

การศึกษาเนื่องในที่เหมาะสมของ การเรียนรู้หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
และคุณวิภาคในประเทศไทย

นายกุวดล วงศ์สร้างสรรค์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-496-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF OPTIMUM GRINDING CONDITION FOR GRAY CAST IRON WITH SILICON  
CARBIDE GRINDING STONE AND CUBIC BORON NITRIDE GRINDING STONE

Mr. Poovadon Vongsangsub

รายงานวิทยบักร

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

Department of Industrial Engineering

Graduate School

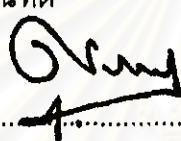
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

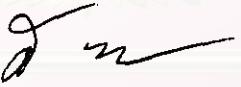
ISBN 974-331-496-2

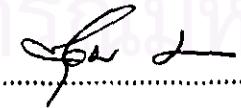
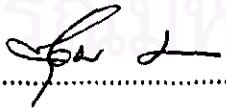
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเรื่องไขที่เหมาะสมของการจียรเหล็กหล่อสีเทาด้วยหินซิลิคอนคาร์บีด  
และคิวบิกบีرونในไทย  
โดย นายภูวดล วงศ์สร้างสรรพย์  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สมชาย พัฒนาเนตร

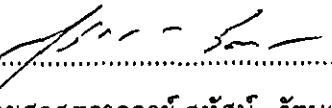
บันทึกวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต

   
..... คณบดีบันทึกวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์คุกวัฒน์ ชิติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัฒนาเนตร)  
  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ชุม ผลิตา)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุกนัน พัฒนาเกื้อกูล)

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์ ในการพัฒนาคุณภาพในกระบวนการซีลิโคนคาร์ไบด์  
ชิลิโคนคาร์ไบด์และ คิวบิกไบรอนในไทร์ (A STUDY OF OPTIMUM GRINDING CONDITION  
FOR GAY CAST IRON WITH SILICON CARBIDE GRINDING STONE AND CUBIC BORON  
NITRIDE GRINDING STONE) อ.ทปรีกษา ผศ. ดร.สมชาย พัฒนาเนตร, 125 หน้า  
ISBN 974-331-496-2

เนื้องจากในกระบวนการเจียรเหล็กหล่อสีเทา เป็นกระบวนการผลิตที่จะเอียงอ่อนในงานเครื่องมือกล จะมีการเจียรที่ต้องห้ามให้ชิ้นงานมีคุณภาพอยู่ภายใต้ข้อกำหนด และมีต้นทุนที่เหมาะสมและขณะเดียวกันจะต้องมีความสามารถที่จะผลิตได้ทันตามความต้องการด้วย การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาเงื่อนไขในการเจียรที่เหมาะสมและพยายามใช้งานของหินเจียร 2 ชนิด คือ หินชิลิโคนคาร์ไบด์(SIC)และหินคิวบิกไบรอนในไทร์(CBN)

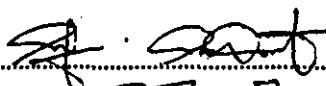
สำหรับขั้นตอนในการวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยการเจียรผิวเหล็กหล่อสีเทาด้วยหินชิลิโคนคาร์ไบด์(SIC)โดยใช้เงื่อนไขการเจียรที่ความเร็วตัด (v) 30 ถึง 80 เมตรต่อนาที อัตราการป้อน (f) 30 ถึง 70 มม. ต่อรอบ ความลึกในการตัด (d) 38 และ 42 ไมครอน ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาถึงความสามารถของหินเจียรคือ ความเรียบผิวของชิ้นงานจะต้องน้อยกว่าห้ารูปที่เท่ากัน 3 ไมครอน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอายุการใช้งานของหินเจียรแต่ละก้อนที่เงื่อนไขการเจียรต่างๆ กัน ซึ่งจะนำไปสู่การคิดค่าใช้จ่ายในการเจียร ต่อจากนั้นได้ทำการทดลองใช้หินเจียรชนิดใหม่คือ หินคิวบิกไบรอนในไทร์ (CBN) ซึ่งเป็นหินเจียรชนิดใหม่โดยมีเงื่อนไขในการเจียรที่ความเร็วตัด (v) ระหว่าง 30 ถึง 80 เมตรต่อนาที อัตราการป้อน (f) ระหว่าง 30 ถึง 70 มม. ต่อรอบ ความลึกในการตัด (d) 16 และ 20 ไมครอน จากนั้นได้ก่อเวนิการวิเคราะห์เงื่อนไขในการเจียรและเลือกหินเจียรที่เหมาะสม

