การปรับปรุงทรายเคลือบฟีนอลิกเรซินที่ผลิตในประเทศสำหรับทำแบบหล่อเปลือก

นางสาว อุราวรรณ อุ่นแก้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-871-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18573861

IMPROVEMENT OF LOCAL PHENOLIC RESIN COATED SAND FOR SHELL MOLDING

Miss Urawan Oengaew

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-871-8

Thesis Title	Improvement of Local Phenolic Resin Coated Sand for Shell Molding
By	Miss Urawan Oengaew
Department	Materials Science
Thesis Advisor	Associate Professor Saowaroj Chuayjuljit
Thesis Co-advisor	Wannee Chinsirikul, Ph.D. and John Pearce, Ph.D.

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

..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Suchada Kiranandana, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.....Chairman

(Assistant Professor Khemchai Hemachandra, Ph.D.)

.....Thesis Advisor

(Associate Professor Saowaroj Chuayjuljit)

.....Thesis Co-advisor

(Wannee Chinsirikul, Ph.D.)

.....Thesis Co-advisor

(John Pearce, Ph.D.)

.....Member

(Associate Professor Paiparn Santisuk)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อุราวรรณ อุ่นแก้ว : การปรับปรุงทรายเคลือบฟีนอลิกเรซินที่ผลิตในประเทศสำหรับทำแบบหล่อเปลือก (Improvement of Local Phenolic Resin Coated Sand for Shell Molding) อ. ที่ปรึกษา : รศ. เสาวรจน์ ช่วยอุดจิตร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.วรรณี ฉินศิริกุล และ Dr. John Pearce ; 134 หน้า. ISBN 974-332-871-3

ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะของประเทศไทย ทรายเคลือบฟีนอลิกโนโวแลกเรซินเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการทำแบบหล่อเปลือก เพื่อใช้ผลิตชิ้นงานหล่อให้มีขนาดใกล้เคียงของจริงมากที่สุด จากการศึกษาสมบัติของเรซินพบว่า ฟีนอลิกเรซินที่ผลิตในประเทศมีสมบัติแตกต่างจากฟีนอลิกเรซินของต่างประเทศ เช่น จุดหลอมเหลว สมบัติการไหล ระยะเวลาการเกิดเจล และโครงสร้างไอโซเมอร์ เป็นต้น สมบัติที่แตกต่างกันนี้มีสาเหตุจากโครงสร้างไอโซเมอร์ของเรซินที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อความหนืดและการไหลของเรซิน การเกิดโครงสร้างร่างแหในขั้นตอนการเคลือบ ตลอดจนสมบัติเชิงกลที่สำคัญของทรายเคลือบฟีนอลิกเรซิน เช่น ความทนแรงดัดโค้ง (bending strength) ซึ่งความทนแรงดัดโค้งของทรายเคลือบพีนอลิกเรซินที่ผลิตในประเทศมีค่าน้อยกว่าทรายเคลือบพีนอลิกเรซินของต่างประเทศ และผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy) พบว่า ความแข็งแรงของพันธะระหว่างทรายกับเรซินขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัส และปริมาณเรซินที่ใช้ นอกจากนี้ความแข็งแรงของพันธะยังขึ้นอยู่กับชนิดของทราย

จากผลการศึกษาเรซินผสมเพื่อเคลือบทรายพบว่า ความทนแรงดัดโค้งขึ้นอยู่กับปริมาณหรือสัดส่วนของเรซินที่ผสม จากการเปรียบเทียบสูตรมาตรฐานที่ใช้ในโรงงาน ได้แก่ ทรายเคลือบฟีนอลิกเรซินจากต่างประเทศโดยใช้เรซินร้อยละ 2.7 โดยน้ำหนักของทรายรีเคลม (reclaimed sand) ที่มีค่าความทนแรงดัดโค้ง 48-58 kg/cm^2 เมื่อผสมเรซินที่ผลิตในประเทศในปริมาณร้อยละ 20, 40, 60, 80, และ 100 พบว่าอัตราส่วนฟีนอลิกเรซินจากต่างประเทศต่อฟีนอลิกเรซินที่ผลิตในประเทศ 80/20 และ 70/30 มีค่าความทนแรงดัดโค้ง 50-55 kg/cm^2 อยู่ในช่วงความต้องการของโรงงาน ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงว่าการใช้เรซินผสมเพื่อเคลือบทรายเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและสามารถลดต้นทุนจากการใช้ปริมาณฟีนอลิกเรซินจากต่างประเทศได้ประมาณร้อยละ 20-30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต อุราวรรณ อุ่นแก้ว

