

การศึกษาถึงกระบวนการต่างๆที่ควบคุมอัตราการหลอมของส่วนผสมแก้ว



นาย พิษานนท์ สุวรรณชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-866-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019605 - I 16348813

STUDY ON THE PROCESSES CONTROLLING THE RATE
OF GLASS BATCH MELTING



Mr. Pichanon Suwannathada

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Materials Science

Chulalongkorn University

1993

ISBN 974-582-866-1

Thesis Title Study on the Processes Controlling the Rate of Glass
Batch Melting
By Mr. Pichanon Suwannathada
Department Materials Science
Thesis Advisor Dr. Reinhard Conradt
Assoc. Prof. Preeda Pimkhaokham



Accepted by the Graduate school, Chulalongkorn University in
Partial Fulfilment of the Requirments for the Master's Degree.

Thavorn Vajrabhaya
..... Dean of Graduate School
(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

Werasak Udomkitchdecha
..... Chairman
(Assist. Prof. Werasak Udomkitchdecha, Ph.D.)

Reinhard Conradt
..... Thesis Advisor
(Reinhard Conradt, Ph.D.)

P. Pimkhaokham
..... Thesis Co-advisor
(Assoc. Prof. Preeda Pimkhaokham)

Charassri Lorprayoon
..... Member
(Assoc. Prof. Charassri Lorprayoon, Ph.D.)

Supatra Jinawath
..... Member
(Assoc. Prof. Supatra Jinawath, Ph.D.)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

พิกษานนท์ สุวรรณธาดา : การศึกษากระบวนการต่างๆที่ควบคุมอัตราการหลอมของส่วนผสมแก้ว
(STUDY ON THE PROCESSES CONTROLLING THE RATE OF GLASS BATCH MELTING)
อ. ที่ปรึกษา : REINHARD CONRADT, Ph. D., อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ปรีดา พิมพ์ขาว
127 หน้า. ISBN 974-582-866-1

จุดมุ่งหมายแรกของงานวิจัยครั้งนี้คือ การศึกษากระบวนการต่างๆที่มีส่วนควบคุมอัตราการหลอมของส่วนผสมแก้ว โดยมุ่งศึกษา 3 กระบวนการหลักคือ การถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศภายในเตาหลอมมายังส่วนผสมแก้ว ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในส่วนผสม และการไหลออกของของเหลวที่เกิดจากปฏิกิริยามายังแก้วหลอมด้านล่าง จุดมุ่งหมายต่อมาคือ การพัฒนาวิธีการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการหลอมส่วนผสมแก้ว ในขนาดที่ใกล้เคียงกับอุตสาหกรรม และจุดมุ่งหมายสุดท้ายคือ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการหลอมของส่วนผสมแก้วที่มีสูตรต่างๆกัน

การทดลองนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ การทดลองขั้นต้นซึ่งใช้ตัวอย่างจำนวน 100 กรัม และการทดลองหลัก ซึ่งใช้ตัวอย่างในช่วงของ 10 กิโลกรัม ในการทดลองขั้นต้น เริ่มจากการนำส่วนผสมสูตรต่างๆ มาให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้อง จนถึง 900 องศาเซลเซียส วัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทาน และอุณหภูมิในส่วนผสม แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาลักษณะของปฏิกิริยาที่เกิด รวมทั้งอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเฟสของของเหลวโดยใช้เฟสโคแตรัม ในการทดลองหลักนั้น จะเริ่มจากการหลอมเศษแก้วจำนวน 7 กิโลกรัม รอจนอุณหภูมิขึ้นถึง 1200 องศาเซลเซียส จึงเทส่วนผสมลงไปบนแก้วหลอม เริ่มวัดการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆกันในส่วนผสม หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ สภาพต้านทาน และเวลา

