

**WPŁYW PODWYŻSZONEJ TEMPERATURY NA  
WYTRZYMAŁOŚĆ MASY ZE SPOIEM EPOKSYDOWYM**B. HUTERA<sup>1</sup>, K. SMYKSY<sup>2</sup>

Wydział Odlewnictwa AGH, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

## STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałości masy ze spoiwem epoksydowym przeprowadzonych w podwyższonej temperaturze (przekraczającej temperaturę otoczenia maksymalnie o 40° C). Opisano metodykę przeprowadzania pomiarów oraz stosowaną aparaturę. Wyniki pomiarów przeprowadzonych w podwyższonej temperaturze porównano z wynikami przeprowadzonymi w temperaturze otoczenia. Przedstawiono uwagi dotyczące techniki pomiarowej.

*Key words: epoxy binder, moulding sand properties*

**1. WSTĘP**

Oddziaływanie temperatury na masę stanowiącą tworzywo rdzeni i form ma duże znaczenie dla jakości wytwarzanych odlewów. Pod wpływem temperatury zmienia się szereg właściwości fizycznych i mechanicznych mas. Zmiany zachodzą w osnowie piaskowej (rozszerzalność) oraz w materiale wiążącym. Wpływ podwyższonej temperatury na właściwości wytrzymałościowe masy ze spoiwami organicznymi jest szczególnie istotny. Stosunkowo niewielkie podwyższenie temperatury powoduje istotne zmiany charakterystyk: odkształcenie – naprężenie tych spoiw [1,3,5]. Z reguły przy badaniach w temperaturze otoczenia wykazują one „kruchy” charakter niszczenia, a w temperaturze podwyższonej- „plastyczny”. W celu oceny charakteru oddziaływania podwyższonej temperatury na właściwości wytrzymałościowe masy ze spoiwem epoksydowym wykonano odpowiednie badania według opisanej poniżej metodyki.

---

<sup>1</sup> dr

<sup>2</sup> dr inż., ksmysy@agh.edu.pl

## 2. CHARAKTERYSTYKA BADAŃ ORAZ DYSKUSJA WYNIKÓW

W badaniach wykorzystano aparat do badania adhezji i kohezji spoiw [2] wyposażony w odpowiednie oprzyrządowanie oraz dodatkową aparaturę sterującą- rys.1.



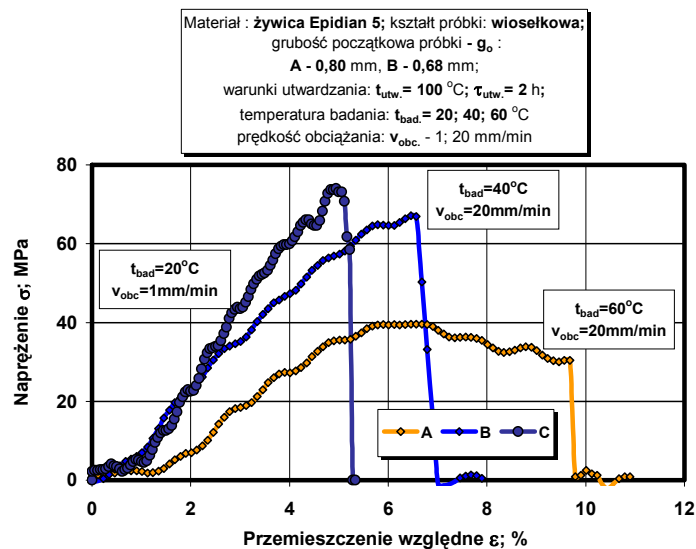
Rys. 1. Widok stanowiska do badań wytrzymałości w podwyższonej temperaturze

Fig.1. View of stand for strength tests at increased temperature

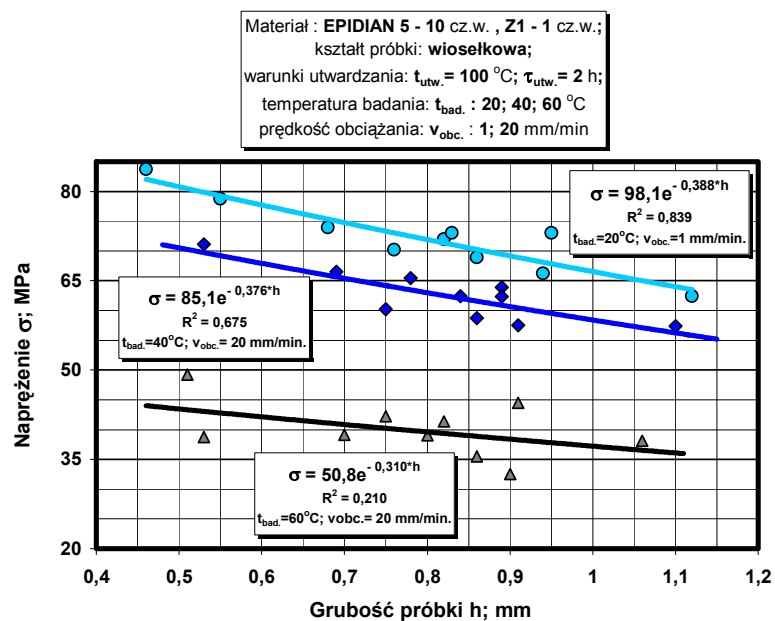
W aparacie można wyróżnić dwa podstawowe systemy: mechaniczny i elektroniczny. Elementy układu mechanicznego to: korpus urządzenia wraz z prowadzaniem belki ruchomej oraz uchwytami próbek, mechanizm obciążania próbek. System elektroniczny obejmuje: zespoły sterowania napędem, przetwarzania sygnałów pomiarowych oraz układ nadzoru. Aparat wyposażono w komorę grzewczą z układem stabilizacji temperatury. Zastosowano także dodatkowy zespół pomiaru temperatury składający się z termopary oraz regulatora z układem retransmisji sygnału do systemu komputerowego. System ten umożliwi pomiar temperatury w badanych kształtkach.

Pierwsza seria badań obejmowała pomiary wytrzymałości kształtek woselkowych o długości 40 mm i szerokości w miejscu przewężenia od 1 do 6 mm. Grubość kształtek wahała się od 0,1 do 2 mm. Kształtki wykonano ze spoiwa epoksydowego o składzie: 100 cz. wag. żywicy EPIDIAN 5 + 10 cz. wag. utwardzacza Z-1. Analizę właściwości badanego spoiwa oparto o wyniki pomiarów wytrzymałości na rozciąganie, prowadzonych zarówno w temperaturze otoczenia, jak i podwyższonej. Punktem wyjścia do analizy były wyniki zarejestrowanych przebiegów czasowych siły rozciągającej próbkę. Po przetworzeniu wyniki rejestracji można przedstawić przykładowo w formie zależności naprężenia umownego od przemieszczenia względnego- rys.2. Badania w temperaturze podwyższonej starano się prowadzić w warunkach izotermicznych. Jeden z czujników temperatury zamocowany był na uchwycie nieruchomym w taki sposób, aby przylegał do powierzchni próbki – jego wskazania były podstawą do rozpoczęcia pomiaru. Wybór temperatury badania wynikał z analizy danych literaturowych [3, 5] oraz wstępnych pomiarów testowych.

W celu analizy wpływu podwyższonej temperatury na wartość maksymalnych naprężeń zrywających sporządzano zbiorcze wykresy w układzie grubość próbki – naprężenie dla temperatury badania wynoszącej 20, 40 i 60 °C.



Rys. 2. Napężenie rozciągające w funkcji przemieszczenia względnego dla próbek z epidianu  
 Fig. 2. Tensile stress versus relative displacement for sample of epoxy binder

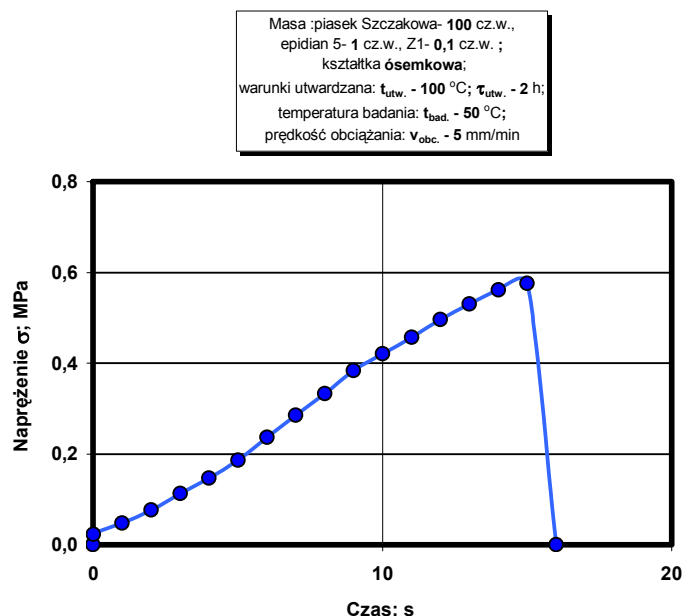


Rys.3. Maksymalne napężenie rozciągające w funkcji grubości badanych próbek  
 Fig. 3. Maximal tensile stress versus thickness of tested sample of epoxy binder

