

Rola i znaczenie badań fizycznych w inżynierii produkcji

Data wpłynięcia do Redakcji: 06/2026
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 07/2026

2026, volume 15, issue 1, pp. 58-65

Jacek Sitko, Marek Wende
Politechnika Śląska, Poland



Streszczenie: Artykuł przedstawia przegląd wybranych metod i narzędzi badawczych, stosowanych w Katedrze Inżynierii Produkcji, Politechniki Śląskiej. W ramach zajęć laboratoryjnych studenci Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, wykonują praktyczne badania materiałów i wyrobów inżynierskich, których celem jest zapoznanie z działaniem aparatury badawczej, osiągnięcie umiejętności prowadzenia poszczególnych operacji pomiarowych maszyn i poznanie właściwości badanych materiałów. Studenci pod nadzorem prowadzącego zajęcia, trwa to zwykle, zależnie od postępów dwie godziny. Początkowo uczą się wykonywać poszczególne zabiegi na maszynie badawczej, jak np. na Twardościomierzu stacjonarnym Rockwella. Po osiągnięciu wystarczających umiejętności do dokonania prawidłowego i bezpiecznego pomiaru, przystępują do właściwych badań makrotwardości lub rozkładu twardości np. stalowego złącza spawanego itp. Przykładowe wyniki przedstawione są w artykule. Oczywiście prace badawcze studentów poprzedzone są wstępem teoretycznym, (wykładem), przeprowadzonym przez prowadzącego zajęcia w celu zapoznania ich celowością prowadzonych zabiegów, zróżnicowanymi właściwościami materiałów i elementów maszyn i urządzeń oraz parametrów osiąganych w danym pomiarze.

Słowa kluczowe: badanie, materiał, pomiar, maszyna

WSTĘP

W Inżynierii Produkcji podstawowe znaczenie ma zastosowanie specjalistycznych urządzeń pomiarowo-badawczych, których wyniki niejednokrotnie decydują o zakresie wykorzystania badanych wyrobów, półwyrobów i materiałów do zamierzonych zastosowań. W ciągu ostatnich lat nastąpił znaczny postęp w zakresie wykorzystania np. odlewniczych stopów miedzi przeznaczonych na obciążone elementy okrętowych elementów, takich jak śruby okrętowe czy wirniki pomp, powodując redukcję gęstości o 10-20%, zwiększenie wytrzymałości materiału, zwiększenie odporności na korozję i zmęczenie korozyjne, a tym samym zmniejszenie prawdopodobieństwa awaryjnych uszkodzeń (Sitko 2023).

Dlatego tak ważna jest właściwy dobór, efektywne i bezpieczne korzystanie z aparatury pomiarowej w laboratorium. W tym celu poza precyzyjnym i cennym sprzętem dużą rolę odgrywa prawidłowa obsługa wyspecjalizowanego personelu.

Badania fizyczne stanowią podstawę do określenia właściwości oraz możliwości zastosowania a także zachowania materiałów i wyrobów w trakcie eksploatacji np. w przemyśle wydobywczym, produkcyjnym, wojskowym, transporcie i in.

PROBLEM BADAWCZY

Badania prowadzono w okresie kilku miesięcy w Laboratorium Materiałoznawstwa, diagnozowania i monitorowania technologii pod nadzorem naukowo-technicznym dra inż. Jacka Sitko w Katedrze Inżynierii Produkcji pod kierownictwem Pana Prof. Jarosława Brodnego.

W opracowaniu przeanalizowano wpływ badań na wyniki próbek z różnych materiałów w celu określenia ich przydatności do zastosowań inżynierskich:

- badania twardości metodami Brinella, Rockwella i Vickersa;
- badania udarowości młotem wahadłowym Charpy;
- mechaniczne w statycznej próbie rozciągania.

BADANIA TWARDOŚCI

W czasie kilku miesięcy, dokonano szeregu badań twardości różnych próbek metalowych wraz z wydrukiem 3D, wykonanych przez prowadzącego laboratorium, współpracowników naukowych Katedry, dyplomantów oraz studentów.

Wynikiem są wybrane przykłady oraz ich analiza dokonana w celu określenia trafności doboru metody badawczej oraz parametrów i właściwości badanego materiału.

Poniższy rys. 1 przedstawia widok ogólny stacjonarnego twardościomierza do badania metodami HB, HV oraz HR, na którym dokonywano pomiaru twardości oraz analizy wyników na odpowiednio przygotowanych próbkach.



