



๑๓๕

การตรวจสอบการหลอมของชิ้นส่วนผสมแก้ว

นาย ชัชชวิทย์ เอี่ยมหน่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-832-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16659892

Investigation of the Melting of Glass Batch Blankets

Mr. Chatchavit Eiumnoh

A thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Material Science

graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-832-8



Thesis Title Investigation of the Melting of Glass Batch Blankets
By Mr.Chatchavit Eiumnoh
Department Material Science
Thesis Advisor Dr.Reinhard Conradt
Assoc.Prof.Preeda Pimkhaokham

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

Santi Thoongsuwan

..... Dean of Graduate School
(Assoc.Prof.Santi Thoongsuwan, Ph.D.)

Thesis Committee

Wit Uthit

..... Chairman
(Assoc.Prof. Werasak Udomkichdecha, Ph.D.)

Reinhard Conradt

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

P. Pimkhaokham

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

Charussri Lorprayoon

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

Supatra Jinawath

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

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชัชชวิทย์ เอี่ยมหน่อ : การตรวจสอบการหลอมของชิ้นส่วนผสมแก้ว (INVESTIGATION OF THE MELTING OF GLASS BATCH BLANKETS) อ.ที่ปรึกษา : ดร.โรนัลด์ คอนราดท์
อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ปรีดา พิมพ์ขาวำ, 104 หน้า. ISBN 974-632-832-8

ได้มีการตรวจสอบพฤติกรรมของการหลอมของส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับหลอมแก้วโดยการบันทึกอุณหภูมิและความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะที่ ได้พัฒนาวิธีการบันทึกข้อมูลอย่างรวดเร็วและเป็นอัตโนมัติขึ้นมา ระบบสำหรับการบันทึกข้อมูลประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์, ส่วนที่ใช้แปลสัญญาณจากอนุภาคเป็นดิจิทัลและ ส่วนขยายสัญญาณ การทดลองกับส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับหลอมแก้วในช่วง 100 กรัม แสดงให้เห็นแต่ละเหตุการณ์เกี่ยวกับอุณหภูมิ ซึ่งสามารถบอกความถูกต้องถึง ± 2 เคลวิน

การทดลองกับส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับหลอมแก้วในหน่วยกิโลกรัม (4 กิโลกรัมของส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับหลอมแก้วที่เติมลงบน 7 กิโลกรัมของเศษแก้วที่หลอมเหลว) กระทำในเตาแก๊ส เศษแก้วที่หลอมเหลวได้รับความร้อนจากเตาไฟฟ้าที่มีกำลัง 3 กิโลวัตต์ ซึ่งแยกเป็นอิสระจากบรรยากาศภายนอก ก่อนจะป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เตา ทั้งอุณหภูมิบรรยากาศและแก้วที่หลอมควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 1200°C ได้พัฒนาระบบการป้อนวัตถุดิบทำให้สามารถป้อนวัตถุดิบได้ภายใน 30 - 45 วินาที การวัดอุณหภูมิและความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะที่ในส่วนผสมของวัตถุดิบสำหรับหลอมแก้วจะแบ่งเป็น 4 ชั้น ระดับความลึกจาก 0.5 - 5 ซม. เนื้อแก้วที่หลอมเหลว

ปัญหาจากการรบกวนทางไฟฟ้าและสัญญาณรบกวนอื่นๆ ได้แก้ไขด้วยวิธีทางฮาร์ดแวร์ ได้แก่การใช้สวิตช์รีเลย์ (relay) ปิดและเปิดชั้นของการวัดอย่างเป็นลำดับ ซึ่งแต่ละชั้นจะแยกจากกันอย่างแท้จริง, การกรองสัญญาณโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตัดความถี่ของสัญญาณรบกวน (low pass filter) และสวิตช์ที่จำกัดขีดในการตัดสัญญาณรบกวนที่มีขั้วสัญญาณสูง (Zener diode)

ผลการทดลองของส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับหลอมแก้วที่มีเศษแก้วผสม 0 - 90% โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าเศษแก้วจะทำให้เวลาในการหลอมส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับหลอมแก้วลดลงจาก 40 นาทีเป็น 20 นาที



ภาควิชา วัสดุศาสตร์

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต *Art Eiam*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Ronald Conradt*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *Prada*

C626056: MAJOR TECHNOLOGY CERAMIC

KEY WORD: PRIMARY MELT/GLASS BATCH/AUTOMATIC RECORDING
CHATCHAVIT EIUMNOH : INVESTIGATION OF THE MELTING OF
GLASS BATCH BLANKETS. THESIS ADVISOR : DR. REINHARD
CONRADT. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. PREEDA
PIMKHAOKHAM. Ed.D. 104 PP. ISBN 974-632-832-8

The melting behavior of technical glass batches is investigated by recording local temperatures and electrical resistivities. A method is developed which allows fast automatic data recording. The data recording system consists of a desktop computer, an analog to digital conversion unit and a multiplexer/amplifier unit. Test on batches in the 100 g range show that individual thermochemical events can be determined at an accuracy of ± 2 K.

Test in the kg range (4 kg of batch charged on top of 7 kg of cullet melt) are performed in a butane fired gas furnace. The cullet melt is heated independently by an electrical heater of 3 kW power. Prior to charging the batch, temperature of batch the atmosphere and the melt are set to 1200 °C. A newly developed charging device permits to charge the batch within 30 to 40 s. Local temperatures and electrical resistivities in the batch are determined at four different levels from 0.5 to 5 cm above the cullet melt.

Problems of electrical interference and noise are solved by hardware measures. This is a relay allowing to consecutively address the individual levels in a strictly separate way, these are low passes to filter out permanent noise, and threshold switches (Zener diodes) to cut off high peak noise.

A series of batches with cullet contents of 0 to 90 wt.% shows that cullet dramatically decreases the melting time from 40 to 20 min.

ภาควิชา..... วัสดุศาสตร์.....

สาขาวิชา..... เทคโนโลยีเซรามิก.....

ปีการศึกษา..... 2538.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *Chat Eiumnoh*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Reinhard Conradt*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *Preeda Pimkhaotham*.....



Acknowledgement

I am indebted to the following individuals and organizations for their constant support and encouragements towards the successful completion of this thesis work.

I am grateful to Dr. Reinhard Conradt, the advisor for his guidance, encouragements and support during the conduction of this thesis. The suggestions given by him during my thesis work were very valuable in bringing this research to the present state. I gained fruitful insights from my discussions with Dr. Werasak Udomkichdecha, Assoc. Prof. Preeda Pimkhaokham, Dr. Charassri Lorprayoon, and Dr. Supatra Jinawath.

I am thankful to Thai Ceramic Industrial Co., Ltd., and Ocean Glass Co., Ltd. who supplied me with the ceramic crucible, and cullet, respectively.

I am grateful to my beloved father and mother for their love, patience, sacrifice, understanding and support without which it would have been impossible to pursue this higher education. This thesis work is very humbly dedicated to them.

Gratitude is expressed to the students in the glass laboratory for helping my experiments, especially to Mr. Anochar Channual, Mr. Jettana Sritongsuk, and Mr. Thumtada Songserm.

Last but not the least, I am thankful to all the friends, officials, and financial support by Asahi Research Foundation, by the graduate school who helped me during this research period.



Contents

Chapter	Page
I Introduction	1
Motivation, and Scope	1
Objective	2
Literature survey	2
II Theoretical Part	4
Thermodynamic of batch melting	4
A. Direct melting	4
B. Sulfate reduction	4
C. Reactive carbonate melting	4
D. Reactive silicate melting	5
Macroscopic of batch melting	5
Temperature profile	6
Data reading	7
A. Thermocouple and electrode	7
1.) Thermocouple	7
2.) Electrode	8
B. Modes of connecting an analog data signal	9
1.) Floating reference input	10
2.) Non-floating reference input	10
3.) Disconnected ground input	11
Data processing	12
A. Hardware	12

