

Tomasz CIESZYŃSKI, Tomasz TOPOLIŃSKI

ANALIZA PORÓWNAWCZA OBSERWACJI TERMOWIZYJNYCH I ZMIAN WYBRANYCH WIELKOŚCI PROGNOZUJĄCYCH PROCES ZMĘCZENIA

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań zmęczeniowych kompozytu polimerowego, w trakcie których dokonano pomiarów termowizyjnych powierzchni próbki oraz rejestrację pętli histerezy odkształceniowo-naprężeniowej. Stwierdzono, że przy wykorzystaniu metody termicznej obszar uszkodzenia można wskazać dopiero po około 80% trwałości całkowitej. Parametry energetyczne obszar ten wskazują znacznie wcześniej.

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny
al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

1. WPROWADZENIE

Złożoność procesu zmęczenia powoduje, że w jego opisie, a także monitorowaniu, wykorzystuje się pewne parametry zwane parametrami prognozującymi [1]. Ich przebiegi zmienności w czasie – czy w tym przypadku – w funkcji liczby zrealizowanych cykli traktuje się wprost lub po ich przekształceniu czy modyfikacji jako odpowiadające funkcji uszkodzeń. Parametry te uznaje się za bardziej miarodajne, a często i lepiej mierzalne dla tworzyw polimerowych [2].

Jednym z pierwszych parametrów prognozujących uznano temperaturę [3], powstała nawet propozycja temperaturowej definicji granicy zmęczenia [4]. Dalej mierzono zmiany odkształcenia – przy sterowaniu siłą, czy siły przy sterowaniu odkształceniem, mierzono ugięcia przy zginaniu, stopnie zabielenia, sygnały akustyczne, zmiany oporności elektrycznej [2]. Mierzono także wielkości energetyczne – np. pętla histerezy i jej parametry [5]. Do oceny i przebiegu wykorzystano również efekty Villariego (zjawisko odwrotnej magnetostrykcji) i Kelvina (termosprężysty) [6].

Zmieniająca się technika pomiarowa i dostępność coraz to nowych narzędzi pomiarowych powoduje, iż często wraca się do eksperymentów wcześniej przeprowadzonych.

2. CEL PRACY

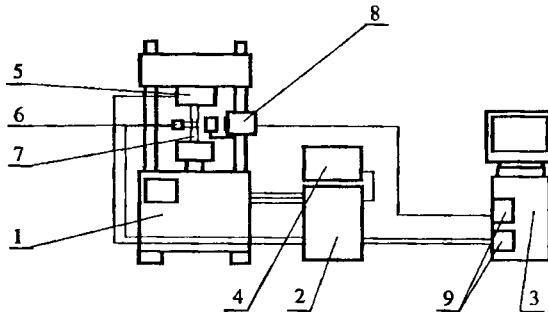
Celem pracy była analiza porównawcza obserwacji termowizyjnych, zmian temperatury wybranych obszarów próbki ze zmianami kształtu i położenia pętli histerezy oraz zmian energii dyssypacji.

3. METODA BADAŃ

Zmęczeniowe próby trwałościowe wykonane zostały na maszynie INSTRON 8502. Siła rozciągająca laminaty mierzona była głowicą pomiarową maszyny wytrzymałościowo-

wej. Odształcenie mierzono zamontowanym na próbce ekstensometrem typu 2620-603 INSTRON o stałej $k = 10 \pm 1$ [mm]. Podczas badań przyjęto parametry siły odzerowującej na poziomie obciążenia maksymalnego 90% i 80% średniej wytrzymałości statycznej na zerwanie dla badanego kompozytu. Częstotliwość wynosiła 0,5 Hz.

Pomiar wartości siły i odształcenia uzupełniony był o jednoczesny zapis obrazu powierzchni kompozytu poprzez skaner termowizyjny V-20 ER01-25, który dokonywał zapisu temperatury powierzchni badanego kompozytu w układzie 250×250 punktów pomiarowych. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1.

