การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเจียระไนลูกรีดเหล็กหล่อผิวแข็งด้วยหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์

นาย มนตรี นาคอนันตกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1818-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF OPTIMUM GRINDING CONDITION FOR CHILL CAST IRON ROLL WITH SILICON CARBIDE GRINDING STONE

Mr. Montri Nakanantakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Industrial Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1818-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเจียระไนลูกรีดเหล็กหล่อผิวแข็งด้วยหินเจียรซิลิกอนด์คาร์ไบด์
โดย	นาย มนตรี นาคอนันตกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มนตรี นาคอนันตกุล : การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเจียรไนลูกรีดเหล็กหล่อผิวแข็งด้วยหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์.(A Study of Optimum Grinding Condition for Chill Cast Iron Roll with Silicon Carbide Grinding Stone) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร, 127 หน้า. ISBN 974-17-1818-7.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเงื่อนไขความเร็วตัดที่เหมาะสมและอายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์

การวิจัยได้ทำการเจียรลูกรีดเหล็กหล่อผิวแข็งที่มีความแข็งเฉลี่ย 71.7 Shcโดยใช้อุปกรณ์เจียรชนิดคอมพิวเตอร์(CNC)ศึกษาเงื่อนไขความเร็วตัดที่เหมาะสมและอายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์การศึกษาการเจียรได้ใช้ความเร็วตัด(v) 150ถึง250 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน (f) 70 ถึง 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด (d) 0.001 และ 0.002นิ้ว ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาถึงความสามารถของหินเจียรคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานจะต้องอยู่ในพิกัด $\pm$ 0.002 นิ้ว ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอายุการใช้งานของหินเจียรแต่ละก้อนที่เงื่อนไขการเจียรต่างๆกันซึ่งจะนำไปสู่การคิดค่าใช้จ่ายในการเจียร จากนั้นทำการวิเคราะห์เงื่อนไขในการเจียรต่างๆเพื่อเลือกเงื่อนไขในการเจียรที่เหมาะสม

ผลการวิจัยพบว่า (1) ความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานกับความเร็วตัด (v) อัตราการป้อน (f) และความลึกของการตัด (d) คือ $VT^{0.221}f^{0.0487}d^{0.0061} = 17267.15$ (2) เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดกรณีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดคือ อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ที่ความเร็วตัด 153 ฟุตต่อนาที ซึ่งอัตราการผลิตเท่ากับ 4.67 ชิ้นต่อวัน และค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานต่ำสุดคือ 257.01 บาทต่อชิ้น (3) เงื่อนไขกำลังการผลิตสูงสุดจะใช้อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้วที่ความเร็วตัด 365 ฟุตต่อนาที ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้นเป็น 7.95 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 1,291.71 บาทต่อชิ้น (4) เงื่อนไขกำลังการผลิตสูงสุดกรณีที่อุปรณ์ที่ใช้ทำการศึกษาทำได้จะใช้อัตราป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้วที่ความเร็วตัด 250 ฟุตต่อนาทีซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตสูงสุดเท่ากับ 6.87 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 441.13 บาทต่อชิ้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2545

4271456521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: Optimum Grinding / Grinding Stone / Silicon Carbide

A STUDY OF OPTIMUM GRINDING CONDITION FOR CHILL CAST IRON ROLL WITH SILICON CARBIDE GRIINDING STONE. . THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.SOMCHAI PUAJINDANATR, Ph.D.,127 pp. ISBN 974-17-1818-7.

This research was to (1) study on the optimum condition of grinding process for Chill Cast Iron Roll and (2) tool life of grinding stone which were Silicon Carbide.

This experiment was performed of grinding process for Chill Cast Iron Roll were have the average hardness of 71.7 Shc by the computer grinder (CNC) to verify the tool life (T) with respected to the tolerance of ± 0.002 inch of diameter work roll. The trial condition for Silicon Carbide were the cutting speed (v) of 150 to 250 ft/min the feed rate (f) of 70 to 110 in/min and the depth of cut (d) of 0.001 and 0.002 inch . The optimum condition and tool life were analysed.

The results found that (1) the relation between the tool life(T), the cutting speed(v), the feed rate(f) and the depth of cut(d) were $VT^{0.221}f^{0.0487}d^{0.0061} = 17267.15$ (2) the optimum condition for minimum cost found was the feed rate of 110 in/min , the depth of cut of 0.001 inch and the cutting speed of 153 ft/min which the condition provided the production rate of 4.67 pieces/day and the minimum production cost of 257.01 bath/pieces. (3) the condition for maximum production was the feed rate of 110 in/min , the depth of cut of 0.001 inch and the cutting speed of 365 ft/min which the condition gave the production rate of 7.95 pieces/day the production cost of 1,291.71 bath/pieces,and (4) the suitable condition providing the maximum production for manufacturing was the feed rate of 110 in/min , the depth of cut of 0.001 inch and the cutting speed of 250 ft/min which the condition gave the production rate of 6.87 pieces/day the production cost of 441.13 bath/pieces

Department Industrial Engineering Student's signature.....

Field of study Industrial Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตรซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. เหรียญ บุญดีสกุลโชค และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. จันทนา จันทโร ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมากรวมทั้งขอขอบคุณ บริษัท แอล พี เอ็น เหล็กแผ่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล อุปกรณ์ และวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ คุณประโยชน์อันพึงจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบให้แก่บิดามารดาและครูบาอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณในการอบรมให้การศึกษาแก่ผู้เขียนตลอดมา

มนตรี นาคอนันตกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ ..... ง
AN ABSTRACT ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย
1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย
1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 ชนิดของเครื่องจักร 5
2.2 หินขัด 8
2.3 การเชื่อมประสานหินขัด 9
2.4 ล้อหินเจียร 10
2.4.1 ชนิดของเม็ดขัด (Abrasive Type) 11
2.4.2 ขนาดของเม็ดขัด (Grain Size)
2.4.3 เกรด หรือความแข็ง (Grade or Hardness) 12
2.4.4 โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด (Structure) 13
2.4.5 ชนิดของตัวประสาน (Bond Type) 14
2.4.6 รูปทรงทางเรขาคณิตของล้อหินเจียร(Geometry and Size of AbrasiveTools)
2.5 การสึกหรอของล้อหินเจียร 16
2.6 การตัดและปรับแต่งหินเจียร (DRESSING, TRUING OF GRINDING WHEEL) 17
2.7 การวิเคราะห์การทำงานของกระบวนการเจียร 18

หน้า

2.7.1 ความผันแปรของกระบวนการเจียร 18
2.7.2 การควบคุมสมรรถนะในการเจียรโลหะ 27
2.7.3 ความสำคัญของตัวแปร และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 28
2.8 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการเจียรในเชิงเศรษฐศาสตร์ 29
2.9 การวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเลือกใช้หินเจียร 36
2.10 การสำรวจงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
บทที่ 3 วิธีการทดลอง
3.1 การเตรียมชิ้นงาน หินเจียร เครื่องจักร ที่ใช้ในการทดลอง 40
3.1.1 วัสดุที่เป็นชิ้นงาน (Workpiece Materials)
3.1.2 วัสดุที่เป็นหินเจียร (Grinding Stone Material)
3.1.3 เครื่องเจียรผิวภายนอกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์(CNC External Grinding Machine) 41
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุก่อนการทดลอง 42
3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชิ้นงาน
3.3 การทดสอบหาอายุการใช้งานของหินเจียร 44
3.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการเจียรทางเศรษฐศาสตร์ 47
บทที่ 4 ผลการทดลอง
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อนการทดลอง 49
4.1.1 ผลการทดสอบวัสดุที่เป็นชิ้นงาน
4.1.2 ผลการทดสอบวัสดุที่เป็นหินเจียร 50
4.2 ผลการทดลองหาอายุการใช้งานของหินเจียร
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการเจียรในเชิงเศรษฐศาสตร์ 73
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจียร 74
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง
5.1 กรณีเงื่อนไขการผลิตที่ปกติ 114
5.2 กรณีเงื่อนไขการผลิตที่เร่งอัตราการผลิต 115
5.3 การเลือกเงื่อนไขในการทดลอง 116
5.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจียร
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
6.1 สรุปผลการทดลอง 117

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

6.2 ข้อเสนอแนะ 118
รายการอ้างอิง 120
ภาคผนวก 122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 127

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของเครื่องเจียร 6
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงขนาดมาตราฐานของเม็ดขัด..... 12
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงเกรด หรือความแข็ง และโครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด
ตารางที่ 2.4 แสดงความสมดุลของเส้นผ่าศูนย์กลาง 26
ตารางที่ 4.1 ความแข็งของผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง 51
ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง..... 56
ตารางที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและความหนาของหินเจียรที่ใช้ในการทดลอง 60
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลอง 62
ตารางที่ 4.5 อายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์(SIC) โดยใช้ Taylor'Equation 67
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข
f = 70 d = 0.001 76
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข
f = 70 D = 0.001..... 82
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข
f = 110 D = 0.001..... 88
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข
f =70 D = 0.002..... 94
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข
f = 90 D = 0.002..... 100
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข
f = 110 D = 0.002..... 106
ตารางที่ 4.12 แสดงความเร็วตัดและอัตราการผลิตของการใช้หินเจียรสำหรับกรณีต้องการค่าใช้
จ่ายต่ำสุดและกรณีต้องการกำลังการผลิตสูงสุด.....112

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะการเจียรที่มีความแม่นยำสูงทั้ง 3 วิธี 7
รูปที่ 2.2 เครื่องเจียรชนิดเจียรผิวภายนอกทรงกลมสำหรับเจียรลูกรีด 8
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างหินเจียร 10
รูปที่ 2.4 แสดงการกำหนดสัญลักษณ์มาตรฐานของหินเจียรธรรมดา 11
รูปที่ 2.5 ขนาดของรูพรุนในล้อหินเจียร 13
รูปที่ 2.6 แสดงรูปทรงมาตรฐานของหินเจียร 15
รูปที่ 2.7 แสดงถึงลักษณะการสึกหรอสำหรับกระบวนการเจียร 16
รูปที่ 2.8 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของกระบวนการเจียรไน ทั้ง 3 วิธี 19
รูปที่ 2.9 แสดงความผันแปร L , σI กับ A 21
รูปที่2.10 แสดงความผันแปรของ A_N,σI,กับA
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะเศษตัดของทั้ง 3 กระบวนการเจียร 22
รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของ L , A_N และ Q 23
รูปที่ 2.13 แสดงความเปลี่ยนแปลงของความหนาและความยาวเศษตัด 24
รูปที่ 2.14 แสดงส่วนโค้งของผิวสัมผัสทั้ง3กระบวนการเจียร 25
รูปที่ 2.15 แสดงรอบการทำงานของการเจียรแต่ละรอบ 29
รูปที่ 2.16 แสดงรอบการทำงานของการเจียรหลายๆ รอบ 30
รูปที่ 2.17 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในทั้ง 4 ส่วนที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการทำงาน 34
รูปที่ 2 .18 แสดงผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่อ Handling Cost, Grinding Cost, Tool Changing Cost, Tooling Cost 35
รูปที่3.1ลักษณะของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์ 41
รูปที่ 3.2 เครื่องเจียรผิวภายนอกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์(CNC External Grinding Machine) 42
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความแข็ง(Hardness Tester) 43
รูปที่ 3.4 ไมโครมิเตอร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(Outside Micrometer) 44
รูปที่ 3.5 แสดงการใช้ Dressing Tool ปรับแต่งหน้าหิน

หน้า

รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งของผิวชิ้นงาน……..55
รูปที่ 4.2 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน……..60
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดที่ได้จากการทดลอง……63
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดที่ได้จากการทดลองที่ d = 0.001 นิ้ว……64
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดที่ได้จากการทดลองที่ d = 0.002 นิ้ว……65
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดกับอายุการใช้งานของหินเจียรที่ได้จากสมการ Taylor'Equation……72
รูปที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f = 70,d =0.001……81
รูปที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f = 90,d =0.001……87
รูปที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f = 110,d =0.001……93
รูปที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f = 70,d =0.002……99
รูปที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f = 90,d =0.002……105
รูปที่ 4.12 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f =110,d =0.002……111
รูปที่ 4.13 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดที่เงื่อนไข f =110,d =0.001 ……113

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน กระบวนการเจียรไนเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญและถูกนำไปใช้ในการเจียรไนปรับสภาพผิวลูกรีดซึ่งลูกรีดเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญตัวหนึ่งในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นที่มีหน้าที่ในการลดขนาดความหนาของวัตถุดิบให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดตามความต้องการซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาสูงมากและต้องสั่งทำจากต่างประเทศและจัดเป็นวัสดุสิ้นเปลืองตัวหนึ่งเนื่องจากเมื่อนำเข้าไปรีดเหล็กแล้วลูกรีดจะเกิดการชำรุดสึกกร่อนที่ผิวจึงต้องถอดออกมาทำการเจียรไนปรับระดับผิวใหม่จนกระทั่งมีขนาดเล็กลงและไม่สามารถนำเข้าไปรีดได้นั่นคือหมดอายุการใช้งานดังนั้นจะเห็นว่าการเจียรที่ขาดประสิทธิภาพจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

ลูกรีดซึ่งทำจากวัสดุเหล็กหล่อผิวแข็ง(Chill Cast Iron) มีคุณสมบัติต้านทานการสึกหรอได้ดีมีผิวแข็งในช่วง 70-75 Shore C มีขนาดความยาว 133.86นิ้วและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 29.72-32 นิ้ว ซึ่งหินเจียรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมชนิดหนึ่งที่ใช้อยู่คือหินเจียรซิลิกอนคาร์ไบด์(Sic)

ปัญหาที่ผ่านมาคือ ทางโรงงานต้องใช้ปริมาณหินเจียรจำนวนมากซึ่งหินเจียรที่ใช้ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและอัตราการเจียรไนลูกรีดหนึ่งลูกใช้เวลานานและไม่คงที่ ซึ่งบางครั้งอาจไม่ทันกับแผนการเปลี่ยนลูกรีดทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงัก ซึ่งเกิดจากกระบวนการเจียรที่มีความล่าช้าและปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญคือการเลือกใช้พารามิเตอร์ในการเจียรไนไม่เหมาะสม

ปัจจุบันพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเจียรกำหนดขึ้นจากค่าที่แนะนำจากผู้ผลิตเครื่องและผู้จำหน่ายหินเจียรไนซึ่งเป็นค่าที่แนะนำกว้างๆและไม่ทราบว่ามีความเหมาะสมมากน้อยแค่ไหนดังนั้นจึงต้องการทดลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่ออัตราการเจียรไนที่สูงขึ้น

เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเจียรไนที่มีการศึกษาและทำวิจัยไว้แล้วดังที่อธิบายไว้ในภาคทฤษฎีซึ่งพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการเจียรไนคือระยะลึกในการเจียร(depth of cut),ความเร็วตัด(Cutting speed),และอัตราการป้อน(Feed rate) ดังนั้นจึงจะนำพารามิเตอร์ทั้ง3ตัวมาทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาที่อายุการใช้งานของหินเจียรประกอบกับค่าใช้จ่ายในการเจียรที่สภาวะต่างๆซึ่งผลที่ได้จะนำไปสู่การปฏิบัติการเจียรที่มีประสิทธิภาพที่สุดต่อไป

สรุปหัวข้อปัญหา

1. ในงานการเจียรไนที่ผู้ทำการวิจัยเกี่ยวข้องอยู่ขาดการศึกษาอย่างจริงจังเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ ในการเจียร

2. ผู้วิจัย ต้องการทดลองพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อประสิทธิภาพในการเจียรไนสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ประมาณหาอายุการใช้งานของหินเจียรชนิด Silicon Carbide(Sic)
2. หาความเร็วตัดที่เหมาะสมในการเจียรไนผิวเหล็กหล่อทรงกระบอก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เป็นการเจียรไนผิวภายนอกทรงกระบอก ชิ้นงานคือลูกรีดทำจากวัสดุเหล็กหล่อผิวแข็ง (Chill Cast Iron)มีความแข็งระหว่าง 70-75 Shore C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 29.724 $\pm$0.002 นิ้ว
2. หินเจียรที่ใช้เป็นชนิด ซิลิคอนคาร์ไบด์ 39C 36HB 24AD มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24-36นิ้ว.หนา 3นิ้ว
3. กำหนดปัจจัยที่จะศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบต่ออัตราการเจียรไนคือ

ปัจจัยที่แปรผัน

ความเร็วตัดของชิ้นงาน(Cutting Speed)

ระยะลึกของการเจียร (Depth of Cut)

อัตราการป้อนของหินเจียร(Feed Rate)

ปัจจัยที่คงที่

ความเร็วตัดของหินเจียร

ความยาวในการเจียร

4. เป็นการเจียรหยาบโดยไม่คำนึงถึงความเรียบผิวของชิ้นงาน
5. อายุการใช้งานของหินเจียรหาจากเส้นผ่าศูนย์กลางที่ลดลง
6 Handling Costจะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากอิสระกับความเร็วตัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.ความเร็วตัด(cutting speed)ของชิ้นงานกำหนดต่ำสุดเท่ากับ 150 ฟุต/นาที เนื่องจากถ้าต่ำกว่านี้และใช้อัตราการป้อนที่สูงที่สุด ผิวชิ้นงานจะเริ่มเป็นคลื่นและถ้าใช้สูงเกินกว่า 250 ฟุต/นาที เครื่องจะเริ่มสั่น

2.ระยะลึกของการเจียร(depth of cut)ค่าต่ำสุดและสูงสุดที่กำหนดเป็นค่าที่อยู่ในช่วงการเจียรไนหยาบ

3.อัตราการป้อน(feed rate)ต่ำสุดกำหนดให้เท่ากับ 70 นิ้ว/นาที เนื่องจากถ้าต่ำกว่านี้จะใช้ในการเจียรไนละเอียดซึ่งไม่เหมาะสมใช้ในการทดลองซึ่งเป็นการเจียรไนหยาบ ที่ต้องการอัตราการเจียรที่สูงและค่าสูงสุดเท่ากับ 110 นิ้ว/นาทีถ้ามากกว่านี้เครื่องจะเริ่มสั่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 สามารถลดปริมาณการใช้หินเจียรลงได้

2 เพิ่มประสิทธิภาพการเจียระไนให้สูงขึ้น

3 ทราบปริมาณการใช้หินเจียรที่ถูกต้องมากขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ในการวาง แผนการจัดซื้อหินเจียร

4 ใช้เป็นแนวทางในการทดลองหินเจียรเกรดต่างๆเพื่อเลือกเกรดหินเจียรที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ สุดต่อไป

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการทดลองและกำหนดพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการเจียรไนและจัดทำแผนการทดลองให้เหมาะสมกับระยะเวลาที่สามารถทำการวิจัยได้โดยมีการกำหนดปัจจัยดังนี้

ปัจจัยแปรผัน

ความเร็วตัดของชิ้นงาน (ฟุตต่อนาที)	150 , 200 , 250
ระยะลึกการเจียร (นิ้ว)	0.0010 , 0.0020
อัตราการป้อนหินเจียร (นิ้วต่อนาที)	70 , 90 , 110

ปัจจัยคงที่

ความเร็วตัดของหินเจียร (ฟุตต่อนาที)	6,000
ความยาวชิ้นงาน (นิ้ว)	133.86

2. วิเคราะห์ผลการทดลองที่เกิดขึ้นว่าปัจจัยต่างๆได้แก่ ความเร็วตัดชิ้นงาน,อัตราการป้อนและระยะลึกของการเจียรจะมีผลกระทบต่ออัตราการสึกของล้อหินเจียรอย่างไร

3. หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งาน,ความเร็วตัด,อัตราการป้อนและระยะลึกของการ เจียร

4. หาความเร็วตัดที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไข ค่าใช้จ่ายการเจียร(grinding cost) ค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนล้อหินเจียร(wheel changing cost)และต้นทุนของหินเจียร(wheel cost)

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเจียรไนและกระบวนการตัดปาดผิวโลหะ
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องเจียรไนผิวภายนอกทรงกระบอก
3. เลือกปัจจัยที่จะทำการศึกษาและกำหนดค่าในแต่ละระดับของปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบต่ออัตราการเจียรไน
4. กำหนดวิธีการทดลองและขั้นตอนการทดลอง
5. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในกรรมวิธีการตัดปาดผิว นอกจากการกลึง, การกัด, การไสแล้ว การตัดปาดผิวโดยการเจียร เป็นอีกกรรมวิธี หนึ่งที่ให้คุณภาพผิวชิ้นงาน และขนาดที่ดีกว่า โดยปกติ จะใช้เป็นขั้นตอนท้ายๆ ของกระบวนการผลิตชิ้นงานที่ต้องการคุณภาพผิวที่ละเอียด การเจียร สามารถแบ่งออกได้มากมายหลายชนิด ตามลักษณะผิวชิ้นงานที่ต้องการเจียร และตามชนิดของเครื่องเจียร ซึ่งวิธีการในการเจียร จะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจำเป็นจะต้องศึกษา ถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการเจียรแต่ละชนิด ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเจียร

2.1 ชนิดของเครื่องจักร

เครื่องเจียรโดยทั่วไปจะแบ่งแยกตามชนิดของผิวชิ้นงานที่จะเจียร และแบ่งย่อยออกไปตามลักษณะเฉพาะของเครื่องเจียรแต่ละชนิด ที่แตกต่างกันออกไปได้ ตาม ตารางที่2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Type of Machine	Type of Surface	Specific Types or Features
Cylindrical External	External surface on rotating, usually cylindrical part	Work rotated between centers Centerless Chucking Tool post
Cylindrical internal	Internal diameters of holes	Chucking Planetary (work stationary) Centerless
Surface conventional	Flat surfaces	Reciprocating table or rotating table Horizontal or vertical spindle
Creep feed	Deep slots, profiles	Rigid, chatter-free, creep feed Continuous dressing Heavy coolant flows NC or CNC control Variable speed wheel
Tool grinders	Tool angles and geometries	Universal Special
Other	Special or any of the above	Disc, contour, thread, flexible shaft, swing frame, snag, pedestal, bench

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของเครื่องเจียร

การเจียรที่ให้ความแม่นยำสูง มี 3 ชนิด คือ External Cylindrical, Internal Cylindrical และ Surface Grinding วิธีการทั้ง 3 นี้ จะเป็นการเจียร ที่ซับซ้อนกว่าวิธีการอื่นๆ ดังรูปที่ 2.1

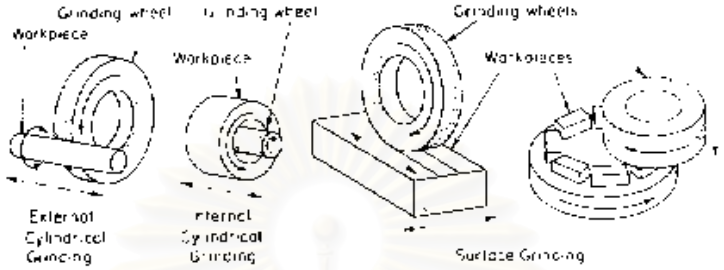
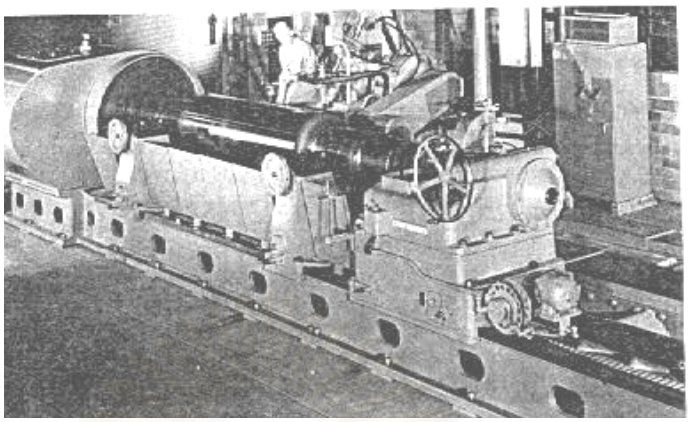


Figure 27-7 Basic precision grinding operations.

รูปที่ 2.1 ลักษณะการเจียรที่มีความแม่นยำสูงทั้ง 3 วิธี

ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาเฉพาะการเจียรแบบ ผิวภายนอกทรงกลม (External Cylindrical Grinding) การเจียรผิวภายนอกทรงกลม มีลักษณะการทำงานของเครื่องเจียร และขนาดของเครื่องที่แตกต่างกันออกไปตามขนาด ของชิ้นงาน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องเจียรผิวภายนอกทรงกลมที่ถูกออกแบบมาเฉพาะสำหรับการเจียรเพลาทรงกลมที่มีขนาดใหญ่มากๆ เช่น ลูกรีดในอุตสาหกรรมรีดเหล็กเป็นต้น ดังรูปที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 เครื่องเจียรชนิดเจียรผิวภายนอกทรงกลมสำหรับเจียรลูกรีด

การทำงานจะประกอบด้วยหินเจียรซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบที่ 6,000-6,500 ฟุต/นาที และสามารถเคลื่อนที่หินเจียรไปตามแนวตัดขวางได้ ส่วนลูกรีดจะหมุนอยู่ระหว่างยันศูนย์หัว และท้าย โดยมีตัวรองรับน้ำหนักที่คอลูกรีดทั้ง 2 ข้าง ซึ่งจะหมุนที่ความเร็วต่ำประมาณ 75-150 ฟุต/นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด ของเครื่องและน้ำหนักของลูกรีด ซึ่งอาจเกิดการเยื้องศูนย์ได้ง่าย

2.2 **หินขัด**

ในการทำผิวโลหะให้เรียบนั้นต้องการความแม่นยำทั้งขนาดของชิ้นงาน และคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งต้องการความละเอียดมาก และวัสดุที่จะใช้ทำชิ้นงานก็มีความหลากหลายทั้งแข็งแต่เปราะ หรืออ่อนแต่เหนียว ฉะนั้นอุปกรณ์หรือเครื่องมีที่จะนำมาใช้ในงานเหล่านี้จะต้องมีทั้งความแม่นยำสูง และความเที่ยงตรงที่สูง

แนวทางหนึ่งในการผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะดังกล่าวคือการขัดผิวเรียบ (Abrasive Machining) หินขัด (Abrasive) คือวัสดุที่เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ และมีมุมตัดที่คมแต่รูปร่างไม่แน่นอน และไม่สม่ำเสมอ Abrasive สามารถที่จะตัดวัสดุบริเวณผิวหน้าออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งจะทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานเรียบ และในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เครื่อง CNC กับกระบวนการ Abrasive Machining จึงทำให้ในปัจจุบันกระบวนการ Abrasive Machining สามารถนำไปใช้งานกับ

ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป และในงานที่ต้องการความละเอียดมากๆ พิกัดข้อกำหนด (Tolerance) ที่แคบอีกด้วย

ชนิดของหินขัด

Abrasive ที่ใช้กันอยู่ในทั่วไปในกระบวนการผลิตมี 2 ชนิด คือ หินขัดธรรมดา (Normal Abrasive) และหินขัดชนิดพิเศษ (Super Abrasive)

Normal Abrasive

1. Aluminium Oxide ($Al_2 O_3$)
2. Silicon Carbide (Si C)

Superabrasive

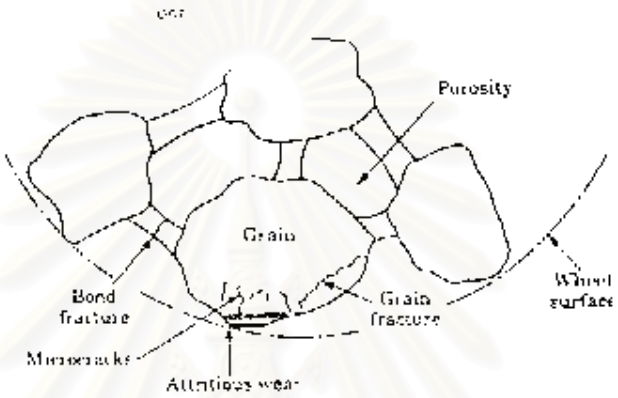
1. Cubic Boron Nitride (CBN)
2. Diamond

ซึ่งระดับความแข็งของ Abrasive เหล่านี้จะต้องแข็งกว่าเครื่องมือตัดโลหะโดยทั่วไป (Cutting Tool) โดยเฉพาะที่เป็น Diamond ในความหมายของความแข็งนั้น ลักษณะที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ ความร่วน (Friability) ของ Abrasive ซึ่งเป็นความสามารถที่ตัวเม็ด Abrasive จะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ ซึ่งการแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้นั้นจะทำให้ Abrasive มีความคมขึ้นมาอีกครั้งด้วยตัวมันเอง ซึ่งด้วยหลักการนี้จะทำให้ Abrasive คงรักษาความคมตลอดการใช้งานได้ แต่การที่ Abrasive มีความร่วน (Friability) มากแสดงถึงว่ามีความแข็งแรงน้อย ดังนั้น จะทำให้ Abrasive แตกตัวได้ง่ายในระหว่างการเจียรงาน เมื่อเทียบกับ Abrasive ที่มีความร่วนน้อย ตัวอย่างเช่น $Al_2 O_3$ จะมีความร่วนน้อยกว่า SiC ฉะนั้นจึงแตกได้ยากกว่า นอกจากนี้ หินขัด (Abrasive) ที่พบอยู่ตามธรรมชาตินั้นได้แก่พวก Corumdum (Alumina) Quartz เพชร Abrasive พวกนี้จะไม่ค่อยบริสุทธิ์มักจะมีแร่ธาตุอื่นเจือปน จึงทำให้คุณสมบัติไม่แน่นอน เนื่องด้วยเหตุผลนี้ทั้ง $Al_2 O_3$ และ SiC ¨ซึ่งมาจากการผลิตขึ้นเองด้วยมนุษย์ด้วยการสังเคราะห์ เพื่อที่จะควบคุมคุณสมบัติให้ได้

2.3 การเชื่อมประสานหินขัด

หน้าที่ของ Abrasive แต่ละตัวคือการตัดเนื้อวัสดุออกมา แต่เนื่องจาก Abrasive แต่ละตัวมีขนาดเล็ก ฉะนั้นถ้าต้องการที่จะตัดเนื้อวัสดุให้ออกมาในอัตราที่มากๆ ต่อหน่วยเวลา ก็จะต้องใช้ Abrasive จำนวนมากๆ ในการตัดในเวลาเดียวกัน ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงต้องการการนำ Abrasive ให้มาจับตัวกันเรียกว่า Bonded Abrasive ซึ่งการจับตัวกันจะทำให้เกิดรูปร่างของ Abrasive ใหม่ในชื่อที่เรียกว่า “หินเจียร (Grinding Wheel)” Abrasive สามารถมาจับตัวกันได้ด้วย วัสดุที่ทำ

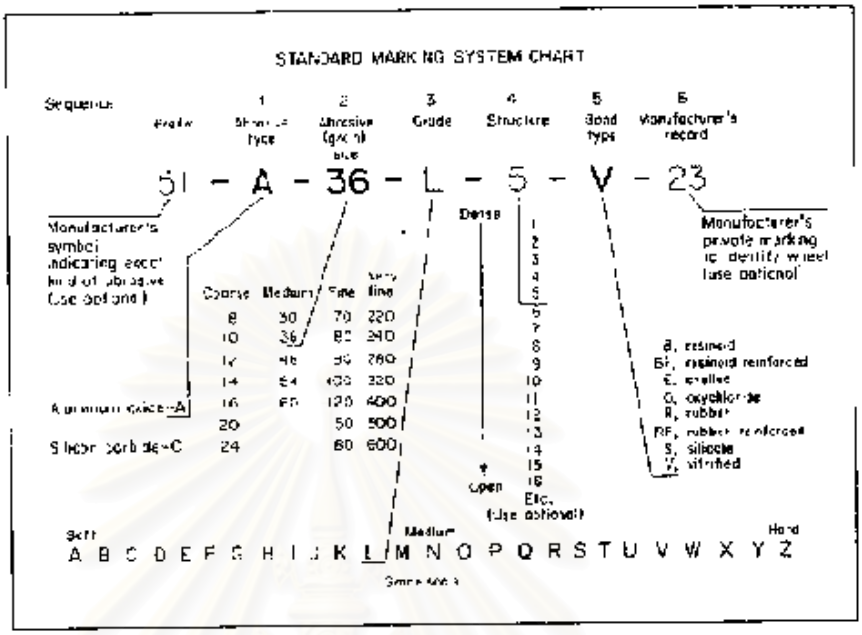
หน้าที่จับยึดระหว่าง Abrasive เข้าด้วยกัน เรียกว่าการ Bonding และจะทำให้เกิดช่องว่าง ที่เรียกว่า Porosity ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแหล่งในการเก็บเศษเจียรที่เกิดขึ้นระหว่างการเจียร ซึ่งจะช่วยให้เศษเจียรไม่เข้าไปทำลายผิวเจียร และจะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการหล่อเย็นด้วย ดังนั้นด้วยเหตุผลเหล่านี้จะเห็นได้ว่าเป็นไปไม่ได้เลยที่จะทำให้หินเจียรมีความหนาแน่นมากจนไม่มีช่องว่างเลย ดังรูป2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างหินเจียร

2.4 **ล้อหินเจียร**

ล้อหินเจียรเป็นปัจจัยที่สำคัญมากอีกปัจจัยหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากล้อหินเจียรเปรียบเสมือนเครื่องมือตัด ที่มีคมตัดจำนวนมาก และมีการสลัดเปลี่ยนคมตัดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีผลโดยตรงกับความหยาบผิว หรือคุณภาพผิวของชิ้นงาน แต่ด้วยความหลากหลายของล้อหินเจียรที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงเป็นการยากที่จะเลือกใช้ล้อหินเจียร ดังนั้นการเลือกใช้ล้อหินเจียรให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การผลิตและชิ้นงาน จึงมีความจำเป็นอย่างมาก ความแตกต่างของล้อหินเจียรสามารถอธิบายได้ ตามข้อกำหนด (Specification) ที่กำหนดเป็นมาตรฐาน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการกำหนดสัญลักษณ์มาตรฐานของหินเจียรธรรมดา

สัญญลักษณ์มาตรฐานของหินเจียรธรรมดา ตามรูปที่ 2.4 อธิบายจากซ้ายไปขวา ได้ดังนี้

2.4.1 **ชนิดของเม็ดขัด** (Abrasive Type)

มีทั้งชนิดที่ได้จากธรรมชาติ และได้จากการสังเคราะห์เม็ดขัดที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ เพชร (Diamond), หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz), แร่อะลูมิเนียมออกไซด์ (Corundum), ผงแร่ (Emery), หินไฟ (Flint) และโกเมน (Garnet)เม็ดขัดที่ได้จากการสังเคราะห์โดยทั่วๆ ไป ได้แก่ White Aluminium Oxides, Monocorundum, Green and Blank Silicon Carbides, Boron Carbide, Borosilicon Carbide, Chromic and Titanic Aluminium Oxides

2.4.2 **ขนาดของเม็ดขัด** (Grain Size)

จะแสดงถึงชนิดของขั้นตอนการทำงาน หรือความต้องการของคุณภาพผิว ซึ่งจะมีขนาดมาตราฐาน โดยแบ่งได้เป็น ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงขนาดมาตราฐานของเม็ดขัด

ขนาดของเม็ดขัด (Grain Size)					
หยาบ	16	20	24		
ปานกลาง	54	60			
ละเอียด	100	120	150	180	220
ละเอียดมาก	400	500	600	700	800
ละเอียดที่สุด	2000	2500	3000		

2.4.3 เกรด หรือความแข็ง (Grade or Hardness)

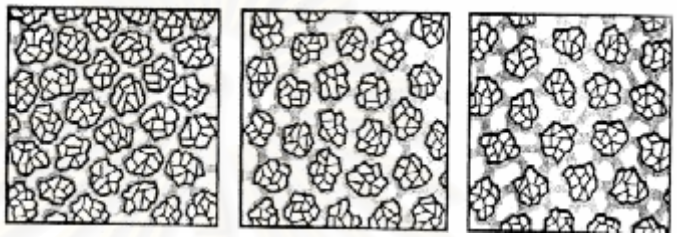
ขณะทำการเจียรนั้นคมตัดของเม็ดขัดจะหมดคมไป และถ้าแรงกดมีมากพอ เม็ดขัดจะหลุดออกจากตัวประสาน นั้นคือ ล้อหินที่แข็งจะต้องใช้ตัวประสานที่แข็งมากกว่า ล้อหินเจียรที่อ่อน หรืออาจกล่าวได้ว่า ล้อหินเจียรที่เม็ดขัดหลุดออกจากล้อหินเจียรได้ง่าย คือ ล้อหินเจียรที่อ่อน (Soft) และล้อหินเจียรที่เม็ดขัดหลุดออกจากล้อหินเจียรได้ยาก คือล้อหินเจียรที่แข็ง (Hard) โดยที่เกรดความแข็งของล้อหินเจียรนั้น แจงไว้เป็นเกรดต่างๆ ตามลำดับพยัญชนะภาษาอังกฤษ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงเกรด หรือความแข็ง และโครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด

เกรด หรือความแข็ง (Grain or Hardness)					โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด (Structure)	
อ่อนมาก	E	F	G		ละเอียดมาก	0-1
อ่อน	H	I	J	K	ละเอียด	2-3
ปานกลาง	L	M	N	O	ปานกลาง	4-5
แข็ง	P	Q	R	S	รูพรุนใหญ่	6-7
แข็งมาก	T	U	V	W	รูพรุนใหญ่มาก	8-9
แข็งมากที่สุด	X	Y	Z			

2.4.4 โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด (Structure)

แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของเม็ดขัด หรือขนาดของรูพรุน ซึ่งล้อหินเจียรที่มีขนาดรูพรุนใหญ่มาก (Open) มักจะเป็นล้อหินเจียรที่มีขนาดใหญ่หนา และจะใช้ปริมาณตัวประสานค่อนข้างมาก หรือเกรดแข็งส่วนล้อหินเจียรที่มีขนาดรูพรุนเล็ก หรือละเอียด (Dense) มักจะใช้ปริมาณตัวประสานค่อนข้างน้อย หรือเกรดอ่อน โดยที่โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัดแจงไว้ตามหมายเลขจากหมายเลข 0 ถึง 9 ดังตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.5



รูพรุนเล็ก รูพรุนกลาง รูพรุนใหญ่

รูปที่ 2.5 ขนาดของรูพรุนในล้อหินเจียร

โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัดนั้นยังแสดงให้เห็นถึงการการประมาณปริมาณคมตัดหรือปริมาณเม็ดขัดต่อตารางนิ้ว ซึ่งแบ่งออกตามข้อสมมติฐาน นั้นคือ (Degarmo,E.Paul.1974)

การที่ไม่มีการนำขนาด และปริมาณของตัวประสานมาทำการพิจารณา จะได้

$$\text{ค่าประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว} = (\text{ขนาดของเม็ดขัด})^2$$

การพิจารณาถึงตัวประสานเข้ามาเกี่ยวข้องโดยเสนอการคำนวณอย่างหยาบ คือสมมติฐานที่ว่ามีปริมาณตัวประสาน 55 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว ซึ่งจะสามารถประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว และเป็นสมมติฐานที่มีความนิยมสูง นั้นคือ

$$\text{ค่าประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว} = (\text{ขนาดของเม็ดขัด})^2$$

นอกจากนี้ยังสามารถประมาณจำนวนเม็ดขัดที่สัมผัสกับชิ้นงานต่อนาทีนั้น คือ

ค่าประมาณจำนวนคมตัดที่สัมผัสกับผิวของชิ้นงานต่อนาที

= (ความกว้างของล้อหินเจียร) x (¶) x (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหินเจียร) x (ความเร็ว รอบของล้อหินเจียร) x (ค่าประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว)

2.4.5 ชนิดของตัวประสาน (Bond Type)

ตัวประสานจะทำหน้าที่ในการจับยึดเม็ดขัดในติดกัน หรือให้เกิดรูปทรงทางเรขาคณิตของล้อหินได้ ซึ่งชนิดของตัวประสานที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ Vitrified Bond, Resinoid Bond และ Rubber Bond

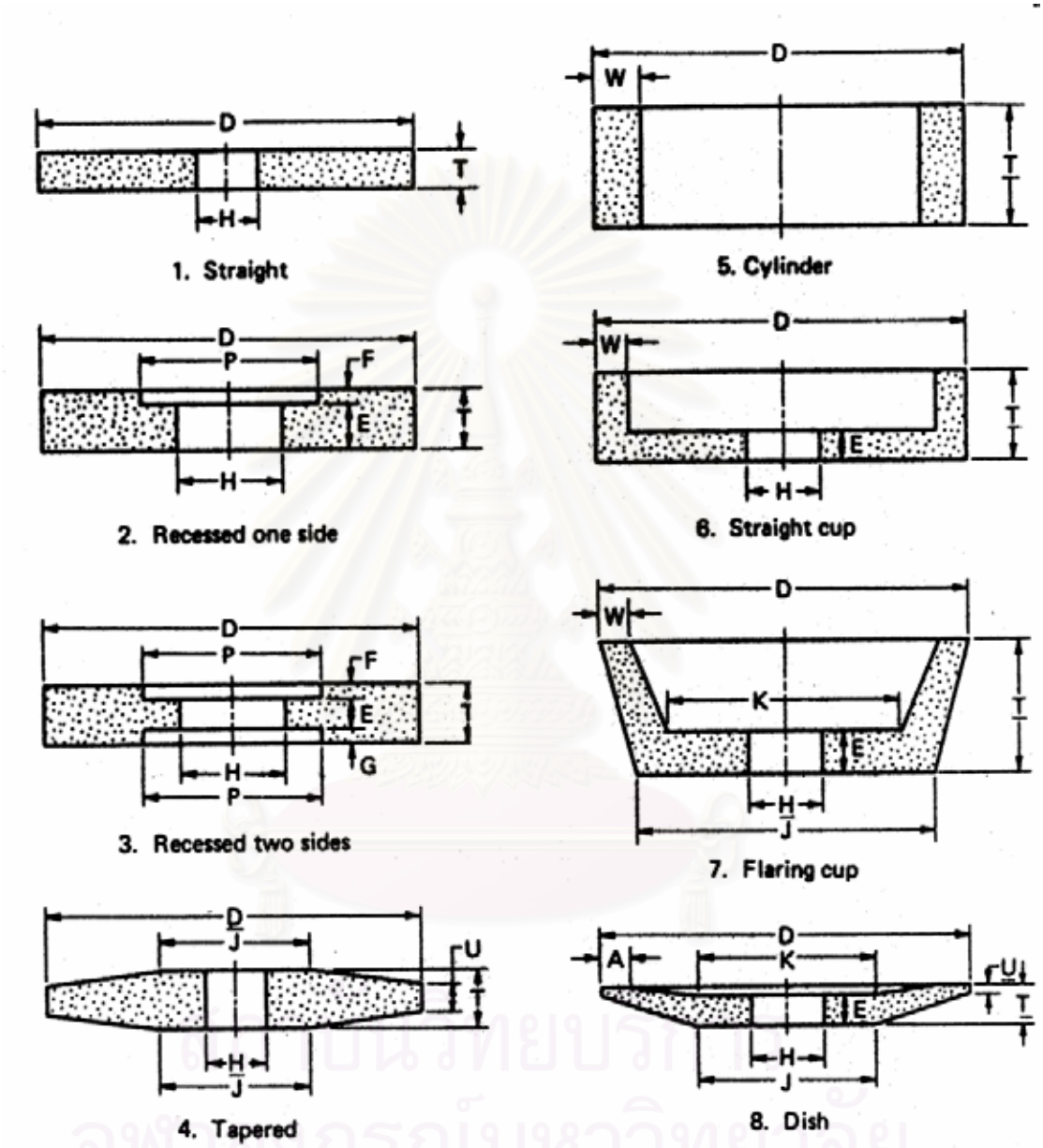
1.Vitrified (V) เป็นตัวประสานที่มีความแข็งแรงสูงที่สุด ทนต่อการทำงาน ณ ที่อุณหภูมิสูง และมีลักษณะรูปร่างที่แน่นอน ถึงอย่างไรก็ตาม ยังคงไม่เหมาะที่จะใช้กับงานที่รับแรงกระแทกและทำล้อหินเจียรที่มีความหนาน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก Vitrified เป็นตัวประสานที่ค่อนข้างเปราะหรือไม่ยืดหยุ่น เหมาะสำหรับประเภทของงาน ที่ต้องการความแม่นยำสูง หรือเหมาะสำหรับงานเจียรหยาบโดยทั่วไป

2.Resinoid (B) เป็นตัวประสานที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่า Vitrified แต่มีความสามารถในการทำงานที่อุณหภูมิสูงน้อยกว่าล้อหินเจียร ที่ทำมาจากตัวประสาน Vitrified นอกจากนี้ ยังทนต่อสารเคมี และน้ำต่ำ ซึ่งขณะปฏิบัติงานบ่อยครั้งที่ไม่ใช้น้ำยาหล่อเย็น ณ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 200°C Resinoid ก็จะกลายเป็นตัวประสานที่มีคุณสมบัติเปราะ เหมาะสำหรับการเจียรที่ต้องการความเร็วตัดสูงๆ ใช้ได้ดีกับงานเจียรละเอียด ลบคม (Deburring) แต่งขอบ หรือกระบวนการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

3.Rubber (R) เป็นตัวประสานที่มีความยืดหยุ่นสูงที่สุด ในบรรดาตัวประสานที่กล่าวมากับโครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด ในลักษณะที่มีความหนาแน่นสูงหรือมีขนาดรูพรุนเล็กและทนต่อการทำงานกับน้ำ (Water-Resistant) แต่มีขอบเขตในการใช้งาน ณ อุณหภูมิสูงใช้งานได้ดีกับการเจียรน้อยๆ และเหมาะที่จะใช้เป็นล้อหินเจียรสำหรับปรับ (Regulating Wheels) ในการเจียรแบบไร้ศูนย์ (Centerless) หรือ ใช้เป็นล้อตัดชิ้นงาน (Cut-Off Wheels) ทำร่อง และรอยบาก

2.4.6 รูปทรงทางเรขาคณิตของล้อหินเจียร(Geometry and Size of AbrasiveTools)

เพื่อความสะดวกในการใช้งานไม่ว่าจะเป็นการเจียรผิวนอก หรือการเจียรรูใน ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับขนาด และรูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งจะยึดติดกับแกนของเครื่องหมุนรอบแกนดังกล่าว รูปทรงมาตราฐาน แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงรูปทรงมาตรฐานของหินเจียร

2.5 การสึกหรอของล้อหินเจียร

ขณะทำการเจียร เม็ดขัดบนผิวนอกสุดหรือผิวตัดของล้อหินเจียรจะสึกหรอ โดยรูปแบบของการสึกหรอ สำหรับการเจียร สามารถจำลองรูปแบบการสึกหรอได้ดังนี้

1 เกิดจากตัวประสานระหว่างเม็ดขัด ซึ่งเป็นตัวประสานที่อ่อนแอ หรือมีความแข็งแรงไม่เพียงพอกับแรงตัด (Cutting Force) ที่เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลให้ เม็ดขัดหลุดออกจากการ ล้อหินเจียรในขณะทำการเจียร (ดังแสดงในรูปที่ 2.7a)

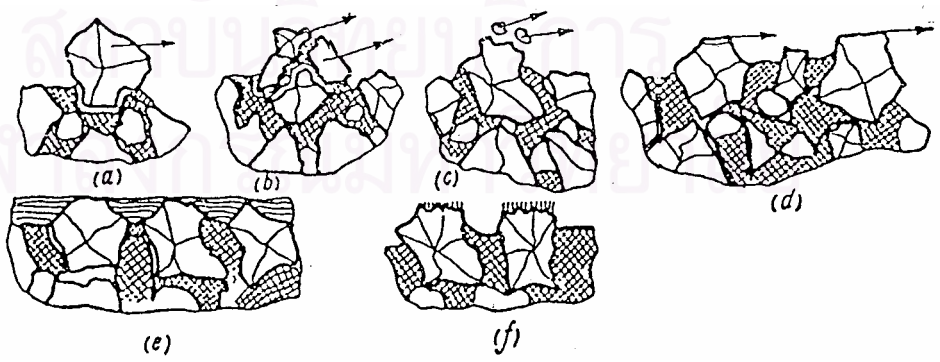
2 เกิดจากการแตกหักของตัวเม็ดขัดเอง ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแรงตัดที่มากเกินไป เช่นเดียวกันกับกรณีแรก (ดังแสดงในรูปที่ 2.7b)

3 เกิดจากเม็ดขัดที่มียอดแหลมโผล่ออกมาสูงมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกหักบางส่วน หรือบริเวณยอดแหลมนั้นๆ ด้วยเหตุผลของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ในขณะทำการเจียร (ดังแสดงในรูปที่ 2.7c)

4 เกิดจากแรงเสียดทานในขณะทำการเจียร ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณด้านหน้าของเม็ดขัด ในลักษณะที่ขนานกับทิศทางการตัด ส่งผลให้ขัดขวางการเจียรไน หรือลดปริมาณคมตัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.7d)

5 เกิดจากเศษโลหะ หรือเศษวัสดุ เข้าไปอุดตันในบริเวณรู หรือ ร่องเล็กๆ ระหว่างเม็ดขัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.7e)

6 เกิดจากเศษวัสดุที่ทำการเจียร ยึดติดอยู่กับเม็ดขัด ณ บริเวณด้านหน้าของเม็ดขัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.7f) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงมากในขณะทำการเจียร



รูปที่ 2.7 แสดงถึงลักษณะการสึกหรอสำหรับกระบวนการเจียร

ถ้าการสึกหรอที่เกิดขึ้น เกิดจากการที่เม็ดขัดหลุดออกจากบริเวณผิวหน้าของล้อหินเจียรจะทำให้เกิดคมตัดใหม่ ซึ่งเราอาจจะเรียกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า มีการตกแต่งล้อหินเจียรโดยล้อหินเอง (Self Dressing) แต่การที่เม็ดขัดหลุดออกไปนั้น จะมีผลทำให้ผิวหน้าของล้อหินเจียรผิดรูปร่างไป (หรือผิวล้อหินเจียรไม่เรียบ) จากเดิม ซึ่งจะส่งผลให้ลดความสามารถในการตัดชิ้นงาน คุณภาพผิวของชิ้นงานจะลดลง และความแม่นยำของขนาดชิ้นงานต่ำลงอีกด้วย ดังนั้นการปรับ หรือการซ่อมแซม รูปร่างของล้อหินเจียร ความสามารถในกาตัด คุณภาพผิวของชิ้นงานให้มีสภาพเดิม (ค่าเริ่มต้น) สามารถกระทำได้โดยการตกแต่งล้อหินเจียร โดยทั่วๆ ไปจะใช้เพชรเป็นเครื่องมือในการตกแต่งล้อหินเจียร อายุการใช้งานของล้อหินเจียรสั้นลงด้วยคุณลักษณะของล้อหินเจียร คือขนาดของเม็ดขัดที่ใหญ่ โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัดที่มีขนาดรูพรุนใหญ่มาก และล้อหินที่มีเกรด หรือความแข็งต่ำๆ จากข้อสังเกตของอายุการใช้งานของล้อหินเจียร จะได้ว่าล้อหินเจียรที่มีเม็ดขัดเป็น Monocorundum และ White Aluminium Oxide จะมีอายุการใช้งานที่สูงกว่า Standard Aluminium Oxide และล้อหินเจียรที่ใช้ตัวประสานเป็น Vitrified และ Resinoid จะมีอายุการใช้งานที่สูงกว่าล้อหินเจียรที่ใช้ตัวประสานเป็น Rubber

ช่วงระยะเวลาระหว่างการตกแต่งล้อหินเจียร (The Service Life of An Abrasive Tool) จะทำการวัดค่าออกมาเป็นหน่วยของเวลา (นาที) ซึ่งช่วงระยะเวลาระหว่างการตกแต่งล้อหินเจียรขึ้นอยู่กับ ความเร็วตัด อัตราการป้อน คุณสมบัติของล้อหินเจียร และสภาวะการตัดของการเจียร โดยทั่วไป ช่วงระยะเวลาระหว่างการตกแต่งล้อหินเจียรจะอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 300 นาที สำหรับการเจียรรูใน และจาก 3 ถึง 80 นาที สำหรับการเจียรทรงกระบอก

2.6 **การตัดและปรับแต่งหินเจียร** (Dressing, Truing of Grinding Wheel)

Dressing เป็นกระบวนการสร้างผิวของหินเจียรใหม่โดยทำให้คมตัดเก่าที่สึกแล้วหลุดออกไปการ Dressing จะสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อหินเจียรมีลักษณะที่บกพร่องดังต่อไปนี้

- การสึกแบบ Attritious Wear ที่ Grain โดยสังเกตได้จากมีแสงแวววาวตลอดผิวของหินเจียร
- เมื่อ Prorosities บนผิวของหินเจียรเต็มไปด้วยเศษเจียร ซึ่งเกิดในกรณีที่เลือกหินเจียรไม่เหมาะสมกับวัสดุ

การ Dressing สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. ใช้Diamondที่มีรูปร่างถูกออกแบบมาโดยเฉพาะหรือเป็นแบบClusterวิ่งผ่านหินเจียรที่กำลังหมุนและในการวิ่งผ่านแต่ละครั้งจะต้องมีการตัดผิวของหินเจียรออกเป็นชิ้นบางๆเพื่อเปิดผิวใหม่ให้กับหินเจียร
2. ใช้แผ่นเหล็กที่มีรูปร่างเป็นจานเคลื่อนที่ผ่านหินเจียรขณะที่กำลังหมุนซึ่งจะทำให้ Grain แต่หักเนื่องจากการชน ก็จะเป็นการเปิดผิวใหม่ได้เช่นกัน วิธีนี้จะใช้ในการเจียรหยาบและเครื่องจักรประเภท Manual
3. ใช้ระบบ Electrical Discharge กับพวก Metal Bond

การ Dressing มีผลโดยตรงกับผิวของหินเจียร ซึ่งจะส่งผลกระทบไปถึงกำลังในการเจียรและคุณภาพของผิวเจียร ในปัจจุบันได้มีการทำเครื่องเจียรที่ใช้ระบบ CNC เข้าควบคุม จึงทำให้สามารถ Dressing หินเจียรได้สะดวก และรวดเร็วและทำให้คุณภาพของผิวงานดีขึ้น

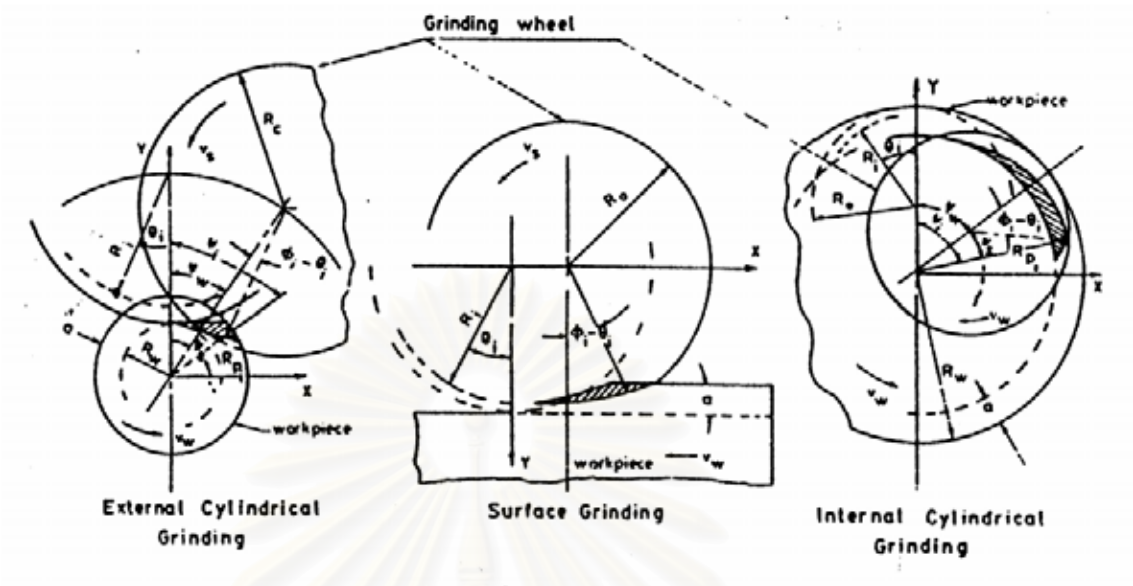
Truing เป็นรูปแบบหนึ่งของการ Dressing แต่เป็นการทำเพื่อสร้างหินเจียรที่มีเส้นรอบวงที่กลมขึ้นมาอีกครั้ง ซึ่งกรรมวิธีการ Truing จะเหมือนกับ Dressing แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ การ Truing จะต้องทำเมื่อมีการเริ่มต้นในการใช้หินเจียรก่อนใหม่ ซึ่งจุดประสงค์ของการทำคือการปรับขนาดของหินเจียร และลักษณะความกลมของเส้นรอบวงของหินเจียรให้มีความกลมก่อนที่จะทำใช้ในการเจียรชิ้นงานจริง

2.7 การวิเคราะห์การทำงานของกระบวนการเจียร

2.7.1 ความผันแปรของกระบวนการเจียร

ผลของความผันแปรในการเจียรระไนสามารถอธิบายได้จากการวิเคราะห์การทำงานของกระบวนการเจียรดังรูปที่2.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของกระบวนการเจียรไน ทั้ง 3 วิธี

เมื่อ a (mm) = ความลึกของการตัด

a_n (mm) = ความหนาสูงสุดของเศษตัด

D_s (mm) = เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อหินเจียร

D_w (mm) = เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน

G(mm/mm) = อัตราส่วนการเจียร, โลหะที่หลุดออก/ การชำรุดของหินเจียร

l (mm) = ความยาวเศษตัด

R_w (mm) = รัศมีของชิ้นงาน

R_o (mm) = รัศมีของล้อหินเจียร

R_i (mm) = ตำแหน่งรัศมีของเม็ดหินขัด

V_s (m/s) = ความเร็วของล้อหินเจียร

V_w (m/s) = ความเร็วของชิ้นงาน

ω (rad/s) = ความเร็วเชิงมุมของล้อหินเจียร

θ_i (rad) = มุมของเม็ดหินขัด

ϕ (rad) = มุมเคลื่อนที่ของล้อหินเจียร = $\omega_s t$

β (rad) = มุมของเศษตัด

i = เม็ดหินขัดแต่ละชิ้นเปลี่ยนไปตามตำแหน่ง Vector R_i และ θ_i

จากรูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของล้อหินเจียรเป็นมุม $\phi_i = \omega_s t$ ด้วยความลึกในการตัด (a) ในเวลา (t) จากตำแหน่งเริ่มต้น สามารถให้ตำแหน่ง Vector ในระบบ (x, y) ดังนี้

$$G(t)=[(R_i/q)\,\phi i + R_i \sin(\phi i - \theta i)]i +[R_i \cos(\phi i - \theta i)]j \quad \text{----------(1)}$$

เมื่อ $q = V_s / V_w$ = อัตราส่วนความเร็ว

การเจียรผิวทรงกระบอกภายในและภายนอก,ตำแหน่ง Vectorอธิบายด้วยการใช้ Polar coordinate

โดย $G(t) = [R_{pi}(t) , \psi i(t)]$ ---------(2)

เมื่อ $R_{pi}(t) = \{[R_i \sin(\phi i - \theta i)]^2 + [R_w + R_i \cos (\phi i - \theta i)]^2\}^{1/2}$ --------(3)

และ $\psi i(t) = \psi_{wi}(t) + \psi si(t)$ -------(4)

ด้วย $\psi_{wi}(t) = (R_o / R_w q)\,\phi i$= (มุมการหมุนของชิ้นงานในเวลา t) -------(5)

$\psi si(t) = \text{Arctan}[R_i \sin(\phi i - \theta i)/ (R_w + R_o) + R_i \cos (\phi i - \theta i)]$ ------(6)

= มุมการหมุนของล้อหินเจียรในเวลา t

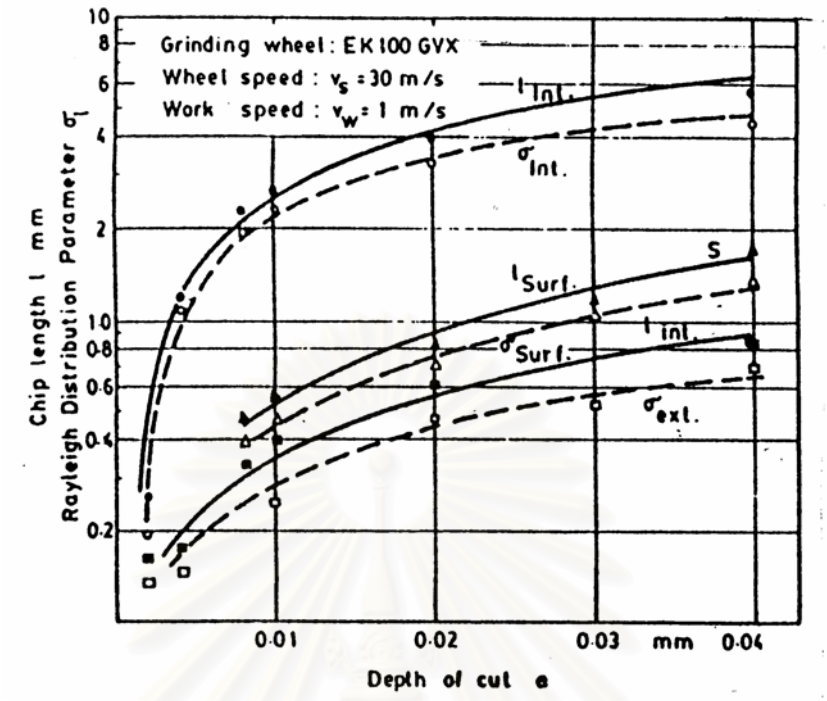
สมการที่ 3 และ 6 เครื่องหมายลบเกี่ยวข้องกับ การเจียรผิวทรงกระบอกภายนอกและเครื่องหมายบวกเกี่ยวข้องกับกระบวนการเจียรผิวทรงกระบอกภายใน

การจำลอง การเคลื่อนที่ ของกระบวนการเจียร เพื่อใช้หาความยาว (l) และความหนาเศษตัด (a_n) (Younis and Alawi, 1984a)

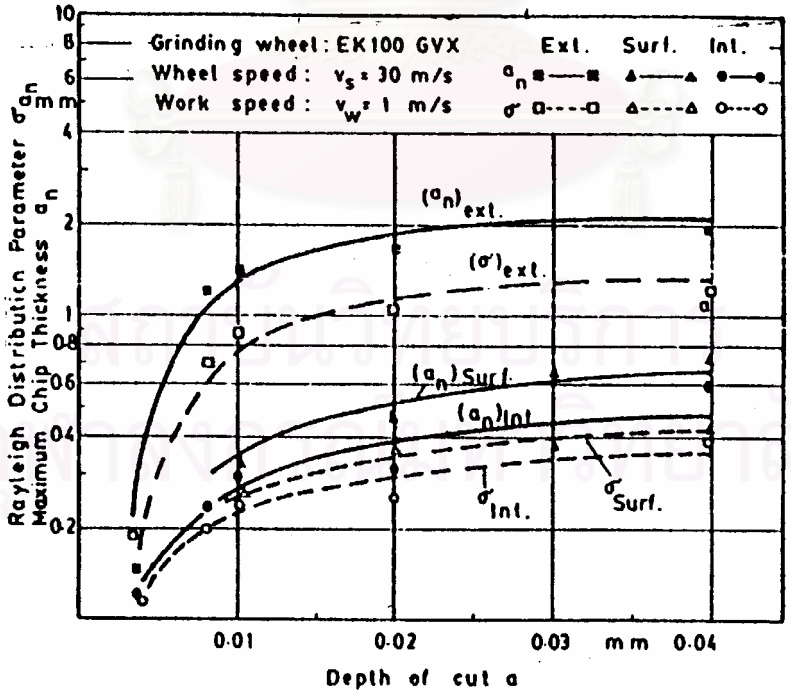
ความหนาเศษตัดสูงสุด (a_n)และความยาว (l) ขึ้นกับ การทำงานของ 2 คมตัด i และ (i– k) รูปที่ 2.11 คำนวณจากการวิ่งตัดผ่านของเส้นวงแหวนของ 2 เม็ดหินขัดจาก สมการที่ 1 และ 2มีลักษณะเช่นเดียวกันทั้ง 3 กระบวนการเจียร

ผลจากการทดลอง (Younis and Alawi, 1984a)

ความผันแปรของความยาวเศษตัด (l) และพารามิเตอร์การกระจาย Rayleigh (σi) พล็อตกับ ความลึกของการตัด (a) ตามรูปที่ 2.9 สำหรับทั้ง 3 กระบวนการในการเจียร์คือการเจียรผิวราบ (Surf) การเจียรผิวทรงกระบอกภายนอก (ext) และการเจียรผิวทรงกระบอกภายใน (Int) แสดงค่าทั้ง 2 จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกด้วยอัตราที่สูง และอัตราการเพิ่มขึ้นจะลดลง ด้วยการเพิ่มความลึกของการตัด (a) การเจียรผิวทรงกระบอกภายในจะให้ค่าสูงที่สุด และการเจียรผิวทรงกระบอกต่ำที่สุด



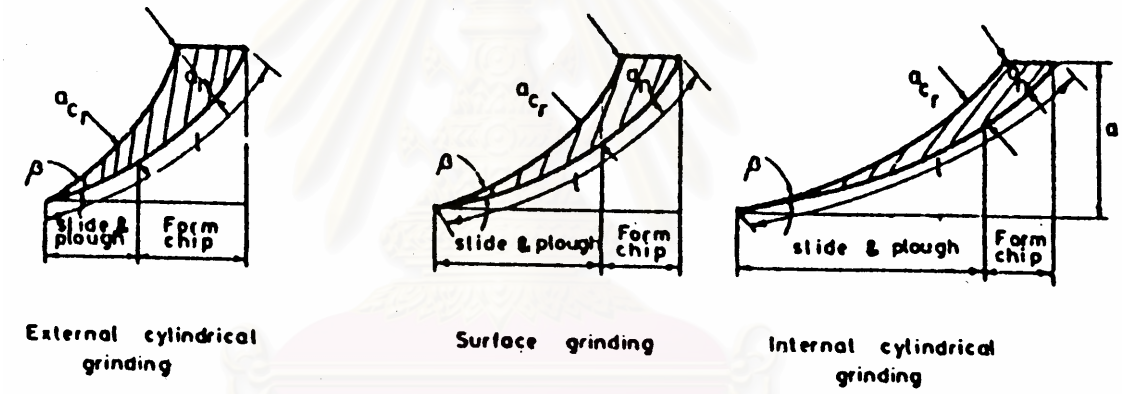
รูปที่ 2.9 แสดงความผันแปร l , σi กับ a



รูปที่2.10 แสดงความผันแปรของ a_n,σi,กับa

รูปที่ 2.10 ลักษณะคล้ายกัน แสดงความผันแปรของความหนาเศษตัดสูงสุด (a_n) และพารามิเตอร์การกระจาย Rayleigh (σi) กับความลึกของการตัด (a)

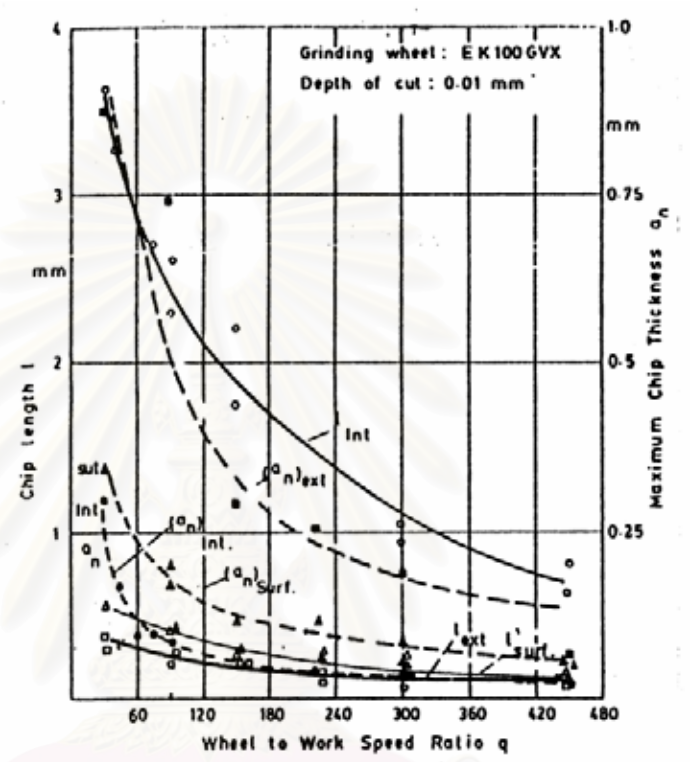
ข้อสังเกตจากรูปที่ 2.9 และ2.10 ความลึกของการตัด (a) ที่เหมือนกัน, ความหนาเศษตัดสูงสุด (a_n)สำหรับการเจียรผิวทรงกระบอกภายใน (Int) มีค่าน้อยมาก ขณะที่ ความยาวเศษตัดสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการเจียรผิวราบและการเจียรผิวทรงกระบอกภายนอก
รูปที่ 2.11 แสดงความหนาเศษตัด (a_n) ที่ลดลงจากซ้ายไปขวา ขณะที่ความยาวเศษตัดจะเพิ่มขึ้นของกระบวนการทั้ง 3วิธี



