

# Doświadczalne wyznaczenie granicy plastyczności materiału kompozytowego "Stahl 1018" w podwyższonych temperaturach

A. Arustamian, D. Kalisz \*,

AGH University of Science and Technology, Department of Foundry Engineering,  
Reymonta 23, 30-059 Kraków, Poland

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: dak@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2015; zaakceptowano do druku 29.12.2015

## Streszczenie

Praca zajmuje się badaniem wpływu temperatury na właściwości mechaniczne materiału kompozytowego MM "Stahl 1018". W pracy przedstawiono opis techniki wytwarzania kompozytu Stahl1018 oraz metodykę prowadzonych badań laboratoryjnych. Analiza uzyskanych wyników na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wykazała, że wraz ze wzrostem temperatury maleje granica plastyczności badanego materiału kompozytowego.

**Słowa kluczowe:** kompozyt polimerowy, Stahl1018, granica plastyczności, wytrzymałość mechaniczna

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach coraz większe zastosowanie w rekonstrukcji powierzchni i uzupełnienia jej braków mają materiały metaliczno-polimerowe. Składnikami tych związków są żywice epoksydowe, ich dodatek pozwala na zastosowanie takich materiałów do wykonywania napraw części maszyn oraz elementów stanowiących obudowy urządzeń przemysłowych.

Należy jednak zauważyć, że stosowanie substancji metaliczno-polimerowych jest ograniczone szczególnie w warunkach działania wysokich temperatur i naprężeń dynamicznych. Zwiększone wymagania dotyczące niezawodności i trwałości tego rodzaju materiałów zmusza do poszukiwania coraz to nowszych rozwiązań z zakresu inżynierii materiałowej.

Przedmiotem badań w obecnej pracy jest nowoczesny materiał Multimetall "Stahl 1080" dla którego przeprowadzono

szereg testów pod kątem zachowania materiału w warunkach działania nacisku (ściskanie) w podwyższonych temperaturach. Dotychczasowe badania tego materiału dotyczyły określenia granicy plastyczności oraz wytrzymałości na ściskanie, testy doświadczalne przeprowadzono na prasie maszyny do rozciągania RMDL-20 [1-4]. Jako wynik eksperymentu uzyskano granicę plastyczności w zależności od siły ściskania, średnicy próbki oraz wgłębienia uzyskanego w próbce po próbie ściskania. Głębokość rowka w próbce jest odwzorowaniem siły nacisku w metal-polimerze podczas badania, szerokość rowka jest uzależniona od średnicy próbki. Wyniki doświadczalne uzyskane po przekształceniu matematycznym uzyskanych danych pokazały, że optymalna wartość granicy plastyczności odpowiada próbkom z nadmiarem wgłębieniem 1 mm. Jedną z wad tego sposobu prowadzenia wieloczynnikowych eksperymentów jest to, że technika ta ma ograniczony zakres [5]. Tak więc, uzyskany związek empiryczny tylko przybliżeniu daje zgodność,

a uzyskane wyniki nie dają pełnej wiarygodności ze względu na wielkość błędu przy określaniu wartości teoretycznej granicy plastyczności.

Ischenko [6] przeprowadził badania teoretyczne wytrzymałości metal-polimerowej warstwy w warunkach hydrostatycznego ściskania. Symulację wykonano za pomocą programu komputerowego do modelowania trójwymiarowego zachowania ciał stałych "SolidWorks 2007" z zastosowaniem do obliczeń wytrzymałościowych modeli "CosmosWorks 2006" oraz metody elementów skończonych (MES).

Obecne eksperymenty posłużyły do weryfikacji wyników tej symulacji. Próbkę kompozytu do badania przygotowano w pełnej zgodności z próbkami, które były przedmiotem symulacji, również warunki obciążenia w eksperymentach wzorowano na wynikach modelowania.

