

Monografia má za cieľ poukázať na potrebu a dôležitosť recyklácie hliníka a podáva praktické informácie aj najnovšie výsledky vedeckých výskumov o možnostiach efektívneho spracovania hliníkových odpadov. Je rozčlenená do ôsmich kapitol, kde sú uvedené vlastnosti hliníka, rozobrané aspekty sekundárnej výroby hliníka a význam recyklácie hliníka z pohľadu šetrenia energie a zdrojov surovín a zachovania rozvoja priemyselného odvetvia. V ďalšom sa pozornosť upriamuje na charakteristiku a mapovaniu zdrojov sekundárneho hliníka, spôsoby úpravy a triedenia hliníkových odpadov, tavenia, rafinácie a prípravy hliníkových zliatin. Okrem teoretických podkladov monografia disponuje aj praktickými príkladmi jestvujúcich technológií a poukazuje na metódy a postupy prevádzkované v praxi pri spracovaní a recyklácii hliníka a hliníkových sterov.

SPRACOVANIE A RECYKLÁCIA HLINÍKOVÝCH ODPADOV

**SPRACOVANIE
A RECYKLÁCIA
ODPADOV
HLINÍKOVÝCH**

ANDREA MIŠKUFONÁ
TOMÁŠ HAVELÍK

ISBN 978-80-8143-080-0



9 788081 430800

SPRACOVANIE A RECYKLÁCIA HLINÍKOVÝCH ODPADOV

ANDREA MIŠKUFVÁ TOMÁŠ HAVLÍK

názov: Spracovanie a recyklácia hliníkových odpadov
druh publikácie: monografia
autori: doc. Ing. Andrea Miškufová, PhD., prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc.
recenzenti: prof. Ing. Karel Tomášek, CSc., doc. Dr. Ing. Milan Škrobán, CSc.
dátum vyhotovenia: marec 2013
počet strán: 384
počet výtlačkov: 200
vydanie: prvé
vydalo: EQUILIBRIA, s.r.o., Poštová 13, 04001 Košice
ISBN: 978-80-8143-080-0

Venované Adamovi Havlíkovi

Podakovanie

Touto cestou chceme poďakovať všetkým kolegom a priateľom za podnety a pripomienky pri tvorbe monografie, ale aj za nezištnú pomoc pri jej finalizácii. Osobitná vďaka patrí pánovi Ing. Dušanovi Oráčovi, PhD. za jeho pomoc pri editácii monografie.

Ďakujeme oponentom za ich trpezlivosť a precíznu kontrolu rukopisu, ako aj za podnetné a inšpiratívne námety pre ukončenie diela.

Vyslovujeme vďaku rodine, rodičom a blízkym priateľom za ich podporu a stálu inšpiráciu.

Ďakujeme Hutníckej fakulte za vzdelanie a tvorivú atmosféru, v ktorej táto monografia vznikala.

V neposlednom rade ďakujeme našim študentom, ktorí svojou prácou a tvorivými myšlienkami často inšpirujú aj nás.

Zdar Boh !

autori

OBSAH

PREDHOVOR.....	1
1 VÝROBA HLINÍKA	3
1.1 HLINÍK, KOV TRETIHO TISÍCROČIA.....	5
1.2 PRIMÁRNA VÝROBA HLINÍKA	8
1.3 SEKUNDÁRNA VÝROBA HLINÍKA	14
1.4 VÝZNAM RECYKLÁCIE HLINÍKA	17
1.5 POUŽITÁ LITERATÚRA	22
2 CHARAKTERISTIKA SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA A JEHO ZDROJE	25
2.1 CHARAKTERISTIKA SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA	25
2.2 LEGISLATÍVNE ÚPRAVY V OBLASTI HLINÍKOVÝCH KOVOVÝCH ODPADOV	28
2.3 ZDROJE SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA.....	34
2.3.1 <i>Vyradené vozidlá ako významný zdroj sekundárneho hliníka</i>	<i>37</i>
2.4 POUŽITÁ LITERATÚRA	41
3 VZORKOVANIE A ÚPRAVA HLINÍKOVÝCH ODPADOV.....	43
3.1 VZORKOVANIE HLINÍKOVÝCH ODPADOV	44
3.2 ROZMEROVÁ ÚPRAVA HLINÍKOVÝCH ODPADOV	46
3.2.1 <i>Drvenie</i>	<i>46</i>
3.2.2 <i>Zhutňovanie</i>	<i>50</i>
3.3 TERMICKÁ ÚPRAVA HLINÍKOVÝCH ODPADOV	53
3.3.1 <i>Odstraňovanie povlakov a dekontaminácia hliníkového šrotu</i>	<i>53</i>
3.4 CHEMICKÁ ÚPRAVA HLINÍKOVÝCH ODPADOV	59
3.5 POUŽITÁ LITERATÚRA	61