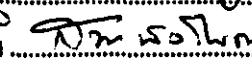
ผลการวิจัยพบว่า (1) ความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานกับความเร็วตัด (v) อัตราการป้อน (f) และความลึกของการตัด (d) สำหรับหิน SIC และ หิน CBN คือ  $VT^{0.21}f^{0.05}d^{0.23} = 680$  และ  $VT^{0.36}f^{0.83}d^{0.45} = 136,702$  ตามลำดับ (2) เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจียรเหล็กหล่อสีเทา ห้ามในกรณีเงื่อนไขค่าใช้จ่ายต่ำสุดและกำลังการผลิตสูงสุดพบว่าควรเลือกใช้หินเจียรชนิด SIC โดยมีเงื่อนไขในการเจียรที่เหมาะสมสำหรับ ค่าใช้จ่ายต่ำสุดคือ อัตราการป้อน 70 มม. ต่อรอบ ความลึกในการตัด 38 ไมครอน ที่ความเร็วตัด 41 เมตรต่อนาที ซึ่งให้อัตราการผลิตเท่ากัน 1,786 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานต่ำสุดคือ 14.97 บาทต่อ 1,000 ชิ้น และสำหรับกำลังการผลิตสูงสุดนั้นจะใช้อัตราการป้อน 70 มม. ต่อรอบ ความลึกในการตัด 38 ไมครอนต่อวันที่ หีความเร็วตัด 75 เมตรต่อนาที ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้นคือ 2,464 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานเท่ากัน 34.25 บาทต่อ 1,000 ชิ้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

วันที่ ๒๕๖๑

ลายมือชื่อนักวิจัย 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลงนามด้วยปากกาด้วยเท้าที่ได้รับการร่วม -

# #3971314421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING  
KEY WORD: Grinding Condition/Grinding Stone/Tool Life

A STUDY OF OPTIMUM GRINDING CONDITION FOR GRAY CAST IRON WITH SILICON CARBIDE GRINDING STONE AND CUBIC BORON NITRIDE GRINDING STONE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SOMCHAI PUAJINDANATR, Ph.D., 125pp. ISBN 974-331-496-2

In grinding process for grey cast iron, It is the more precisely of machining process. So the good condition of grinding process is the condition that can produce good quality of work pieces, the suitable cost and delivery time to customer. This research was to study of the optimum condition of grinding process and tool life of grinding stones which were Silicon Carbide (SiC) and Cubic Boron Nitride (CBN).

This experiment was performed to verify the tool life (T) of the both grinding stones with respected to the limit of 3 micron of surface roughness of grey cast iron work piece. The trial conditions for SiC were the cutting speed (v) of 30 to 80 m/min, the feed rate (f) of 30 to 70 mm/rev. and the depth of cut (d) of 38 and 42 micron. The conditions of CBN were the cutting speed (v) of 30 to 80 m/min, the feed rate (f) of 30 to 70 mm/rev and the depth of cut (d) of 16 and 20 micron. The optimum condition and the stones selection were analysed.

The results found that 1) the relationship between the tool life (T), the cutting speed (v), the feed rate (f) and the depth of cut (d) for SiC and CBN were  $VT^{0.21}f^{0.05}d^{0.23} = 680$  and  $VT^{0.36}f^{0.83}d^{0.45} = 136,702$  respectively, and 2) the grinding stone of SiC was suitably selected for this study. Consequently the optimum condition for minimum cost found was the feed rate of 70 mm/rev, the depth of cut of 38 micron and the cutting speed of 41 m/min which the condition provided the production rate of 1,786 pieces/day and the minimum production cost of 14.97 bath/1,000 pieces. And also, the suitable condition for maximum production was the feed rate of 70 mm/rev, the depth of 16 micron and the cutting speed of 75 m/min which the condition gave the production rate of 2,464 pieces/day the production cost of 34.25 bath/1,000 pieces.