## 2. Metodyka badań

Próbki wykonane z kompozytu Stahl 1018 poddano próbom ściskania na urządzeniu Zwick Roell Amsler HB 100. Cechy techniczne materiału kompozytowego podano w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Dane techniczne MultiMetall "Stahl 1018"

Wytrzymałość na ściskanie	N/mm <sup>2</sup>	Max160
Wytrzymałość na rozciąganie	N/mm <sup>2</sup>	76
Wytrzymałość na zginanie	N/mm <sup>2</sup>	89
Wytrzymałość na rozciąganie i ścinanie	N/mm <sup>2</sup>	22
Moduł sprężystości	N/mm <sup>2</sup>	14000
Współczynnik rozszerzalności liniowej		32x10 <sup>-6</sup> K
Odporność na ciepło		- 40°C / +90°C
Odporność chemiczna		Bardzo dobra
Odporność na starzenie i warunki atmosferyczne		Bardzo dobra
Czas pracy z materiałem	min	45
Utwardzanie w temperaturze 5 °C	godzin	72
Utwardzanie w temperaturze 20°C	godzin	24
Ciężar właściwy	g/sm <sup>3</sup>	2,4

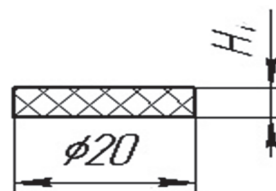
Aparatura pozwala na przeprowadzenie eksperymentu w warunkach pełnej izolacji cieplnej lub w zadanych warunkach temperaturowych. Specjalna komora służy do podgrzania próbki do wymaganej temperatury oraz przeprowadzenia próby ściskania z obciążeniem wibracyjnym. Przy pomocy urządzenia istnieje możliwość zbadania elastyczności i wytrzymałości próbek w różnych temperaturach. Zakres temperatur mieści się od -80 °C do 250 °C. Testy można przeprowadzać dla próbek o różnych rozmiarach i kształtach przy maksymalnym obciążeniu 100 kN na ściskanie, skok tłoka wynosi 250 mm.

Zachowanie materiału w temperaturze otoczenia przy zastosowaniu stałych statycznych i dynamicznych obciążeń jest znane. Celem obecnych eksperymentów, jest zbadanie odkształcenia materiału kompozytowego przy obciążeniu w warunkach statycz-

nych, w podwyższonej temperaturze (do 80 °C). Jednym z elementów badania było wyznaczenie granicy plastyczności  $\sigma_r$ . Kompozyt „Stahl 1018” nie ma jednoznacznie wyznaczonej granicy plastyczności, dlatego zamiast  $\sigma_r$  używa się pojęcia granica plastyczności  $\sigma_{0,2}$ , co odpowiada natężeniu, w którym odkształcenie plastyczne wynosi 0,2% od wysokości próbki.

Do badań eksperymentalnych wykonano próbki cylindryczne o średnicy  $D = 20$  mm i wysokości  $H_1 = 1,5$  mm,  $H_2 = 3$  mm,  $H_3 = 4,5$  mm (rys. 1). Wybór wymiarów próbek spowodowany był przede wszystkim tym, że warstwy tej grubości najczęściej stosuje się w naprawie urządzeń przemysłowych [7-9].

Próbki wykonano według następującej procedury: w pierwszej kolejności przygotowano formy, które miały zostać wypełnione kompozytem. Jako formy dla próbek zastosowano strzykawkę o pojemności 20 ml, które zapewniły pożądaną średnicę próbki. Przygotowane formy napełniano materiałem, użycie tłoka zapewniło zwartą strukturę pozbawioną pęcherzy gazowych. Następnie materiał był utwardzany na wolnym powietrzu przez 24 godziny. Po tym czasie usunięto formy, a materiał w kształcie cylindra pocięto na próbki o wymaganej wysokości. Powierzchnie próbek przygotowano za pomocą papieru ściernego z użyciem polerki [10-12]. Schemat przygotowanej próbki do badań przedstawiono na rysunku 1.

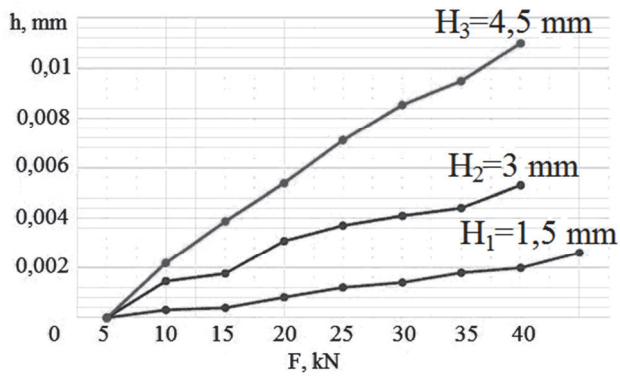


Rys. 1. Schemat próbki przeznaczonej do badań

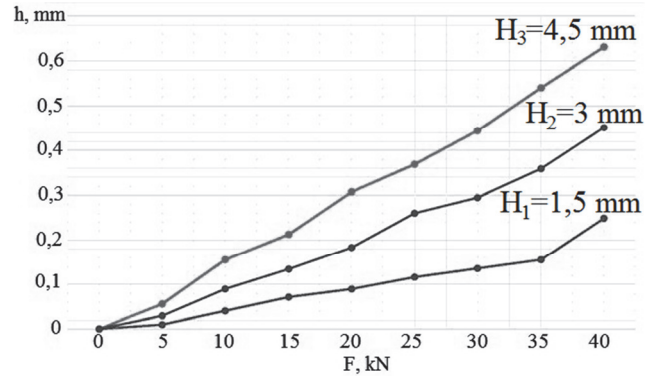
## 3. Wyniki eksperymentów

Eksperymenty wykonano dla próbek podgrzanych do temperatury +20°C, +40°C, +60°C, +80°C. Jest to spowodowane faktem, że zadeklarowany przez producenta zakres pracy materiału mieści się w zakresie -40°C - +80°C. Wyniki testów przedstawiono na rysunkach 2-5. Zależność granicy plastyczności od temperatury ilustruje rysunek 6.

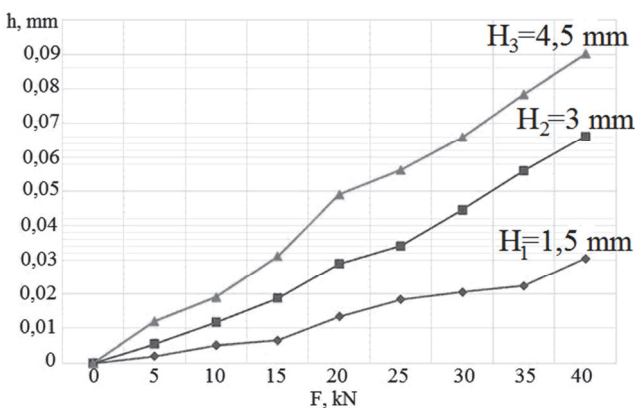
Z rysunków 2-5 wynika, że granica plastyczności materiału zależy od temperatury. Im wyższa temperatura, tym niższa jest granica plastyczności. Wzrost temperatury z 20°C do 40°C (rys. 3) powoduje gwałtowny spadek wytrzymałości kompozytu we wszystkich badanych próbkach. Dalsze zwiększenie temperatury do 60 °C (rys. 4) powoduje jeszcze większy spadek wytrzymałości materiału. Wartość granicy plastyczności spadła dwukrotnie dla wszystkich warstw w próbce. Kiedy temperatura wzrosła do 80 °C (rys. 5) dynamika spadku wytrzymałości kompozytu utrzymała tendencję spadkową granicy plastyczności we wszystkich warstwach badanych próbek.



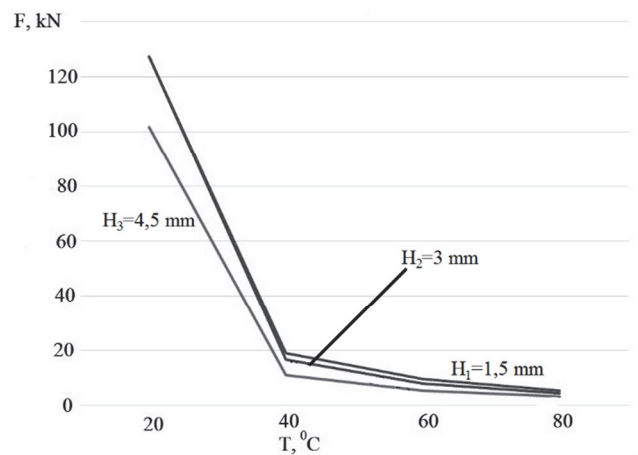
Rys. 2. Wykres zależności odkształcenia liniowego struktury "Stahl 1018" od obciążenia osiowego w temperaturze 20 °C