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และวัสดุ และเทคโนโลยีชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เสาวรจน์ ช่วยอุดจิตร

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม J.T.H Pearce

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เป็นการพิมพ์ถ่ายจากต้นฉบับเดิม

4072472523: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: SHELL MOLD / THAI AND IMPORTED NOVOLAC RESIN / RESIN BLENDS / RESIN COATED SAND / BENDING STRENGTH / CONTACT AREA / COST SAVING
URAWAN OENGAEW : IMPROVEMENT OF LOCAL PHENOLIC RESIN COATED SAND FOR SHELL MOLDING. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT. THESIS COADVISOR : WANNEE CHINSIRIKUL, Ph.D. 134 pp.
ISBN 974-332-871-8

In Thai foundries, Shell molding using phenolic novolac resin coated sand is an important method for the production of near net shape components. Thai foundries use both Thai and Imported resins for the Shell Process, hence this work has attempted to characterize these two types of resin. Thai and Imported novolac resins were found to have different structural isomers giving rise to different crucial characteristics and properties including melting point, flow, and gelation time. The Thai resin had lower viscosity, shorter flow and gelation times as compared to Imported resin. These overall effects are believed to be responsible for the lower bending strengths of Shell molds formed with Thai resin. Scanning electron microscopy (SEM) was used to examine the fracture surfaces of test pieces. It was found that bond strength of resin coated sand test pieces increased with increasing contact area of resin bridges between sand grains. Contact areas were found to increase with the amount of resin used. Bond strengths also depended on the type of sand used in the mixes.

Blends of Thai and Imported novolac resins were investigated based on the standard formula used in one foundry, 2.7% by weight of Imported resin with reclaimed sand. Resin coated sand prepared using this formula generally posses bending strength in the range of 48-58 kg/cm^2. Thai resin contents of 20 ,40, 60, 80 and 100 by weight percent were used to produce coated sand. It was found that the resin blends of 80/20 and 70/30 Imported resin to Thai resin gave equivalent bending strengths of resin coated sand to those obtained using only costly Imported resin. Experimental results demonstrate a possible cost saving of up to 20-30% of Imported resin in Shell mold production by effective use of resin blends as the binder in resin coated sand.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต อุรวรรณ แองแอ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เสาวรส ชวยจุลจิต

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม T.H Lee

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deepest gratitude and sincere appreciation to my advisor Associate Professor Saowaroj Chuayjuljit, for her kindness, valuable guidance, advice and supervision.

Appreciation is also extended to my co-advisors, Dr. Wannee Chinsirikul and Dr. John Pearce for their patient guidance, assistance, devotion, encouragement, and many helpful suggestion throughout this research.

I am grateful to Assistant Professor Dr. Khemchai Hemachandra and Associate Professor Paiparn Santisuk for their assistance and helpful suggestions throughout the course of this study.

My special thanks go to Mr. Thawee Kangkarnchang for his kindness and assistance in designing and construction of small scale sand mixer. I must thank all the colleagues for valuable friendship and assistance during experimental study at Research Division, Department of Science Service.

I would like to extend special thanks to Dr. Suchinda Chotipanich of Department of Science Service, who provided me the opportunity to pursue graduate studies. I wish to acknowledge the National Science and Technology Development Agency for the grant. I would also like to thank International Casting Co., Ltd. for providing the materials used in this research.

I also thank to my friends, other Polymer Science student, and staff members of Department of Material Science and National Metal and Materials Technology Center for their courteous help.

Finally, I must deeply thank my parents and my brother for their warmth, love, understanding and encouragement which have inspired me to reach the goal.

