

# Właściwości termomechaniczne

---

## Ćwiczenie 6A: Wyznaczanie odporności materiałów na wstrząs cieplny

Instrukcję opracował: dr inż. Leszek Chlubny  
KCiMO, WIMiC, AGH  
Październik 2022, ver. 0.2

### Cel ćwiczenia

Poznanie zjawiska odporności materiałów ceramicznych na wstrząs cieplny na przykładzie szkła oraz określenie wpływu naprężeń cieplnych II rodzaju na wytrzymałość mechaniczną materiałów, ze szczególnym uwzględnieniem wytrzymałości na zginanie.

### 1. Zagadnienia do przygotowania

Do realizacji ćwiczenia wymagana jest znajomość następujących zagadnień:

- zjawisko rozszerzalności cieplnej materiałów,
- teoretyczna i rzeczywista wytrzymałość materiałów,
- naprężenia cieplne I oraz II rodzaju, ich wpływ na wytrzymałość mechaniczną materiałów,
- pojęcie odporności materiałów na wstrząs cieplny,
- wpływ właściwości materiałów na odporność na wstrząs cieplny,
- wpływ warunków chłodzenia (ogrzewania) materiałów na ich odporność na wstrząs cieplny.

Zagadnienia te zostały szczegółowo omówione w skrypcie: „Laboratorium z nauki o materiałach” [1] oraz w literaturze uzupełniającej [2–4], wyszczególnionej pod koniec instrukcji.

### 2. Opis ćwiczenia

#### 2.1. Przyrządy i materiały do badań

Odporność materiałów na wstrząs cieplny wyznaczona zostanie poprzez wrzucanie próbek w postaci szklanych prętów, przetrzymywanych w coraz wyższych temperaturach, do zimnej wody i wyznaczeniu maksymalnej różnicy temperatur  $\Delta T_{\max} = T_{\text{próbki}} - T_{\text{wody}}$ , powodującej znaczne obniżenie wytrzymałości mechanicznej. Podczas ćwiczenia wykorzystane zostaną:

- pręty szklane (szkło sodowe),
- suwmiarka,
- materiały ściernie,
- rurowy piec oporowy wyposażony w obrotowy statyw,
- pojemnik z zimną wodą, wyłożony na dnie gąbką,
- termometr laboratoryjny,
- materiały osuszające,
- lupy,
- pęsety,
- okulary ochronne,
- rękawice ochronne,
- maszyna wytrzymałościowa Zwick Roell Z0,5 z osprzętem do trójpunktowego zginania,
- stanowisko komputerowe wyposażone w oprogramowanie sterujące maszyną wytrzymałościową oraz arkusz kalkulacyjny MS Excel.

## 2.2. Opis czynności

W celu wyznaczenia wytrzymałości materiałów na wstrząs cieplny należy kolejno:

- wyznaczyć  $\Delta T_{\max}$ ,
- wykonać wstępną preparatykę szklanych prętów,
- ogrzewać próbki do zadanej temperatury i poddać je wstrząsowi cieplnemu w pojemniku z zimną wodą,
- wyznaczyć wytrzymałości na zginanie za pomocą metody trójpunktowego zginania.

### 2.2.1. Wyznaczanie $\Delta T_{\max}$

W celu przeprowadzenia eksperymentu w pierwszym etapie musimy dokonać obliczeń  $\Delta T_{\max}$ , na podstawie wzoru:

$$\Delta T_{\max} = \frac{\sigma_w (1 - \nu)}{\alpha E}, \quad (1)$$

w którym  $\sigma_w$  oznacza wytrzymałość na zginanie,  $\alpha$  – liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej,  $E$  – moduł Younga, a  $\nu$  – liczbę Poissona (dla cienkich prętów przyjmujemy, że  $\nu = 0$ ).

Dane dotyczące stosowanych w ćwiczeniu prętów szklanych znajdują się na etykiecie przyklejonej do pojemnika z próbkami.

