

Zastosowanie zginania trójpunktowego i emisji akustycznej do prognozowania wytrzymałości ceramiki konstrukcyjnej

Przedstawiono prosty sposób wyznaczania parametrów kruchej pęknięcia dla ceramiki konstrukcyjnej przy wykorzystaniu zginania trójpunktowego. Wyznaczono dla tworzywa alundowego Al₉₀ i steatytowego SP4 wartości N , A , K_{IC} oraz moduł Weibulla, a na tej podstawie wykonano diagramy przeciążeniowe, pozwalające na określenie czasu życia t_f . Dla tych samych tworzyw zastosowano pomiary emisji akustycznej do prognozowania siły niszczącej w zginaniu trójpunktowym oraz metodę wstępnego obciążania, pozwalającą na weryfikację tych pomiarów.

Konstruowanie nowych wyrobów i części maszyn z tworzyw ceramicznych było do niedawna bardzo ograniczone brakiem prostych i przekonujących metod badania ich niezawodności. Wynikało to stąd, że tworzywa ceramiczne zawierają z zasady dużą ilość różnej wielkości pęknięć i innych defektów, których wielkości oraz dokładnego położenia nie można określić. Bezpośrednia obserwacja i pomiar nie zawsze są praktycznie możliwe, bowiem powszechnie stosowane metody umożliwiają wykrywanie wad rzędu milimetrów, bądź też większych, tymczasem wielkość wad występujących w ceramice konstrukcyjnej i elektronicznej waha się w zakresie tysięcznych lub setnych milimetra. Ponadto najbardziej niebezpieczna wada, decydująca o zniszczeniu wyrobu, może znajdować się często w miejscu niedostępnym obserwacji. W ostatnich latach do określenia maksymalnej niezawodności eksploatacyjnej projektowanych wyrobów lub też do oceny najniebezpieczniejszych wad obecnych w wyrobie wprowadza się metody, które można podzielić na trzy grupy: po pierwsze są to specjalne metody nieniszczące, następnie metody matematyczno-statystyczne i wreszcie próby przeciążeniowe.

Stosuje się wiele metod nieniszczących, dających informacje o wadach tworzyw ceramicznych. Po pierwsze jest to kontrola obecności wad powierzchniowych za pomocą barwników penetracyjnych, następnie defektoskopia ultradźwiękowa, rentgenowska i inne.

Metody te szczegółowo są omawiane w literaturze [1]. Szczególnie przydatna dla twórczy ceramicznych jest metoda emisji akustycznej. Zasada tej metody polega na tym, że powiększaniu się pęknięć w szeregu materiałów towarzyszą słabe impulsy akustyczne, które powstają podczas przechodzenia czoła pęknięcia przez różne przeszkody. W tworzywach ceramicznych przeszkodami tymi mogą być na przykład ziarna krystaliczne. Przy pomocy odpowiednich urządzeń impulsy te można rejestrować. Badania doświadczalne wykazały, że dla wielu materiałów istnieje relacja między ilością emitowanych impulsów a szybkością pęknięcia lub współczynnikiem intensywności naprężeń. W takim przypadku można na podstawie pomiaru emisji akustycznej, przy znanym obciążeniu, ocenić niebezpieczeństwo wad obecnych w tworzywie, a nawet poznać ich położenie i wielkość.

Informacje o wielkości najniebezpieczniejszych wad w wyrobach ceramicznych, bądź też o wytrzymałości tych wyrobów, można również uzyskać metodami matematyczno-statystycznymi. W tym przypadku wykonuje się badania na partii wybranych próbek, które mają taki sam rodzaj i wielkość defektów jak rozpatrywane wyroby. Na podstawie tych pomiarów wnioskuje się następnie o własnościach całego zbioru wyrobów. Z zasady wykonuje się pomiary wytrzymałości, a z niej można dojść do wielkości najniebezpieczniejszego pęknięcia ze wzoru:

$$a = \frac{K_{Ic}^2}{\sigma^2 Y^2}$$

gdzie: K_{Ic} - krytyczny współczynnik intensywności naprężeń,

σ - wytrzymałość,

Y - współczynnik kształtu,

a - pozorna długość pęknięcia.