Chapter	Page
B. Software	13
III Experimental Part	14
Computer facilities	14
Analog to Digital card (A/D card)	15
A. Setting address	16
B. Calibration the card	16
Data acquisition software	16
Amplifier with multiplexer board	17
A. Floating, Non-floating, and No ground test	18
1.) Test with potentiometer	18
2.) Test with thermocouple	18
B. High pass and low pass	18
Data processing	18
Probes (thermocouple and resistivity probe)	19
A. Thermocouple	19
B. Resistivity probe	20
C. Probe	21
Test in small scale	22
A. Research furnace	22
B. Test with one component	23
C. Test with two components	23
Large scale furnace	24
A. The lower furnace	24
B. The butane gas furnace	25
C. Batch charging system	26

Chapter	Page
Test in large scale furnace	27
A. Thermocouple and resistivity probes	27
B. Heating-up characteristics	28
C. Batch calculation	29
D. Data recording	31
E. First test with cullet free batch	31
F. Solving the problem of electrodes interference.....	32
1.) Increasing the distance between probes	32
2.) Changing the shape of the probes	30
3.) Making a new electrical circuit which provides a complete (“galvanic”) separation among the probes..	32
4.) High noise peak from the furnace	33
G. Solving the problem of the thermocouple	34
1.) Testing commercial glass batch in small scale test ..	34
2.) Use of capacitor to solve the problem	35
Additional test	35
A. Test the probes perpendicular and parallel to the gradient atmosphere	35
B. Test of melting temperature	35
Test of systems with varied amount of the cullet in the glass batch	35
IV Results and Discussion	36
Floating, non-floating, and no-ground modes	36
A. Potentiometer	36

Chapter	Page
B. Thermocouple	37
High pass and low pass test	39
Data processing	40
Resistivity blank test	42
Small scale test	42
A. Soda ash test	42
B. Soda ash + sand test	44
First test with cullet free batch on the large scale	47
A. Changing the probe shape	48
B. Auto switch	48
Small scale glass batch test	49
A. Test with low heating rate	49
B. Test with high heating rate	51
Additional test	53
A. Testing the probe perpendicular and parallel to the gradient temperature	53
B. Testing the thermal situation of the cullet melt	53
Test in large scale furnace with new system	55
A. Cullet free batch	55
B. 30% of cullet in the batch	55
C. 60% of cullet in the batch	56
D. 90% of cullet in the batch	56
V Conclusion	80
Recommendation	81

Chapter	Page
Reference	82
Appendices	84
Appendix A :Table for the NiCr-Ni type K thermocouple.....	85
Appendix B :Phase diagram	86
Vita	88

List of tables

Table	Page
3.1 Chemical composition of raw material (wt. %)	30
3.2 Amount of cullet in batch (by weight).....	30
3.3 The chemical composition of the batch	30
3.4 Compositions of the batches	31
3.5 Binary code set by the 2 channels D/A used to address 4 individual channels of the probes	33
4.1 The melting time in minute of each batch and each position	57
4.2 The melting temperature in °C of each batch and each position	57

List of figures

Figure	Page
2.1 Temperature profile in the batch blanket	6
2.2 Melting front of batch blanket	6
2.3 Relation of the temperature and the diffusion coefficient	9
2.4 Floating mode connection	10
2.5 Non-floating mode connection	
A = correct connection, B = incorrect connection	11
2.6 Ground disconnected	12
2.7 A circuit of R and C for the data processing	13
3.1 The computer that used in the experiments	14
3.2 Block diagram of the analog to digital card	16
3.3 Block diagram of the amplifier and multiplexer board	17
3.4 Sketch of the ice point measurement	19
3.5 The resistivity measurement circuit	20
3.6 Sketch of probe	21
3.7 Sketch of new probe in small scale test	22
3.8 The sketch of the furnace and test	23
3.9 Sketch of small crucible with probe	24
3.10 Sketch of the lower furnace with electrical heater	25
3.11 Sketch of the butane gas furnace	26
3.12 The special metal container.....	27
3.13 The arrangement of the probes in batch blankets	28
3.14 Heating-up characteristics of the research furnace	29

Figure	Page
3.15 The individual new probe shape.....	32
3.16 Show the new circuit that use the Zener diode.....	34
3.17 Sketch of thermocouple test in large scale experiment; the thermocouples were positioned in the direction or perpendicular to the temperature gradient in the batch	35
4.1 Compared of the 3 modes connection	36
4.2 The fluctuation of different connection modes	37
4.3 Floating mode	38
4.4 Non-floating mode	38
4.5 No-ground connection mode	39
4.6 The filter selection (high and low pass)	40
4.7 Test an integration time in 10 seconds	41
4.8 Integration time of converted data to temperature	41
4.9 Resistivity blank test with 3 V AC source	42
4.10 Batch temperature vs. time of soda ash	43
4.11 U _x vs. temperature of soda ash	43
4.12 U _x and temperature vs. time of soda ash+sand batch	44
4.13 U _x vs. temperature of soda ash+sand batch	45
4.14 The primary melt formation temperature	45
4.15 The voltage drop according to the water evolving	46
4.16 The thermal effect at 105 °C	46
4.17 Show the fluctuation of thermocouple in first test	47
4.18 Show the overflow of the resistivity	48
4.19 U _x vs. temperature of the batch	49
4.20 Temperature vs. time of the batch	50

Figure	Page
4.21 The primary melt formation	50
4.22 Resistivity test in high current furnace before the Zener diode was used	51
4.23 Temperature test in high current furnace after used of high value of the capacitor	52
4.24 Resistivity test in high current furnace after the Zener diode was used	52
4.25 Temperature vs. time at 0.5 cm over the melt	53
4.26 Temperature vs. time at 3.5 cm over the melt	54
4.27 The melt temperature	54
4.28 Temperature vs. time of cullet free batch	58
4.29 Temperature profile of cullet free batch	58
4.30 U_x vs. time at position 1 of cullet free batch	59
4.31 U_x vs. time at position 2 of cullet free batch	59
4.32 U_x vs. time at position 3 of cullet free batch	60
4.33 U_x vs. time at position 4 of cullet free batch	60
4.34 U_x vs. temperature at position 1 of cullet free batch	61
4.35 U_x vs. temperature at position 2 of cullet free batch	61
4.36 U_x vs. temperature at position 3 of cullet free batch	62
4.37 U_x vs. temperature at position 4 of cullet free batch	62
4.38 Temperature vs. time of 30% cullet	63
4.39 Temperature profile of 30% cullet	63
4.40 U_x vs. time at position 1 of 30% cullet	64
4.41 U_x vs. time at position 2 of 30% cullet	64
4.42 U_x vs. time at position 3 of 30% cullet	65
4.43 U_x vs. time at position 4 of 30% cullet	65

Figure	Page
4.44 Ux vs. temperature at position 1 of 30% cullet	66
4.45 Ux vs. temperature at position 2 of 30% cullet	66
4.46 Ux vs. temperature at position 3 of 30% cullet	67
4.47 Ux vs. temperature at position 4 of 30% cullet	67
4.48 Temperature vs. time of 60% cullet	68
4.49 Temperature profile of 60% cullet	68
4.50 Ux vs. time at position 1 of 60% cullet	69
4.51 Ux vs. time at position 2 of 60% cullet	69
4.52 Ux vs. time at position 3 of 60% cullet	70
4.53 Ux vs. time at position 4 of 60% cullet	70
4.54 Ux vs. temperature at position 1 of 60% cullet	71
4.55 Ux vs. temperature at position 2 of 60% cullet	71
4.56 Ux vs. temperature at position 3 of 60% cullet	72
4.57 Ux vs. temperature at position 4 of 60% cullet	72
4.58 Temperature vs. time of 90% cullet	73
4.59 Temperature profile of 90% cullet	73
4.60 Ux vs. time at position 1 of 90% cullet	74
4.61 Ux vs. time at position 2 of 90% cullet	74
4.62 Ux vs. time at position 3 of 90% cullet	75
4.63 Ux vs. time at position 4 of 90% cullet	75
4.64 Ux vs. temperature at position 1 of 90% cullet	76
4.65 Ux vs. temperature at position 2 of 90% cullet	76
4.66 Ux vs. temperature at position 3 of 90% cullet	77
4.67 Ux vs. temperature at position 4 of 90% cullet	77
4.68 Ux vs temperature in the inner zone	78
4.69 Ux vs time in the inner zone	78
4.70 Temperature vs. time in the inner zone	79