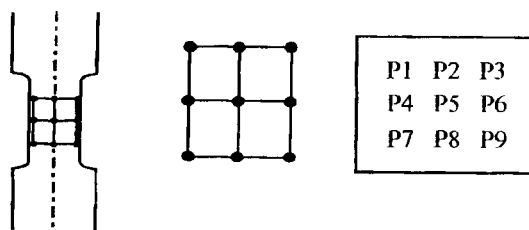


Rys. 1. Schemat układu badawczego: 1 – maszyna wytrzymałościowa, 2 – komputer rejestrujący, 3 – komputer sterujący pracą maszyny, 4 – konsola sterująca, 5 – głowica pomiaru siły, 6 – ekstensometr do pomiaru odształcenia, 7 – badana próbka, 8 – kamera termowizyjna rejestrująca obraz termiczny próbki, 9 – karty wejścia komputera

W badaniach użyto 8 próbek wykonanych z dwóch gatunków żywicy poliestrowej (jednej zwykłej, drugiej – z dodatkiem składnika opóźniającego palenie), wzmocnionych tkaniną rowingową względnie matą szklaną. Średnie wytrzymałości statyczne badanych materiałów mieściły się w następujących granicach: $R_m = 187-195$ MPa i $\epsilon = 1,7-1,8\%$ dla żywic wzmocnionych tkaniną i $R_m = 91-95$ MPa oraz $\epsilon = 1,5-2,2\%$ dla żywic wzmocnionych matą. Pełny opis eksperymentu przedstawiono w pracy [7].

4. WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów uzyskano zbiór od 70 do 1200 skanów termicznych na jedną próbę zmęczeniową i odpowiadające im pętle histerezy odształceniowo-naprężeniowe. Te pierwsze ukazywały ocenę zmian temperatury w wybranych punktach odcinka pomiarowego – zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.



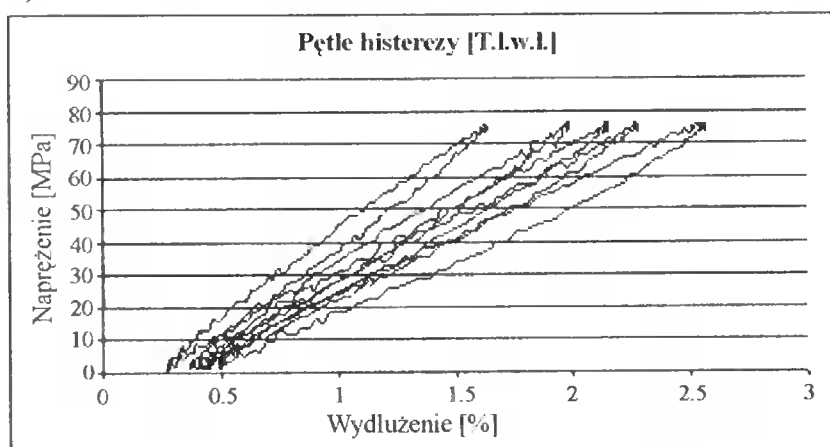
Rys. 2. Miejsca pomiaru temperatury wykorzystywane w analizach

Przykładowe wyniki przedstawiono na rysunkach 3-6, na których zestawiono: na rysunkach a – obrazy termowizyjne, b – pętle histerezy i c – przebiegi zmian energii dyssypacji (wyznaczone jako pola pętli histerezy), temperatury w punkcie P5 i średniej temperatury z wszystkich punktów przyjętych do analizy P1-P9 – wszystko co 1/5 trwałości całkowitej.

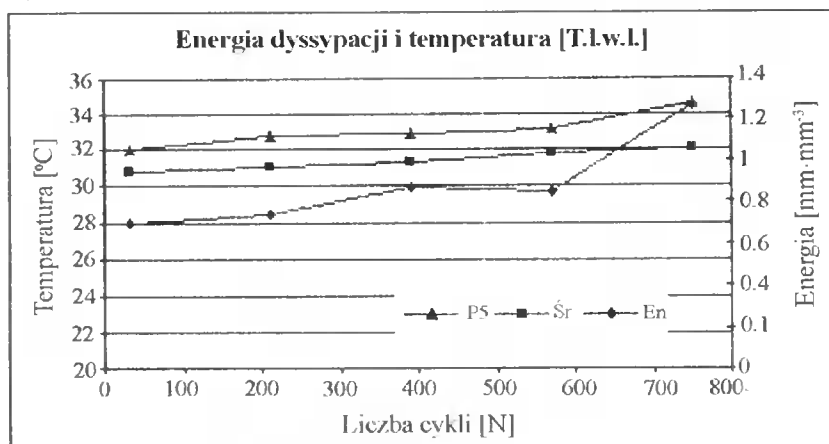
a)



b)



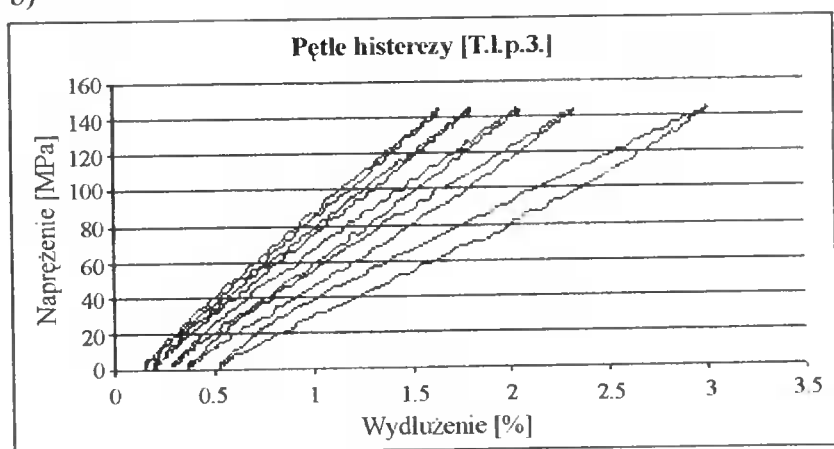
c)



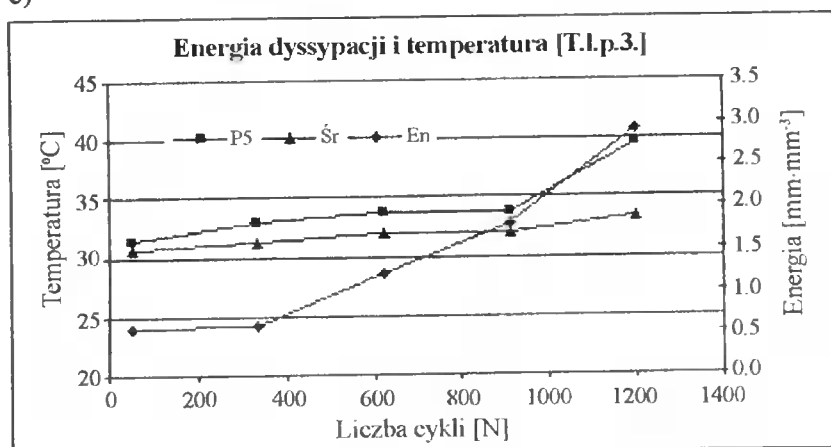
Rys. 3. Zestawienie wyników dla próbki o symbolu T.l.w.l



b)



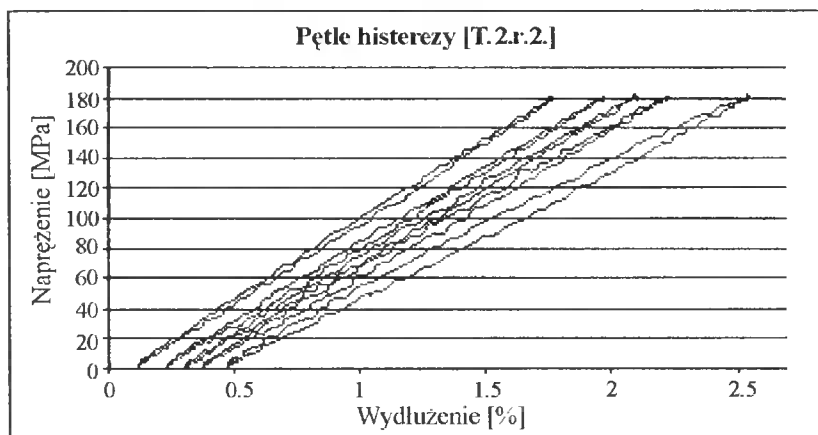
c)



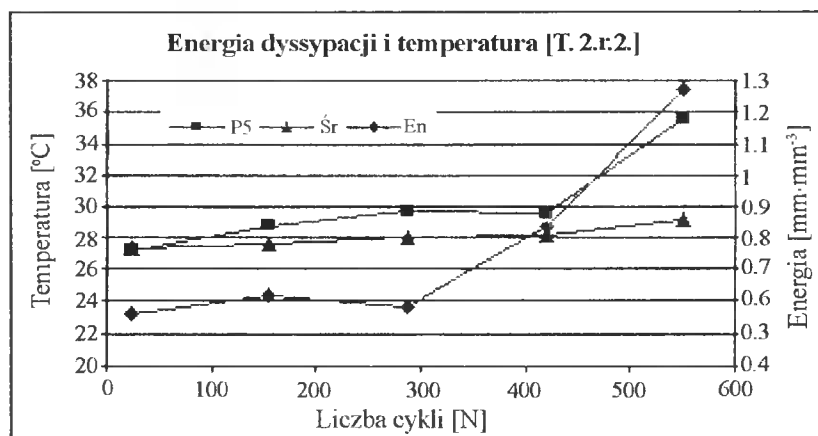
Rys. 4. Zestawienie wyników dla próbki o symbolu T.l.p.3



b)



c)

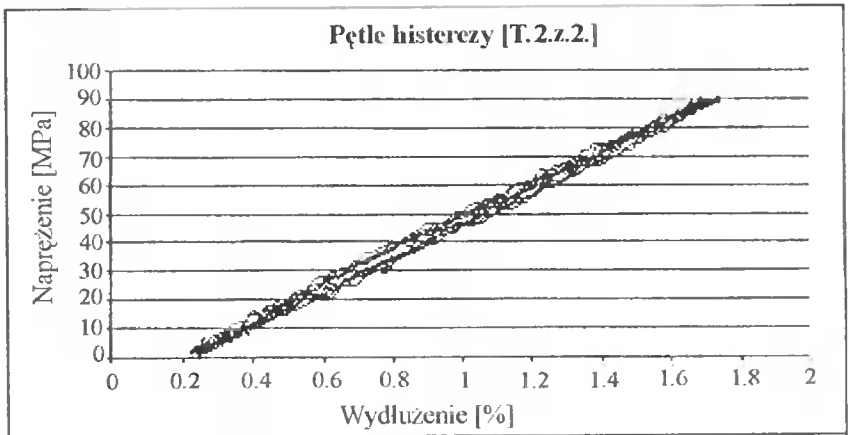


Rys. 5. Zestawienie wyników dla próbki o symbolu T.2.r.2

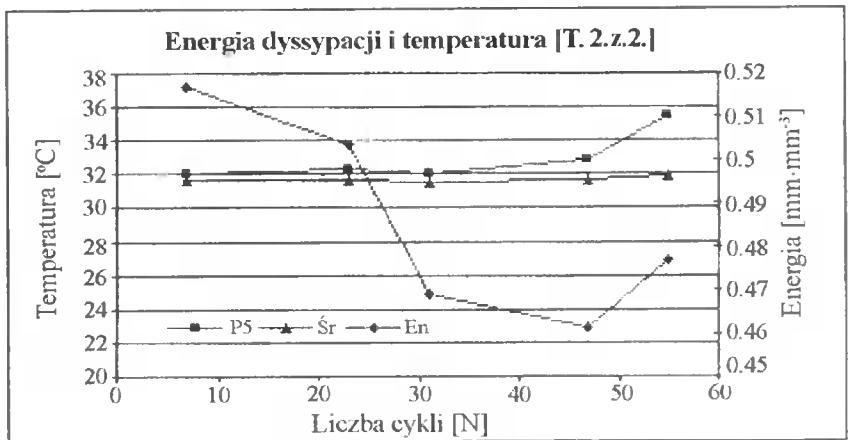
a)



b)



c)



