

OBSAH

	PŘEDMLUVA	13
	PŘEHLED NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH VELIČIN A JEJICH JEDNOTEK	14
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	15
1	ZÁKLADNÍ PARAMETRY PRO ŘEŠENÍ TUHNUTÍ OCELOVÝCH OD- LITKŮ	17
1.1	Základní fyzikálně technologické vlastnosti ocelí	17
1.1.1	Teplota likvidu a solidu – interval tuhnutí	17
1.1.2	Základní tepelně fyzikální vlastnosti ocelí	20
1.1.3	Konkrétní hodnoty tepelně fyzikálních veličin některých ocelí	25
1.1.4	Doporučené provozní zkoušky pro slévárny oceli	28
1.2	Základní kritéria konstrukce odlitku	29
1.2.1	Modul a stabilita teplotního pole	29
1.2.1.1	Tloušťkový činitel	29
1.2.1.2	Tvarový činitel	30
1.2.2	Geometrický a geometricko-tepelný modul tělesa	32
1.2.3	Pásma a modul nenálitkovaných těles	33
1.2.3.1	Od desky k tyči s plochostí 1 : 1	33
1.2.3.2	Od tyče s plochostí 1 : 1 ke krychli	37
1.2.3.3	Konkrétní příklad	40
1.2.4	Pásma a modul nálitkovaného tělesa	41
1.2.5	Izotermičnost a neizotermičnost konstrukce	43
1.2.6	Odstupňování modulu v dutých rotačních tělesech	47
1.2.7	Modul v oblasti hran, rohů a koutů	49
1.2.7.1	Modul v oblasti hran a rohů	49
1.2.7.2	Vliv úhlu hran, rohů a koutů na hodnotu modulu	50
1.2.7.3	K otázce optimálních poloměrů zaoblení	51
1.2.8	Geometricko-tepelný modul tepelných uzlů	52
1.2.8.1	Klasifikace tepelných uzlů	52
1.2.8.2	Modul tepelných uzlů – zesílení (typ 1)	53
1.2.8.3	Modul tepelných uzlů – spojů (typ 2 a 3)	54
1.2.8.3.1	Cesty ke stanovení modulu uzlů – spojů	54
1.2.8.3.2	Grafické stanovení modulu pravoúhlých podélných uzlů – spojů	57
1.2.8.3.3	Odstupňování doby tuhnutí v částech pravoúhlého spoje	59
1.2.8.3.4	Ukázka aplikace grafické metody na pravoúhlých podélných spojích	65
1.2.8.3.5	Stanovení modulu podélných kosoúhlých uzlů – spojů	68
1.2.8.3.6	Stanovení modulu koutových spojů	72
1.2.8.3.7	Vliv změny rozměrů spojovaných částí na modul spoje	72
1.2.8.4	Závěr k modulu tepelných uzlů	78

1.3	Uplatnění parametrů formy při tuhnutí ocelových odlitků	78
1.3.1	Základní technologická kritéria formy a jejich uplatnění	78
1.3.1.1	Průměrný součinitel tuhnutí	79
1.3.1.2	Teplná pohltivost formy (jader)	80
1.3.1.3	Stanovení průměrného součinitele tuhnutí pokusem	81
1.3.1.4	Princip stanovení tepelné pohltivosti formy	82
1.3.2	Rozbor různých vlivů na rychlost tuhnutí slitiny (oceli)	85
1.3.2.1	Vliv lící teploty	85
1.3.2.2	Vliv teploty solidu slitiny	85
1.3.2.3	Vliv výchozí teploty formy	85
1.3.2.4	Vliv konstrukce odlitku a formy	85
1.3.2.5	Vliv změny vlastností formy účinkem změn teploty	87

