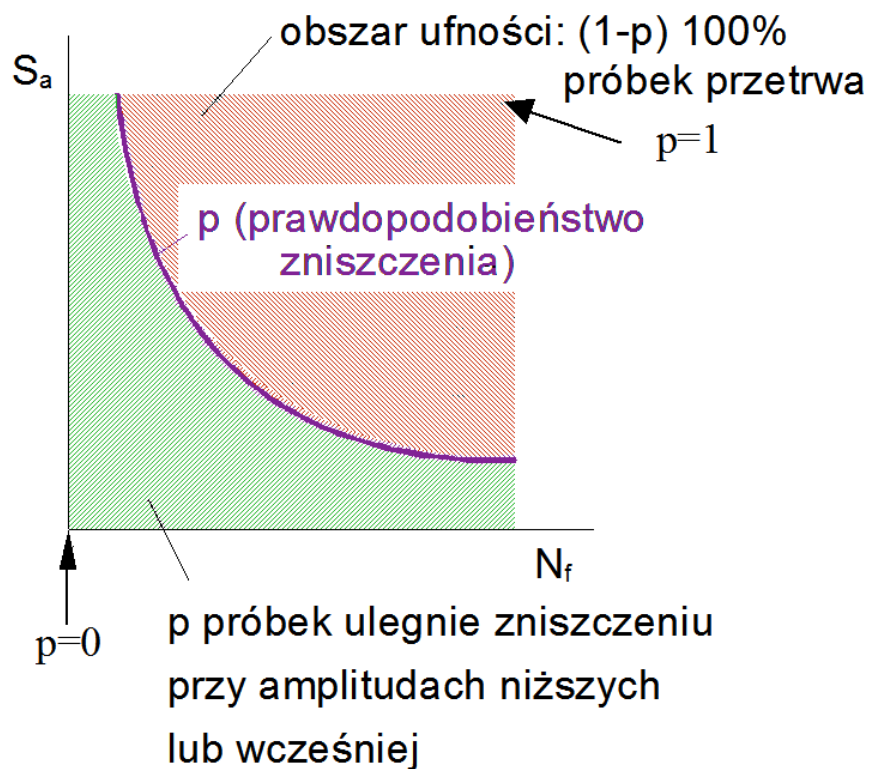
Rys. 5.7 Współczynniki bezpieczeństwa w naprężeniach X_S i w trwałościach X_N , w celu otrzymania projektowych krzywych S – N. Oznaczenia:

\hat{S}_a , \hat{N} - amplituda naprężenia i trwałość oczekiwana w eksploatacji;

$S_a = f(N_f)$ - krzywa S–N odnosząca się do zniszczenia

Podjęcie 3:

Użycie jako krzywej projektowej krzywej S–N, która odnosi się do odpowiednio małego prawdopodobieństwa zniszczenia.



Rys 5.8 Krzywe o różnym prawdopodobieństwie zniszczenia – na podstawie statystycznej analizy wyników badań zmęczeniowych.