

**Richard Regazzo
Marcela Regazzová**

ULTRAZVUK

základy ultrazvukové defektoskopie

Praha 2013



ÚVOD

Tato knížka je napsána:

1) Jako skriptu pro ultrazvukové kurzy k získání 1., 2. a 3. kvalifikačního stupně pro ultrazvukovou metodu (UT) podle normy EN ISO 9712, která nahradila normu EN 473.

2) Jako zdroj základních informací o ultrazvukové metodě nedestruktivního zkoušení materiálu a pomocník při řešení praktických úkolů. Obsahuje informace a příklady pro využití v praxi.

Teorie je omezena na minimum a teorie, kterou jsme za 40 let práce v oboru UT nevyužili, je vypuštěna. Každé téma je stručně vysvětleno a doplněno praktickými příklady. Tento způsob zpracování považujeme za optimální, protože mezi teorií a praxí je velký rozdíl a od teorie k praktickému použití vede často dost dlouhá cesta. Jako dlouholetí zaměstnanci SVÚM Praha v aplikovaném výzkumu se specializací na ultrazvukovou defektoskopii to můžeme potvrdit.

Knížka neobsahuje oblast norem, předpisů a doporučení pro ultrazvukové zkoušení materiálu, protože v současné době se ultrazvukové defektoskopie týká více než 60 norem ČSN EN a ČSN EN ISO a mnoho dalších předpisů a doporučení ASME CODE, API, SEL, SEP, AD-2000 Merkblatt HP 5/3, BSI, DIN, AWS, BAC, BSS, MIL, NAS a dalších. Tento rozsáhlý soubor dokumentů vyžaduje samostatné studium. Knížka neobsahuje žádné citace ani výtahy z těchto dokumentů.

Marcela Regazzová
Richard Regazzo

Poděkování

Autoři děkují panu Pavlu Prosovi a panu Bohumilu Neckářovi za spolupráci při přípravě knihy.

Rozsah učiva

Barva v obsahu	náročnost	kurz
UT1	základy ultrazvuku pro začátečníky	UT1
UT1 + UT2	základy ultrazvuku pro pokročilé	UT2
UT1 + UT2 + UT3	kompletní základy ultrazvuku	UT3

Richard Regazzo, Marcela Regazzová

Ultrazvuk – základy ultrazvukové defektoskopie

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena.

© Ing. Richard Regazzo, CSc., Marcela Regazzová, Praha 2013
© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Richard Regazzo, Marcela Regazzová: Ultrazvuk – základy ultrazvukové defektoskopie
BEN – technická literatura, Praha 2013
1. vydání

ISBN 978-80-7300-466-8 (tištěná kniha)

ISBN 978-80-7300-467-5 (elektronická kniha v PDF)

<u>OBSAH</u>	str.
A. ZÁKLADY ULTRAZVUKU	10
A.1. Kmitání a vlnění	10
A.1.1. Základní pojmy	10
A.1.2. Vlnoplocha a směr kmitání	12
A.1.3. Akustické rozhraní a vazba	14
A.2. Odraz, lom a akustické rozhraní	15
A.2.1. Kolmý dopad	15
A.2.2. Šikmý dopad	18
A.2.3. Závislost mezi úhly lomu a akustickým tlakem při šikmém dopadu na rozhraní	20
A.3. Útlum zvuku	22
A.3.1. Útlum absorpcí	22
A.3.2. Útlum rozptylem	23
A.4. Ultrazvukové sondy	24
A.4.1. Kontaktní a imerzní sondy	25
A.4.2. Sondy podélných, příčných a povrchových vln	27
A.4.3. Sondy jednoměničové, dvouměničové a víceměničové	28
A.4.4. Sondy Alpha, Delta, Gamma	28
A.4.5. Přímé sondy	30
A.4.6. Úhlové sondy	31
A.4.7. Dvojitě sondy	33
A.4.8. Stanovení koeficientu k při výpočtu polovičního úhlu rozevření hlavního svazku	37
A.4.9. Vztahy pro průměr svazku	39
A.5. Ultrazvukové přístroje	40
B. ZÁKLADY ZKOUŠENÍ ULTRAZVUKEM	42
B.1. Akustická vazba	42
B.2. Nastavení rozsahu časové základny	43
B.2.1. Přímé sondy	44
B.2.2. Úhlové sondy	47
B.2.3. Dvojitě sondy	51
B.3. Měření útlumu	55
B.3.1. Měření útlumu podélných vln	55
B.3.2. Měření útlumu příčných vln	57
B.4. Měření rychlosti	58
B.4.1. Měření rychlosti podélných vln	59
B.4.2. Měření rychlosti příčných vln	60
B.4.3. Měření rychlosti digitálními defektoskopy	60
B.5. Měření tloušťky	60
B.5.1. Měření tloušťky podle 1. KE – 1. metoda	61
B.5.2. Měření tloušťky podle dvou KE – 2. metoda	62
B.5.3. Vliv frekvence a tlumení sondy	63
B.5.4. Vliv tloušťky vazebního prostředí	65
B.5.5. Vliv nerovinnosti zkušebního povrchu při měření tloušťky podle 1. KE	65

B.5.6. Vliv barvy na zkušebním povrchu	66
B.6. Stanovení náhradní velikosti vady – princip	67
B.6.1. Srovnávací měřky	67
B.6.2. AVG diagramy k sondám	69
B.6.3. Obecný AVG diagram	71
B.7. Stanovení náhradní velikosti vady – přímé sondy	72
B.7.1. Určení náhradní velikosti vady z předsádky	72
B.7.2. Určení náhradní velikosti vady z AVG diagramu	73
B.7.3. Určení náhradní velikosti vady z obecného AVG diagramu	75
B.7.4. Metoda referenční přímky	77
B.7.5. Stanovení náhradní velikosti vady – dvojité sondy	78
B.8. Stanovení náhradní velikosti vady - úhlové sondy	79
B.8.1. Určení náhradní velikosti vady z předsádky	79
B.8.2. Určení náhradní velikosti vady z AVG diagramu	81
B.8.3. Určení náhradní velikosti vady z obecného AVG diagramu	81
B.8.4. Metoda referenční přímky	83
B.9. Korekce při stanovení náhradní velikosti vady	85
B.9.1. Korekce na vazbu ΔV_A	85
B.9.2. Korekce ΔV_K na fokusační účinek radiusů kontrolních měrek K1 a K2	86
B.9.3. Korekce ΔV_K na útlum	88
B.9.4. Příklady práce s korekcemi	92
B.10. Rozbor stanovení korekce na vazbu ΔV_A	104
B.10.1. Příklady správného a špatného měření korekce na vazbu ΔV_A	105
B.11. Nekonečná odrazová plocha (∞), náhradní vada, boční (příčný) vývrt – výpočtem	107
B.11.1. Nekonečná odrazová plocha	109
B.11.2. Náhradní vada	109
B.11.3. Příčný (boční) vývrt	111
B.11.4. Boční vývrt – náhradní vada	113
B.11.5. Koule	114
B.12. Nekonečná odrazová plocha (∞), náhradní vada, boční (příčný) vývrt – úvahou	115
B.12.1. Tabulka a grafy	115
B.12.2. Příklady	118
B.12.3. Vztahy mezi různými odražeči	120
C. ZKOUŠENÍ ULTRAZVUKEM	122
C.1. Zjistitelnost vad	122
C.2. Zjistitelnost plošných vad v závislosti na šířce vady a médiu ve vadě	123
C.3. Zjistitelnost vad v závislosti na odstupu vadového echa od šumu	125
C.3.1. Odstup vadového echa od úrovně šumu 6 dB	125
C.3.2. Odstup vadového echa od úrovně šumu 12dB = doporučený minimální odstup	126
C.4. Zjistitelnost vad v závislosti na orientaci a typu vady	126
C.5. Poloha vady	129
C.5.1. Volba souřadnicového systému a grafická dokumentace vad	129

C.5.2. Poloha vady podle maxima vadového echa	132
C.5.2.1. Přímé a dvojité sondy	132
C.5.2.2. Úhlové sondy	132
C.6. Poloha a výška vad	135
C.6.1. Měření přímou nebo dvojitou sondou z protilehlých povrchů podle max. VE	135
C.6.2. Měření úhlovou sondou z jednoho povrchu pro pokles VE o 6 dB	135
C.6.3. Měření úhlovou sondou z jednoho povrchu a obou stran podle max. VE od špičky trhliny, metoda průniku kružnic	137
C.6.4. Měření úhlovou sondou z jednoho povrchu a obou stran podle max. VE na špičce trhliny pro jmenovitý úhel lomu	138
C.6.5. Měření úhlovou sondou z jednoho povrchu a jedné strany podle max. VE na špičce trhliny pro jmenovitý úhel lomu	138
C.6.6. Měření úhlovými sondami z jednoho povrchu a z obou stran podle VE na špičce trhliny metodou TOFD	140
C.6.7. Měření úhlovou a přímou sondou z jednoho povrchu a z jedné strany podle VE od špičky trhliny metodou Delta	144
C.6.8. Měření dvojicí úhlových sond z jednoho povrchu podle VE metodou Pitch – Catch, tandemová metoda	144
C.6.9. Měření dvojicí úhlových sond z protilehlých povrchů metodou Pitch – Catch	146
C.6.10. Měření dvojicí úhlových sond z protilehlých povrchů metodou Pitch – Catch	146
C.6.11. Měření úhlovou sondou z jednoho povrchu a jedné strany metodou Phased Array	147
C.7. Poloha a výška vad souvisejících s povrchem	155
C.7.1. Měření Rayleigho povrchovými vlnami	155
C.7.2. Měření podélnými a příčnými povrchovými (creepovými) vlnami	163
C.7.3. Difrakční metoda – odraz od čela trhliny	163
C.7.4. Průchodová metoda	163
C.7.5. Metoda poloviční výšky	164
C.8. Měření plochy vady	166
C.8.1. Vady do velikosti rovné šířce svazku v hloubce vady	166
C.8.2. Vady větší než šířka svazku v hloubce vady	168
C.9. A, B, C – zobrazení	170
C.9.1. Vnitřní povrch ohybu po broušení zobrazením B	174
C.9.2. Profil povrchových trhlín zobrazením B	178
C.9.3. Současnost	183
C.10. Echa	183
C.10.1. Vadová a koncová echa	183
C.10.2. Tvarová echa při zkoušení svarů	183
C.10.3. Tvarová echa při zkoušení kulatiny	187
C.10.4. Tvarová echa při zkoušení různých výrobků	189
C.10.5. Bludná echa	194
Literatura	200
D. Testy	201
D.1. UT1	201
D.2. UT2	221
D.3. UT3	246
E. Seznam vzorců	270