

OBSAH

Předmluva	10
Předmluva autorova	13
Předmluva k českému vydání	16

První část

Metalografické základy svařování ocelí

1. Různé způsoby svařování	19
1.1. Úvod	19
1.2. Způsoby spojování svařováním	21
1.2.1. Svařování plamenem	22
1.2.2. Svařování elektrickým obloukem	23
1.2.2.1. Obloukové svařování obalenou elektrodou	24
1.2.2.2. Obloukové svařování uhlíkovou elektrodou	26
1.2.2.3. Svařování obloukem v redukčním plynu	26
1.2.2.4. Svařování obloukem v netečném plynu	26
1.2.2.5. Obloukové svařování pod tavidlem	29
1.2.2.6. Přivařování svorníků svařovací pistolí	31
1.2.3. Elektrické svařování odporové	33
1.2.3.1. Bodové svařování	34
1.2.3.2. Odporové svařování na tupo pýchováním	35
1.2.3.3. Svařování na tupo odtavením	36
1.2.3.4. Odporové svařování pod vodivou struskou	37
1.2.4. Jiné způsoby tavného svařování	37
1.2.4.1. Indukční svařování	38
1.2.4.2. Elektrotruskové svařování	40
1.2.4.3. Svařování elektronovým paprskem	42
2. Rovnovážný diagram železo—uhlík a struktura oceli	45
2.1. Rovnovážný diagram železo—uhlík	45
2.2. Složky a strukturní součásti oceli, alotropické modifikace železa	47
2.3. Struktury vzniklé kalením	55
2.3.1. Body přeměny	55
2.4. Izotermické přeměny austenitu	57
2.4.1. Třídění diagramů IRA	62
2.5. Tři způsoby přeměny a odpovídající struktury	65
2.5.1. Přeměna $A_{r'}$	65
2.5.2. Přeměna $A_{r''}$	65

2.5.3. Spodní přeměna Ar''' (Ms)	72
2.5.4. Uptonův diagram	76
2.6. Anizotermické přeměny	77
3. Struktura svarů	81
3.1. Struktura svarového kovu	81
3.2. Přeměny v základním kovu	86
3.3. Widmanstättenova struktura	88
3.4. Studium struktury svarů	92
3.4.1. Změny ovlivňující stavbu zrn	92
3.4.1.1. Svařování kyslíkoacetylenovým plamenem	92
3.4.1.2. Svařování obloukem	94
3.4.2. Změny fyzikálně chemické	96
3.4.2.1. Svařování kyslíkoacetylenovým plamenem	96
3.4.2.2. Svařování obloukem	97
3.4.2.3. Odporové svařování	99
3.4.2.4. Automatické svařování	102
3.4.2.5. Přivařování svorníků	102
3.5. Praktické závěry	103
Tabulky se snímků mikrostruktur	106
4. Svařovací elektrody pro svařování obloukem	110
4.1. Definice a třídění elektrod	110
4.1.1. Definice elektrod	110
4.1.2. Elektrická úloha obalu	111
4.1.3. Fyzikální úloha obalu	111
4.1.4. Metalurgická úloha obalu	113
4.1.4.1. Třídění obalů	113
4.1.4.2. Elektrody hlubokozávarové	118
4.1.4.3. Elektrody vysokovýtěžkové (vysokovýkonné)	118
4.1.5. Charakteristiky funkce elektrod	119
4.1.5.1. Součinitel navaření	124
4.1.6. Třídění elektrod	125
4.2. Rovnováhy kov—struska	126
4.2.1. Strusky svarů	126
4.2.2. Princip termodynamického výpočtu rovnovážných stavů	126
4.2.2.1. Redukce kyslíčnicku železa uhlíkem	127
4.2.2.2. Rozdělení kyslíčnicku železa mezi kov a strusku	129
4.2.2.3. Rozdělení manganu mezi kov a strusku	132
4.2.3. Praktické důsledky pro svařování obloukem	133
5. Absorpce plynů ve svarech	138
5.1. Úvod	138
5.2. Absorpce kyslíku ve svaru	138
5.2.1. Svařování kyslíkoacetylenovým plamenem	141
5.2.1.1. Vliv seřízení kyslíkoacetylenového plamene	144
5.2.2. Svařování obloukem	148
5.2.2.1. Vliv kyslíku na mechanické vlastnosti	148
5.3. Absorpce dusíku ve svaru	150
5.3.1. Soustava železo—dusík	150
5.3.2. Svařování kyslíkoacetylenovým plamenem	153
5.3.3. Svařování elektrickým obloukem	155
5.3.3.1. Vliv dusíku na mechanické vlastnosti oceli	159
5.3.3.2. Vliv tepelného zpracování na strukturu	159
5.3.3.3. Vliv tepelného zpracování na mechanické vlastnosti	161
5.3.3.4. Vliv dusíku na vytvrzování struktury	163