Zależności tego typu przedstawia rysunek 3. Na wykresie umieszczono informacje charakteryzujące warunki badania. Wybór układu współrzędnych uzasadniają wcześniejsze prace [2]. Do opisu funkcji  $\sigma = f(h)$  stosowano równania wykładnicze typu:

$$\sigma = A \cdot e^{b \cdot h}$$

Interpretacja powyższego równania była przedstawiana we wcześniejszych publikacjach [2,3]. Podczas wykonywania próbek dążono do maksymalnego ograniczenia naprężeń skurczowych. Jak wynika z rysunku 3 wytrzymałość próbek spoiwa maleje wraz ze wzrostem temperatury. W miarę wzrostu temperatury badania spoiwa zależność jego wytrzymałości od grubości próbki jest coraz słabsza (malejące wartości współczynnika  $R^2$ ). W badanym spoiwie zaobserwowano wzrost wydłużenia próbek wraz z podwyższeniem temperatury. Obniżenie właściwości sprężystych i przewaga odkształceń plastycznych widoczna jest na wykresie- rys.2.

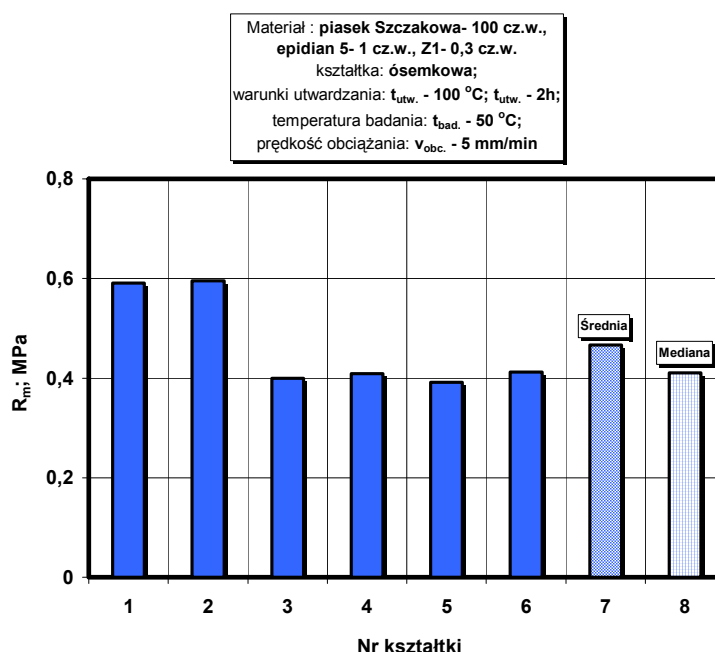


Rys. 4. Czasowy przebieg zmian naprężenia rozciągającego w trakcie obciążania kształtki ósemkowej z masy wiązanej epidianem

Fig. 4. Time run of tensile stress during loading of dog bone sample of sand with epoxy binder

Druga seria badań obejmowała pomiary wytrzymałości kształtek ósemkowych z masy wiązanej spoiwem epoksydowym. W porównaniu z kształtkami standardowymi miały one zmniejszoną grubość (przeciętnie 7,5 mm). Średnia wytrzymałość na rozciąganie w temperaturze 19 °C wynosiła 1,51 MPa. Początek obciążania kształtki umieszczonej w komorze grzewczej następował po osiągnięciu zadanej temperatury (czujnik temperatu-

