

Józef MARKOWICZ
Politechnika Śląska, Gliwice

PORÓWNANIE NISKOCYKLOWEJ WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ WYBRANYCH ELEMENTÓW SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

Streszczenie. W artykule omówiono metodę oszacowania niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej elementów sekcji obudowy zmechanizowanej, opracowaną w oparciu o kryterium odkształceniowe. Wykorzystując to kryterium wyznaczono przebiegi krzywych zmęczenia niskocyklowego stropnicy, spagnicy i osłony odzawałowej dwóch różnych rozwiązań technicznych sekcji obudowy zmechanizowanej oraz oszacowano liczbę cykli pracy do zniszczenia tych elementów na skutek zmian zmęczeniowych.

COMPARING OF THE LOW-CYCLE FATIGUE STRENGTH OF SELECTED POWERED ROOF SUPPORT COMPONENTS

Summary. The paper describes the method estimation of the low-cycle fatigue strength (life) of the of the powered roof support elements based on strain criteria. The curves of low-cycle fatigue for the canopy, the base and the gob shield of two different kinds of powered roof support units have been determined using the strain criterion. The number of operation cycles for those components to breaking caused by fatigue has also been estimated.

1. Wprowadzenie

Nowe unormowania dotyczące projektowania i badania sekcji obudowy zmechanizowanej (wynikające z Dyrektywy UE) kładą szczególny nacisk na zagadnienia związane z trwałością i niezawodnością funkcjonowania elementów sekcji obudowy [4]. Zmęczeniowy charakter obciążenia elementów sekcji obudowy zmechanizowanej wynika z cyklicznego sposobu przemieszczania się obudowy za postępującym frontem ścianowym. Liczba cykli pracy sekcji obudowy w całym okresie jej użytkowania zawiera się najczęściej

w przedziale od kilku do kilkudziesięciu tysięcy, co odpowiada niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej.

Niskocyklowa wytrzymałość zmęczeniowa głównych elementów nośnych sekcji obudowy zmechanizowanej, takich jak: stropnice, spągnice i osłony odzawałowe powinna być porównywalna, gdyż na etapie projektowania nie przewiduje się ich wymiany na nowe w okresie użytkowania sekcji. Stąd też niezbędnym etapem obliczeń wytrzymałościowych powinny być obliczenia zmęczeniowe, na podstawie których oszacować można liczbę cykli, po przekroczeniu których wystąpi zniszczenie danego elementu.

Biorąc powyższe pod uwagę w artykule mówiono metodę oszacowania niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej, opracowaną w oparciu o kryterium odkształceniowe [1,2,3]. Wykorzystując to kryterium wyznaczono przebiegi krzywych zmęczenia niskocyklowego głównych elementów nośnych dwóch różnych rozwiązań technicznych sekcji obudowy zmechanizowanej oraz oszacowano liczbę cykli pracy do zniszczenia tych elementów na skutek zmian zmęczeniowych.

2. Charakterystyka metod wyznaczania niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej

Obliczenia elementów maszyn obciążonych zmiennie różnią się istotnie od obliczeń przy obciążeniach statycznych. Obliczenia statyczne umożliwiają stosunkowo dokładnie wyznaczyć wyężenie elementu, natomiast wyniki obliczeń zmęczeniowych są najczęściej obarczone błędem, gdyż nie można przewidzieć i dokładnie uwzględnić wszystkich czynników wpływających na wytrzymałość zmęczeniową elementów. W elemencie obciążonym zmiennie, ognisko zniszczenia znajduje się z reguły w miejscu największego spiętrzenia naprężenia. Może ono nie znajdować się w miejscu najmniejszego przekroju. Najczęściej mieści się ono w obszarze silnych zmian ciągłości przekroju, jakimi są np. ostre odsadzenia, rowki, otwory.

