

Část S l é v á n í

TEORETICKÁ ČÁST (Doc. Ing. Stanislav Hanzl, CSc. a Ing. Alfred Růžička)

1.	SLÉVÁRENSKÉ VLASTNOSTI KOVŮ A SLITIN	9
1.1	Struktura roztavených kovů a slitin	9
1.2	Tavitelnost	10
1.3	Viskozita	11
1.4	Tekutost a zabíhavost	12
1.5	Objemové změny při chladnutí a tuhnutí	14
1.5.1	Smršťování v tekutém stavu	14
1.5.2	Objemové změny v intervalu tuhnutí	15
1.5.3	Smršťování chladnoucí tuhé fáze	16
1.6	Důsledky objemových změn při tuhnutí a chladnutí	17
1.6.1	Staženiny	17
1.6.2	Napětí v odlitcích	19
1.6.3	Zborcení odlitků	20
1.6.4	Trhliny a praskliny	21
2.	ODLÉVÁNÍ	23
2.1	Vtoková soustava (obecně)	23
2.2	Fyzikální zákony aplikované u vtokové soustavy	24
2.2.1	Volný proud	24
2.2.2	Vtoková jamka	25
2.2.3	Vtokový kanál	26
2.2.4	Struskový a rozváděcí kanál	28
2.3	Konstrukce vtokových soustav	29
2.3.1	Vtoková jamka a licí nálevka	29
2.3.2	Vtokový kanál	31
2.3.3	Struskový kanál	31
2.3.4	Vtokové zářezy	32
2.4	Proudění ve vtokové soustavě	33
2.4.1	Licí rychlost	33
2.4.2	Doba lití	34
2.4.3	Odpor ve vtokové soustavě	35
2.5	Výpočet vtokové soustavy	36
3.	FYZIKÁLNĚ CHEMICKÉ PROCESY MEZI ODLITKEM A FORMOU	39
3.1	Vzájemné mechanické působení odlitku a formy	39
3.1.1	Mechanické zapékání	40
3.2	Tepelné pochody v soustavě odlitek - forma	42
3.3	Chemické procesy mezi odlitkem a formou	43
3.3.1	Chemické zapékání	43
4.	CHLADNUTÍ A TUHNUTÍ ODLITKU VE FORMĚ	46
4.1	Krystalizace kovů a slitin	46
4.1.1	Spontánní krystalizace	47
4.1.2	Krystalizace z vynucených zárodků	49
4.1.3	Růst primárního krystalu	50
4.1.4	Mechanismus krystalizace čistého kovu ve formě	51
4.1.5	Mechanismus krystalizace slitin	52
4.1.6	Krystalizace ve formě	52

4.2	Základy tuhnutí odlitků	53
4.2.1	Činitelé ovlivňující šířku dvoufázového pásma	53
4.2.2	Přehled činitelů ovlivňujících průběh tuhnutí	55
4.2.3	Teoretické základy nálitkování	56
4.2.3.1	Základní typy nálitků	57
4.2.3.2	Nálitky s exotermickým obkladem	59
4.2.3.3	Nálitky s exotermickým zásypem	59
4.2.3.4	Nálitky s podnálitkovou vložkou	60
4.2.4	Stanovení počtu a velikosti nálitků	60
4.2.4.1	Stanovení počtu nálitků	60
4.2.4.2	Stanovení velikosti nálitků	60

TECHNOLOGICKÁ ČÁST (Doc. Ing. Stanislav Hanzl, CSc. a Ing. Alfred Růžička)

5.	VÝROBA ODLITKŮ	63
5.1	Metody výroby odlitků	63
5.2	Výroba odlitků pro letecký průmysl	63
5.3	Metody výroby přesných odlitků	65
6.	METODY II. GENERACE	68
6.1	Výroba forem a jader ze směsí ztužovaných zvenčí	69
6.1.1	Výroba skořepinových forem a jader (metoda Croning)	69
6.1.2	Výroba forem a jader metodou horkého jaderníku (metoda HB)	75
6.1.3	CO ₂ proces	79
6.1.4	Metoda studených jaderníků	82
6.1.5	SO ₂ proces	86
6.2	Výroba forem a jader ze samotvrdnoucích směsí	90
6.2.1	Výroba sádrových forem a jader	90
6.2.2	Výroba keramických forem a jader	91
6.2.2.1	Výroba keramických forem a jader zhotovených pomocí vytavitelných a spalitelných modelů	92
6.2.2.2	Výroba keramických forem zhotovených pomocí trvalého modelu	92
6.2.2.3	Keramická skořepinová forma vyrobená způsobem INCAMET	93
6.2.3	Výroba forem a jader ze samotvrdnoucích směsí s vodním sklem a kapalnými tvrdidly	93
6.2.4	Výroba forem a jader ze samotvrdnoucích směsí s organickými pojivy	95
7.	METODY III. GENERACE	98
7.1	Vakuové formování (V-proces)	98
7.2	Výroba forem z kovových prášků v magnetickém poli	99
7.3	Výroba forem zmrazováním (metoda EFF SET)	99
8.	VÝROBA ODLITKŮ ODLÉVÁNÍM DO TRVALÝCH FOREM	101
8.1	Gravitační lití	103
8.1.1	Hmotnost, rozměry, dosahovaná přesnost odlitků	104
8.2	Tlakové lití	104
8.2.1	Hmotnost, rozměry, dosažená přesnost odlitků	107
8.3	Nízkotlaké lití	107
8.3.1	Vznik a vývoj metody	109
8.3.2	Hmotnost, rozměry, dosažená přesnost odlitků	112
8.4	Protitlakové lití	112
8.4.1	Vznik a vývoj metody	113
8.4.2	Rozsah použití	114
8.4.3	Hmotnost, rozměry, dosažená přesnost odlitků	114

9.	VÝROBA PLOŠNÝCH A TENKOSTĚNNÝCH ODLITKŮ PRO LETECKÝ PRŮMYSL	116
10.	VYBRANÉ MATERIÁLY PRO LITÉ LETECKÉ DÍLY	118
10.1	Požadavky konstruktéra na vlastnosti materiálu litých leteckých dílů	118
10.2	Materiály pro díly pracující za normální a zvýšené teploty	119
10.2.1	Slévárenské slitiny hliníku	119
10.2.2	Slévárenské slitiny hořčíku	125
10.2.3	Slévárenské slitiny titanu	129
10.3	Materiály pro díly pracující za vysokých teplot	131
10.3.1	Žárupevné slitiny na bázi niklu pro odlitky leteckých dílů	133
10.3.2	Moderní vývojové tendence v oblasti výroby litých lopatek	138
10.3.2.1	Výroba litých dílů s ovlivněnou krystalizací	139
10.3.2.2	Výroba litých chlazených lopatek	142
11.	VADY ODLITKŮ	143
11.1	Způsoby klasifikace slévárenských vad	143
11.2	Základní terminologie vad odlitků	144
11.3	Vady odlitků dle ČSN 42 1240	145
12.	TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE ODLITKŮ	158
12.1	Přechody mezi různými tloušťkami jedné stěny	158
12.2	Spojení dvou stěn o stejných tloušťkách pod různými úhly	158
12.3	Spojení dvou stěn o různých tloušťkách	159
12.4	Spojení tří stěn	160
12.5	Konstrukce vnitřních dutin	161
12.6	Předlévání otvorů	161
12.7	Vnější hrany	162
12.8	Tloušťky stěn	162
12.9	Konstrukce žeber	163
12.10	Příklady chybného a správného provedení součásti z hlediska zásad technologičnosti konstrukce	165
APLIKAČNÍ ČÁST (Ing. Josef Sedlák)		
13.	POUŽITÍ ODLITKŮ V LETECTVÍ A KOSMONAUTICE	170
	Odlitek vlnovodu	170
	Odlitky pro transportní zařízení	170
	Odlitky pro přepravní nosič komplexu Apollo-Saturn V	172
	Odlitky pro zařízení TEL	172
	Odlitky pro letecké spalovací motory	174
	Odlitky pro letecké turbovrtulové motory	176
	Odlitky pro letecké turbínové motory	179
	Odlitky součástí výstroje	179
	Odlitky pro raketovou techniku	180

Část S v a ř o v á n í (Doc. Ing. Rudolf Dubenský, CSc.)

