

OBSAH

Předmluva	11
Použité symboly	13
1. Slévárenské formy	17
1.1 Namáhání forem při odlévání	17
1.1.1 Mechanické namáhání formy	17
1.1.2 Tepelné namáhání formy	18
1.1.3 Chemické namáhání formy	21
1.1.4 Požadované vlastnosti forem	23
1.1.4.1 Vlastnosti nutné se zřetelem k namáhání formy	23
1.1.4.2 Vlastnosti nutné se zřetelem k technologickým podmínkám	24
1.2 Formovací hmoty	25
1.2.1 Výskyt formovacích hmot v přírodě	25
1.2.1.1 Zkoušky složení a zrnitosti formovacích písků	26
1.2.2 Fyzikální a chemické vlastnosti přírodních formovacích hmot	32
1.2.2.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti křemene	33
1.2.2.2 Vlastnosti křemene za vyšších teplot	33
1.2.2.3 Pojiva přírodních formovacích písků — jíly	35
1.2.2.4 Chování jíly za vyšších teplot	35
1.2.3 Uměle připravené formovací látky	37
1.3 Základní složky formovacích směsí	38
1.3.1 Ostrivo	38
1.3.2 Pojiva	40
1.3.3 Přísady do formovacích směsí	42
1.3.4 Příprava formovacích směsí	43
1.4 Způsoby zpevňování formovacích směsí	44
1.4.1 Teoretické základy zhušťování směsí	44
1.4.1.1 Pěchování	45
1.4.1.2 Lisování	46
1.4.1.2.1 „Tečení“ formovací směsi při lisování	47
1.4.1.3 Střásání	48
1.4.1.4 Metání	49
1.4.1.5 Foukání formovací směsí	50
1.4.1.6 Vstřelování jader	50
1.5 Zvyšování pevnosti forem	51
1.5.1 Sušení forem a jader	51
1.5.2 Přisušení povrchu forem	51
1.6 Formovací směsí	52
1.6.1 Fyzikální, chemické a technologické vlastnosti směsí	53
1.6.1.1 Fyzikální vlastnosti směsí	53
1.6.1.2 Chemické vlastnosti směsí	53
1.6.1.3 Technologické vlastnosti směsí	54
1.6.2 Směsí k formování na syrovo	56
1.6.2.1 Formovací směsí pro odlitky z oceli	57
1.6.2.2 Formovací směsí pro odlitky ze šedé a temperované litiny	58
1.6.2.3 Formovací směsí pro odlitky z neželezných kovů	58
1.6.3 Směsí k formování na sušení	58

	1.6.3.1 Formovací hlinité směsi k výrobě sušených forem	58
	1.6.3.2 Formovací hlinité směsi k výrobě polotvrdých forem	59
1.6.4	Formovací směsi ztužované chemicky	60
	1.6.4.1 Formovací směsi s vodním sklem	60
	1.6.4.2 Cementové formovací směsi	61
	1.6.4.3 Sádrové formovací směsi	61
	1.6.4.4 Keramické formovací směsi	62
1.6.5	Směsi ztužované oxidací, polymerizací a sušením pojiv	63
	1.6.5.1 Formovací směsi s olejovými pojivy	63
	1.6.5.2 Formovací směsi s umělými pryskyřicemi	63
	1.6.5.2.1 Formovací směsi s fenolformaldehydovými pryskyřicemi	63
	1.6.5.2.2 Formovací směsi s močovinoformaldehydovými pryskyřicemi	64
	1.6.5.2.3 Formovací směsi s furanovými pryskyřicemi	64
	1.6.5.3 Formovací směsi se sacharidovými pojivy	64
1.7	Chemické zpevňování forem	65
	1.7.1 Chemické pochody při zpevňování forem ze směsí s vodním sklem	65
	1.7.1.1 Tuhnutí systému vodní sklo — kyslíčník uhlíčitý	65
	1.7.1.2 Tuhnutí systému vodní sklo — křemičitan dvojitěpenatý	66
	1.7.1.3 Tuhnutí systému vodní sklo — ferosilicium	67
	1.7.1.4 Rozpadavost a vlastnosti směsí s vodním sklem	68
	1.7.2 Chemické a fyzikální pochody při tuhnutí cementových směsí	68
	1.7.2.1 Tuhnutí systému portlandský cement—voda	68
	1.7.2.2 Vlastnosti forem ze směsí s cementem	68
	1.7.3 Chemické pochody při tuhnutí sádrových směsí	69
	1.7.3.1 Tuhnutí systému sádra—voda	69
	1.7.3.2 Technologické vlastnosti sádrových směsí	69
	1.7.4 Chemické pochody při vytvrzování a žíhání směsí s etylsilikátem	70
	1.7.4.1 Hydrolytický rozklad ortoethylsilikátu	70
	1.7.4.2 Vlastnosti směsí pro keramické formy s etylsilikátem	70
	1.7.5 Chemické a fyzikální pochody při vytvrzování olejových pojiv	70
	1.7.5.1 Vlastnosti olejových směsí	71
	1.7.6 Chemické a fyzikální pochody při vytvrzování umělých pryskyřic	71
	1.7.6.1 Mechanismus reakcí fenolformaldehydové pryskyřice za zvýšené teploty	71
	1.7.6.2 Mechanismus reakcí fenolformaldehydové pryskyřice v kyselém prostředí	72
	1.7.6.3 Mechanismus reakcí novolaků s hexametyléntetraminem	73
	1.7.6.4 Mechanismus reakcí močovinoformaldehydové pryskyřice v kyselém prostředí	73
	1.7.6.5 Mechanismus reakcí furfurylalkoholu v kyselém prostředí	73
	1.7.6.6 Technologické vlastnosti pryskyřičných směsí	74
	1.7.7 Chemické a fyzikální pochody při tuhnutí sacharidových pojiv	75
	1.7.7.1 Mechanismus karamelizace sacharidů	75
	1.7.7.2 Technologické vlastnosti sacharidových směsí	75
1.8	Vlastnosti formovacích hmot za vysokých teplot	76
	1.8.1 Změny vlastností formovacích hmot při styku s taveninou a odlítkem ve formě	77
1.9	Principy regenerace formovacích směsí	77
	1.9.1 Suchá regenerace	77
	1.9.2 Mokrý regenerace	79
	1.9.3 Tepelná regenerace	79
2.	Termodynamické základy tavicího pochodu a úpravy taveniny	80
	2.1.1 Základní pojmy	80
	2.1.2 Termodynamická soustava	80
	2.1.3 Termodynamická rovnováha a termodynamický děj	81
	2.1.4 Tepelné kapacity	81
	2.1.5 První věta termodynamiky	83
	2.1.6 Entalpie	84
	2.1.7 Reakční tepla — Hessův zákon	85

2.1.8	Druhá věta termodynamiky	86
2.1.9	Entropie	87
2.1.10	Volná energie, volná entalpie	89
2.1.11	Třetí věta termodynamiky	91
2.2	Chemické rovnováhy u metalurgických reakcí	91
2.2.1	Rovnovážná konstanta	91
2.3	Afinita chemické reakce	94
2.4	Roztoky tavenin kovů	96
2.4.1	Ideální roztoky	98
2.4.2	Zředěné roztoky	99
2.4.3	Reálné roztoky	100
2.4.4	Regulární roztoky	102
2.5	Tání a vypařování kovů	103
2.6	Složení a vlastnosti roztavených strusek	105
2.7	Tavení kovů a slitin ve slévárnách	109
2.7.1	Přehled kovů a slitin na odlitky	109
2.7.2	Používané tavicí zařízení	109
2.7.2.1	Pece pro tavení oceli	109
2.7.2.2	Pece pro tavení litiny	110
2.7.2.3	Pece pro tavení slitin neželezných kovů	110
2.7.3	Vyzdívka tavicích pecí	110
2.8	Fyzikálně-chemické děje při tavení oceli	111
2.8.1	Oxidace křemíku	112
2.8.2	Oxidace manganu	115
2.8.3	Oxidace fosforu	116
2.8.4	Oxidace chromu	117
2.8.5	Oxidace uhlíku	118
2.8.6	Odstraňování síry	120
2.8.7	Odstraňování plynů z lázně	122
2.8.8	Vměstky v oceli	123
2.8.9	Dezoxidace oceli	124
2.8.9.1	Dezoxidace uhlíkem	126
2.8.9.2	Dezoxidace manganem	126
2.8.9.3	Dezoxidace křemíkem	126
2.8.9.4	Dezoxidace hliníkem	127
2.8.9.5	Difúzní dezoxidace	128
2.8.9.6	Dezoxidace syntetickými struskami	129
2.9	Průběh tavicího pochodu při tavení v elektrických obloukových pecích	129
2.10	Průběh tavení v elektrických indukčních pecích	131
2.11	Průběh tavicího pochodu při tavení litiny v kuplovnách	132
2.11.1	Průběh tavení	133
2.11.2	Pochody při spalování koksu v kuplovně	133
2.11.3	Výkon kuplozny	138
2.11.4	Průběh metalurgického pochodu v kuplovně	138
2.11.4.1	Změna obsahu uhlíku	139
2.11.4.2	Vznik a působení strusky	139
2.11.4.3	Síra v litině	140
2.12	Tavení litiny v elektrických pecích	141
2.13	Tavení slitin neželezných kovů	142
2.13.1	Tavení slitin hliníku	143
2.13.2	Tavení slitin mědi	144
3.	Odlévání	146
3.1	Fyzikální základy proudění kapalin	146
3.1.1	Vliv fyzikálních vlastností roztavených kovů na jejich proudění	149
3.1.1.1	Povrchové napětí	149
3.1.1.2	Viskozita	151
3.1.1.3	Oxidy a vměstky	151
3.1.2	Odporů proti proudění kovů	151
3.1.3	Vliv vlastností kovu a formy na proudění a na zabíhavost kovů	153
3.1.3.1	Vlastnosti kovu	153

	3.1.3.2 Vlastnosti formy	154
3.2	Hydraulické poměry při odlévání	156
	3.2.1 Volný proud	156
	3.2.1.1 Náraz proudu na formu	157
	3.2.1.2 Vřítení a jeho vliv na jakost odlitků	158
	3.2.1.3 Proudění v kanálech	160
	3.2.1.4 Proudění laminární a turbulentní	160
	3.2.1.5 Zaplněný kanál	163
	3.2.1.6 Kanál přetlakový a podtlakový	164
	3.2.1.7 Zákon kontinuity	165
	3.2.1.8 Průběh tlaku ve vstředném a vodorovném kanále	165
	3.2.1.9 Nezaplňný kanál	166
3.3	Vtokové soustavy	167
	3.3.1 Části vtokových soustav	167
	3.3.1.1 Vtoková jamka	167
	3.3.1.2 Vtokový kanál	168
	3.3.1.3 Struskový a rozváděcí kanál	170
	3.3.1.4 Zářezy	171
	3.3.2 Výpočet částí vtokových soustav	172
3.4	Gravitační odlévání ve vakuu a v přetlakové atmosféře	174
3.5	Lití působením zvětšených sil na tekutý kov	176
	3.5.1 Odstředivé lití	176
	3.5.1.1 Hydrostatické řešení silových účinků odstředivého lití	179
	3.5.1.2 Hydrodynamické řešení silových účinků odstředivého lití	179
	3.5.2 Odlévání do forem při působení zvýšeného tlaku na hladinu kovu v lící komoře	179
	3.5.2.1 Lití pod tlakem	179
	3.5.2.2 Nízkotlaké lití	187
4.	Tuhnutí a chlazení kovu ve formě	189
4.1	Fyzikálně chemické jevy při styku taveniny s formou	189
	4.1.1 Základní fyzikální charakteristiky taveniny	189
	4.1.1.1 Struktura taveniny a její fyzikální vlastnosti	189
	Teorie vnitřního uspořádání tavenin	190
	4.1.1.2 Povrchové napětí	191
	4.1.1.3 Viskozita	191
	4.1.1.4 Tekutost a zabřavost	196
	4.1.2 Základní fyzikální charakteristiky formy	198
	4.1.2.1 Struktura formy	198
4.1.3	Fyzikálně chemické děje na povrchu formy	200
	4.1.3.1 Penetrace taveniny do formy	200
	4.1.3.2 Vznik povrchové kůry	205
	4.1.3.3 Vlivy působící intenzitu vývinu plynů	209
4.1.4	Následky fyzikálně chemických reakcí ve formě	212
	4.1.4.1 Povrchové zapékání	212
	4.1.4.2 Povrchová dilatace formy a zálupy	214
	4.1.4.3 Bodlinatost	215
4.2	Krystalizace slévárenských slitin	216
	4.2.1 Fázové přeměny při tuhnutí	217
	4.2.2 Krystalizace kovů a slitin	217
	4.2.2.1 Homogenní nukleace	218
	4.2.2.2 Heterogenní nukleace	220
	4.2.2.3 Růst krystalu	222
	4.2.2.4 Mechanismus krystalizace čistého kovu ve formě	223
	4.2.2.5 Mechanismus krystalizace slitin	224
	Krystalizace tuhého roztoku	224
4.2.3	Krystalizace ve formě	231
	4.2.3.1 Postup krystalizace	231
	4.2.3.2 Ovlivňování krystalizace	233
	4.2.3.2.1 Očkování taveniny	233
4.2.4	Krystalizace slévárenských slitin	237
	4.2.4.1 Krystalizace oceli	237

	4.2.4.2	Krystalizace litiny	238
	4.2.4.3	Krystalizace neželezných slitin	244
4.3		Rozbor tuhnutí a chladnutí kovu ve formě	245
	4.3.1	Tepelné pochody v soustavě kov—forma	245
	4.3.1.1	Diferenciální rovnice průtoku tepla	246
	4.3.1.2	Přestup tepla z taveniny do formy	247
	4.3.2	Průběh tuhnutí a chladnutí kovu ve slévárenské formě	248
	4.3.3	Zjišťování rychlosti tuhnutí a doby tuhnutí odlitku	250
	4.3.3.1	Matematické řešení průběhu tuhnutí	251
	4.3.3.2	Aproximativní metody	262
	4.3.3.3	Použití modelové techniky	268
	4.3.3.4	Experimentální zjišťování průběhu tuhnutí	268
	4.3.3.5	Zhodnocení jednotlivých metod	269
4.4		Kinetika tuhnutí a její důsledky pro homogenitu odlitku	270
	4.4.1	Smršťování kovů a slitin	270
	4.4.1.1	Smršťování v tekutém stavu	270
	4.4.1.2	Transformační smršťování	271
	4.4.1.3	Smršťování v tuhém stavu	273
	4.4.2	Fyzikální a fyzikálně chemické vlivy na průběh smršťování	273
	4.4.2.1	Vliv složení tavenin	274
	4.4.2.2	Vliv podmínek ochlazování ve formě	274
	4.4.2.3	Vliv tvaru odlitku	275
	4.4.3	Usměrněné tuhnutí	276
	4.4.4	Rozbor objemových změn za tuhnutí	277
	4.4.5	Obecný rozbor smršťování odlitku	278
	4.4.5.1	Kinetika tvorby staženiny	278
	4.4.6	Teoreticko-experimentální rozbor nálitkování	280
	4.4.6.1	Tvar dutin a jejich rozmístění	280
	4.4.6.2	Výpočet rozměru nálitku	283
	4.4.6.3	Oblast působnosti nálitku	287
	4.4.7	Ovlivnění průběhu tuhnutí v nálitku	289
	4.4.7.1	Vliv tlaku v oblasti tvořící se staženiny	289
	4.4.7.2	Působení chladítka v součinnosti s nálitkem a výpočet chladítka	291
	4.4.7.3	Tepelné ovlivnění průběhu tuhnutí nálitku	293
	4.4.8	Způsoby nálitkování v praxi	296
	4.4.9	Plyny uvolněné z odlitku během jeho tuhnutí	297
	4.4.9.1	Mechanismus tvorby plynové bubliny	297
	4.4.9.2	Charakter plynů v bublinách	298
4.5		Postup chladnutí odlitku a jeho důsledky	300
	4.5.1	Fyzikální základy vzniku napětí v odlitku	300
	4.5.1.1	Změny mechanických vlastností	300
	4.5.1.2	Smršťování kovů	302
	4.5.2	Smršťování konkrétních odlitků	305
	4.5.2.1	Fázové napětí v odlitku	305
	4.5.2.2	Tepelné napětí v odlitku	307
	4.5.2.3	Smršťovací napětí	309
	4.5.3	Napětí v průřezu stěny odlitku	310
	4.5.4	Následky napětí v odlitcích	312
	4.5.4.1	Zborcení odlitků	312
	4.5.4.2	Praskliny na odlitcích	314
	4.5.5	Možnost snížení napětí v odlitcích	316
	4.5.5.1	Úprava konstrukce odlitku	316
	4.5.5.2	Vliv materiálu odlitku	317
	4.5.5.3	Vliv technologických podmínek	318
	4.5.5.4	Chlazení odlitku pomocí chladítek	320
	4.5.5.5	Chlazení formy	321
	4.5.6	Snižování zbytkových napětí v odlitku	321
	4.5.6.1	Stárnutí odlitků	322
	4.5.6.2	Umělé stárnutí odlitků	323
	4.5.6.3	Vliv vibrací na napětí v odlitku	324

5. Tepelné zpracování odlitků	326
5.1 Úvod do tepelného zpracování	326
5.1.1 Fázové přeměny v tuhém stavu	326
5.1.1.1 Fázové přeměny slévárenských slitin železa	327
5.2 Základy tepelného zpracování odlitků	328
5.2.1 Tepelné zpracování ocelových odlitků	328
5.2.1.1 Rozdíly v tepelném zpracování oceli odlévané a tvářené	328
5.2.2 Tepelné zpracování uhlíkových ocelí	330
5.2.2.1 Přehled způsobů žíhání	331
5.2.2.2 Kalení a zušlechťování	333
5.2.3 Tepelné zpracování legovaných ocelí	334
5.2.3.1 Odlitky z ocelí legovaných chromem	335
5.2.3.2 Manganové oceli	341
5.2.4 Tepelné zpracování šedé litiny	344
5.2.4.1 Žíhání šedé litiny	344
5.2.4.2 Kalení a popouštění	347
5.2.5 Tepelné zpracování tvárné litiny	350
5.2.5.1 Žíhání ke snížení pnutí	350
5.2.5.2 Feritizační žíhání	351
5.2.5.3 Normalizační žíhání	352
5.2.5.4 Sferoidizační žíhání	352
5.2.5.5 Kalení a popouštění	352
5.2.5.6 Legovaná tvárná litina	354
5.2.6 Tepelné zpracování bílé litiny (k temperování)	354
5.2.6.1 Výchozí struktura a chemické složení	354
5.2.6.2 Temperování na bílý lom	355
5.2.6.3 Temperování na černý lom	356
5.2.6.4 Zpracování na perlitickou strukturu	358
5.2.7 Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku	358
5.2.7.1 Žíhání	358
5.2.7.2 Vytvrzování	359
5.2.7.3 Tepelné zpracování průmyslových slévárenských slitin	360
5.2.8 Tepelné zpracování odlitků ze slitin hořčíku	361
5.2.8.1 Žíhání ke snížení pnutí	361
5.2.8.2 Homogenizační žíhání	361
5.2.8.3 Vytvrzování	362
5.2.9 Tepelné zpracování odlitků ze slitin mědi	362
5.2.9.1 Tepelné zpracování bronzů	363
Literatura	364