W zakresie niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej, stosuje się do obliczeń zmęczeniowych najczęściej kryteria odkształceniowe lub kryteria energetyczne [1]. Przyjmuje się, że zakres zmęczenia niskocyklowego to liczba cykli między $10^3 \div 10^5$, lecz z ukierunkowaniem na górną granicę tego przedziału. W obszarze tym zniszczenie elementów następuje przez sukcesywne narastanie zmian i uszkodzeń zmęczeniowych. Pękanie zachodzi przy stosunkowo dużych wartościach naprężenia w porównaniu do wytrzymałości na

zmęczenie wysokocyklowe. Występują wtedy wyraźne odkształcenia plastyczne, nadając przełomowi próbek obraz właściwy tym odkształceniom.

W odkształceniowym opisie kryterialnym wykorzystuje się wartość granicznej amplitudy odkształcenia plastycznego ε_{apl} lub granicznej amplitudy odkształcenia całkowitego ε_{ac} , uzależniając je od liczby cykli do pojawienia się pęknięcia lub od liczby cykli niszczących N_f . Najprostszym zapisem tej zależności jest wzór uzyskany doświadczalnie przez Mansona-Coffina [1]:

$$\Delta\varepsilon_{ac} N_f^k = C, \quad (1)$$

przy czym k i C są stałymi materiałowymi.

Do obliczeń w zakresie wytrzymałości niskocyklowej można wykorzystać również równanie uzależniające amplitudę odkształcenia całkowitego ε_{ac} , o składowych amplitudach odkształcenia sprężystego ε_{ae} i plastycznego ε_{ap} od liczby cykli do zniszczenia. Spośród różnych wzorów ujmujących to odkształcenie najczęściej stosowany jest wzór J.D. Morrowa w postaci [1]:

$$\varepsilon_{ac} = \varepsilon_{ae} + \varepsilon_{ap} = \frac{\sigma_f'}{E} N_f^b + \varepsilon_f' N_f^c \quad (2)$$

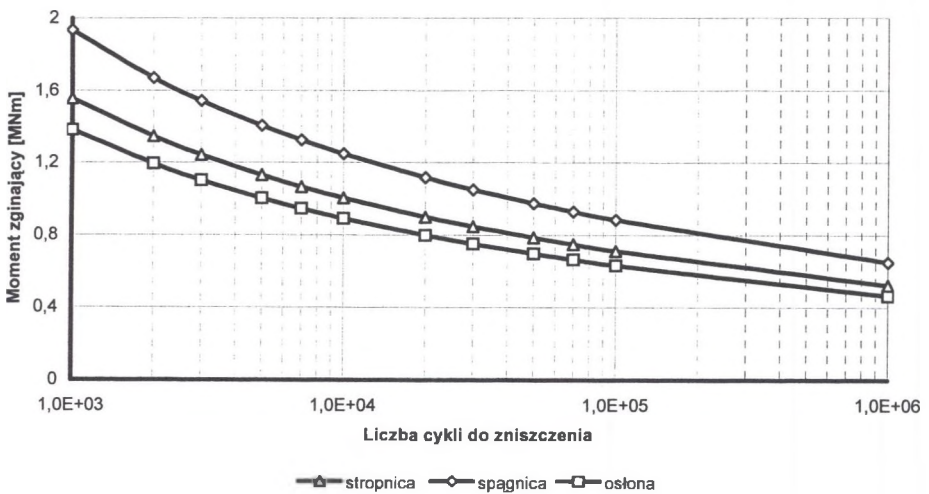
gdzie:

- N_f – liczba cykli do zniszczenia,
- σ_f' – współczynnik wytrzymałości zmęczeniowej,
- ε_f' – współczynnik zmęczeniowego odkształcenia plastycznego,
- E – moduł sprężystości podłużnej,
- b – wykładnik wytrzymałości zmęczeniowej,
- c – wykładnik zmęczeniowego odkształcenia plastycznego.

Ujęte w powyższym wzorze wartości odkształceń sprężystych i plastycznych zgodnie z kryterium odkształceniowym, należy traktować jako graniczne. Pozostałe wielkości występujące w równaniu (2) określa się na podstawie badań doświadczalnych i analiz teoretycznych.

