

การศึกษาวิเคราะห์แอกกรีชันที่เกิดขึ้นในบริเวณแคตเทลอร์  
ของเคาตสูงนิกเกิดแฟลชเมลติง



นาย เมธี สุจิตพัฒนา

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
พ.ศ. 2539  
ISBN 974-634-752-7  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17362386

**ANALYSIS OF ACCRETIONS FROM THE SETTLER  
OF A NICKEL FLASH SMELTING FURNACE**

**MR. MAETEE SUJIWATTHANA**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Metallurgical Engineering  
Chulalongkorn University**


1996

ISBN 974-634-752-7


**Thesis Title**            Analysis of Accretions from the Settler of a  
                                  Nickel Flash Smelting Furnace.  
**By**                             Mr. Maetee Sujiwatthana  
**Department**            Metallurgical Engineering  
**Thesis Advisor**        Assistant Professor Dr. Chatchai Somsiri

---

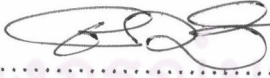
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in  
Partial Fulfillment of the requirements for the Master's Degree/

  
..... Dean of Graduate School  
(Associate Professor Santi Thoongsuwan, Ph.D.)

**Thesis Committee**

  
..... Chairman  
(Sumalee Vongchan, Ph.D.)

  
..... Thesis Advisor  
(Assistant Professor Chatchai Somsiri, Ph.D.)

  
..... Member  
(Charkorn Jarupisitthorn, M.E.)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เมธี สุจิตวัฒนา : การศึกษาวิเคราะห์แอกริชั่นที่เกิดขึ้นในบริเวณเขตเทลเลอร์ของเตาถลุงนิกเกิลแฟลช  
สเมลติง (ANALYSIS OF ACCRETIONS FROM THE SETTLER OF A NICKEL  
FLASH SMELTING FURNACE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ฉัตรชัย สมศิริ,  
101 หน้า, ISBN 974-634-752-7

แอกริชั่นก็คือวัสดุพอกพูน (Deposited Material) ที่ก่อตัวขึ้นในเตาถลุงนิกเกิลแฟลช  
สเมลติง เช่น บริเวณรีแอคชั่นชาร์ป (Reaction Shaft), เขตเทลเลอร์ (Settler) และอัฟเทคชาร์ป  
(Uptake Shaft) จากการทดสอบพบว่าแอกริชั่นประกอบไปด้วยเฟสของ  $(Ni, Fe)_2SiO_4$  และ โอลิวีน  
 $(2(Mg, Fe)O \cdot SiO_2)$  ในการวิเคราะห์ฝุ่นที่เกิดขึ้นในเตาถลุงพบว่าฝุ่นประกอบด้วยเฟส โอลิวีน  
(Olivine) และ  $Fe_3O_4$  Spinel ที่มีส่วนผสมของเหล็กในปริมาณต่ำ

การศึกษากลไกในการฟอร์มตัวของแอกริชั่นศึกษาโดยการเปรียบเทียบโครงสร้างและส่วนผสมทางเคมี  
ระหว่างแอกริชั่นที่ได้จากเตาถลุง, ฝุ่นจากเตาถลุง และแอกริชั่นที่สร้างขึ้นในห้องทดลองโดยใช้ฝุ่นที่เก็บมาจากเตา  
ถลุงมาให้ความร้อนที่ 1523-1723 เคลวิน โดยควบคุมความดันออกซิเจนภายในเตาดัง (Vertical Tube  
Furnace) ซึ่งเป็นเตาที่ใช้ในการทดลอง จากการทดลองพบว่าแอกริชั่นที่สร้างจากการทดลองประกอบไปด้วย  
เฟสของ สารละลายของแข็งของ  $(Ni, Mg)_2SiO_4$  และ  $Fe_3O_4$  Spinel ในการเปรียบเทียบโครงสร้างและส่วนผสม  
ทางเคมีของวัสดุทั้งสามชนิดชี้ให้เห็นว่า แอกริชั่นที่ฟอร์มตัวในเตาส่วนหนึ่งเกิดมาจากฝุ่นที่อยู่ภายในเตา ในขั้น  
แรกแอกริชั่นประกอบไปด้วย  $Fe_2O_3$  Spinel และ โอลิวีน (Olivine) จากนั้น  $Fe_2O_3$  Spinel จะ  
เปลี่ยนไปเป็น  $(Ni, Fe)_2SiO_4$  เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของนิกเกิลในเฟสทั้งสองและปฏิกิริยาระหว่าง  $SiO_2$  กับ  
 $Fe_3O_4$  Spinel.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .....วิศวกรรมโลหการ.....  
สาขาวิชา .....วิศวกรรมโลหการ.....  
ปีการศึกษา .....2539.....

