

METODA OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH Z ZASTOSOWANIEM DWUPARAMETRYCZNYCH CHARAKTERYSTYK ZMĘCZENIOWYCH

Bogdan LIGAJ*, Grzegorz SZALA*

*Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,
ul. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz

bogdanj@utp.edu.pl, gszala@utp.edu.pl

Streszczenie: W obliczeniach trwałości zmęczeniowej elementów konstrukcyjnych poddanych w warunkach eksploatacji obciążeniom losowym o szerokim widmie należy przyjąć odpowiednią hipotezę sumowania uszkodzeń oraz odpowiednią charakterystykę zmęczeniową materiału.

W pracy przedstawiono algorytm obliczeń trwałości zmęczeniowej oparty na dwuparametrycznej charakterystyce zmęczeniowej. Opis metody i algorytm obliczeń zilustrowano przykładem obliczeń elementu konstrukcyjnego wykonanego ze stopu aluminium D16CzATW.

1. WPROWADZENIE

Metoda obliczeń trwałości zmęczeniowej elementów konstrukcyjnych dla obciążeń losowych z wykorzystaniem charakterystyk jednoparametrycznych sprawdza się jedynie dla obciążeń o dominującej liczbie cykli z zakresu współczynnika asymetrii cyklu mieszczącego się w przedziale $-1 \leq R \leq 0$, czyli dla obciążeń stacjonarnych o wąskim widmie (Kocańda i Szala, 1997). W przypadku obciążeń stacjonarnych o szerokim widmie i niestacjonarnych o zmiennej w czasie wartości średniej, dla których zakres zmienności współczynnika asymetrii cyklu mieści się w zakresie $-\infty \leq R \leq \infty$, wymieniona metoda daje niedokładne wyniki (Szala i Szala, 2001).

Celem pracy jest przedstawienie algorytmu obliczeniowego opartego na dwuparametrycznej charakterystyce zmęczeniowej oraz dwuparametrycznym modelu obciążenia losowego.

W pracy zostanie przedstawiony przykład obliczeń trwałości zmęczeniowej elementu konstrukcyjnego w warunkach obciążeń eksploatacyjnych.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Elementy konstrukcyjne maszyn w warunkach eksploatacji poddawane są obciążeniom, których charakter jest zazwyczaj losowy wynikający z wielu czynników natury probabilistycznej. Prowadzenie obliczeń trwałości zmęczeniowej dla wymienionych warunków obciążenia wymaga stosowania takich metod, których wyniki są tożsame, w znaczeniu statystycznym, z wynikami badań eksperymentalnych. Skuteczną metodą obliczeń w tych warunkach może być metoda oparta na dwuparametrycznych charakterystykach zmęczeniowych.

Problem obliczeń trwałości zmęczeniowej dotyczy trzech zagadnień. Pierwszym z nich jest zagadnienie opisu

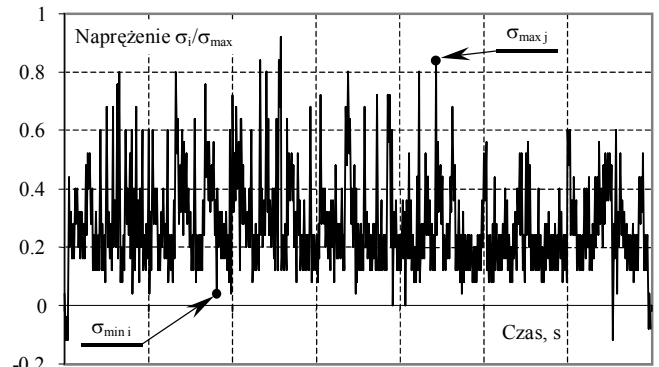
własności zmęczeniowych w układzie $N(\sigma_m, \sigma_a)$. Drugie zagadnienie związane jest z opracowaniem modeli obciążenia eksploatacyjnego opisujących cykle sinusoidalne dwoma parametrami σ_m i σ_a lub σ_{min} i σ_{max} , natomiast trzecie zagadnienie dotyczy doboru odpowiednich hipotez kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych. Wymienione zagadnienia są ścieżkami ujętymi w algorytmie obliczeń trwałości zmęczeniowej (rysunek 1). Opracowanie dwuparametrycznej charakterystyki zmęczeniowej dla elementu konstrukcyjnego wiąże się z przeprowadzeniem badań w warunkach statycznego rozciągania celem wyznaczenia podstawowych własności tj. R_e , R_m , E , itd. oraz w warunkach obciążeń zmiennych stałoaamplitudowych charakteryzujących się zmiennym współczynnikiem asymetrii cyklu R ($R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$, $j = 1, 2, 3, \dots, k$ jest numerem przedziału dla wartości lokalnych maksimów, $i = 1, 2, 3, \dots, k$ jest numerem przedziału dla wartości przedziału dla wartości lokalnych minimów – rysunek 3). Wyznaczenie wymienionych własności daje możliwość opracowania dwuparametrycznej charakterystyki zmęczeniowej elementu konstrukcyjnego.

Przebieg obciążenia eksploatacyjnego uzyskany np. w wyniku pomiaru nie daje się wprost zastosować w obliczeniach. Wymaga przeprowadzenia działań związanych z tzw. schematyzacją mającą na celu wyznaczenie cykli i (lub) półcykli sinusoidalnych opisanych wartościami σ_m i σ_a lub σ_{min} i σ_{max} . Metody schematyzacji zostały opisane w pracy Kocańdy i Szali (1997). Dwuparametryczny model obciążenia może przyjmować postać wykresu rozkładu gęstości prawdopodobieństwa (Kocańda i Szala, 1997) lub tablicy korelacyjnej w układzie σ_{min} i σ_{max} lub σ_m i σ_a (Szala i Ligaj, 2005a).

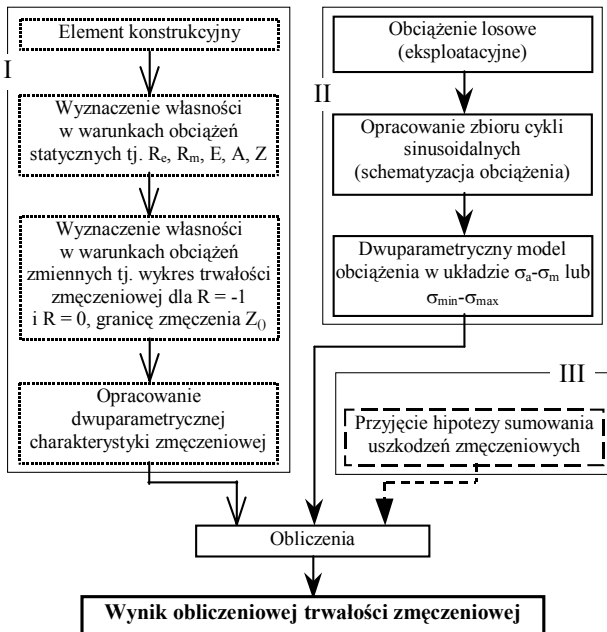
Trzecim, niezbędnym, elementem potrzebnym do przeprowadzenia obliczeń jest przyjęcie hipotezy kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych. Ze znanych hipotez, które zostały szeroko przedstawione w pracy Szali (1998), do obliczeń przyjęto liniową hipotezę Palmgrena-Minera.

3. PRZYKŁAD OBCIĄŻEŃ I JEGO OPRACOWANIE

Do badań, jako obciążenie eksploatacyjne przyjęto standaryzowany przebieg zmian naprężeń Falstaff nr 130, przedstawiony na rysunku 2 (Description of a Fighter Aircraft Loading Standard for Fatigue).



Rys. 2. Wykres przebiegu eksploatacyjnego wg Falstaff'a (nr 130) (Description of a Fighter Aircraft Loading Standard for Fatigue), przez $\sigma_{max j}$ oznaczono wartość lokalnego maksimum naprężenia (piku), $\sigma_{min i}$ oznaczono wartość lokalnego minimum naprężenia



Rys. 1. Algorytm obliczeń trwałości zmęczeniowej elementu konstrukcyjnego na podstawie dwuparametrycznej charakterystyki zmęczeniowej

Wartości naprężeń $\sigma_{min i} / \sigma_{max}$

Wart. górnej granicy przedziału	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Nr przedziału klas.	Wart. górnej granicy przedziału	Wart. dolnej granicy przedziału
0,96	0,96	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	1	0,96	0,92
0,92	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	2	0,96	0,92	
0,88	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	3	0,92	0,88		
0,84	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	4	0,88	0,84			
0,80	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	5	0,84	0,80				
0,76	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	6	0,80	0,76					
0,72	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	7	0,76	0,72						
0,68	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	8	0,72	0,68							
0,64	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	9	0,68	0,64								
0,60	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	10	0,64	0,60									
0,56	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	11	0,60	0,56										
0,52	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	12	0,56	0,52											
0,48	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	13	0,52	0,48												
0,44	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	14	0,48	0,44													
0,40	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	15	0,44	0,40														
0,36	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	16	0,40	0,36															
0,32	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	17	0,36	0,32																
0,28	0,28	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	18	0,32	0,28																	
0,24	0,24	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	19	0,28	0,24																		
0,20	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	20	0,24	0,20																			
0,16	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	21	0,20	0,16																				
0,12	0,12	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	22	0,16	0,12																					
0,08	0,08	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	23	0,12	0,08																						
0,04	0,04	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	24	0,08	0,04																							
0,00	0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	25	0,04	0,00																								
-0,04	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	26	0,00	-0,04																									
-0,08	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	27	-0,04	-0,08																										
-0,12	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	28	-0,08	-0,12																											
-0,16	-0,16	-0,20	-0,24	-0,28	29	-0,12	-0,16																												
-0,20	-0,20	-0,24	-0,28	30	-0,16	-0,20																													
-0,24	-0,24	-0,28	31	-0,20	-0,24																														
-0,28	-0,28	32	-0,24	-0,28																															
Wart. górnej granicy przedziału	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Nr przedziału klas.	Wart. górnej granicy przedziału	Wart. dolnej granicy przedziału

Wartości naprężeń $\sigma_{max j} / \sigma_{max}$

Rys. 3. Tablica korelacyjna w układzie $\sigma_{min i} / \sigma_{max} - \sigma_{max j} / \sigma_{max}$

Wyniki opracowania losowych obciążeń (rysunek 2) zestawiono w tablicy korelacyjnej w układzie wartości standaryzowanych $\sigma_{\min i}/\sigma_{\max}$ - $\sigma_{\max j}/\sigma_{\max}$ (rysunek 3). Budowę i właściwości tablicy omówiono w pracy Szali i Ligaja (2005a).

W wymienionym opracowaniu zastosowano metodę obwiedni (rainflow counting method) (Kocańda i Szala, 1997), która stosowana jest do opracowania przebiegów losowych o szerokim widmie obciążenia.

Rozkład półcykli w tablicy mieszczącej się w szerokim zakresie zmienności wartości $\sigma_{\min i}/\sigma_{\max}$ i $\sigma_{\max j}/\sigma_{\max}$ wskazuje, iż analizowane obciążenie jest obciążeniem o szerokim widmie. Liczby umieszczone w poszczególnych polach tablicy odpowiadają cyklom o odpowiednich wartościach $\sigma_{\min i}/\sigma_{\max}$ i $\sigma_{\max j}/\sigma_{\max}$.

Dla wyznaczenia wykresu trwałości zmęczeniowej $N(\sigma_{\max})$ analizowanego elementu konstrukcyjnego obliczenia prowadzi się dla różnych wartości naprężeń σ_{\max} . Dla przyjętych wartości σ_{\max} obliczamy dla poszczególnych pól tablicy wartości $\sigma_{\max j}$ i $\sigma_{\min i}$, a z tych wartości odpowiednio:

$$\sigma_{ajj} = \frac{\sigma_{\max j} - \sigma_{\min i}}{2} \quad (1)$$

oraz

$$\sigma_{mij} = \frac{\sigma_{\max j} + \sigma_{\min i}}{2} \quad (2)$$

Potrzeba stosowania w obliczeniach dwuparametrycznych charakterystyk zmęczeniowych związana jest z dużym zakresem zmienności wartości współczynnika asymetrii cyklu R charakteryzującego poszczególne cykle sinusoidalne. W rozpatrywanym przypadku dominująca część cykli charakteryzuje się współczynnikiem asymetrii cyklu z zakresu $0 < R < 1$, co odpowiada polu tablicy: dla półcykli rosnących AHG i dla półcykli malejących AHE. W polach: GDH i EHC znajdują się półcykle z zakresu $-1 < R < 0$, DHF i CHK półcykle z zakresu $-\infty < R < -1$ oraz FHB i KHB znajdują się cykle z zakresu $1 < R < \infty$.

4. WYBÓR CHARAKTERYSTYKI DWUPARAMETRYCZNEJ

Sinusoidalne cykle obciążenia wyznaczone z obciążenia eksploatacyjnego posiadają różne amplitudy i wartości średnie, co zostało zasygnalizowane w pobieżnej analizie w punkcie powyżej. W związku z tym obliczenia trwałości zmęczeniowej elementu konstrukcyjnego wymagają przyjęcia charakterystyki zmęczeniowej z uwzględnieniem zmienności σ_a i σ_m w szerokich granicach.

