

Schriftenreihe des IME

Band 27

**Claus Lochbichler**

**Design eines prozessstufenarmen  
Titanrecyclingprozesses**

Shaker Verlag  
Aachen 2011

## INHALT

KURZFASSUNG .....	III
ABSTRACT .....	IV
EXTENDED ABSTRACT .....	V
<b>1 VORSTELLUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 ALLGEMEINES.....</b>	<b>3</b>
2.1 Werkstoff Titan.....	3
2.1.1 Titanlegierungen .....	5
2.1.2 Titanaluminidlegierungen .....	7
2.2 Titanmetallerzeugung .....	10
2.2.1 Rohstoffe und Rohstoffraffination.....	10
2.2.2 Titanschwammerzeugung.....	12
2.2.3 Titan(um)schmelzprozesse.....	13
2.3 Titanrecycling.....	19
2.3.1 Titanstofffluss.....	19
2.3.2 Sekundärrohstoffe.....	21
2.3.3 Processing von Schrott.....	22
2.3.4 Zusammenfassung und Diskussion .....	25
<b>3 KONZEPTIDEE RECYCLINGPROZESS.....</b>	<b>27</b>
3.1 Konzeptskizze.....	27
3.2 Recyclingprozesskette .....	28
<b>4 PROZESSDESIGN VIM.....</b>	<b>33</b>
4.1 Prozessprinzip und Feuerfestwerkstoffe .....	33
4.1.1 Prozessprinzip .....	33
4.1.2 Feuerfestwerkstoffe .....	37
4.2 Feuerfeststabilität.....	39
4.2.1 Literaturquellen .....	39
4.2.2 Titanaktivität und Sauerstoffsättigung .....	42
4.2.3 Ellinghamdiagramme .....	44
4.2.4 Gibbsenergiemodellierung und Kohlenstoffsättigung.....	47
4.2.5 Diskussion Feuerfeststabilität .....	52
4.3 Metallothermische Sauerstoffraffination.....	55
4.3.1 Calciummetallurgie .....	55
4.3.2 Yttriummetallurgie .....	58
4.3.3 Diskussion Sauerstoffraffination.....	60
<b>5 PROZESSDESIGN VAR.....</b>	<b>63</b>
5.1 Prozessvorstellung und Metallurgie .....	63
5.1.1 Prozessvorstellung.....	63
5.1.2 Prozessmetallurgie .....	64
5.2 Vakuumraffination .....	66
5.2.1 Calciumdestillation .....	66
5.2.2 Wasserstoffentgasung .....	68
5.2.3 Destillative Suboxidabtrennung .....	71
5.2.4 Zusammenfassung und Diskussion .....	74
5.3 Nichtmetallische Einschlüsse.....	75

6	EXPERIMENTELLE KONTROLLE DES PROZESSDESIGNS .....	77
6.1	Schrotte .....	77
6.1.1	Spanschrott .....	77
6.1.2	Massivschrott .....	84
6.2	VIM Legierungseinstellung und Vorraffination von Titanschrott .....	85
6.2.1	Laborexperimentelles Vorprogramm .....	90
6.2.2	Prozessupscaling und Ingotherstellung .....	101
6.3	VAR Endraffination .....	111
6.3.1	Ingotraffination und Metallbilanz .....	115
6.3.2	Einschlussermittlung .....	119
6.4	Massenbilanz und Metallqualität .....	123
7	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSDISKUSSION .....	127
8	SCHRIFTTUM .....	131
9	ANHANG .....	143
9.1	Prozessattribute konventioneller Titanschmelzmetallurgie .....	143
9.2	Literaturquellen Feuerfeststabilität .....	146
9.3	Vakuumentgasung von Titanwerkstoffen .....	150
9.4	Gibbsenergieminimierung .....	155
9.5	VIM Sauerstoffraffination .....	157
9.5.1	Feuerfestsättigungskonzentrationen .....	157
9.5.2	Calciummetallurgische Sauerstoffraffination .....	161
9.5.3	Yttriummetallurgische Sauerstoffraffination .....	163
9.6	Tiegelwerkstoffe und Stampfmassen .....	165
9.7	Nichtmetallische Einschlussquantität .....	169
10	VERZEICHNISSE .....	171
10.1	Abbildungen .....	171
10.2	Tabellen .....	178