Wartość współczynnika kształtu Y określa się zwykle szacunkowo zakłada się, że pęknięcie jest zorientowane prostopadle do naprężenia rozciągającego. Wynikające stąd błędy są jednak bardzo małe [4]. Dla materiałów, w których nie dochodzi do podkrytycznego wzrostu pęknięć na skutek oddziaływania otaczającego środowiska, mierzy się wytrzymałość w środowisku nie powodującym wzrostu pęknięć. W materiałach, w których dochodzi do takiego wzrostu, należy przeprowadzać pomiary w środowisku niekorozyjnym, bądź też przy tak dużej szybkości obciążania, że powiększenie się pęknięć przed szybką fazą zniszczenia może być zaniedbane. Początkową wielkość pęknięć a_i można również obliczyć z zależności określającej czas życia tworzywa:

$$t_f = \left[\frac{2(N+1)}{(N-2) A \dot{\sigma}_o^N Y^N a_i^{(N-2)/2}} \right]^{1/(N+1)}$$

gdzie: N i A - stałe

$\dot{\sigma}_o$ - szybkość obciążania

t_f - czas życia

bądź też z zależności określającej wytrzymałość przy podkrytycznym wzroście pęknięć:

$$\dot{\sigma}_f = \left[\frac{2(N+1) \dot{\sigma}_o}{(N-2) A Y^N a_i^{(N-2)/2}} \right]^{1/(N+1)}$$

(czas życia tworzywa jest definiowany jako czas potrzebny do osiągnięcia przez mikro-pęknięcie długości krytycznej podczas jego powolnego wzrostu w obszarze podkrytycznym).

Chcąc jednak uzyskać z pomiarów obiektywne wnioski, należy zawsze przeprowadzić pomiary na dostatecznie dużym zbiorze próbek, a wyniki opracować metodami statystycznymi. Na podstawie zmierzonych wartości oblicza się rozkład prawdopodobieństwa, z jakim występuje wytrzymałość, żywotność, bądź wielkość najniebezpieczniejszego pęknięcia. Następnie ustala się średnie lub minimalne wartości wytrzymałości lub trwałości przy danym obciążeniu, bądź odwrotnie, dopuszczalne naprężenie dla zagwarantowanego z wysokim prawdopodobieństwem bezawaryjnego czasu eksploatacji.

W ten sposób można wykluczyć nieoczekiwane lub przedwczesne zniszczenie elementu z tworzywa ceramicznego, w którym znalazło się z przypadkowej przyczyny pęknięcie większe od oczekiwanego. Elementy ceramiczne projektuje się w ten sposób, aby prawdopodobieństwo takiego zniszczenia było bardzo małe (np. $1:10^2$, $1:10^6$, itp. w stosunku do szkody, która powstałaby wskutek zniszczenia tak, że zniszczenie można uważać praktycznie za wykluczone. Odpowiednie procedury obliczeniowe można znaleźć w literaturze [4].

Metoda emisji akustycznej nie może być zastosowana we wszystkich przypadkach, a oprócz tego wymaga specjalnie przystosowanego wyposażenia. Podobnie szereg niedogodności ma przeprowadzenie badań wytrzymałościowych z zastosowaniem metod statystycznych; wymaga przede wszystkim wykonania dużej liczby specjalnie przygotowanych próbek, co zwiększa koszty badań. W wielu przypadkach dla zmniejszenia ryzyka niewłaściwego szacunku wytrzymałości na oddzielnie przygotowanych próbkach tworzywa, obniża się odpowiednie dopuszczalne naprężenie. To z kolei powoduje konieczność powiększenia masywności projektowanej części ze wszystkimi wynikającymi stąd konsekwencjami (zwiększenie wielkości, masy i kosztu wyrobu). Oprócz tego obniżenie dozwolonego naprężenia może być nieistotne, jeżeli w wyrobie znajdzie się nieoczekiwana, duża wada. Dlatego też w przypadkach kiedy kładzie się nacisk na małą masywność wyrobu, a szczególnie kiedy chcemy mieć praktyczną pewność, że nie dojdzie do uszkodzenia urządzenia, stosuje się raczej tzw. próbę przeciążeniową (proof-testing). Taka próba polega na tym, że cały wyrób przed wprowadzeniem do eksploatacji poddaje się określonej próbnemu obciążeniu, które jest większe od eksploatacyjnego. W ten sposób wyroby z niedopuszczalnie dużymi defektami ulegają zniszczeniu już w badaniach wstępnych tak, że do stosowania zostają dopuszczone jedynie wyroby wystarczająco pewne. Badania tego rodzaju były stosowane już dość dawno, jednak dopiero mechanika pęknięcia stworzyła podstawy do ich racjonalnego stosowania [3].

Jak wiadomo, do zniszczenia określonego wyrobu dochodzi, jeżeli współczynnik intensywności naprężeń na jednej z obecnych w nim wad osiągnie wartość krytyczną lub ją przekroczy. W wyrobie, który przeszedł próbę przeciążeniową, wartość K_{IC} nie została osiągnięta i dla najniebezpieczniejszego defektu o wielkości a_1 wynosi:

$$\sigma_p \cdot \gamma \sqrt{a_1} = K_{IP} < K_{IC}$$

Przy wprowadzeniu tego wyrobu do eksploatacji z jednostkowym naprężeniem $\sigma_a < \sigma_p$ będzie temu naprężeniu odpowiadać współczynnik K_{Ii} :