5.4.	Absorpce vodíku ve svaru	163
5.4.1.	Soustava železo—vodík	164
5.4.2.	Stanovení množství vodíku ve svarech provedených elektrickým obloukem	167
5.4.3.	Vliv vodíku na vlastnosti svaru	170
5.4.3.1.	Rozstřik kovu	170
5.4.3.2.	Tvoření bublin vlivem vodíku	171
5.4.3.3.	Tvoření vloček a „rybích ok“	172
5.4.3.4.	Praskavost základního materiálu	175
5.4.4.	Vliv vodíku na mechanické vlastnosti svaru	177
6.	Praskavost svarů	180
6.1.	Trhliny ve svarovém kovu	181
6.1.1.	Obecné příčiny	181
6.1.2.	Metalurgické příčiny	181
6.1.2.1.	Podmínky ochlazování kovu z tekutého stavu	181
6.1.2.2.	Strukturální přeměny ve svarovém kovu	184
6.1.2.3.	Vlastnosti ocelí za tepla	186
6.2.	Praskavost základního kovu	188
6.2.1.	Obvyklé příčiny	190
6.2.2.	Metalurgické příčiny	190
6.2.2.1.	Chemické složení základního kovu	190
6.2.2.2.	Přítomnost vodíku	192
6.2.2.3.	Vznik vnitřních pnutí	193
6.3.	Zamezení vzniku trhlin	197
6.4.	Dodatek: Tlaky ve svaru vyvolané vodíkem	200
7.	Předeřívání svarů	203
7.1.	Činitelé působící praskavost	203
7.2.	Vliv tloušťky plechů	208
7.3.	Pojem ekvivalentního obsahu uhlíku	208
7.4.	Stanovení teploty předeřívání	210
7.4.1.	Metoda B. W. R. A.	210
7.4.2.	Autorova metoda	214

Druhá část

Svařitelnost ocelí

8.	Zkoušky svařitelnosti	219
8.1.	Definice	219
8.2.	Zkoušky operativní svařitelnosti	220
8.2.1.	Zkoušky svarových spojů	220
8.2.2.	Zkoušky reprodukcující podmínky svařování	220
8.2.3.	Zkoušky nezávislé na vlastním svařování	220
8.3.	Zkoušky metalurgické svařitelnosti	221
8.3.1.	Zkoušky svarových spojů	221
8.3.2.	Zkoušky vzorků reprodukcující podmínky svařování	222
8.3.3.	Zkoušky nezávislé na svařování	223
8.4.	Zkoušky celkové svařitelnosti	224
8.4.1.	Zkoušky praskavosti	224
8.4.1.1.	Zkoušky praskavosti na volných plechách	225
8.4.1.2.	Zkoušky praskavosti upnutých plechů	226
8.4.1.3.	Zkoušky praskavosti na plechách s velkou vlastní tuhostí	229
8.4.2.	Zkoušky vrubové citlivosti	232
8.4.2.1.	Zkouška Dutilleulova	232

8.4.2.2.	Zkouška Schnadtova	235
8.4.2.3.	Zkouška praskavosti podle university v Lehightu	236
8.4.2.4.	Zkouška praskavosti Brown—Boveri	236
8.4.2.5.	Zkouška Kinzelova	238
8.4.2.6.	Křížová zkouška	239
8.4.2.7.	Zkouška Robertsonova	241
8.5.	Přechodová teplota	243
8.5.1.	Určení přechodové teploty	243
8.5.2.	Činitelé působící na přechodovou teplotu	244
8.5.3.	Příklad určení přechodové teploty	247
8.5.4.	Přechodová teplota tepelně nezpracovaného svarového kovu	249
8.5.5.	Přechodová teplota svarových spojů	251
9.	Svařitelnost uhlíkových ocelí	255
9.1.	Podmínky svařitelnosti	255
9.2.	Zkoušky jakosti základního kovu	257
9.2.1.	Zvláštní zkoušky svařitelnosti	258
9.3.	Vliv uhlíku na přeměny základního kovu	258
9.4.	Ovlivňování svařitelnosti v praxi	262
9.4.1.	Volba elektrody	262
9.4.2.	Způsoby svařování	263
9.4.3.	Polštářování návarových ploch	265
9.4.4.	Výklad struktur	266
10.	Svařitelnost austenitických ocelí chrómníkových	267
10.1.	Třídění ocelí	267
10.2.	Úloha různých přísadových prvků	267
10.3.	Všeobecné vlastnosti austenitických ocelí	274
10.3.1.	Vlastnosti fyzikální	274
10.3.2.	Vlastnosti mechanické	274
10.3.3.	Vlastnosti austenitických ocelí za tepla	278
10.3.4.	Vlastnosti austenitických ocelí za studena	279
10.4.	Citlivost k praskavosti svarů	280
10.4.1.	Schaefflerův diagram	281
10.5.	Precipitace karbidů	288
10.5.1.	Mezikrystalová koroze	288
10.5.1.1.	Příčiny mezikrystalové koroze	290
10.5.1.2.	Zvyšování odolnosti proti mezikrystalové korozi	293
10.6.	Vznik fáze σ (sigma)	300
10.6.1.	Fyzikální vlastnosti fáze σ	302
10.6.2.	Fáze σ ve slitinách železo—chróm—nikl	302
10.6.3.	Vznik fáze σ ve svarech	306
10.7.	Svařování austenitických ocelí	308
10.7.1.	Svařování plamenem	308
10.7.2.	Svařování obloukem	309
10.7.3.	Svařování v argonu	310
10.7.4.	Svařování arcatomové	310
10.7.5.	Svařování odporové	310
10D.	Svařitelnost československých austenitických ocelí	313
10D.1.	Struktura a vlastnosti úsporných nerezavějících a žárupevných austenitických ocelí	313
10D.1.1.	CrMn nerezavějící oceli	314
10D.1.1.1.	Konstituce a metalurgické aspekty	314
10D.1.1.2.	Mechanické vlastnosti	320
10D.1.1.3.	Svařitelnost	321

10D.1.2. MnCr žárupevné oceli	323
10D.1.2.1. Konstituce a stabilita struktury	323
10D.1.2.2. Materiálové vlastnosti	324
10D.1.2.3. Svařování austenitických žárupevných MnCr ocelí	326
10D.2. Zkoušení svařitelnosti	328
10D.2.1. Laboratorní zkoušky svařitelnosti	328
10D.2.1.1. Výzkum podmínek změn struktury a mechanických vlastností tepelným cyklem při svařování	328
10D.2.1.2. Zjišťování podmínek praskavosti za tepla	330
10D.2.2. Dílenské zkoušky svařitelnosti	334
10D.2.2.1. Zkouška svařitelnosti ohybem svaru za tepla	334
10D.2.2.2. Zkouška náchylnosti k mezikrystalové korozi	336
10D.2.2.3. Zkouška podle K. V. Ljubavského	336
10D.3. Svařitelnost plně austenitických nikelchromových žárupevných ocelí a slitin	341
10D.4. Přídavné materiály k svařování	345
11. Svařitelnost nízkolegovaných ocelí	353
11.1. Vliv hlavních přísadových prvků	353
11.2. Svařitelnost kalitelných ocelí	358
11.2.1. Heterogenní svary	358
11.2.2. Výhody a nevýhody heterogenního svařování	360
11.2.2.1. Volba austenitických elektrod	361
11.2.2.2. Difúze uhlíku v heterogenních spojích	367
11.3. Heterogenní svarové spoje tří kovů	372
11.4. Modifikace Schaefflerova diagramu	373
11.5. Svařitelnost bórových ocelí	375
12. Svařitelnost chrommolybdenových ocelí	378
12.1. Svařitelnost chrommolybdenových částečně žáruvzdorných ocelí	378
12.1.1. Všeobecné vlastnosti chrommolybdenových ocelí	379
12.1.2. Kalitelnost chrommolybdenových ocelí	380
12.1.3. Vlastnosti tečení	381
12.1.4. Svařitelnost ocelí 0,5 Cr — 0,5 Mo	383
12.1.4.1. Metalurgické hledisko problému	383
12.1.4.2. Podmínky svařitelnosti	385
12.1.4.3. Studie struktury svarů	387
12.1.5. Svařitelnost ocelí 1,25 Cr — 0,50 Mo	388
12.1.6. Svařitelnost ocelí 2,25 Cr — 1 Mo	390
12.1.6.1. Metalurgické hledisko problému	391
12.1.6.2. Podmínky svařitelnosti	393
12.1.7. Svařitelnost ocelí 4 až 6 Cr — 0,5 Mo	395
12.1.7.1. Metalurgické hledisko	396
12.1.7.2. Podmínky svařitelnosti	398
12.1.7.2.1. Homogenní svarové spoje	398
12.1.7.2.2. Heterogenní svarové spoje	402
12.1.7.2.3. Studium heterogenních svarových spojů	403
12.2. Nízkolegované chrommolybdenové oceli leteckého typu	406
12.2.1. Metalurgické hledisko problému	406
12.2.2. Podmínky svařitelnosti	409
12.2.2.1. Svařování kyslíkoacetylenovým plamenem	410
12.2.2.1.1. Vlastnosti svarů plamenem	411
12.2.2.1.2. Studium struktury svarů plamenem	413
12.2.2.2. Svařování obloukem	416
13. Dodatek	419