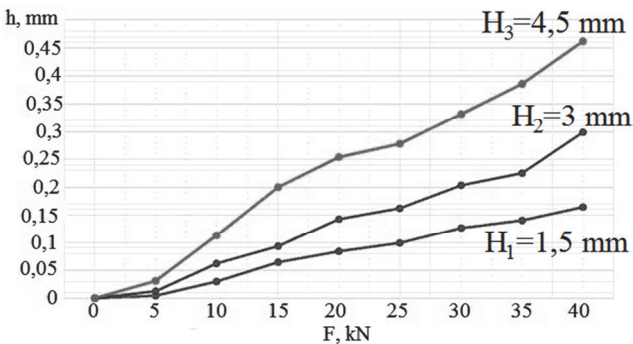
Rys. 5. Wykres zależności odkształcenia liniowego struktury "Stahl 1018" od obciążenia osiowego w temperaturze 80 °C



Rys. 3. Wykres zależności odkształcenia liniowego struktury "Stahl 1018" od obciążenia osiowego w temperaturze 40 °C



Rys. 6. Wykres zależności granicy plastyczności kompozytu Stahl 1018 od temperatury



Rys. 4. Wykres zależności odkształcenia liniowego struktury "Stahl 1018" od obciążenia osiowego w temperaturze 60 °C

## 4. Wnioski

Badania teoretyczne i eksperymentalne właściwości wytrzymałościowych dotyczących wyznaczenia granicy plastyczności materiału kompozytowego "Stahl 1018" w podwyższonych temperaturach wykazały, że:

- 1) Wytrzymałość materiału polimerowego zmniejsza się około 30 razy wraz ze wzrostem temperatury od 20 °C do 80 °C;
- 2) Materiał "Stahl 1018" w podwyższonych temperaturach, jest mniej wytrzymały na obciążenia od próbek, dla których badania były wykonane w temperaturze 20 °C. Tendencja ta jest utrzymana dla wszystkich wymiarów próbek (H=1,5 – 4,5).

Ponadto stwierdzono znaczne rozbieżności pomiędzy wynikami dla próbek materiału Multimetal "Stahl 1018" o wysokości H = 4,5 mm, w temperaturze T = 40-80 °C. W tym przypadku badania wykazały największe odkształcenie próbek wraz ze wzrostem temperatury. Dane wynikające z eksperymentów

potwierdzają, że podwyższenie temperatury powoduje obniżenie granicy plastyczności we wszystkich próbkach.

## Literatura

- [1] Donev K.V, (2007) Investigation of the properties of metal-polymer materials and the development of technology of repair roughing stand. Master's thesis, PSTU, Mariupol, Ukraine.
- [2] Vorona A.S. (2009) Theoretical and experimental research of the mechanical properties of polymer repair materials for different purposes. Master's thesis, PSTU, Mariupol, Ukraine.
- [3] Kalinichenko S.A. (2003) Research of the dynamic properties of metal-polymer materials. Master's thesis, PSTU, Mariupol, Ukraine.
- [4] Timoschenko A.V. (2010) Research of the mechanical properties of composite materials under dynamic loading.. Master's thesis, PSTU, Mariupol, Ukraine.
- [5] Kakareka D.L. (2013) Research of the mechanical properties of composite materials under dynamic loading. Master's work, PSTU, Mariupol, Ukraine.
- [6] Ischenko A.A. (2007) Technological bases of recovery of industrial equipment with modern polymeric materials. Mariupol, PSTU.
- [7] DIN EN ISO 604:2003-12 Testing of Plastics; Determination of the Modulus of Elasticity by Tensile, Compression and Flexural Test.
- [8] Savinov O. A. (1979) Modern design of foundations for machines and their calculation. (2nd ed.). Stroyizdat. Leningrad: Stroyizdat. otd-nie.
- [9] Ischenko A. A. (2012) Research coefficient of static friction of plastic and steel. PSTU, 258-261.
- [10] Dudareva N.Yu., Zagayko S.A. (2006) Tutorial Solidworks 2006. Peterburg, Russia.
- [11] GOST 1050-88. (1988) Rolled metal, calibrated, with special surface finish of quality carbon structural steel. General specifications.
- [12] Plant Polymer Research Unit. National Center for Agricultural Utilization Research, USDA-ARS, 1815 North University Street, Peoria, Illinois, 61604

# Experimental Determination of the Yield Strength of the Composite Material "Stahl 1018" at Elevated Temperatures

## Abstract

A theoretical and practical study of the effect of temperature on the mechanical properties of the composite material MM "Stahl 1018". Describes laboratory setting in which testing will be conducted, as well as describes a method of preparation and carrying out of the experiment. Also, the analysis of the results of the experiments, which showed that with increasing temperature decreases the yield strength of the material.