3. Wyznaczenie wytrzymałości niskocyklowej głównych elementów sekcji obudowy zmechanizowanej

Wykorzystując kryterium odkształceniowe wykonano obliczenia na zmęczenie niskocyklowe głównych elementów nośnych (stropnic, spagnic i osłon odzawałowych) dwóch rozwiązań technicznych sekcji obudowy zmechanizowanej. Wszystkie te elementy wykonane były ze stali 18G2A. Przebiegi krzywych zmęzeniowych (zależność maksymalnego momentu zginającego w przekroju najbardziej wyłożonym od liczby cykli do zniszczenia) dla elementów nośnych jednej z analizowanych sekcji przedstawiono na rys. 1.

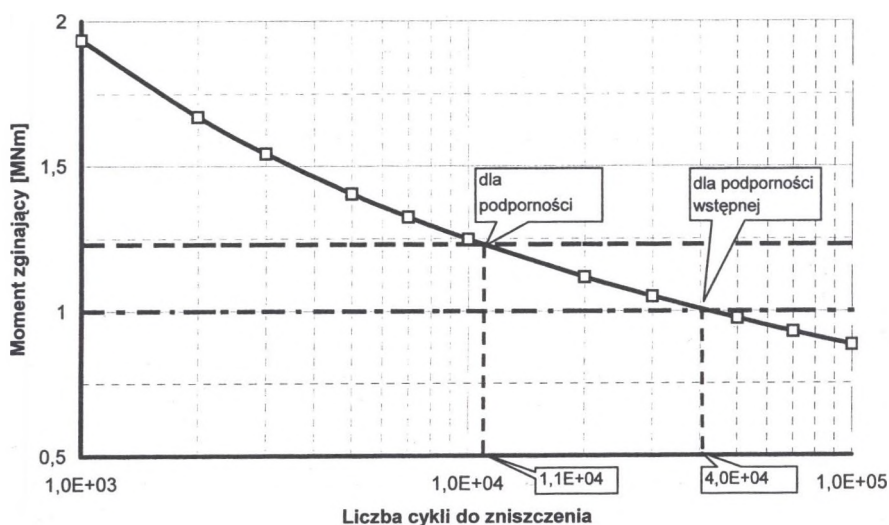


Rys. 1. Krzywe zmęczenia niskocyklowego
Fig. 1. The low-cycle fatigue curves

Liczba cykli obciążenia, po przekroczeniu których wystąpi zniszczenie elementu, zależy od wartości obciążenia zewnętrznego, a więc od rzeczywistej podporności sekcji w trakcie pracy w wyrobisku ścianowym. Uzależnienie momentu zginającego od liczby cykli do zniszczenia umożliwia więc wyznaczenie przy jakim obciążeniu zewnętrznym wystąpi uszkodzenie elementu na skutek procesu niskocyklowego zmęczenia materiału. Zagadnienie to rozwiązano dla wszystkich trzech elementów, dla których wcześniej wyznaczono przebiegi krzywych zmęczenia niskocyklowego.

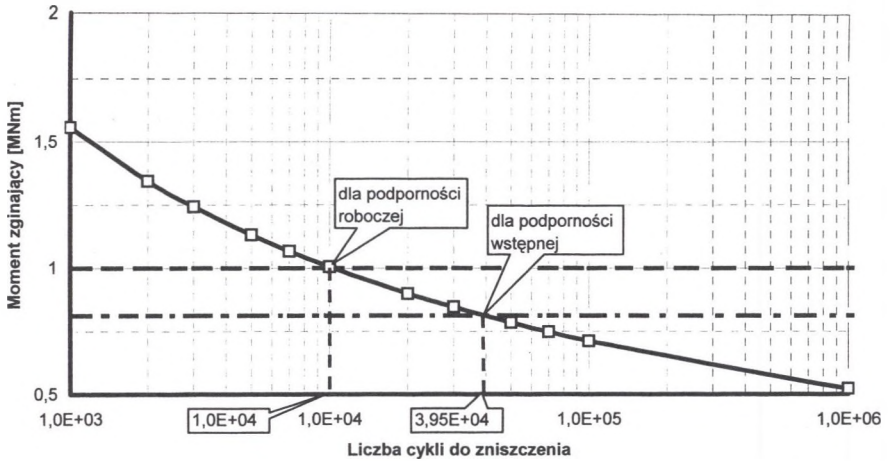
Na rys. 2, oprócz krzywej zmęczenia niskocyklowego stropnicy oznaczono wartość momentu zginającego występującego w stropnicy - odpowiadającego podporności roboczej sekcji (górną, poziomą, przerywaną linią) oraz wartość momentu zginającego,