จากการทดลองพบว่า อัตราการได้รับความร้อน ณ ตำแหน่งนั้นๆในส่วนผสมเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมอัตราการหลอมของส่วนผสมแก้ว นอกจากนี้ อัตราการได้รับความร้อนที่แตกต่างกันยังมีผลให้เกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน



ภาควิชา วัสดุศาสตร์
สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิกส์
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Reinhard Conradt
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม P. Pinkham

C425890 : MAJOR : CERAMICS TECHNOLOGY

KEY WORD: BATCH BLANKET / PRIMARY MELT / TEMPERATURE DISTRIBUTION / RESISTIVITY
PICHANON SUWANNATHADA : STUDY ON THE PROCESSES CONTROLLING THE RATE
OF GLASS BATCH MELTING. THESIS ADVISOR : REINHARD CONRADT, Ph.D.,
THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. PREEDA PIMKHAOKHAM. 127 pp. ISEN
974-582-866-1

The first objective of this thesis work is to study the processes controlling the rate of glass batch melting. The main focus is on three processes, i.e., heat transfer from the furnace atmosphere to the batch blanket, chemical reaction taking place in the blanket upon heating, and drainage flow from the blanket to the melts. The second objective is to develop a method suited for investigations in the field of batch melting in more realistic dimensions. Finally, the melting behavior of individual batches are observed.

The experimental procedure can be divided into two parts, i.e., the pre-tests on 100 g batches and the main tests on 10 kg batches. For the pre-tests, an individual raw material, or a selected combination of raw materials are heated from room temperature to 900°C. Both temperature and resistivity are continuously recorded. The primary liquid phase formation temperatures are determined by interpretation from the results and by consulting phase diagrams. For the main tests, 7 kg of cullet are molten first. When the temperature approaches 1200°C, 4 kg of typical soda lime glass batch is charged onto the melt. The temperature and resistivities at different positions in the batch blanket are recorded. The relation among temperature, resistivity, primary liquid phase formation, and the time are compiled. As a major results, the local heating rate is found to be the main parameter controlling the rate of glass batch melting.



ภาควิชา..... วัสดุศาสตร์
สาขาวิชา..... เทคโนโลยีเซรามิก
ปีการศึกษา..... 2535

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Reinhard Conradt
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... P. Pimkhakham



Acknowledgement

I would like to express my appreciation to those who have helped me in many ways. My greatest thanks goes to my parents for their constant encouragement; to Dr. Reinhard Conradt, who first introduced me to the field of glass science and continuously gave valuable advice; to Assoc. Prof. Preeda Pimkhaokham for his continuing interest. I would like to thank Bangkok Glass Industry for the kindness of providing raw materials and The Asahi Glass Foundation for financial support. In the preparation of this report, I am indebted to Miss Uraiwan Leela-adisorn, who advised me about the form in report writing.

Last but not least, I would like to acknowledge the assistance of Mr. Pisit Geasee and Miss Samkam in my investigations.

Pichanon Suwannathada

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



CONTENTS

	Page
Abstract (Thai)	iv
Abstract (English)	v
Acknowledgement	vi
List of tables	ix
List of figures	x
Chapter	
I Introduction	1
1.1 Motivation, Objective, and Scope	1
1.2 Literature survey	2
II Theoretical Part	3
2.1 A macroscopic picture of batch melting	3
2.2 Thermodynamics of batch melting	8
2.2.1 Low-liquidus melting of individual raw materials .	8
2.2.2 The sodium silicate reactions	11
2.2.3 The soda lime reaction and further reactions	18
2.3 Ionic mobility during liquid phase formation	21
III Experimental Part	23
3.1 Pre-tests	23
3.1.1 Research furnace	23
3.1.2 Thermocouple and resistivity probe	23
3.1.3 Materials and procedures	24
3.2 Main-tests	26
3.2.1 Research furnace	26
3.2.2 Thermocouple and resistivity probe	28
3.2.3 Materials and procedures	29

Chapter	page
IV Results	32
4.1 Pre-tests results	32
4.1.1 Results from individual raw materials	32
4.1.2 Results from combination of two raw materials ...	33
4.2 Main-tests results	36
4.2.1 Temperature distribution in the batch blanket....	36
4.2.2 Resistivity distribution in the batch blanket....	37
V Discussion	39
5.1 The liquid phase formation temperature	39
5.2 The variation of heating rate at different positions ..	43
5.3 Differential resistivity analysis	47
5.4 Isotherm and melting fronts in the batch blanket	49
VI Conclusion	52
Reference	54
Appendix	55
A Thermocouple calibration	56
B Heating characteristic before batch charging	59
C Individual batch composition	61
D Time, Resistivity, and Temperature data	74
E Variation of heating rate in the blanket	88
F Temperature-time distribution curves	90
G Resistivity-time distribution curves	97
H Resistivity-temperature distribution curves	104
I Isothermal and melting front diagrams	111
Vita	116

List of tables


Table	Page
2.1 Properties of low liquidus compounds	9
2.2 Properties of $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ and $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$	15
2.3 Some invariant point properties of $\text{Na}_2\text{O}\text{-CaO}\text{-SiO}_2$ system	17
2.4 Summary of relevant invariant points in different system	20
3.1 The ratio and raw materials used in the pre-tests	24
3.2 The compositions of individual batches in the main-tests	30
5.1 Summary data of T_{on} , T_{end} , and t_{end} in all batches	41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

List of figures

Figure	Page
2.1 Temperature profiles in the batch blanket	4
2.2 Melting fronts in the batch blanket	4
2.3 (a) Phase diagram of the systems $\text{NaNO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3$	10
2.3 (b) Phase diagram of the systems $\text{NaNO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$	10
2.3 (c) Phase diagram of the systems $\text{Na-K-CO}_3\text{-SO}_4$	10
2.4 Phase relation in the system Na-S-O-C	10
2.5 Phase relation in the system $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NS}_2$	10
2.6 A model for the reaction between SiO_2 and Na_2CO_3	11
2.7 The reaction of SiO_2 with Na_2CO_3 at 4:1 ratio	11
2.8 Phase diagram of the system $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$	13
2.9 Phase diagram of the system $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$, silica rich range ...	15
2.10 The system $\text{Na}_2\text{O-CaO-SiO}_2$, technically relevant range	17
2.11 Phase diagram of the system $\text{NaCl-Na}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3$	18
2.12 The system $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, technically relevant range	19
3.1 (a) Circuit for measuring resistivity, initial concept	25
3.1 (b) Circuit for measuring resistivity, final realization ...	25
3.2 The versatile melting furnace in the main-tests	27
3.3 Heating characteristic of the versatile melting furnace	28
3.4 An individual unit of resistivity and temperature probe	29
3.5 Arrangement of the sensors in the melting furnace	31
4.1 Resistivity vs. temperature in soda ash	33
4.2 Resistivity vs. temperature, 1:1 ratio soda:lime system	34
4.3 Resistivity vs. temperature, 1:1 ratio soda:sand system	34
4.4 Resistivity vs. temperature in soda-lime-sand system	35

Figure	Page
4.5 An example of the temperature distribution curve	37
4.6 An example of the resistivity distribution curve	38
5.1 An example of the resistivity vs. temperature curve	39
5.2 A method to determine T_{on} and T_{end}	40
5.3 The onset and end primary liquid phase formation model	42
5.4 Primary liquid phase formation temperatures at P_1 - P_4	42
5.5 The heating rate vs. positions of all batches	44
5.6 (a) The onset temperature vs. heating rate of all batches ..	46
5.6 (b) The end temperature vs. heating rate of all batches	46
5.7 The melting time vs. heating rate of all batches	47
5.8 Resistivity signals recorded from different batches	48
5.9 Isotherm and melting fronts in batch 05	49
5.10 Isotherm and melting fronts in batch 11	50
5.11 Isotherm and melting fronts in batch 01	51


 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย