

OZNACZANIE GRANICY ZMĘCZENIA
TWORZYW SZTUCZNYCH METODĄ SCHODKOWĄ

MARIAN NOWAK (WROCLAW)

Zestawienie ważniejszych oznaczeń

A. Ogólnych

- $E(x)$ wartość średnia rozkładu,
 f częstotliwość obciążeń — [Hz],
 M typ maszyny zmęczeniowej: 1w — jednowrzecionowa [1], 12w — dwu-
nastowrzecionowa [2], PH — pulsator hydrauliczny [3], 1wB — jedno-
wzrecionowa, bułgarska [4],
 n_0 liczebność próby (liczba obserwacji),
 R współczynnik amplitudy cyklu [5],
 t_B temperatura badania — [K],
 t_α krytyczna wartość statystyki t — Studenta,
 X_{\min}, X_{\max} najniższa i najwyższa wartość zmiennej losowej,
 Z_{g0} wytrzymałość zmęczeniowa przy próbie wahadłowego zginania określona
metodą schodkową na bazie N_G — [MPa],
 Z_{g0}^m wytrzymałość zmęczeniowa przy próbie wahadłowego zginania określona
metodą schodkową zmodyfikowaną na bazie N_G — [MPa],
 ν współczynnik zmienności — [%],
 $\sigma(x)$ odchylenie standardowe,
 τ_s czas naturalnego starzenia — [miesiące].

B. Szczegółowych — związanych z metodą schodkową

- i numer kolejny poziomu naprężenia,
 n liczba próbek rzadziej występującego zdarzenia ($n = \sum n_i$),
 n_i liczba próbek na poszczególnych poziomach naprężenia zdarzenia rzadszego
w próbie,
 q liczba stopni (poziomów) naprężenia,
 S_j, S szacunkowa wartość odchylenia standardowego próby i zbioru — [MPa],
 σ_{g0} wartość najniższego poziomu naprężenia rzadziej występującego zdarzenia —
[MPa],
 $\Delta\sigma$ wartość stopnia naprężenia — [MPa].

1. Wstęp

Pierwsze prace ze zmęczenia tworzyw sztucznych ukazały się w latach 1937 - 39 [6, 7, 8] i dotyczyły laminatów fenolowoformaldehydowych. W Polsce badania zmęczeniowe zainaugurowała publikacja KARCZEWSKIEGO na temat własności zmęczeniowych żyłki polikaprolaktamowej [9]. Historycznie pierwszą i aktualnie zasadniczą formą opracowywania wyników pomiarów jest wykres zmęczenia w układzie σ -lgN (zwany także wykresem Wöhlera [10]). W dalszych badaniach zaadaptowano do oznaczania wytrzymałości zmęczeniowej tworzyw sztucznych takie metody, jak: Prota, schodkową, Lehra-Schencka i Probit [11].

Metoda schodkowa (nazwa w oryginale: the „up and down” method), opracowana przez DIXONA i MOODA [12], została spopularyzowana w polskim piśmiennictwie naukowym przez DYŁĄGA i ORŁOSIA [13] oraz BARANOWSKIEGO [14, 15], BACHMACZA [16] i innych [17, 18]. Stosowanie jej w badaniach zmęczeniowych tworzyw sztucznych jest celowe z tego powodu, że jest dokładna i nadaje się do materiałów o dużej dyspersji wyników pomiarów.

Niniejsza praca omawia zasadnicze problemy stosowania metody schodkowej i schodkowej zmodyfikowanej do oznaczania granicy zmęczenia tworzyw sztucznych z uwzględnieniem aspektów praktycznych związanych przede wszystkim z liczebnością próby w wymienionych metodach (n_s, n_z) oraz stopniem i ilością poziomów naprężenia. Podstawą analizy teoretyczno-doświadczalnej jest zbiór 60 wykresów schodkowych zgromadzony przez autora na przestrzeni 10 lat stosowania tej metody w badaniach zmęczeniowych tworzyw sztucznych [19].

2. Charakterystyka badanego zbioru

Przedmiotem analizy doświadczalnej jest pięć rodzajów tworzyw termoplastycznych: poliamid 6, poliamid 6 wzmocniony szkłem (włókna i kulki szklane), polichlorek winylu nieplastyfikowany [20], polistyren wysokoudarowy produkcji bułgarskiej [4] oraz politereftalan etylenowy wzmocniony szkłem (tablica 1). Najliczniej reprezentowana jest grupa poliamidów wzmocnionych i niewzmocnionych. Zestaw tworzyw wynika z faktu, że poliamid 6 należy do popularnych w Polsce tworzyw konstrukcyjnych oraz z chronologii wykonywania z nich tworzyw wzmocnionych. Pierwszym w kraju polimerem wzmocnionym był Tarnamid T-27 (T-27WS), którego produkcję w skali laboratoryjnej uruchomił Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie [21, 22]. W roku 1976 rozpoczęto wytwarzanie politereftalanu etylenowego wzmocnionego szkłem (Elit 25), który łącznie z produkowaną serią itamidów (Itamid 25, 35, S) tworzy grupę nowych tworzyw konstrukcyjnych o podwyższonych własnościach mechanicznych [23].

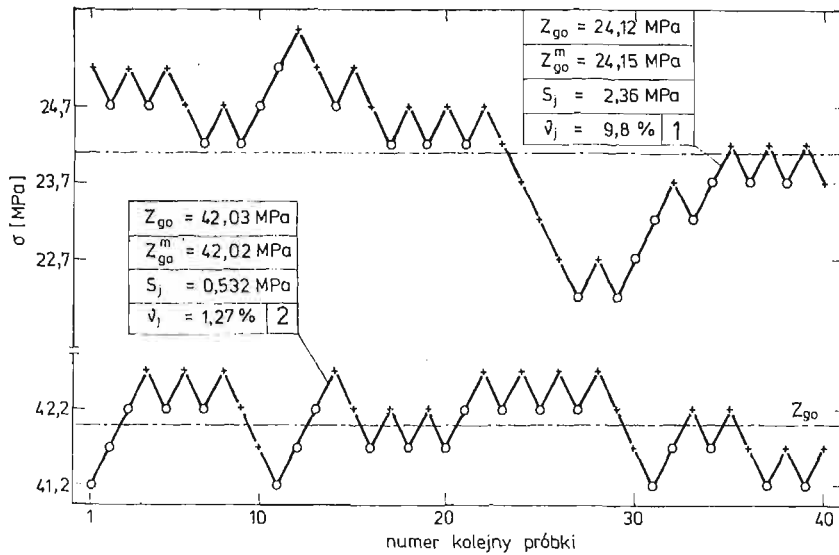
Analizę statystyczną i sformułowane wnioski — jak zaanonsowano we wstępie — oparto o zbiór 60 wykresów zbudowanych metodą schodkową dla liczebności próby $n_0 = 27 \div 51$ (tablica 2). Jest to reprezentatywna populacja, ponieważ różnica w statystyce t_α dla $n' = 60$ i następnej dla $n' = 120$ jest bardzo mała [24]. Ponadto zbiór, dla którego $n' > 30$ uważany jest już za próbę o dużej liczebności.

Obok szerokiego asortymentu tworzyw sztucznych analizowana populacja, z której wybrano przykładowo dwa charakterystyczne wykresy schodkowe (rys. 1), reprezentuje

Tablica 1. Porównanie granicy zmęczenia niektórych tworzyw sztucznych określonej metodą schodkową i metodą schodkową zmodyfikowaną dla wybranych warunków pomiaru

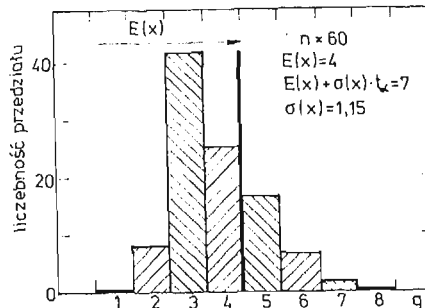
Nr	Rodzaj tworzywa	Nazwa handlowa	Warunki pomiaru					Z_{g0} MPa	Z_{g0}^m MPa	$ \Delta_{mf} $ %	ν_j %			
			$\Delta\sigma$	τ_s	t_B	M	n_0							
1	Poliamid 6	Tarnamid T-27 (seria I)	0,5	7	298	1w	40	13,2	13,18	0,15	8,8			
2						12w	40	14,0	14,00	0	5,6			
3		Tarnamid T-27 (seria II)	0,5	12	298	1w	40	12,4	12,45	0,40	4,7			
4						12w	41	13,7	13,64	0,44	5,8			
5		Poliamid blokowy PB	0,55	10	358	12w	27	10,4	10,45	0,48	2,1			
6						0,90	—	298	PH ¹⁾	51	76,2	75,70	0,66	2,4
7						0,55	8	298	12w	40	23,0	22,86	0,61	8,3
8		Tarlon XB ²⁾	0,5	34	298	1w	40	13,6	13,60	0	7,2			
9						12w	40	13,6	13,60	0	7,0			
10	Poliamid 6 wzmocniony szkłem	T-27WS	0,5	15	298	12w	40	19,0	19,03	0,16	4,5			
11		Itamid 25	0,5	65	298	12w	34	22,2	22,18	0,09	3,7			
12						1w	31	20,7	20,54	0,77	2,1			
13						0,5	84	298	12w	40	22,4	22,43	0,14	3,1
14		Itamid 35	0,5	48	298	1w	41	25,0	25,04	0,16	1,8			
15						12w	39	24,5	24,47	0,12	1,5			
16		Itamid S-2	0,5	10	298	12w	29	41,40	41,42	0,02	2,1			
17						1w	29	41,30	41,33	0,07	1,9			
18						0,5	16	298	12w	40	42,0	42,02	0,05	1,3
19	Polichlorek winylu	PCW	0,5	—	298	1w	40	7,9	7,88	0,25	10,6			
20					328	1w	31	4,9	4,87	0,60	34,5			
21					298	1w	40	6,65	6,65	0	6,8			
22	Polistyren	E-25	0,4	—	293	1wB	40	12,77	12,74	0,23	4,1			
23	Politereflatan etylenowy ³⁾	Elit 25	0,5	10	298	12w	27	25,8	25,79	0,12	1,3			
24						0,5	17	298	1w	40	24,1	24,2	0,41	9,8

Baza $N_G = 10^6$, $f = 15$ Hz, a dla polistyrenu $N_G = 10^7$ oraz $f = 100$ Hz [4] 1) cykl Z_r , oraz baza 10^5 [3]; 2) zastąpiony przez T-27 [29]; 3) wzmocniony.



Rys. 1. Wybrane wykresy schodkowe o różnym stopniu asymetrii 1 — Elit 25 (wykres niesymetryczny $v_j > E(v_j)$); 2 — Itamid S-2 [wykres symetryczny, $v_j < E(v_j)$].

także różne temperatury (293 ÷ 358 K), typy maszyn zmęczeniowych (1w, 12w, PH, 1wB) różną zawartość wilgoci w próbkach (stan klimatyzowany i mokry), czas starzenia (7 ÷ 84 miesięcy), technologię wykonania i kształt próbki (walcowe i profilowe [25]) oraz częstotliwość (15 i 100 Hz). Badany zbiór wykresów schodkowych scharakteryzowano wielobokiem częstości szeregu rozdzielczego liczby stopni naprężenia q (rys. 2) oraz sumaryczną liczbą wykresów dla praktycznie stosowanych liczebności zdarzeń (tablica 2).



Rys. 2. Wielobok częstości szeregu rozdzielczego liczby stopni naprężenia q ($\epsilon_t = 2\%$).

Tablica 2. Klasyfikacja badanego zbioru ze względu na liczbę wykresów schodkowych w grupie o liczebności n

Stosowane liczebności oznaczeń w konstrukcji wykresów schodkowych, n_0	27 ÷ 30	31 ÷ 39	≥ 40
Liczba wykresów schodkowych z liczbą oznaczeń n_0	32	12	16

Liczba pojedynczych obserwacji w zbiorze = 1930; średnia liczba obserwacji w próbie $\bar{n}_0 = 32$.

3. Ogólne uwagi o metodzie schodkowej i schodkowej zmodyfikowanej

Granica zmęczenia Z , według metody schodkowej, jest takie naprężenie, w cyklu określonym przez σ_a , σ_m i R , które spowoduje zniszczenie około 50% badanych próbek przed osiągnięciem przez nie założonej granicznej liczby cykli N_G . Z definicji Z i sposobu prowadzenia eksperymentu wynika, że przed rozpoczęciem badań należy założyć: 1. liczebność próby n_0 , 2. bazę N_G , 3. wartość stopnia naprężenia $\Delta\sigma$.

Liczba próbek zalecana w konstrukcji wykresu schodkowego metali jest rzędu $40 \div 50$ [12, 13, 26]. Analogiczne liczebności należałoby przyjmować w badaniach zmęczeniowych tworzyw sztucznych (a nawet większe z powodu większego rozrzutu), ponieważ obliczanie granicy zmęczenia, odchylenia standardowego oraz przedziałów ufności dla pojedynczych spostrzeżeń i wartości średniej oparte jest na tej samej podstawie teoretycznej. Zebrany materiał doświadczalny z badań tworzyw sztucznych na zmęczenie i jego analiza teoretyczna wskazują jednak, że liczbę próbek można znacznie zmniejszyć do statystycznie i ekonomicznie uzasadnionej, uwzględniając przy tym przeznaczenie pomiarów.

Wielkość bazy N_G jaką obserwuje się w badaniach porównawczych tworzyw sztucznych wynosi najczęściej 10^6 , a więc powyżej krytycznej liczby cykli [25]. Przy jej wyborze kierujemy się tym, że z jednej strony nie może to być liczba zbyt mała ze względu na techniczną wartość wytrzymałości zmęczeniowej, a z drugiej — wartość bazy $5 \cdot 10^6$, $10 \cdot 10^6$, $20 \cdot 10^6$ jak w przypadku badań metali [10] przedłużyłaby czas trwania próby do tego stopnia, że wpływ starzenia na wytrzymałość zmęczeniową niektórych tworzyw może okazać się już znaczący [25].

Trzecim parametrem przyjmowanym w metodzie schodkowej — to stopień naprężenia $\Delta\sigma$. Wartość zalecana przez Dixona i Mooda wynosi $\Delta\sigma = (0,5 \div 2) \cdot S_j$. Pierwsze badane próbki obciąża się większymi stopniami naprężenia aż do osiągnięcia dwójki próbek, które dały przeciwne wyniki względem granicznej liczby cykli, a następnie mniejszymi i już stałymi do zakończenia próby. Podstawą analizy statystycznej jest zdarzenie rzadziej występujące w eksperymencie.

Wyznaczanie umownej wytrzymałości zmęczeniowej według zmodyfikowanej metody schodkowej opiera się również na wykresie schodkowym, lecz o mniejszej liczebności (minimum 15 — [13]). Obliczone według wzoru

$$(1) \quad Z_{g0}^m = \frac{1}{n_0} \sum_1^{n_0} \sigma_i,$$

wartości granicy zmęczenia są przedmiotem porównania i rozważań statystycznych.

4. Analiza statystyczna wyników pomiarów

Analizie statystycznej poddano (tablica 3) — zgodnie z celem pracy sformułowanym we wstępie — sześć wielkości; charakteryzujących wykres schodkowy:

1. Względny błąd metody obliczania granicy zmęczenia (schodkowa — schodkowa zmodyfikowana) — Δ_{mj} (rys. 5).

Tablica 3. Zestawienie obliczeń statystycznych wielkości charakteryzujących doświadczalną populację wykresów schodkowych dla $\varepsilon_3 = 2\%$.

Lp.	Liczby charakterystyczne	$E(x)$	X_{\min}	X_{\max}	$\sigma(x)$	t_α ($\alpha = 0,05$)	$\sigma(x) \cdot t_\alpha$	$E(x) + \sigma(x) \cdot t_\alpha$
	Wielkości badanego zbioru							
1	Względny błąd metody obliczania $Z_{go}: \Delta_m$	0,18	0,00	1,5	0,34	2,000	0,68	0,86
2	Odchylenie standardowe: S	0,70	0,20	2,1	—	—	—	—
3	Minimalna liczebność próby w metodzie schodkowej n_s	13	1	29	6,940	2,000	13,88	(26, 51) 27
4	Minimalna liczebność próby w metodzie schodkowej zmodyfikowanej: n_z	12	1	28	5,685	2,000	11,37	(23, 37) 24
5	Liczba stopni naprężenia: q	4	2	7	1,15	2,000	2,30	7
6	Współczynnik zmienności: ν	5,40	0,8	34,5	5,23	2,000	10,46	15,86

2. Odchylenie standardowe [12] —

$$(2) \quad S_j = 1,62 \cdot \Delta \sigma \left[\frac{n \sum i^2 n_i - (\sum i n_i)^2}{n^2} + 0,029 \right].$$

3. Liczebność próby w metodzie schodkowej — n_{sj} .

4. Liczebność próby w metodzie schodkowej zmodyfikowanej — n_{zj} .

5. Liczbę stopni naprężenia q_j .

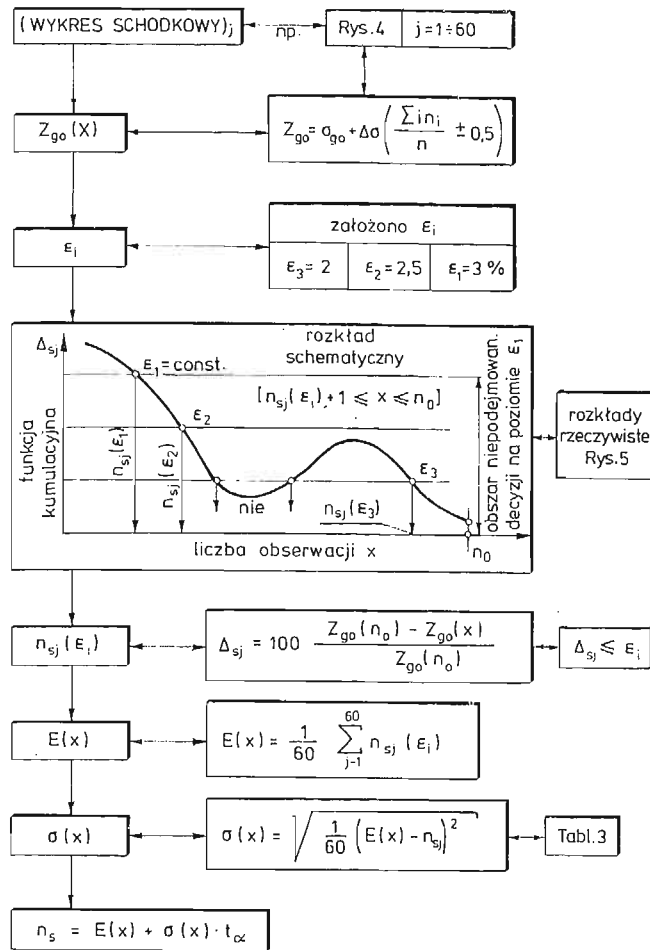
6. Współczynnik zmienności ν_j .

Zasadę obliczania n_{sj} i n_{zj} skonstruowano na wzór analizy sekwencyjnej w ten sposób (rys. 3), że dla założonego błędu ε_i wyznaczania granicy zmęczenia poszukuje się dla każdego wykresu schodkowego minimalnych liczebności próby, dla których spełnione są nierówności

$$(3), (4) \quad \Delta_{sj} \leq \varepsilon_i; \quad \Delta_{mj} \leq \varepsilon_i$$

Następnie dla nowego zbioru zmiennych losowych n_{sj} , n_{zj} wyznaczono parametry rozkładu $E(x)$ i $\sigma(x)$ i dla założonego poziomu istotności α określono granice przedziału: $\pm \sigma(x) \cdot t_\alpha$. Obliczenia prowadzono systemem tablicowym.

Wartość najniższego błędu przyjęto $|\varepsilon_3| = 2\%$ (tablica 4), ponieważ gdy $|\varepsilon_3| < 2\%$ to procent wykresów schodkowych w badanej populacji, dla których obliczona liczebność jest większa od najmniejszej w zbiorze ($n_{sj} > n_0 = 27$) przekracza założony poziom



Rys. 3. Schemat obliczeń statystycznych liczebności próby w metodzie schodkowej (n_s).

Tablica 4. Minimalne liczebności próby w wyznaczeniu Z_{90} , w funkcji błędu pomiaru ϵ_i określone z prawdopodobieństwem $P = 95\%$.

		ϵ_i (%)			
		2	2,5	3	
Metoda oznaczania Z_{90}	schodkowa	n_s	27	25	22
	schodkowa zmodyfikowana	n_z	24	23	20

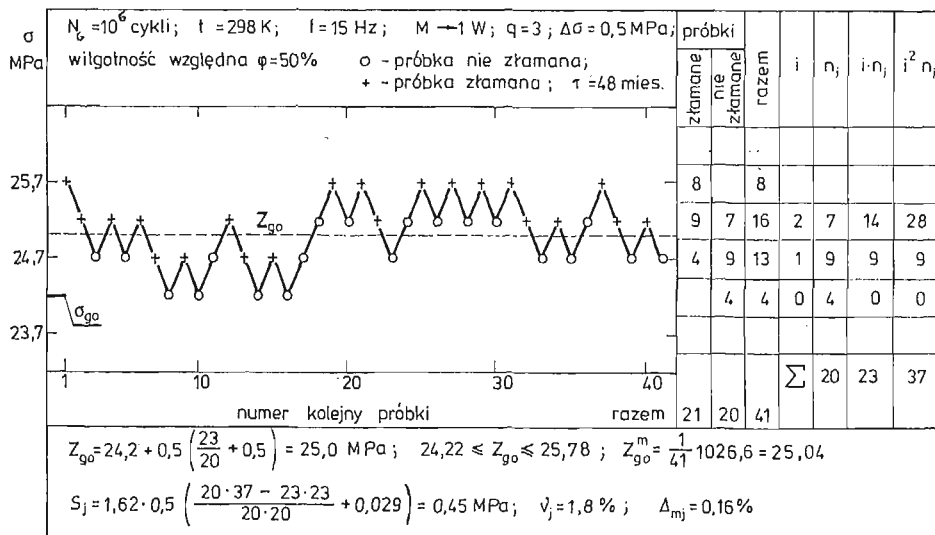
istotności $\alpha = 0,05$ (wartość najczęściej przyjmowana w doświadczalnictwie). Natomiast wartości ϵ_1 i ϵ_2 (rys. 3) mogą być uzasadnione wprowadzeniem do badań zmęczeniowych klasyfikacji pomiarów na trzy strefy dokładności, jak to uczyniono m.in. w metrologii

włókienniczej [27]. Według tej klasyfikacji pierwszej strefie dokładności (dokładność przeciętna) odpowiada ε_1 , drugiej (dokładnej) — ε_2 i trzeciej (bardzo dokładnej) — ε_3 .

Założono ponadto, że zmienne losowe Δ_{mj} , S_j , n_{sj} , n_{zj} , q_j , v_j mają rozkład normalny. Weryfikację tego założenia przeprowadzono dla n_{sj} i n_{zj} — jako wielkości podstawowych w zagadnieniu — metodą wykresną na siatce funkcyjnej (papierze probabilistycznym). Z otrzymanych wykresów wynika, że rozkłady badanych zmiennych losowych są po wygładzeniu w przybliżeniu normalne. W związku z tym poszukiwane wielkości (tablica 3) mają sens praktyczny tylko dla górnej granicy przedziału, tj. dla

$$(5) \quad E(x) + \sigma(x) \cdot t_\alpha.$$

Analizę statystyczną pozostałych wielkości ograniczono do jednej wartości $\varepsilon_i = \varepsilon_3$ uważając, że jest ona wystarczająca w stosunku do roli jaką te wielkości spełniają w metodzie schodkowej i schodkowej zmodyfikowanej, zaś dyskusję wyników — do bezpośrednich wniosków. Natomiast analizę statystyczną wielkości n_s oraz n_z przeprowadzono dla trzech wartości ε_i , uwzględniając w schemacie obliczeń (rys. 3 i 5 oraz tablica 3) specyfikę funkcji kumulacyjnych Δ_{sj} i $\Delta_{mj} = F(x)$. Polega ona na tym, że niektóre wykresy Δ_{sj} i Δ_{mj} przecinają proste $\varepsilon_i = \text{const}$ więcej niż jeden raz. W takich przypadkach za zmienną losową przyjmowano minimalne wartości n_{sj} oraz n_{zj} wynikające z pierwszego przecięcia, prowadząc obliczenia w kierunku malejących x (rys. 5). Gdy zaś skumulowane wartości

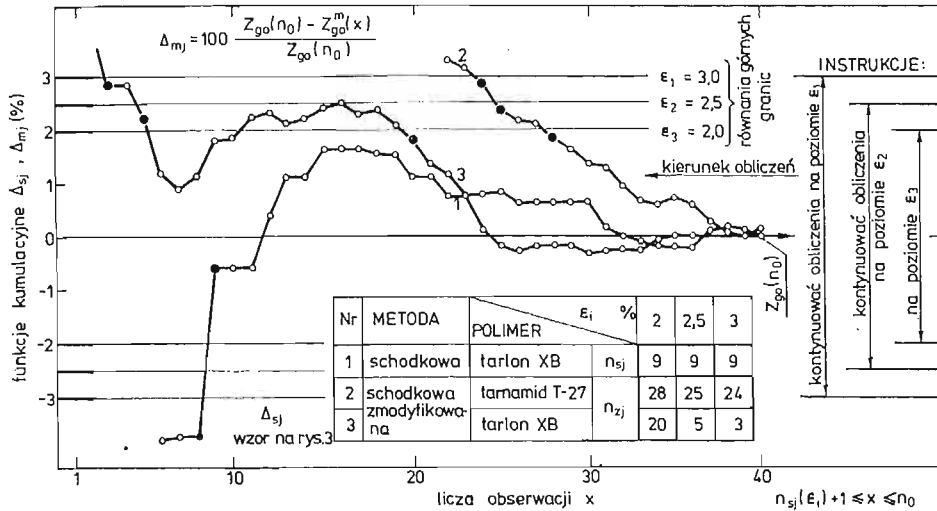


Rys. 4. Przebieg oznaczania umownej wytrzymałości zmęczeniowej Itamidu 35 metodą schodkową (wykres schodkowy).

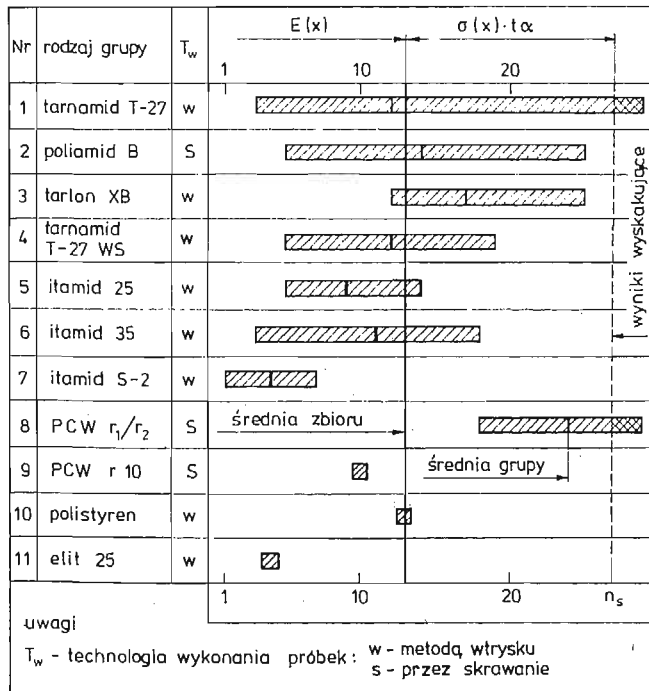
funkcji Δ_{mj} i Δ_{sj} nie przecięły żadnej z prostych $\varepsilon_i = \text{const}$ (wykresów takich zanotowano 4), to przyjmowano $n_{sj} = n_{zj} = 1$.

Z podziału badanego zbioru wykresów schodkowych na podzbiory (grupy tworzyw — rys. 6) wynikają dwa charakterystyczne zjawiska. Pierwsze — dotyczy tzw. wyników wyskakujących poza granicę rozkładu ustaloną wzorem (5), a drugie — związane jest z przesunięciem wartości oczekiwanej grupy poza wartość średnią zbioru. Do tych pod-

zbiorów należy Tarnamid T-27, poliamid polimerizowany w bloku (poliamid B), Tarlon XB oraz polichlorek winylu (PCW — r_1/r_2), tzn. te tworzywa, których wykresy schodkowe są niesymetryczne (rys. 1). Asymetria ta jest prawdopodobnie związana z niejednorodnością podzbioru polegającą na tym, że zawiera on próbki należące do trzech populacji



Rys. 5. Wykresna analiza sekwencyjna regulacji założonego błędu ϵ_i wielkością próby X .



Rys. 6. Podział badanych tworzyw na podzbiory (grupy) monomateriałowe ($\epsilon_i = 2\%$).

Tablica 5. Charakterystyka wykresów schodkowych dla wybranych metali

Nr	Materiał	R_m MPa	Warunki pomiaru			Z^s MPa	Z^m MPa	$ \Delta_{mj} $ %	ν_j %	q
			n_0	$\Delta\sigma$ MPa	$10^{-6}N_G$					
1	Stal Ck 10; C = 0,11%; próbka gładka	450	50	5	2	283,3	283,3	0	3,4	5
2	Stal Ck10; C = 0,11%; próbka z karbem	450	50	7,5	2	191,3	191,25	0,03	3,3	3
3	Stop Alumiiniowy AlCuMgPA7	535	40	10	70	138,2	139,0	0,58	11,5	4
4	Drut stalowy D60A; C = 0,58% d = 2,5 mm; stan dostawy	1385				450	449,2	0,18	7,1	6
5	Drut wyżarzony w oleju	1487	52	10	5	461	461,2	0,04	5,2	6
6	Drut wyżarzony w kąpielii ołowianej	1449				489	488,8	0,04	5,1	6
7	Drut wyżarzony w soli	1382				532	531,3	0,13	6,6	6
8	Stal 34 CrMo4	1000	15	10	10	518,3	520,6	0,44	6,0	5

Tablicę opracowano na podstawie: [15, 16, 26, 30]; Z^s — granica zmeżenia obliczona metodą schodkową, Z^m — granica zmeżenia określona metodą schodkową zmodyfikowaną $\nu = 6,0$; $\bar{q} = 5$.

[28, s. 29]: niskowytrzymałościowej, podstawowej i wysokowytrzymałościowej. Złożone warunki wtrysku tworzywa do formy, jakość stosowanych substratów do wytłaczania wałków z PCW, zmienne warunki polimeryzacji poliamidu w bloku oraz szereg innych czynników związanych z technologią wykonania próbek składa się na powstawanie niejednorodnych podzbiorów. Do zmniejszenia tej niejednorodności może przyczynić się:

— na etapie formowania próbek — staranne przygotowanie masy wtryskowej, dobór i utrzymanie optymalnych parametrów wtrysku, prawidłowe pod względem funkcjonalnym wykonanie formy oraz właściwy dobór wtryskarki i oprzyrządowania pomocniczego (lub właściwy dobór parametrów skrawania — dla próbek wykonywanych przez toczenie);

— na etapie przygotowania próby do eksperymentu — staranne wymieszanie próbek oraz pobieranie ich do pomiarów według tablic liczb losowych.

Na zakończenie należy zwrócić uwagę, że wielkości charakteryzujące wykresy schodkowe wybranych przykładowo metali (tablica 5) są w zasadzie tego samego rzędu co dla badanych tworzyw sztucznych.

5. Wnioski

1. Oznaczanie granicy zmęczenia termoplastycznych tworzyw sztucznych metodą schodkową należy przeprowadzać na zbiorze próbek o liczebności nie mniejszej od 22 zakładając, że $\varepsilon = 3\%$, a prawdopodobieństwo popełnienia błędu 0,05. Dla $\varepsilon = 2\%$ liczba badanych próbek wynosi $n_s = 27$.

2. Zmodyfikowana metoda schodkowa może być stosowana do obliczania granicy zmęczenia, ponieważ w porównaniu z metodą schodkową różnice wytrzymałości zmęczeniowej nie przekraczają 1% ($P = 95\%$). Metoda schodkowa zmodyfikowana jest prostsza w obliczeniach, a liczebność próby może być nawet mniejsza o około 10% i wynosi: dla $\varepsilon = 3\%$ $n_z = 20$, a dla $\varepsilon = 2\%$ $n_z = 24$.

3. Średnia wartość odchylenia standardowego zbioru, obliczona wzorem przybliżonym wynosi 0,7 MPa i zawiera się w przedziale $S = 0,20 \div 2,10$. Stopień zaś naprężenia do badań początkowych można wybrać wstępnie z przedziału $\Delta\sigma = 0,1 \div 4,2$ MPa, średnio $\Delta\sigma = 0,35 - 1,4$ MPa.

4. Serię próbek o dużej liczebności, co do której istnieje przypuszczenie, że mogą w niej wystąpić różne zbiorowości należy dobrze wymieszać, a do pomiarów pobierać próbki według tablicy liczb losowych. Nieprzestrzeganie tej zasady może być przyczyną niesymetrycznego układu wyników na wykresie schodkowym, co prowadzi do wzrostu błędu oznaczania granicy zmęczenia albo do wzrostu liczebności próby ponad wyżej ustaloną.

5. Jeżeli badania określonego zjawiska będą oparte na wynikach pomiaru granicy zmęczenia metodą schodkową, to ze względów praktycznych liczbę próbek można ograniczyć do $n_0 = 20$, a dalszą niezbędną poprawę dokładności oznaczania należy skoncentrować na jakości wykonania próbek i staranności przeprowadzania eksperymentu.

Sformułowane wnioski (wniosek 3 z ograniczeniem) można rozszerzyć na inne tworzywa sztuczne i materiały — także metale — pod warunkiem, że wartości parametrów charakteryzujących wykres schodkowy (q , ν i symetria wykresu) mieszczą się w przedziale odpowiednich wartości badanego zbioru.

Literatura cytowana w tekście

1. M. NOWAK, *Badanie efektów cieplnych i starzeniowych poliamidu na podstawie wytrzymałości zmęczeniowej*, Raport nr 65, IMMT Politechniki Wrocławskiej, 1976.
2. M. NOWAK, *Konstrukcja aparatu do badania wytrzymałości zmęczeniowej na obrotowe zginanie tworzyw sztucznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej, Mechanika 25 (1968), 29 - 59.
3. J. ZAWADZKI, M. NOWAK, *Wytrzymałość zmęczeniowa poliamidu blokowego*, Przegląd Mech., z. 19, 29 (1970), 561 - 564.
4. П. ГЛЕНЕВ, С. МАНДЖАКОВ, И. СГУРЕВА, *Якостни и деформационни характеристики на български конструкционни пластмаси*, Комитет за Наука, Технически Прогрес и Висше Образование, София 1973.
5. Polska Norma: PN-64/H-04325; PN-67/H-04326.
6. A. THUM, A. GRETH, H. R. JACOBI, *Dauerbiegeversuche mit Kunstharzpressstoffen*, VDJ — „Kunst — und Pressstoffe”, 2 (1937), 16 - 24.
7. A. THUM, H. R. JACOBI, *Die Dauerfestigkeit von Kunstharzpressstoffen*, Der Maschinenschaden, nr 6-7, 15 (1938); 85 - 91, 101 - 105.
8. A. THUM, H. R. JACOBI, *Festigkeitseigenschaften von hochfesten Kunstharz — Pressstoffen*, VDJ — Zeitschrift, nr 37, Bd. 83 (1939), 1044 - 1048.
9. T. KARCEWSKI, *Właściwości zmęczeniowe żyłki polikaprolaktamowej i próba ich scharakteryzowania w zależności od stopnia orientacji rentgenowskiej*, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, nr 32, Włókiennictwo z. 6 (1960), 73 - 132.
10. S. KACAŃDA, *Zmęczeniowe niszczenie metali*, WNT, Warszawa 1978.
11. J. ZAWADZKI, M. NOWAK, *Metody badań zmęczeniowych tworzyw sztucznych*, Przegląd Mech., z. 1, 31 (1972), 5 - 10.
12. W. J. DIXON, A. M. MOOD, *A method for obtaining and analyzing sensitivity data*, J. Amer. Statist. Ass., Vol. 43 (1948), 109 - 126.
13. Z. DYŁĄG, Z. ORŁOŚ, *Wytrzymałość zmęczeniowa materiałów*, WNT, Warszawa 1962.
14. B. BARANOWSKI, *Zastosowanie metod statystycznych do wyznaczenia krzywej zmęczenia drutu stalowego*, Prace Inst. Hutniczych, z. 3, WGH, Katowice 1958, 153 - 160.
15. B. BARANOWSKI, *Wpływ wyżarzenia przy temperaturze 250 - 400°C na wytrzymałość na zmęczenie drutu liniarskiego D60A określony metodą statystyczną*, Prace Inst. Hutniczych, z. 3, WGH, Katowice 1958, 349 - 359.
16. W. BACHMACZ, *Trwała wytrzymałość zmęczeniowa stopu aluminiowego AlCuMg (PA7)*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Mech. z. 9 (1964), 43 - 51.
17. M. NOWAK, *Badanie efektów starzenia i obróbki cieplnej poliamidu 6 na bazie wytrzymałości zmęczeniowej*, Raport nr 7, IMMT Politechniki Wrocławskiej, 1973.
18. M. NOWAK, J. ZAWADZKI, *Wpływ temperatury i konstrukcji maszyny na wytrzymałość zmęczeniową Tarnamidu T-27*, Prace Naukowe IMMT Politechniki Wrocławskiej, nr 29, SiM nr 18 (1976) 13 - 21.
19. J. ZAWADZKI, M. NOWAK, *Wytrzymałość zmęczeniowa polichlorku winylu*, V Krajowa Konf. Wytr. i Badania Materiałów, Kraków 10 - 12.VI.1969.
20. J. ZAWADZKI, M. NOWAK, *Wytrzymałość zmęczeniowa polichlorku winylu*, Przegląd Mech., z. 15, 29 (1970), 437 - 440.
21. J. ZAWADZKI, M. NOWAK, *Wytrzymałość zmęczeniowa poliamidu zbrojonego włóknem szklanym*, Przegląd Mech., z. 3, 30 (1971), 69 - 73.
22. J. ZAWADZKI, M. NOWAK, *Wpływ temperatury na wytrzymałość zmęczeniową poliamidu zbrojonego*, Przegląd Mech., z. 5, 31 (1972), 137 - 139.