Rys. 6. Zestawienie wyników dla próbki o symbolu T.2.z.2

5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Ocena kolejnych obrazów próbki umożliwia ich analizę termiczną wskazującą, iż proces przyrostu temperatury nie daje jednoznacznych podstaw do wskazania miejsca uszkodzenia od początku jego przebiegu. Możliwość ta zwykle rysuje się dopiero przy

trwałości sięgającej około 80% trwałości całkowitej, gdy na próbce pojawia się obszar o temperaturze wyższej od temperatury pozostałej jej części. Analiza ta potwierdza lokalność zjawiska zmęczenia i jego losowy charakter - bowiem miejsce pęknięcia próbek o jednakowych warunkach geometrycznych i obciążeniowych jest przypadkowe. Nie przekreśla to jednak aplikacyjnego znaczenia analizy przebiegu temperatury. Wartości temperatury w wybranych punktach potwierdzają te spostrzeżenia - ale jedynie dla pomiaru w punktach osi próbki, np. punkcie środkowym P5 na wykresach c rysunków 3÷6. Ocena przyrostów temperatury jako parametru uśrednionego tej cechy nie posiada.

Analiza wskaźników energetycznych obejmuje analizę jakościową, to znaczy położenie i kształt pętli histerezy (wykresy b na rysunkach 3÷6) oraz analizę ilościową (wykresy c na rysunkach 3÷6). Dla obu badanych tworzyw przy obu rodzajach wzmocnień widoczne są wyraźne zmiany jakościowe (wykresy c na rysunkach 3÷6). Biorąc pod uwagę jedynie jeden z parametrów pętli, tj. pole pętli - można zauważyć, iż dynamika jego zmian jest wyraźniejsza niż dynamika zmian temperatury. Również i proces narastania rozpoczyna się wcześniej. Daje to podstawę do stwierdzenia, iż uwzględnienie jednocześnie zmian naprężenia i odkształcenia może być wykorzystane do prognozowania procesu zmęczenia w dalece pewniejszy sposób niż np. poprzez pomiar jedynie temperatury.

6. WNIOSKI

1. Monitorowanie procesu zmęczenia poprzez termiczne skanowanie badanej próbki (elementu) pozwala na zaobserwowanie miejsca wyraźnego przyrostu temperatury jej powierzchni, które będzie jednocześnie miejscem wystąpienia makropęknięcia. Przyrost ten wyraźnie ujawnia się w granicach 80% trwałości całkowitej. Dla elementów konstrukcyjnych można jednak je prowadzić wówczas, gdy potrafimy jednoznacznie wskazać obszar uszkodzenia.
2. W analizie procesu zniszczenia zmęczeniowego pomiary energetyczne wykazują większą skuteczność niż pomiary innych wielkości. Wydaje się, że w przypadku pomiaru temperatury można tę skuteczność zwiększyć, gdy pomiar pochodzi z obszaru uszkodzenia.

LITERATURA

- [1] Farrow I.R., Young J. B.: Non-destructive test analysis and life and residual strength prediction of composite aircraft structures. *Composite Structures*, vol. 10, 1988, 1-15.
- [2] Kaleta J., Kocańda D., Skorupa M., Topoliński T.: Metody doświadczalne w zmęczeniu materiałów i konstrukcji. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 2000, 207-284.
- [3] Ratner S.B.: O kryteriach samorozgrzewania i złomu tworzyw termoplastycznych przy cyklicznych obciążeniach. *Prace Naukowe Instytutu Materialoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław 1974, 3-282.
- [4] Zawadzki J. i in.: Problemy wytężenia i znużenia polimerów jako tworzyw konstrukcyjnych. PWN, Warszawa 1978.
- [5] Ehrenstein G.W.: Einfluß von füllstoffen auf die mechanischen eigenschaften von SMC-werkstoffen. *Kunststoffe* 78/1, 1988, 59-65.
- [6] Kaleta J., Górecki R.: Metoda wizualizacji pól krzyżowych w tarczach obciążonych cyklicznie. Wyd. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 2002, 171-178.
- [7] Cieszyński T., Topoliński T.: Badania mechanizmów niszczenia kompozytów polimerowych zbrojonych włóknem szklanym w warunkach obciążeń zmiennych. X Seminarium Tworzywa Sztuczne w Budowie Maszyn, Politechnika Krakowska, Kraków 2003, 93-98.