ลายมือชื่อนิติต ..... เมธี สุจิตวัฒนา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C518651: MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: ACCRETION/FLASH SMELTING FURNACE/DEPOSITED MATERIAL/METAL OXIDE

MAETEE SUJIWATTHANA : ANALYSIS OF ACCRETIONS FROM THE SETTLER OF A NICKEL FLASH SMELTING FURNACE, THESIS  
ADVISOR : ASST. PROF. CHATCHAI SOMSIRI, Ph.D. 101 PP.  
ISBN 974-634-752-7

Accretions from beneath the reaction shaft and the settler of a nickel flash smelting furnace were subjected to chemical, optical microscope and scanning electron microscope analysis. Accretions are deposited materials which build-up on the reaction shaft, uptake shaft throat and walls of flash furnace.

The accretions consisted mainly of  $(Ni,Fe)_2SiO_4$ , and olivine  $2(Mg,Fe)O.SiO_2$ . Dust collected from the Kalgoorlie Nickel Flash Furnace was investigated by optical and scanning electron microscope and contained  $(Ni,Fe)_2SiO_4$ , spinel and olivine with a low iron content. The mechanism of accretion formation was studied by heating dust from the Kalgoorlie flash furnace over the temperature range 1523 to 1723 K at known oxygen pressures which were controlled by  $CO/CO_2$  gas mixtures. The results showed that temperature and oxygen pressure have an effect on the composition of the  $Fe_3O_4$  spinel and orthosilicate, especially the iron, nickel and silica contents. The composition of these accretions consisted of small grains of  $Fe_3O_4$  spinel and a solid solution series of  $(Ni, Mg)_2SiO_4$ .

Comparison of the laboratory accretion, furnace dust and accretion samples indicated that the furnace accretion was probably formed by the dust sticking to the wall of the flash furnace. The original accretion should be a  $Fe_3O_4$  spinel and olivine. During formation, the  $Fe_3O_4$  spinel was probably altered to be  $(Ni,Fe)_2SiO_4$  because of the addition of nickel oxide, and the reaction with  $SiO_2$  in olivine.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิศวกรรมโลหการ

ภาควิชา.....

วิศวกรรมโลหการ

สาขาวิชา.....

2539

ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## ACKNOWLEDGEMENTS

Many others have contributed greatly to the completion of his thesis and in particular he would like to thank:

Dr. Neil B. Gray, Dr. Andrew Kylo, Assistant Professor Dr. Chatchai Somsiri, Dr. Sumalee Vongchan, and Charkorn Jarupisitthorn for their enthusiasm, experience, invaluable advice, and friendship as supervisors during the period of this project.

Waugh, J. A. for her samples and information, invaluable advice, and suggestion during the period of this project.

Technical services team at G.K. Williams Cooperative Reserve Centre for their technical assistance during the course of this work.

Thank also to all postgraduate students at G.K. Williams Cooperative Research Centre who made him feel welcome.

