

Wiktoria Wojnicz, Edmund Wittbrodt

MECHANICZNE METODY BADAŃ MATERIAŁÓW

Ćwiczenia laboratoryjne

Gdańsk 2020

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Dariusz Mikielwicz

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH

Michał Szydłowski

RECENZENCI

Izabela Lubowiecka

Stanisław Wojciech

REDAKCJA JĘZYKOWA

Agnieszka Frankiewicz

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI

Wioleta Lipska-Kamińska

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<https://www.sklep.pg.edu.pl>

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2020

ISBN 978-83-7348-810-6

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 8,5, ark. druku 10,5, 224/1103

Druk i oprawa: Volumina.pl Daniel Krzanowski
ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Laboratorium wytrzymałości materiałów na Wydziale Mechanicznym PG	9
3. Ćwiczenia laboratoryjne	18
3.1. Statyczna próba rozciągania metali	18
3.1.1. Cel badań	18
3.1.2. Podstawowe pojęcia	18
3.1.3. Wykonanie badań	22
3.1.4. Unieważnienie próby rozciągania	31
3.1.5. Przygotowanie raportu z badań	31
3.2. Wyznaczanie modułu sprężystości podłużnej, umownej granicy sprężystości i umownej granicy plastyczności	31
3.2.1. Cel ćwiczenia	31
3.2.2. Podstawowe definicje	31
3.2.3. Wykonanie badań	34
3.2.4. Unieważnienie próby rozciągania	39
3.2.5. Przygotowanie raportu z badań	39
3.3. Statyczna próba ściskania metali	39
3.3.1. Cel ćwiczenia	39
3.3.2. Podstawowe definicje	39
3.3.3. Wykonanie badań	40
3.3.4. Ściskanie metali plastycznych	41
3.3.5. Ściskanie metali kruchych	42
3.3.6. Przeprowadzenie próby	44
3.3.7. Przygotowanie raportu z badań	44
3.4. Badanie udarności metali	44
3.4.1. Wprowadzenie	44
3.4.2. Próbki do badań	45
3.4.3. Młot wahadłowy stosowany do przeprowadzenia próby udarności	45

3.4.4.	Metoda badania	46
3.4.5.	Analiza i zapis wyników pomiaru	46
3.4.6.	Określenie temperatury kruchości	47
3.4.7.	Przygotowanie raportu z badań	48
3.5.	Dynamiczna próba rozciągania metali	49
3.5.1.	Wprowadzenie	49
3.5.2.	Próbki i urządzenie do rozciągania dynamicznego	49
3.5.3.	Naprężenia i odkształcenia przy rozciąganiu dynamicznym	50
3.5.4.	Wpływ karbu	51
3.5.5.	Przygotowanie raportu z badań	52
3.6.	Statyczna próba skręcania metali	52
3.6.1.	Wprowadzenie	52
3.6.2.	Próba skręcania metali	54
3.6.3.	Obliczanie wartości charakterystycznych	56
3.6.4.	Próbki do próby skręcania	59
3.6.5.	Przeprowadzenie próby	59
3.6.6.	Wyznaczenie modułu sprężystości postaciowej	61
3.6.7.	Przygotowanie raportu z badań	62
3.7.	Badanie odkształcenia za pomocą tensometrii oporowej	62
3.7.1.	Podstawy teoretyczne	62
3.7.2.	Układy pomiarowe	67
3.7.3.	Badanie płaskiego stanu naprężeń	69
3.7.4.	Przygotowanie raportu z badań	72
3.8.	Badanie twardości metali	73
3.8.1.	Wstęp	73
3.8.2.	Pomiar twardości sposobem Brinella	73
3.8.3.	Pomiar twardości sposobem Rockwella	76
3.8.4.	Pomiar twardości sposobem Vickersa	81
3.8.5.	Pomiar twardości młotkiem Poldi	83
3.8.6.	Pomiar twardości metodą Shore'a	84
3.8.7.	Przygotowanie raportu z badań	86
3.9.	Badanie wytrzymałości zmęczeniowej metali	86
3.9.1.	Wstęp	86
3.9.2.	Podstawy	86
3.9.3.	Wyznaczanie wytrzymałości zmęczeniowej (wykres Wöhlera – krzywa S–N materiału)	89
3.9.4.	Wyznaczanie wytrzymałości zmęczeniowej przy cyklach niesymetrycznych (wykres Smitha, wykres Haigha)	90
3.9.5.	Zjawiska wpływające na zmęczenie materiału	93
3.9.6.	Przygotowanie raportu z badań	96