### 2.2.2. Ustalenie temperatur pomiarowych

W kolejnym etapie ustalamy temperatury pomiaru, które będą stosowane w przeprowadzanym eksperymencie:

- a) temperatura otoczenia (pomiaru dokonujemy termometrem laboratoryjnym),
- b)  $\Delta T_{\max} + T_{\text{wody}} - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , (temperaturę wody mierzymy termometrem laboratoryjnym),
- c)  $\Delta T_{\max} + T_{\text{wody}} - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- d)  $\Delta T_{\max} + T_{\text{wody}}$ ,
- e)  $\Delta T_{\max} + T_{\text{wody}} + 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- f)  $\Delta T_{\max} + T_{\text{wody}} + 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.2.3. Wstępna preparatyka próbek

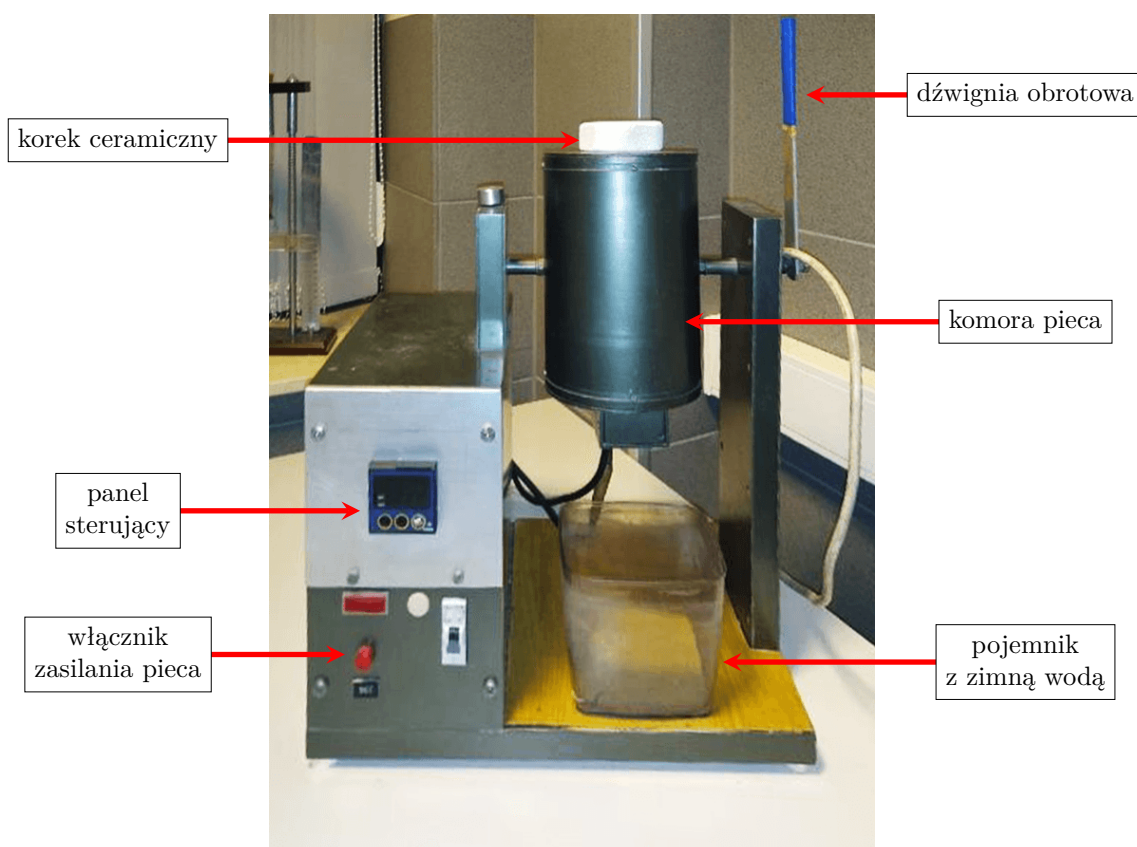
W trakcie wykonywania części doświadczalnej należy korzystać z środków ochrony osobistej: okularów i rękawic ochronnych.

Dla każdej z wyznaczonych temperatur pomiarowych, przygotowujemy trzy próbki (w sumie 18 próbek) w postaci szklanych prętów o długości około 60 mm. Zakończenia wybranych prętów szklanych należy oszlifować za pomocą papieru ściernego lub tarczy szlifierskiej aż do uzyskania gładkich krawędzi.

#### 2.2.4. Poddanie próbek wstrząsowi cieplnemu

W celu wyznaczenia odporności na wstrząs cieplny należy próbkę nagrzaną do wysokiej temperatury poddać gwałtownemu ochłodzeniu poprzez wrzucenie jej do pojemnika z zimną wodą. W rezultacie może wystąpić zmniejszenie się wytrzymałości mechanicznej badanych próbek. Wraz ze zwiększającą się różnicą temperatury, w wypadku szklanych próbek, można zaobserwować widoczne gołym okiem spękania występujące w materiale.