He would also like to acknowledge financial assistance provided by the Chulalongkorn University, National Science and Technology Development Agency, and Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

## LIST OF CONTENTS

ABSTRACT (IN THAI).....	iv
ABSTRACT (IN ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGMENTS.....	vi
LIST OF CONTENTS .....	vii
LIST OF TABLES .....	x
LIST OF FIGURES.....	xi
CHAPTER 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPTER 2 LITERATURE REVIEW .....	5
2.1 OUTOKUMPU FLASH SMELTING FURNACE .....	5
2.2 THE CONCENTRATE BURNER .....	7
2.3 CHEMICAL REACTION IN FLASH SMELTING. ....	10
2.4 OXYGEN PARTIAL PRESSURE IN FLASH SMELTING .....	13
2.5 CHEMISTRY OF ACCRETIONS AND PREVIOUS EXPERIMENTS. ....	18
2.6 METAL OXIDE SYSTEMS RELEVANT TO ACCRETIONS.....	20
2.7 SUMMARY .....	22
CHAPTER 3 OBJECTIVES .....	27
CHAPTER 4 EXPERIMENTAL METHOD .....	28
4.1 THE ACCRETION SAMPLE CODE.....	28
4.2 PREPARATION OF SAMPLES .....	29

4.3 RECREATED LABORATORY ACCRETIONS.....	29
<b>CHAPTER 5 EXPERIMENTAL RESULTS .....</b>	<b>34</b>
5.1 INTRODUCTION .....	34
5.2 MICROSTRUCTURE OF ACCRETION SAMPLES FROM KALGOORLIE.....	34
5.2.1 ACCRETION SAMPLES FROM G-BURNER PORT .....	34
5.2.2 ACCRETION SAMPLES FROM H-BURNER PORT .....	35
5.2.3 ACCRETION SAMPLES FROM APPENDAGE. ....	36
5.3 MICROSTRUCTURE OF THE DUST SAMPLES FROM KALGOORLIE.....	36
5.4 SEM RESULTS FROM KALGOORLIE ACCRETION SAMPLES.....	43
5.4.1 G-3 BURNER PORT SAMPLE .....	43
5.4.2 CHEMICAL COMPOSITION AND MICROSTRUCTURE OF THE LAMELLAR STRUCTURE IN.....	45
5.4.3 CHEMICAL COMPOSITION OF THE H-BURNER PORT ACCRETION.....	45
5.5 CHEMICAL COMPOSITION OF THE DUST SAMPLES .....	47
5.6 THE OPTICAL MICROSTRUCTURE OF LABORATORY ACCRETIONS.....	49
5.7 THE INVESTIGATION OF LABORATORY ACCRETIONS USING SEM.....	55
<b>CHAPTER 6 DISCUSSION .....</b>	<b>57</b>
6.1 INTRODUCTION .....	57
6.2 THE ACCRETION COMPOSITION FROM KALGOORLIE NICKEL FLASH SMELTING.....	57
6.3 COMPOSITION OF DUST FROM KALGOORLIE	



FLASH FURNACE.....	62
6.4 COMPOSITION OF LABORATORY ACCRETION.....	66
6.4.1 COMPOSITION OF LABORATORY ACCRETION.....	66
6.4.2 EFFECT OF OXYGEN POTENTIAL ON ACCRETION MICROSTRUCTURE.....	70
6.4.3 EFFECT OF TEMPERATURE ON LABORATORY ACCRETIONS.....	71
6.4.5 CORRELATING STRUCTURE BETWEEN DUST, FURNACE AND LABORATORY ACCRETIONS.....	75
6.5 SUMMARY.....	80
<b>CHAPTER 7 CONCLUSION AND RECOMMENDATION.....</b>	<b>82</b>
7.1 INTRODUCTION.....	82
7.2 CONCLUSION.....	82
7.3 RECOMMENDATIONS FOR FUTURE WORK.....	84
REFERENCES.....	86
APPENDIX.....	90
APPENDIX A METHOD OF CONTROLLING OXYGEN PRESSURE.....	91
APPENDIX B ACCRETION MICROSTRUCTURE.....	96
BIOGRAPHY.....	101

## LIST OF TABLES

1.1	NICKEL CONCENTRATE FLASH SMELTERS .....	3
1.2	EXAMPLE OF NICKEL AND COPPER FLASH SMELTING CONCENTRATES .....	4
2.1	CHEMICAL REACTION IN REACTION SHAFT .....	12
4.1	THE ETCHANTS USED IN MICROSTRUCTURE EXAMINATION .....	31
4.2	TEMPERATURE AND GAS COMPOSITION USED IN EXPERIMENTS .....	32
5.1	THE CHEMICAL COMPOSITION OF G-3 BURNER PORT SAMPLE .....	43
5.2	CHEMICAL COMPOSITION OF THE LAMELLAR STRUCTURE .....	45
5.3	CHEMICAL COMPOSITION OF H-BURNER PORT SAMPLE .....	46
5.4	CHEMICAL COMPOSITION OF THE DUST PARTICLE IN FIGURE 5.11. ...	46
5.5	CHEMICAL COMPOSITION OF THE STRUCTURES IN FIGURE 5.14 .....	47
5.6	CHEMICAL COMPOSITION OF 1353-40 SAMPLE .....	54
5.7	CHEMICAL COMPOSITION OF 1403-40 SAMPLE .....	56
6.1	COMPARISON RATIO OF % ELEMENT IN SPINEL/ORTHOSILICATE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE .....	73
6.2	COMPARISON OF SPINEL AND OLIVINE PHASES OF FLASH FURNACE, LABORATORY ACCRETIONS AND DUST PARTICLES .....	78
6.3	COMPARISON RATIO OF % ELEMENT IN SPINEL/OLIVINE .....	78
A1	THE COMPOSITION OF CO/CO <sub>2</sub> GAS MIXTURE USING IN THIS EXPERIMENT .....	91

## LIST OF FIGURES

1.1	OUTOKUMPU FLASH FURNACE .....	2
1.2	INCO FLASH FURNACE.....	2
2.1	SCHEMATIC DRAWING OF THE ORIGINAL OUTOKUMPU FLASH SMELTING CIRCUIT .....	8
2.2	COMPARISON BETWEEN THE ORIGINAL AND INTEGRATED FLASH FURNACE LAYOUTS.....	8
2.3	CONVENTIONAL TYPE CONCENTRATE BURNER.....	9
2.4	NEW TYPE OF CONCENTRATE BURNER WITH REGULATOR.....	9
2.5	MODIFIED VENTURI TYPE BURNER.....	11
2.6	FLASH SMELTING FURNACE SHOWING LOCATION OF EMF MEASUREMENTS.....	11
2.7	REACTION MECHANISM IN REACTION SHAFT. ....	15
2.8	SCHEMATIC DIAGRAM OF OXYGEN POTENTIAL VARIATION ALONG THE FURNACE .....	16
2.9	VARIATION OF OXYGEN PRESSURE AT 1523 K WITH DEPTH FROM THE SLAG SURFACE. ....	16
2.10	INFLUENCE OF RECYCLE DUST ON OXYGEN PRESSURE.....	17
2.11	TERNARY DIAGRAM OF SYSTEM Fe-Ni-O .....	24
2.12	TERNARY DIAGRAM OF SYSTEM Fe-Ni-O AT 1277 K .....	25