2 POCHODY PROBÍHAJÍCÍ V OCELI OD ODPÍCHU DO ZAČÁTKU TUHNUTÍ 88

2.1	Úvod	88
2.2	Výměna energie a hmoty mezi taveninou a jejím okolím	89
2.2.1	Teplotní a koncentrační pole taveniny bez vnitřního pohybu	89
2.2.2	Teplotní a koncentrační pole v promíchávající se tavenině	90
2.2.3	Vliv pohybu okolního prostředí na teplotní a koncentrační pole v tavenině	91
2.2.4	Samovolná gravitační konvekce	93
2.2.5	Ztráta tekutosti oceli	94
2.3	Pochody v oceli před jejím odléváním	95
2.3.1	Teplotní a koncentrační pole lázně oceli	95
2.3.2	Pochody v oceli při odpichu	96
2.3.3	Reakce oceli v pánvi	97
2.3.3.1	Tepelné reakce v pánvi	97
2.3.3.2	Ostatní reakce v pánvi	98
2.3.4	Lící teplota oceli	99
2.3.4.1	Vliv chemického složení oceli na její lící teplotu	99
2.3.4.2	Vliv tloušťky stěny na volbu lící teploty oceli	100
2.3.4.3	Vliv vtokové soustavy na volbu lící teploty	100
2.3.4.4	Vliv chladicího účinku formy na volbu lící teploty	101
2.3.5	Setrvání oceli v pánvi pro dosažení předepsané lící teploty	101
2.4	Pochody při vyprazdňování pánve	104
2.4.1	Výstupní teplota oceli z pánve	104
2.4.2	Reakce oceli opouštějící pánve	105
2.5	Pochody v oceli při odlévání	106
2.5.1	Pochody v oceli proudící vtokovou soustavou	106
2.5.1.1	Vstupní teplota oceli	106
2.5.1.2	Laminární proud oceli v částech vtokové soustavy	108
2.5.1.3	Dočasně natuhnutí oceli na stěny vtokové soustavy	109
2.5.1.4	Reakce oceli s formou při vtokové soustavě	109
2.5.2	Změna teplotního a koncentračního pole v lícové vrstvě formy	110
2.5.3	Plnění dutiny formy ocelí	111
2.5.3.1	Lící a výchozí teplotní pole odlitku	111
2.5.3.2	Teplotní pole tenkostěnných odlitků	111
2.5.3.3	Laminární plnění některých částí dutiny formy a vznik bodlin	116
2.5.3.4	Plnění masivnější dutiny formy shora	117
2.5.3.5	Plnění masivnější dutiny formy zdola	120

2.5.3.6	Plnění vodorovné a šikmé dutiny formy	120
2.5.3.7	Sekundární oxidace oceli při průtoku formou	120
2.5.3.7.1	Oxidační účinek formy	121
2.5.3.7.2	Sekundární oxidace oceli od ovzduší v dutině formy	121
2.5.3.7.3	Význam zbytkového obsahu hliníku v ocelovém odlitku	124
2.5.3.7.4	Možnosti použití jiných dezoxidčních prvků	125
2.5.4	Úloha vodíku při tvoření endogenních bublin	126
2.6	Další metalurgické vady oceli způsobené plyny	127
2.6.1	Vady oceli způsobené vodíkem	127
2.6.1.1	Vločkovitost oceli	127
2.6.1.2	Vliv vodíku na mechanické vlastnosti oceli	128
2.6.2	Vady ocelových odlitků způsobené dusíkem	128
2.6.3	Nekovové vměstky v oceli	129

3 PŘÍČNÉ TUHNUTÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ 130

3.1	Úvod	130
3.2	Odvádění tepla přehřátí od povrchu odlitku	130
3.2.1	Rychlost a doba odvádění tepla přehřátí	131
3.2.1.1	Stanovení doby odvádění tepla přehřátí od povrchu odlitku	132
3.2.1.2	Doba odvádění tepla přehřátí od základních těles	132
3.2.1.3	Doba odvádění tepla přehřátí od koncových pásem odlitku	133
3.2.1.4	Zjišťování doby odvádění tepla přehřátí tepelným měřením	134
3.2.1.5	Zjišťování doby odvádění tepla přehřátí vylévacími zkouškami	135
3.2.1.6	Závěr k odvádění tepla přehřátí	136
3.3	Základní otázky tuhnutí oceli	136
3.3.1	Křivky chladnutí oceli	136
3.3.2	Interval tuhnutí a dvoufázové pásmo	136
3.3.3	Struktura dvoufázového pásma	139
3.3.4	Tloušťka dvoufázového pásma a možnosti jejího ovlivnění	141
3.3.5	Skutečný součinitel tuhnutí	143
3.3.5.1	Stanovení skutečného součinitele tuhnutí	143
3.3.5.2	Hrubá a čistá doba tuhnutí	145
3.3.6	Vliv tvarového činitele na tuhnutí	146
3.3.6.1	Teplotní pole základních těles	146
3.3.6.2	Konkrétní vyjádření závislosti	147
3.4	Tuhnutí deskovitých útvarů	150
3.4.1	Vzorový rozbor tuhnutí neohraničené desky při konstantní teplotě	150
3.4.2	Tuhnutí neohraničené desky v intervalu teplot	151
3.4.3	Parametry tuhnutí neohraničené desky při různých rychlostech chladnutí od obou povrchů	152
3.4.4	Vliv tloušťky formy (jádra) na tuhnutí neohraničené desky	155
3.4.4.1	Základní problematika	155
3.4.4.2	Tuhnutí dvojice desek s velmi tenkým dělicím jádrem	158
3.4.4.2.1	Vyjádření poměrů při nadkritické tloušťce jádra – mezistěny	161
3.4.5	Vliv plynové mezery na tuhnutí desky	162
3.4.6	Tuhnutí desky v okrajovém a nálitkovém pásmu	162
3.5	Tuhnutí tyčovitých útvarů	164
3.5.1	Tuhnutí neukončeného válce	164
3.5.2	Tuhnutí neukončeného hranolu	165
3.5.3	Tuhnutí hranolu v koncových pásmech	167

3.5.4	Tuhnutí plochých tyčovitých útvarů	168
3.5.5	Tuhnutí podélných profilů a uzlů	169
3.6	Tuhnutí dutých rotačních těles	171
3.6.1	Teplotní pole dutého neukončeného válce a duté kopule	171
3.6.2	Charakter tuhnutí dutého neukončeného válce	173
3.6.3	Poloha tepelné osy v dutém neukončeném válci	174
3.6.3.1	Stanovení polohy tepelné osy v dutém neukončeném válci	174
3.6.3.2	Vliv plynové mezery na polohu tepelné osy v dutém neukončeném válci	176
3.6.4	Postup tuhnutí dutého válcovitých odlitků válce	177
3.6.5	Tuhnutí dvojitého válce s jádrovou mezistěnou	181
3.6.6	Jednostranné tuhnutí dutého neukončeného válce	182
3.6.7	Tuhnutí dutých rotačních útvarů v koncovém pásmu	184
3.6.8	Vliv polohy dutých válcovitých odlitků ve formě na jejich tuhnutí	186
3.7	Tuhnutí dutého kulového vrchlíku — kopule	187
3.7.1	Grafické řešení tuhnutí duté kopule	187
3.7.2	Jednostranné tuhnutí duté kopule	191
3.8	Periodické tuhnutí oceli (přerušené)	193
3.9	Charakter tuhnutí masivních ocelových těles	195
3.9.1	Vykrytalizovaná pásma v ocelovém bloku	195
3.9.2	Postkolumnární pásmo segregací a vycezenin	196
3.9.3	Možnosti potlačení nehomogenity masivních litých ocelových útvarů	198
4	STAŽENINY V ODLITCÍCH A JEJICH TYPY	200
4.1	Zákonitosti stahování oceli	200
4.1.1	Úvod	200
4.1.2	Úbytek objemu slitin při tuhnutí	201
4.1.2.1	Stanovení úbytku objemu slitiny od lící teploty do konce tuhnutí	201
4.1.2.2	Prolínání smršřovacích pochodů při tuhnutí	202
4.1.3	Mechanismus tvoření staženiny	204
4.1.4	Typy staženin	206
4.1.4.1	Základní typy staženin	206
4.1.4.2	Podíl různých typů staženin na celkovém rozsahu stahování	207
4.1.4.3	Vnější staženiny	209
4.1.4.4	Plynové staženiny	211
4.1.4.5	Osová staženina	211
4.1.4.6	Snahy o vytvoření ocelového odlitku bez staženiny	211
4.1.5	Objem staženiny v litém útvaru	212
4.1.5.1	Zkoušky stahování slitin	213
4.1.5.2	Objem makrostaženiny v litém útvaru	214
4.1.6	Smršřovací pórovitost	215
4.1.6.1	Součtový objem smršřovacích pórů	215
4.1.6.2	Lokalita smršřovací pórovitosti	215
4.1.6.3	Filtrace taveniny vrstvou dendritových skeletů	217
4.1.7	Závěr ke stahování oceli	220
5	USMĚRNĚNÉ TUHNUTÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ	221
5.1	Přirozená pásma v odlitcích	221
5.1.1	Stupeň usměrnenosti tuhnutí (<i>SUT</i>)	221
5.1.2	Oblast překážek proti napájení	223

5.1.3	Rozdělení odlitku na přirozená pásma	224
5.1.4	Akční rádius nálitku a napájený objem	226
5.1.5	Podnálitkovanosť a přenálitkovanosť	227
5.1.6	Potřebný počet nálitků na odlitku	228
5.1.7	Vliv průtočnosti na rozdělení přirozených pásem	229
5.2	Zvětšování užitečných pásem u odlitků bez tepelných uzlů	230
5.2.1	Zvětšování nálitkového pásma pomocí slévárenského přídavku	230
5.2.1.1	Odstupňování slévárenského přídavku	230
5.2.1.2	Aplikace slévárenských přídavků u odlitků bez tepelných uzlů	233
5.2.2	Zvětšování koncových pásem pomocí chlazení	235
5.2.3	Vytváření umělých koncových pásem	236
5.2.3.1	Podstata a účel mezikoncových chladítek	236
5.2.3.2	Příklady využití umělých koncových pásem u odlitků bez tepelných uzlů	237
5.2.3.3	Ukázky použití kombinace předchozích způsobů	239
5.3	Usměrněné tuhnutí odlitků s tepelnými uzly	241
5.3.1	Usměrněné tuhnutí odlitků s nálitkovatelnými uzly	241
5.3.1.1	Využití pásem v odlitku jako celku	241
5.3.1.2	Rozdělení odlitku na celky schopné usměrněného tuhnutí	243
5.3.1.2.1	Tuhnutí a stahování odlitku po etapách	243
5.3.1.2.2	Rozdělení odlitku na sekce	244
5.3.2	Usměrněné tuhnutí odlitků s nenálitkovatelnými uzly	245
5.3.2.1	Slévárenské přídavky u odlitků s nenálitkovatelnými uzly	245
5.3.2.2	Použití bočních uzavřených nálitků	248
5.3.2.3	Urychlování tuhnutí odlitků s tepelnými uzly chlazením	251
5.3.2.3.1	Obecné zásady pro používání vnějších chladítek	252
5.3.2.3.2	Několik příkladů použití vnějšího chlazení	254
5.3.2.3.3	Chlazení žebírkováním	258
5.3.2.3.4	Vnitřní chlazení ocelových odlitků	260
5.3.2.4	Zpomalování tuhnutí odlitků vložkami v lící formy	260
5.3.2.4.1	Izolační obklady ve formě a některé kombinace	260
5.3.2.4.2	Použití exotermických vložek v lící formy	264
5.3.2.5	Používání skrytých chladítek a izolačních vložek	266
5.3.2.5.1	Podstata metody	268
5.3.2.5.2	Stručné zhodnocení metody	270
5.4	Reverzní metody	271
5.4.1	Reverzní metody u odlitků bez tepelných uzlů	271
5.4.2	Reverzní metody u odlitků s tepelnými uzly	273
5.5	Další prohloubení poznatků	275
6	HOSPODÁRNÉ NÁLITKOVÁNÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ	276
6.1	Technicko-ekonomické charakteristiky surového odlitku	276
6.1.1	Využití kovu v odlitcích	276
6.1.2	Využití kovu v nálitku	277
6.1.3	Napájecí charakteristiky nálitku	278
6.1.4	Základní vztah pro objem nálitku	279
6.2	Geometrie makrostažení v nálitku	279
6.2.1	Vzdálenost mezi hrotem makrostažení a konturou odlitku	279
6.2.2	Z dosavadních prací o geometrii makrostažení	282
6.2.3	Geometrie makrostažení v útvech s jediným nálitkem	284
6.2.3.1	Geometrie makrostažení v útvaru typu bloku	284

6.2.3.1.1	Geometrie makrostaženiny v bloku bez úkosu	284
6.2.3.1.2	Vliv konicity litého bloku na geometrii makrostaženiny	287
6.2.3.1.3	Vliv typu a tvaru nálitku na geometrii makrostaženiny (masívní odlitky)	289
6.2.3.2	Vliv nedokonalostí v ošetření nálitku na geometrii makrostaženiny	290
6.2.3.3	Geometrie makrostaženiny v nálitku na plochém odlitku	292
6.2.3.4	Geometrie makrostaženiny v nálitku na plochém odlitku s tepelným uzlem	296
6.2.4	Geometrie makrostaženiny při větším počtu nálitků na odlitku	296
6.2.5	Kontrola geometrie makrostaženiny	299
6.2.6	Konstrukční faktor odlitku (sekce)	300
6.2.6.1	Vliv konstrukce odlitku na parametry nálitku podle literárních pramenů	300
6.2.6.2	Rozbor vlivu konstrukce odlitku (sekce) na optimální parametry nálitků	300
6.2.6.3	Konstrukční faktor odlitku podle autora	302
6.3	Stručná klasifikace nálitků	304
6.3.1	Čelní nálitky podle tvaru	304
6.3.2	Nálitky podle způsobu připojení k odlitku	304
6.3.3	Nálitky podle počtu napájených odlitků a uzlů	304
6.3.4	Nálitky podle intenzity účinku	305
6.3.5	Nálitky podle polohy vzhledem k zaústění vtokové soustavy	305
6.3.6	Nálitky podle směru jejich plnění vzhledem ke směru napájení	305
6.4	Stanovení parametrů nálitků	306
6.4.1	Obecné požadavky na nálitky	306
6.4.2	Počet nálitků na odlitku	306
6.4.3	Typ, tvar, štíhlost a poloha nálitku	307
6.4.4	Průřez a tloušťka nálitkových krčků	309
6.4.5	Podnálitkové vložky	311
6.4.6	Stanovení velikosti nálitků	314
6.4.6.1	Stanovení objemu nálitků podle různých autorů	314
6.4.6.2	Autorův způsob stanovení velikosti nálitků	314
6.4.6.3	Stanovení rozměrů nálitků	318
6.4.6.4	Dodatečná kontrola parametrů nálitků	318
6.4.6.5	Parametry prstencovitých nálitků	319
6.4.6.6	Parametry podlouhlých nálitků	324
6.4.7	Náhlá změna objemu sekce při tuhnutí	327
6.5	Intenzifikované nálitky	329
6.5.1	Zpomalování tuhnutí nálitků bočními obklady	329
6.5.1.1	Obkladové materiály nálitků	331
6.5.1.2	Stanovení velikosti obkládaných nálitků	333
6.5.2	Další způsoby intenzifikace nálitků	334
6.6	Několik praktických aplikací výpočtu nálitků	336
6.6.1	Výpočet různých způsobů nálitkování pouzdra s přírubou	336
6.6.2	Stanovení velikosti dolních bočních uzavřených nálitků	342
7	PORUCHY SOUVISLOSTI VZNIKAJÍCÍ PŘI TUHnutí ODLITKŮ	345
7.1	Úvod	345
7.1.1	Charakteristiky trhlin	345
7.1.2	Literární přehled o trhlínách v odlitcích zejména ocelových	346
7.2	Podstata vzniku trhlin	347
7.2.1	Volné smršťování materiálu	347
7.2.2	Brzděné smršťování materiálu a vznik pnutí	348
7.3	Náhylnost oceli k trhání	349

7.4	Úloha konstrukce a technologie vzhledem k trhání odlitků	352
7.4.1	Trhání odlitků s jednorozměrným teplotním polem	352
7.4.1.1	Společné znaky pro základní tělesa	352
7.4.1.2	Napěťové poměry v rovné neohraničené desce	353
7.4.1.3	Napěťové poměry v neukončeném válci	354
7.4.1.3.1	Tuhnutí oceli od válcového jádra	354
7.4.1.3.2	Tuhnutí plného válce od formy	355
7.4.1.3.3	Napěťové poměry v dutém neukončeném válci	357
7.4.2	Trhání odlitků s vícerozměrným teplotním polem	358
7.4.2.1	Koncentrace napětí ve vnitřních hranách	358
7.4.2.2	Napěťové poměry v žebrovaném dutém válci	360
7.5	Některé případy trhání odlitků	362
7.5.1	Trhání odlitku vlivem formy a vnějšího chlazení	362
7.5.2	Vliv nálitků na trhání odlitků	364
7.5.3	Natržení kůry odlitku tíhou vlastní taveniny	365
7.5.4	Některé případy trhání v armaturních tělesech	366
7.5.5	Otázky trhání velkého ocelového setrvačnicku	367
7.5.6	Vliv průtočnosti na výskyt a lokalitu trhlin	369
7.6	Závěr k trhlinám v odlitcích	370
8	ZÁVĚR	371
	LITERATURA	373