Aby przeprowadzić zaplanowany eksperyment, korzystamy z oporowego pieca rurowego umieszczonego na statywie obrotowym, przedstawionego na rysunku 1. Nauka obsługi pieca musi być przeprowadzona pod nadzorem prowadzącego zajęcia.



Rysunek 1. Oporowy piec rurowy na obrotowym statywie

**Opisane poniżej czynności powtarzamy dla wszystkich 5 wyznaczonych wartości temperatury!**

Należy włączyć piec za pomocą włącznika przedstawionego na rysunku 1, a następnie ustawić za pomocą panelu sterującego pokazanego na rysunku 2 obliczoną w punkcie 2.2.2 temperaturę. Regulacji temperatury dokonujemy za pomocą przycisków „+” oraz „-” na panelu sterującym. Po osiągnięciu zadanej temperatury, zdejmujemy korek ceramiczny z komory pieca i za pomocą pęsety umieszczamy **trzy próbki** szklane na dnie pieca. Można tego dokonać pochylając komorę za pomocą dźwigni obrotowej, a następnie po umieszczeniu próbek wewnątrz komory,

delikatnie podnieść ją do pozycji pionowej. Następnie zamykamy komorę ceramicznym korkiem i przetrzymujemy w niej próbki przez **15 minut**.



Rysunek 2. Panel sterujący oporowego pieca rurowego: 1 – podnoszenie temperatury, 2 – obniżanie temperatury

Po upływie zadanego czasu pod komorą pieca należy umieścić pojemnik z zimną wodą wyłożony gąbką (ma za zadanie amortyzować uderzenia próbek o dno i zapobiegać ich pęknięciu). W następnym kroku należy usunąć korek ceramiczny i za pomocą dźwigni (rys. 1) obrócić komorę grzejącą tak, aby ogrzane próbki wpadły do pojemnika z wodą. **Uwaga! Gdyby próbki wypadły poza obręb pojemnika, w żadnym wypadku nie należy ich dotykać niezabezpieczoną dłonią.**

Po ostudzeniu należy wydobyć próbki za pomocą pęsety z pojemnika z wodą, a następnie delikatnie osuszyć za pomocą chłonnych materiałów suszących, uważając by nie uszkodzić prętów.

Osuszone próbki należy oglądać uważnie w celu zaobserwowania występujących w nich widocznych spękań będących efektem wstrząsu cieplnego. Obserwacje należy umieścić w sprawozdaniu.

Następnie należy powtórzyć procedurę dla kolejnych temperatur.

### 2.2.5. Badanie wytrzymałości na zginanie

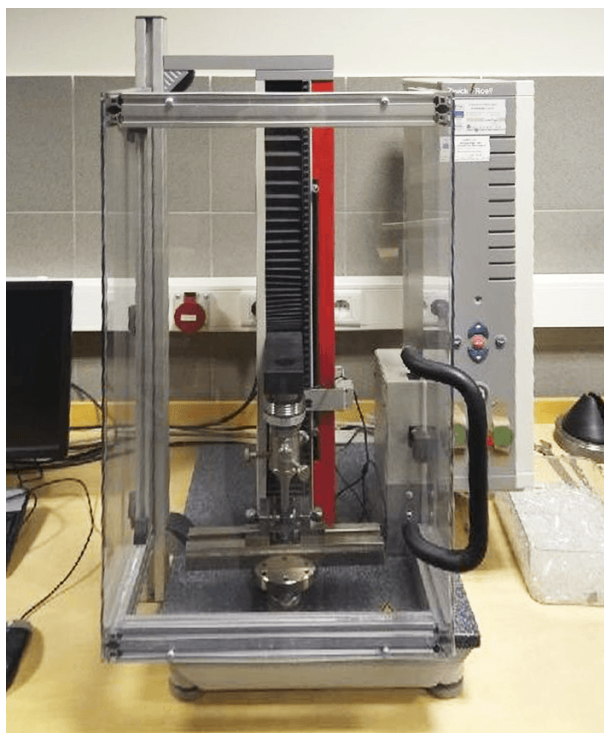
Aby zmierzyć wytrzymałość na zginanie badanych próbek, poddajemy je pomiarom za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick Roell Z0.5 (rys. 3) i dedykowanego do niej oprogramowania komputerowego. **Pomiary wykonujemy dla każdej serii próbek.**

Podczas wykonywania badania należy bezwzględnie stosować okulary ochronne.

Przed pomiarem wytrzymałości na zginanie, na osuszonych prętach szklanych (oraz na prętach, na których pomiaru wytrzymałości dokonujemy w temperaturze pokojowej) należy dokonać pomiaru ich średnicy. Przy pomocy suwmiarki należy zmierzyć średnicę każdego z prętów w trzech różnych miejscach. Średnią wartość dokonanych pomiarów umieszczamy w tabeli 1 (patrz punkt 3.1).

Włączenie maszyny wytrzymałościowej następuje pod nadzorem prowadzącego ćwiczenie. Należy uruchomić urządzenie włącznikiem z tyłu obudowy, a następnie włączyć komputer i kliknąć w ikonę **NOM wstrząs cieplny**. Zostanie uruchomiony program **testXpert** pozwalający na dokonywanie pomiarów siły oddziałującej na próbkę. Włączyć przycisk **On** na panelu sterowniczym urządzenia (rys. 4). Następnie należy otworzyć drzwi ochronne maszyny wytrzymałościowej. **Uwaga: zamek elektryczny pozwala na otwarcie drzwi jedynie gdy maszyna jest uruchomiona** (świeci się biała lampka na panelu sterującym urządzeniem – przycisk **ON**). Następnie należy sprawdzić rozstaw podpór, na których umieszczona zostanie

próbka – powinien on wynosić 40 mm. W kolejnym etapie należy umieścić próbkę na podporach i zamknąć drzwi ochronne.



Rysunek 3. Maszyna wytrzymałościowa Zwick Roell Z0.5



Rysunek 4. Panel sterujący maszyny wytrzymałościowej

Na pasku zadań w programie zerujemy siłę za pomocą przycisku



Następnie należy rozpocząć badanie – uruchamiając przycisk na pasku zadań



W momencie uruchomienia pomiaru drzwi ochronne zostają zablokowane.

W trakcie pomiaru (łamania próbki), na ekranie pojawiać się będzie wykres naprężenie-odkształcenie dla danego pręta szklanego. Po zakończonym pomiarze, czyli po złamaniu próbki,

program wyświetli wartość siły powodującej zniszczenie, a drzwi maszyny wytrzymałościowej zostaną automatycznie odblokowane.

Należy odczytać wartości siły łamiącej oraz błędu pomiaru. Wyniki umieszczamy w tabeli 1. Po złamaniu próbki powtarzamy powyższe czynności od umieszczenia kolejnej próbki na podporach maszyny wytrzymałościowej.

Po skończonym badaniu należy uprzątnąć stanowisko z połamanych fragmentów szklanych próbek. Maszynę wytrzymałościową wyłącza prowadzący.

### 3. Opracowanie wyników

#### 3.1. Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń

Wszystkie uzyskane w trakcie pomiarów wyniki umieszczamy w tabeli. Przykładowy wygląd tabeli przedstawiono poniżej (tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarowych

Seria	Temp. wody	Temp. pieca	Numer próbki	Średnia średnica próbki, $d$	Wartość siły łamiącej, $P$	Wytrz. na zginanie, $\sigma_{zg}$	Średnia wytrz. na zginanie, $\bar{\sigma}_{zg}$
	°C	°C		mm	N	MPa	MPa
a)		—	1				
			2				
			3				
b)			1				
			2				
			3				
c)			1				
			2				
			3				
d)			1				
			2				
			3				
e)			1				
			2				
			3				
f)			1				
			2				
			3				

### 3.2. Opracowanie wyników pomiarów

- Zmierzone suwmiarką 3 średnice szklanych prętów oraz wartości średnie umieszczamy w tabeli 1.
- Umieścić wartości siły łamiącej oraz błędów pomiaru dla każdej próbki w tabeli 1.
- Dokonać obliczeń wytrzymałości na zginanie dla każdego z badanych prętów korzystając z wzoru (zwracając uwagę na jednostki w jakich wyrażone są poszczególne wartości):

$$\sigma_{zg} = \frac{8Fl}{\pi d^3}, \quad (2)$$

gdzie:

- $F$  – wartość siły łamiącej, N,
- $l$  – rozstaw podpór, m,
- $d$  – średnica próbki (wartość średnia), m.

- Następnie należy obliczyć średnią wytrzymałość na zginanie dla każdej z wyznaczonych temperatur. Wszystkie wyniki pomiarów i obliczeń umieszczamy w tabeli 1.
- Wykonać w zeszycie wykres obrazujący zależność średniej wytrzymałości na zginanie  $\sigma_{zg}$  w zależności od różnicy temperatury  $\Delta T$ . Z wykresu odczytujemy wyznaczoną eksperymentalnie wartość  $\Delta T_{\max}^{\text{eks}}$  i porównujemy z wartością obliczeniową  $\Delta T_{\max}$  wyznaczoną przy pomocy wzoru (1).

## 4. Sprawozdanie

Sprawozdanie z wykonania ćwiczenia laboratoryjnego powinno zostać sporządzone w zeszycie laboratoryjnym. Oprócz standardowych elementów: tytułu, daty wykonania ćwiczenia oraz celu ćwiczenia, powinno zawierać również:

1. krótką charakterystykę badanego materiału (rodzaj, wymiary,  $E$ ,  $\alpha$ ),
2. obliczenia wyznaczające  $\Delta T_{\max}$  oraz temperatur, w których był wykonywany eksperyment wraz z przeliczeniem jednostek,
3. tabelaryczne zestawienie wyników pomiarów,
4. obliczenia wytrzymałości na zginanie  $\sigma_{zg}$  i wytrzymałości średniej na zginanie  $\bar{\sigma}_{zg}$ ,
5. wykres zależności wytrzymałości na zginanie w funkcji różnicy temperatury,
6. porównanie  $\Delta T_{\max}^{\text{eks}}$  eksperymentalnego z  $\Delta T_{\max}$  obliczeniowym,
7. krótką dyskusję i wnioski z uzyskanych rezultatów pomiarów i wykonanych obliczeń.

## 5. Przykładowe pytania i zadania do dyskusji

1. Zastanowić się nad przyczyną rozszerzalności cieplnej materiałów?
2. Co rozumiemy pod pojęciem wytrzymałości materiałów?
3. Wyjaśnić różnicę pomiędzy wytrzymałością teoretyczną a rzeczywistą materiałów?
4. Wyjaśnić, która z wytrzymałości: na rozciąganie, czy też na ściskanie jest większa w wypadku materiałów ceramicznych?
5. Przyczyny powstawania naprężeń cieplnych?
6. Co rozumiemy pod pojęciem odporności materiałów na wstrząs cieplny?
7. Podać przykłady zjawiska wstrząsu cieplnego dla rzeczywistych materiałów i wyrobów.
8. Opisać rozkład naprężeń w materiale podczas gwałtownego studzenia.

9. Opisać rozkład naprężeń w materiale podczas gwałtownego ogrzewania.
10. Opisać relacje pomiędzy naprężeniami mechanicznymi a cieplnymi.
11. W jakich materiałach odporność na wstrząs cieplny będzie miał duże znaczenia, podaj przykłady.
12. Która z postaci tej samej substancji monokryształ, czy polikryształ wykazuje większą odporność na wstrząs cieplny, wyjaśnij dlaczego.
13. Jaki jest wpływ porowatości materiału na odporność na wstrząs cieplny?
14. Wyjaśnić wpływ rozszerzalności cieplnej  $\alpha$ , wytrzymałości mechanicznej  $\sigma$ , modułu Younga  $E$ , współczynnika przewodzenia  $k$  i wielkości próbki  $r_m$  na odporność na wstrząs cieplny.
15. Wyjaśnić dlaczego można spodziewać się zmian wytrzymałości mechanicznej w funkcji  $\Delta T$  dla materiałów bardzo kruchych (szkło, monokrystały)
16. Wyjaśnić dlaczego można spodziewać się zmian wytrzymałości mechanicznej w funkcji  $\Delta T$  dla materiałów polkryystalicznych bezporowatych.
17. Wyjaśnić dlaczego można spodziewać się zmian wytrzymałości mechanicznej w funkcji  $\Delta T$  dla porowatych materiałów polikryystalicznych.
18. Czy obecność wody w mikroszczelinach o różnej wielkości w materiale może mieć wpływ na  $\Delta T_{\max}$ ?
19. Czy wielkość ziaren w polikryształach może mieć wpływ na  $\Delta T_{\max}$ ?

## 6. Literatura uzupełniająca

- [1] J. Lis, red.: *Laboratorium z nauki o materiałach*, Skrypty Uczelniane: 1662. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2000.
- [2] R. Pampuch: *Materiały Ceramiczne*, PWN, Warszawa, 1988. ISBN: 83-01-07268-7.
- [3] R. Pampuch: *Budowa i właściwości materiałów ceramicznych*, Wydawnictwa AGH, Kraków, 1995.
- [4] R. Pampuch: *Współczesne materiały ceramiczne*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2005. ISBN: 83-7464-007-3.