ry umieszczony był w małym, nieprzelotowym otworze wywierconym w badanej kształtce). Stabilizacja temperatury w komorze grzewczej odbywała się w sposób ciągły, przy czym sygnał sterujący pochodził z drugiego czujnika umieszczonego w komorze. Starano się prowadzić pomiar w warunkach „izotermicznych”. Niezbędny był pewien czas na osiągnięcie zadanej temperatury, jednak w tym przypadku oznaczała ona temperaturę osiąganą przez kształtkę (z dokładnością odpowiednią do przyjętej metody pomiaru). Zagadnienie pomiaru temperatury kształtek ma kluczową rolę dla prawidłowej interpretacji wyników. Wydaje się, że dobrym rozwiązaniem byłoby umieszczenie w komorze grzewczej porównawczej próbki wzorcowej. Celowe byłoby również zastosowanie wielopunktowego pomiaru temperatury, zgodnie z metodyką [4]. Stosowano niewielką prędkość obciążania odpowiadającą pomiarowi o charakterze statycznym.



Rys. 5. Wytrzymałość na rozciąganie  $R_m^u$  masy z epidianem w temperaturze podwyższonej

Fig. 5. Tensile strength  $R_m^u$  of sand with epoxy binder at increased temperature

Krzywe czasowe zmian naprężenia (rys. 4) są bliskie przebiegom otrzymywanym dla materiałów lepko-sprężystych [5]. Przy stosunkowo małym udziale spoiwa w masie, trudno oczekiwać dużych odkształceń kształtek (nawet w podwyższonej temperaturze). Wytrzymałość masy oznaczanej w temperaturze  $50^{\circ}\text{C}$  - rys.5 była znacznie niższa od wytrzymałości masy w  $19^{\circ}\text{C}$  (zmniejszyła się ponad trzykrotnie). Badania samego spo-

iwa epoksydowego wykazały, że zwiększenie temperatury z 20 do 60°C prowadziło do około dwukrotnego zmniejszenia wytrzymałości kohezynnej spoiwa. Pełne wyjaśnienie tych różnic wymaga przeprowadzenia dalszych badań.

### 3. PODSUMOWANIE

Stosunkowo niewielki wzrost temperatury powoduje wyraźne zmniejszenie wytrzymałości masy ze spoiwem epidianowym. Stosunek wytrzymałości masy badanej w temperaturze 19°C do wytrzymałości masy badanej w temperaturze 50°C wynosił średnio 3,26. Wpływ temperatury na właściwości mechaniczne kształtek wykonanych z masy z tym spoiwem (na wytrzymałość, odkształcenie) ma ten sam kierunek, jak oddziaływanie temperatury na samo spoiwo. Badania prowadzone w podwyższonych temperaturach pozwalają ocenić wrażliwość masy na działanie temperatury.

W badaniach tego typu bardzo ważne jest ściśle określenie warunków prowadzenia prób, między innymi: sposobu nagrzewania, czasowych zmian temperatury w przestrzeni komory grzewczej oraz badanej (lub wzorcowej) próbce oraz prędkości obciążania.

*Opracowano w ramach projektu badawczego KBN nr 18.25.170 233*

### LITERATURA

- [1] Huttera B. i in.: *Badania zjawisk zachodzących w podwyższonych temperaturach w masach wiązanych reprezentatywnymi materiałami organicznymi i nieorganicznymi*. Projekt badawczy KBN nr 7 T08A 02421, Wydział Odlewnictwa AGH, 2004 (praca niepublikowana)
- [2] Huttera B., Lewandowski J. L., Smyksy K.: *Wybrane aspekty metodyki oznaczania właściwości wytrzymałościowych układu: kwarc – materiał wiążący – kwarc*. Krzepnięcie Metali i Stopów 1996, s. 217
- [3] Lewandowski J. L.: *Tworzywa na formy odlewnicze*. Wyd. „Akapit”, Kraków 1997
- [4] Mutwil J.: *Badania wymiany ciepła w układzie odlew – forma piaskowa*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji 2003, vol. 23, nr 1, s. 93
- [5] Szlezyngier W.: *Tworzywa sztuczne*. Wyd. Oświatowe FOSZE, Rzeszów 1998.

### INFLUENCE OF INCREASED TEMPERATURE ON THE STRENGTH OF SAND WITH EPOXY BINDER

#### SUMMARY

In the article some results of sand strength with epoxy binder carried out at increased temperature (max. 40 °C above ambient temperature) has been presented. Research methodology and test stands has been described. The results obtained at increased temperature have been compared with strength of such sand at ambient temperature. Some remarks about measurement techniques have been given.

Recenzował: Prof. Jan Lech Lewandowski