TEORETICKÁ A TECHNOLOGICKÁ ČÁST

1.	DEFINICE PROCESŮ SVAŘOVÁNÍ A NAVAŘOVÁNÍ. ROZDĚLENÍ METOD SVAŘOVÁNÍ	181
1.1	Základní pojmy při svařování kovů, názvosloví svarového spoje	183
1.2	Druhy svarů	185
1.3	Druhy svarových spojů	186

2.	FYZIKÁLNÍ, METALURGICKÉ A METALOGRAFICKÉ ZÁKLADY SVAŘOVÁNÍ	187
2.1	Základní zdroje tepla a parametry používané u vybraných technologií svařování a svařovaných materiálů	188
2.1.1	Svařování plamenem	188
	Pracovní technika svařování plamenem	192
	Základní technologické parametry a rozsah obvyklého použití	192
	Svařování nízkolegovaných ocelí plamenem	193
	Svařování vysokolegovaných ocelí plamenem	193
	Svařování litiny plamenem	194
	Svařování mědi plamenem	195
	Svařování mosazi plamenem	196
	Svařování bronzů plamenem	196
	Svařování hliníku plamenem	197
	Svařování hořčíku plamenem	198
	Svařování niklu a jeho slitin plamenem	199
	Rovnání plamenem	200
2.1.2	Navarováním plamenem	201
	Navarování kyslíko-acetylenovým plamenem pomocí tyčinek se zvláštními vlastnostmi	201
	Navarování kyslíko-acetylenovým plamenem pomocí prášků	205
	Práškové přídavné materiály	208
2.1.3	Svařování elektrickým obloukem	210
	Elektrický oblouk jako koncentrovaný zdroj tepla	210
	Katodová a anodová skvrna	213
	Sloupec elektrického oblouku	214
	Statické a dynamické vlastnosti elektrického oblouku	215
	Statické charakteristiky zdrojů svařovacího proudu	217
	Přenos kovu do svarové lázně	217
	Síly působící při přenosu kovu z odtavující se elektrody	217
	Gravitační síla	218
	Síla povrchového napětí	218
	Elektromagnetická síla	218
	Reaktivní síla vyvolaná odpařováním kovu	219
	Silové působení plazmových toků	220
	Charakter přenosu kovu odtavující se elektrody do svarové lázně ..	220
	Ruční svařování obalenými elektrodami	224
	Volba svařovacích parametrů při ručním svařování elektrodami, rozdělení elektrod podle obalu	224
	Možnosti zvýšení produktivity práce při ručním svařování elektrodami	226
	Obloukové svařování hlíkových ocelí třídy 11, 12 a ocelí na odlitky třídy 26	228
	Obloukové svařování slitinových ocelí třídy 13, 14, 15, 16 a ocelí na odlitky třídy 27, 28	228
	Obloukové svařování mikrolegovaných vysokopevnostních ocelí	231
	Obloukové svařování vysokolegovaných ocelí	231
	Martenzitické chromové oceli	232
	Martenziticko-feritické chromové oceli	232
	Feritické žáruvzdorné chromové oceli	233
	Austenitické oceli	233

	Svařování plátovaných ocelí obalenými elektrodami	235
	Svařování feriticko-perlitických ocelí s austenitickými	235
	Obloukové svařování šedé litiny za studena	236
	Obloukové svařování šedé litiny za polotepla	238
	Obloukové svařování tvárných litin	239
	Elektrodové svařování mědi a slitin mědi	239
	Svařování mědi a jejích slitin uhlíkovou elektrodou	240
	Svařování hliníku a jeho slitin obalenými elektrodami	240
	Svařování hliníku a jeho slitin uhlíkovou elektrodou	242
	Zdroje svařovacího proudu	244
	Automatické svařování pod tavidlem	244
	Přídavné materiály, volba svařovacích parametrů pro svařování pod tavidlem	246
	Vývojový trend v automatickém svařování pod tavidlem	250
	Automatické svařování pod tavidlem způsobem KIS	251
	Automatické svařování pod tavidlem do úzkého úkosu	251
	Tandemové automatické svařování pod tavidlem	252
	Automatické svařování pod tavidlem FN způsobem (studený drát)	252
	Automatické svařování pod tavidlem způsobem RI^2t	253
	Svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách	253
	Svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře argonu netavící se elektrodou (WIG, TIG, argonark)	254
	Svařování v ochranné atmosféře plynů tavící se elektrodou - MIG, MAG	256
	Ochranné plyny používané při svařování WIG, MIG, MAG	258
	Volba způsobu svařování v ochranných atmosférách	260
	Atomové svařování	260
	Svařování trubičkovým drátem - způsob MOG	261
	Svařování impulzním obloukem (Puls - MIG, WIG)	262
	Přivařování svorníků elektrickým obloukem	263
	Svařování v kontrolované inertní atmosféře (ve svařovacích komorách)	264
2.1.4	Speciální způsoby tavného svařování	264
	Svařování plazmatem	264
	Elektronové svařování	268
	Svařování laserem	270
	Ovlivňování elektrického oblouku a svarové lázně vnějšími magnetickými poli	271
	Svařování elektrickým obloukem řízeným příčným magnetickým polem	272
	Svařování elektrickým obloukem řízeným podélným magnetickým polem	273
	Svařování rotujícím obloukem v magnetickém poli	274
	Tlakové svařování	276
	Tlakové odporové svařování	278
	Vývojový trend v tlakovém odporovém svařování	282
3.	SVAŘITELNOST KOVŮ A SLITIN	283
3.1	Pojem a definice svařitelnosti	283
3.2	Vliv tepla vneseného do svarové lázně na svařovaný materiál	285
3.3	Metalurgie svařovacího procesu ocelí	287
3.4	Trhliny ve svarových spojích	290
3.5	Klasifikace ocelí podle svařitelnosti	292

3.6	Výpočet hlavních ukazatelů svařitelnosti ocelí a způsoby jejich hodnocení	293
3.6.1	Výpočtoví ukazatelé	293
3.6.2	Ukazatelé náchylnosti k trhlinám	294
3.6.3	Ukazatelé náchylnosti oceli k transformačnímu zkřehnutí	295
3.6.4	Ukazatel náchylnosti oceli ke stárnutí	295
3.6.5	Ukazatel tvrdosti svarového spoje	295
3.6.6	Údaje o svařitelnosti ocelí	295
3.7	Svařitelnost uhlíkových ocelí	295
3.8	Svařitelnost mikrolegovaných ocelí	297
3.9	Svařitelnost nízkolegovaných a střednělegovaných ocelí	297
3.10	Svařitelnost vysokolegovaných ocelí	299
3.11	Svařitelnost mědi a slitin mědi	300
3.12	Strukturní poměry svarového hliníkového spoje	306
3.13	Svařitelnost hliníku a hliníkových slitin	311
4.	TECHNOLOGIČNOST SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ	321
5.	TECHNOLOGIE TERMICKÝCH NÁSTŘIKŮ	322
	Princip technologie termického nástřiku a vytváření vrstev	322
	Rozdělení metod termického nástřiku	323
	Termický nástřik plamenem	323
	Termický nástřik elektrickým obloukem	325
	Termický nástřik plazmatem (s plynovou stabilizací)	325
	Termický nástřik detonační vlnou	325
	Porovnání základních metod technologie termického nástřiku	326
	Výhledové směry v technologii termických nástřiků	336
6.	TEORETICKÉ ZÁKLADY NEDESTRUKTIVNÍCH KONTROLNÍCH METOD POUŽÍVANÝCH V OBLASTI SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ	338
6.1	Kontrola svarů prohlídkou	339
6.2	Zkoušení svarů prozařováním	339
6.3	Zkoušení svarů ultrazvukem	342
6.3.1	Zkoušení svarů akustickou emisí	347
6.4	Zkoušení magnetickou metodou práškovou	347
6.5	Zkoušení metodou kapilární	348
6.6	Použitelnost defektoskopických metod	349
7.	TEORIE TEPELNÉHO DĚLENÍ MATERIÁLŮ	350
7.1	Řezání kyslíkem	350
7.2	Speciální metody tepelného dělení materiálu	357
7.2.1	Plazmové řezání kovů	357
7.2.2	Řezání laserem	359
7.2.3	Řezání svazkem urychlených elektronů	360
7.3	Výhledové využití jednotlivých metod tepelného dělení	360
7.4	Řízení procesu tepelného dělení materiálu	361
	POUŽITÁ LITERATURA	365