Obsah

4	METÓDY SEPARÁCIE HLINÍKA Z ODPADOV	64
4.1	METÓDY SUCHEJ SEPARÁCIE	65
4.1.1	<i>Magnetická separácia</i>	65
4.1.2	<i>Separácia vírivými prúdmi</i>	67
4.1.3	<i>Elektrostatická separácia</i>	69
4.1.4	<i>Vzduchové triedenie</i>	71
4.1.5	<i>Separácia vo fluidnom lôžku</i>	73
4.1.6	<i>Triedenie šrotu pomocou senzorov</i>	74
4.2	METÓDY MOKREJ SEPARÁCIE	79
4.2.1	<i>Rozdružovanie v ťažkých suspenziách (metóda sink – float)</i>	79
4.2.2	<i>Selektívne leptanie</i>	81
4.3	POUŽITÁ LITERATÚRA	82
5	TAVENIE, RAFINÁCIA A LEGOVANIE SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA.....	85
5.1	TAVIACE PECE	87
5.1.1	<i>Nistejové pece</i>	88
5.1.2	<i>Rotačné pece</i>	90
5.1.3	<i>Plynové kelímkové pece</i>	93
5.1.4	<i>Elektrické nistejové pece</i>	93
5.1.5	<i>Elektrické kelímkové pece</i>	94
5.1.6	<i>Šachtové (vežové) pece</i>	94
5.1.7	<i>Indukčné pece</i>	94
5.1.8	<i>Vycedzovacie pece</i>	95
5.1.9	<i>Alternatívne spôsoby tavenia hliníka</i>	97
5.2	HORÁKY PRE PALIVOVÉ PECE	99
5.2.1	<i>Konvenčné horáky</i>	99
5.2.2	<i>Horáky obohatené kyslíkom</i>	99
5.2.3	<i>Ponorné horáky</i>	100
5.2.4	<i>Sálavé trubice</i>	100
5.2.5	<i>Regeneračné systémy</i>	101
5.3	STRATY PRI TAVENÍ HLINÍKA A OPATRENIA NA ZNÍŽENIE STRÁT	102
5.3.1	<i>Faktory vplývajúce na straty pri tavení</i>	106

Spracovanie a recyklácia hliníkových odpadov

5.3.2	Progresívne technológie zamerané na zníženie strát pri tavení hliníka	115
5.4	OŠETRENIE A RAFINÁCIA TAVENINY SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA.....	120
5.4.1	Výskyt nečistôt a ich odstraňovanie z taveniny.....	120
5.4.2	Aplikácia tavidiel a rafinačných solí pri spracovaní sekundárneho hliníka.....	124
5.4.3	Odplynenie sekundárneho hliníka	127
5.4.4	Odstraňovanie vmestkov.....	135
5.5	SLEDOVANIE KVALITY KOVU	136
5.5.1	Meranie koncentrácie vodíka	136
5.5.2	Detekcia inklúzií.....	137
5.6	LEGOVANIE SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA A PRÍPRAVA ZLIATIN	139
5.6.1	Štruktúra a vlastnosti zliatin hliníka.....	141
5.6.2	Označovanie a charakteristika zliatin hliníka	144
5.6.3	Praktické aspekty.....	150
5.7	ŠPECIÁLNE SPÔSOBY RAFINÁCIE SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA	160
5.7.1	Elektrorefinácia.....	161
5.7.2	Frakčná kryštalizácia	162
5.7.3	Zonálne tavenie	164
5.7.4	Rafinácia hliníka pomocou sub – zlúčenín	164
5.7.5	Využitie vákuovej destilácie pri recyklácii Al – Li zliatin.....	167
5.7.6	Rafinácia zinkom	167
5.8	POUŽITÁ LITERATÚRA	167
6	ENVIRONMENTÁLNE ASPEKTY SEKUNDÁRNEJ VÝROBY HLINÍKA ...	175
6.1	TUHÉ A KVAPALNÉ ODPADY.....	175
6.2	EMISIE PRI SEKUNDÁRNEJ VÝROBE HLINÍKA	181
6.3	POUŽITÁ LITERATÚRA	191
7	TECHNOLÓGIE NA RECYKLÁCIU VYBRANÝCH HLINÍKOVÝCH ODPADOV	195
7.1	TECHNOLÓGIA SPRACOVANIA POUŽITÝCH HLINÍKOVÝCH PLECHOVIEK.....	195
7.2	RECYKLÁCIA A ZÍSKAVANIE HLINÍKA Z ODPADU Z ELEKTRICKÝCH A ELEKTRONICKÝCH ZARIADENÍ A STARÝCH VOZIDIEL	200

Obsah

7.3	RECYKLÁCIA TENKOSTENNÝCH HLINÍKOVÝCH ODPADOV „ZA STUDENA“	206
7.4	TECHNOLÓGIE NA ZÍSKAVANIE HLINÍKA Z VIACVRSTVOVÝCH KOMBINOVANÝCH MATERIÁLOV	210
7.5	RECYKLÁCIA HLINÍKA NA SLOVENSKU A JEJ PERSPEKTÍVY	213
7.6	NEKONVENČNÉ METÓDY RECYKLÁCIE HLINÍKOVÝCH ODPADOV	220
7.6.1	<i>Možnosti recyklácie hliníkového šrotu pre prípravu zliatin pre lisovanie...</i>	220
7.6.2	<i>Získavanie vodíka spracovaním hliníkových odpadov.....</i>	221
7.7	POUŽITÁ LITERATÚRA	223
8	RECYKLÁCIA HLINÍKOVÝCH STEROV	227
8.1	CHARAKTERISTIKA HLINÍKOVÝCH STEROV	230
8.1.1	<i>Termodynamické aspekty vzniku hliníkových sterov.....</i>	233
8.1.2	<i>Charakteristika bielych sterov.....</i>	235
8.1.3	<i>Charakteristika čiernych sterov.....</i>	239
8.2	LISOVANIE STEROV	248
8.3	METÓDY DETOXIKÁCIE ALEBO INERTIZÁCIE HLINÍKOVÝCH STEROV	250
8.3.1	<i>Hydrometalurgický spôsob inertizácie sterov.....</i>	250
8.3.2	<i>Termický spôsob inertizácie sterov.....</i>	250
8.3.3	<i>Fyzikálne spôsoby úpravy alebo spracovania sterov.....</i>	251
8.4	PYROMETALURGICKÉ SPÔSOBY SPRACOVANIA STEROV	261
8.4.1	<i>Pyrometalurgické technológie v praxi.....</i>	261
8.4.2	<i>Experimentálny výskum a poloprevádzkové testy spracovania sterov pyrometalurgickým spôsobom</i>	268
8.5	HYDROMETALURGICKÉ SPÔSOBY SPRACOVANIA STEROV	271
8.5.1	<i>Metodika lúhovacieho experimentu.....</i>	275
8.5.2	<i>Získavanie solí z hliníkových sterov a soľných trosiek</i>	277
8.5.3	<i>Získavanie látok na báze hliníka zo sterov zásaditými postupmi.....</i>	284
8.5.4	<i>Získavanie využiteľných látok zo sterov kyslými postupmi</i>	297
8.6	PRÍPRAVA KERAMICKÝCH A ŠPECIÁLNYCH MATERIÁLOV Z HLINÍKOVÝCH STEROV.....	317
8.6.1	<i>Syntéza nitridovej keramiky.....</i>	317
8.6.2	<i>Príprava kompozitných materiálov.....</i>	319
8.6.3	<i>Príprava žiaruvzdorných materiálov.....</i>	322

Spracovanie a recyklácia hliníkových odpadov

8.6.4	<i>Príprava ľahčených konštrukčných materiálov</i>	323
8.6.5	<i>Výroba cementu</i>	323
8.7	MOŽNOSTI PRIAMEHO VYUŽITIA JEMNOZRNNÝCH HLINÍKOVÝCH STEROV	324
8.7.1	<i>Aplikácia práškových sterov do elektrolyzérov</i>	325
8.7.2	<i>Dezoxidačné činidlo pre výrobu ocele</i>	326
8.7.3	<i>Troskotvorné prísady pri výrobe ocele</i>	327
8.7.4	<i>Odsírovacie činidlo pre ocel'</i>	329
8.7.5	<i>Endotermická prísada do tavenín hliníka „Alcool“</i>	329
8.7.6	<i>Exotermické zásypy pri odlievaní</i>	329
8.8	KOMERČNÉ TECHNOLOGIE SPRACOVANIA HLINÍKOVÝCH STEROV V PRAXI	331
8.8.1	<i>Proces KVS Ekodivize</i>	331
8.8.2	<i>Proces firmy Alumitech</i>	333
8.8.3	<i>Proces spoločnosti JBMI Group</i>	334
8.8.4	<i>Technológia STE, Engitec Technologies</i>	335
8.8.5	<i>Technológia spoločnosti Befesa</i>	336
8.8.6	<i>Technológia Kobe steel`s Aluminium, závod Japonsko</i>	337
8.8.7	<i>Poloprevádzkové testy na získavanie kamencov zo sterov v Indii</i>	338
8.9	PERSPEKTÍVY KOMPLEXNEJ RECYKLÁCIE STEROV V PODMIENKACH SR	339
8.10	POUŽITÁ LITERATÚRA	344

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	355
---	------------

REGISTER	359
-----------------------	------------

Predhovor

Mnohé javy ľudskej činnosti vzbudia pozornosť až vtedy, keď začnú negatívne pôsobiť na zámery a ciele, ktoré si spoločnosť pred seba postavila alebo na niektorý úsek spoločenského života. Nie je to inak ani pri výrobe hliníka.

Hliník je v súčasnosti najviac používaný neželezný kov na svete a do roku 2018 sa odhaduje ročná svetová spotreba na viac ako 70 miliónov ton. Výroba hliníka je komplikovaný a náročný proces z hľadiska technologického, energetického, materiálového aj technického a výsledkom je okrem samotného kovu aj vznik množstva rôznych odpadov a vedľajších produktov. Mnohé z nich sú škodlivé a pôsobia negatívne na životné prostredie, navyše nie sú adekvátne spracované a zároveň nie je využitý ich potenciál ako druhotnej suroviny.

Hliník je relatívne ľahko recyklovateľný kov a preto je výhodné spracovávať čo najviac odpadov a vyrábať sekundárny hliník a šetriť tým primárne zdroje a hlavne energiu. Na výrobu sekundárneho hliníka sa spotrebuje len asi 5 % energie, potrebnej na výrobu primárneho hliníka. Materiálový tok ľubovoľnej výroby v samej svojej podstate zahŕňa dobývanie suroviny pre výrobu, samotnú výrobu a použitie výrobku. V každom z týchto krokov vznikajú straty – odpady a vedľajšie produkty.

Ideálny materiálový tok predstavuje uzavretý cyklus, kde výstup (odpad) z jedného procesu je vstupnou surovinou pre ďalší proces. Len dokonalé stopovanie a pochopenie toku materiálu s jeho všetkými vstupmi a výstupmi môže pomôcť zvýšiť účinnosť procesu a ponúknuť zlepšenia v oblasti výroby, environmentálnej technológie a manažmentu odpadov. Preto je potrebné hľadať neustále cesty na zlepšovanie súčasného stavu v oblasti nakladania s odpadmi a približovať sa čo najviac k maloodpadovým technológiám, kde každý vedľajší produkt výroby bude výlučne druhotnou surovinou a nie odpadom – vecou, ktorú nikto nepotrebuje.

Predložená monografia je určená najmä poslucháčom bakalárskeho, inžinierskeho a doktorandského štúdia v študijnom odbore **Environmentálne inžinierstvo (4.3.2)**, v študijnom programe *Spracovanie a recyklácia odpadov* a študijnom odbore **Hutníctvo (5.2.39)** v študijnom programe *Hutníctvo neželezných kovov* na Hutníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach a mala by slúžiť na prehĺbenie znalostí v oblasti výroby, spracovania a recyklácie hliníka. Zároveň je však určená aj pre širokú odbornú a laickú verejnosť.

Monografia má za úlohu priblížiť poslucháčom súčasnú situáciu vo výrobe hliníka a jeho zdrojoch. V ôsmich kapitolách prevedie čitateľa od

Predhovor

charakteristiky sekundárneho hliníka, vzorkovania, metód separácie a úpravy hliníkových odpadov, cez tavenie a oštiepenie taveniny pred odlieváním a tvorbou zliatin až k spracovaniu významnej skupiny odpadov – hliníkových sterov. Rovnako tiež mapuje odpady, ktoré vznikajú pri tejto sekundárnej výrobe hliníka.

Súčasťou monografie je aj niekoľko príkladov pre lepšie pochopenie problematiky a spätnú väzbu a na konci každej kapitoly je základný súbor literatúry, ktorá napomohla pri zostavovaní textu.

Ambíciou autorov je poskytnúť materiál na rozšírenie si obzoru v oblasti výroby a spracovania hliníka okrem poslucháčov spomínaného štúdia aj širšej odbornej verejnosti.

Táto monografia vznikla aj za podpory Agentúry pre podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-20-013405. Autori zároveň touto cestou vyjadrujú vďaku sponzorom, bez finančnej podpory ktorých by monografia nemohla byť vydaná, menovite:

Slovalco, a.s.

Taval, spol. s r.o.

Confal a.s.

KOVOHUTĚ HOLDING DT, a.s., divize Kovohutě Mníšek

Hutnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach

Fond. R. Kammela, n.f.

Autori