ภาควิชา..... วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา.....



## กิตติกรรมประการ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย วศ.ชุ่ม นลิตา และ ผศ.สุทธศัน พัฒนกีรติ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก รวมทั้งขอขอบคุณบริษัท สยามคอมเพรสเซอร์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเครื่องห้องมูล อุปกรณ์และวัสดุดีบด่างๆ ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ คุณประโยชน์อันพึงจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอขอบให้แก่บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณในการอบรมให้การศึกษาแก่ผู้เขียนตลอดมา

ภูวดล วงศ์สร้างสรรพย์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	๑
กิตติกรรมประกาศ .....	๖
สารบัญ .....	๗
สารบัญตาราง .....	๘
สารบัญรูป .....	๙

### บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัจจุบัน .....	๑
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	๕
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	๕
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย .....	๖
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย .....	๖

### บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับหินชั้ด	
2.1.1 การเชื่อมประสานหินชั้ด .....	๙
2.1.2 การสึกของหินเจียร .....	๑๓
2.1.3 การใช้หินเจียร .....	๑๕
2.2 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	๒๕

### บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมขั้นงาน หินเจียร เครื่องจักร ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อนการทดลอง.....	35
3.3 การทดสอบばかりยการใช้งานของหินเจียร	
3.3.1 การทดสอบばかりยการใช้งานของหินเจียรชิลิกอนด์คาร์บีด.....	38
3.3.2 การทดสอบばかりยการใช้งานของหินเจียรคิวบิกบอรอนในไตรท์.....	38
3.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์.....	40

### บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติวัสดุก่อนการทดลอง	
4.1.1 วัสดุที่เป็นขั้นงาน.....	44
4.1.2 วัสดุที่เป็นหินเจียร.....	44
4.2 ผลการทดลองการばかりยการใช้งานของหินเจียร	
4.2.1 ผลการทดลองการばかりยการใช้งานของหินเจียรชิลิกอนด์คาร์บีด.....	44
4.2.2 ผลการทดลองการ郛การใช้งานของหินเจียรคิวบิกบอรอนในไตรท์.....	56
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์.....	65

### บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการวิจัย

5.1 กรณีที่ใช้หินชิลิกอนด์คาร์บีด.....	108
5.2 กรณีที่ใช้หินคิวบิกบอรอนในไตรท์.....	110

### บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะการวิจัย

6.1 สรุปผลการวิจัย.....	113
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	114
รายการอ้างอิง .....	117
ภาคผนวก ก. ผลการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	120
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่าย อัตราการผลิต .....	122
ประวัติผู้เขียน .....	127

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ทำการทดสอบ 50 ชิ้น.....	45
4.2 ขนาดของรูในของชิ้นงานที่ทำการทดสอบจำนวน 50 ชิ้น.....	46
4.3 ขนาดของหินเจียรชิลิกอนด์คาร์บีบีดและหินควิบิคโนรอนในโทรศัพท์.....	47
4.4 อายุการใช้งานของหินเจียรชิลิกอนด์คาร์บีบีดจากการทดสอบ.....	49
4.5 อายุการใช้งานของหินเจียรชิลิกอนด์คาร์บีบีดจาก Taylor'Equation.....	53
4.6 อายุการใช้งานของหินเจียรควิบิคโนรอนในโทรศัพท์จากการทดสอบ.....	58
4.7 อายุการใช้งานของหินเจียรควิบิคโนรอนในโทรศัพท์จาก Taylor'Equation.....	62
4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน SiC ที่ $f=30 d=38$ .....	70
4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน SiC ที่ $f=50 d=38$ .....	73
4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน SiC ที่ $f=70 d=38$ .....	76
4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน SiC ที่ $f=30 d=42$ .....	79
4.12 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน SiC ที่ $f=50 d=42$ .....	82
4.13 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน SiC ที่ $f=70 d=42$ .....	85
4.14 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน CBN ที่ $f=30 d=16$ .....	88
4.15 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน CBN ที่ $f=50 d=16$ .....	91
4.16 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน CBN ที่ $f=70 d=16$ .....	94
4.17 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน CBN ที่ $f=30 d=20$ .....	97
4.18 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน CBN ที่ $f=50 d=20$ .....	100
4.19 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานหิน CBN ที่ $f=70 d=20$ .....	103
4.20 แสดงความเร็วตัดและอัตราการผลิตของการใช้หินเจียร SiC สำหรับกรณีต้องการ ค่าใช้จ่ายต่ำสุด และกรณีต้องการกำลังการผลิตสูงสุด.....	106
4.21 แสดงความเร็วตัดและอัตราการผลิตของการใช้หินเจียร CBN สำหรับกรณีต้องการ ค่าใช้จ่ายต่ำสุด และกรณีต้องการกำลังการผลิตสูงสุด.....	107

## สารบัญ

หัวที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบงานเครื่องมือกลกับการประมวลผลคอมพิวเตอร์.....	2
2.1 ลักษณะภายนอกของโครงสร้างหินเจียร.....	10
2.2 ร่องกำหนดของหินเจียรชนิดธรรมดា (Normal Abrasive).....	11
2.3 ร่องกำหนดของหินเจียรชนิดพิเศษ (Super Abrasive).....	11
3.1 ลักษณะภายนอกของหินเจียรซิลิกอนด์คาร์บีเด.....	29
3.2 โครงสร้างภายในของหินซิลิกอนด์คาร์บีเด กำลังขยาย 500 เท่า.....	30
3.3 ลักษณะภายนอกของหินเจียรคิวบิกบอรอนไนไตรท์.....	31
3.4 โครงสร้างภายในของหินคิวบิกบอรอนไนไตรท์ กำลังขยาย 500 เท่า.....	32
3.5 เครื่องเจียรรูใน(Internal Grinding Machine) ภายนอก.....	33
3.6 เครื่องเจียรรูใน(Internal Grinding Machine) ภายใน.....	34
3.7 เครื่องมือทดสอบความแข็ง(Hardness Tester).....	36
3.8 เครื่องมือตรวจสอบความเรียบของผิวชิ้นงาน(Roughness Tester).....	37
4.1 ผิวของหินเจียรซิลิกอนด์คาร์บีเดก่อนและหลังการปรับแต่งผิว.....	48
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดของหินซิลิกอนด์คาร์บีเดที่ได้จากการทดลอง.....	50
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดของหินซิลิกอนด์คาร์บีเดที่ได้จาก Taylor' s Equation.....	55
4.4 ผิวของหินเจียรคิวบิกบอรอนไนไตรท์ก่อนและหลังการปรับแต่งผิว.....	57
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดของหินคิวบิกบอรอนไนไตรท์ที่ได้จากการทดลอง.....	59
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดของหินคิวบิกบอรอนไนไตรท์ที่ได้จาก Taylor' s Equation.....	64
4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร $f=30$ $d=38$ ของหินSiC.....	72
4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร $f=50$ $d=38$ ของหินSiC.....	75

ข้อปฏิ	หน้า
4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=70 d=38 ของหินSiC.....	78
4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=30 d=42 ของหินSiC.....	81
4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=50 d=42 ของหินSiC.....	84
4.12 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=70 d=42 ของหินSiC.....	87
4.13 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=30 d=16 ของหินCBN.....	90
4.14 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=50 d=16 ของหินCBN.....	93
4.15 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=70 d=16 ของหินCBN.....	96
4.16 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=30 d=20 ของหินCBN.....	99
4.17 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=50 d=20 ของหินCBN.....	102
4.18 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตและอัตราการผลิตที่เงื่อนไขการเจียร f=70 d=20 ของหินCBN.....	106

รายงานฉบับคร่าว  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย