

การศึกษาปฏิกิริยาของโลหะ-ตะกั่ว-ก๊าซ ในระหว่างการขจัดก๊าซในถัง สำหรับการผลิต  
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำยิ่งยวด และ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิเศษ

นาย โกสิย์ นวลเล่าห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2540  
ISBN 974-637-622-5  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**INVESTIGATION OF METAL/SLAG/GAS REACTIONS DURING  
TANK DEGASSING FOR THE PRODUCTION OF ULTRA LOW  
CARBON AND EXTRA LOW CARBON STEELS**

**Mr. Kosee Nounle**

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

**Department of Metallurgical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

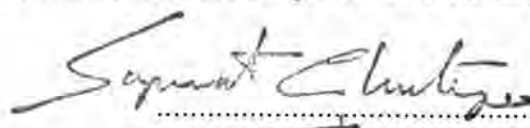
**Academic Year 1997**

**ISBN 974-637-622-5**

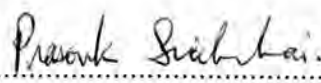
Thesis Title Investigation of Metal/Slag/Gas Reactions during Tank  
Degassing for the Production of Ultra Low Carbon and  
Extra Low Carbon Steels  
By Mr. Kosee Nounle  
Department Metallurgical Engineering  
Thesis Advisor Associate Professor Chatchai Somsiri, Ph.D.  
Thesis Co-advisor Assistant Professor Charkorn Jarupisitthorn, M.E.

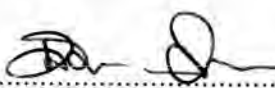
---


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


  
.....Dean of Graduate School  
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

#### THESIS COMMITTEE

  
.....Chairman  
(Assistant Professor Prasonk Sricharoenchai, D.Eng.)

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

  
.....Thesis Co-advisor  
(Assistant Professor Charkorn Jarupisitthorn, M.E.)

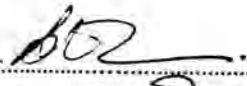
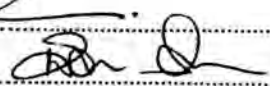
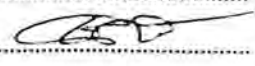
  
.....Member  
(Ittipon Diewwanit, Sc.D.)

โกสีย์ นวลเล่มห์ : การศึกษาปฏิกิริยาของโลหะ-ตะกั่ว-ก๊าซ ในระหว่างการขจัดก๊าซใน  
ถึงสำหรับการผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำยิ่งยวด และ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิเศษ  
(INVESTIGATION OF METAL/SLAG/GAS REACTIONS DURING TANK  
DEGASSING FOR THE PRODUCTION OF ULTRA LOW CARBON AND EXTRA  
LOW CARBON STEELS) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ฉัตรชัย สมศิริ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.  
ชาคร จารุพิสิฐธร, 171 หน้า. ISBN 974-637-662-5

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อการพัฒนาการป้อนน้ำเหล็กกล้าในขั้นที่สองโดยใช้เตา  
เคิล และ ถังลดคาร์บอนด้วยสูญญากาศและออกซิเจนสำหรับการผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำยิ่งยวด และ  
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิเศษ

ในการศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองสำหรับการผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำยิ่งยวดและเหล็ก  
กล้าคาร์บอนต่ำพิเศษ โดยใช้หลักการพื้นฐานของโลหวิทยาขั้นที่สองและการคำนวณพื้นฐานที่จำเป็น  
รวมทั้งสมมติฐานที่เหมาะสม แบบจำลองนี้ได้รับการทดสอบโดยการเปรียบเทียบกับการผลิตในอุตสาหกรรมที่โรงงานเหล็กกล้าคิงเงน สุตเทอ จีทีเอส ในประเทศเยอรมัน การขจัดกำมะถัน การขจัด  
ไนโตรเจน และการขจัดคาร์บอน รวมทั้งการควบคุมอุณหภูมิในทางปฏิบัติสามารถประยุกต์ใช้ได้กับ  
การผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิเศษและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำยิ่งยวด นอกจากนี้ข้อมูลและวิธีการ  
ปฏิบัติที่สำคัญทั้งหมดได้รับการสรุปเป็นปฏิบัติการพื้นฐานสำหรับการผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิเศษ  
และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำยิ่งยวด โดยใช้ เตาอาร์กไฟฟ้า-เตาเคิล-ถังลดคาร์บอนด้วยสูญญากาศและ  
ออกซิเจน

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโลหการ  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโลหการ  
ปีการศึกษา ..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต .....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... 

# #C818174 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: EAF / LHF / VOD / ULC / ELC / SECONDARY METALLURGY /  
DESULFURIZATION / DECARBURIZATION / DENITROGENIZATION / VACUUM  
DEGASSING

KOSEE NOUNLE : INVESTIGATION OF METAL/SLAG/GAS REACTIONS DURING  
TANK DEGASSING FOR THE PRODUCTION OF ULTRA LOW CARBON AND  
EXTRA LOW CARBON STEELS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHATCHAI  
SOMSIRI, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. CHARKORN  
JARUPISITTHORN, M.E. 171 pp. ISBN 974-637-662-5.

The objective of this work was to develop a practical secondary metallurgical  
treatment model for a production of ultra low carbon steel (ULC) and extra low carbon steel  
(ELC) via ladle heating furnace (LHF) and vacuum oxygen decarburization unit (VOD).


In this investigation, the secondary steel treatment model for production of ultra low  
carbon and extra low carbon steels was developed using fundamentals of secondary  
metallurgy and thermal and mass balance calculations with suitable assumptions. The model  
was tested by comparing to the industrial productions in the steel plant of Dillinger Huette  
GTS, Germany. The desulfurization, denitrogenization and decarburization practice as well as  
the process temperature control for the production of the ELC and ULC steel grades were  
reliable and applicable to the process. Furthermore, all important information and operation  
were summarized and simplified to render their applications practical for actual EAF-LHF-  
VOD operation.

ภาควิชา.....METALLURGICAL ENGINEERING


สาขาวิชา.....METALLURGICAL ENGINEERING

1997

ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express his sincere gratitude to his advisor, Assistant Professor Dr. Chatchai Somsiri and co-advisor Mr. Charkorn Jarupisitthorn. Acknowledgments are also extended to the other committee, Assistant Professor Prasonk Sricharoenchai and Dr. Ittipon Diewwanit.

The author also wishes to express the most sincere appreciation to Dr. Norbert Bannenberg and Dr. Helmut Lachmund for supervision as well as researchers and technicians of the Steelmaking research department of Dillinger Huette GTS, Germany who involve to this success.

The financial support by Nakornthai Strip mill, Thailand and Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand is gratefully acknowledged.

Finally, I would like to thank The Institute of Ferrous Metallurgy and Materials Science Technical University of Aachen, Germany.

## CONTENTS

	Page
Abstract (in Thai) .....	iv
Abstract (in English).....	v
Acknowledgements.....	vi
Contents.....	vii
List of Tables.....	xi
List of Figures.....	xiii
Chapter 1 Introduction.....	1
Chapter 2 Literature Review.....	5
2.1 Description of Nakornthai Strip Mill (NSM).....	5
2.1.1 Concept of NSM.....	5
2.1.2 Secondary metallurgy.....	7
2.2 Fundamentals of secondary metallurgical treatment.....	9
2.2.1 Desulfurization.....	9
2.2.2 Denitrogenization.....	17
2.2.3 Decarburization.....	30
2.2.4 Temperature control during secondary metallurgical treatment.....	43

Chapter 3	Model Foundation	48
3.1	Description of steel flow in the NSM meltshop	49
3.2	Metallurgical treatment of the model for ULC and ELC	52
3.2.1	Desulfurization practice	52
3.2.2	Aluminium addition practice	56
3.2.3	Slag forming practice	61
3.2.4	Denitrogenization practice	67
3.2.5	Decarburization practice	70
3.2.6	Temperature control during treatment	74
3.3	Information and basic treatment of ELC for NSM	86
3.4	Information and basic treatment of ULC for NSM	94
Chapter 4	Testing	103
4.1	Aim of the test	103
4.2	Description of vacuum tank degassing unit (TD) at Dillinger Huette GTS	103
4.3	Testing performance	106
4.4	Recorded data	108
4.4.1	Desulfurization of F56NBV	108
4.4.2	Denitrogenization of F56NBV	111
4.4.3	Decarburization of T41Ti	113



Chapter 6	Conclusions.....	136
References.....		138
Appendix.....		146
Biography.....		171

## LIST OF TABLES

Table	Page
1.1 The optimal conditions for secondary metallurgical treatments.....	4
3.1 Chemical compositions of crude steel, ELC, ULC.....	50
3.2 Function and time of ELC.....	90
3.3 Function and time of ULC.....	99
4.1 Compositions of considered steel grades .....	106
4.2 Sulfur contents, CaO addition, percent CaO in the slag before vacuum treatment and degree of desulfurization of F56NBV.....	109
4.3 Nitrogen contents and degree of denitrogenization of F56NBV.....	111
4.4 Carbon and oxygen contents and the amount of carbon addition of T41Ti.....	113
4.5 Temperature drop, amount of additions and aluminium content of F56NBV during the period from tapping to before vacuum treatment.....	115
4.6 Temperature drop and amount of additions of F56NBV at tank degassing unit.....	116
4.7 Temperature drop and amount of additions of T41Ti during the time period from tapping to before vacuum treatment.....	117

4.8	Temperature drop and amount of additions of T41Ti at vacuum tank degassing unit.....	118
5.1	slag amount and desulfurization degree of F56NBV, ELC and ULC.....	122
5.2	Comparison of nitrogen content after vacuum treatment between model foundation and the industrial data of F56NBV.....	125
5.3	Temperature drop from tapping to before vacuum of the model and T41Ti.....	129
5.4	Temperature drop at TD of calculation and T41Ti.....	132
5.5	Temperature drop from tapping to before vacuum of the model and F56NBV.....	134
Appendix A The industrial data of the production of T41Ti		
	steel grade in Dillinger Huette GTS, Germany.....	146
Appendix B The industrial data of the production of F56NBV		
	steel grade in Dillinger Huette GTS, Germany.....	158

## LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 Lime saturation index in the system $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ .....	10
2.2 Desulfurization depends on lime saturation index, aluminium content and the specific slag amount .....	11
2.3 Calculated sulfur partition coefficient between slag and metal at 1600 °C .....	15
2.4 Concentration profile of nitrogen at the bubble/metal interface .....	22
2.5 Schematic representation of denitrogenization by argon and local pressure during vacuum treatment.....	23
2.6 Decrease of nitrogen content during vacuum treatment.....	24
2.7 Outline of decarburization and nitrogen desorption model.....	26
2.8 C-O equilibrium diagram at 1600 °C.....	31
2.9 Decarburization at each reaction site during vacuum treatment of the RH process.....	36
2.10 Evolution gas analysis during vacuum treatment in TD.....	38
2.11 Calculated remaining of carbon content as a function of time (logarithmic scale) during vacuum treatment in TD.....	39

2.12 Comparison between calculated and measured initial oxygen content.....	40
2.13 Waste gas composition from the VOD facility.....	41
2.14 Post combustion ratios in the VOD facility .....	42
2.15 Steel temperature loss dependent on time for different ladle empty times.....	46
2.16 Example for temperature evolution from the BOF to the tundish.....	47
3.1 Layout of NSM melt shop.....	51
3.2 Degree of desulfurization with various initial sulfur and final sulfur contents .....	54
3.3 Specific slag amount for desulfurization with various sulfur partition ratios.....	55
3.4 Aluminium addition for ULC.....	59
3.5 Aluminium addition for ELC.....	60
3.6 Selected slag composition in ternary CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> system.....	65
3.7 Amounts of CaO and Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> to form a lime saturated ladle slag.....	65
3.8 Total amount of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> from oxidation reaction.....	66
3.9 Vacuum denitrogenization time for various initial and final nitrogen contents.....	68
3.10 Vacuum denitrogenization time with various sulfur contents .....	69
3.11 Oxygen blowing time with different initial carbon content and oxygen blowing rate.....	73

3.12 The path of vacuum oxygen decarburization by oxygen blowing and vacuum operation for ULC .....	74
3.13 Temperature drop with various amounts of lime and alumina additions .....	77
3.14 Temperature decrease and temperature increase with various additions .....	79
3.15 Rough temperature consideration of ELC (which depends on desulfurization degree) .....	82
3.16 Rough temperature consideration of ULC (which depends on desulfurization degree) .....	83
3.17 Rough temperature profile of ELC with various degree of desulfurization .....	84
3.18 Rough temperature profile of ULC with various degree of desulfurization .....	85
3.19 S, N evolution and temperature profile of ELC .....	93
3.20 C, S, N evolution and temperature profile of ULC .....	102
4.1 Schematic arrangement installation of TD at Dillinger Hütte GTS .....	105
4.2 Sulfur content during the treatment steps of F56NBV .....	110
4.3 Nitrogen contents during the treatment steps of F56NBV .....	112
4.4 Carbon contents during the treatment steps of T41Ti .....	114
5.1 Carbon profile of ULC-model and T41Ti .....	127

5.2 Comparison of temperature drop from tapping to the start of vacuum between calculation and T41Ti .....	130
5.3 Comparison of temperature drop at TD between calculation and T41Ti.....	133
5.4 Comparison of temperature drop from tapping to start of vacuum between calculation and F56NBV .....	135