odpowiadającego podporności wstępnej (dolna linia). Współrzędne poziome punktów przecięcia tych prostych z krzywą zmęczenia niskocyklowego stanowią granice przedziału - określające liczbę cykli, w których, w zależności od występującego rzeczywistego obciążenia, wystąpi zniszczenie elementu. Użytkowanie sekcji przy obciążeniu odpowiadającym podporności roboczej sekcji (w każdym cyklu obciążenia) spowodowałaby, że zniszczenie stropnicy wystąpiłoby po $1,1 \cdot 10^4$ cyklach pracy. Zmniejszenie obciążenia do wartości odpowiadającej podporności wstępnej sekcji spowoduje, że zniszczenie wystąpi po $4,0 \cdot 10^4$ cyklach.

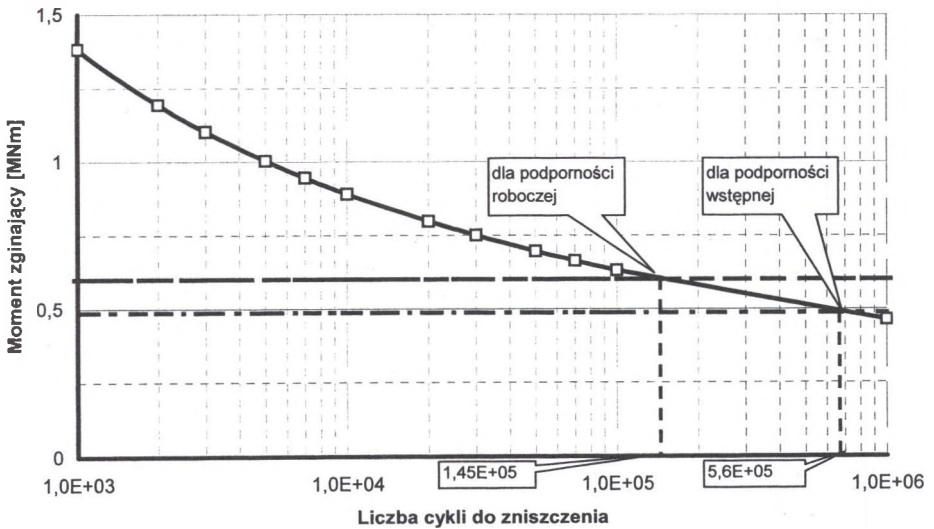


Rys. 2. Wyznaczanie niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej stropnicy
Fig. 2. Determining of the low-cycle fatigue strength for the canopy

W analogiczny sposób wyznaczono liczby cykli obciążenia, po przekroczeniu których wystąpi zniszczenie spągnicy i osłony odzawałowej. Obliczenia wykazały, że w zakresie zmian obciążenia sekcji (od podporności wstępnej do roboczej) zniszczenie spągnicy wystąpiłoby w przedziale określającym liczbę cykli od $1,1 \cdot 10^4$ do $3,95 \cdot 10^4$ (rys. 3), natomiast osłony odzawałowej w przedziale od $1,45 \cdot 10^5$ do $5,6 \cdot 10^5$ (rys. 4). Przeprowadzone obliczenia wykazały, że trwałość zmęczeniowa stropnicy i spągnicy analizowanej sekcji obudowy jest na porównywalnym poziomie, natomiast istotnie większa jest liczba cykli, po przekroczeniu których ulegnie zniszczeniu osłona odzawałowa.



Rys. 3. Wyznaczanie niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej spągnicy
Fig. 3. Determining of the low-cycle fatigue strength for the base



Rys. 4. Wyznaczanie niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej osłony odzawałowej
Fig. 4. Determining of the low-cycle fatigue strength for the gob shield

W analogiczny sposób wykonano obliczenia dla drugiego rozwiązania technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej. Wyniki obliczeń w postaci przedziałów określających liczbę cykli, po przekroczeniu której zniszczeniu ulegnie dany element sekcji podczas jego

użytkowania (w zakresie obciążenia – od podporności wstępnej do roboczej) zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie wyników obliczeń

Sekcja obudowy	Liczba cykli do zniszczenia		
	Stropnica	Spagnica	Osłona odzawałowa
A	$1,1 \cdot 10^4 - 4,0 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4 - 3,95 \cdot 10^4$	$1,45 \cdot 10^5 - 5,6 \cdot 10^5$
B	$4,3 \cdot 10^3 - 8,2 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4 - 4,3 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^3 - 8,0 \cdot 10^4$

Porównując trwałości zmęczeniowe analizowanych elementów sekcji można stwierdzić, że w przypadku sekcji obudowy zmechanizowanej, oznaczonej jako A największą trwałość zmęczeniową ma osłona odzawałowa. Trwałość zmęczeniowa stropnicy i spagnicy jest mniejsza, lecz na porównywalnym poziomie. Z porównania liczb cykli do zniszczenia elementów sekcji B wynika, że istotnie większą trwałość zmęczeniową ma spagnica, natomiast trwałość stropnicy i osłony jest praktycznie taka sama.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodę wyznaczania zakresu wytrzymałości niskocyklowej elementów sekcji obudowy zmechanizowanej, opartą o kryterium odkształceniowe. Metodę tę wykorzystano do wyznaczenia przebiegu krzywych zmęczenia niskocyklowego głównych elementów nośnych sekcji oraz ustalenia liczby cykli, po przekroczeniu których nastąpi ich zniszczenie.

Zasady bezpiecznego użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej narzucają potrzebę zapewnienia porównywalnej trwałości zmęczeniowej poszczególnych jej elementów. Analizując przedstawione wyniki obliczeń można stwierdzić, że trwałość zmęczeniowa głównych elementów nośnych tej samej sekcji może się istotnie różnić. Oznacza to, że zniszczenie poszczególnych elementów, na skutek narastania zmian zmęczeniowych, wystąpi po innym okresie ich użytkowania.

Warunkiem szerszego i praktycznego wykorzystania kryterium odkształceniowego i innych analitycznych metod obliczeń zmęczenia niskocyklowego jest dostępność danych,

dotyczących własności materiałów konstrukcyjnych oraz współczynników charakteryzujących koncentrację naprężenia.

LITERATURA

1. Kocańda S., Kocańda A.: Niskocyklowa wytrzymałość zmęczeniowa metali. PWN, Warszawa 1989.
2. Kocańda S.: Zmęczeniowe pękanie metali. WNT, Warszawa 1985.
3. Markowicz J.: Wyznaczanie niskocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej elementów sekcji obudowy zmechanizowanej w oparciu o kryterium odkształceniowe. 6. Międzynarodowa Konferencja KOMTECH „Systemy ograniczające zagrożenia w procesach eksploatacji maszyn i urządzeń”. Zakopane 15–17.11.2005. CMG KOMAG.
4. PN-EN 1804-1 Maszyny dla górnictwa podziemnego - Wymagania bezpieczeństwa dla obudów zmechanizowanych – Część 1: Sekcje obudów i wymagania ogólne.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sikora