

OBSAH

	Seznam použitých symbolů a veličin	5
	Seznam použitých zkratk	6
1.	Úvod	7
2.	Systém Ti-Al	9
2.1	Intermetalická slitina Ti_3Al	10
2.1.1	Základní vlastnosti	10
2.1.2	Mikrostruktura a mechanické vlastnosti	10
2.1.3	Vlivy prostředí	12
2.1.4	Komerční slitiny a jejich aplikace	12
2.2	Intermetalická slitina $TiAl$	13
2.2.1	Základní vlastnosti	13
2.2.2	Mikrostruktura a mechanické chování	15
2.2.3	Vlivy prostředí	18
2.2.4	Komerční slitiny a jejich aplikace	19
2.3	Intermetalická slitina Al_3Ti	22
2.3.1	Základní vlastnosti	22
2.3.2	Mikrostruktura a mechanické vlastnosti	22
2.3.3	Aplikace	23
2.4	Binární diagramy hliník – příměs	24
2.4.1	Rozpustnost prvků v tavenině (likvidu) hliníku	26
2.4.2	Rozpustnost prvků v tuhém roztoku hliníku	26
2.4.3	Intermetalické binární fáze hliníku	27
2.4.4	Termodynamika fázové rovnováhy systémů hliník – příměs	29
2.4.5	Periodická korelační závislost rozdělovacích koeficientů v hliníku a její význam	32
2.4.5.1	Definice rovnovážného rozdělovacího koeficientu a jeho stanovení	32
2.4.5.2	Rozdělovací koeficienty příměsí v hliníku	33
2.4.5.3	Periodická korelační závislost rozdělovacích koeficientů příměsí v hliníku a její význam pro praxi a řízení procesů probíhajících na rozhraní krystal – tavenina	34
2.4.5.4	Křivky rozpustnosti příměsí v tuhém roztoku α slitin hliníku	38
2.4.5.5	Interval tuhnutí a metody jeho stanovení	39
2.5	Binární diagramy titan – příměs	41
2.5.1	Binární diagramy slitin titan – příměs	41
2.5.2	Rozdělovací koeficienty příměsí v titanu	48
2.5.3	Periodická korelační závislost rozdělovacích koeficientů příměsí v titanu a její význam pro praxi a řízení procesů probíhajících na rozhraní krystal – tavenina	50
2.5.4	Binární systém titan - hliník	51
3.	Moderní způsoby tavení titanových slitin	55
3.1	Tavení titanu v plazmové peci	55
3.1.1	Aplikace na slitiny γ -TiAl	56
3.2	Tavení titanu v elektronové peci	57
3.2.1	Aplikace na slitiny γ - TiAl	57
3.3	Tavení titanu v obloukové peci	57
3.3.1	Aplikace na slitiny γ - TiAl	58
3.4	Tavení titanu v indukční peci	58
3.5	Experimentální tavby slitin systému Ti-Al	59

3.5.1	Přehled experimentálních slitin - nelegovaných	59
3.5.2	Přehled experimentálních slitin – legovaných	60
3.5.3.1	Mikrostruktury vzorků slitin tavených v plazmové peci – „pecky“	62
3.5.3.2	Mikrostruktury vzorků slitin tavených v plazmové peci – ingoty	66
3.5.4	Tavení slitin v indukční peci	71
3.5.5	Vyhodnocení měření mikrotvrdomosti	72
3.5.6	Měření obsahu plynů v intermetalických slitinách	72
3.6	Návrh vertikálního laboratorního krystalizátoru pro tavení materiálů ze soustavy Ti-Al a Ti-Al-Me	74
3.6.1	Výzkum materiálu na bázi Ti	74
3.6.2	Vývoj technologií výroby materiálů na bázi Ti	75
3.6.3	Pecní vybavení laboratoře	78
3.6.4	Transformační procesy	78
3.6.4.1	Transformace kontislitku	78
3.6.4.2	Transformace technologie výroby zkušebních vzorků	80
3.6.5	Vertikální krystalizátor	82
3.6.5.1	Modelování a simulace teplotního pole stěny krystalizátoru	83
3.6.5.2	Modelování a simulace teplotních polí kontislitků	86
3.6.5.3	Chladicí systém krystalizátoru	87
3.6.6	Studijní návrh krystalizátoru	91
4.	Parametry výroby intermetalických slitin systému Ti-Al	93
4.1	Volba legujících prvků	93
5.	Slévárnství slitin γ - TiAl	97
5.1	Vývoj tavení	97
5.1.1	Tavení se studeným kelímkem	97
5.2	Vývoj v odlévání	98
5.2.1	Gravitační lití	98
5.2.2	Podtlakové lití	99
5.2.3	Odstředivé lití	99
5.3	Experimentální tavení a odlévání intermetalických slitin systému Ti-Al	99
5.3.1	Tavení a odlévání ve vakuové – indukční peci	100
5.3.2	Vyhodnocení měření mikrotvrdomosti po indukčním tavení	107
5.3.3	Měření obsahu plynů v intermetalických slitinách po indukčním tavení	108
6.	Interakce taveniny intermetalických slitin TiAl s materiálem kelímku	111
6.1	Koroze žáruvzdorných materiálů	111
6.2	Rovnovážné fázové diagramy v systému Ti – Al – O	112
6.2.1	Systém Ti-Al	112
6.2.2	Systém Ti – O	112
6.2.3	Systém Al-O	113
6.2.4	Systém TiO ₂ – SiO ₂	114
6.2.5	Systém Al ₂ O ₃ -SiO ₂	114
6.2.6	Systém Al ₂ O ₃ – TiO ₂	115
6.2.7	Systém Al ₂ O ₃ -TiO ₂ -SiO ₂	116
6.2.8	Systém Ti ₂ O ₃ -TiO ₂ -SiO ₂	116
6.3	Termodynamický rozbor systému Ti-Al-O-Al ₂ O ₃ -(SiO ₂)	116
6.3.1	Oxidace taveniny čistého titanu	118

6.3.2	Oxidace taveniny čistého hliníku	119
6.3.3	Odpařování titanu a hliníku	120
6.3.4	Oxidace slitiny TiAl	121
6.3.5	Interakce mezi roztavenou slitinou TiAl a kelímkem	121
6.4	Shrnutí problematiky reakce taveniny TiAl s keramikou	123
7.	Mikrostruktura intermetalických slitin TiAl	125
7.1	Mikrostruktura v odlitcích z γ -TiAl	125
7.2	Mikrostruktura a defekty v ingotech γ - TiAl	126
7.2.1	Typy defektů	126
7.2.2	Vývoj mikrostruktury ingotu	126
7.2.3	Vysokotavitelné vměstky (nehomogenity)	127
7.2.3.1	Boridy	127
7.2.3.2	Nitridy	127
7.2.3.3	Oxidy	128
7.2.3.4	Oblasti obohacené o Ti	128
7.2.4	Odchylka koncentrace Al	128
8.	Směrová krystalizace	129
8.1	Základní principy směrové krystalizace	129
8.1.1	Bridgmanova metoda	131
8.1.2	Czochralského metoda (CZ)	131
8.1.3	Zonální tavení	131
8.2	Kinetika krystalizace a procesu nukleace	132
8.2.1	Teplotní podmínky růstu	132
8.2.2	Koncentrační podmínky růstu	133
8.3	Kritéria pro vznik poruch při směrové krystalizaci	134
8.4	Směrová krystalizace slitin na bázi Ti-Al	135
8.4.1	Řízení lamelární mikrostruktury očkováním	135
8.4.1.1	Očkování primárně tuhnoucí α fáze	135
8.4.1.2	Očkování α fáze ve slitinách, kde může být potlačena nukleace β fáze	136
8.4.1.3	Očkování mezidendritické α fáze ve slitinách s primárně tuhnoucí β fází	136
8.4.2	Řízení lamelární mikrostruktury bez očkovadla	137
8.4.3	Vliv směrové krystalizace na mikrostrukturu slitiny γ TiAl	137
8.4.3.1	Vliv parametrů směrové krystalizace na buněčnou a dendritickou strukturu	137
8.4.3.2	Vliv parametrů směrové krystalizace na lamelární strukturu	139
8.4.3.3	Vznik keramických částic v průběhu směrové krystalizace	140
8.5	Experimentální tavby se směrovou krystalizací	141
8.5.1	Přehled experimentálních slitin	141
8.5.2	Volba parametrů krystalizace	142
8.5.3	Mikrostruktury slitin po směrové krystalizaci	142
8.5.4	Vliv směrové krystalizace na mikrotvrdot	146
8.5.5	Vliv směrové krystalizace na obsah plynů	148
8.5.6	Zhodnocení vlivu parametrů směrové krystalizace na slitiny γ -TiAl	149
9.	Vznik lamelární struktury ve dvoufázových TiAl slitinách	150
9.1	Mechanismy transformace	150
9.2	Krystalografie a morfologie lamelární struktury	150
9.3	Mechanismus vzniku lamelární struktury	151

9.3.1	Přednukleační stádium	151
9.3.2	Stádium nukleace a růstu	152
9.3.3	Proces uspořádání	152
9.3.4	γ -antifázové hranice a jejich spojování s ODBs, TBs a PTBs.	153
9.4	Shrnutí procesů a vlivů uplatňovaných při vzniku lamelární mikrostruktury	153
10.	Závěr	155
11.	Conclusion	157
	Literatura	159
	Příloha: Seznam publikací, zpráv a dalších výstupů	