

SPIS TREŚCI

PODZIĘKOWANIA	13
WSTĘP	15
1. WPROWADZENIE DO BADAŃ NIENISZCZĄCYCH	21
1.1. Zastosowania metod badań nieniszczących	21
1.2. Obiekty badań nieniszczących	22
1.3. Cele prowadzenia badań nieniszczących	23
1.4. Powody prowadzenia badań nieniszczących	24
1.5. Definicja badań nieniszczących	28
1.6. Możliwości badań nieniszczących i informacja uzyskiwana w wyniku prowadzenia badań	29
1.7. Nieciągłości obiektów	31
1.8. Szkodliwość nieciągłości obiektów	32
1.9. Metody badań nieniszczących	33
1.10. Kryteria oceny jakości obiektów	42
1.11. Perspektywa XXI wieku	45
Literatura	47
2. NIECIĄGŁOŚCI OBIEKTÓW	59
2.1. Opis technologicznych nieciągłości obiektów	59
2.1.1. Nieciągłości wlewków —	59
2.1.2. Nieciągłości odkuwek —	60
2.1.3. Nieciągłości odlewów —	61
2.1.4. Przegląd nieciągłości obiektów walcowanych i przeciąganych —	62
2.1.5. Niezgodności spawalnicze —	63
2.1.6. Niezgodności złączy zgrzewanych —	64
2.1.7. Niezgodności złączy lutowanych —	64
2.1.8. Niezgodności złączy klejonych —	64
2.1.9. Przegląd niektórych innych nieciągłości —	65

2.2.	Przykłady nieciągłości technologicznych	65
2.3.	Opis eksploatacyjnych nieciągłości obiektów	70
2.3.1.	Pęknięcia i pękanie — 71	
2.3.2.	Uszkodzenia szyn — 73	
2.3.3.	Uszkodzenia rurek wymienników ciepła — 74	
2.3.4.	Uszkodzenia podzespołów samolotów — 76	
2.3.5.	Propagacja uszkodzeń — 77	
2.3.6.	Degradacja materiałów — 78	
2.4.	Przykłady nieciągłości eksploatacyjnych	78
2.5.	Przykład rozkładu temperatury obiektów	79
	Literatura	79

3. CHARAKTERYSTYKA METOD BADAŃ NIENISZCZĄCYCH 83

3.1.	Zakres stosowania badań nieniszczących	83
3.2.	Filozofia badań nieniszczących	85
3.3.	Informacje użyteczne przy prowadzeniu badań i ocenie wyników badań nieniszczących	86
3.4.	Podział i charakterystyka metod badań nieniszczących	86
3.5.	Aspekty defektoskopowych badań nieniszczących	92
3.6.	Wzorce w badaniach nieniszczących	95
3.7.	Kolejność postępowania przy badaniu obiektu	96
3.8.	Wskazania pozorne	97
3.9.	Wynik badania nieniszczącego	98
3.10.	Bezpieczeństwo i higiena pracy	99
3.11.	Systemy badań kompleksowych	100
3.12.	Wiarygodność badań nieniszczących	101
3.12.1.	Łańcuch jakości w badaniach nieniszczących — 101	
3.12.2.	Postępowanie przy ustalaniu znaczenia nieciągłości — 102	
3.12.3.	Niezawodność badań nieniszczących — 103	
3.12.4.	Czynniki wpływające na niepewność nieniszczących badań defektoskopowych — 105	
3.12.5.	Rozpoznawanie – charakteryzowanie rodzajów nieciągłości obiektów — 109	
3.12.6.	Niepewność w badaniach radiograficznych — 110	
	Literatura	111

4. BADANIA WIZUALNE 117

4.1.	Cel i zakres zastosowań badań wizualnych	117
4.2.	Charakterystyka badań wizualnych	118
4.3.	Wyposażenie do badań wizualnych	123
4.3.1.	Drobne wyposażenie do badań wizualnych — 123	
4.3.2.	Sprzęt badawczy — 123	
4.3.3.	Endoskopy — 125	
4.3.4.	Przemysłowe zestawy wideoendoskopowe — 128	
4.3.5.	Wideoskopy — 129	
4.3.6.	Wideoanalizatory — 131	

