

OBSAH

Predslov	9
1. ÚVOD	11
2. ZÁKLADNÉ TERMICKÉ VZŤAHY	13
2.1. Teplotné pole	13
2.11. Teplotné pole jednorozmerné	13
2.12. Teplotné pole dvojrozmerné	14
2.13. Teplotné pole trojrozmerné	14
2.2. Teplotný gradient	15
2.3. Tepelná vodivosť	15
2.4. Teplotná vodivosť	18
2.5. Tepelný obsah	18
2.6. Špecifické teplo	20
2.7. Špecifická váha	20
2.8. Povrchová výmena tepla	21
2.81. Výmena tepla prúdením	21
2.82. Výmena tepla sálaním	22
2.83. Celková výmena tepla	26
3. ELEKTRICKÝ OBLÚK AKO ZDROJ TEPLA PRI ZVÁRANÍ	28
3.1. Podstata elektrického oblúka	28
3.11. Katódová oblasť	29
3.12. Oblúkový stĺpec	30
3.13. Anódová oblasť	32
3.2. Tepelný výkon elektrického oblúka	34
3.3. Efektívny tepelný výkon oblúka	35
3.4. Základné druhy tepelných zdrojov pri zváraní	35
3.41. Nepohyblivé zdroje tepla	35
3.42. Pohyblivé zdroje tepla	36
3.43. Bodový, priamkový, plošný zdroj tepla	36
4. ŠÍRENIE SA TEPLA V OKOLÍ ZVARU	37
4.1. Základné predpoklady	37
4.2. Základná diferenciálna rovnica vodivosti tepla	37
4.3. Riešenie základnej diferenciálnej rovnice vodivosti tepla	38
4.4. Zvárací proces ako množstvo bodových zdrojov tepla	42
4.5. Vznik pohyblivého teplotného poľa pri zváraní	47
4.6. Elektrický oblúk ako pohyblivý koncentrovaný zdroj tepla	49
4.7. Odvodenie vzťahu pre výpočet teploty základného materiálu pri zváraní	51
5. TEPELNO-FYZIKÁLNE VLASTNOSTI OCELÍ	54
5.1. Tepelná vodivosť	54
5.11. Činiteľa ovplyvňujúci hodnoty tepelnej vodivosti ocelí	55
5.12. Zhodnotenie činiteľov ovplyvňujúcich tepelnú vodivosť ocelí	60
5.2. Špecifické teplo	61
5.21. Hodnoty koeficientu špecifického tepla oceli rôzneho chemického zloženia v závislosti od teploty	61
5.22. Výpočet koeficientu špecifického tepla	66
6. VÝSKUM EFEKTÍVNEHO VYUŽITIA TEPLA DODANÉHO ELEKTRICKÝM OBLÚKOM PRE VLASTNÝ ZVÁRACÍ PROCES	68
6.1. Kalorické hodnoty odkrytého oblúka	68
6.11. Spôsob vykonávania experimentov	68

6.12.	Plášť kalorimetra	68
6.13.	Miešanie vody	70
6.14.	Vodná hodnota kalorimetra	70
6.15.	Výpočet množstva tepla dodaného do kalorimetra vlastným zväracím procesom	71
6.2.	Vplyv jednotlivých zväracích parametrov na efektívnu účinnosť odkrytého oblúka	76
6.21.	Efektívna účinnosť odkrytého oblúka pri materiáloch 4 mm hrubých	76
6.22.	Efektívna účinnosť pri použití elektródy BH 48 priemeru 3,25 mm na skúšobné vzorky hrúbky 6 mm	78
6.23.	Efektívna účinnosť pri použití elektródy BH 48 priemeru 4 mm	79
6.24.	Efektívna účinnosť pri použití elektródy BH 48 priemeru 5 mm	80
6.25.	Efektívna účinnosť pri použití elektródy HB 48 priemeru 5 mm pri hrúbke skúšobných vzoriek 8 mm	81
6.26.	Efektívna účinnosť pri použití elektródy BH 47 pri rôznych režimoch zvärania	82
6.27.	Efektívna účinnosť elektródy BH Ferolit priemeru 4 mm	84
6.28.	Efektívna účinnosť pri zväraní holou elektródou	85
6.29.	Vplyv druhu elektródy na efektívnu účinnosť zväracieho procesu	86
6.3.	Kalorické hodnoty elektrického oblúka pri automatickom zväraní pod tavidlom	86
6.31.	Vplyv intenzity prúdu	86
6.32.	Vplyv hrúbky základného materiálu	87
6.33.	Vplyv zväracej rýchlosti	88
6.4.	Zhodnotenie	91
7.	ROZDELENIE SPOTREBY TEPLA PRI AUTOMATICKOM ZVÁRANÍ POD TAVIDLOM	93
7.1.	Schéma procesu pri automatickom zväraní pod tavidlom	93
7.2.	Podmienky rozdelenia tepla v oblasti pôsobenia oblúka	95
7.3.	Určenie množstva tepla potrebného na tavenie základného a prídavného materiálu	97
7.4.	Spotreba tepla na tavenie tavidla	98
7.5.	Vplyvy jednotlivých zväracích parametrov na celkovú tepelnú bilanciu pri zväraní	101
7.51.	Vplyv intenzity prúdu	101
7.52.	Vplyv napätia oblúka	102
7.53.	Vplyv zväracej rýchlosti	103
7.6.	Zhotovenie diagramu na určenie rozdelenia spotreby tepla počas zvärania	103
8.	MERANIE TERMICKÝCH CYKLOV PRI ZVÁRANÍ ELEKTRICKÝM OBLÚKOM	106
8.1.	Jednotlivé spôsoby merania teploty v okolí zvaru	107
8.11.	Meranie pomocou termokolorových farieb	107
8.12.	Meranie termokriedami VŮZ	108
8.13.	Meranie teploty pomocou termočlánkov	108
8.2.	Zhodnotenie metód merania teplôt v okolí zvaru	119
9.	TEPELNÉ POMERY PRI AUTOMATICKOM ZVÁRANÍ POD TAVIDLOM	121
9.1.	Celkový priebeh šírenia tepla v základnom materiáli pri zväraní	121
9.11.	Tepelné sýtenie materiálu	121
9.12.	Tepelná rovnováha	122
9.13.	Tepelné vyrovnávanie	125
9.2.	Sledovanie teplotných polí pri automatickom zväraní pod tavidlom	125
9.21.	Tepelné pomery pri zväraní materiálov 8 mm hrubých	127
9.22.	Tepelné pomery pri zväraní materiálov 10 mm hrubých	129
9.23.	Tepelné pomery pri zväraní materiálov 12 mm hrubých	134
9.24.	Tepelné pomery pri zväraní materiálov 14 mm hrubých	137
9.25.	Určenie maximálne tepelného ovplyvnenia základného materiálu s hrúbkami 10, 12 a 14 mm	139
9.3.	Určenie tepelných procesov v priečnom priereze zvaru	141
10.	TEPELNÉ POMERY PRI ZVÁRANÍ S ODKRYTÝM OBLÚKOM	148
10.1.	Tepelné pomery pri zväraní materiálov 4 mm hrubých	149
10.11.	Vplyv intenzity prúdu	149
10.12.	Vplyv zväracej rýchlosti	151

10.2. Tepelné pomery pri zvaraní materiálov 6 mm hrubých	156
10.21. Rozdelenie teploty v okolí zvaru pri použití elektródy priemeru 3,25 mm	156
10.22. Rozdelenie teploty v okolí zvaru pri použití elektródy priemeru 4 mm . . .	156
10.23. Rozdelenie teploty v okolí zvaru pri použití elektródy priemeru 5 mm . . .	160
10.3. Tepelné pomery pri zvaraní materiálov 8 mm hrubých	160
11. ANIZOTERMÁLNY ROZPAD AUSTENITU PRI ZVÁRANÍ ELEKTRICKÝM OBLÚKOM	161
11.1. Vplyv termických cyklov na štruktúru základného materiálu v oblasti zvarového spoja	161
11.2. Štruktúrne zmeny v oblasti zvarového spoja	166
11.3. Použitie diagramov pre anizotermálny rozpad austenitu pri zvaraní	170
11.31. Rozpad podchladeného austenitu	172
11.32. Možnosť nanášania ochladzovacích rýchlostí zvaraného materiálu do diagramov ARA	178
11.33. Experimentálne overenie možnosti použitia diagramov ARA pri zvaraní ocelí	181
11.34. Zhodnotenie a porovnanie dosiahnutých výsledkov	190
12. ZÁVER	192
Použitá literatúra	194