CONTENTS

Page

Abstract (Thai) iv

Abstract (English) v

Acknowledgement vi

Contents vii

List of Tables x

List of Figures xii

Chapter

1. Introduction 1

2. Literature review 6

    2.1 Foundry process in general. 6

    2.2 Molding materials.....10

        2.2.1 Sands 11

        2.2.2 Resins (Chemical organic binder systems).....16

            2.2.2.1 Phenolic resins 17

        2.2.3 Additive 22

    2.3 Shell Process 23

    2.4 Resin coated sand 26

    2.5 Sand preparation and sand mixers 28

    2.6 Resin bonded sands 30

3. Materials and Methods 36

    3.1 Materials 36

    3.2 Sample preparation 39

Contents (continue)

Page

3.2.1 Sand mixer 39

3.2.2 Resin coated sand procedure 44

3.2.3 Resin blends coated sand 45

3.3 Mechanical testing 46

3.3.1 Specimen preparation for bend test 46

3.3.2 Bend test.....48

3.4 Characterization techniques 49

3.4.1 Microscopy 49

3.4.2 Melting point apparatus 49

3.4.3 Differential Scanning Calorimetry (DSC) 49

3.4.4 Thermogravimetric analysis (TGA) 50

3.4.5 Gel Permeation Chromatography (GPC) 50

3.4.6 Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy (NMR).....51

3.4.7 Stick point (Fusion point or Melting point) 53

3.4.8 Thermal expansion coefficient 53

4. Result and discussion 55

4.1 Property and characteristic of raw materials 55

4.1.1 Sand properties 55

4.1.2 Resins properties.....63

4.1.2.1 Structure analysis.....64

4.1.2.2 Curing and flow properties.....71

4.1.2.3 Molecular weight measurement.....72

4.1.2.4 Thermal properties.....73

Contents (continue)

Page

4.1.2.4.1 Thermogravimetric Analysis (TGA).....73

4.1.2.4.1 Diffrential Scanning Calorimetry (DSC).....74

4.1.2.4.2 Melting Point Measurement.....75

4.2 Characteristics of Bonded-Sand Studied by SEM.....76

4.2.1 Characteristics of Resin-Bonded Sands.....76

4.2.2 Characteristics of Resin Coated Sand Using Resin Blends of Thai Resin and Imported Resins.....91

5. Conclusion.....106

6. Recommendation for Future Work.....109

References.....111

Appendices.....115

Curriculum vitae.....124

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table Page

2.1 A variety of resin binder systems used in No-bake, Cold box and Heat-cured processes.....9

2.2 Similarity in AFS grain fineness number of two sand samples with different grain size distributions.....14

3.1 Specified properties of the resins used in this experiment.....36

3.2 A summarized various formulas for resin coated sand.....44

4.1 Chemical composition and properties of sands.....56

4.2 Physical properties of sands.....57

4.3 Percentage of retained sand on various sieve number of three sands.....60

4.4 Properties of Thai resin and imported resin.....64

4.5 The specific ^{13}C-NMR peaks of the phenolic resin.....68

4.6 The bending strength of resin coated sand experiment and foundry processes.....77

4.7 The relation of bending strength and contact area in various resin used.....88

4.8 The properties of resin blends (PSM-FD) coated sand with various Thai resin by weight percent (Standard formula 2.7% PSM 6412 with Rayong sand).....92

4.9 The properties of resin blends (PSM-FD) coated sand with various Thai resin by weight percent (Standard formula 2.7% PSM 6412 with reclaimed sand).....92

Tables (continue)

Table Page

4.10 The properties of resin blends (PSM-FD) coated sand with various Thai resin by weight percent (Standard formula 4.3% PSM-6412 with Rayong sand).....93

4.11 The properties of resin blends (PSM-FD) coated sand with various Thai resin by weight percent (Standard formula 4.3% PSM-6412 with reclaimed sand).....93

4.12 The relation of the bending strength contact area and bridge diameter in resin blends (PSM-FD) coated sand (Standard formula 2.7% PSM-6412, reclaimed sand).....102

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure Page

2.1 (a) Section through a typical mold.....8
(b) Schematic illustration of the sequence of operations for a typical part made by sand casting.....8
2.2 The grain shapes of silica sand.....13
2.3 Classification of grain shapes.....13
2.4 Effect of hexamine content on melt viscosity of novolac resin during cure at 130°C.....21
2.5 Effect of hexamine content on gel time at 150°C of novolac resin.....22
2.6 Operating sequence of sequence of typical shell molding machine.....24
2.7 Components of a typical core machine.....25
2.8 Roller mill (continuous mixer).....29
2.9 Impeller mixer.....29
2.10 Intact binder wedges after adhesive failure at sand-binder interface a) 300x, b) 300x, c) 600x.....31
2.11 Binder wedge at grain-to-grain contact point a) 330x, b) 840x, c) 600x.....31
2.12 Fractured binder wedges after adhesive-cohesive failure a) 600x, b) 600x, c) 600x, d) 500x.....31
2.13 Influence of time on sand-aluminium phosphate joint tensile strength.....33
2.14 Influence of film thickness on resin-sand joint with tensile strength.....34

Figure (continue)

Figure Page

3.1 Optical microscopic examination (7.5x) of shapes of Thai resin.....38
3.2 Optical microscopic examination (7.5x) of shapes of imported resin.....38
3.3 Flow chart of experimental approach.....40
3.4 Small scale sand mixture.....41
3.5 Four-blade paddles in axial turbine (scale 1:2).....42
3.6 A specimen forming equipment for bend test.....47
3.7 The three-point loading system.....48
3.8 Chemical structure of three isomers of dihydroxydiphenylmethane.....51
3.9 Portion of proton magnetic resonance spectrum of crude dihydroxydiphenylmethane.....52
3.10 An equipment for stick point determination.....54
4.1 Temperature-expansion curves for sands.....58
4.2 AFS grain distribution of sands.....60
4.3 Optical microscopic examination (35x) of the grain shapes of Australian sand....62
4.4 Optical microscopic examination (35x) of the grain shapes of Rayong sand.....62
4.5 Optical microscopic examination (35x) of the grain shapes of reclaimed sand....62
4.6 The ^{13}C-NMR peaks of the Thai resin.....66
4.7 The ^{13}C-NMR peaks of the imported resin.....67
4.8 Structure of random and high ortho links of phenolic novolac resins.....68
4.9 SEM micrographs of fractured surface (100x) and a bridge of sand grains (500x) of 1.7% FD-1 (Australian sand).....79

Figures (continue)

Figure Page

4.10 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.1% FD-1 (Australian sand).....80
4.11 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.4% FD-1 (Australian sand).....81
4.12 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 3.2% FD-1 (Australian sand).....82
4.13 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.7% PSM-6412 (Rayong sand).....83
4.14 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains(500x) of 4.3%PSM-6412 (reclaimed sand).....84
4.15 Show the bridge and contact area of resin-bonded sands.....85
4.16 The bending strength and contact area of resin-bonded sands
in various resin used.....89
4.17 The relation various resin used and contact area
of resin-bonded sands.....90
4.18 Influence of amount of Thai resin to resin blends (PSM-FD) bonded sands
with bending strength 95
4.19 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains(500x) of 2.7%PSM-6412 (reclaimed sand).....96
4.20 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.7% PSM-FD using
20% Thai resin used by weight 97

Figures (continue)

Figure Page

4.21 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.7% PSM-FD using
40% Thai resin used by weight 98

4.22 Scanning electron micrographs of fracture surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.7% PSM-FD using
60% Thai resin used by weight percent.....99

4.23 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.7% PSM-FD using
80% Thai resin used by weight.....100

4.24 SEM micrographs of fractured surface (100x) and
a bridge of sand grains (500x) of 2.7% PSM-FD using
100% Thai resin used by weight percent.....101

4.25 The influence of types of sand with bending strength.....104

4.26 The bending strength of resin blends (PSM-FD) coated sand in 80/20
and 70/30 imported resin to Thai resin in desirable values for used
in shell production (average bending strength of specific formula
$\approx$ 48-58 kg/cm^2) is shown in shaded area.....105