4.4.	Przebieg wizualnego badania obiektów	131
4.4.1.	Zestaw do wizualnego badania obiektów — 131	
4.4.2.	Przebieg wizualnego badania obiektów — 132	
	Literatura	134
5.	METODA PENETRACYJNA	135
5.1.	Cel i zakres zastosowania metody penetracyjnej	135
5.2.	Charakterystyka metody penetracyjnej	135
5.2.1.	Zasada prowadzenia badań metodą penetracyjną — 135	
5.2.2.	Opis metody penetracyjnej — 138	
5.3.	Materiały do badań	149
5.4.	Wzorce	152
5.4.1.	Rola wzorców i wskaźników — 152	
5.4.2.	Opis wzorców i wskaźników — 153	
5.5.	Aksesoria do badań	156
5.6.	Przebieg badania obiektów metodą penetracyjną	158
5.6.1.	Zestaw do badania obiektów metodą penetracyjną — 158	
5.6.2.	Przebieg badania obiektów metodą penetracyjną — 158	
5.6.3.	Schemat badania obiektów metodą penetracyjną — 159	
5.6.4.	Wskazówki doboru systemu badań penetracyjnych — 164	
5.7.	Przykłady wskazań nieciągłości	167
	Literatura	167
6.	METODA ULTRADŹWIĘKOWA	169
6.1.	Zasada prowadzenia defektoskopowych badań obiektów metodą ultradźwiękową	169
6.2.	Charakterystyka metody ultradźwiękowej	170
6.3.	Podstawy badania obiektów metodą ultradźwiękową	179
6.3.1.	Wprowadzenie — 179	
6.3.2.	Metoda echa — 179	
6.3.3.	Metoda przepuszczania — 181	
6.3.4.	Własności akustyczne materiałów — 183	
6.4.	Fale ultradźwiękowe	183
6.4.1.	Wprowadzenie — 183	
6.4.2.	Fale podłużne — 184	
6.4.3.	Fale poprzeczne — 184	
6.4.4.	Fale powierzchniowe — 185	
6.4.5.	Fale płytowe (fale Lamba) — 185	
6.4.6.	Fale Love'a — 185	
6.4.7.	Prędkość rozchodzenia się fal — 186	
6.5.	Wzorce	186
6.5.1.	Rola wzorców — 186	
6.5.2.	Opis wzorców — 187	
6.6.	Główce ultradźwiękowe	193
6.6.1.	Materiały przetworników piezoelektrycznych — 194	
6.6.2.	Budowa głowic ultradźwiękowych — 195	
6.6.3.	Pole akustyczne przetwornika piezoelektrycznego — 204	

6.7.	Tłumienie fal ultradźwiękowych	210
6.7.1.	Wprowadzenie — 210	
6.7.2.	Współczynnik tłumienia fal ultradźwiękowych — 211	
6.8.	Zjawiska na granicy ośrodków	213
6.8.1.	Wprowadzenie — 213	
6.8.2.	Odbicie i załamanie fal — 213	
6.8.3.	Transformacja fal — 215	
6.8.4.	Kąty krytyczne (graniczne) — 216	
6.8.5.	Dyfrakcja (ugięcie) fal — 217	
6.8.6.	Rozpraszanie fal — 222	
6.8.7.	Zmiana geometrii wiązki fal — 222	
6.9.	Ocena wymiarów nieciągłości obiektów	222
6.9.1.	Wprowadzenie — 222	
6.9.2.	Ocena wymiarów rozległych nieciągłości płaskich i długości nieciągłości liniowych metodą PP (Pomiaru Przesunięcia, Głowicy) — 225	
6.9.3.	Ocena wymiarów nieciągłości punktowych metodą OWR (Odległość-Wzmocnienie-Rozmiar) i selekcja nieciągłości punktowych z wykorzystaniem krzywej OKA (Odległościowa Korekta Amplitudy) — 227	
6.9.4.	Ocena wymiarów nieciągłości z wykorzystaniem odbicia od krawędzi nieciągłości i porównanie wysokości ech dla nieciągłości o różnym kształcie — 239	
6.9.5.	Ocena wymiarów nieciągłości z wykorzystaniem metod umożliwiających wizualizację nieciągłości — 240	
6.10.	Defektoskopy ultradźwiękowe	245
6.10.1.	Defektoskopy ultradźwiękowe analogowe — 245	
6.10.2.	Defektoskopy ultradźwiękowe cyfrowe — 247	
6.10.3.	Sposoby zobrazowania sygnałów nieciągłości obiektów — 249	
6.11.	Przebieg badania obiektów metodą ultradźwiękową	252
6.11.1.	Zestaw do badania obiektów metodą ultradźwiękową — 252	
6.11.2.	Schemat badania obiektów metodą ultradźwiękową — 253	
6.11.3.	Przebieg badania obiektów metodą ultradźwiękową — 253	
6.12.	Pomiary ultradźwiękowe	256
6.12.1.	Wprowadzenie — 256	
6.12.2.	Pomiary grubości obiektów z zastosowaniem głowic z przetwornikami piezoelektrycznymi — 256	
6.12.3.	Grubościomierze ultradźwiękowe z głowicami z przetwornikami piezoelektrycznymi — 257	
6.12.4.	Pomiary grubości obiektów z wykorzystaniem głowic z przetwornikami elektromagnetyczno-akustycznymi (EMAT) — 258	
6.13.	Systemy badań ultradźwiękowych	259
6.13.1.	Wprowadzenie — 259	
6.13.2.	Przykłady systemów ultradźwiękowych do badania obiektów w procesach wytwarzania — 260	
6.13.3.	Przykłady systemów ultradźwiękowych do diagnostycznych badań obiektów w procesach eksploatacji — 272	
	Literatura	278
7.	METODA RADIOLOGICZNA	283
7.1.	Cel i zakres zastosowań metody radiologicznej	283
7.2.	Zasada prowadzenia defektoskopowych badań obiektów metodą radiologiczną	283

7.3.	Charakterystyka metody radiologicznej	284
7.4.	Wiązka promieniowania jonizującego	293
7.5.	Źródła promieniowania X	294
7.5.1.	Lampy rentgenowskie — 294	
7.5.2.	Widmo promieniowania rentgenowskiego — 300	
7.5.3.	Aparaty rentgenowskie — 301	
7.6.	Źródła promieniowania γ	309
7.6.1.	Sztuczne izotopy promieniotwórcze — 309	
7.6.2.	Aparaty gammagraficzne — 312	
7.7.	Systemy radioskopii czasu rzeczywistego	317
7.8.	Blony radiograficzne	322
7.9.	Okładki wzmacniające	327
7.10.	Wskaźniki jakości obrazu	329
7.11.	Przebieg badania obiektów metodą radiologiczną	331
7.11.1.	Zestaw do badań radiologicznych — 331	
7.11.2.	Schemat badania obiektów metodą radiograficzną — 335	
7.11.3.	Przebieg badania obiektów metodą radiograficzną — 335	
7.11.4.	Badania radiologiczne w kontroli obwodowych złączy spawanych rurociągów przesyłowych — 352	
7.12.	Przykłady radiogramów złączy spawanych i odlewów	354
7.12.1.	Radiogramy złączy spawanych — 355	
7.12.2.	Radiogramy odlewów — 357	
7.12.3.	Wady radiogramów — 357	
7.13.	Ochrona radiologiczna	361
	Literatura	364