23. M. NOWAK, A. WAWRYKOWICZ, *Wytrzymałość zmęczeniowa wybranych tworzyw sztucznych wzmocnionych szkłem*, VIII Sympozjum Dośw. Badań w Mechanice Ciała Stałego, PTMTS et al., Warszawa 1978, 238 - 245.
24. A. STRZAŁOWSKI, A. ŚLIŻYŃSKI, *Matematyczne metody opracowywania wyników pomiarów*, PWN, Warszawa 1977.
25. M. NOWAK, *Badanie efektów reologicznych Tarnamidu oraz Itamidu przy naprężeniach zmiennych*, Raport nr 97, IMMT Politechniki Wrocławskiej, 1977.
26. H. BÜHLER, W. SCHREIBER, *Lösung einiger Aufgaben der Dauerschwingfestigkeit mit dem Treppenstufen — Verfahren*, Archiv für das Eisenhüttenwesen, H. 3, 28 (1957), 153 - 156.
27. A. RÓŻYCKI, *Dokładność i prawdopodobieństwo wyniku a liczba pomiarów przy wyznaczaniu wytrzymałości na rozrywanie tkanin bawełnianych*, Prace Inst. Włókiennictwa, z. 2, 3 (1953), 23 - 31.
28. M. NOWAK, *Wybrane zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej poliamidu stabilizowanego*, Prace Naukowe IMMT Politechniki Wrocławskiej, Nr 11, M3 (1972), 1 - 155.
29. A. KASZŃIA, A. TARNOWSKI, *50-lecie Zakładów Azotowych im. F. Dzierżyńskiego w Tarnowie*, Polimery — Tw. Wielk., nr 11, 22 (1977), 421 - 423.
30. M. HEMPEL, *Das Dauerschwingverhalten der Werkstoffe*, VDJ — Zeitschrift, Nr 27, Bd. 104 (1962), 1362 - 1377.

Р е з ю м е

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПЛАСТМАСС
МЕТОДОМ ВВЕРХ-ВНИЗ

Проведён статистический анализ множества 60 ступенчатых графиков для определения минимального числа элементов испытания для определения условного сопротивления усталости термопластов. Документирован исследовательский анализ, что если значение кумулятивной функции не больше, чем 3% по отношению к объёму множества, принятого за генеральную совокупность, то эксперимент с определением усталостной прочности можно провести на множестве образцов с числом элементов, не меньшим, чем 22. Проверена применимость модифицированного метода вверх-вниз для определения сопротивления усталости и установлено, что число образцов в этой схеме вычислений меньше на около 10%. Так как опытное множество ступенчатых графиков представляет сравнительно широкий класс пластмасс и параметров исследований, признано возможным распространение выводов на другие материалы, дисперсия результатов которых не превышает определённых пределов исследуемого множества.

S u m m a r y

DETERMINATION OF FATIGUE STRENGTH OF PLASTICS ACCORDING TO UP-AND-DOWN
METHOD

The statistical analysis of 60 up-and-down method diagrams was carried out to find the minimum number of samples required for determination of the fatigue strength of plastics. Basing on the sequential analysis the evidence was given that if the value of cumulative function is not greater than 3 per cent of the size of set taken as parent population, then the determination of fatigue strength can be carried out with the number of samples not less than 22. The applicability of modified up-and-down method for determination of the fatigue limit was verified. It was found that in this pattern of calculation the number of samples may be reduced by 10 per cent. As the experimental set of diagrams represents a relatively wide class of plastics and test parameters, the applicability of conclusions to other materials with dispersion within the limits of tested set, was found possible.

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

Praca została złożona w Redakcji dnia 24 kwietnia 1979 roku.