$$K_{Ii} = \sigma_a \gamma \sqrt{a_i}$$

przy czym, jak wynika z przytoczonych wyżej wzorów, występuje zależność:

$$K_{Ii} < K_{Ic} \frac{\sigma_a}{\sigma_p}$$

Można więc przez dobór próbnego pomiaru przy odpowiednim $R = \sigma_p / \sigma_a$ osiągnąć to, że współczynnik intensywności naprężeń w sprawdzonych wyrobach nie przekroczy podczas eksploatacji z góry ustalonej wartości. Jednak badania przeciążeniowe dają jednoznaczne wyniki tylko w materiałach, w których nie dochodzi do podkrytycznego wzrostu naprężeń. W pozostałych przypadkach sytuacja jest bardziej złożona i wymaga znajomości parametrów kruchego pęknięcia pozwalających na określenie czasu życia tworzywa, bądź też bardziej złożonej metodyki badawczej.

W artykule przedstawiono prostą metodykę wyznaczania parametrów kruchego pęknięcia dla ceramiki konstrukcyjnej, to jest N , A , K_{Ic} i modułu Weibulla, niezbędnych do określenia czasu życia oraz zastosowanie emisji akustycznej do prognozowania siły niszczącej.

Badania własne

Przeprowadzono badania wytrzymałościowe próbek ceramicznych metodą zginania trójpunktowego z jednoczesną rejestracją sygnałów emisji akustycznej w trakcie obciążania próbek.

Badania wykonano dla wybranych tworzyw ceramicznych o drobnoziarnistej i jednorodnej strukturze; były to:

- a) tworzywo wysokoglinowe (A190), zawierające > 90% Al_2O_3 oraz dodatki kaolinu, TiO_2 , MgO i BaO - temperatura spiekania $1410^\circ C$, wielkość ziarna < $10 \mu m$, porowatość całkowita 4%;
- b) tworzywo steatytowe (SP4) - temperatura spiekania $1300^\circ C$, wielkość ziarna < $6 \mu m$, porowatość całkowita < 2%.

1. APARATURA POMIAROWA

W badaniach wykorzystano stanowisko CerEA-2 składające się z maszyny wytrzymałościowej, głowicy do pomiaru wytrzymałości na zginanie trójpunktowe z wbudowanym gniazdem do mocowania przetwornika piezoelektrycznego, służącego do detekcji sygnałów EA, głowic tensometrycznych o zakresach pomiarowych 0-5, 0-10 i 0-20 kN, współpracujących ze wzmacniaczem prądu stałego CAX1000, analizatora EA oraz komputera IBM AT. Szczegółowy opis stosowanej aparatury oraz programu komputerowego do rejestracji i obróbki danych przedstawiono w pracy [5]. Nowym elementem tego stanowiska jest zmodernizowany układ napędowy dolnej trawersy maszyny wytrzymałościowej z tyrystorowym systemem sterującym, który umożliwia dokładną realizację założonej szybkości obciążania w zakresie od 0.001 do 3 mm/min. Na rys. 1 przedstawiono stanowisko CerEA-2.

2. WYZNACZANIE PARAMETRÓW KRUCHEGO PĘKANIA

Istnieją różne metody wyznaczania parametrów wzrostu pęknięć podkrytycznych N , A i K_{IC} , niezbędnych do prognozowania czasu życia tworzywa ceramicznego [2].

Dość prostą eksperymentalnie wydaje się metoda wytrzymałościowa, przy założeniu stałej szybkości obciążania. Słuszna jest wtedy zależność [4]:

$$\sigma_f = \sigma_{f0} (\dot{\sigma} / \dot{\sigma}_0)^{1/(N+1)}$$

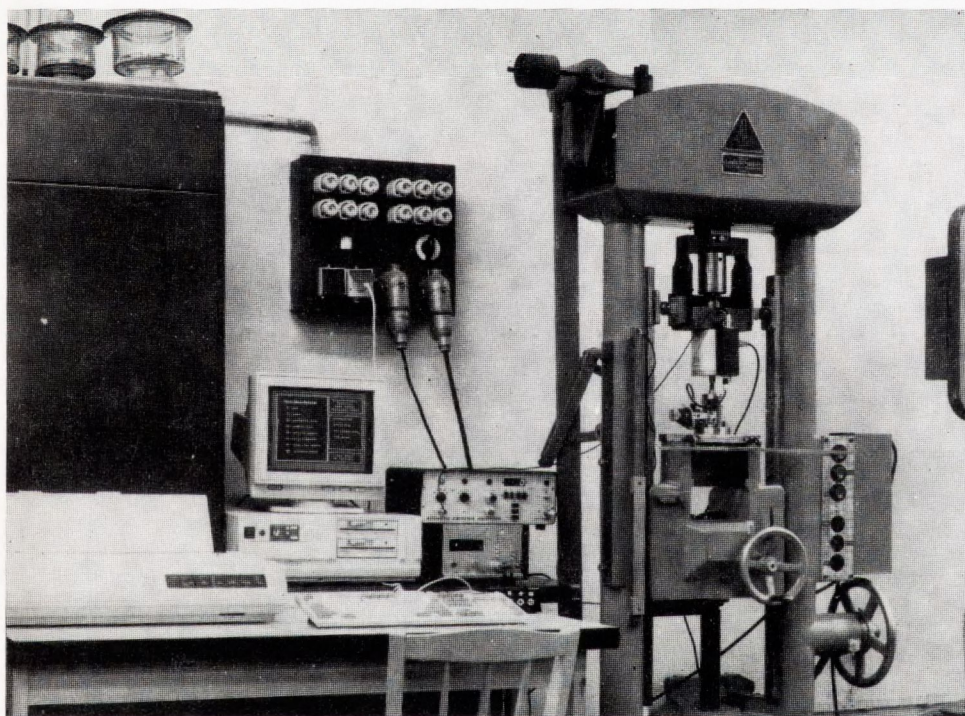
gdzie: σ_f - napężenie niszczące przy określonej szybkości przyrostu obciążenia $\dot{\sigma}$ (ale przy braku powolnego wzrostu pęknięć), która po zlogarytmowaniu przyjmuje postać:

$$\log \sigma_f = \log \sigma_{f0} + 1/(N+1) \log(\dot{\sigma} / \dot{\sigma}_0)$$

Przyjmując $X = \log \dot{\sigma}$, $Y = \log \sigma_f$ oraz $\dot{\sigma}_0 = 1 \text{ MPa/s}$, otrzymuje się równanie prostej:

$$Y = a + bX$$

gdzie: $b = 1/(N+1)$ i $a = \log \sigma_{f0}$.



Rys. 1. Stanowisko CerEA - 2

Stosując metodę najmniejszych kwadratów można wyliczyć współczynniki tej prostej, a więc i wartość parametru N.

Wykonano serię badań wytrzymałościowych na zginanie trójpunktowe próbek w kształcie beleczek o wymiarach 30x7x6 mm z naciętym karbem. Z tworzywa steatytowego (SP) przebadano 30 beleczek przy szybkości przesuwu trawersy maszyny wytrzymałościowej: 0.005, 0.01, 0.08 i 0.02 mm/min, a z tworzywa alundowego (A190) 16 beleczek przy szybkościach: 0.004, 0.02, 0.04 i 0.26 mm/min.

W trakcie pomiaru rejestrowano wartość siły niszczącej i czas do zniszczenia próbki. W tablicy 1 i 2 podano dla obu tworzyw zmierzone dane eksperymentalne naprężenia niszczącego σ_f [MPa] oraz wyliczone wartości średnie: $\bar{\sigma}_f$, czasu do zniszczenia \bar{t} oraz przyrostu obciążenia $\dot{\sigma}$ ($\dot{\sigma} = \sigma_f/t$).

Na podstawie tych danych wyliczone wartości współczynników prostej $Y = a + bX$ wynosiły:

tworzywo SP: $a = 1.7632$ (+0.081)

$b = 0.0618$ (+0.0126)

współczynnik korelacji $r = 0.7569$ (ilość stopni swobody 18, prawdopodobieństwo korelacji liniowej 0.999)

tworzywo A190: $a = 2.0349$ (+0.0042)

$b = 0.0368$ (+0.0063)

współczynnik korelacji $r = 0.8499$ (ilość stopni swobody 14, prawdopodobieństwo korelacji liniowej 0.999)

Ponieważ $b = 1/(N+1)$, stąd wartość stałej N dla tworzywa steatytowego (SP) wynosiła 15.7, a dla tworzywa alundowego (A190) - 26.18.

Tablica 1. Tworzywo steatytowe SP

Prędkość zginania (mm/min)	0.005	0.01	0.08	0.20
j	σ_f [MPa]			
1	50.29	41.93	55.15	59.43
2	50.36	50.36	55.45	59.51
3	50.55	55.09	59.83	64.78
4	51.12	55.31	59.92	64.87
5	60.07	55.53	64.18	69.14
Wartości średnie				
$\bar{\sigma}_f$ [MPa]	52.48	51.64	58.91	63.55
\bar{t} [s]	459	227	38.1	17.8
$\dot{\sigma}$ [MPa/s]	0.1147	0.2280	1.5919	3.6637

Tabela 2. Tworzywo alundowe (A190)

Prędkość ginania (mm/min)	0.004	0.02	0.04	0.26
j	σ_f [MPa]			
1	98.22	99.27	105.62	110.98
2	99.51	101.34	107.33	117.40
3	101.92	104.33	109.49	118.20
4	106.53	105.71	115.50	123.98
Wartości średnie				
$\bar{\sigma}_f$ [MPa]	101.55	102.66	109.49	117.47
\bar{t} [s]	816	236	110.9	14.6
$\bar{\delta}$ [MPa/s]	0.1244	0.4345	0.9873	8.0583

Wielkość parametru A wyznaczono z zależności [4]:

$$A = \frac{2(N+1) \sigma_c^{N-2} \delta}{(N-2) K_{IC}^{N-2} \gamma^2 \sigma_f^{N+1}}$$

gdzie: σ_c - statystyczna wytrzymałość na zginanie materiału, σ_f - naprężenie niszczące przy określonej szybkości przyrostu obciążenia δ , γ - współczynnik geometryczny karbu naciętego na próbce, K_{IC} - krytyczny współczynnik intensywności naprężeń.

Wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń dla obu badanych tworzyw wyznaczono również eksperymentalnie, różnymi weryfikującymi się wzajemnie metodami, co stanowiło m.in. przedmiot innej pracy [6].

Do wyliczenia parametru A przyjęto:

dla tworzywa steatytowego: $K_{IC} = 2.10$ [MPa m^{1/2}],
 $\sigma_c = 133$ [MPa]
 $\gamma = 2.01$

dla tworzywa alundowego: $K_{IC} = 4.00$ [MPa m^{1/2}]
 $\sigma_c = 353$ [MPa]
 $\gamma = 2.01$

Obliczone wartości parametru A wynosiły:

$1.0019 \cdot 10^{-5}$ - tworzywo SP

$3.0390 \cdot 10^{-9}$ - tworzywo A190

3. DIAGRAMY PROGNOZOWANIA TRWAŁOŚCI TWORZYW CERAMICZNYCH

Znajomość parametrów procesu kruchego pęknięcia ceramiki N , A i K_{IC} pozwala na wyznaczenie minimalnego czasu do zniszczenia - czasu życia materiału przy określonym naprę-

zeniu eksploatacyjnym σ_a w tzw. teście przeciążeniowym, polegającym na przyłożeniu do badanej próbki krótkotrwałego naprężenia σ_p większego od σ_a . (Stosunek $\sigma_p / \sigma_a = R$ - nazywany jest przeciążeniem). Minimalny czas do zniszczenia będzie określony wzorem [4]:

$$t_{\min} = \frac{2 (\sigma_p / \sigma_a)^{N-2}}{A (N-2) Y^2 K_{IC}^2 \sigma_a^2}$$

Wykreślenie powyższej funkcji w układzie współrzędnych logarytmicznych $\log t = f(\log \sigma_a)$ daje rodzinę prostych równoległych, odpowiadających różnym wielkościom przeciążenia $R = \sigma_p / \sigma_a$.

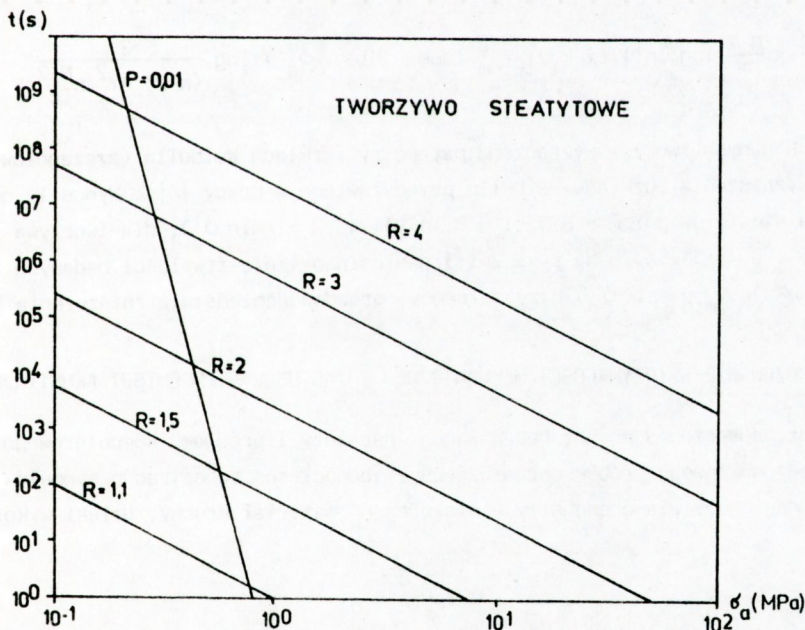
Na rys. 2 i 3 przedstawiono dla tworzywa steatytowego i alundowego linie trwałości przy określonych wartościach przeciążenia R ($R=1.1+4$).

Diagramy prognozowania trwałości tworzywa uzyskane z badań przeciążeniowych lub wyliczone teoretycznie można uściślić przez powiązanie czasu do zniszczenia t_{\min} ze statystycznym rozkładem wytrzymałości, czyli rozkładem Weibulla.

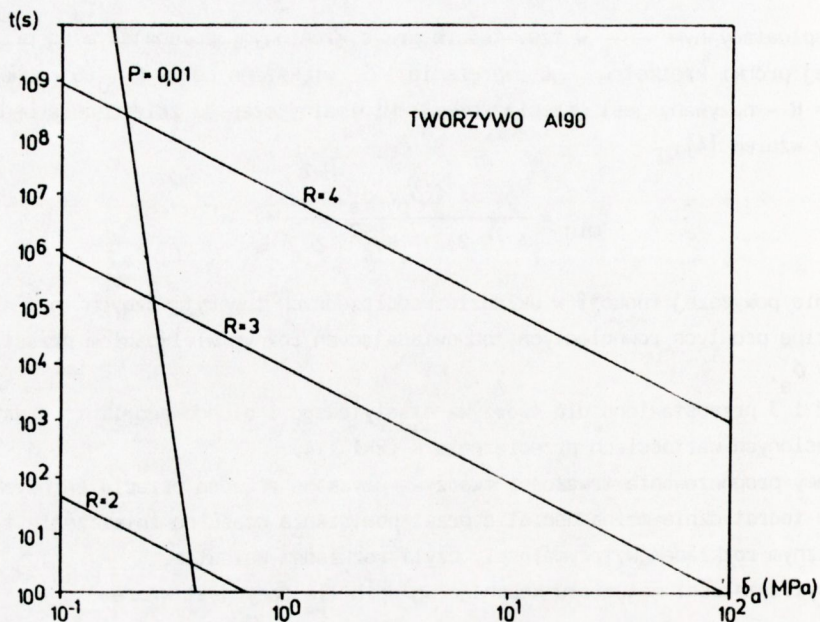
Rozkład wytrzymałości materiału kruchego wg Weibulla dany jest wzorem:

$$P_i = 1 - \exp [- (\sigma_i / \sigma_0)^m]$$

gdzie: P_i - prawdopodobieństwo zniszczenia dla danego naprężenia σ_i , m - moduł Weibulla, σ_0 - stała rozkładu.



Rys. 2. Linie prognozowania trwałości tworzywa steatytowego w zależności od naprężenia eksploatacyjnego dla różnych przetężeń R i prawdopodobieństwa zniszczenia $P=0.01$



Rys. 3. Linie prognozowania trwałości tworzywa alundowego A190 w zależności od naprężenia eksploatacyjnego dla różnych przetężeń R i prawdopodobieństwa zniszczenia $P=0.01$

Prawdopodobieństwo zniszczenia materiału w określonym minimalnym czasie pracy określa się z zależności [2]:

$$\log t = \frac{N-2}{m} \log \ln[1/(1-P_1)] - \frac{J}{m} \log e - N \log \sigma_a + \log \frac{2}{(N-2) A Y^2 K_{IC}^{N-2}}$$

Dla obu badanych tworzyw wyznaczono parametry rozkładu Weibulla (szczegółowy opis metodyki wyznaczania rozkładu Weibulla przedstawiono w pracy [6]). Wynosiły one: dla tworzywa steatytowego: $m = 8.57$ i $J = -42.3424$ ($J = -m \ln \sigma_0$); dla tworzywa A190 $m = 9.05$ i $J = -53.5632$. Na rys. 2 i 3 naniesiono linię trwałości badanych tworzyw, czyli funkcję $t_{\min} = f(\sigma_a)$ przy założonym prawdopodobieństwie zniszczenia $P_1 = 0.01$.

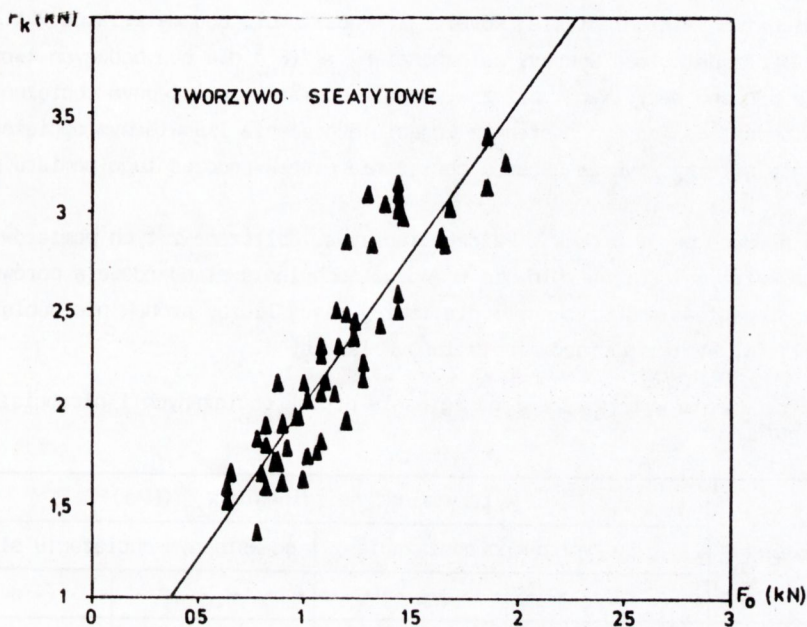
4. PROGNOZOWANIE WYTRZYMAŁOŚCI MECHANICZNEJ Z ZASTOSOWANIEM EMISJI AKUSTYCZNEJ

Przeprowadzanie za pomocą opracowanej aparatury i programu komputerowego testu zginania trójpunktowego próbek ceramicznych z jednoczesną rejestracją sygnałów emisji akustycznej umożliwia ocenę siły niszczącej F_k materiał kruchy, dzięki wykorzystaniu związku:

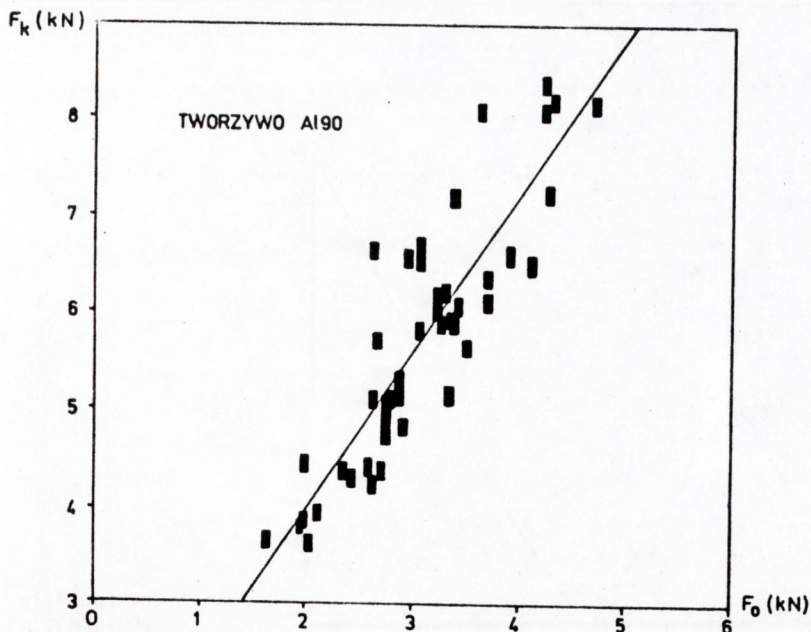
$$F_k = b + a F_0$$

gdzie: F_0 - siła odpowiadająca poziomowi naprężeń, którego przekroczenie powoduje intensywny wzrost sygnałów EA (wywołana wzrostem mikropęknięć do wielkości krytycznej); współczynniki a i b zależą od rodzaju tworzywa i warunków obciążenia. Siłę F_0 wyzna-

cza się z wykresów gęstości i sumy EA w funkcji czasu, określając czas τ_0 , przy którym rozpoczyna się intensywne emisje sygnałów akustycznych, a następnie z wykresów siły obciążającej w funkcji czasu wyznacza się siłę odpowiadającą τ_0 . Zastosowanie programu komputerowego upraszcza procedurę wyznaczania F_Q .



Rys. 4. Wykres zależności $F_k = f(F_0)$. Tworzywo steatytowe SF



Rys. 5. Wykres zależności $F_k = f(F_0)$. Tworzywo alundowe A190

Przeprowadzone badania na dużej populacji próbek - po 60 próbek dla każdego rodzaju tworzywa - pozwoliły ustalić metodą najmniejszych kwadratów współczynniki a i b funkcji liniowej $F_k = b + aF_0$:

dla tworzywa steatytowego (SP): $F_k = 0.263 + 1.712F_0$

dla tworzywa alundowego (A190): $F_k = 0.707 + 1.618F_0$

Prawdopodobieństwo istnienia takiej korelacji wynosiło dla obu materiałów 99%.

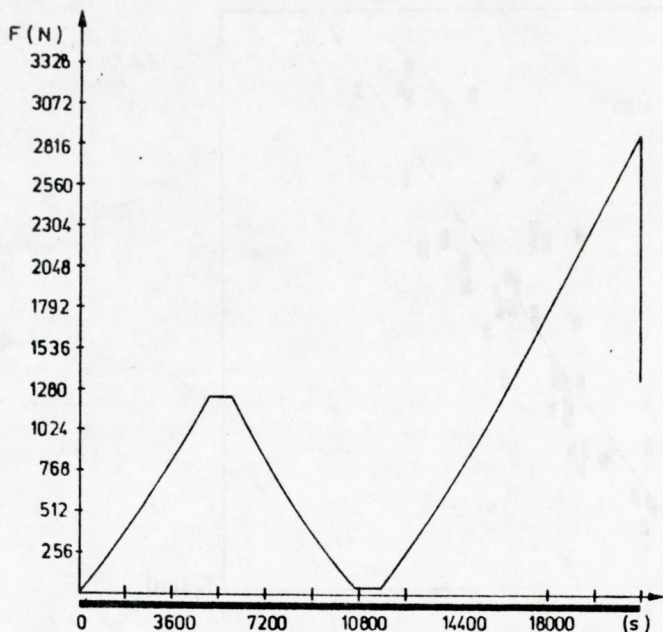
Na rys. 4 i 5 przedstawiono wykresy zależności $F_k = f(F_0)$ dla obu badanych tworzyw.

Wyniki te poddano weryfikacji przez wykonanie pomiarów ze wstępnym obciążeniem próbek siłą odpowiadającą F_0 , następnie zdjęciu obciążenia i powtórny obciążeniu aż do zniszczenia siłą F_k . Wykres sposobu obciążenia próbek podczas tego pomiaru podano na rys. 6.

Badaniom poddano po 30 próbek z każdego tworzywa. Obliczone z tych pomiarów średnie wartości wytrzymałości na zginanie \bar{W}_{zg} oraz odchylenia standardowe s porównano z odpowiednimi wartościami uzyskanymi dla takiej samej liczby próbek nie obciążanych wstępnie siłą F_0 . Wyniki pomiarów zestawiono w tabelicy 3.

Tabela 3. Porównanie wytrzymałości na zginanie próbek obciążanych i nieobciążanych wstępnie

Rodzaj tworzywa	Wytrzymałość na zginanie W_{zg} (MPa)			
	bez wstępnego obciążenia		po wstępnym obciążeniu siłą F_0	
	W_{zg}	s	W_{zg}	s
steatytowe (SP)	133.2	+13%	136.5	+14%
alundowe (A190)	352.6	+12%	303.3	+14%



Rys. 6. Wykres siły obciążającej w funkcji czasu

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały możliwość zastosowania zmodernizowanego urządzenia CerEA-2 do wyznaczania parametrów kruchego pęknięcia tworzyw ceramicznych i prognozowania ich wytrzymałości poprzez określenie wartości emisji akustycznej, odpowiadającej momentowi rozpoczęcia intensywnego wzrostu emisji związanego ze wzrostem mikropeęknięć do wielkości krytycznej.

Zaletą przedstawionego sposobu wyznaczania parametrów kruchego pęknięcia, to jest wartości N , A , K_{IC} oraz modułu Weibulla, polega na zastosowaniu takich samych, łatwych do wykonania próbek w postaci beleczek oraz wykorzystania metod statystycznych.

Uzyskane wyniki pozwoliły na wykonanie diagramów przeciążeniowych dla tworzywa alundowego (A190) i steatytowego (SP), pozwalających na określenie wybranych, użytkowych wartości czasu życia t_f .

Zaprezentowana metoda akustyczna prognozowania wytrzymałości wskazuje na możliwość opracowania metody nieniszczącej opartej na wyznaczeniu siły F_0 . Przeprowadzona weryfikacja wyznaczania siły F_0 tą metodą wykazała, że próbki wstępnie obciążone siłą F_0 , odciążone i obciążone powtórnie aż do zniszczenia, wykazują wytrzymałość na zginanie bardzo bliską wytrzymałości na zginanie próbek nie obciążonych wstępnie. Oznacza to, że obciążenie próbki siłą odpowiadającą początkowi intensywnego wzrostu sygnałów emisji akustycznej nie powoduje trwałego uszkodzenia próbki, może więc być uznane za badanie nieniszczące. Niewielkie różnice wartości wytrzymałości na zginanie uzyskanych obu metodami wskazuje na konieczność dalszych badań nad uściśleniem sposobu wyznaczania F_0 .

BIBLIOGRAFIA

1. Dussoulier A., Desmaison J., Meurtin M.: Defect detection in engineering ceramics using different non-destructive techniques, *Journal de Physique*, **47**, 1986
2. Ranachowski J., Rejmund F., Boniecki M., Librant Z.: Ocena wytrzymałości mechanicznej tworzyw ceramicznych na przykładzie ceramiki korundowej; *rozprawy inżynierskie*, 32, 1, PAN 1984
3. Rath J., Hanuš J.: Využití akustické emise pro charakterizování keramických hmot, *Sklar a keramik*, **27**, 1977, 8
4. Menčík J.: Pevnost a lom skla a keramiky, SNTL, Praha 1990
5. Raabe J., Bobryk E., Ranachowski Z.: Badania emisji akustycznej przy zginaniu trójpunktowych gęstych, droбноziarnistych tworzyw ceramicznych, *Materiały Elektroniczne*, 1990, 4 (72)
6. Raabe J., Bobryk E.: Wyznaczanie modułu Weibulla m i współczynnika intensywności naprężeń K_{IC} dla tworzyw ceramiki elektronicznej, *Materiały Elektroniczne*, 1991, 3 (75)