8. METODA PRĄDÓW WIROWYCH 369

8.1.	Zasada prowadzenia defektoskopowych badań obiektów metodą prądów wirowych	369
8.2.	Charakterystyka metody prądów wirowych	369
8.3.	Podstawy badania obiektów metodą prądów wirowych	374
8.3.1.	Zjawisko indukcji elektromagnetycznej — 374	
8.3.2.	Pole magnetyczne w obiektach — 375	
8.3.3.	Równania Maxwella — 377	
8.3.4.	Właściwości elektromagnetyczne materiałów obiektów i głębokość wnikania prądów wirowych — 378	
8.4.	Przetworniki wioprządowe	383
8.4.1.	Klasyfikacja przetworników wioprządowych — 383	
8.4.2.	Opis przetworników wioprządowych — 384	
8.5.	Sygnały przetworników wioprządowych	393
8.5.1.	Wprowadzenie — 393	
8.5.2.	Metody analizy sygnałów przetworników wioprządowych — 396	
8.5.3.	Przesłanki wyboru częstotliwości pracy przetworników wioprządowych — 399	
8.5.4.	Określanie głębokości nieciągłości — 411	
8.6.	Czynniki wpływające na sygnały przetworników wioprządowych	412
8.6.1.	Wprowadzenie — 412	
8.6.2.	Zmiany przewodności elektrycznej materiałów obiektów — 413	

8.6.3.	Zmiany przenikalności magnetycznej obiektów — 413	
8.6.4.	Czynniki geometryczne — 414	
8.6.5.	Obecność płyt mocujących rurki oraz czynniki geometryczne — 415	
8.6.6.	Sposoby wyodrębniania sygnałów, wywołanych przez nieciągłości materiałowe obiektów i tłumienia wpływu czynników zakłócających — 415	
8.7.	Wzorce	425
8.7.1.	Wzorce nieciągłości w badaniach przetwornikami stykowymi — 426	
8.7.2.	Wzorce nieciągłości w badaniach przetwornikami przelotowymi — 426	
8.8.	Defektoskopy wiroprądowe	428
8.8.1.	Wprowadzenie — 428	
8.8.2.	Funkcje defektoskopu wiroprądowego — 428	
8.8.3.	Organizacja defektoskopów wiroprądowych — 429	
8.8.4.	Zastosowania defektoskopów umożliwiających analizę sygnałów zespolonych — 434	
8.9.	Przebieg badania obiektów metodą prądów wirowych	438
8.9.1.	Zestaw do badania obiektów metodą prądów wirowych — 438	
8.9.2.	Przebieg badania obiektów metodą prądów wirowych — 438	
8.9.3.	Schemat badania obiektów metodą prądów wirowych — 440	
8.10.	Systemy badań wiroprądowych	442
8.10.1.	Wprowadzenie — 442	
8.10.2.	Przykłady systemów wiroprądowych do badania obiektów w procesach wytwarzania — 442	
8.10.3.	Przykłady systemów wiroprądowych do diagnostycznych badań obiektów w procesach eksploatacji — 447	
8.11.	Pozostałe aspekty badań przy wykorzystaniu metody prądów wirowych	458
	Literatura	460

9. METODA MAGNETYCZNA 467

9.1.	Zasada prowadzenia badań obiektów metodą magnetyczną	467
9.2.	Charakterystyka metody magnetycznej	467
9.3.	Podstawy badania obiektów metodą magnetyczną	473
9.4.	Materiały ferromagnetyczne	476
9.5.	Sposoby wzbudzania pola magnetycznego	478
9.5.1.	Magnesowanie obiektów przez wprowadzenie pola magnetycznego — 478	
9.5.2.	Magnesowanie przez przepływ prądu elektrycznego przez obiekty — 483	
9.5.3.	Rodzaje prądów elektrycznych wzbudzających pole magnetyczne w obiektach — 487	
9.5.4.	Kombinowane techniki wzbudzania pola magnetycznego — 491	
9.5.5.	Magnesowanie wieloobwodowe — 495	
9.6.	Wzorce	495
9.6.1.	Rola wzorców — 495	
9.6.2.	Opis wzorców — 496	
9.7.	Proszki magnetyczne – detektory pola magnetycznego rozproszenia w metodzie magnetyczno-proszkowej	501
9.7.1.	Wprowadzenie — 501	
9.7.2.	Możliwości zastosowania metody magnetyczno-proszkowej — 504	
9.7.3.	Materiały proszków magnetycznych — 504	
9.8.	Akcesoria do badań	513
9.8.1.	Elementy wyposażenia do defektoskopów — 515	
9.8.2.	Urządzenia do nanoszenia proszków suchych i zawiesin magnetycznych oraz urządzenia do kontroli koncentracji zawiesin — 516	

9.8.3.	Źródła światła białego i źródła promieniowania ultrafioletowego	— 517
9.8.4.	Mierniki natężenia oświetlenia (luksomierze) – dla światła białego i mierniki napromienienia – dla promieniowania ultrafioletowego	— 519
9.9.	Defektoskopy magnetyczne (defektoskopy magnetyczno-proszkowe)	520
9.9.1.	Klasyfikacja defektoskopów magnetycznych	— 520
9.9.2.	Opis defektoskopów magnetycznych	— 520
9.10.	Demagnetyzacja obiektów	533
9.10.1.	Demagnetyzacja obiektów polem zmiennym o małej częstotliwości	— 535
9.10.2.	Demagnetyzacja obiektów polem przemiennym	— 536
9.10.3.	Układy demagnetyzacji i cewki do demagnetyzacji	— 537
9.10.4.	Przykłady demagnetyzatorów i ich parametry	— 538
9.10.5.	Sprawdzanie efektywności demagnetyzacji obiektów	— 539
9.11.	Przebieg badania obiektów metodą magnetyczno-proszkową	540
9.11.1.	Zestaw do badania obiektów metodą magnetyczno-proszkową	— 540
9.11.2.	Przebieg badania obiektów metodą magnetyczno-proszkową	— 541
9.11.3.	Schemat badania obiektów metodą magnetyczno-proszkową	— 543
9.11.4.	Sposoby wzbudzania pola magnetycznego, rodzaje pól i rodzaje prądów wzbudzających oraz dobór natężenia pola/prądu	— 545
9.11.5.	Badania w polu szczątkowym	— 549
9.11.6.	Badanie lin	— 551
9.12.	Systemy badań magnetycznych	552
9.12.1.	Wprowadzenie	— 552
9.12.2.	Przykłady systemów magnetycznych do badania obiektów w procesach wytwarzania	— 552
9.12.3.	Przykłady systemów magnetycznych do diagnostyki badań obiektów w procesach eksploatacji	— 558
	Literatura	561

10. METODA SPADKU POTENCJAŁU I METODA MODULACJI POLA MAGNETYCZNEGO..... 565

10.1.	Metoda spadku potencjału w zastosowaniu do pomiaru głębokości powierzchniowych nieciągłości materiałowych obiektów metalowych	565
10.2.	Czynniki wpływające na dokładność pomiaru głębokości nieciągłości materiałowych metodą spadku potencjału	568
10.3.	Miernik głębokości pęknięć	570
10.4.	Wykrywanie pęknięć i ubytków korozyjnych w obiektach metalowych metodą modulacji pola magnetycznego	573
	Literatura	574

11. SYSTEMY BADAŃ KOMPLEKSOWYCH 575

11.1.	Wprowadzenie	575
11.2.	Przykłady systemów badań kompleksowych	577
11.2.1.	Kompleksowy system wiroprowodowej kontroli jakości prętów firmy INSTITUT DR. FÖRSTER	— 577
11.2.2.	Kompleksowy system wiroprowodowej i ultradźwiękowej kontroli jakości prętów firm INSTITUT DR. FÖRSTER i Krautkrämer Branson	— 579

11.2.3. Kompleksowy system kontroli jakości rur bez szwu firm: INSTITUT DR. FÖRSTER, NUKEM i Messrs. Richter —	584
11.2.4. Kompleksowy system RTS 03 wiroprądowej, ultradźwiękowej i optycznej kontroli jakości szyn i kęsów firmy NDT Technologies Inc. —	587
11.2.5. Kompleksowe systemy monitorowania pracy urządzeń technologicznych —	591
Literatura	593
 SKOROWIDZ	 595