Rys. 1 Widok ogólny twardościomierza

Źródło: opracowanie własne

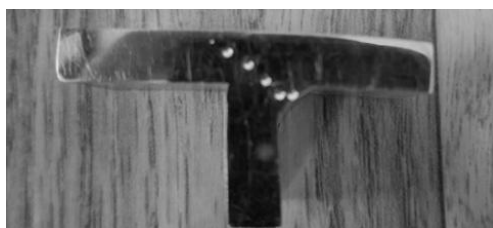
Próbki muszą się cechować stabilnym, regularnym kształtem, płaską powierzchnią w celu uzyskania stabilizacji i zachowania bezpieczeństwa badacza w trakcie pomiaru.



Rys. 2 Widok (nietypowej próbki) przygotowanej przez studenta wraz ze śladami dokonanych pomiarów (cel dydaktyczny)

Źródło: opracowanie własne

Widoczne na niektórych miejscach odcisków dokonane wgłębnikiem (stożkiem diamentowym o rozchyleniu ścian wynoszących 136 stopni).



Rys. 3 Widok prawidłowo przygotowanej powierzchni próbki stalowej oraz widok odcisków dokonanych przez laboranta w celu określenia rozkładu twardości wyrobu łączonego metoda spawania

Źródło: opracowanie własne

W badaniach fizycznych, stosowanych w Inżynierii Produkcji bardzo ważny jest właściwy dobór oraz przygotowanie próbek, zgodnie z odpowiednią normą lub w przypadku próbek nietypowych (np. dla wojska lub medycyny) zaleceniami zleciendawcy.



Rys. 4 Wyniki pomiarów na ekranie twardościomierza, wykonanych metodą Rockwella. Widać wzrost w badaniu rozkładu twardości złącza spawanego, począwszy od materiału rodzimego do spoiny

Źródło: opracowanie własne

W badaniach twardości próbki muszą być tak przygotowane aby istniała możliwość dokonania przynajmniej kilku pomiarów.

W sytuacji kiedy próbka ma nietypowe wymiary i kształt istnieje możliwość zastosowania inkludowania w tworzywie np. chemoutwardzalnym aby uzyskać stabilność oraz właściwy poziom bezpieczeństwa badacza. Tak przygotowana próbkę przedstawia rys. 5.



Rys. 5 Widok powierzchni, zainkludowanej próbki po hartowaniu indukcyjnym.

Źródło: opracowanie własne

Kolejny rysunek 6, przedstawia wynik pomiaru rozkładu twardości materiału, polegający na dokonaniu przynajmniej kilku (jeśli to fizycznie możliwe) odcisków w jednej linii, pozwalającej określić jak zmienia się twardość na po obróbce cieplnej.



Rys. 6 Widok wyników pomiaru na ekranie twardościomierza, wykonanych metodą Rockwella. Widać przebieg rozkładu twardości materiału warstwowego. Wynik pomiaru przedstawia wzrost twardości wraz ze zbliżaniem się do zewnętrznej, utwardzonej metodą hartowania indukcyjnego próbki stalowej

Źródło: opracowanie własne

Badania potwierdziły doskonałą przydatność stacjonarnej metody badania twardości metodą Rockwella w skali C.

Podejmowano również próby badań próbek z tworzyw sztucznych, wykonanych metodą druku 3D. Ze względu na znacznie niższą wytrzymałość wyjściową w stosunku do metali, podejmowano badanie metodą Brinnela przy najniższym obciążeniu.

W tym badaniu, polegającym na obserwacji i pomiarze średnicy odcisku, problemem jest bardzo słaba zdolność tworzywa sztucznego z drukarki 3D do odbijania promieni świetlnych a co za tym idzie utrudniony pod mikroskopem precyzyjny pomiar średnicy odcisku.

BADANIE DYNAMICZNE CHARPY

Badania udarnośći młotem wahadłowym Charpy polega na jednokrotnym uderzeniu młotem w odpowiednio przygotowaną próbkę i jej złamaniu. Po próbie

uzyskujemy wynik wartości energii potrzebnej do złamania próbki wyrażonej w [J].

Pomiaru dokonujemy dla materiałów, pracujących w bardzo ciężkich i specyficznych warunkach np. w bardzo niskiej temperaturze gdzie może dochodzić do zjawiska kruchego pęknięcia.

W laboratorium badamy głównie stopy metali jak stal, staliwo czy żeliwo. Stal jest dominującym materiałem budowlanym (zbrojeniowym), stosowanym w różnych gałęziach przemysłu. Według badań dotyczących przyszłego rozwoju wszystkich materiałów budowlanych pozycja stali nie ulegnie zmianie przez długi czas. Sama stal jest przyjazna dla środowiska, a jej odpady można poddać recyklingowi, uzyskując produkt użytkowy (Ivanova et al. 2021).

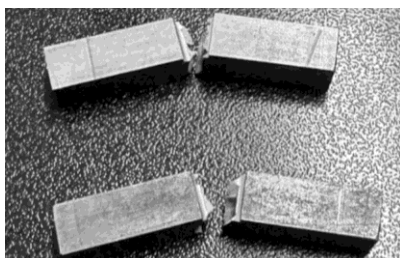
W ostatnim czasie badano również wyroby z druku 3D. Osiągnięte wartości okazały się dość niskie i trudno uznać je za w pełni wyczerpujące.



Rys. 7 Widok ogólny stanowiska do badań udarności w laboratorium Katedry Inżynierii Produkcji

Źródło: opracowanie własne

Badane próbki docelowo powinny ulec złamaniu, jak na rys. 8.



Rys. 8 Przykładowe próbki po badaniu udarności młotem wahadłowym Charpy

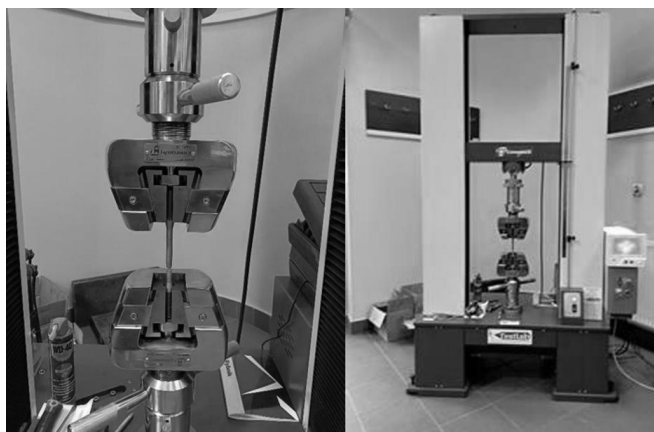
Źródło: opracowanie własne

Na tym próba udarności się kończy i możemy odczytać interesujące nas wartości oraz dokonać badań makrostrukturalnych złomów. Określić czy mamy do czynienia z przełomem kruchym czy ciągliwym. Można również przygotować złamany fragment próbki do badań metalograficznych o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

STATYCZNA PRÓBA ROZCIĄGANIA

Jest to badanie cechujące się znacznym zakresem wykorzystania Inżynierii Produkcji. Pozwala na specjalnie przygotowanych próbkach określić newralgiczne parametry jak wyraźna granica plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, zginanie oraz parametry tarcia. W laboratorium prowadzono także badania próbek z wydruku 3D, co pozwoliło na sformułowanie jednoznacznych wniosków i spostrzeżeń dotyczących porównawczej wytrzymałości PLA, ABS i PET-G. Wyniki nie tylko przyczyniają się do głębszego zrozumienia właściwości materiałów, ale także stanowią wskazówki dotyczące doboru materiałów w zastosowaniach druku 3D, wyznaczając kierunek przyszłych badań i zastosowań przemysłowych w nieustannie ewoluującym świecie produkcji addytywnej (Stecula et al. 2024).

Poniższy rysunek 9 przedstawia widok ogólny oraz zaciski z próbką w trakcie zrywania.



Rys. 9 Widok maszyny wytrzymałościowej (zrywarki) do statycznej próby rozciągania.
Źródło: opracowanie własne

Maszyna sterowana jest z komputera poprzez specjalistyczne oprogramowanie, którego fragment interfejsu przedstawia rysunek 10.

Kanały pomiarowe

Głowica pomiarowa: Loadcell_1 10000.000000 kgf

Czynnik położenia: Motor

Zmierz kierunek

Czynniki położenia2: Motor

Zmierz kierunek

Opis badania

Numer: 001 Nazwa: ISO_6892-1 (metoda B)

Nazwa: ISO_6892-1 (metoda B) Wykonał: jsc

Metoda pomiarowa: Rozciąganie

Próbka

2, wiasełka ok_test, mm, Wiasełka - okrągłe potwierdzi, czy jest wybrana właściwa próbka przed rozpoczęciem pomiarów.

Zakończenie pomiarów

Powrót do poz. Poc. Tak Nie Uwagi Tak Nie

Auto zapis Tak Nie Eksportuj tabelę danych Tak Nie

Rys. 10 Jedna ze stron oprogramowania komputerowego, sterującego parametrami doboru i zakresu badania materiału w procesie odkształcania badanej próbki

Źródło: opracowanie własne

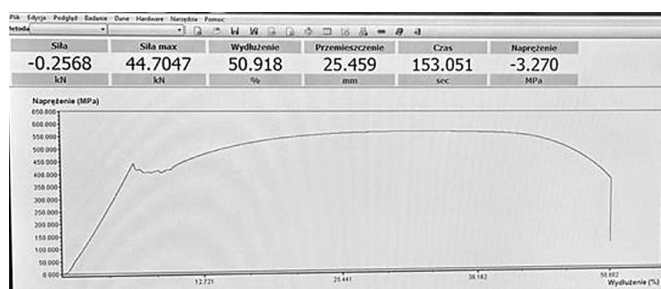
Możemy tu sterować bardzo szerokim zakresem parametrów, obciążenia, wymiarów próbek czasu badania itp. Próbki do badań przygotowujemy zgodnie z zadanymi wartościami. Można do badań stosować materiały metaliczne, tworzywa sztuczne, ceramikę oraz kompozyty. Przykład próbki stalowej, po zerwaniu przedstawia rys. 11.



Rys. 11 Widok próbki po badaniu (zerwaniu) w maszynie wytrzymałościowej.

Źródło: opracowanie własne

Wyniki pomiaru uzyskujemy na komputerze w postaci klasycznego wykresu rozciągania, rys. 12 oraz przedstawione w postaci dokładnych danych w tabeli na rys. 13.



Rys. 12 Wykres po statycznej próbie rozciągania próbki stalowej.

Źródło: opracowanie własne

Wyświetlana nazwa	Siła maksymalna	σ_{max}	δp_{max}	δp_{break}	EI.5	σ_{sp} δp	σ_{yield1}
Zdefiniowana nazwa	Fmax	Rm	Agt	At	E	Rp0.02	Rp0.2
Jednostka	N	MPa	%	%	GPa	MPa	MPa
1	37469.5700	477.076	36.690	51.564	6.326	0.137	375.178
2	44704.6900	569.196	32.449	50.850	7.04	0.234	417.213
Max.	44704.6900	569.196	36.690	51.564	7.040	0.234	417.213
Średnia	41087.1300	523.136	34.570	51.207	6.683	0.186	396.196
Min.	37469.5700	477.076	32.449	50.850	6.326	0.137	375.178

Rys. 13 Tabela stanowiąca fragment interfejsu po badaniu na zrywarce

Źródło: opracowanie własne

Pozwala to na dokonanie dokładnej analizy danych oraz szeroką możliwość ich obróbki cyfrowej oraz archiwizowaniu.

PODSUMOWANIE

Badania fizyczne realizowane przez studentów Katedry Inżynierii Produkcji są prowadzone poprawnie, zgodnie z wytycznymi prowadzącego. Wyniki pomiarów są precyzyjne. Można stwierdzić, że pierwsze kontakty z maszynami badawczymi

są odbierane przez młodych badaczy pozytywnie i z wielkim zainteresowaniem co dobrze wróży na przyszłość naszym inżynierom. Podobne doświadczenia z poprzednich lat potwierdzają zdobyte doświadczenie badawcze studentów w realizowanych na wysokim poziomie pracach dyplomowych.

LITERATURA

- Ivanova T.N., Biały W., Sitko J., i in. (2021). Grinding of high-strength materials Materials Science Forum, vol. 1037, (s. 595-602).
DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.595
- Sitko J. (2023). Wpływ wybranych żużli metalurgicznych na poprawę właściwości materiałów inżynierskich i pigmentów : Monografia, vol. 982, Gliwice, Wyd. Pol. Śl., 186 s. ISBN 978-83-7880-898-5
- Stecula B., Sitko J., Stecula K., i in. (2024). Combustion Engines, vol. 199, nr 4, (s. 97-103).
DOI:10.19206/ce-189386

The role and importance of physical testing in manufacturing engineering

Abstract: This article provides an overview of selected research methods and tools used at the Department of Production Engineering, Silesian University of Technology. As part of laboratory classes, students of the Faculty of Organization and Management at the Silesian University of Technology conduct practical tests on materials and engineering products. The aim is to familiarize them with the operation of testing equipment, develop the skills to perform specific measurement operations on machines, and understand the properties of the tested materials. Under the supervision of the instructor, this usually takes two hours, depending on the students' progress. Initially, they learn to perform specific procedures on a testing machine, such as the Rockwell stationary hardness tester. Once they have acquired sufficient skills to perform accurate and safe measurements, they proceed to actual macrohardness tests or hardness distribution analyses, e.g., of a steel welded joint, etc. Sample results are presented in the article. Of course, the students' research work is preceded by a theoretical introduction (lecture) conducted by the instructor to familiarize them with the purpose of the procedures, the diverse properties of materials and machine components and equipment, as well as the parameters obtained in a given measurement.

Keywords: test, material, measurement, machine

Jacek Sitko

ORCID ID: 0000-0002-7214-2046

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, **Poland**

e-mail: jacek.sitko@polsl.pl

Marek Wende

Student Zarządzania i Inżynierii Produkcji

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, **Poland**