Znanych jest wiele opisów tego rodzaju charakterystyk zmęczeniowych (Kocańda i Szala, 1997; Szala i Szala, 2001). Z analizy wymienionych prac wynika, że w przypadku ograniczonej liczby danych z badań zmęczeniowych dobrą zgodność wyników obliczeń z wynikami badań uzyskuje się stosując charakterystykę według modelu II (Szala i Szala, 2001).

Model II polega na przyjęciu płaszczyzny przechodzą-

cej przez gałąź ograniczonej trwałości wykresu zmęczeniowego wyznaczonego przy $R=-1,0$ i punkt o wartości R_m lub R_e na osi σ_m . Płaszczyzna ta opisana jest zależnością:

$$N = N_0 \left[\frac{Z_{rc}}{\sigma_a} \left(1 - \frac{\sigma_m}{R_m} \right) \right]^{m_0} \quad \text{dla } \sigma_{\max} \geq Z_{rc} \quad (3)$$

$$N \rightarrow \infty \quad \text{dla } \sigma_{\max} < Z_{rc}$$

gdzie: N – całkowita liczba cykli obciążenia sinusoidalnego o parametrach σ_a i σ_m do pęknięcia zmęczeniowego, N_0 – liczba cykli z wykresu zmęczeniowego Wöhlera (rysunek 5) odpowiadająca granicy zmęczenia Z_{rc} , m_0 – wykładnik w równaniu wykresu zmęczeniowego.

5. HIPOTEZA SUMOWANIA USZKODZEŃ ZMĘCZENIOWYCH

Jak wskazano w p.2 w przykładzie obliczeń trwałości zmęczeniowej elementu konstrukcyjnego poddanego działaniu obciążenia eksploatacyjnego o szerokim widmie, przyjęto liniową hipotezę sumowania uszkodzeń zmęczeniowych Palmgrena-Minera.

Jak wiadomo, uszkodzenie zmęczeniowe według tej hipotezy dla charakterystyki zmęczeniowej jednoparametrycznej $N(\sigma_a)$ obliczamy ze wzoru:

$$D_i = \frac{n_i}{N_i} \quad (4)$$

gdzie: D_i jest uszkodzeniem po n_i cyklach naprężenia o amplitudzie σ_{a_i} , N_i jest liczbą cykli do pęknięcia zmęczeniowego (np. odczytaną z wykresu zmęczeniowego Wöhlera) dla naprężenia o amplitudzie σ_{a_i} , $D_0=0$ dla $n_i=0$ oraz $D_N=1.0$ dla $n_i=N_i$.

W przypadku obciążenia eksploatacyjnego o szerokim widmie, którego opracowanie daje liczby cykli n_{ij} o zmienności wartościach σ_{ajj} i σ_{mij} (podane np. w tablicy korelacyjnej), a z charakterystyki dwuparametrycznej otrzymujemy N_{ij} cykli do pęknięcia zmęczeniowego, uszkodzenie D_{ij} oblicza się ze wzoru:

$$D_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_{ij}} \quad (5)$$

Całkowite uszkodzenie zmęczeniowe spowodowane wszystkimi cyklami zawartymi w tablicy korelacyjnej wynosi:

$$D = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k D_{ij} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{n_{ij}}{N_{ij}} \quad (6)$$

Trwałość zmęczeniową w liczbie cykli obliczamy ze wzoru:

$$N_c = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} \quad (7)$$

gdzie: n_{ij} we wzorach (4), (5) i (6) oznacza liczbę cykli w polu tablicy korelacyjnej oznaczonej numerami i oraz j .

6. PRZYKŁAD OBLICZEŃ

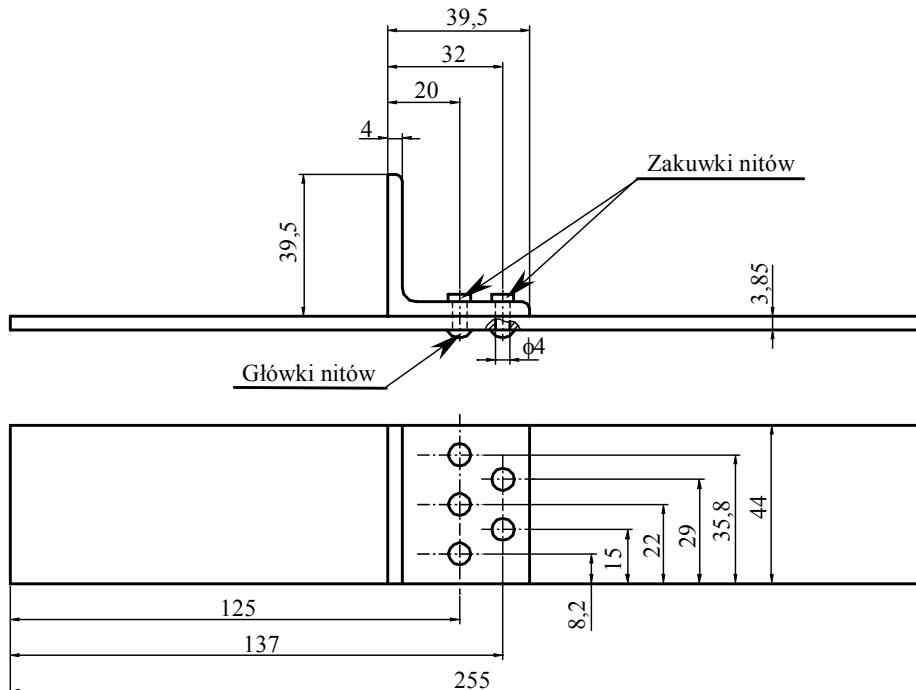
Obiekt obliczeń i badań stanowił płaskownik usztywniony za pomocą kątownika (rysunek 4) odzwierciedlający fragment struktury nośnej samolotu. Płaskownik z kątownikiem połączony został za pomocą pięciu nitów. Całość wykonana została ze stopu aluminium D16CzATW. Skład chemiczny stopu aluminium zamieszczono w tabeli 1, a statyczne własności mechaniczne w tabeli 2.

Tab. 1. Skład chemiczny stopu aluminium D16CzATW

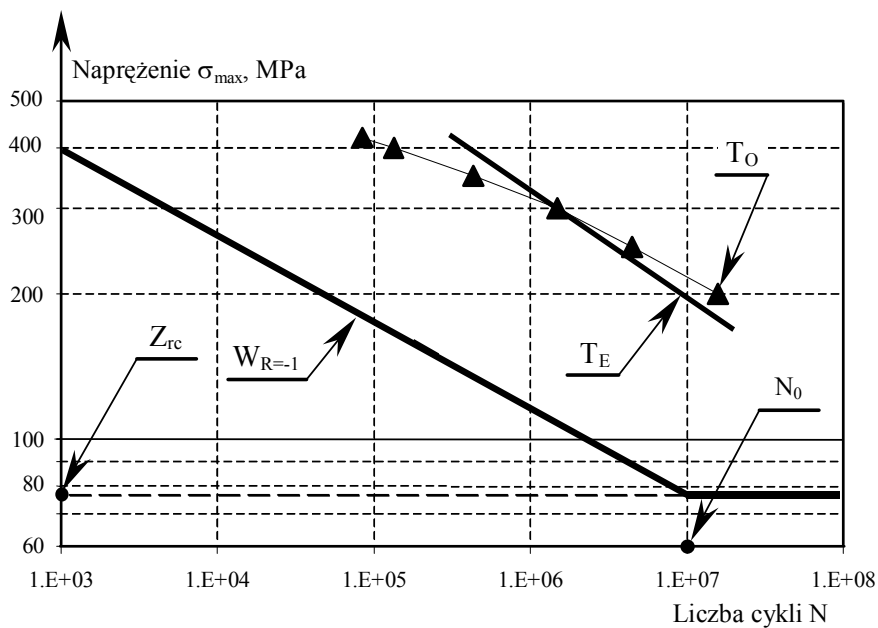
Cu	Mg	Mn	Zn ^(*)	Fe ^(*)	Si ^(*)	Inne
%						
3,8-4,9	1,2÷1,8	0,3÷0,9	0,1	0,3	0,2	0,05
(*) wartości maksymalne						

Tab. 2. Własności statyczne stopu D16CzATW

	R _e	R _m	E	A	Z
	MPa	MPa	MPa	%	%
Wartość średnia	336	460	68 402	25,2	28,7
Odchylenie stand.	3,1	1,0	1 190	0,4	1,6



Rys. 4. Obiekt badań wraz z głównymi wymiarami elementów składowych



Rys. 5. Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej elementu konstrukcyjnego: $W_{R=-1}$ – trwałość zmęczeniowa dla obciążenia cyklicznego $R=-1$ (wykres Wöhlera), T_E – trwałość zmęczeniowa dla obciążenia eksploatacyjnego, T_O – wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej

Z badań w warunkach obciążenia cyklicznego (sinusoidalnego) elementu konstrukcyjnego otrzymano następujące wyniki:

– wykres zmęczenia Wöhlhera ($R = -1$)

$$\log \sigma_{\max} = -0,1794 \log N + 3,1398 \quad (8)$$

– granica zmęczenia ma wartość $Z_{rc} = 76,5$ MPa,
– wykładnik potęgi $m_0 = 5.57$.

Podstawiając wymienione wartości do wzoru (3) otrzymuje się dwuparametryczną charakterystykę zmęczeniową w postaci:

$$N = 10^7 \left[\frac{76,5}{\sigma_a} \left(1 - \frac{\sigma_m}{460} \right) \right]^{5.57} \quad (9)$$

dla $-\infty < R < 1,0$ i $\sigma_{\max} \geq Z_{rc}$.

Do obliczeń przyjęto zakres naprężeń maksymalnych σ_{\max} w przebiegu obciążeń eksploatacyjnych: od 200 do 420MPa.

Przyjmując dane do obliczeń z rysunku 3 i wzór (9) opisujący dwuparametryczną charakterystykę zmęczeniową, ze wzorów (4), (5) i (6) obliczamy trwałość zmęczeniową w liczbie cykli. Znając liczbę cykli przypadającą na jednostkę czasu lub lot, można wyznaczyć trwałość w godzinach lub liczbie lotów. Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej przedstawiono na rysunku 5.

Na rysunku 5 zamieszczono ponadto wykres trwałości wyznaczony doświadczalnie oraz wykres zmęczeniowy Wöhlhera dla $R = -1$.

7. PODSUMOWANIE

Z porównania wykresów trwałości zmęczeniowej uzyskanych w wyniku obliczeń i badań doświadczalnych wynika dobra zgodność wyników w zakresie naprężeń maksymalnych (σ_{\max}) od 200 do 300MPa. Obliczona trwałość zmęczeniowa dla naprężeń maksymalnych powyżej 300MPa jest mniejsza od trwałości doświadczalnej. Zaistniałe różnice mogą wynikać z zakresu przyjętych naprężeń maksymalnych, których wartość jest większa od granicy plastyczności dla stopu aluminium D16CzATW. Pomimo zaistniałych różnic, przedstawiona metoda obliczeń oparta na dwuparametrycznej charakterystyce zmęczeniowej daje zadowalające wyniki trwałości w warunkach obciążeń losowych o szerokim widmie.

LITERATURA

1. **Kocańda S., Szala J.** (1997), *Podstawy obliczeń zmęczeniowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
2. **Szala J., Ligaj B.** (2005a), Tablice korelacyjne dla obciążeń eksploatacyjnych – budowa, właściwości i zastosowanie, *X Jubileuszowy Kongres Eksploatacji Maszyn i Urządzeń*, Stare Jabłonki, 531-542.
3. **Szala J., Ligaj B.** (2005b), Trwałość zmęczeniowa elementów konstrukcyjnych w warunkach obciążeń eksploatacyjnych i programowanych, *Problemy Eksploatacji*, 4/2005, Instytut Technologii Eksploatacji, 291-301.
4. **Szala J., Szala G.** (2001), Dwuparametryczne charakterystyki zmęczeniowe – sformułowanie problemu, *Problemy Eksploatacji*, 3/2001, Instytut Technologii Eksploatacji, 287-295.
5. **Szala J.** (1998), Hipotezy sumowania uszkodzeń zmęczeniowych, *Uczelniane Zeszyty Akademii Techniczno-Rolniczej*, Bydgoszcz.
6. Description of a Fighter Aircraft Loading Standard for Fatigue, ICAF, 1976.

A FATIGUE LIFE CALCULATION METHOD OF CONSTRUCTIONAL ELEMENTS WITH A USE OF TWO - PARAMETRIC FATIGUE CHARACTERISTICS

Abstract: Suitable damage accumulation hypothesis and suitable fatigue life characteristics of a material should be assumed in fatigue life calculations of constructional elements in servis conditions under random loading with a wide-band spectrum.

The paper presents the algorithm of fatigue life calculations based on two-parametric fatigue life characteristics. Description of the method and the algorithm was performed on the example of fatigue life calculations of a constructional element made of D16CzATW aluminum alloy.