3.10. Badanie lin stalowych	97
3.10.1. Budowa lin	97
3.10.2. Klasyfikacja lin stalowych	98
3.10.3. Badanie lin stalowych	100
3.10.4. Zawiesia	104
3.10.5. Przykłady oznaczeń i konstrukcji lin	105
3.10.6. Przygotowanie raportu z badań	106
3.11. Próby technologiczne – część 1	106
3.11.1. Cel próby	106
3.11.2. Wprowadzenie	107
3.11.3. Próba jednokierunkowego skręcania drutu	111
3.11.4. Próba przeginięcia dwukierunkowego drutu metalowego oraz blach i taśm o grubości do 3 mm	112
3.11.5. Próba spęcznienia metali	114
3.11.6. Próba podwójnego zginania i próba zawijania ze zginaniem cienkich blach metalowych	116
3.11.7. Przygotowanie raportu z badań	117
3.12. Próby technologiczne – część 2	118
3.12.1. Cel próby	118
3.12.2. Próba rozciągania pierścienia wyciętego z rury metalowej	119
3.12.3. Próba rozłaczania rury metalowej	119
3.12.4. Próba rozłaczania pierścienia wyciętego z rury metalowej	121
3.12.5. Próba spłaszczania rury metalowej	122
3.12.6. Gięcie plastyczne	123
3.12.7. Próba zginania rury metalowej	124
3.12.8. Próby tężności	125
3.12.9. Przygotowanie raportu z badań	126
3.13. Badanie złączy spawanych metali	128
3.13.1. Wstęp	128
3.13.2. Statyczna próba rozciągania doczołowych złączy spawanych metali ...	129
3.13.3. Statyczna próba rozciągania próbek poprzecznych spawanych złączy metali	130
3.13.4. Statyczna próba rozciągania próbek wzdłużnych ze spoin złączy spawanych metali	130
3.13.5. Próba udarności spawanych złączy metali	131
3.13.6. Próba zginania spawanych złączy metali	132
3.13.7. Przygotowanie raportu z badań	136
3.14. Wybrane aspekty mechaniki pęknięcia	138
3.14.1. Wstęp	138
3.14.2. Wyznaczenie odporności na pęknięcie w płaskim stanie odkształcenia ...	142

3.14.3. Wyznaczanie prędkości wzrostu pęknięcia zmęczeniowego	145
3.14.4. Przygotowanie raportu z badań	150
3.15. Próba uderowa spadającym ciężarem	152
3.15.1. Cel próby	152
3.15.2. Wykonanie próby	152
3.15.3. Przygotowanie raportu z badań	155
3.16. Statyczna próba rozciągania metali w podwyższonej temperaturze.	
Zjawisko pełzania	156
3.16.1. Cel próby	156
3.16.2. Statyczna próba rozciągania w podwyższonej temperaturze	156
3.16.3. Zjawisko pełzania metali	157
3.16.4. Próba pełzania metali	160
3.16.5. Uwagi końcowe	162
3.16.6. Przygotowanie raportu z badań	163
4. Literatura	165

1. Wstęp

Niniejszy podręcznik jest przeznaczony dla studentów studiów inżynierskich (studia pierwszego stopnia) Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej, w ramach przedmiotu *wytrzymałość materiałów*, na wszystkich kierunkach studiów prowadzonych na Wydziale: *mechanika i budowa maszyn, mechatronika, inżynieria mechaniczno-medyczna, zarządzanie i inżynieria produkcji oraz inżynieria materiałowa*. W podręczniku opisano także ćwiczenia laboratoryjne dla studentów studiów magisterskich na kierunku *mechanika i budowa maszyn* w ramach przedmiotu *mechanika ośrodków ciągłych*.

W podręczniku zawarto opis Laboratorium Wytrzymałości Materiałów znajdującego się w Katedrze Mechaniki i Mechatroniki na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej oraz instrukcje do szesnastu ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów wszystkich kierunków studiów oferowanych na Wydziale. Ćwiczenia dotyczą zagadnień związanych ze statycznymi i dynamicznymi próbami niszczącymi, badań materiałów na ściskanie i rozciąganie, badań twardości, udarności, wytrzymałości zmęczeniowej i propagacji pęknięcia zmęczeniowego oraz badań lin stalowych, prób technologicznych i badań niszczących złączy spawanych metali. Są to badania odnoszące się do metali pracujących nie tylko w temperaturze otoczenia, ale także w podwyższonej temperaturze.

W opisach poszczególnych ćwiczeń podano cel prowadzonych badań, podstawowe definicje, metody realizacji badań ze szczególnym omówieniem próbek do badań, maszyn i urządzeń wytrzymałościowych niezbędnych do realizacji badań oraz sposobu analizy i opracowywania wyników. Podano również wykaz polskich i europejskich norm, według których prowadzone są badania.

W podręczniku wykorzystane zostały fragmenty instrukcji laboratoryjnych opracowanych przez doktorów: Stefana Sawiaka, Marka Gontarczyka, Henryka Potulskiego, Jerzego Stuczyńskiego, Macieja Kahsina oraz Henryka Olszewskiego.

W zamyśle autorów wiedza zawarta w niniejszym podręczniku ma być pomocna nie tylko w realizacji ćwiczeń laboratoryjnych wykonywanych w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów Katedry Mechaniki i Mechatroniki, ale także – co niezwykle istotne – w lepszym

zrozumieniu teorii wykładanej podczas studiów oraz w uzyskaniu niezbędnych kompetencji potrzebnych do wykonywania zawodu w szeroko pojętym obszarze mechaniki.

Wiktoria Wojnicz, Edmund Wittbrodt