2.13 THE SYSTEM $\text{FeO-MgO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ WITH DECREASING OXYGEN PRESSURE. ....	26
4.1 LOCATION OF COLLECTED ACCRETION SAMPLES IN FLASH FURNACE. ....	31
4.2 SCHEMATIC OF THE VERTICAL TUBE FURNACE.....	33
5.1 MICROSTRUCTURE OF G-3 SAMPLE .....	37
5.2 INCLUSION IN G-3 SAMPLE.....	37
5.3 LAMELLAR STRUCTURE IN G-BURNER PORT SAMPLE .....	38
5.4 MICROSTRUCTURE OF G-4 SAMPLE.....	38
5.5 MICROSTRUCTURE OF G-4 SAMPLE.....	39
5.6 MICROSTRUCTURE OF H-BURNER PORT SAMPLE.....	39
5.7 DENDRITIC STRUCTURE AND FINE DENDRITIC STRUCTURE OF H-BURNER PORT SAMPLE.....	40
5.8 MICROSTRUCTURE OF APPENDAGE SAMPLE.....	40
5.9 DENDRITIC STRUCTURE IN APPENDAGE SAMPLE.....	41
5.10 MICROSTRUCTURE OF DUST SAMPLE .....	41
5.11 DENDRITIC STRUCTURE IN DUST PARTICLES .....	42
5.12 DENDRITIC INTERGROWTHS IN DUST PARTICLES.....	42
5.13 MICROSTRUCTURE OF G-3 SAMPLE, (SEM).....	44
5.14 MICROSTRUCTURE OF DUST PARTICLE, (SEM).....	48
5.15 MICROSTRUCTURE OF 1353-40 SAMPLE. ....	51
5.16 COLUMNAR STRUCTURE AND DENDRITIC STRUCTURE IN 1353-40 SAMPLE .....	51

5.17 MATRIX OF LIGHT PHASES IN THE 1353-55 SAMPLE .....	52
5.18 DENDRITIC STRUCTURE AROUND THE PORES IN THE 1353-55 SAMPLE .....	52
5.19 MICROSTRUCTURE OF 1353-60 SAMPLE .....	53
5.20 MATRIX OF MAJOR PHASES AND DENDRITIC STRUCTURE AROUND THE PORES IN 1403-40 SAMPLE. ....	53
5.21 MICROSTRUCTURE OF 1403-50 SAMPLE. ....	54
6.1 SYSTEM $\text{FeO-MgO-SiO}_2$ .....	61
6.2 THE EFFECT OF NICKEL ADDITION TO $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ SYSTEM. ....	61
6.3 $\text{CaO-FeO-SiO}_2$ SYSTEM.....	64
6.4 $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ SYSTEM .....	64
6.5 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ SYSTEM.....	65
6.6 $\text{Cu}_2\text{S-Ni}_3\text{S}_2$ PHASE DIAGRAM. ....	65
6.7 PATH OF GAS FLOW IN KALGOORLIE FURNACE.....	68
6.8 THE SYSTEM $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ - FAYALITE .....	68
6.9 THE PSEUDOTERNARY OF $\text{NiO-MgO-SiO}_2$ SYSTEM.....	69
6.10 STRUCTURE WHICH IS BELIEVED TO BE FAYALITE.....	69
6.11 $\text{Fe-Ni-Si-O}$ SYSTEM AT 1200 °C.....	74
6.12 THE SCHEMATIC DIAGRAM OF FORMATION OF ACCRETION PHASES .....	79
B1 MICROSTRUCTURE OF G-3 SAMPLE. ....	97
B2 NICKEL METAL FORMED IN THE METAL SULPHIDE, G-3 SAMPLE.....	97

B3	MICROSTRUCTURE OF G-3 SAMPLE SHOWS THE LAMELLAR STRUCTURE.....	98
B4	UNKNOWN STRUCTURE IN G-4 SAMPLE.....	98
B5	DENDRITIC STRUCTURE OF SPINEL IN G-4 SAMPLES .....	99
B6	TERNARY EUTECTIC STRUCTURE OF $\text{FeO-Fe}_2\text{SiO}_4\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .....	99
B7	NICKEL METAL FORMED RIMS AROUND MAGNETITE-SPINEL, H-34 SAMPLES .....	100
B8	WUSTITE IN MAGNETITE-SPINEL, H-34 SAMPLES. ....	100



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย