

Ultrazvuková defektoskopie

M. Kreidl, R. Šmíd, V. Matz, S. Štarman

Praha 2011

ISBN 978-80-254-6606-3

1. Předmluva	7
2. Základní pojmy	9
2.1. Fyzikální základy ultrazvuku a akustické veličiny	9
2.2. Ultrazvukové vlny a jejich šíření prostředím	14
2.2.1. Isotropní prostředí (neohraničené)	16
2.2.2. Isotropní deskové prostředí (ohraničené rovinami)	18
2.2.3. Anizotropní prostředí	22
2.3. Dopad podélné ultrazvukové vlny na rovinné rozhraní dvou prostředí	23
2.4. Útlum ultrazvukové vlny	27
3. Elektroakustické sondy	31
3.1. Piezoelektrický jev	31
3.2. Ultrazvukové pole piezoelektrických měničů	34
3.3. Piezoelektrické sondy	38
3.4. Speciální typy sond	44
3.5. Piezoelektrické kompozity	45
3.6. Základní parametry ultrazvukových sond	46
4. Metody ultrazvukové defektoskopie	47
4.1. Členění metod	47
4.2. Akustická vazba	50
4.2.1. Kontaktní akustická vazba	50
4.2.2. Imerzní akustická vazba	51
4.2.3. Bezkontaktní akustická vazba	51
4.2.4. Průchodová metoda spojitá a odrazová	53
4.2.5. Odrazová impulzová metoda	55
4.2.6. Imerzní impulsová odrazová metoda	55
4.2.7. Metoda fázového pole	56
4.2.8. Metoda SAFT	58
4.2.9. Ultrazvuková spektrometrie	61
4.3. Impulzový ultrazvukový přístroj	61
4.4. Metody zobrazení ultrazvukových signálů	64
4.5. Vyhodnocovací diagramy	71
4.5.1. DGS-diagram, AVG-diagram	71
4.5.2. DAC diagram	73

4.6.	Technika zkoušení úhlovou sondou	75
4.7.	Kalibrace	75
4.7.1.	Kalibrační měrka K1	76
4.7.2.	Kalibrační měrka K2	77
4.7.3.	Stupňová kalibrační měrka	77
4.7.4.	Sada ASTM měrek vzdálenost/amplituda	78
4.7.5.	Univerzální kalibrační měrky pro aplikace fázových polí (Phased Array)	79
4.8.	Literatura	83
5.	EMAT	85
5.1.	Úvod	85
5.2.	Princip metody EMAT	85
5.3.	Výhody a nevýhody	90
5.4.	Měníče EMAT (různá uspořádání)	90
5.5.	Příklady použití metody EMAT	98
5.6.	Literatura	100
6.	Analýza a zpracování ultrazvukových signálů	103
6.1.	Ultrazvukové signály	104
6.2.	Digitalizace signálů	105
6.2.1.	Aliasing	106
6.2.2.	Analogově číslicový převod	108
6.3.	Amplitudové popisy signálů	110
6.4.	Skupina Integrovaných transformací	113
6.5.	Autokorelace, vzájemná korelace	113
6.6.	Spektrální analýza pomocí Fourierovy transformace	115
6.6.1.	Výkonová spektrální hustota	118
6.7.	Vlnková (wavelet) transformace	122
6.7.1.	Spojité vlnková transformace	122
6.7.2.	Diskrétní vlnková transformace	124
6.7.3.	Diskrétní stacionární vlnková transformace	131
6.7.4.	Vlnkové pakety	131
6.8.	Potlačování šumu a ostatních rušivých složek	132
6.8.1.	Číslicová filtrace FIR a IIR filtry	133
6.8.2.	Nekauzální filtrace	137
6.8.3.	Nelineární filtry, mediánový filtr	138
6.8.4.	Synchronní průměrování	142
6.8.5.	Potlačování šumu pomocí vlnkové transformace	146
6.9.	Další metody filtrace ultrazvukových signálů	149
6.10.	Literatura	152

7. Využití pokročilých metod zpracování ultrazvukových signálů při aplikacích systémů STARMANS

7.1.	Implementace navržených metod zpracování signálů	156
7.1.1.	Metoda průměrování	159
7.1.2.	Metoda IIR a FIR filtrů	161
7.1.3.	Metoda vzájemné korelace	163
7.2.	Aplikace algoritmů zpracování signálů v praxi	165

8. Systémy STARMANS

8.1.	Ultrazvukové tloušťkoměry	173
8.2.	Ruční ultrazvukové defektoskopy	175
8.2.1.	Ultrazvukový defektoskop DIO1000	175
8.2.2.	Defectobook DIO1000 LF – verze pro generování ultrazvukových vln do 1 MHz	176
8.2.3.	Defectobook DIO1000 SF a EMAT	176
8.3.	Defectobook DIO1000 SF a PA phased array	177
8.3.1.	Aplikace ručního defektoskopu pro testování kolejnic	180
8.3.2.	Aplikace ručního defektoskopu pro testování dutých náprav	181
8.3.3.	Aplikace ručního defektoskopu pro zkoušení kolejnic	181
8.3.4.	Zkoušení železničních náprav	182
8.3.5.	Zkoušení svarů	183
8.3.6.	Další technologické možnosti	184
8.4.	Průmyslové ultrazvukové defektoskopy DIO2000	184
8.4.1.	Systém DIO2000 – Kompletní řešení pro průmyslové aplikace	184
8.5.	Průmyslové EMAT defektoskopy	190
8.5.1.	Ultrazvukové EMAT testování	190
8.5.2.	EMAT sondy	192
8.5.3.	Testování EMAT využitím systémů STARMANS	193
8.6.	Ultrazvukové testování využitím metody Air-Coupled – systém DIO2000-LF	197
8.6.1.	Konfigurace sond pro měření air-coupled	197
8.6.2.	Aplikace	199
8.7.	Magnetická metoda – automatický systém pro detekci vad na železničních kolech – DIO5000	201
8.8.	Automatizovaný systém pro zkoušení povrchu metodou IR – DIO4000	204
8.9.	Aplikace ultrazvukových systémů DIO2000	207
8.9.1.	Automatizovaná linka pro nedestruktivní zkoušení železničních kol v OAO INTERPIPE NTZ – Dněpropetrovsk, Ukrajina	207
8.9.2.	Zkoušení trubek s využitím rotační hlavy	209
8.10.	Zařízení pro zkoušení spirálově svařovaných trubek	211
8.10.1.	Požadavky norem na zkoušení	211

8.10.2. Uspořádání ultrazvukových sond	212
8.10.3. Nosič ultrazvukových sond pro zkoušení spirálových trubek	213
8.10.4. Takty pro konfigurace sond X a K	213
8.10.5. Příklad uspořádání sond pro automatové zkoušení svarů spirálově svařovaných trubek (SHELL)	214
Příloha 1	217

Předmluva

Metoda ultrazvukové defektoskopie je založená na změnách prostupnosti a odrazivosti ultrazvukové vlny vlivem necelistvosti v materiálu. Tato kniha se zabývá soudobým stavem ultrazvukové defektoskopie. Nedestruktivní ultrazvukové metody testování včetně automatizace zkušebních postupů vyžadují nejen praktické zkušenosti, ale také základní teoretické znalosti o fyzikálních jevech, které při testování probíhají.

Kniha není psána pro účely kvalifikace a certifikace pracovníků nedestruktivního zkoušení ultrazvukem a to jak v rovině obecných principů tak v oblasti nedestruktivních zkoušek odlitků, výkovků, svařovaných výrobků, trubek a potrubí apod., nicméně může být užitečnou příručkou jak pro pracovníky v ultrazvukové defektoskopii, tak pro lektory kurzů a je vhodná i pro pedagogy a studenty na všech úrovních. Dnes, kdy je technická diagnostika samostatným vědeckým oborem, se pracovník v defektoskopii nespokojí s pouhou detekcí a lokalizací existující závady, ale vyžaduje přesnou specifikaci závady (např. typ trhliny v materiálu, rozsah poškození převodového kola apod.). Z tohoto důvodu je nutné naměřené údaje digitalizovat a výsledky měření analyzovat s využitím pokročilých, v knize uvedených, metod zpracování naměřeného ultrazvukového signálu.

Autoři knihy předpokládají základní znalosti středoškolské matematiky, fyziky a elektrotechniky.