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะเศษตัดของทั้ง 3 กระบวนการเจียร

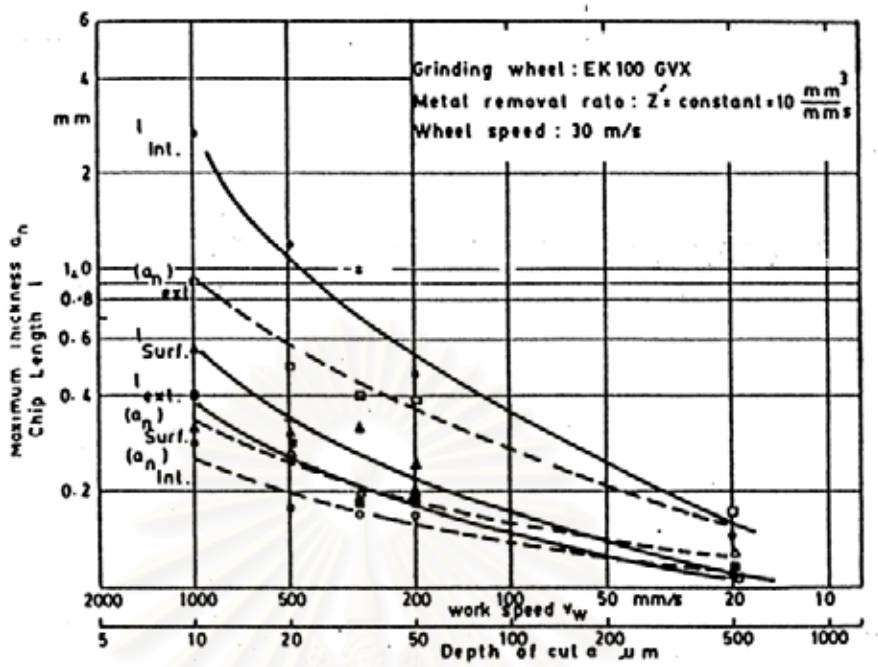
ความผันแปรของความยาวเศษตัด (l) และความหนาเศษตัด (a_n) พล็อตกับอัตราส่วนความเร็ว (q)ตามรูปที่ 2.12 ทั้งความหนาเศษตัด และความยาวที่ลดลงด้วยการเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว, การจำกัดอัตราส่วนความเร็วทำให้ความยาวเศษตัดสูงกว่าเมื่อเทียบกับความหนาของเศษตัดของทั้ง 3 กระบวนการ อิทธิพลของอัตราความเร็ว เมื่อเทียบกับ การเจียรผิวราบและการเจียรทรงกระบอกภายใน ข้อสังเกต โดยเฉพาะ ความยาวเศษตัด (l) สำหรับการเจียรทรงกระบอกภายใน ค่าจะสูงที่สุดขณะที่ การเจียรผิวทรงกระบอกภายนอก จะต่ำที่สุด และความหนาเศษตัด

(a_n) สำหรับการเจียรผิวทรงกระบอกภายนอก ค่าจะสูงที่สุด ขณะที่การเจียรทรงกระบอกภายในจะต่ำที่สุดสอดคล้องกับ รูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของ l , a_n และ q

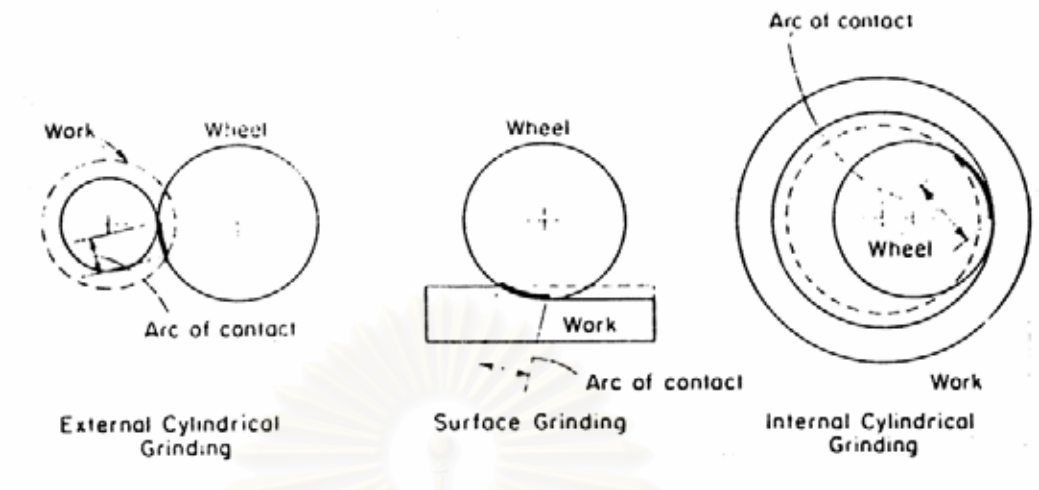
ข้อสังเกต จาการเปรียบเทียบ ระหว่างรูป 2.9, 2.10 และ 2.12 นั้น อิทธิพลของอัตราส่วนความเร็ว (q) ความยาวและความหนาเศษตัดจะตรงกันข้ามกับความลึกของการตัด (a) , อิทธิพลที่ตรงกันข้ามกันของพารามิเตอร์ทั้งคู่นี้ เพราะกำหนดให้ อัตราการหลุดออกของเศษโลหะ
= ($\dot{Z}$ = a V_W)คงที่



รูปที่ 2.13 แสดงความเปลี่ยนแปลงของความหนาและความยาวเศษตัด

รูปที่ 2.13 แสดงความเปลี่ยนแปลงของความหนาเศษตัดและความยาวเศษตัดที่อัตราการหลุดออกของโลหะคงที่ ($\dot{Z}$ = 10 mm^3/mm^3 s) และความเร็วหินเจียรคงที่ (V_S=30m/s) แต่ละการเปลี่ยนแปลงของความเร็วชิ้นงาน (V_W) และความลึกของการตัด (a) . อนึ่งการลดลงของความยาวและความหนาเศษตัดมีอิทธิพลจากการเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว (การลดความเร็วชิ้นงาน) . การเปลี่ยนแปลงของขนาดเศษตัดเมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงไปเหตุผลหลักก็คือ ทางเดินของเส้นรอบวงในการเจียรทั้ง 3 กระบวนการไม่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 2.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนโค้งของผิวสัมผัสทั้ง3กระบวนการเจียร

จากรูปที่ 2.14 รัศมีวงแหวนของส่วนโค้งสำหรับการเจียรทรงกระบอกภายในจะมากกว่าและสำหรับการเจียรยรผิวราบ และการเจียรทรงกระบอก จะน้อยกว่า ความแตกต่างของการสัมผัสกันนี้สามาถดูได้เมื่อทางเดินวงแหวนของเม็ดหินขัด ถูกประมาณโดยเส้นรอบวง (Younis and Werner 1970, 1971, Younis และ Tlusty 1976)

ในช่วงระยะหลังนี้ ความหนาของเศษตัดสูงสุด และความยาวหาได้โดย

$$a_n = 2L_i V_W / V_S [a/D_e]^{1/2} \quad \text{----------(7)}$$

$$l = [aD_e]^{1/2} \quad \text{----------(8)}$$

เมื่อ Li = $R_i \Delta\theta_i$ ความแตกต่างของเส้นรอบวงระหว่างเม็ดหินที่กระทำการตัด

$\Delta\theta_i$ = มุมของรัศมีระหว่างเม็ดหินที่กระทำการตัดอย่างต่อเนื่อง

D_e = ความสมดุลของเส้นผ่าศูนย์กลาง $= \left| D_s D_w \right| / \left| D_w \pm D_s \right|$ --------(9)

= Ds สำหรับการเจียรผิวราบ ($D_w = \infty$)

เมื่อ Dw และ Ds เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานและล้อหินเจียรตามลำดับ และเครื่องหมายบวกจากสมการที่ 10 ใช้กับ การเจียรผิวทรงกระบอกภายนอกและเครื่องหมายลบสำหรับการเจียรผิวทรงกระบอกภายใน

ความสมดุลของเส้นผ่าศูนย์กลาง (จากตารางที่2.4) D_e คือเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อหินเจียรที่ใช้ในการป้องการเจียร ซึ่งการเจียรผิวราบความลงรอยพอดี เท่ากับ D_s และการเจียรทรงกระบอกจะเป็นการรวมกันของD_s กับ D_w

	External Cylinder Grinding	Surface Grinding	Internal Cylindrical Grinding
Grinding wheel diameter D_s(mm)	400	200	100
Work piece diameter D_w(mm)	50	∞	150
Equivalent wheel diameter $D_e = D_s D_w / D_w \pm D_s$	44	200	300

ตารางที่ 2.4 แสดงความสมดุลของเส้นผ่าศูนย์กลาง

ขณะที่เม็ดหินขัดสัมผัสกับชิ้นงาน,การเสียรูปของเศษตัดเมื่อเม็ดหินขัดวิ่งผ่านชิ้นงานของทั้ง 3กระบวนการเจียรพิจารณาได้จากรูปที่4. กล่าวคือช่วงการยืดตัวและไถล(elastic sliding)การเกิดร่องขัด(ploughing)และช่วงการสร้างตัวของเศษตัด(form ship)a_{cr}คือความหนาเศษตัดวิกฤติที่เสียรูปเป็นค่าคงที่ มีระยะเท่ากับขนาดเม็ดหินของล้อหินเจียร,ความยาวเศษตัด(l)ภายใต้การSlidingและPloughingจะขึ้นกับรูปร่างเศษตัด.

สัญลักษณ์ β คือมุมของการตัดมุมนี้ได้มาจากพารามิเตอร์a_nและ l ในสมการที่ 7และ8 คือ

$$\beta = a_n/l = 2L_l(v_w v_s)(1/D_e) \quad \text{----------(10)}$$

สำหรับการเจียรทรงกระบอกภายในมุมของการตัด(β) จากสมการที่ 10.เป็นส่วนที่เล็กที่สุด(ค่าD_eสูง)เพราะฉนั้น(รูปที่ 2.10)การ SlidingและPloughingของเศษตัดจะยาวกว่าความยาวของวิธีการเจียรอื่น ความยาวเศษตัดสำหรับการเจียรผิวระนาบจะสั้นกว่าและสำหรับการเจียรผิวทรงกระบอกภายนอกจะสั้นที่สุด

ความยาวช่วง SlidingและPloughingของกระบวนการตัดจะส่งผลให้เกิดการชำรุดของคมตัด พารามิเตอร์นี้มีความสำคัญในการเจียรที่ต้องการความแม่นยำ.การปฏิบัติที่มีการสึกกร่อนน้อยกว่าผลที่ตามมาก็คือการชำรุดของหินเจียรจะน้อยกว่า(อัตราการเจียรจะสูง G=การหลุดออกของเศษโลหะ/การชำรุดของหินเจียร)ในการเจียรทรงกระบอกภายนอก.สามารถให้เหตุผลได้ว่าช่วง SlidingและPloughingน้อยกว่า

ประโยชน์ของการเพิ่มอัตราส่วนการเจียร(G)และอายุหินเจียรในการเจียรผิวทรงกระบอกภายนอกถูกชดเชยโดยความแย่ลงของผิวชิ้นงาน.ความหยาบผิวจะเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มความหนาเศษตัด(a_n) และปริมาณของเม็ดหินขัดน้อยกว่า

การวิเคราะห์กระบวนการเจียรแสดงให้เห็นความแตกต่างของการเจียรทั้ง3กระบวนการขึ้นอยู่กับความลงตัวกันพอดีของหินเจียรกับชิ้นงาน.ความแตกต่างของส่วนโค้งของเม็ดหินขัดเป็นผลให้รูปทรงเศษตัดแตกต่างกัน.ในการเจียรผิวทรงกระบอกภายใน,ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของรูปทรงเศษตัดไม่สามารถหาได้อย่างไรก็ตามรูปทรงเศษตัดสำหรับการเจียรผิวทรงกระบอกภายนอกจะเหมาะสมที่สุดผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปเลือกใช้พารามิเตอร์การทำงานที่เหมาะสมที่สุด,ความลึกของการตัด(a),ความเร็วหินเจียร(V_s),ความเร็วชิ้นงาน(V_w)และขนาดของหินเจียร. แรงในการตัดที่ต่ำกว่าและความหยาบผิวที่ดีกว่าจะมีความหนาเศษตัดและความยาวเศษตัดที่น้อย.สิ่งเหล่านี้สามารถหาได้จากการเลือกพารามิเตอร์การทำงานให้สอดคล้องกับสมการที่7และ8 .

2.7.2 การควบคุมสมรรถนะในการเจียรโลหะ

ด้วยเครื่องจักรที่มีความสามารถในการเจียรสูง และสามารถควบคุมได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตสูงยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้ใช้ประโยชน์เครื่องจักรกลและวัตถุดิบให้เป็นประโยชน์ที่ดีที่สุด จึงควรที่จะสามารถทำนายลักษณะการทำงานลักษณะการทำงานของเครื่องจักร และหินเจียร ตลอดจนชิ้นงานระหว่างการเจียรได้พอสมควร การที่จะทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก บางครั้งอาจเป็นอันตรายและเสียเวลาโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการเจียรโลหะ โดยแบ่งสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเจียรโลหะออกเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 คือ พารามิเตอร์ที่บ่งบอกสมรรถนะ (Performance Parameter) คือค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพหรือความสามารถในการผลิตว่าดีหรือไม่อย่างไร ได้แก่

1. แรงในการเจียร (Cutting Force)
2. คุณภาพของผิวเจียรหรือขนาดความผิดพลาดที่ยอมรับได้
3. อายุการใช้งานของหินเจียร
4. ค่าดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ เช่น อัตราผลผลิตต่อหน่วยเวลา, ต้นทุนการผลิตต่อชิ้น

กลุ่มที่ 2 คือ ตัวแปรที่ใช้กำหนดเงื่อนไขในการเจียร (Grinding Condition Variable) ตัวแปรที่ใช้ควบคุมเงื่อนไขในการเจียร ได้แก่ ความเร็วในการเจียร (Grinding Speed) ความลึกในการเจียร (Depth Of Cut) ดังนั้นเมื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่เกี่ยวข้องของทั้งสองกลุ่มแล้ว ก็จะสามารถเลือก Cutting Variable ที่เหมาะสมกับงานที่ทำได้

1. คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชิ้นงาน
2. คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นหินเจียร
3. ความเร็วในการเจียร
4. ความเร็วในการป้อน
5. ความลึกของการเจียร
6. น้ำหล่อเย็น และอัตราการฉีด
7. สภาพเครื่องจักร

2.7.3 **ความสำคัญของตัวแปร และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง**

วัสดุที่ใช้ทำหินเจียร (Grinding Stone) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออายุการใช้งานของหินเจียร และความรวดเร็วในการผลิต ซึ่งวัสดุที่มาทำหินเจียรจะต้องแข็งกว่าวัสดุที่เป็นชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรักษาคุณสมบัติความแข็งได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั้นคือทนสภาวะที่ความเร็วสูงได้

ความเร็วในการเจียร (Grinding Speed) ความลึกในการเจียร (Depth Of Cut) อัตราการป้อน (Feed Rate) จะมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ออกมา ดังนั้น การเลือกหาจุดที่เหมาะสมที่สุดอาจต้องดูตาม คำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน เพื่อให้คุณภาพชิ้นงานนั้น ซึ่งได้แก่ ขนาด, ความเรียบ, ความกลม, ความเรียว อยู่ภายในพิกัดที่กำหนด (Tolerance) ของข้อกำหนดของชิ้นงานนั้น และจะต้องมีเวลาในการผลิต และต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม

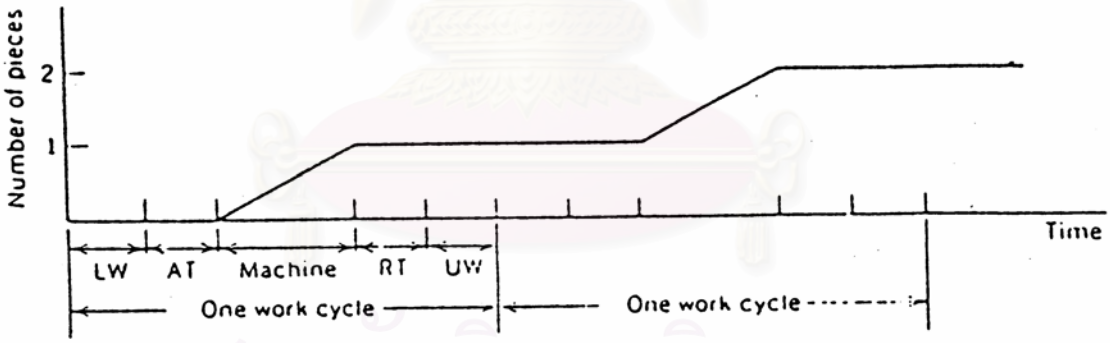
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการเจียรในเชิงเศรษฐศาสตร์

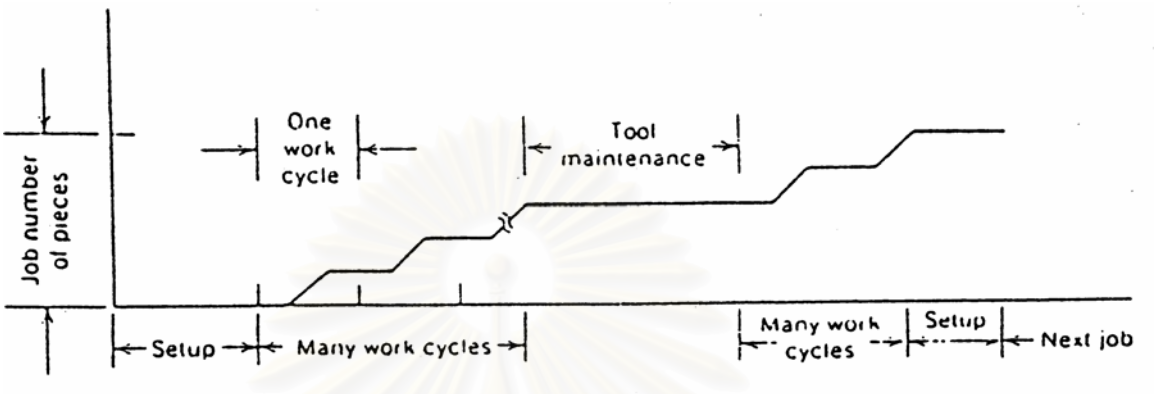
ขั้นตอนการทำงานของพนักงานประจำเครื่อง และเครื่องจักรจะมีรอบในการทำงาน ดังต่อไปนี้

1. การนำชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Load Work, LW)
2. การเคลื่อนที่เข้าของ Tool (Advance Tool, AT)
3. เครื่องจักรทำงาน (Grinding)
4. การเคลื่อนที่ออกของ Tool (Retract Tool, RT)
5. การนำชิ้นงานออกจากเครื่องจักร (Unload Work, UW)

จากขึ้นตอนทั้งหมดเรียกว่า การทำงาน 1 รอบการทำงาน ซึ่งเมื่อทำงานไปช่วงระยะเวลาหนึ่งจะต้องทำการปรับแต่ง Tool เพื่อให้สามารถใช้งานได้อีกครั้ง รูปแบบการทำงานทั้งหมดนี้สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.15 และ 2.16



รูปที่ 2.15 แสดงรอบการทำงานของการเจียรแต่ละรอบ



รูปที่ 2.16 แสดงรอบการทำงานของการเจียรหลายๆ รอบ

ฉะนั้นแล้วค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อการทำงาน1รอบการทำงานจะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้ (Lindberg,RoyA.1990) Handling Cost, Grinding Cost, Tool Changing Cost, Tooling Cost

Handling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการนำชิ้นงานเข้า และออกจากเครื่องจักร และการเคลื่อนที่ของ Tool เข้าและออกจากชิ้นงาน สำหรับ 1 รอบการทำงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับความเร็วตัด และเป็นค่าที่คงที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เนื่องมาจากการออกแบบเครื่องจักรตั้งแต่เริ่มแรกดังรูปที่ 2.17Aซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณ (Lindberg,RoyA.1990)คือ

$$\text{Handling Cost} = C_O \times T_h \qquad \text{--- (1.1)}$$

เมื่อ C_O = ค่าแรงของพนักงานปฏิบัติการ (บาท / นาที)

T_h = เวลาที่ใช้ในการ Handing (นาที)

Grinding Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเสียเวลาในการเจียรชิ้นงาน สำหรับ 1 รอบการทำงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด เมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการเจียรงานลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรลดลงด้วยดังรูปที่ 2.17 B ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณ(Lindberg,RoyA.1990)คือ

$$\text{Grinding Cost} = C_O \times T_g \qquad \text{---- (1.2)}$$

เมื่อ C_O = ค่าแรงทางตรง (บาท / นาที)

T_g = เวลาในการเจียรต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น (นาที)

เวลาในการเจียร (T_g) เป็นเวลาที่ต้องใช้จริงในการเจียรผิวชิ้นงานที่ไม่ต้องการออกไป

$$T_g = (L / f N) \qquad \text{--- (1.3-1)}$$

$$T_g = (L \times 3.14 \times D / 1{,}000\ V \times f) \times C \qquad \text{--- (1.3-2)}$$

เมื่อ T_g = เวลาในการเจียรต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น (นาที)

L = ความยาวในการเจียร (มิลลิเมตร)

D = เส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)

V = ความเร็วตัด (เมตร / นาที)

f = อัตราการป้อน (มิลลิเมตร / รอบ)

C = จำนวนรอบทั้งหมดของหินเจียรในการเคลื่อนที่เข้า – ออกเมื่อทำการเจียรชิ้นงาน1 ชิ้น

อายุการใช้งานหินเจียร (Tool Life)

จากปัจจัยต่างที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีในการเจียรสามารถที่จะนำมาแสดงได้ในรูปของความสัมพันธ์ของอายุการใช้งาน (Tool Life, T) กับ ความเร็วตัด (Cutting Tool, V) อัตราการป้อน (Feed Rate, f) ความลึกในการตัด (Depth of Cut, d)และทั้งหมดนี้สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ในรูปของ Taylor's Equation สำหรับรูปแบบของ Taylor's Equation(Serope,Kalpakjian.1995) สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$VT^{n}f^{x}d^{y} = C \qquad \text{--- (1.4)}$$

จากผลการทดลองที่ได้จะต้องนำมาทำการคำนวณหาค่าดัชนี n, x, y และค่า คงที่ C โดยใช้หลักการของ Linear Regression ช่วยในการหาค่าดัชนี และค่าคงที่เหล่านี้ ซึ่งในการคำนวณนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window ช่วยในการคำนวณ แต่อย่างไรก็ตามในการหาค่าดัชนีต่างๆ และการหาค่าตัวแปรโดยใช้หลักการของ Linear Regression ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำการแปรรูปของสมการที่กล่าวในข้างต้นให้อยู่ในรูปของ Logarithm เสียก่อน ซึ่งจะได้รูปแบบของสมการใหม่ดังต่อไปนี้(Serope,Kalpakjian.1995)

$$\log (VT^{n}f^{x}d^{y}) = \log C \qquad \text{--- (1.5)}$$

$$\log V + n\log T + x\log f + y\log d = \log C \qquad \text{--- (1.6)}$$

$$\log V = \log C - n\log T - x\log f - y\log d \qquad \text{--- (1.7)}$$

จากสมการ (1.7) จะเห็นได้ว่าเป็นสมการที่อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง ซึ่งสามารถที่จะใช้หลักการของ Linear Regression เพื่อช่วยในการหาค่าดัชนีต่างๆ และหาค่าคงที่ C เมื่อทำการทดลอง และคำนวณหาอายุการใช้งานของหินเจียร และความสัมพันธ์ของอายุการใช้งาน ความเร็วตัด ความลึกในการตัด อัตราการป้อน

Tool Changing Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนหินเจียรสำหรับ 1 รอบการทำงาน ซึ่งจะทำการเปลี่ยนหินเจียรที่หมดประสิทธิภาพในการใช้งาน ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะมี

ความสัมพันธ์กับความเร็วตัด เมื่อความเร็วตัดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของหินเจียรลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหินเจียรเพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 2.17 C สูตรที่ใช้ในการคำนวณ(Lindberg,RoyA.1990)คือ

$$\text{Tool Changing Cost} = (C_O \times T_C \times T_g) / T \qquad \text{--- (1.8)}$$

เมื่อ T = อายุการใช้งานของหินเจียร (นาที)

T_C = เวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนหินเจียร (นาที)

C_O = ค่าแรงทางตรง (บาท / นาที)

Tooling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้หินเจียรสำหรับ 1 รอบการทำงาน เพราะเมื่อเจียรชิ้นงานไปหินเจียรจะต้องสึก และหมดอายุในที่สุด และค่าใช้จ่ายนี้มีความผันแปรกับราคาของหินเจียร และอายุการใช้งานของหินเจียร เนื่องจากว่าเมื่อความเร็วตัดในการเจียรสูงขึ้นอายุการใช้งานลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายของหินเจียรเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.17 D สูตรที่ใช้ในการคำนวณ (Lindberg,RoyA.1990)คือ

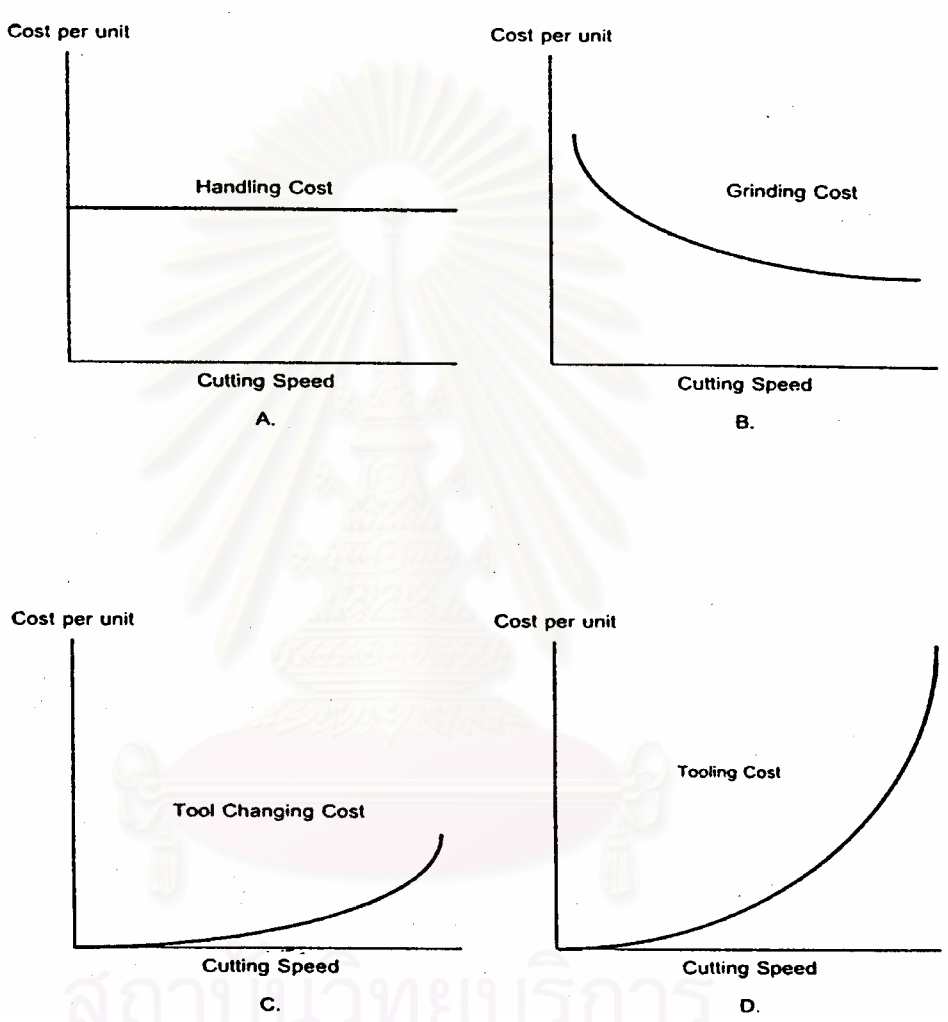
$$\text{Tooling Cost} = C_t T_g / T \qquad \text{--- (1.9)}$$

เมื่อ C_t = ราคาของหินเจียร (บาท)

จากสมการที่ (1.1), (1.2), (1.8) และ (1.9) เมื่อนำมารวมกันจะได้ ต้นทุนรวม (C_U) ดังแสดงได้ดังสมการข้างล่างนี้(Lindberg,RoyA.1990)

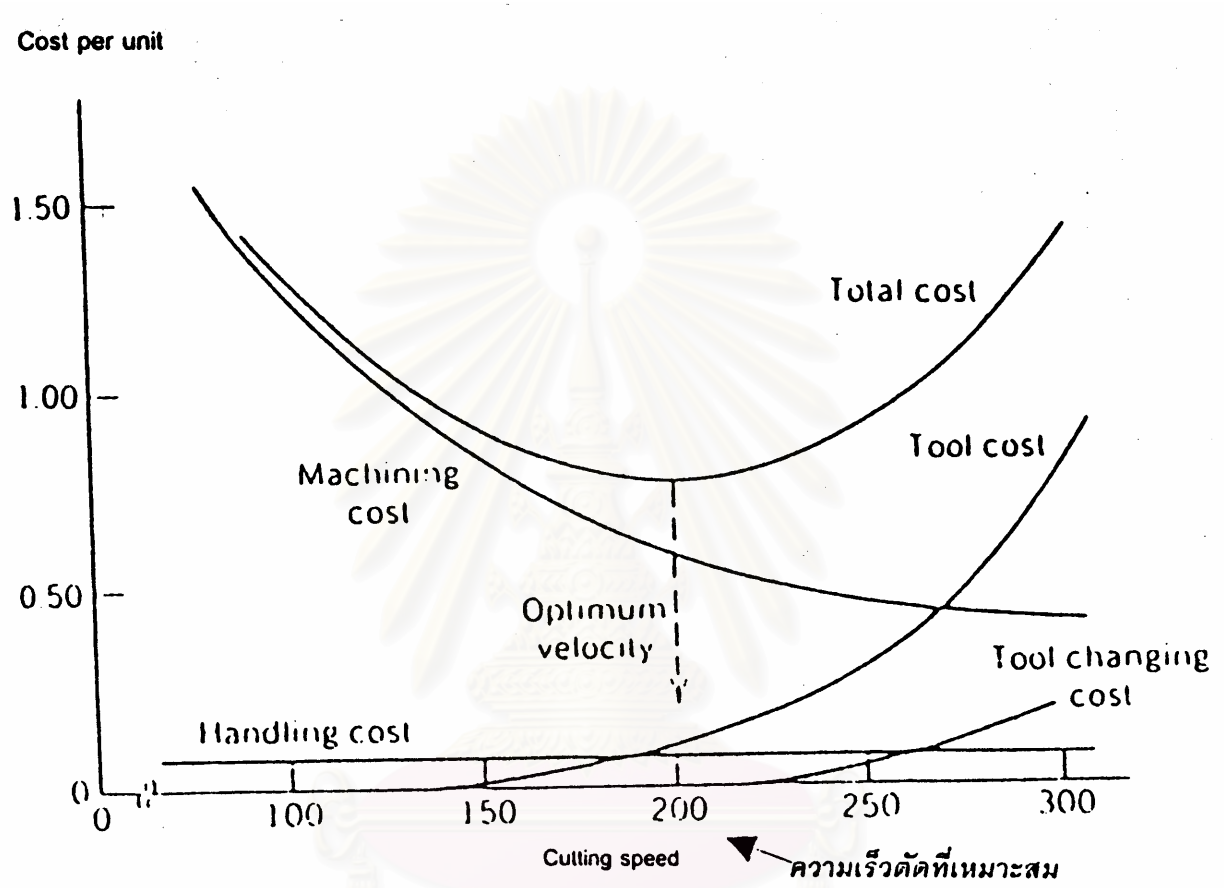
$$Cu = (\text{Handling Cost}) + (\text{Grinding Cost}) + (\text{Tool Changing Cost}) + (\text{Tooling Cost}) \qquad \text{--- (1.10)}$$

และจากสมการสามารถนำมาแสดงได้ดังกราฟรูปที่2.18กราฟแสดงผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่อ Handling Cost, Grinding Cost, Tool Changing Cost, Tooling Cost



รูปที่ 2.17 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในทั้ง 4 ส่วนที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 .18 แสดงผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่อ Handling Cost, Grinding Cost, Tool Changing Cost, Tooling Cost

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.9 การวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเลือกใช้หินเจียร

ในการเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับหินเจียรแต่ละชนิดสามารถหาได้จาก เมื่อทำการหา Differential Equation ของสมการที่ 1.10 ที่เทียบกับความเร็วตัด ณ จุดที่เท่ากับ 0 จะได้สมการที่สามารถหาความเร็วตัดที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด(Lindberg,RoyA.1990)ดังสมการด้านล่าง

$$V_{min,cost} = K / [(1/n - 1)(C_u t_c + C_t) / C_o]^n \quad \text{--- (1.11)}$$

$V_{min,cost}$ = ความเร็วตัดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำที่สุด

สำหรับการคำนวณกำลังการผลิตซึ่งนับได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งในการผลิตจะสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$T_u = T_h + T_g + T_c T_g / T \quad \text{--- (1.12)}$$

T_u = เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

ในสภาวะการผลิตที่ต้องเร่งกำลังการผลิตเพื่อให้ทันตามความต้องการของลูกค้า การที่จะต้องเร่งความเร็วตัดของหินเจียรให้เพิ่มมากขึ้นเป็นสิ่งที่ต้องทำ แต่อย่างไรก็ตาม การเร่งความเร็วตัดที่มากไม่ได้ให้กำลังการผลิตที่มากขึ้นเสมอไป ซึ่งความเร็วตัดสูงสุดที่ให้ อัตราการผลิตที่มากที่สุด สามารถหาได้โดย สมมุติได้ว่า ค่าใช้จ่ายของหินเจียรมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับราคาของชิ้นงาน นั้นคือ จากสมการที่ 1.11 เมื่อแทนค่า $C_t = 0$ จะทำให้ได้สมการของความเร็วตัดที่ทำให้กำลังการผลิตสูงที่สุด(Lindberg,RoyA.1990)คือ

$$V_{max,prod} = K / [(1/n - 1) t_c]^n \quad \text{--- (1.13)}$$

$V_{max,prod}$ = ความเร็วตัดที่ทำให้อัตราการผลิตสูงที่สุด

2.10 การสำรวจงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

- **สุรสิทธิ ทองทวีชัยกิจ** (1999) ได้ทำการศึกษาหาอิทธิพลของสภาวะการตัดในแต่ละขั้นตอนย่อยสำหรับกระบวนการเจียระไนทรงกระบอก(แบบยันศูนย์)ที่มีผลต่อความหยาบผิว (ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra) พบว่าปัจจัยที่ผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ยคือ อัตราการป้อนล้อหินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ(D),เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไน

ละเอียดพิเศษ(E)และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง(DE)ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดย E มีอิทธิพลสูงที่สุดจากค่า Fo= 29.97 เมื่อใช้ค่า E ในระดับต่ำ หรือใช้เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนละเอียดพิเศษนานขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำลง และ D มีผลกระทบต่อร่องรอยการตัดของผิวสุดท้ายก่อนช่วงเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ นั่นคือ หากอัตราการป้อนล้อหินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษมีค่าสูง หรือป้อนหนัก(เร็ว)จะทำให้ร่องรอยของการตัด ซึ่งเกิดจากเม็ดขัดมีลักษณะลึก(หรือมียอดสูง) หากเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษไม่นานพอที่จะเปิดเม็ดขัดอื่นๆเข้ามาทำการกำจัดยอดของรอยตัด ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะหยาบ หรือมีค่าความหยาบผิวสูง จากผลการวิจัย เมื่อทำการควบคุมเพียงแต่อัตราการป้อนล้อหินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ และเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษมีค่าที่เหมาะสม นั่นคือ 0.699 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตรต่อนาที และ 2.8326 วินาที ตามลำดับสามารถลดเวลาในการเจียรไนสำหรับชิ้นงานตัวอย่างลงได้ถึง 31.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่พิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการถดถอย พบว่ามีความถูกต้องถึง 95.24 เปอร์เซ็นต์

- **ภูวดล วงศ์สร้างทรัพย์** (1998) ได้ทำการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเจียรเหล็กหล่อสีเทาด้วยหินซิลิคอนคาร์ไบด์และคิวบิกโบรอนไนไทรด์ จากการศึกษาพบว่า

(1) ความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานกับความเร็วตัด(v),อัตราการป้อน(f) และความลึกของการตัด(d)สำหรับSiC และหินCBN คือ $VT^{0.21} f^{0.05} d^{0.23}$ =680 และ $VT^{0.36} f^{0.83} d^{0.45}$ =136,702ตามลำดับ

(2) เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจียร์เหล็กหล่อสีเทา ทั้งในกรณีเงื่อนไขค่าใช้จ่ายต่ำสุดและกำลังการผลิตสูงสุดพบว่า ควรเลือกใช้หินเจียร์ชนิด SIC โดยทีเงื่อนไขในการเจียรที่เหมาะสมสำหรับค่าใช้จ่ายต่ำสุดคือ อัตราการป้อน 70 ม.ม.ต่อรอบ,ความลึกในการตัด 38 ไมครอนที่ความเร็วตัด 41 เมตรต่อนาทีซึ่งให้อัตราการผลิตเท่ากับ 1,786 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานต่ำสุดคือ14.97 บาทต่อนาทีและสำหรับการผลิตสูงสุดนั้นจะใช้อัตราการป้อน 70ม.ม.ต่อรอบ,ความลึกในการตัด 38 ไมครอนต่อวินาทีที่ความเร็วตัด 75 เมตรต่อนาที ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้นคือ 2.464 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 34.25 บาทต่อ1,000ชิ้น

- **นิธิ บุรณจันทร์** (1984) ได้ทำการศึกษาถึงแรงตัดสูงสุดที่มีดกลึงสามารถรับได้ โดยใช้มีดกลึงทั้งหมด 9 บริษัทรับแรงกดบนหน้า Rake ซึ่งมีดตัดนี้รับมุมมาตรฐาน American Lathe Tool Specification จนกระทั่งมีดกลึงแตกหัก เพื่อหาแรงตัดสูงสุดที่มีดกลึงแต่ละบริษัทสามารถรับได้ ซึ่งผลการทดลองมีดกลึง HSS ที่มีความแข็งสูงมีแนวโน้มที่จะรับแรงตัดได้น้อยกว่ามีดกลึงที่มีความแข็งต่ำ

- Taylor ได้ชี้ให้เห็นว่าความเร็วในการตัดที่ไม่เหมาะสมมีอิทธิพลอย่างสูงต่อค่าใช้จ่ายในการตัดโลหะ นั่นคือความเร็วที่ต่ำเกินไปจะทำให้อัตราการผลิตต่ำ ส่วนความเร็วที่สูงเกินไปจะทำให้ใบมีดหมดอายุในการใช้งานเร็ว ซึ่งมีผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ดังนั้น Taylor จึงเชื่อว่าในการตัดโลหะครั้งหนึ่งๆ น่าจะมีอัตราเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่ทำให้อายุการใช้งานของใบมีดนานที่สุดจึงได้ทำการทดลองตัดโลหะชนิดต่างๆและได้พบอายุสมการใบมีด(Tool Life Equation) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในเวลาต่อมาว่า “สมการอายุใบมีดของเทล์เลอร์” (Taylor’s Tool Life Equation)มีลักษณะดังนี้

$$VT^n = C$$

เมื่อ V = ความเร็วในการตัด(Cutting Speed)

T = อายุใบมีด(Tool Life)

n = ค่าคงที่(Constant Exponent)

C = ค่าคงที่(Constant)

หรือ $T = K / V^{1/n} = K V^{1/n}$

เมื่อ K = ค่าคงที่(Constant) = $C^{1/n}$

ต่อมา Taylor พบว่าอัตราการป้อนมีด(Feed)และความลึกรอยตัด(Depth of Cut)ก็มีผลต่ออายุมีดตัดดังนั้นจึงเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$T = K / V^{(1/n)} f^{(1/n1)} d^{(1/n2)}$$

เมื่อ d = ความลึกรอยตัด(Depth of Cut)

f = อัตราการป้อนมีด(Feed)

K,n,n1,n2 = ค่าคงที่(Constant Exponent of Speed and Depth of Cut) ซึ่งขึ้นอยู่กับมีดตัดชิ้นงาน องค์ประกอบทางเรขาคณิต ชนิดของสารหล่อลื่นและอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

- **บรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง** (1994)ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของ 3 ตัวแปรคือส่วนโค้งปลายมีด,ความลึกในการกินงาน,อัตราการเดินมีดต่อรอบ ที่มีผลต่อความเรียบผิวโดยใช้หลักการของ Desige and Analysis of Experiment เป็นพื้นฐานในการวิจัยและในการศึกษาถึงส่วนโค้งปลายมีดไม่มีผลต่อการหลุดของเศษโลหะเนื่องจากในการกินชิ้นงานไม่มีผลต่อความเรียบผิวแต่สามารถควบคุมการหลุดออกของเศษโลหะให้ได้ตามความเรียบผิวที่ต้องการโดยเลือกอัตราการเดินมีดที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในการศึกษา และทำการทดลองหาอายุการใช้งานของหินเจียรและเงื่อนไขที่เหมาะสมของหินเจียร ในครั้งนี้เพื่อให้ได้เงื่อนไขในการทดลองที่ดีที่สุดของหินเจียรจึงกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการทดลองทั้งหมดดังนี้

1.การเตรียมชิ้นงานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.การทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อนการทดลอง

2.1) วัสดุที่เป็นชิ้นงาน

- ความแข็งของชิ้นงาน
- ขนาดของชิ้นงาน

2.2) วัสดุที่เป็นหินเจียร

- ขนาดของหินเจียร

3. การทดสอบหาอายุการใช้งานของหินเจียร

4. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจียรเชิงเศรษฐศาตร์

3.1 การเตรียมชิ้นงาน หินเจียร เครื่องจักร ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 3 ส่วนคือ วัสดุที่ใช้เป็นชิ้นงาน วัสดุที่เป็นหินเจียร เครื่องเจียรผิวภายนอกที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

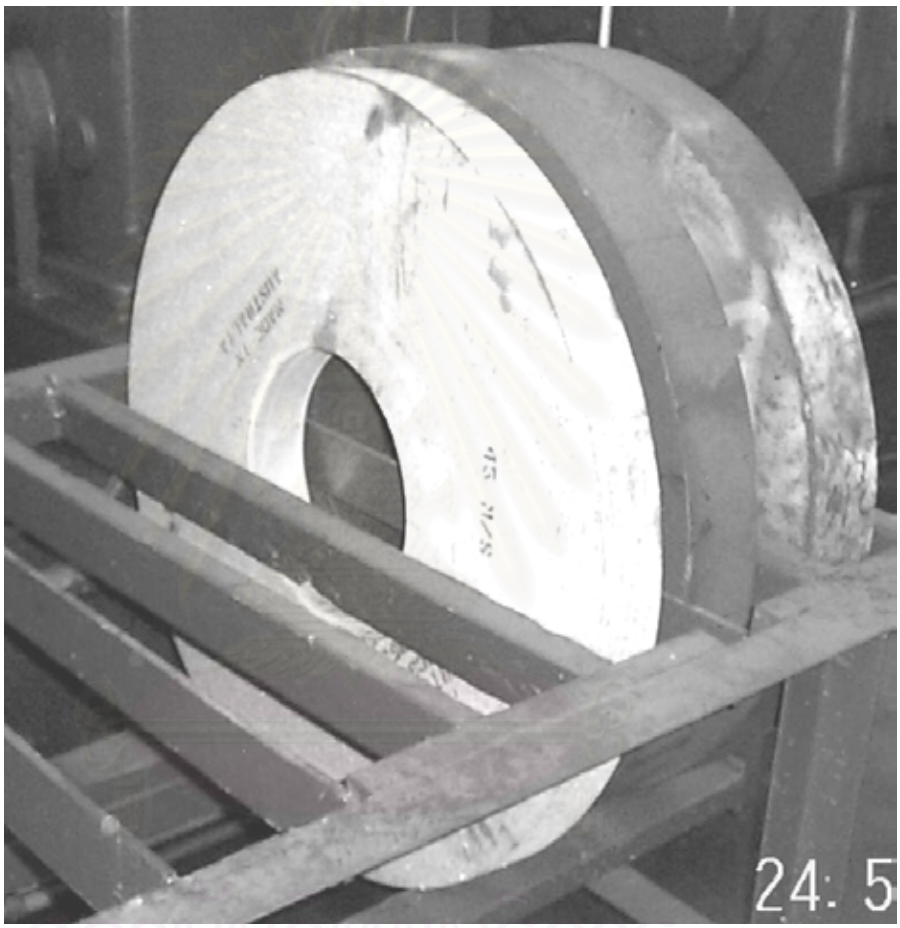
3.1.1 วัสดุที่เป็นชิ้นงาน (Workpiece Materials)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ลูกรีดซึ่งเป็นวัสดุเหล็กหล่อผิวแข็ง(Chill Cast Iron) ที่มีส่วนผสม คาร์บอน 3.1-3.6%,ซิลิกอน 0.7-2.0%, ฟอสฟอรัส 0.04-1.0%, แมกนีเซียม 0.35-1.1%, โครเมียม 1.3-1.8%,นิกเกิล 4.2-4.7%,โมลิบดินัม 0.2-0.8% โครงสร้างเป็นเบนไนต์-มาเทนไซท์ (Bainite-Martensite) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 29.724 นิ้ว น้ำหนักประมาณ14 ตัน

3.1.2 วัสดุที่เป็นหินเจียร (Grinding Stone Material)

วัสดุที่เป็นหินเจียรที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันเป็นหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์(Silicon Carbide;39C36HB24AD)วัสดุที่เป็นหินขัดจะเป็น ซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดของเม็ดขัดเป็นขนาดค่อนข้างหยาบ ความแข็งอยู่ในระดับค่อนข้างอ่อน วัสดุประสานหินขัดเป็นเรซินอยด์ บอนด์ (Resinoid Bond) หินเจียรชนิดนี้เมื่อนำมาใช้งานจะค่อนข้างสึกง่าย แต่จะให้คุณภาพของ

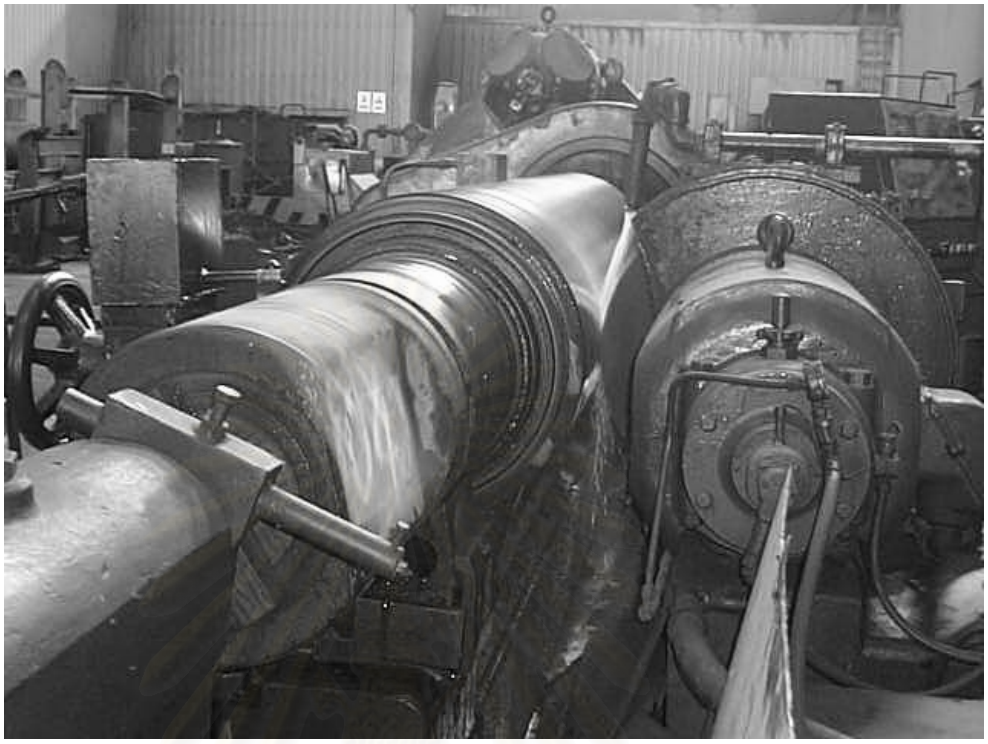
ผิวชิ้นงานในเรื่องของความเรียบได้ดี และสามารถควบคุมการเจียรให้ขนาดความกลมของชิ้นงานอยู่ในค่าที่กำหนดได้ง่าย แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่3.1ลักษณะของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์

3.1.3 เครื่องเจียรผิวภายนอกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์(CNC External Grinding Machine)

เครื่องเจียรผิวภายนอกขนาด 60”x24’ ยี่ห้อ Mesta ของ Whemco ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์และมีระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการป้อนของหินเจียรอัตโนมัติด้วย DC Servo Motor และ Encoder ซึ่งมีความละเอียดถึง 0.0001นิ้ว ,มีMonitorแสดงการเคลื่อนที่ทุกตำแหน่งช่วยให้ควบคุมการเจียรได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องเจียรผิวภายนอกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์(CNC External Grinding Machine)

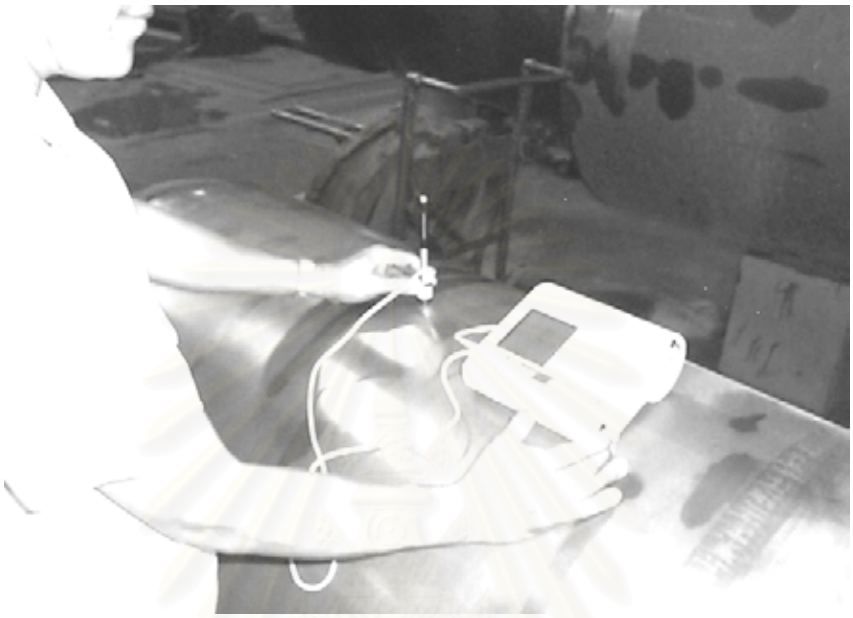
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุก่อนการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองสามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนย่อยได้ดังต่อไปนี้ การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุก่อนการทดลอง การทดสอบหาอายุการใช้งานของหินเจียร การเลือกเงื่อนไขในการเจียร ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชิ้นงาน

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชิ้นงานก่อนที่จะทำการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ความแข็งของผิวชิ้นงานการทดสอบคุณสมบัติทางกลสามารถทำได้โดยทำการวัดความแข็ง(Hardness)ของชิ้นงานก่อนที่จะนำไปทำการเจียรด้วยเครื่องวัดความแข็ง(Hardness Tester) ซึ่งเป็นเครื่องวัดชนิดนี้สามารถพกพานำไปตรวจเช็คกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้และสามารถแปลงค่าหน่วยวัดได้ทุกหน่วยความแข็งดังรูปที่3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความแข็ง(Hardness Tester)

- ขนาดของชิ้นงาน

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน จะทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(Outside Micrometer)ที่มีความละเอียด 0.001นิ้ว ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ไมโครมิเตอร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(Outside Micrometer)

3.3 การทดสอบหาอายุการใช้งานของหินเจียร

การทดสอบหาอายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC)ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังต่อไปนี้

3.3.1 นำหินเจียรประกอบเข้ากับหน้าแปลนยึดหินเจียรแล้วทำการปรับแต่งผิว (Truing)เพื่อให้หินมีความกลมและปรับขนาดของหินเจียร โดยทำการปรับแต่งผิวนี้ จะทำการตัดหินออกครั้งละ 0.0005นิ้วจนกระทั่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินเจียรได้ขนาดเท่ากับ 35.984นิ้ว ±0.001นิ้วแสดงได้ดังรูปที่3.5

รูปที่ 3.5 แสดงการใช้ Dressing Tool ปรับแต่งหน้าหิน

3.3.2 เมื่อทำการปรับแต่งผิวและเส้นรอบวงของหินเจียรแล้ว จึงมาทำการปรับเงื่อนไขในการเจียร ซึ่งเงื่อนไขในการเจียรที่ต้องทำการปรับคือ ความเร็วตัดของชิ้นงาน(Cutting Speed) อัตราการป้อนหินเจียร(Feed Rate) ระยะลึกในการเจียร(Depth of Cut) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความเร็วตัดของชิ้นงาน(Cutting Speed) (ft/min)	150	200	250
อัตราการป้อนหินเจียร(Feed Rate)(in/min)	70	90	110
ระยะลึกในการเจียร(Depth of Cut)(in)	0.0010		0.0020

ส่วนความเร็วตัดของหินเจียรจะปรับตั้งคงที่เท่ากับ 6,000 (ft/min) ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าจากเงื่อนไขที่จะต้องทำการปรับทั้งหมดจะทำให้เกิดการทดลองหลายรูปแบบการทดลองและมีผลการทดลองที่แตกต่างกันซึ่งจะต้องใช้เป็นข้อมูลช่วยในการเลือกเงื่อนไขที่ดีที่สุดต่อไป

3.3.3 ในการทดลองนี้จะทำการปรับขนาดของหินเจียรให้มีขนาดเท่ากับ 35.984 ±0.001 นิ้วเพื่อให้หินเจียรที่นำมาทดลองมีขนาดเท่ากันทุกก้อนเนื่องจากหินที่ทำการทดลองเป็นหินเจียรที่มีตัวประสานเม็ดหินขัดเป็นชนิดเรซินอยด์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องแต่งหน้าหินเจียรขณะเจียรเพราะขณะที่ทำการเจียรเม็ดหินขัดที่หลุดออกจากตัวประสานที่มีลักษณะคล้ายแก้วจะเปิดคมของเม็ดหินขึ้นใหม่ แต่ถ้าเป็นการเจียรที่ต้องการผิวละเอียดในขั้นตอนสุดท้ายจึงจำเป็นต้องทำการแต่งหน้าหินใหม่ ฉะนั้นการทดลองนี้ซึ่งเป็นการเจียรหยาบที่ไม่คำนึงถึงความละเอียดของผิวจึงไม่จำเป็นต้องกำหนดการแต่งหน้าหินในขณะเจียร

3.3.4 นำชิ้นงานที่จะทำการเจียรวางบนแท่นจับยึดของเครื่องเจียร แล้วจึงทำการทดลองเจียรตามเงื่อนไขที่ต้องการทดลองตามที่กล่าวในข้อ 3.3.2 โดยเริ่มทำการทดลองที่ละเงื่อนไข

3.3.5 การตั้งค่าในการควบคุมเครื่องเจียรแบบอัตโนมัติให้ตั้งค่าจำนวนเที่ยวในการเจียรเท่ากับ 200 เที่ยวซึ่งเครื่องจะหยุดทำงานเมื่อครบจำนวนเที่ยวที่ตั้งค่าไว้ แล้วทำการวัดขนาดของหินเจียรที่ลดลง และ วัดขนาดของชิ้นงานโดยการวัดขนาดของชิ้นงานจะทำการวัดทั้ง3 จุด คือส่วนปลาย กลาง และท้ายของชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบขนาดความกลมของชิ้นงานตลอดความยาว โดยค่าที่วัดได้ทั้ง3จุดต้องมีค่าอยู่ระหว่าง±0.002นิ้ว จึงจะเป็นชิ้นงานที่ยอมรับได้ ถ้าค่าที่วัดได้ไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวจะไม่สามารถยอมรับชิ้นงานได้ แสดงว่าเงื่อนไขในการเจียรนั้นอาจมีผลทำให้เกิดแรงในการเจียรมากเกินไปซึ่งทำให้เม็ดหินเจียรหลุดออกได้ง่ายในช่วงแรกของการป้อนหินเจียรเข้าหาชิ้นงานทำให้ส่วนปลายและส่วนกลางของชิ้นงานมีขนาดไม่เท่ากันได้

3.3.6 ทำการเจียรจนกระทั่งหินเจียรมีขนาดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลดลงเข้าใกล้ค่า 23.976 นิ้วซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่หินเจียรจะใช้งานได้ ให้ตั้งค่าจำนวนเที่ยวในการเจียรลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งหินเจียรมีขนาดเท่ากับ 23.976±0.002 นิ้วจึงหยุดทำการเจียร

3.3.7 เมื่อทำการทดลองเพื่อหาอายุการใช้งานของหินเจียรตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้วขั้นตอนต่อไปคือการหาความสัมพันธ์ของอายุการใช้งาน(Tool Life,T)กับความเร็วตัด(Cutting Speed,)อัตราการป้อน(Feed Rate,f)ความลึกในการตัด(Depth of Cut,d)ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ในรูปของ ดังสมการที่ 1.4 จากผลการทดลองที่ได้จะต้องนำมาทำการคำนวณหาค่าดัชนี n,x,y และค่าคงที่ C โดยใชหลักการของLinear Regression ช่วยในการหาค่าดัชนีและค่าคงที่เหล่านี้ ซึ่งในการคำนวณนี้ได้ใชโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window ช่วยในการคำนวณแต่อย่างไรก็ตามในการหาค่าดัชนีต่างๆและการหาค่าตัวแปรโดยใช้หลักการของ Linear Regression ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำการแปรรูปของสมการที่กล่าวในข้างต้นให้อยู่ในรูปของ Logarithm เสียก่อนซึ่งจะได้รูปแบบของสมการใหม่ดังสมการที่ 1.7 จากสมการ 1.7 จะเห็นได้ว่าเป็นสมการที่อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง ซึ่งสามารถที่จะใช้หลักการของ Linear Regression เพื่อช่วยในการหาค่าดัชนีต่างๆและหาค่าคงที่ C เมื่อทำการทดลองและคำนวณหาอายุการใช้งานของหินเจียรและความสัมพันธ์ของอายุการใช้งาน ความเร็วตัด ความลึกในการตัด อัตราการป้อน

3.3.8 เมื่อทราบรูปแบบของสมการที่สามารถอธิบายอายุการใช้งานของหินเจียรจึงมาทำการ Simulate หาอายุการใช้งานของหินเจียร โดยการ step up ความเร็วตัดให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 1ฟุตต่อนาทีเพื่อที่จะทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของอายุการใช้งานของหินเจียร

3.3.2 เมื่อทำการปรับแต่งผิวและเส้นรอบวงของหินเจียรแล้ว จึงมาทำการปรับเงื่อนไขในการเจียร ซึ่งเงื่อนไขในการเจียรที่ต้องทำการปรับคือ ความเร็วตัดของชิ้นงาน(Cutting Speed) อัตราการป้อนหินเจียร(Feed Rate) ระยะลึกในการเจียร(Depth of Cut) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความเร็วตัดของชิ้นงาน(Cutting Speed) (ft/min)	150	200	250
อัตราการป้อนหินเจียร(Feed Rate)(in/min)	70	90	110
ระยะลึกในการเจียร(Depth of Cut)(in)	0.0010		0.0020

ส่วนความเร็วตัดของหินเจียรจะปรับตั้งคงที่เท่ากับ 6,000 (ft/min) ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าจากเงื่อนไขที่จะต้องทำการปรับทั้งหมดจะทำให้เกิดการทดลองหลายรูปแบบการทดลองและมีผลการทดลองที่แตกต่างกันซึ่งจะต้องใช้เป็นข้อมูลช่วยในการเลือกเงื่อนไขที่ดีที่สุดต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการเจียรทางเศรษฐศาสตร์

3.4.1 การพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเจียรจะต้องทำการพิจารณาจากขั้นตอนการทำงานของพนักงานประจำเครื่องและการทำงานของเครื่องจักรซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานต่อไปนี้

1. การนำชิ้นงานเข้าเครื่องจักร(Load Work,LW)
2. การเคลื่อนที่เข้าของ Tool (Advance Tool,AT)
3. เครื่องจักรทำงาน (Grinding)
4. การเคลื่อนที่ออกของ Tool(Retract Tool,RT)
5. การนำชิ้นงานออกจากเครื่องจักร(Unload Work,UW)

ฉะนั้นแล้วค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อการทำงาน 1 รอบการทำงานจะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้ Handling Cost,Grinding Cost,Tool Changing Cost, Tooling Cost

1. Handling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการนำชิ้นงานเข้าและออกจากเครื่องจักรและการเคลื่อนที่ของ Tool เข้าและออกจากชิ้นงานสำหรับ 1 รอบการทำงานซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับความเร็วตัด และเป็นค่าคงที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเนื่องมาจากการออกแบบเครื่องจักรตั้งแต่เริ่มแรก ดังสมการที่ 1.1
2. Grinding Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเสียเวลาในการเจียรชิ้นงานสำหรับ1รอบการทำงานซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัดเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการเจียรงานลดลงซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรงานลดลงด้วย ดังสมการที่ 1.2
3. Tool Changing Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนหินเจียรสำหรับ1รอบการทำงาน ซึ่งจะทำการเปลี่ยนหินเจียรที่มีขนาดเล็กลงเท่ากับ 23..976นิ้วซึ่งเป็นขนาดที่ไม่สามารถใช้งานได้แล้ว ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด เมื่อความเร็วตัดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของหินเจียรลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหินเจียรเพิ่มมากขึ้นดังสมการที่ 1.8
4. Tooling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้หินเจียรสำหรับ1รอบการ

ทำงาน เพราะเมื่อเจียรชิ้นงานไปหินเจียรจะต้องสึกและหมดอายุในที่สุด และค่าใช้จ่ายนี้มีความผันแปรกับราคาของหินเจียรและอายุการใช้งานของหินเจียร เนื่องจากว่าเมื่อความเร็วตัดในการเจียรสูงขึ้นอายุการใช้งานลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายของหินเจียรเพิ่มขึ้น ดังสมการที่ 1.9

3.4.2 จากค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเจียรจะทำให้สามารถหาค่าใช้จ่ายรวมจากสมการที่ 1.10 ที่เกิดขึ้นที่ความเร็วตัดต่างๆที่เงื่อนไขการเจียรงานต่างๆ ซึ่งตามที่กล่าวในข้างต้นจะเห็นได้ว่าเงื่อนไขในการทดลองมีหลายเงื่อนไข ฉะนั้นการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะต้องทำการคำนวณโดยการ step up ความเร็วตัดครั้งละ 1ฟุตต่อนาที เพื่อที่จะได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น ทุกความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการคำนวณหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดแล้วจะทำให้ทราบว่าความเร็วตัดที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดคือเท่าไร

3.4.3 เพื่อเป็นการตรวจเช็คความเร็วตัดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้จากการทดลองถูกต้องหรือไม่ ฉะนั้นจึงต้องทำการตรวจเช็คว่าตรงกับความเร็วตัดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่คำนวณจากสูตร 1.11 หรือไม่

3.4.4 ในการปฏิบัติงานจริงจะเห็นได้ว่าในบางสภาวการณ์ของการผลิตค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการผลิตอาจจะไม่ใช่เป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาเลือกเงื่อนไขในการเจียรเสมอไป กล่าวคือในบางช่วงต้องการการผลิตที่สามารถให้อัตราการผลิตที่สูง ฉะนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้ จึงเกิดการหาความเร็วตัดที่เหมาะสม ในสภาวะที่ต้องการอัตราการผลิตที่สูงที่สุด โดยใช้การ simulate หาอัตราการผลิตที่ความเร็วตัดต่างๆโดยใช้สมการที่ 1.12 ของทุกเงื่อนไขการผลิต และเปลี่ยนแปลงความเร็วตัดให้เพิ่มขึ้นครั้งละ1ฟุตต่อนาที และเพื่อทำการเช็คความถูกต้องในการทำการทดลอง จึงต้องทำการคำนวณหาความเร็วตัดที่ทำให้อัตราการผลิตสูงสุดจากสูตรที่ 1.13 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การดำเนินการวิจัยนี้ ได้ถูกกำหนดให้เป็นไปตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในบทที่ 3 จนแล้วเสร็จ กล่าวคือ ได้ทำการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่น วัสดุที่เป็นชิ้นงาน วัสดุที่เป็นหินเจียร เครื่องจักรที่ใช้ในการทำวิจัย แล้วจึงนำชิ้นงานที่จะทำการวิจัยมาทำการทดสอบก่อนการทดลอง ต่อจากนั้นจึงทำการทดสอบหาอายุการใช้งานของหินเจียร การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และการวิเคราะห์อัตราการผลิตตามลำดับ

ดังนั้นผลการทดลอง ในงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งผลการทดลองและวิเคราะห์เป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อนการทดลอง
   - 1.1)ผลการทดสอบวัสดุที่เป็นชิ้นงาน
     - ความแข็งของชิ้นงาน
     - ขนาดของชิ้นงาน
   - 1.2)ผลการทดสอบวัสดุที่เป็นหินเจียร
     - ขนาดของหินเจียร
2. ผลการทดลองหาอายุการใช้งานของหินเจียร
3. ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการเจียรในเชิงเศรษฐศาสตร์

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อนการทดลอง

4.1.1 ผลการทดสอบวัสดุที่เป็นชิ้นงาน

1.ความแข็งของผิวชิ้นงาน

การทดสอบคุณสมบัติทางกลที่ทำการทดสอบคือ ความแข็งของชิ้นงาน จำนวน 295ชิ้น จะพบว่าความแข็งอยู่ระหว่าง 70-75 SHcซึ่งเป็นความแข็งที่อยู่ในข้อกำหนดของชิ้นงานที่ทำการทดลองดังตารางที่ 4.1

2. ขนาดของชิ้นงาน

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการทดสอบจำนวน 295ชิ้น คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก จะอยู่ในช่วง29.72 ±0.002 นิ้ว ดังตารางที่ 4.2

4.1.2 ผลการทดสอบวัสดุที่เป็นหินเจียร

การทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของหินเจียร จะอยู่ในช่วง 35.984±0.005นิ้ว และความหนาอยู่ในช่วง 3.0±0.005นิ้ว สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

4.2 ผลการทดลองหาอายุการใช้งานของหินเจียร

ก่อนที่จะใช้หินเจียร ทำการเจียรชิ้นงานจะต้องทำการปรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความคมของหินเจียรโดยทำการตัดออกครั้งละ0.0005นิ้วจนกระทั่งได้ขนาดตามที่กำหนดซึ่งผลการปรับขนาดแสดงดังตารางที่ 4.3 เมื่อได้ขนาดตามที่กำหนดแล้ว จึงนำมาทำการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆที่กำหนดไว้แล้วในขั้นตอนของการทดสอบอายุการใช้งานของหินเจียร ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ความแข็งของผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)
1	72.3	25	71.5	49	70.6	73	70.8	97	72.4	121	70.8
2	71	26	71.2	50	70.8	74	70.7	98	70.6	122	70.9
3	71	27	70.8	51	71.9	75	70.8	99	70.9	123	71.4
4	70.5	28	71.4	52	70.8	76	71.4	100	72	124	71.8
5	71.4	29	72.2	53	71.5	77	71.6	101	73.1	125	73.4
6	71.6	30	72.3	54	70.6	78	72.1	102	70.7	126	72.5
7	71.6	31	73.2	55	70.7	79	71.1	103	73	127	72.6
8	72	32	72.5	56	71.3	80	71.3	104	72.5	128	72.4
9	73.5	33	72.1	57	73.5	81	73	105	72.3	129	73.5
10	72.8	34	71.5	58	73.6	82	70.6	106	72.5	130	72.5
11	71.4	35	70.7	59	72.5	83	72	107	72.4	131	70.8
12	72.5	36	71.5	60	70.8	84	72.8	108	72.6	132	70.7
13	71.2	37	72.3	61	70.5	85	72.4	109	71.8	133	70.5
14	72.3	38	71.6	62	71.6	86	71.3	110	70.5	134	71.4
15	71.8	39	71.4	63	71.4	87	71	111	70.6	135	70.5
16	71.4	40	71.2	64	72.4	88	71.1	112	71.2	136	71.3
17	71.7	41	70.6	65	72.3	89	70.9	113	71.4	137	71.8
18	72.1	42	70.5	66	71.8	90	70.7	114	72.4	138	71.4
19	72.2	43	71.5	67	71.4	91	71.5	115	71.5	139	70.8
20	70.8	44	71.3	68	72.4	92	72.5	116	72.6	140	70.7
21	70.7	45	72.2	69	72.8	93	72.4	117	71.5	141	71
22	71.1	46	72.3	70	72.4	94	73.1	118	72.4	142	72
23	70.9	47	71.8	71	73.4	95	73.4	119	72.3	143	72.8
24	72.3	48	70.5	72	72.8	96	71.6	120	71.8	144	71.4

ตารางที่4.1 ความแข็งของผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ)

ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)
1	72.3	25	71.5	49	70.6	73	70.8	97	72.4	121	70.8
2	71	26	71.2	50	70.8	74	70.7	98	70.6	122	70.9
3	71	27	70.8	51	71.9	75	70.8	99	70.9	123	71.4
4	70.5	28	71.4	52	70.8	76	71.4	100	72	124	71.8
5	71.4	29	72.2	53	71.5	77	71.6	101	73.1	125	73.4
6	71.6	30	72.3	54	70.6	78	72.1	102	70.7	126	72.5
7	71.6	31	73.2	55	70.7	79	71.1	103	73	127	72.6
8	72	32	72.5	56	71.3	80	71.3	104	72.5	128	72.4
9	73.5	33	72.1	57	73.5	81	73	105	72.3	129	73.5
10	72.8	34	71.5	58	73.6	82	70.6	106	72.5	130	72.5
11	71.4	35	70.7	59	72.5	83	72	107	72.4	131	70.8
12	72.5	36	71.5	60	70.8	84	72.8	108	72.6	132	70.7
13	71.2	37	72.3	61	70.5	85	72.4	109	71.8	133	70.5
14	72.3	38	71.6	62	71.6	86	71.3	110	70.5	134	71.4
15	71.8	39	71.4	63	71.4	87	71	111	70.6	135	70.5
16	71.4	40	71.2	64	72.4	88	71.1	112	71.2	136	71.3
17	71.7	41	70.6	65	72.3	89	70.9	113	71.4	137	71.8
18	72.1	42	70.5	66	71.8	90	70.7	114	72.4	138	71.4
19	72.2	43	71.5	67	71.4	91	71.5	115	71.5	139	70.8
20	70.8	44	71.3	68	72.4	92	72.5	116	72.6	140	70.7
21	70.7	45	72.2	69	72.8	93	72.4	117	71.5	141	71
22	71.1	46	72.3	70	72.4	94	73.1	118	72.4	142	72
23	70.9	47	71.8	71	73.4	95	73.4	119	72.3	143	72.8
24	72.3	48	70.5	72	72.8	96	71.6	120	71.8	144	71.4

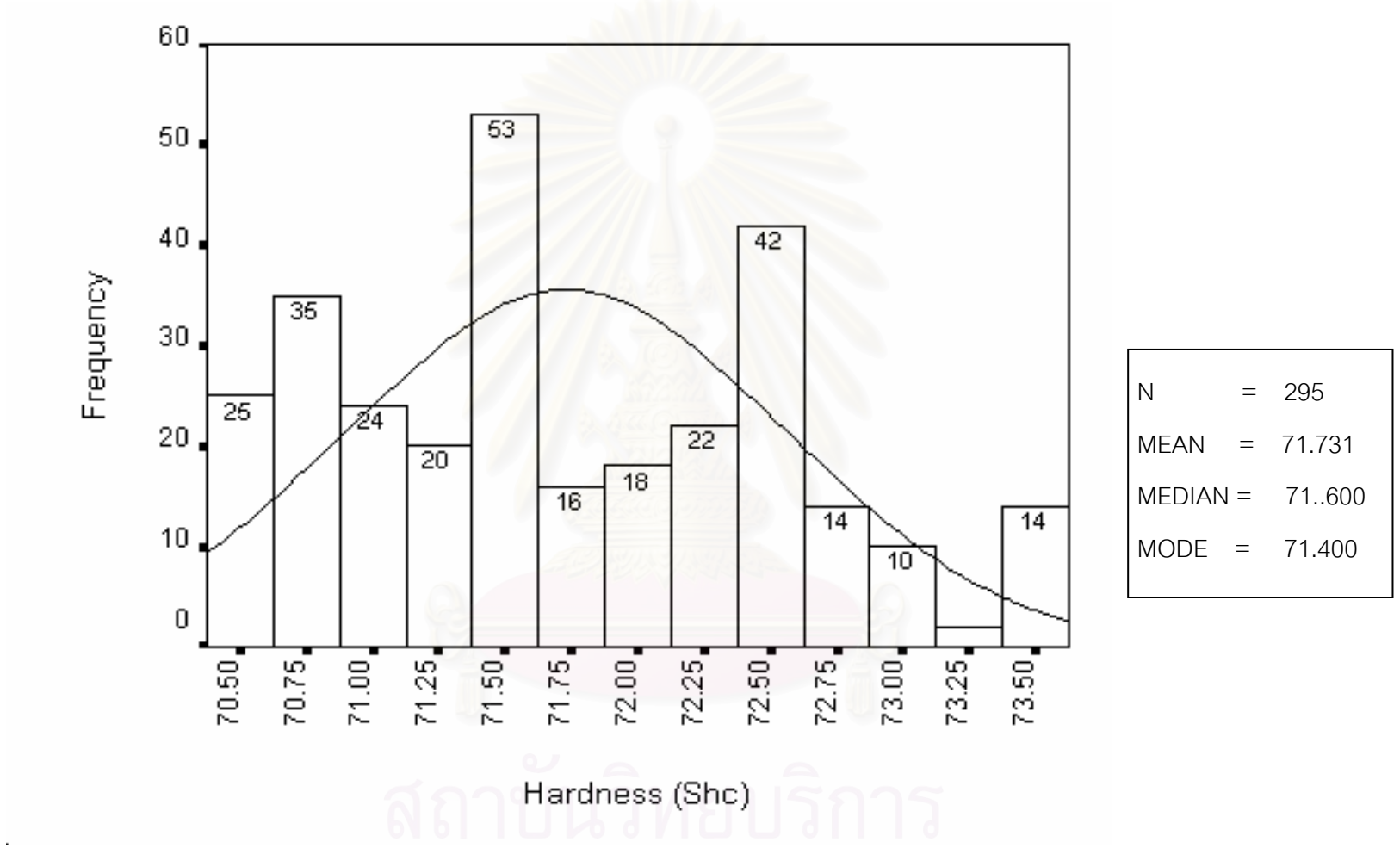
ตารางที่4.1 ความแข็งของผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ)

ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)
145	72.7	169	71.8	193	71.4	217	71.4	241	71	265	70.6
146	72.5	170	71.4	194	71.2	218	72.4	242	71.1	266	71.2
147	72.6	171	71.7	195	70.6	219	72.3	243	70.9	267	71.4
148	73.6	172	72.1	196	70.5	220	71.8	244	70.7	268	71.4
149	73.1	173	72.2	197	71.5	221	71.4	245	71.5	269	72.4
150	72.8	174	70.8	198	71.3	222	72.4	246	72.5	270	72.8
151	71.4	175	70.7	199	72.2	223	72.8	247	72.4	271	72.4
152	71.7	176	71.1	200	72.3	224	72.4	248	73.1	272	73.4
153	72.4	177	70.9	201	71.8	225	73.4	249	73.4	273	72.8
154	72	178	72.3	202	70.5	226	72.8	250	71.6	274	70.8
155	71.8	179	71.5	203	70.6	227	70.8	251	72.4	275	70.7
156	71.7	180	71.2	204	70.8	228	70.7	252	70.6	276	70.8
157	71	181	70.8	205	71.9	229	70.8	253	70.9	277	71.4
158	70.5	182	71.4	206	70.8	230	71.4	254	72	278	71.6
159	71.4	183	72.2	207	71.5	231	71.6	255	73.1	279	72.1
160	71.6	184	72.3	208	70.6	232	72.1	256	70.7	280	71.1
161	71.6	185	73.2	209	70.7	233	71.1	257	73	281	71.3
162	72	186	72.5	210	71.3	234	71.3	258	72.5	282	73
163	73.5	187	72.1	211	73.5	235	73	259	72.3	283	70.6
164	72.8	188	71.5	212	73.6	236	70.6	260	72.5	284	72
165	71.4	189	70.7	213	72.5	237	72	261	72.4	285	72.8
166	72.5	190	71.5	214	70.8	238	72.8	262	72.6	286	72.4
167	71.2	191	72.3	215	70.5	239	72.4	263	71.8	287	71.3
168	72.3	192	71.6	216	71.6	240	71.3	264	70.5	288	71

ตารางที่4.1 ความแข็งของผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ)

ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)	ชิ้นงานที่	ความแข็ง(Shc)
289	71.1	291	70.7	293	72.4	295	71	max	73.6	stdev	0.826
290	70.9	292	71.5	294	71.3	avg	71.7308	min	70.5		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



N	=	295
MEAN	=	71.731
MEDIAN	=	71..600
MODE	=	71.400

รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งของผิวชิ้นงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (นิ้ว)
1	29.723	25	29.722	49	29.723	73	29.724
2	29.722	26	29.724	50	29.724	74	29.722
3	29.725	27	29.723	51	29.725	75	29.723
4	29.726	28	29.725	52	29.726	76	29.723
5	29.726	29	29.724	53	29.724	77	29.724
6	29.725	30	29.725	54	29.723	78	29.725
7	29.724	31	29.725	55	29.723	79	29.722
8	29.722	32	29.722	56	29.722	80	29.724
9	29.722	33	29.724	57	29.722	81	29.724
10	29.725	34	29.724	58	29.725	82	29.724
11	29.722	35	29.724	59	29.726	83	29.723
12	29.723	36	29.723	60	29.725	84	29.723
13	29.723	37	29.723	61	29.725	85	29.723
14	29.723	38	29.722	62	29.726	86	29.724
15	29.725	39	29.725	63	29.724	87	29.725
16	29.724	40	29.725	64	29.724	88	29.722
17	29.724	41	29.725	65	29.723	89	29.724
18	29.725	42	29.726	66	29.723	90	29.725
19	29.722	43	29.724	67	29.722	91	29.725
20	29.722	44	29.724	68	29.723	92	29.726
21	29.723	45	29.723	69	29.723	93	29.725
22	29.725	46	29.723	70	29.724	94	29.726
23	29.724	47	29.722	71	29.725	95	29.726
24	29.723	48	29.723	72	29.726	96	29.725

ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)
97	29.724	121	29.725	145	29.725	169	29.723
98	29.724	122	29.722	146	29.725	170	29.722
99	29.722	123	29.724	147	29.723	171	29.722
100	29.723	124	29.725	148	29.725	172	29.725
101	29.723	125	29.725	149	29.724	173	29.722
102	29.724	126	29.724	150	29.724	174	29.725
103	29.725	127	29.723	151	29.724	175	29.725
104	29.724	128	29.723	152	29.723	176	29.723
105	29.723	129	29.725	153	29.725	177	29.723
106	29.722	130	29.722	154	29.724	178	29.725
107	29.722	131	29.724	155	29.725	179	29.723
108	29.724	132	29.725	156	29.723	180	29.722
109	29.725	133	29.725	157	29.723	181	29.722
110	29.726	134	29.724	158	29.723	182	29.725
111	29.726	135	29.723	159	29.725	183	29.722
112	29.724	136	29.722	160	29.723	184	29.725
113	29.724	137	29.722	161	29.725	185	29.725
114	29.723	138	29.724	162	29.724	186	29.725
115	29.725	139	29.725	163	29.723	187	29.724
116	29.725	140	29.726	164	29.725	188	29.725
117	29.724	141	29.726	165	29.725	189	29.725
118	29.723	142	29.724	166	29.723	190	29.722
119	29.723	143	29.724	167	29.725	191	29.724
120	29.724	144	29.723	168	29.723	192	29.724

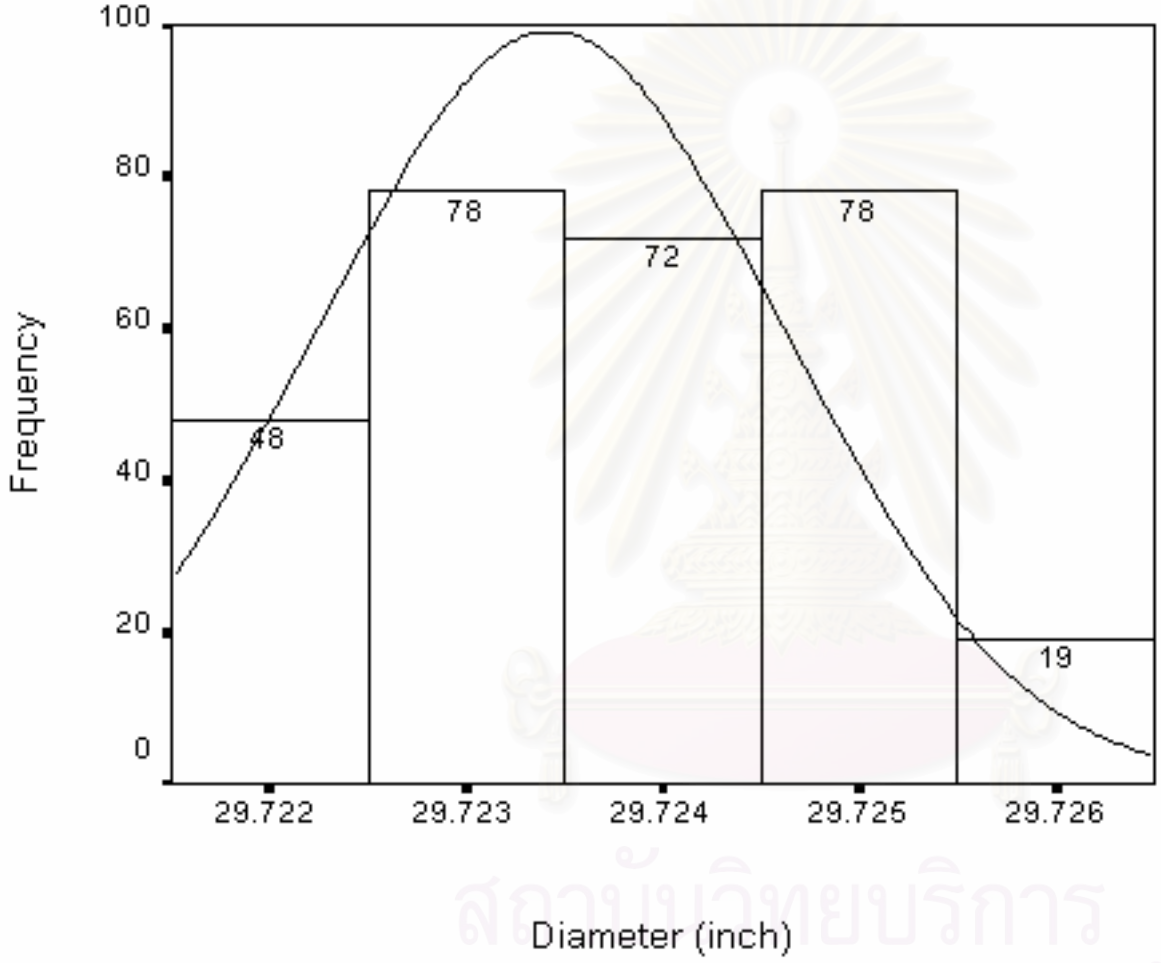
ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ)

ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)
193	29.723	217	29.724	241	29.723	265	29.722
194	29.725	218	29.725	242	29.723	266	29.726
195	29.725	219	29.725	243	29.724	267	29.726
196	29.723	220	29.722	244	29.725	268	29.724
197	29.725	221	29.724	245	29.724	269	29.724
198	29.723	222	29.724	246	29.723	270	29.723
199	29.723	223	29.723	247	29.722	271	29.723
200	29.722	224	29.723	248	29.722	272	29.726
201	29.722	225	29.722	249	29.724	273	29.724
202	29.725	226	29.722	250	29.725	274	29.722
203	29.722	227	29.724	251	29.724	275	29.723
204	29.725	228	29.724	252	29.725	276	29.723
205	29.725	229	29.723	253	29.724	277	29.724
206	29.723	230	29.723	254	29.725	278	29.724
207	29.723	231	29.723	255	29.724	279	29.724
208	29.725	232	29.723	256	29.723	280	29.724
209	29.723	233	29.722	257	29.722	281	29.723
210	29.722	234	29.725	258	29.724	282	29.723
211	29.722	235	29.726	259	29.725	283	29.724
212	29.725	236	29.726	260	29.724	284	29.723
213	29.722	237	29.725	261	29.725	285	29.724
214	29.725	238	29.724	262	29.723	286	29.723
215	29.725	239	29.722	263	29.722	287	29.725
216	29.725	240	29.722	264	29.723	288	29.725

ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ)

ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)	ชิ้นงานที่	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(นิ้ว)
289	29.724	290	29.723	291	29.724	292	29.723
293	29.723	294	29.723	295	29.725		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



N	=	295
MEAN	=	29.724
MEDIAN	=	29.724
MODE	=	29.720

รูปที่ 4.2 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

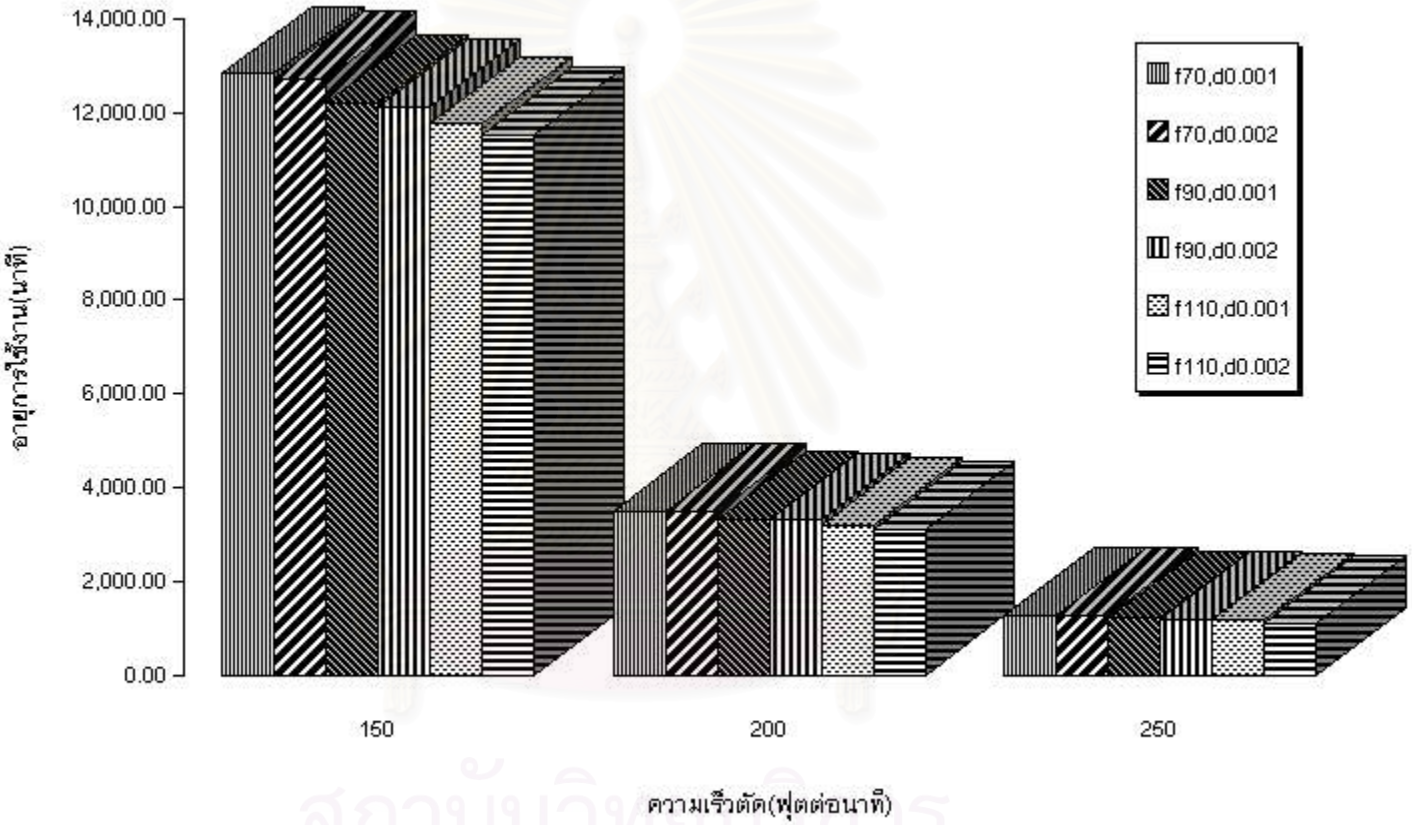
ตารางที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและความหนาของหินเจียรที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงานที่	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (Specification 35.984±0.005 นิ้ว)	ความหนา (Specification 3±0.005 นิ้ว)
1	35.988	3.002
2	35.986	3.003
3	35.983	3.003
4	35.981	2.998
5	35.988	3.001
6	35.982	2.999
7	35.987	2.997
8	35.985	2.996
9	35.987	3.001
10	35.982	3.000
11	35.985	2.997
12	35.989	3.002
13	35.983	3.001
14	35.984	2.999
15	35.983	3.001
16	35.986	3.003
17	35.984	2.998
18	35.981	3.002
average	35.984	3.000
max	35.989	3.003
min	35.981	2.996
stdev	0.002	0.002

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลอง

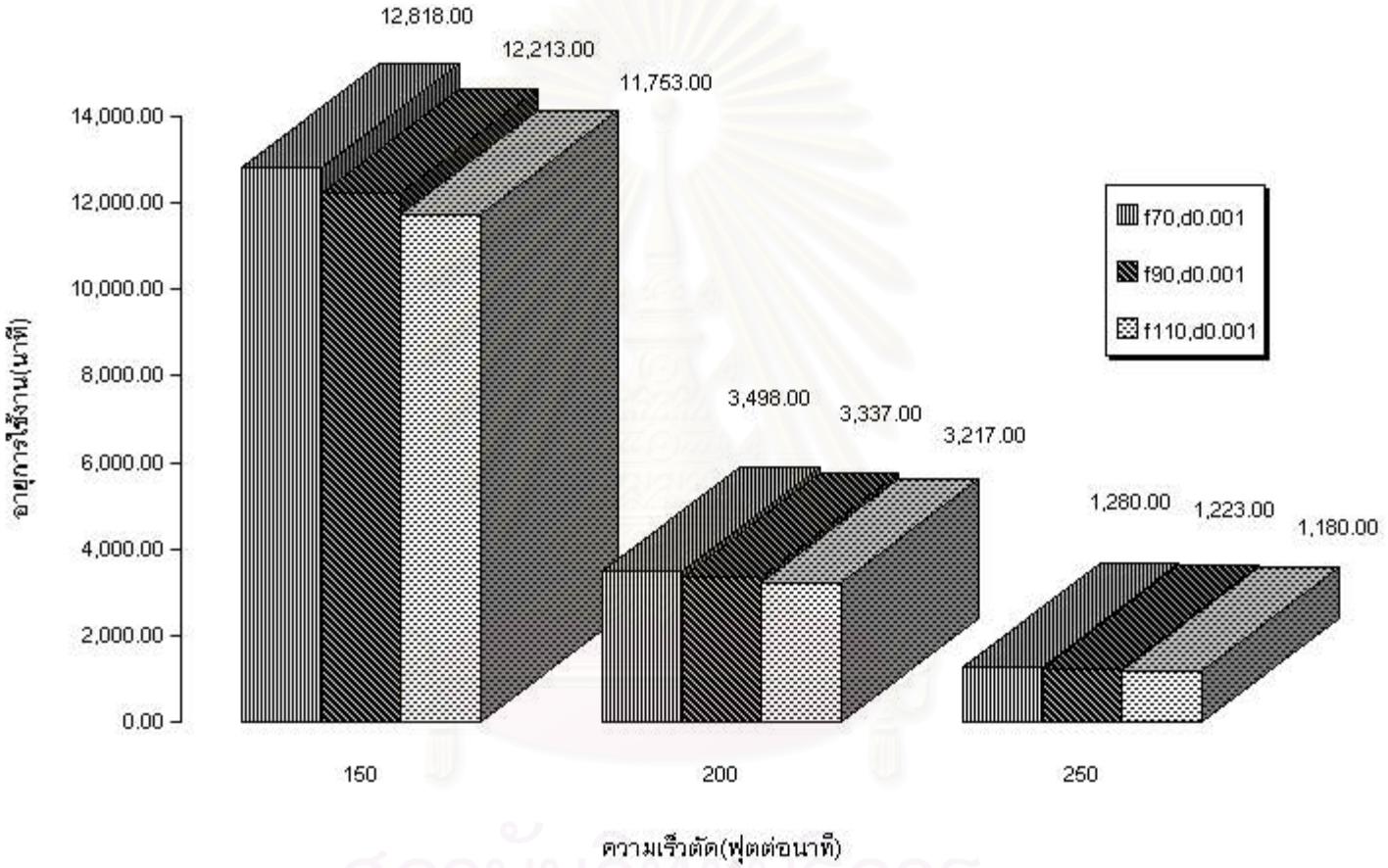
TOOL LIFE (min)	CUTTING SPEED (ft / min)	FEED RATE (in / min)	DEPTH OF CUT (in / PASS)	TOOL LIFE (min)	CUTTING SPEED (ft / min)	FEED RATE (in / min)	DEPTH OF CUT (in / PASS)
12,818.00	150	70	0.001	12,704.00	150	70	0.002
3,498.00	200	70	0.001	3,496.00	200	70	0.002
1,280.00	250	70	0.001	1,271.00	250	70	0.002
12,213.00	150	90	0.001	12,105.00	150	90	0.002
3,337.00	200	90	0.001	3,310.00	200	90	0.002
1,223.00	250	90	0.001	1,213.00	250	90	0.002
11,753.00	150	110	0.001	11,512.00	150	110	0.002
3,217.00	200	110	0.001	3,115.00	200	110	0.002
1,180.00	250	110	0.001	1,102.00	250	110	0.002

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



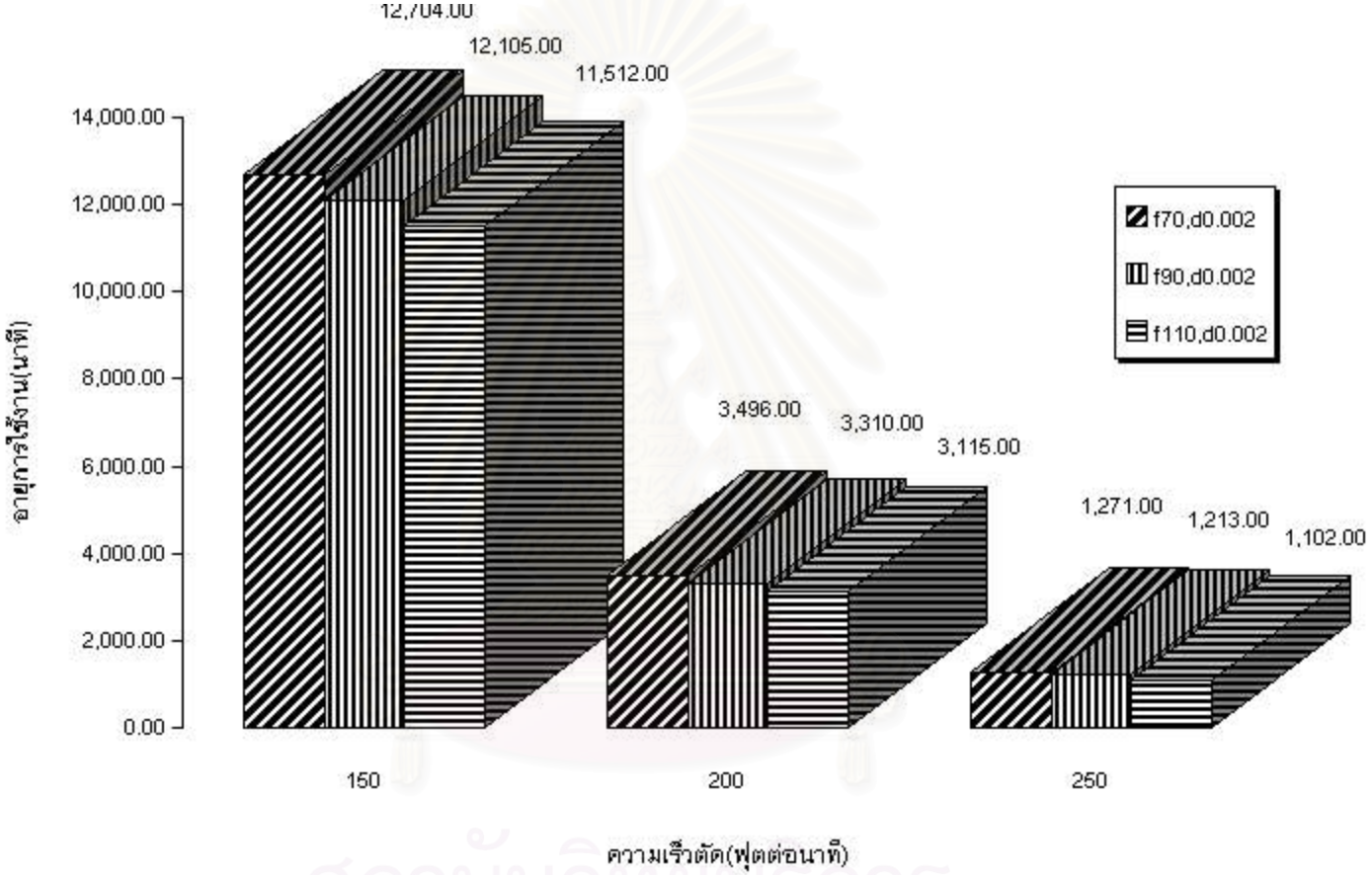
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดที่ได้จากการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดที่ได้จากการทดลองที่ d = 0.001 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดที่ได้จากการทดลองที่ d = 0.002 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองสามารถนำมาแสดงได้ด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของหินเจียรและความเร็วตัดที่ได้จากการวิจัยดังรูปที่4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วตัดจะทำให้อายุการใช้งานของหินเจียรลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากผลการวิจัยนี้เมื่อนำไปประยุกต์เข้ากับสมการของTaylor(Taylor'Equation)โดยใช้หลักการของ Linear Regression และใช้โปรแกรม SPSS for Window ในการคำนวณหาค่าดัชนีต่างๆ และค่าคงที่ของสมการ ทั้งนี้เพื่อจะพิจารณาถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวได้ดังที่จะแสดงต่อไปนี้

จากรูปแบบของสมการที่เป็น Linear Regression

log V = logC-nlogT- xlogf-ylogd

logT =(1/n)logC-(1/n)logV-(x/n)logf-(y/n)logd

จากผลการใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการหาค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์ของสมการ Linear Regressionจะได้ดังต่อไปนี้

(1/n) = 4.519

n = 0.221

(x/n) = 0.220

x = 0.0487

(y/n) = 0.03

y = 0.0061

(1/n)logC = 19.148

C = 17267.15

ฉะนั้นเมื่อนำค่าดัชนีต่างๆที่หาได้นำกลับไปแทนในสมการที่ 2.1 จะทำให้สามารถหารูปแบบของสมการอายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์ได้ดังต่อไปนี้

$$VT^{0.221} f^{0.0487} d^{0.0061} = 17267.15 \quad \text{หรือ}$$

$$T = 17267.15^{4.519} / V^{4.519} f^{0.220} d^{0.03}$$

จาก Taylor'Equation ความสัมพันธ์นี้จะเห็นได้ว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของหินเจียรมากที่สุดคือความเร็วตัด รองลงมาคือความลึกในการตัด และ สุดท้ายคืออัตราการป้อนหินเจียรที่จะเข้าไปเจียรงาน และทดลองปรับเพิ่มความเร็วตัดครั้งละ 1 ฟุตต่อนาทีเพื่อตรวจสอบผลการทดลองโดยใช้ Taylor'Equation ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่4.4

ตารางที่ 4.5 อายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์(SiC) โดยใช้ Taylor'Equation

ความเร็วตัด (ฟุต/นาที)	อายุการใช้งานหินเจียร (นาที)					
	f = 70 d = 0.001	f = 90 d = 0.001	f = 110 d = 0.001	f = 70 d = 0.002	f = 90 d = 0.002	f = 110 d = 0.002
150	12992.78	12293.92	11762.98	12748.35	12062.63	11541.68
151	12608.45	11930.26	11415.03	12371.25	11705.82	11200.27
152	12237.91	11579.65	11079.56	12007.68	11361.81	10871.12
153	11880.59	11241.55	10756.06	11657.08	11030.06	10553.70
154	11535.92	10915.42	10444.02	11318.90	10710.07	10247.53
155	11203.39	10600.78	10142.96	10992.62	10401.35	9952.14
156	10882.50	10297.14	9852.44	10677.76	10103.42	9667.08
157	10572.75	10004.06	9572.01	10373.85	9815.85	9391.93
158	10273.71	9721.10	9301.27	10080.43	9538.22	9126.29
159	9984.93	9447.85	9039.83	9797.08	9270.11	8869.76
160	9706.00	9183.93	8787.30	9523.40	9011.15	8621.99
161	9436.53	8928.95	8543.34	9259.00	8760.97	8382.61
162	9176.14	8682.57	8307.60	9003.51	8519.23	8151.31
163	8924.48	8444.44	8079.75	8756.58	8285.58	7927.75
164	8681.19	8214.24	7859.49	8517.87	8059.71	7711.63
165	8445.95	7991.66	7646.52	8287.06	7841.31	7502.67
166	8218.45	7776.40	7440.55	8063.84	7630.10	7300.57
167	7998.39	7568.17	7241.32	7847.92	7425.79	7105.09
168	7785.49	7366.72	7048.57	7639.02	7228.13	6915.97
169	7579.46	7171.78	6862.05	7436.87	7036.85	6732.95
170	7380.06	6983.10	6681.52	7241.22	6851.72	6555.82
171	7187.02	6800.45	6506.75	7051.81	6672.51	6384.34
172	7000.12	6623.59	6337.54	6868.43	6498.98	6218.31

ตารางที่ 4.5 อายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์(SiC) โดยใช้ Taylor'Equation(ต่อ)

ความเร็วตัด (ฟุต/นาที)	อายุการใช้งานหินเจียร (นาที)					
	f = 70 d = 0.001	f = 90 d = 0.001	f = 110 d = 0.001	f = 70 d = 0.002	f = 90 d = 0.002	f = 110 d = 0.002
173	6819.12	6452.33	6173.67	6690.83	6330.94	6057.52
174	6643.80	6286.44	6014.95	6518.81	6168.17	5901.79
175	6473.95	6125.73	5861.18	6352.16	6010.49	5750.91
176	6309.38	5970.01	5712.18	6190.68	5857.70	5604.72
177	6149.89	5819.10	5567.79	6034.19	5709.62	5463.04
178	5995.30	5672.82	5427.82	5882.51	5566.09	5325.71
179	5845.42	5531.00	5292.13	5735.45	5426.95	5192.57
180	5700.10	5393.50	5160.57	5592.86	5292.03	5063.48
181	5559.16	5260.14	5032.97	5454.57	5161.18	4938.28
182	5422.45	5130.79	4909.20	5320.44	5034.26	4816.85
183	5289.83	5005.30	4789.14	5190.32	4911.14	4699.04
184	5161.15	4883.54	4672.64	5064.06	4791.67	4584.73
185	5036.28	4765.38	4559.58	4941.53	4675.73	4473.80
186	4915.07	4650.69	4449.84	4822.60	4563.20	4366.13
187	4797.40	4539.36	4343.32	4707.15	4453.96	4261.61
188	4683.16	4431.26	4239.89	4595.06	4347.90	4160.12
189	4572.23	4326.29	4139.45	4486.21	4244.90	4061.58
190	4464.48	4224.34	4041.91	4380.49	4144.87	3965.87
191	4359.82	4125.31	3947.15	4277.80	4047.70	3872.89
192	4258.14	4029.10	3855.10	4178.04	3953.30	3782.57
193	4159.35	3935.62	3765.65	4081.10	3861.58	3694.81
194	4063.33	3844.77	3678.73	3986.89	3772.44	3609.52
195	3970.01	3756.47	3594.24	3895.33	3685.80	3526.62
196	3879.30	3670.64	3512.11	3806.32	3601.58	3446.04

ตารางที่ 4.5 อายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์(SiC) โดยใช้ Taylor'Equation(ต่อ)

ความเร็วตัด (ฟุต/นาที)	อายุการใช้งานหินเจียร (นาที)					
	f = 70 d = 0.001	f = 90 d = 0.001	f = 110 d = 0.001	f = 70 d = 0.002	f = 90 d = 0.002	f = 110 d = 0.002
197	3791.10	3587.19	3432.27	3719.78	3519.70	3367.69
198	3705.34	3506.04	3354.62	3635.64	3440.08	3291.51
199	3621.94	3427.12	3279.12	3553.80	3362.65	3217.43
200	3540.82	3350.37	3205.67	3474.21	3287.34	3145.36
201	3461.91	3275.70	3134.23	3396.78	3214.07	3075.26
202	3385.13	3203.05	3064.72	3321.45	3142.79	3007.06
203	3310.43	3132.36	2997.09	3248.15	3073.43	2940.70
204	3237.72	3063.57	2931.26	3176.81	3005.94	2876.12
205	3166.96	2996.62	2867.20	3107.38	2940.24	2813.26
206	3098.08	2931.44	2804.84	3039.80	2876.29	2752.07
207	3031.02	2867.98	2744.12	2974.00	2814.03	2692.50
208	2965.72	2806.20	2685.01	2909.93	2753.41	2634.49
209	2902.13	2746.03	2627.44	2847.54	2694.37	2578.01
210	2840.20	2687.43	2571.37	2786.77	2636.88	2523.00
211	2779.88	2630.35	2516.76	2727.58	2580.87	2469.41
212	2721.11	2574.75	2463.55	2669.92	2526.31	2417.21
213	2663.86	2520.57	2411.72	2613.74	2473.15	2366.35
214	2608.07	2467.78	2361.21	2559.00	2421.36	2316.78
215	2553.70	2416.34	2311.98	2505.65	2370.88	2268.49
216	2500.70	2366.19	2264.00	2453.66	2321.68	2221.41
217	2449.05	2317.32	2217.24	2402.97	2273.72	2175.52
218	2398.69	2269.67	2171.65	2353.56	2226.97	2130.79
219	2349.59	2223.21	2127.19	2305.38	2181.38	2087.17
220	2301.71	2177.90	2083.85	2258.41	2136.93	2044.64

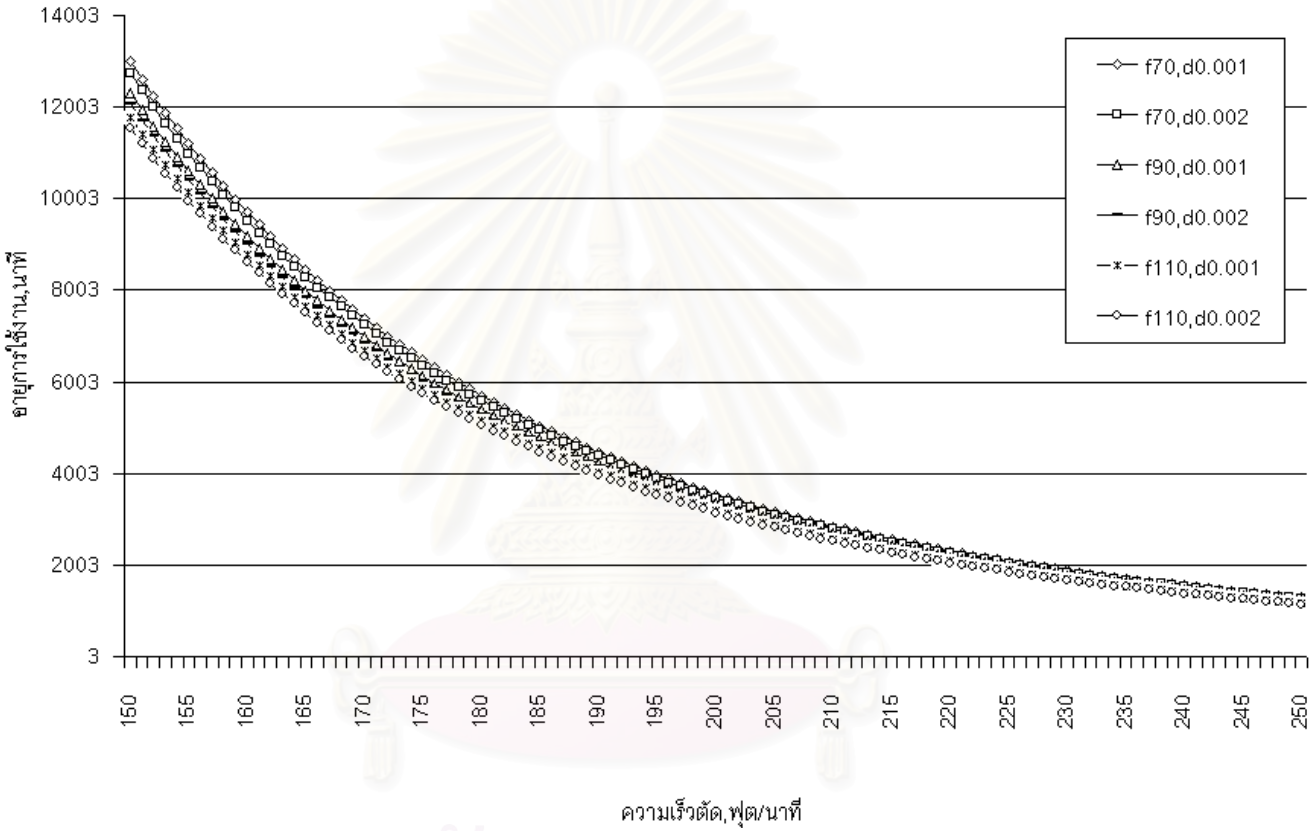
ตารางที่ 4.5 อายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์(SiC) โดยใช้ Taylor'Equation(ต่อ)

ความเร็วตัด (ฟุต/นาที)	อายุการใช้งานหินเจียร (นาที)					
	f = 70 d = 0.001	f = 90 d = 0.001	f = 110 d = 0.001	f = 70 d = 0.002	f = 90 d = 0.002	f = 110 d = 0.002
221	2255.02	2133.72	2041.57	2212.59	2093.58	2003.17
222	2209.48	2090.63	2000.34	2167.91	2051.30	1962.71
223	2165.05	2048.60	1960.13	2124.32	2010.06	1923.25
224	2121.72	2007.59	1920.89	2081.80	1969.83	1884.75
225	2079.44	1967.59	1882.61	2040.32	1930.57	1847.19
226	2038.18	1928.55	1845.26	1999.84	1892.27	1810.55
227	1997.92	1890.45	1808.81	1960.33	1854.89	1774.78
228	1958.62	1853.27	1773.23	1921.78	1818.41	1739.87
229	1920.27	1816.98	1738.51	1884.14	1782.80	1705.80
230	1882.83	1781.55	1704.61	1847.41	1748.04	1672.54
231	1846.27	1746.97	1671.52	1811.54	1714.10	1640.07
232	1810.58	1713.19	1639.21	1776.52	1680.96	1608.37
233	1775.73	1680.22	1607.65	1742.32	1648.61	1577.41
234	1741.69	1648.01	1576.84	1708.93	1617.01	1547.17
235	1708.45	1616.56	1546.74	1676.31	1586.14	1517.64
236	1675.98	1585.83	1517.35	1644.45	1556.00	1488.80
237	1644.26	1555.82	1488.63	1613.33	1526.55	1460.62
238	1613.27	1526.50	1460.57	1582.92	1497.78	1433.09
239	1582.99	1497.84	1433.16	1553.21	1469.67	1406.19
240	1553.40	1469.85	1406.37	1524.18	1442.19	1379.91
241	1524.49	1442.49	1380.19	1495.81	1415.35	1354.22
242	1496.23	1415.75	1354.60	1468.08	1389.11	1329.12
243	1468.60	1389.61	1329.59	1440.97	1363.46	1304.58
244	1441.60	1364.06	1305.15	1414.48	1338.39	1280.59

ตารางที่ 4.5 อายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์(SiC) โดยใช้ Taylor'Equation(ต่อ)

ความเร็วตัด (ฟุต/นาที)	อายุการใช้งานหินเจียร (นาที)					
	f = 70 d = 0.001	f = 90 d = 0.001	f = 110 d = 0.001	f = 70 d = 0.002	f = 90 d = 0.002	f = 110 d = 0.002
245	1415.20	1339.08	1281.25	1388.57	1313.88	1257.14
246	1389.39	1314.65	1257.88	1363.25	1289.92	1234.21
247	1364.15	1290.77	1235.03	1338.48	1266.49	1211.79
248	1339.47	1267.42	1212.68	1314.27	1243.57	1189.87
249	1315.33	1244.58	1190.83	1290.58	1221.16	1168.42
250	1291.72	1222.24	1169.45	1267.42	1199.24	1147.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดกับอายุการใช้งานของหินเจียรที่ได้จากสมการ Taylor'Equation

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการเจียรในเชิงเศรษฐศาสตร์

การพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเจียรจะต้องทำการพิจารณาจากขั้นตอนการทำงานของพนักงานประจำเครื่องและการทำงานของเครื่องจักรซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. การนำชิ้นงานเข้าเครื่องจักร(Load Work ,LW)
2. การเคลื่อนที่เข้าของ Tool (Advance Tool , AT)
3. เครื่องจักรทำงาน (Grinding)
4. การเคลื่อนที่ออกของ Tool (Retract Tool ,RT)
5. การนำชิ้นงานออกจากเครื่องจักร(Unload Work ,UW)

ฉะนั้นแล้วค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อการทำงาน 1 รอบการทำงานจะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้ Handling Cost, Grinding Cost, Tool Changing Cost, Tooling Cost

1. Handling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการนำชิ้นงานเข้าและออกจากเครื่องจักรและการเคลื่อนที่ของ Tool เข้าและออกจากชิ้นงานสำหรับ 1 รอบการทำงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับความเร็วตัด และเป็นค่าคงที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเนื่องจากการออกแบบเครื่องจักรตั้งแต่เริ่มแรก ดังนั้นจึงไม่นำมาพิจารณาเป็นเงื่อนไขในการหาความเร็วตัดที่เหมาะสม ดังสมการที่ 1.5

2. Grinding Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเสียเวลาในการเจียรชิ้นงานสำหรับ 1 รอบการทำงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด เมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการเจียรลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรลดลงด้วย ดังสมการที่ 1.6

3. Tool Changing Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนหินเจียรสำหรับรอบการทำงาน ซึ่งจะทำการเปลี่ยนหินเจียรที่หมดประสิทธิภาพในการใช้งานซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัดเมื่อความเร็วตัดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของหินเจียรลดลงซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหินเจียรเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังสมการที่ 1.8

4. Tooling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้หินเจียรสำหรับ 1 รอบการทำงานเพราะเมื่อเจียรชิ้นงานไปหินเจียรจะต้องสึกและหมดอายุในที่สุดและค่าใช้จ่ายส่วนนี้มีความผันแปรกับราคาของหินเจียรและอายุการใช้งานของหินเจียรเนื่องจากว่าเมื่อความเร็วตัดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของหินเจียรลดลงซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายของหินเจียรเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังสมการที่ 1.9

จากค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเจียรจะทำให้สามารถหาค่าใช้จ่ายรวมจากสมการที่ 1.10 ที่เกิดขึ้นที่ความเร็วตัดต่างๆจากนั้นนำค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดของแต่ละความเร็วตัดมาทำการ

Plot กราฟเพื่อที่จะใช้ประกอบในการหาเงื่อนไขที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรน้อยที่สุดซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเจียร

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจียร

จากอายุการใช้งานซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเจียร ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกมาได้ 6 เงื่อนไขตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้นในการทดลองดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่ 1 ที่อัตราการป้อน 70 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายดังปรากฏในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.5 จะพบว่าความเร็วตัดที่ 157 ฟุตต่อนาทีจะทำให้หินเจียรมีอายุการใช้งาน 10,572.8 นาที และมีอัตราการผลิตที่ 3.17 ชิ้นต่อวันซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรเท่ากับ 395.08 บาทต่อชิ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ 2 ที่อัตราการป้อน 90 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายดังปรากฏในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.6 จะพบว่าความเร็วตัดที่ 155 ฟุตต่อนาทีจะทำให้หินเจียรมีอายุการใช้งาน 10,600.8 นาที และมีอัตราการผลิตที่ 3.94 ชิ้นต่อวันซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรเท่ากับ 311.07 บาทต่อชิ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ 3 ที่อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายดังปรากฏในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.7 จะพบว่าความเร็วตัดที่ 153 ฟุตต่อนาทีจะทำให้หินเจียรมีอายุการใช้งาน 10,756.1 นาที และมีอัตราการผลิตที่ 4.67 ชิ้นต่อวันซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรเท่ากับ 257.01 บาทต่อชิ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ 4 ที่อัตราการป้อน 70 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.002 นิ้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายดังปรากฏในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.8 จะพบว่าความเร็วตัดที่ 156 ฟุตต่อนาทีจะทำให้หินเจียรมีอายุการใช้งาน 10,677.8 นาที และมีอัตราการผลิตที่ 3.15 ชิ้นต่อวันซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรเท่ากับ 396.74 บาทต่อชิ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ 5 ที่อัตราการป้อน 90 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.002 นิ้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายดังปรากฏในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9 จะพบว่าความเร็วตัดที่ 154 ฟุตต่อนาทีจะทำให้หินเจียรมีอายุการใช้งาน 10,710.1 นาที และมีอัตราการผลิตที่ 3.92 ชิ้นต่อวันซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรเท่ากับ 312.38 บาทต่อชิ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ 6 ที่อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.002 นิ้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายดังปรากฏในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.10 จะพบว่าความเร็วตัดที่ 153 ฟุตต่อนาทีจะทำให้หินเจียรมีอายุการใช้งาน 10,553.7 นาที และมีอัตราการผลิตที่ 4.67 ชิ้นต่อวันซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรเท่ากับ 258.09 บาทต่อชิ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

4.3.2 ทำการคำนวณหาความเร็วตัดที่ให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรต่ำที่สุดซึ่งเป็นความเร็วตัดที่เหมาะสมของหินเจียรโดยใช้สมการที่ 1.11 ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจเช็คความถูกต้องของการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12

4.3.3 ตามที่กล่าวในหัวข้อ 3.4.4 ในกรณีที่ต้องการเร่งกำลังการผลิต ความเร็วตัดที่เหมาะสมจะต้องเป็นความเร็วตัดที่ทำให้อัตราการผลิตสูงสุดซึ่งได้จากการ Simulate หาอัตราการผลิตที่ความเร็วตัดต่างๆของทุกเงื่อนไข โดยใช้สมการที่ 1.12 และทำการเพิ่มความเร็วตัดครั้งละ 1 ฟุตต่อนาทีซึ่งผลการคำนวณปรากฏในตารางที่ 4.6 - 4.11และเพื่อเป็นการตรวจเช็คความถูกต้องของการทดลองจึงได้คำนวณเพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบโดยใช้สมการที่ 1.13 ซึ่งผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.12 สำหรับตัวอย่างการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ข.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.001

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
150	70	321.26	1.48	73.59	396.34	3.04	12992.8
151	70	319.14	1.52	75.33	395.99	3.06	12608.5
152	70	317.04	1.55	77.10	395.69	3.08	12237.9
153	70	314.96	1.59	78.90	395.46	3.10	11880.6
154	70	312.92	1.63	80.73	395.28	3.12	11535.9
155	70	310.90	1.67	82.59	395.16	3.13	11203.4
156	70	308.91	1.70	84.48	395.09	3.15	10882.5
157	70	306.94	1.74	86.40	395.08	3.17	10572.8
158	70	305.00	1.78	88.35	395.13	3.19	10273.7
159	70	303.08	1.82	90.34	395.24	3.21	9984.93
160	70	301.19	1.86	92.35	395.40	3.22	9706
161	70	299.31	1.90	94.40	395.62	3.24	9436.53
162	70	297.47	1.95	96.48	395.89	3.26	9176.14
163	70	295.64	1.99	98.59	396.22	3.28	8924.48
164	70	293.84	2.03	100.74	396.61	3.30	8681.19
165	70	292.06	2.07	102.92	397.05	3.31	8445.95
166	70	290.30	2.12	105.13	397.55	3.33	8218.45
167	70	288.56	2.16	107.37	398.10	3.35	7998.39
168	70	286.84	2.21	109.65	398.71	3.37	7785.49
169	70	285.15	2.26	111.97	399.37	3.39	7579.46
170	70	283.47	2.30	114.32	400.09	3.40	7380.06
171	70	281.81	2.35	116.70	400.86	3.42	7187.02
172	70	280.17	2.40	119.12	401.69	3.44	7000.12

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft/min)	Feed Rate(in/min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
173	70	278.55	2.45	121.57	402.58	3.46	6819.12
174	70	276.95	2.50	124.06	403.52	3.47	6643.8
175	70	275.37	2.55	126.59	404.51	3.49	6473.95
176	70	273.80	2.60	129.16	405.56	3.51	6309.38
177	70	272.26	2.66	131.76	406.67	3.53	6149.89
178	70	270.73	2.71	134.40	407.83	3.54	5995.3
179	70	269.22	2.76	137.07	409.05	3.56	5845.42
180	70	267.72	2.82	139.78	410.32	3.58	5700.1
181	70	266.24	2.87	142.54	411.65	3.60	5559.16
182	70	264.78	2.93	145.33	413.03	3.61	5422.45
183	70	263.33	2.99	148.16	414.47	3.63	5289.83
184	70	261.90	3.04	151.03	415.97	3.65	5161.15
185	70	260.48	3.10	153.93	417.52	3.66	5036.28
186	70	259.08	3.16	156.88	419.13	3.68	4915.07
187	70	257.70	3.22	159.87	420.79	3.70	4797.4
188	70	256.33	3.28	162.90	422.51	3.72	4683.16
189	70	254.97	3.35	165.97	424.29	3.73	4572.23
190	70	253.63	3.41	169.08	426.12	3.75	4464.48
191	70	252.30	3.47	172.23	428.00	3.77	4359.82
192	70	250.99	3.54	175.43	429.95	3.78	4258.14
193	70	249.69	3.60	178.66	431.95	3.80	4159.35
194	70	248.40	3.67	181.94	434.01	3.82	4063.33
195	70	247.13	3.73	185.26	436.12	3.83	3970.01
196	70	245.87	3.80	188.63	438.30	3.85	3879.3

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
197	70	244.62	3.87	192.04	440.52	3.87	3791.1
198	70	243.38	3.94	195.49	442.81	3.88	3705.34
199	70	242.16	4.01	198.98	445.15	3.90	3621.94
200	70	240.95	4.08	202.53	447.56	3.92	3540.82
201	70	239.75	4.16	206.11	450.02	3.93	3461.91
202	70	238.56	4.23	209.74	452.53	3.95	3385.13
203	70	237.39	4.30	213.42	455.11	3.97	3310.43
204	70	236.22	4.38	217.14	457.74	3.98	3237.72
205	70	235.07	4.45	220.91	460.44	4.00	3166.96
206	70	233.93	4.53	224.73	463.19	4.01	3098.08
207	70	232.80	4.61	228.59	466.00	4.03	3031.02
208	70	231.68	4.69	232.50	468.87	4.05	2965.72
209	70	230.57	4.77	236.46	471.80	4.06	2902.13
210	70	229.47	4.85	240.46	474.78	4.08	2840.2
211	70	228.39	4.93	244.51	477.83	4.09	2779.88
212	70	227.31	5.01	248.62	480.94	4.11	2721.11
213	70	226.24	5.10	252.77	484.11	4.13	2663.86
214	70	225.19	5.18	256.97	487.34	4.14	2608.07
215	70	224.14	5.27	261.22	490.62	4.16	2553.7
216	70	223.10	5.35	265.52	493.97	4.17	2500.7
217	70	222.07	5.44	269.87	497.38	4.19	2449.05
218	70	221.05	5.53	274.27	500.86	4.20	2398.69
219	70	220.04	5.62	278.73	504.39	4.22	2349.59
220	70	219.04	5.71	283.23	507.98	4.23	2301.71

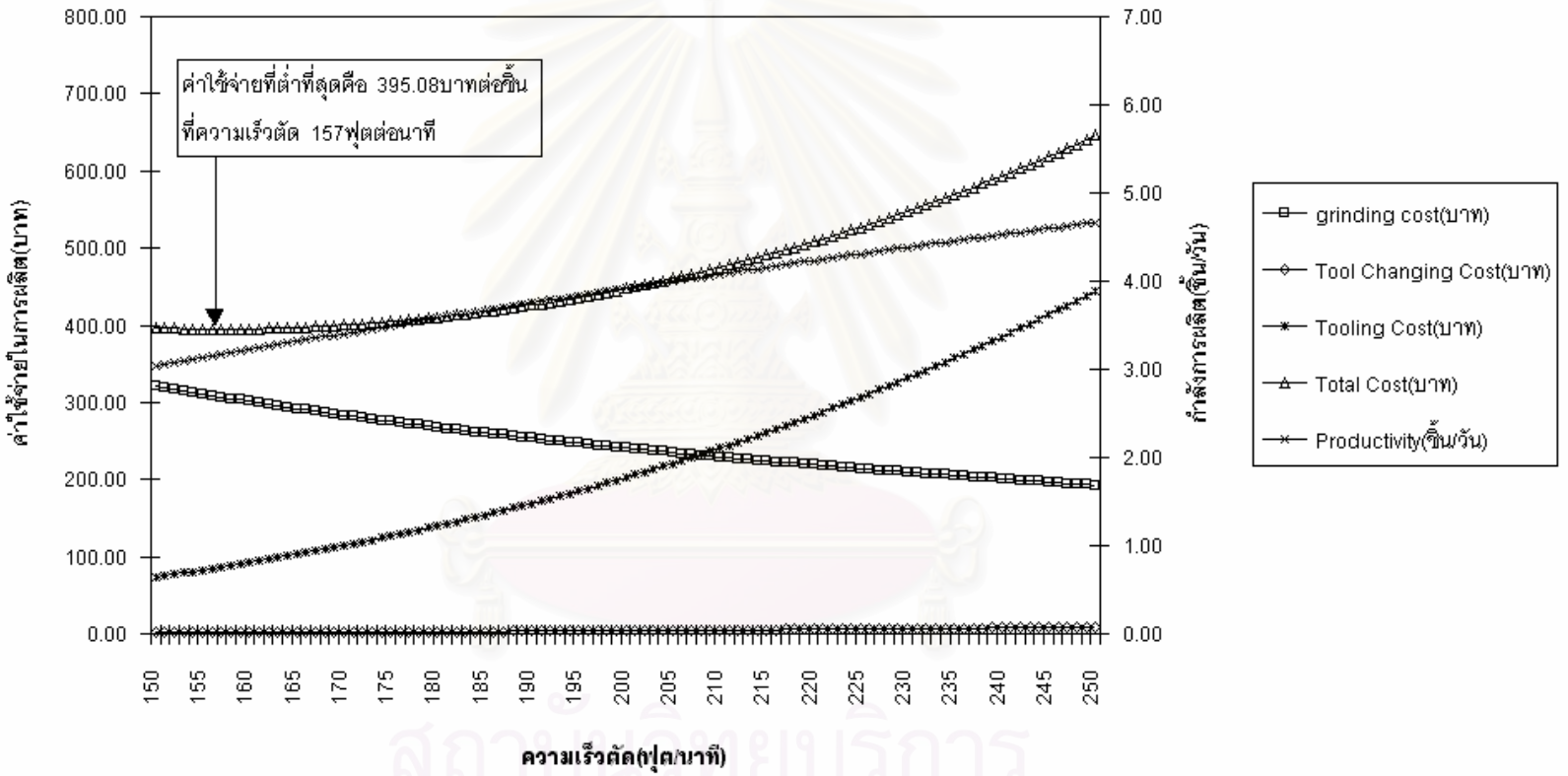
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
221	70	218.05	5.80	287.79	511.64	4.25	2255.02
222	70	217.07	5.89	292.40	515.36	4.26	2209.48
223	70	216.10	5.99	297.06	519.14	4.28	2165.05
224	70	215.13	6.08	301.77	522.99	4.30	2121.72
225	70	214.18	6.18	306.54	526.89	4.31	2079.44
226	70	213.23	6.28	311.36	530.87	4.33	2038.18
227	70	212.29	6.38	316.24	534.90	4.34	1997.92
228	70	211.36	6.47	321.17	539.00	4.35	1958.62
229	70	210.43	6.58	326.15	543.16	4.37	1920.27
230	70	209.52	6.68	331.19	547.39	4.38	1882.83
231	70	208.61	6.78	336.28	551.68	4.40	1846.27
232	70	207.71	6.88	341.43	556.03	4.41	1810.58
233	70	206.82	6.99	346.64	560.45	4.43	1775.73
234	70	205.94	7.09	351.91	564.94	4.44	1741.69
235	70	205.06	7.20	357.23	569.49	4.46	1708.45
236	70	204.19	7.31	362.60	574.11	4.47	1675.98
237	70	203.33	7.42	368.04	578.79	4.49	1644.26
238	70	202.48	7.53	373.53	583.54	4.50	1613.27
239	70	201.63	7.64	379.09	588.36	4.51	1582.99
240	70	200.79	7.76	384.70	593.24	4.53	1553.4
241	70	199.96	7.87	390.37	598.19	4.54	1524.49
242	70	199.13	7.99	396.10	603.21	4.56	1496.23
243	70	198.31	8.10	401.89	608.30	4.57	1468.6
244	70	197.50	8.22	407.74	613.46	4.58	1441.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
245	70	196.69	8.34	413.65	618.68	4.60	1415.2
246	70	195.89	8.46	419.62	623.97	4.61	1389.39
247	70	195.10	8.58	425.65	629.33	4.62	1364.15
248	70	194.31	8.70	431.75	634.77	4.64	1339.47
249	70	193.53	8.83	437.91	640.27	4.65	1315.33
250	70	192.76	8.95	444.13	645.84	4.66	1291.72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f 70 d 0.001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.001

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
150	90.000	249.87	1.22	60.49	311.58	3.83	12293.9
151	90.000	248.22	1.25	61.92	311.39	3.85	11930.3
152	90.000	246.58	1.28	63.38	311.24	3.88	11579.7
153	90.000	244.97	1.31	64.86	311.14	3.90	11241.5
154	90.000	243.38	1.34	66.36	311.08	3.92	10915.4
155	90.000	241.81	1.37	67.89	311.07	3.94	10600.8
156	90.000	240.26	1.40	69.44	311.10	3.97	10297.1
157	90.000	238.73	1.43	71.02	311.19	3.99	10004.1
158	90.000	237.22	1.46	72.63	311.31	4.01	9721.1
159	90.000	235.73	1.50	74.26	311.48	4.03	9447.85
160	90.000	234.26	1.53	75.91	311.70	4.06	9183.93
161	90.000	232.80	1.56	77.60	311.96	4.08	8928.95
162	90.000	231.36	1.60	79.31	312.27	4.10	8682.57
163	90.000	229.94	1.63	81.04	312.62	4.12	8444.44
164	90.000	228.54	1.67	82.81	313.02	4.14	8214.24
165	90.000	227.16	1.71	84.60	313.46	4.17	7991.66
166	90.000	225.79	1.74	86.41	313.94	4.19	7776.4
167	90.000	224.44	1.78	88.26	314.47	4.21	7568.17
168	90.000	223.10	1.82	90.13	315.05	4.23	7366.72
169	90.000	221.78	1.86	92.04	315.67	4.25	7171.78
170	90.000	220.48	1.89	93.97	316.34	4.28	6983.1
171	90.000	219.19	1.93	95.93	317.05	4.30	6800.45
172	90.000	217.91	1.97	97.91	317.80	4.32	6623.59

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
173	90.000	216.65	2.01	99.93	318.60	4.34	6452.33
174	90.000	215.41	2.06	101.98	319.44	4.36	6286.44
175	90.000	214.18	2.10	104.06	320.33	4.38	6125.73
176	90.000	212.96	2.14	106.17	321.26	4.40	5970.01
177	90.000	211.76	2.18	108.30	322.24	4.43	5819.1
178	90.000	210.57	2.23	110.47	323.27	4.45	5672.82
179	90.000	209.39	2.27	112.67	324.33	4.47	5531
180	90.000	208.23	2.32	114.90	325.44	4.49	5393.5
181	90.000	207.08	2.36	117.16	326.60	4.51	5260.14
182	90.000	205.94	2.41	119.46	327.80	4.53	5130.79
183	90.000	204.81	2.46	121.78	329.05	4.55	5005.3
184	90.000	203.70	2.50	124.14	330.34	4.57	4883.54
185	90.000	202.60	2.55	126.53	331.68	4.59	4765.38
186	90.000	201.51	2.60	128.96	333.06	4.62	4650.69
187	90.000	200.43	2.65	131.41	334.49	4.64	4539.36
188	90.000	199.37	2.70	133.90	335.97	4.66	4431.26
189	90.000	198.31	2.75	136.42	337.49	4.68	4326.29
190	90.000	197.27	2.80	138.98	339.05	4.70	4224.34
191	90.000	196.23	2.85	141.57	340.66	4.72	4125.31
192	90.000	195.21	2.91	144.20	342.32	4.74	4029.1
193	90.000	194.20	2.96	146.86	344.02	4.76	3935.62
194	90.000	193.20	3.02	149.55	345.77	4.78	3844.77
195	90.000	192.21	3.07	152.28	347.56	4.80	3756.47
196	90.000	191.23	3.13	155.05	349.40	4.82	3670.64

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
197	90.000	190.26	3.18	157.85	351.29	4.84	3587.19
198	90.000	189.30	3.24	160.69	353.23	4.86	3506.04
199	90.000	188.35	3.30	163.56	355.21	4.88	3427.12
200	90.000	187.40	3.36	166.47	357.23	4.90	3350.37
201	90.000	186.47	3.42	169.42	359.31	4.92	3275.7
202	90.000	185.55	3.48	172.41	361.43	4.94	3203.05
203	90.000	184.63	3.54	175.43	363.60	4.96	3132.36
204	90.000	183.73	3.60	178.49	365.82	4.98	3063.57
205	90.000	182.83	3.66	181.59	368.08	5.00	2996.62
206	90.000	181.95	3.72	184.72	370.39	5.02	2931.44
207	90.000	181.07	3.79	187.90	372.75	5.04	2867.98
208	90.000	180.20	3.85	191.11	375.16	5.06	2806.2
209	90.000	179.33	3.92	194.36	377.62	5.08	2746.03
210	90.000	178.48	3.98	197.66	380.12	5.10	2687.43
211	90.000	177.63	4.05	200.99	382.68	5.12	2630.35
212	90.000	176.80	4.12	204.36	385.28	5.13	2574.75
213	90.000	175.97	4.19	207.77	387.93	5.15	2520.57
214	90.000	175.14	4.26	211.23	390.63	5.17	2467.78
215	90.000	174.33	4.33	214.72	393.38	5.19	2416.34
216	90.000	173.52	4.40	218.26	396.18	5.21	2366.19
217	90.000	172.72	4.47	221.83	399.03	5.23	2317.32
218	90.000	171.93	4.55	225.45	401.93	5.25	2269.67
219	90.000	171.15	4.62	229.11	404.87	5.27	2223.21
220	90.000	170.37	4.69	232.81	407.87	5.29	2177.9

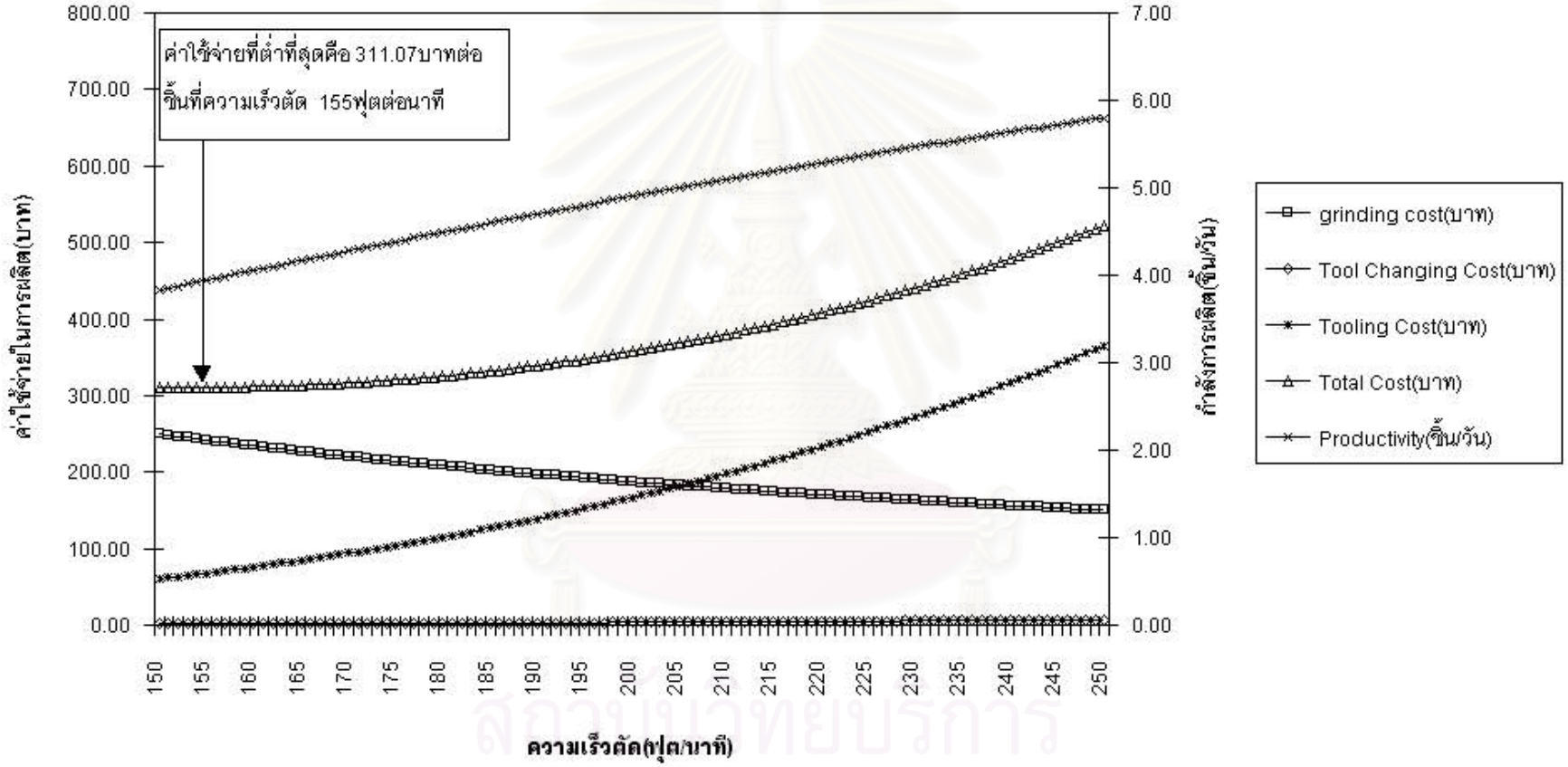
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
221	90.000	169.60	4.77	236.56	410.92	5.30	2133.72
222	90.000	168.83	4.85	240.35	414.02	5.32	2090.63
223	90.000	168.08	4.92	244.18	417.18	5.34	2048.6
224	90.000	167.33	5.00	248.05	420.38	5.36	2007.59
225	90.000	166.58	5.08	251.97	423.63	5.38	1967.59
226	90.000	165.84	5.16	255.94	426.94	5.39	1928.55
227	90.000	165.11	5.24	259.94	430.30	5.41	1890.45
228	90.000	164.39	5.32	263.99	433.71	5.43	1853.27
229	90.000	163.67	5.40	268.09	437.17	5.45	1816.98
230	90.000	162.96	5.49	272.23	440.68	5.47	1781.55
231	90.000	162.25	5.57	276.42	444.25	5.48	1746.97
232	90.000	161.56	5.66	280.66	447.87	5.50	1713.19
233	90.000	160.86	5.74	284.94	451.54	5.52	1680.22
234	90.000	160.17	5.83	289.26	455.27	5.54	1648.01
235	90.000	159.49	5.92	293.64	459.05	5.55	1616.56
236	90.000	158.82	6.01	298.06	462.88	5.57	1585.83
237	90.000	158.15	6.10	302.53	466.77	5.59	1555.82
238	90.000	157.48	6.19	307.04	470.71	5.60	1526.5
239	90.000	156.82	6.28	311.61	474.71	5.62	1497.84
240	90.000	156.17	6.37	316.22	478.76	5.64	1469.85
241	90.000	155.52	6.47	320.88	482.87	5.65	1442.49
242	90.000	154.88	6.56	325.59	487.03	5.67	1415.75
243	90.000	154.24	6.66	330.35	491.25	5.69	1389.61
244	90.000	153.61	6.76	335.16	495.52	5.70	1364.06

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
245	90.000	152.98	6.85	340.02	499.85	5.72	1339.08
246	90.000	152.36	6.95	344.92	504.24	5.74	1314.65
247	90.000	151.74	7.05	349.88	508.68	5.75	1290.77
248	90.000	151.13	7.15	354.89	513.18	5.77	1267.42
249	90.000	150.53	7.26	359.96	517.74	5.78	1244.58
250	90.000	149.92	7.36	365.07	522.35	5.80	1222.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f 90 d 0.001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.001

Roll Speed(ft/min)	Feed Rate(in/min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
150	110.000	204.44	1.04	51.73	257.21	4.59	11763
151	110.000	203.09	1.07	52.95	257.10	4.61	11415
152	110.000	201.75	1.09	54.19	257.04	4.64	11079.6
153	110.000	200.43	1.12	55.46	257.01	4.67	10756.1
154	110.000	199.13	1.14	56.75	257.02	4.69	10444
155	110.000	197.85	1.17	58.05	257.07	4.72	10143
156	110.000	196.58	1.20	59.38	257.16	4.75	9852.44
157	110.000	195.33	1.22	60.73	257.28	4.77	9572.01
158	110.000	194.09	1.25	62.10	257.45	4.80	9301.27
159	110.000	192.87	1.28	63.50	257.65	4.83	9039.83
160	110.000	191.66	1.31	64.91	257.89	4.85	8787.3
161	110.000	190.47	1.34	66.35	258.16	4.88	8543.34
162	110.000	189.30	1.37	67.82	258.48	4.90	8307.6
163	110.000	188.14	1.40	69.30	258.83	4.93	8079.75
164	110.000	186.99	1.43	70.81	259.22	4.95	7859.49
165	110.000	185.86	1.46	72.34	259.65	4.98	7646.52
166	110.000	184.74	1.49	73.89	260.12	5.01	7440.55
167	110.000	183.63	1.52	75.47	260.62	5.03	7241.32
168	110.000	182.54	1.55	77.07	261.16	5.06	7048.57
169	110.000	181.46	1.59	78.70	261.74	5.08	6862.05
170	110.000	180.39	1.62	80.35	262.36	5.11	6681.52
171	110.000	179.33	1.65	82.03	263.02	5.13	6506.75
172	110.000	178.29	1.69	83.73	263.71	5.16	6337.54

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
173	110.000	177.26	1.72	85.45	264.44	5.18	6173.67
174	110.000	176.24	1.76	87.20	265.20	5.21	6014.95
175	110.000	175.23	1.79	88.98	266.01	5.23	5861.18
176	110.000	174.24	1.83	90.78	266.85	5.26	5712.18
177	110.000	173.25	1.87	92.61	267.73	5.28	5567.79
178	110.000	172.28	1.90	94.47	268.65	5.31	5427.82
179	110.000	171.32	1.94	96.35	269.61	5.33	5292.13
180	110.000	170.37	1.98	98.25	270.60	5.36	5160.57
181	110.000	169.43	2.02	100.19	271.63	5.38	5032.97
182	110.000	168.50	2.06	102.15	272.70	5.41	4909.2
183	110.000	167.57	2.10	104.14	273.81	5.43	4789.14
184	110.000	166.66	2.14	106.15	274.96	5.46	4672.64
185	110.000	165.76	2.18	108.20	276.14	5.48	4559.58
186	110.000	164.87	2.22	110.27	277.37	5.50	4449.84
187	110.000	163.99	2.27	112.37	278.63	5.53	4343.32
188	110.000	163.12	2.31	114.50	279.93	5.55	4239.89
189	110.000	162.25	2.35	116.66	281.26	5.58	4139.45
190	110.000	161.40	2.40	118.84	282.64	5.60	4041.91
191	110.000	160.56	2.44	121.06	284.06	5.62	3947.15
192	110.000	159.72	2.49	123.31	285.51	5.65	3855.1
193	110.000	158.89	2.53	125.58	287.00	5.67	3765.65
194	110.000	158.07	2.58	127.89	288.54	5.69	3678.73
195	110.000	157.26	2.63	130.22	290.11	5.72	3594.24
196	110.000	156.46	2.67	132.59	291.72	5.74	3512.11

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร
ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
197	110.000	155.67	2.72	134.98	293.37	5.77	3432.27
198	110.000	154.88	2.77	137.41	295.06	5.79	3354.62
199	110.000	154.10	2.82	139.87	296.79	5.81	3279.12
200	110.000	153.33	2.87	142.35	298.55	5.83	3205.67
201	110.000	152.57	2.92	144.87	300.36	5.86	3134.23
202	110.000	151.81	2.97	147.43	302.21	5.88	3064.72
203	110.000	151.06	3.02	150.01	304.10	5.90	2997.09
204	110.000	150.32	3.08	152.63	306.03	5.93	2931.26
205	110.000	149.59	3.13	155.28	308.00	5.95	2867.2
206	110.000	148.86	3.18	157.96	310.01	5.97	2804.84
207	110.000	148.15	3.24	160.67	312.06	5.99	2744.12
208	110.000	147.43	3.29	163.42	314.15	6.02	2685.01
209	110.000	146.73	3.35	166.20	316.28	6.04	2627.44
210	110.000	146.03	3.41	169.02	318.46	6.06	2571.37
211	110.000	145.34	3.46	171.87	320.67	6.08	2516.76
212	110.000	144.65	3.52	174.75	322.93	6.10	2463.55
213	110.000	143.97	3.58	177.67	325.22	6.13	2411.72
214	110.000	143.30	3.64	180.62	327.56	6.15	2361.21
215	110.000	142.63	3.70	183.61	329.94	6.17	2311.98
216	110.000	141.97	3.76	186.63	332.37	6.19	2264
217	110.000	141.32	3.82	189.69	334.83	6.21	2217.24
218	110.000	140.67	3.89	192.79	337.34	6.23	2171.65
219	110.000	140.03	3.95	195.92	339.89	6.26	2127.19
220	110.000	139.39	4.01	199.08	342.49	6.28	2083.85

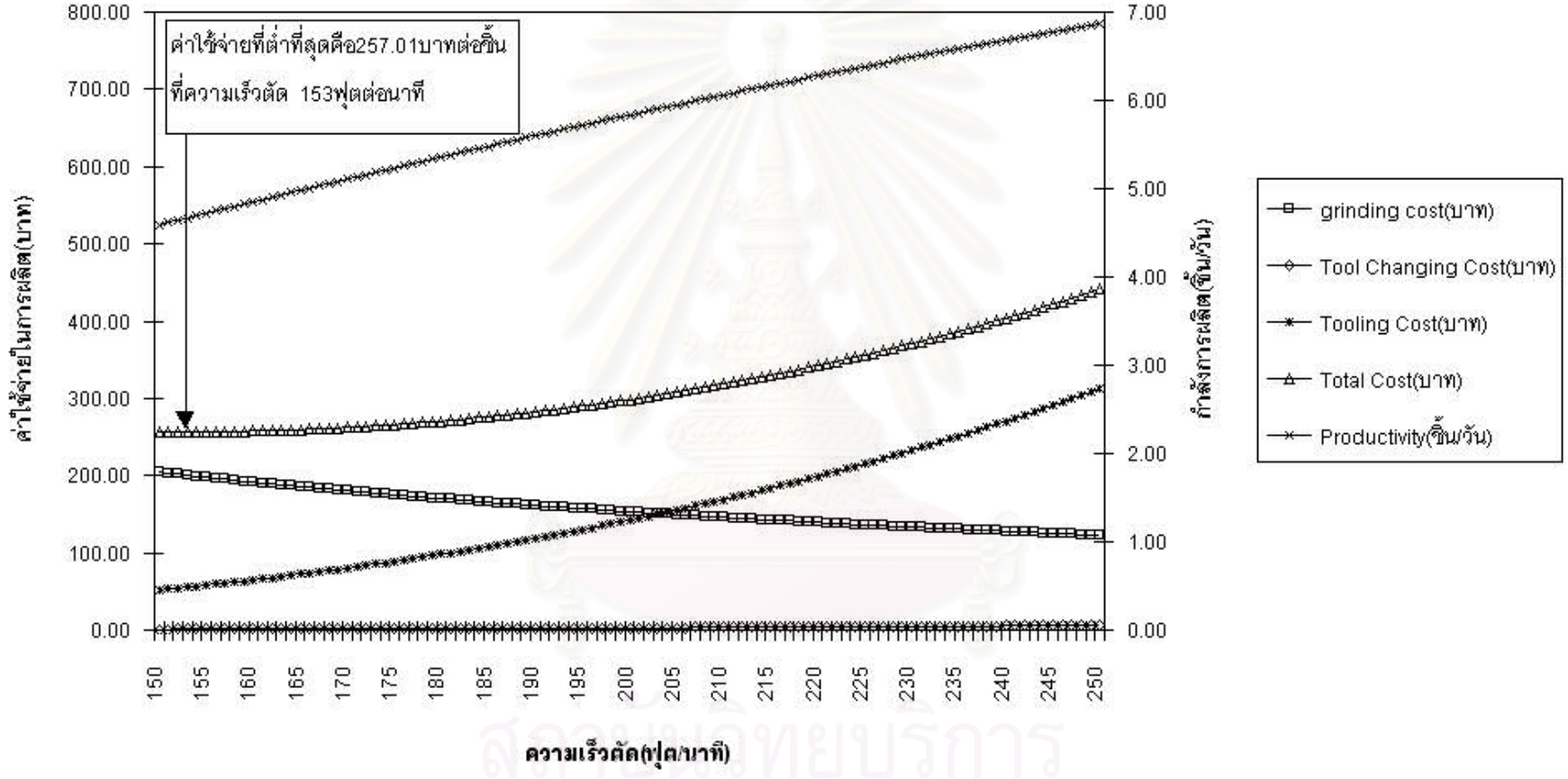
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร
ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
221	110.000	138.76	4.08	202.28	345.12	6.30	2041.57
222	110.000	138.14	4.14	205.52	347.80	6.32	2000.34
223	110.000	137.52	4.21	208.80	350.53	6.34	1960.13
224	110.000	136.90	4.28	212.11	353.29	6.36	1920.89
225	110.000	136.29	4.34	215.46	356.10	6.38	1882.61
226	110.000	135.69	4.41	218.85	358.96	6.40	1845.26
227	110.000	135.09	4.48	222.28	361.85	6.42	1808.81
228	110.000	134.50	4.55	225.75	364.80	6.44	1773.23
229	110.000	133.91	4.62	229.25	367.78	6.46	1738.51
230	110.000	133.33	4.69	232.79	370.81	6.48	1704.61
231	110.000	132.75	4.77	236.37	373.89	6.50	1671.52
232	110.000	132.18	4.84	239.99	377.01	6.52	1639.21
233	110.000	131.61	4.91	243.65	380.18	6.54	1607.65
234	110.000	131.05	4.99	247.35	383.39	6.56	1576.84
235	110.000	130.49	5.06	251.09	386.65	6.58	1546.74
236	110.000	129.94	5.14	254.87	389.95	6.60	1517.35
237	110.000	129.39	5.22	258.69	393.30	6.62	1488.63
238	110.000	128.85	5.29	262.55	396.70	6.64	1460.57
239	110.000	128.31	5.37	266.46	400.14	6.66	1433.16
240	110.000	127.78	5.45	270.40	403.63	6.68	1406.37
241	110.000	127.25	5.53	274.39	407.16	6.70	1380.19
242	110.000	126.72	5.61	278.41	410.75	6.72	1354.6
243	110.000	126.20	5.69	282.48	414.38	6.74	1329.59

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร
ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.001(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
244	110.000	125.68	5.78	286.60	418.05	6.76	1305.15
245	110.000	125.17	5.86	290.75	421.78	6.77	1281.25
246	110.000	124.66	5.95	294.95	425.55	6.79	1257.88
247	110.000	124.15	6.03	299.19	429.38	6.81	1235.03
248	110.000	123.65	6.12	303.47	433.25	6.83	1212.68
249	110.000	123.16	6.21	307.80	437.16	6.85	1190.83
250	110.000	122.66	6.29	312.17	441.13	6.87	1169.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f 110 d 0.001

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข f =70 d = 0.002

Roll Speed (ft/min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
150	70.000	321.26	1.51	75.00	397.78	3.04	12748.3
151	70.000	319.14	1.55	76.78	397.46	3.06	12371.2
152	70.000	317.04	1.58	78.58	397.20	3.08	12007.7
153	70.000	314.96	1.62	80.41	397.00	3.10	11657.1
154	70.000	312.92	1.66	82.28	396.86	3.11	11318.9
155	70.000	310.90	1.70	84.17	396.77	3.13	10992.6
156	70.000	308.91	1.74	86.10	396.74	3.15	10677.8
157	70.000	306.94	1.78	88.06	396.77	3.17	10373.8
158	70.000	305.00	1.82	90.05	396.86	3.19	10080.4
159	70.000	303.08	1.86	92.07	397.01	3.21	9797.08
160	70.000	301.19	1.90	94.12	397.21	3.22	9523.4
161	70.000	299.31	1.94	96.21	397.46	3.24	9259
162	70.000	297.47	1.98	98.33	397.78	3.26	9003.51
163	70.000	295.64	2.03	100.48	398.15	3.28	8756.58
164	70.000	293.84	2.07	102.67	398.58	3.30	8517.87
165	70.000	292.06	2.11	104.89	399.06	3.31	8287.06
166	70.000	290.30	2.16	107.14	399.60	3.33	8063.84
167	70.000	288.56	2.21	109.43	400.20	3.35	7847.92
168	70.000	286.84	2.25	111.76	400.85	3.37	7639.02
169	70.000	285.15	2.30	114.11	401.56	3.39	7436.87
170	70.000	283.47	2.35	116.51	402.32	3.40	7241.22
171	70.000	281.81	2.40	118.94	403.15	3.42	7051.81
172	70.000	280.17	2.45	121.40	404.02	3.44	6868.43

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed (ft/min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
173	70.000	278.55	2.50	123.90	404.96	3.46	6690.83
174	70.000	276.95	2.55	126.44	405.94	3.47	6518.81
175	70.000	275.37	2.60	129.02	406.99	3.49	6352.16
176	70.000	273.80	2.65	131.63	408.09	3.51	6190.68
177	70.000	272.26	2.71	134.28	409.25	3.53	6034.19
178	70.000	270.73	2.76	136.97	410.46	3.54	5882.51
179	70.000	269.22	2.82	139.70	411.73	3.56	5735.45
180	70.000	267.72	2.87	142.46	413.06	3.58	5592.86
181	70.000	266.24	2.93	145.27	414.44	3.60	5454.57
182	70.000	264.78	2.99	148.11	415.88	3.61	5320.44
183	70.000	263.33	3.04	151.00	417.37	3.63	5190.32
184	70.000	261.90	3.10	153.92	418.92	3.65	5064.06
185	70.000	260.48	3.16	156.88	420.53	3.66	4941.53
186	70.000	259.08	3.22	159.89	422.20	3.68	4822.6
187	70.000	257.70	3.28	162.93	423.92	3.70	4707.15
188	70.000	256.33	3.35	166.02	425.70	3.72	4595.06
189	70.000	254.97	3.41	169.15	427.53	3.73	4486.21
190	70.000	253.63	3.47	172.32	429.42	3.75	4380.49
191	70.000	252.30	3.54	175.53	431.37	3.77	4277.8
192	70.000	250.99	3.60	178.79	433.38	3.78	4178.04
193	70.000	249.69	3.67	182.09	435.45	3.80	4081.1
194	70.000	248.40	3.74	185.43	437.57	3.82	3986.89
195	70.000	247.13	3.81	188.81	439.75	3.83	3895.33
196	70.000	245.87	3.88	192.24	441.98	3.85	3806.32

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed (ft/min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
197	70.000	244.62	3.95	195.72	444.28	3.87	3719.78
198	70.000	243.38	4.02	199.24	446.63	3.88	3635.64
199	70.000	242.16	4.09	202.80	449.05	3.90	3553.8
200	70.000	240.95	4.16	206.41	451.52	3.92	3474.21
201	70.000	239.75	4.23	210.06	454.05	3.93	3396.78
202	70.000	238.56	4.31	213.76	456.64	3.95	3321.45
203	70.000	237.39	4.39	217.51	459.28	3.96	3248.15
204	70.000	236.22	4.46	221.31	461.99	3.98	3176.81
205	70.000	235.07	4.54	225.15	464.76	4.00	3107.38
206	70.000	233.93	4.62	229.04	467.58	4.01	3039.8
207	70.000	232.80	4.70	232.97	470.47	4.03	2974
208	70.000	231.68	4.78	236.96	473.41	4.04	2909.93
209	70.000	230.57	4.86	240.99	476.42	4.06	2847.54
210	70.000	229.47	4.94	245.07	479.49	4.08	2786.77
211	70.000	228.39	5.02	249.20	482.61	4.09	2727.58
212	70.000	227.31	5.11	253.38	485.80	4.11	2669.92
213	70.000	226.24	5.19	257.62	489.05	4.12	2613.74
214	70.000	225.19	5.28	261.90	492.36	4.14	2559
215	70.000	224.14	5.37	266.23	495.73	4.16	2505.65
216	70.000	223.10	5.46	270.61	499.17	4.17	2453.66
217	70.000	222.07	5.54	275.05	502.66	4.19	2402.97
218	70.000	221.05	5.64	279.53	506.22	4.20	2353.56
219	70.000	220.04	5.73	284.07	509.84	4.22	2305.38
220	70.000	219.04	5.82	288.66	513.52	4.23	2258.41

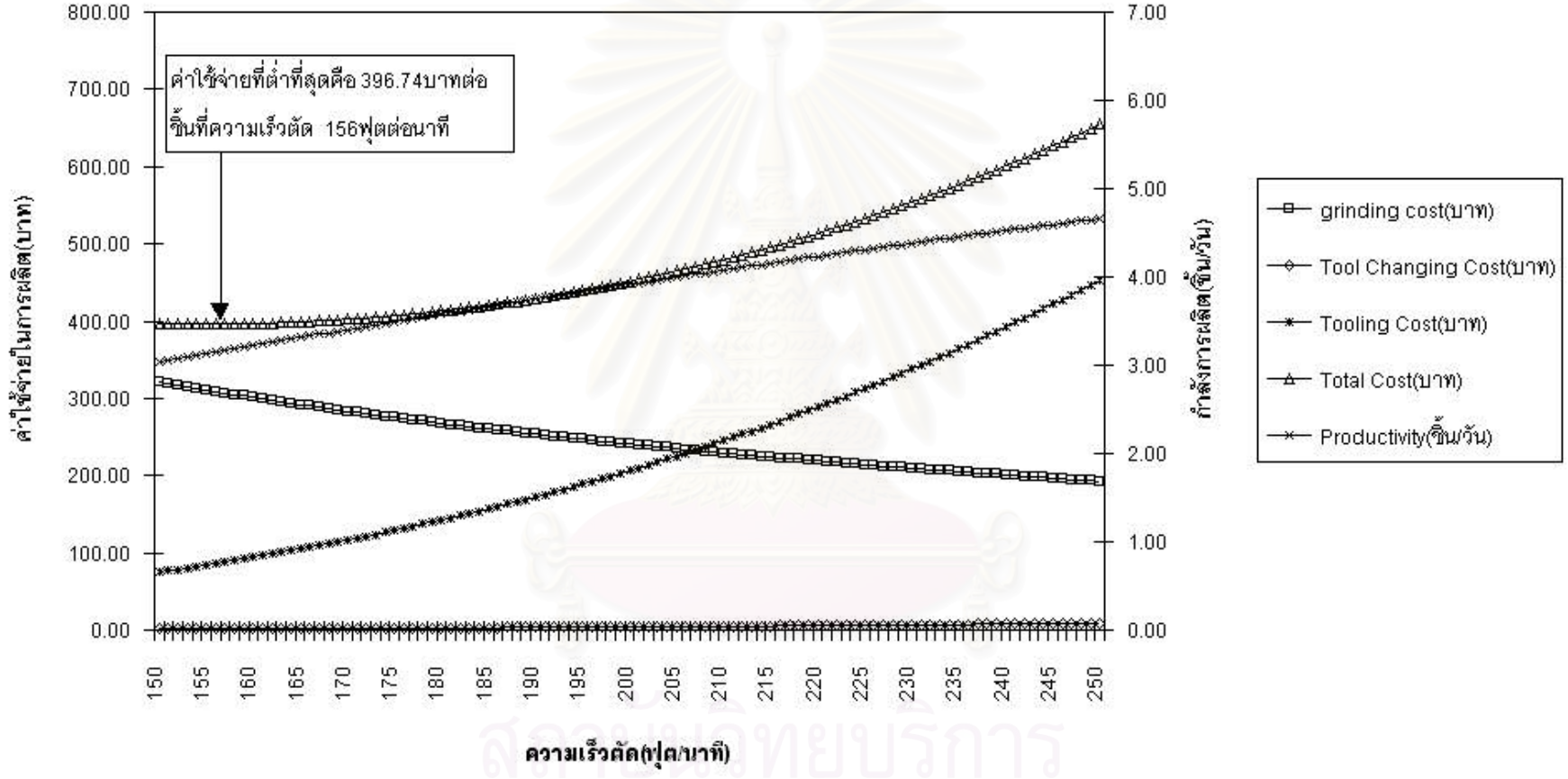
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed (ft/min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
221	70.000	218.05	5.91	293.31	517.27	4.25	2212.59
222	70.000	217.07	6.01	298.00	521.08	4.26	2167.91
223	70.000	216.10	6.10	302.75	524.95	4.28	2124.32
224	70.000	215.13	6.20	307.56	528.89	4.29	2081.8
225	70.000	214.18	6.30	312.42	532.89	4.31	2040.32
226	70.000	213.23	6.40	317.33	536.96	4.32	1999.84
227	70.000	212.29	6.50	322.30	541.09	4.34	1960.33
228	70.000	211.36	6.60	327.32	545.28	4.35	1921.78
229	70.000	210.43	6.70	332.40	549.54	4.37	1884.14
230	70.000	209.52	6.80	337.54	553.86	4.38	1847.41
231	70.000	208.61	6.91	342.73	558.25	4.40	1811.54
232	70.000	207.71	7.02	347.98	562.71	4.41	1776.52
233	70.000	206.82	7.12	353.29	567.23	4.43	1742.32
234	70.000	205.94	7.23	358.65	571.82	4.44	1708.93
235	70.000	205.06	7.34	364.08	576.48	4.45	1676.31
236	70.000	204.19	7.45	369.56	581.20	4.47	1644.45
237	70.000	203.33	7.56	375.10	585.99	4.48	1613.33
238	70.000	202.48	7.67	380.70	590.85	4.50	1582.92
239	70.000	201.63	7.79	386.35	595.77	4.51	1553.21
240	70.000	200.79	7.90	392.07	600.77	4.53	1524.18
241	70.000	199.96	8.02	397.85	605.83	4.54	1495.81
242	70.000	199.13	8.14	403.69	610.96	4.55	1468.08
243	70.000	198.31	8.26	409.59	616.16	4.57	1440.97
244	70.000	197.50	8.38	415.56	621.43	4.58	1414.48

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร
ที่เงื่อนไข f = 70 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed (ft/min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
245	70.000	196.69	8.50	421.58	626.77	4.59	1388.57
246	70.000	195.89	8.62	427.67	632.18	4.61	1363.25
247	70.000	195.10	8.75	433.81	637.66	4.62	1338.48
248	70.000	194.31	8.87	440.03	643.21	4.63	1314.27
249	70.000	193.53	9.00	446.30	648.83	4.65	1290.58
250	70.000	192.76	9.13	452.64	654.53	4.66	1267.42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f 70 d 0.002

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.002

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
150	90.000	249.87	1.24	61.65	312.77	3.83	12062.6
151	90.000	248.22	1.27	63.11	312.60	3.85	11705.8
152	90.000	246.58	1.30	64.59	312.48	3.88	11361.8
153	90.000	244.97	1.33	66.10	312.40	3.90	11030.1
154	90.000	243.38	1.36	67.63	312.38	3.92	10710.1
155	90.000	241.81	1.39	69.19	312.40	3.94	10401.3
156	90.000	240.26	1.43	70.77	312.46	3.97	10103.4
157	90.000	238.73	1.46	72.38	312.57	3.99	9815.85
158	90.000	237.22	1.49	74.02	312.73	4.01	9538.22
159	90.000	235.73	1.53	75.68	312.94	4.03	9270.11
160	90.000	234.26	1.56	77.37	313.18	4.05	9011.15
161	90.000	232.80	1.59	79.08	313.48	4.08	8760.97
162	90.000	231.36	1.63	80.83	313.82	4.10	8519.23
163	90.000	229.94	1.67	82.60	314.20	4.12	8285.58
164	90.000	228.54	1.70	84.39	314.64	4.14	8059.71
165	90.000	227.16	1.74	86.22	315.11	4.17	7841.31
166	90.000	225.79	1.78	88.07	315.63	4.19	7630.1
167	90.000	224.44	1.81	89.95	316.20	4.21	7425.79
168	90.000	223.10	1.85	91.86	316.81	4.23	7228.13
169	90.000	221.78	1.89	93.80	317.47	4.25	7036.85
170	90.000	220.48	1.93	95.77	318.17	4.27	6851.72
171	90.000	219.19	1.97	97.77	318.92	4.30	6672.51
172	90.000	217.91	2.01	99.79	319.72	4.32	6498.98

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
173	90.000	216.65	2.05	101.85	320.55	4.34	6330.94
174	90.000	215.41	2.10	103.94	321.44	4.36	6168.17
175	90.000	214.18	2.14	106.05	322.37	4.38	6010.49
176	90.000	212.96	2.18	108.20	323.34	4.40	5857.7
177	90.000	211.76	2.23	110.38	324.36	4.43	5709.62
178	90.000	210.57	2.27	112.59	325.43	4.45	5566.09
179	90.000	209.39	2.32	114.83	326.54	4.47	5426.95
180	90.000	208.23	2.36	117.10	327.69	4.49	5292.03
181	90.000	207.08	2.41	119.41	328.89	4.51	5161.18
182	90.000	205.94	2.45	121.75	330.14	4.53	5034.26
183	90.000	204.81	2.50	124.12	331.43	4.55	4911.14
184	90.000	203.70	2.55	126.52	332.77	4.57	4791.67
185	90.000	202.60	2.60	128.96	334.16	4.59	4675.73
186	90.000	201.51	2.65	131.43	335.59	4.61	4563.2
187	90.000	200.43	2.70	133.93	337.06	4.64	4453.96
188	90.000	199.37	2.75	136.47	338.59	4.66	4347.9
189	90.000	198.31	2.80	139.04	340.15	4.68	4244.9
190	90.000	197.27	2.86	141.65	341.77	4.70	4144.87
191	90.000	196.23	2.91	144.29	343.43	4.72	4047.7
192	90.000	195.21	2.96	146.96	345.14	4.74	3953.3
193	90.000	194.20	3.02	149.67	346.89	4.76	3861.58
194	90.000	193.20	3.07	152.42	348.69	4.78	3772.44
195	90.000	192.21	3.13	155.20	350.54	4.80	3685.8
196	90.000	191.23	3.19	158.02	352.44	4.82	3601.58

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
197	90.000	190.26	3.24	160.88	354.38	4.84	3519.7
198	90.000	189.30	3.30	163.77	356.37	4.86	3440.08
199	90.000	188.35	3.36	166.70	358.41	4.88	3362.65
200	90.000	187.40	3.42	169.67	360.49	4.90	3287.34
201	90.000	186.47	3.48	172.67	362.62	4.92	3214.07
202	90.000	185.55	3.54	175.71	364.80	4.94	3142.79
203	90.000	184.63	3.60	178.79	367.03	4.96	3073.43
204	90.000	183.73	3.67	181.91	369.31	4.98	3005.94
205	90.000	182.83	3.73	185.07	371.63	5.00	2940.24
206	90.000	181.95	3.80	188.27	374.01	5.02	2876.29
207	90.000	181.07	3.86	191.50	376.43	5.04	2814.03
208	90.000	180.20	3.93	194.78	378.90	5.06	2753.41
209	90.000	179.33	3.99	198.09	381.42	5.08	2694.37
210	90.000	178.48	4.06	201.45	383.99	5.09	2636.88
211	90.000	177.63	4.13	204.84	386.61	5.11	2580.87
212	90.000	176.80	4.20	208.28	389.27	5.13	2526.31
213	90.000	175.97	4.27	211.76	391.99	5.15	2473.15
214	90.000	175.14	4.34	215.28	394.76	5.17	2421.36
215	90.000	174.33	4.41	218.84	397.58	5.19	2370.88
216	90.000	173.52	4.48	222.44	400.45	5.21	2321.68
217	90.000	172.72	4.56	226.09	403.37	5.23	2273.72
218	90.000	171.93	4.63	229.77	406.34	5.25	2226.97
219	90.000	171.15	4.71	233.50	409.36	5.26	2181.38
220	90.000	170.37	4.78	237.28	412.43	5.28	2136.93

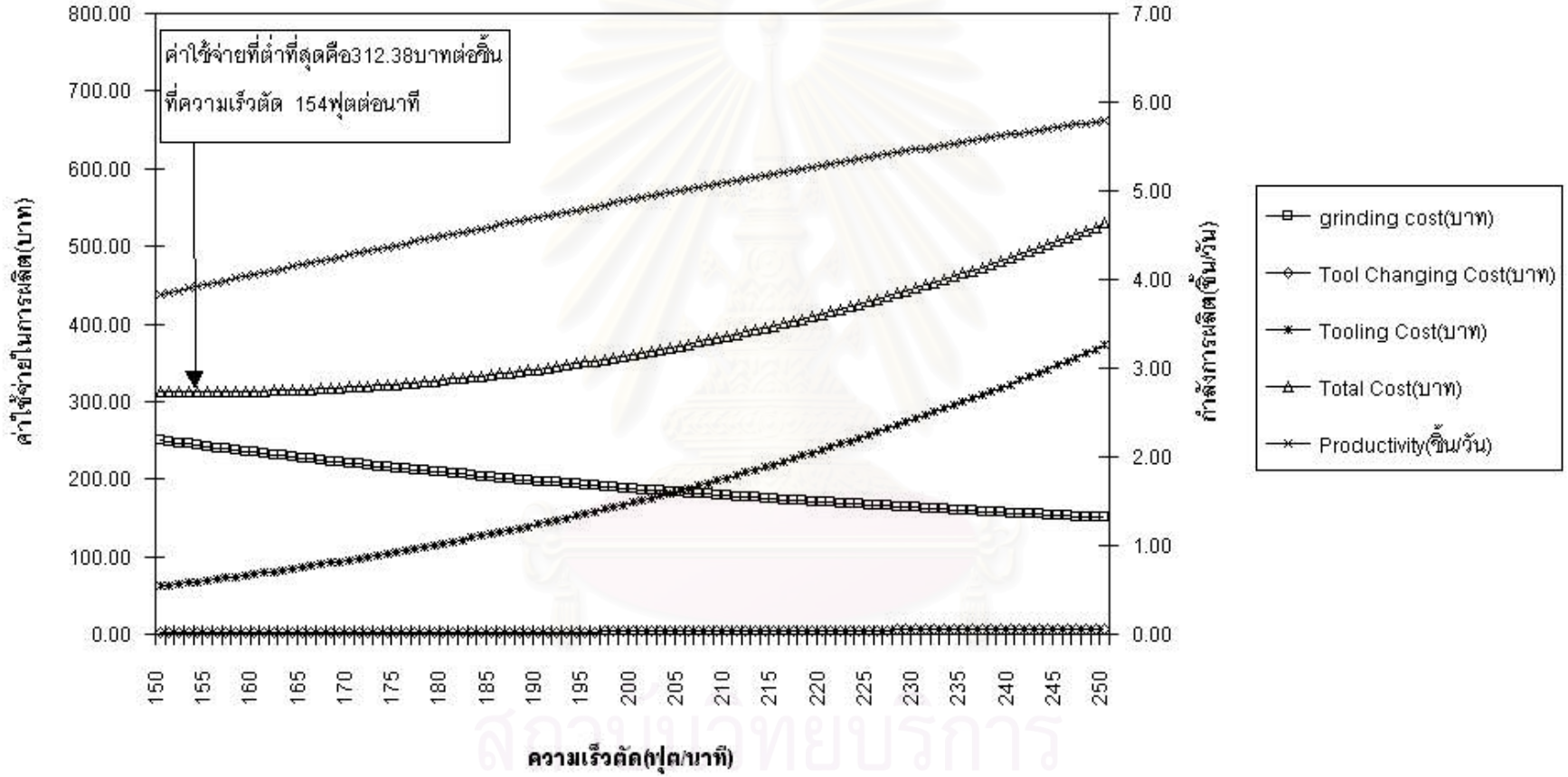
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
221	90.000	169.60	4.86	241.09	415.55	5.30	2093.58
222	90.000	168.83	4.94	244.96	418.73	5.32	2051.3
223	90.000	168.08	5.02	248.86	421.95	5.34	2010.06
224	90.000	167.33	5.10	252.81	425.23	5.36	1969.83
225	90.000	166.58	5.18	256.80	428.56	5.37	1930.57
226	90.000	165.84	5.26	260.84	431.95	5.39	1892.27
227	90.000	165.11	5.34	264.93	435.38	5.41	1854.89
228	90.000	164.39	5.42	269.06	438.87	5.43	1818.41
229	90.000	163.67	5.51	273.23	442.41	5.45	1782.8
230	90.000	162.96	5.59	277.45	446.01	5.46	1748.04
231	90.000	162.25	5.68	281.72	449.66	5.48	1714.1
232	90.000	161.56	5.77	286.04	453.36	5.50	1680.96
233	90.000	160.86	5.85	290.40	457.12	5.51	1648.61
234	90.000	160.17	5.94	294.81	460.93	5.53	1617.01
235	90.000	159.49	6.03	299.27	464.79	5.55	1586.14
236	90.000	158.82	6.12	303.77	468.71	5.57	1556
237	90.000	158.15	6.22	308.33	472.69	5.58	1526.55
238	90.000	157.48	6.31	312.93	476.72	5.60	1497.78
239	90.000	156.82	6.40	317.58	480.81	5.62	1469.67
240	90.000	156.17	6.50	322.28	484.95	5.63	1442.19
241	90.000	155.52	6.59	327.03	489.15	5.65	1415.35
242	90.000	154.88	6.69	331.83	493.40	5.67	1389.11
243	90.000	154.24	6.79	336.68	497.71	5.68	1363.46
244	90.000	153.61	6.89	341.58	502.08	5.70	1338.39

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 90 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
245	90.000	152.98	6.99	346.53	506.50	5.72	1313.88
246	90.000	152.36	7.09	351.54	510.99	5.73	1289.92
247	90.000	151.74	7.19	356.59	515.53	5.75	1266.49
248	90.000	151.13	7.29	361.70	520.12	5.76	1243.57
249	90.000	150.53	7.40	366.86	524.78	5.78	1221.16
250	90.000	149.92	7.50	372.07	529.49	5.80	1199.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f 90 d 0.002

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียรที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.002

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
150	110.000	204.44	1.06	52.72	258.22	4.59	11541.7
151	110.000	203.09	1.09	53.97	258.14	4.61	11200.3
152	110.000	201.75	1.11	55.23	258.10	4.64	10871.1
153	110.000	200.43	1.14	56.52	258.09	4.67	10553.7
154	110.000	199.13	1.17	57.83	258.13	4.69	10247.5
155	110.000	197.85	1.19	59.17	258.20	4.72	9952.14
156	110.000	196.58	1.22	60.52	258.32	4.75	9667.08
157	110.000	195.33	1.25	61.90	258.47	4.77	9391.93
158	110.000	194.09	1.28	63.29	258.66	4.80	9126.29
159	110.000	192.87	1.30	64.72	258.89	4.82	8869.76
160	110.000	191.66	1.33	66.16	259.16	4.85	8621.99
161	110.000	190.47	1.36	67.63	259.46	4.88	8382.61
162	110.000	189.30	1.39	69.12	259.81	4.90	8151.31
163	110.000	188.14	1.42	70.63	260.19	4.93	7927.75
164	110.000	186.99	1.45	72.17	260.61	4.95	7711.63
165	110.000	185.86	1.49	73.73	261.07	4.98	7502.67
166	110.000	184.74	1.52	75.31	261.56	5.01	7300.57
167	110.000	183.63	1.55	76.92	262.10	5.03	7105.09
168	110.000	182.54	1.58	78.55	262.67	5.06	6915.97
169	110.000	181.46	1.62	80.21	263.28	5.08	6732.95
170	110.000	180.39	1.65	81.89	263.93	5.11	6555.82
171	110.000	179.33	1.69	83.60	264.62	5.13	6384.34
172	110.000	178.29	1.72	85.33	265.34	5.16	6218.31

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
173	110.000	177.26	1.76	87.09	266.11	5.18	6057.52
174	110.000	176.24	1.79	88.88	266.91	5.21	5901.79
175	110.000	175.23	1.83	90.69	267.75	5.23	5750.91
176	110.000	174.24	1.87	92.52	268.63	5.26	5604.72
177	110.000	173.25	1.90	94.39	269.54	5.28	5463.04
178	110.000	172.28	1.94	96.28	270.50	5.31	5325.71
179	110.000	171.32	1.98	98.19	271.49	5.33	5192.57
180	110.000	170.37	2.02	100.14	272.52	5.36	5063.48
181	110.000	169.43	2.06	102.11	273.59	5.38	4938.28
182	110.000	168.50	2.10	104.11	274.70	5.41	4816.85
183	110.000	167.57	2.14	106.14	275.85	5.43	4699.04
184	110.000	166.66	2.18	108.19	277.03	5.45	4584.73
185	110.000	165.76	2.22	110.27	278.26	5.48	4473.8
186	110.000	164.87	2.27	112.39	279.52	5.50	4366.13
187	110.000	163.99	2.31	114.53	280.82	5.53	4261.61
188	110.000	163.12	2.35	116.70	282.17	5.55	4160.12
189	110.000	162.25	2.40	118.89	283.55	5.57	4061.58
190	110.000	161.40	2.44	121.12	284.97	5.60	3965.87
191	110.000	160.56	2.49	123.38	286.42	5.62	3872.89
192	110.000	159.72	2.53	125.67	287.92	5.65	3782.57
193	110.000	158.89	2.58	127.99	289.46	5.67	3694.81
194	110.000	158.07	2.63	130.34	291.04	5.69	3609.52
195	110.000	157.26	2.68	132.72	292.65	5.72	3526.62
196	110.000	156.46	2.72	135.13	294.31	5.74	3446.04

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
197	110.000	155.67	2.77	137.57	296.01	5.76	3367.69
198	110.000	154.88	2.82	140.04	297.74	5.79	3291.51
199	110.000	154.10	2.87	142.55	299.52	5.81	3217.43
200	110.000	153.33	2.92	145.08	301.34	5.83	3145.36
201	110.000	152.57	2.98	147.65	303.20	5.86	3075.26
202	110.000	151.81	3.03	150.25	305.10	5.88	3007.06
203	110.000	151.06	3.08	152.89	307.03	5.90	2940.7
204	110.000	150.32	3.14	155.55	309.01	5.92	2876.12
205	110.000	149.59	3.19	158.25	311.04	5.95	2813.26
206	110.000	148.86	3.25	160.99	313.10	5.97	2752.07
207	110.000	148.15	3.30	163.75	315.20	5.99	2692.5
208	110.000	147.43	3.36	166.56	317.35	6.01	2634.49
209	110.000	146.73	3.41	169.39	319.53	6.04	2578.01
210	110.000	146.03	3.47	172.26	321.76	6.06	2523
211	110.000	145.34	3.53	175.16	324.03	6.08	2469.41
212	110.000	144.65	3.59	178.10	326.34	6.10	2417.21
213	110.000	143.97	3.65	181.08	328.70	6.12	2366.35
214	110.000	143.30	3.71	184.09	331.10	6.15	2316.78
215	110.000	142.63	3.77	187.13	333.54	6.17	2268.49
216	110.000	141.97	3.83	190.21	336.02	6.19	2221.41
217	110.000	141.32	3.90	193.33	338.54	6.21	2175.52
218	110.000	140.67	3.96	196.48	341.11	6.23	2130.79
219	110.000	140.03	4.03	199.67	343.73	6.25	2087.17
220	110.000	139.39	4.09	202.90	346.38	6.27	2044.64

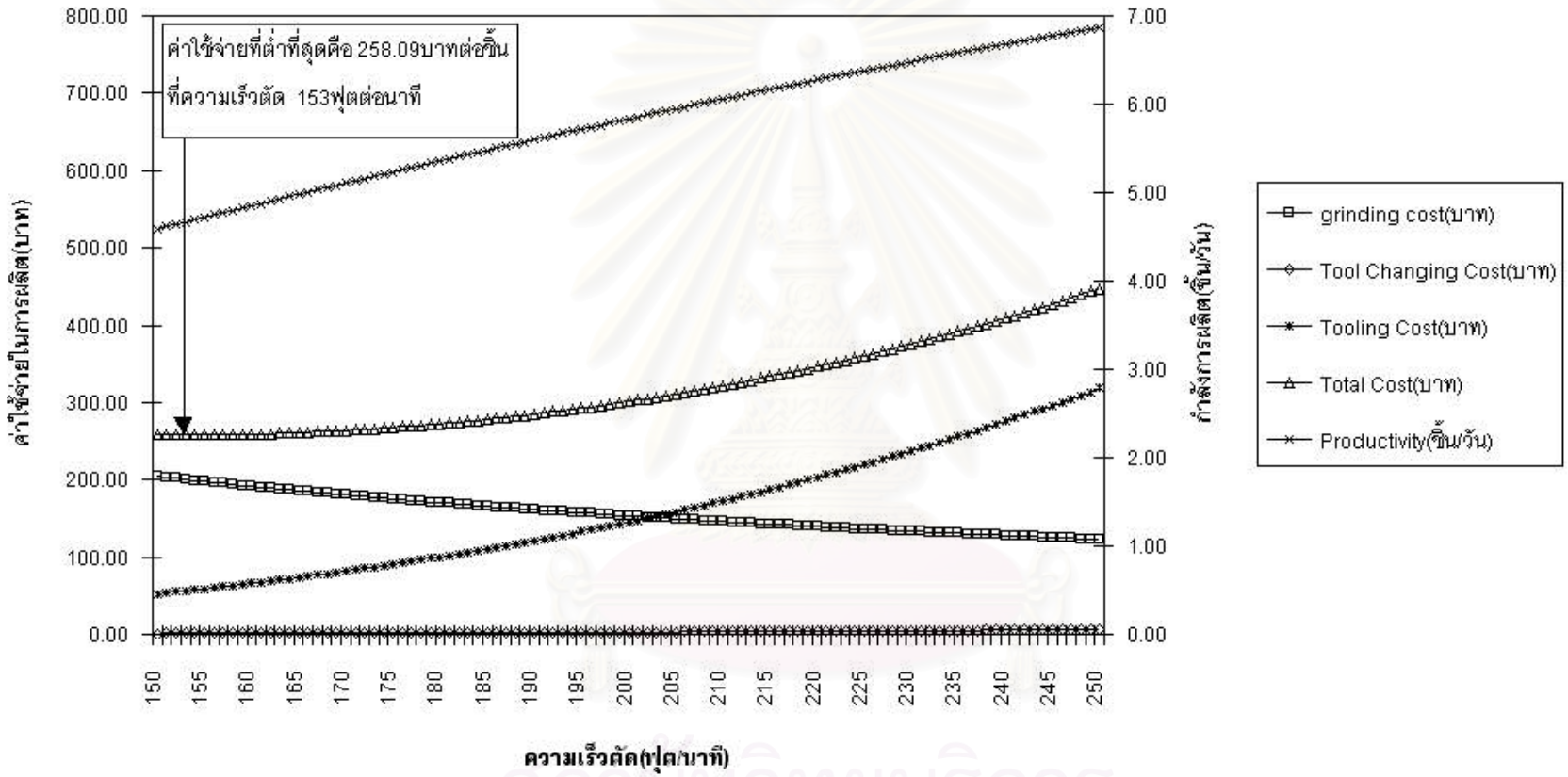
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
221	110.000	138.76	4.16	206.16	349.08	6.30	2003.17
222	110.000	138.14	4.22	209.46	351.82	6.32	1962.71
223	110.000	137.52	4.29	212.80	354.61	6.34	1923.25
224	110.000	136.90	4.36	216.18	357.44	6.36	1884.75
225	110.000	136.29	4.43	219.60	360.32	6.38	1847.19
226	110.000	135.69	4.50	223.05	363.24	6.40	1810.55
227	110.000	135.09	4.57	226.54	366.20	6.42	1774.78
228	110.000	134.50	4.64	230.07	369.21	6.44	1739.87
229	110.000	133.91	4.71	233.64	372.27	6.46	1705.8
230	110.000	133.33	4.78	237.25	375.37	6.48	1672.54
231	110.000	132.75	4.86	240.90	378.51	6.50	1640.07
232	110.000	132.18	4.93	244.59	381.71	6.52	1608.37
233	110.000	131.61	5.01	248.32	384.94	6.54	1577.41
234	110.000	131.05	5.08	252.10	388.23	6.56	1547.17
235	110.000	130.49	5.16	255.91	391.56	6.58	1517.64
236	110.000	129.94	5.24	259.76	394.94	6.60	1488.8
237	110.000	129.39	5.32	263.65	398.36	6.62	1460.62
238	110.000	128.85	5.39	267.59	401.83	6.64	1433.09
239	110.000	128.31	5.47	271.57	405.35	6.66	1406.19
240	110.000	127.78	5.56	275.59	408.92	6.68	1379.91
241	110.000	127.25	5.64	279.65	412.53	6.70	1354.22
242	110.000	126.72	5.72	283.75	416.19	6.71	1329.12
243	110.000	126.20	5.80	287.90	419.90	6.73	1304.58
244	110.000	125.68	5.89	292.09	423.66	6.75	1280.59

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ที่เงื่อนไข f = 110 d = 0.002(ต่อ)

Roll Speed(ft /min)	Feed Rate(in/ min)	grinding cost (บาท)	Tool Changing Cost(บาท)	Tooling Cost (บาท)	Total Cost (บาท)	Productivity (ชิ้น/วัน)	Tool Life (นาที)
245	110.000	125.17	5.97	296.33	427.47	6.77	1257.14
246	110.000	124.66	6.06	300.60	431.32	6.79	1234.21
247	110.000	124.15	6.15	304.93	435.23	6.81	1211.79
248	110.000	123.65	6.24	309.29	439.18	6.82	1189.87
249	110.000	123.16	6.32	313.70	443.18	6.84	1168.42
250	110.000	122.66	6.41	318.16	447.24	6.86	1147.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เงื่อนไข f 110 d 0.002

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.กรณีต้องการค่าใช้จ่ายต่ำสุด

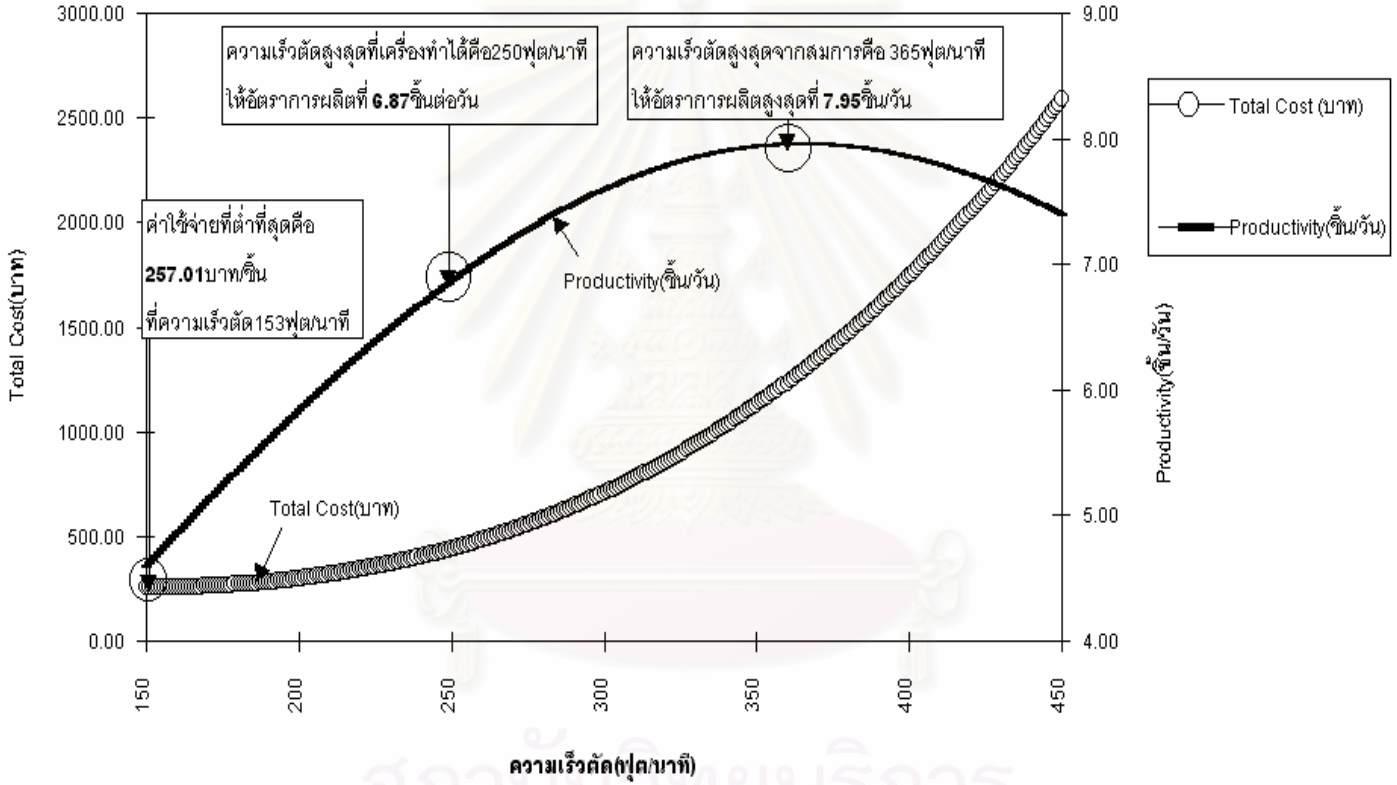
ปัจจัย	หน่วย	1	2	3	4	5	6
f	นิ้ว/นาที	70	90	110	70	90	110
d	นิ้ว	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
k		14641.5	14463.4	14322.8	14580.1	14402.8	14262.8
n		0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221
Vmin cost คำนวณ	นิ้ว/นาที	156.64	154.73	153.23	155.98	154.08	152.58
Vmin cost ทดลอง	นิ้ว/นาที	157	155	153	156	154	153
Tool Life	นาที	10572.8	10600.8	10756.1	10677.8	10710.1	10553.7
Unit Cost	บาท/ชิ้น	395.08	311.07	257.01	396.74	312.38	258.09
Production Rate	ชิ้น/วัน	3.17	3.94	4.67	3.15	3.92	4.67

2. กรณีต้องการกำลังการผลิตสูงสุด

ปัจจัย	หน่วย	1	2	3	4	5	6
f	นิ้ว/นาที	70	90	110	70	90	110
d	นิ้ว	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
k		14641.5	14463.4	14322.8	14580.1	14402.8	14262.8
n		0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221
Vmax prod คำนวณ	นิ้ว/นาที	373.25	368.72	365.13	371.69	367.17	363.6
Vmax prod ทดลอง	นิ้ว/นาที	เครื่องจักรไม่มีความสามารถเพียงพอที่จะทำการทดลอง					
Tool Life	นาที	211.15	211.13	211.14	211.14	211.14	211.14
Unit Cost	บาท/ชิ้น	1985.59	1563.48	1291.71	1994.05	1570.02	1297.16
Production Rate	ชิ้น/วัน	5.54	6.8	7.95	5.52	6.77	7.93

ตารางที่ 4.12 แสดงความเร็วตัด และอัตราการผลิตของการใช้งานหินเจียรสำหรับกรณีต้องการค่าใช้จ่ายต่ำสุดและกรณีต้องการกำลังการผลิตสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดที่เงื่อนไข f =110 ,d =0.001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการใช้งานหินเจียรนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานหินเจียรคือ ความเร็วตัด(v) อัตราการป้อน(f) ความลึกในการตัด(d) แต่ปัจจัยทั้ง 3 ไม่ได้มีผลกระทบต่อการใช้งานของหินเจียรในอัตราส่วนที่เท่ากัน ตามแต่ชนิดของหินเจียร และจากปัจจัยทั้ง 3 ที่เกิดขึ้นกับหินเจียร จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิต อัตราการผลิต อายุการใช้งานของหินเจียร ซึ่งผลที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

5.1 กรณีเงื่อนไขการผลิตที่ปกติ

1. ผลกระทบของความเร็วตัด ความลึกในการตัด และอัตราการป้อนที่มีต่อค่าใช้จ่ายในการผลิต เงื่อนไขการผลิตที่ปกติหมายถึง การผลิตที่ปกติไม่เร่งกำลังการผลิต จะทำการผลิตที่ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่า ณ. ที่ความลึกในการตัดเท่ากันคือ 0.001นิ้ว อัตราในการป้อนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดคือ 110 นิ้วต่อนาทีและที่ความลึกในการตัด 0.002 นิ้วต่อนาทีอัตราการป้อนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดคือ 110 นิ้วต่อนาทีเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามความลึกในการตัดทั้ง 2 คือ0.001 และ0.002 นิ้ว จะต้องนำอัตราการป้อนที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกันอีก ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าที่ความลึกในการตัด 0.001นิ้ว และที่อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาทีจะให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด คือ 257.01 บาทต่อชิ้นจากจุดนี้จะเห็นได้ว่า เงื่อนไขการผลิตที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 6 เงื่อนไข จะมีความเร็วตัดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดที่แตกต่างกันไม่มากนักซึ่งชี้ให้เห็นว่า ในบางครั้งการปรับเงื่อนไขของการเจียรสามารถที่จะปรับได้ทั้ง3 ปัจจัย คือความเร็วตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด ซึ่งในการปฏิบัติงานในปัจจุบันมักจะทำการปรับเฉพาะ ความเร็วตัดเท่านั้น ซึ่งบางครั้งจะทำให้ความเร็วตัดสูงมากซึ่งจะเป็นอันตรายต่อการทำงานได้ และข้อดีอย่างหนึ่งของการใช้ความเร็วตัดไม่สูงมากนักจะทำให้รอบในการหมุนมอเตอร์ต่ำซึ่งจะทำให้เครื่องจักรมีเงื่อนไขการทำงานที่ไม่หนักมาก เช่น การสั่นสะเทือน การสึกหรอของเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะน้อย และปริมาณไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องใช้ในการหมุนจะน้อยลงไปด้วยซึ่งจะทำให้ค่าไฟฟ้าในการผลิตลดน้อยลง

2. สำหรับเงื่อนไขการเจียรงานปัจจุบันในปัจจุบันกับเงื่อนไขในการเจียรงานที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันเงื่อนไขในการเจียรงานอยู่ที่ ความเร็วตัด 200 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 90 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.002นิ้วแต่เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเจียรงานกรณีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดอยู่ที่ความเร็วตัด 153 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความ

ลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ฉะนั้นเมื่อทำการปรับเงื่อนไขในการเจียรใหม่ให้มีความเหมาะสม จะทำให้ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเจียรงานด้วย

3. ความแตกต่างของเงื่อนไขในการเจียรที่โดยเฉพาะความเร็วตัดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรต่ำที่สุดที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการคำนวณจากสูตรจะมีความแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องมาจากในการทดลองจะเปลี่ยนแปลงความเร็วตัดครั้งละ 1 ฟุตต่อนาทีแต่ในการคำนวณค่าความเร็วตัดที่คำนวณได้จะออกมาเป็นจุดทศนิยม แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างค่อนข้างน้อยจึงไม่มีผลต่อการนำไปใช้งานจริง

5.2 กรณีเงื่อนไขการผลิตที่เร่งอัตราการผลิต

1. ผลกระทบของความเร็วตัด ความลึกในการตัดและอัตราการป้อนที่มีต่ออัตราการผลิต เงื่อนไขการผลิตที่เร่งอัตราการผลิตหมายถึง เงื่อนไขในการผลิตที่ให้อัตราการผลิตที่สูงที่สุด ซึ่งจากการคำนวณจะเห็นได้ว่า ที่ความลึกในการตัดเท่ากันคือ 0.001 นิ้วอัตราการป้อนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดคือ 110 นิ้วต่อนาที และที่ความลึกในการตัด 0.002 นิ้วอัตราการป้อนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดคือ 110 นิ้วต่อนาทีเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามระหว่างความลึกในการตัดทั้ง 2 คือ 0.001และ 0.002 นิ้วจะต้องนำอัตราการป้อนที่ดีที่สุดมาทำการเปรียบเทียบกันซึ่งผลการ

เปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าที่ความลึกในการตัด 0.001 นิ้วและที่อัตราการป้อน 110 ฟุตต่อนาทีจะให้อัตราการผลิตมากที่สุดคือ 7.95 ชิ้นต่อวัน

2.ในสภาพการผลิตในปัจจุบันในบางช่วงเวลาของการผลิตมีความต้องการกำลังการผลิตที่สูงเนื่องจากความต้องการของลูกค้า ก็จะไม่มีการปรับเงื่อนไขในการผลิตของเครื่องจักรแต่อย่างไรยังคงใช้เงื่อนไขการผลิตเดิมคือความเร็วตัด 200 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 90 นิ้วต่อนาที และความลึกในการตัด 0.002 นิ้วทำให้ไม่ทันต่อการผลิตและเกิด Delayต่อสายการผลิตต่อไปได้ รวมถึงทำให้ไม่มีเวลาหยุดเครื่องในการบำรุงรักษาแต่อย่างไรก็ตามเงื่อนไขการเจียรที่ได้จากการคำนวณที่ให้อัตราการผลิตที่สูงที่สุดนั้นมีความเร็วตัดเท่ากับ 365.13 ฟุตต่อนาทีซึ่งเป็นความเร็วตัดที่สูงมากซึ่งในระหว่างการทดลองได้พยายามที่จะทำแต่เครื่องจักรไม่มีความสามารถที่เพียงพอเนื่องจากเมื่อปรับความเร็วตัดเพิ่มขึ้นเกินกว่า 250 ฟุตต่อนาทีแล้วเครื่องจะเริ่มสั่นสะเทือนทำให้ผิวชิ้นงานที่เจียรเป็นคลื่นตามไปด้วยและอีกประการหนึ่งผู้ปฏิบัติงานเกรงว่าจะเกิดอันตรายได้หรืออาจทำให้เครื่องจักรชำรุดเสียหายดังนั้นในทุกเงื่อนไขในการผลิตถ้าต้องการเร่งกำลังการผลิตจะสามารถทำการปรับความเร็วตัดได้มากที่สุดเพียง 250 ฟุตต่อนาทีเท่านั้นซึ่งจากผลการทดลองจะให้อัตราการผลิตสูงสุดที่ 6.87 ชิ้นต่อวัน

5.3 การเลือกเงื่อนไขในการทดลอง

5.3.1 การเลือกเงื่อนไขในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการทดลองทุกเงื่อนไขการเจียรทุกรูปแบบของการทดลองที่เป็นไปได้แต่ทำการทดลองในเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบัน สำหรับสาเหตุที่ไม่ได้ทำการทดลองทุกรูปแบบเพราะมีความจำกัดในเรื่องของเวลาว่างของเครื่องจักรที่จะสามารถทำการทดลองได้ จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลองซึ่งต้องใช้ในการทดลองจำนวนมาก เป็นต้น

5.3.2 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ถ้าสามาถทำการผลิตที่เงื่อนไขค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดจะทำให้กำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ แต่อย่างไรก็ตามการผลิตที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำย่อมเป็นสิ่งที่ต้องการของผู้ประกอบการ ฉะนั้นปัญหาเรื่องกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอในบางช่วงของการผลิตซึ่งจะต้องแก้ไขที่การจัดการด้านการวางแผนการผลิตให้สามารถทำการผลิตที่เงื่อนไขค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุดได้

5.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจียร

ในการทดลองนี้การคำนวณต้นทุนในการเจียรชิ้นงานต่อชิ้นจะคำนวณเฉพาะค่าแรงทางตรงกับราคาหินเจียรเท่านั้น ซึ่งต้นทุนรวมจริงๆต่อชิ้นจะมากกว่านี้ส่วนค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้นำมาพิจารณาสามารถแยกออกเป็น 2ส่วนคือ

5.4.1 Direct Cost เป็นค่าใช้จ่ายทางตรงที่เกี่ยวข้องได้แก่ ค่าไฟฟ้า ,ค่ากระดาษกรองของระบบน้ำหล่อเย็น, น้ำมันหล่อเย็น,ค่าอุปกรณ์ปรับแต่งหน้าหินเจียร เป็นต้น

5.4.2 Indirect Cost เป็นค่าใช้จ่ายทางอ้อม ได้แก่ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาจุดที่เหมาะสมของการเจียรไนลูกรีดเหล็กหล่อผิวแข็งด้วยหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์ที่เงื่อนไขการเจียรต่างๆซึ่งจะทำให้ได้รูปแบบของอายุการใช้งานของหินเจียรเป็นสมการทางคณิตศาสตร์(Mathamatic Model)และต้นทุนในการเจียรไนที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

1. ในการทดลองจะได้รูปแบบของอายุการใช้งานของหินเจียรเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ คือ $VT^{0.221}f^{0.0487}d^{0.0061} = 17267.15$ จากรูปแบบของสมการอายุการใช้งานของหินเจียรจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของปัจจัยที่ผลต่ออายุการใช้งานของหินเจียรเรียงลำดับตามความสำคัญดังต่อไปนี้ คือ ความเร็วตัด อัตราการป้อนและความลึกในการตัด

2. เงื่อนไขที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจียรต่ำที่สุดคือ เงื่อนไข ที่ความเร็วตัด 153 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที และ ความลึกในการเจียร 0.001 นิ้วซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมคือ 257.01 บาทต่อชิ้นที่มีตราการผลิต 4.67 ชิ้นต่อวัน

3. เมื่อพิจารณากำลังการผลิตจะพบว่าเงื่อนไขที่ทำให้อัตราการผลิตสูงที่สุดคือเงื่อนไข ที่ความเร็วตัด 365.13 ฟุตต่อนาทีอัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที และ ความลึกในการเจียร 0.001 นิ้วซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมคือ 1,291.7 บาทต่อชิ้นที่มีอัตราการผลิต 7.95 ชิ้นต่อวัน

4. เงื่อนไขที่ให้อัตราการผลิตสูงสุดตามสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์เจียรในโรงงาน คือ เงื่อนไข ที่ความเร็วตัด 250 ฟุตต่อนาทีอัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที และ ความลึกในการเจียร 0.001 นิ้วซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมคือ 441.13 บาทต่อชิ้นที่มีอัตราการผลิต 6.87 ชิ้นต่อวัน

5. เงื่อนไขที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือที่ ความเร็วตัด 200 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 90 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.002นิ้ว ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมคือ 360.49 บาทต่อชิ้นแต่เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเจียรงานกรณีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดอยู่ที่ความเร็วตัด 153 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมคือ 257.01 บาทต่อชิ้นฉะนั้นเมื่อทำการปรับเงื่อนไขในการเจียรใหม่ให้มีความเหมาะสม จะทำให้ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเจียรงานเท่ากับ 103.48 บาทต่อชิ้น

6.เงื่อนไขที่ให้อัตราการผลิตสูงสุดตามสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์เจียรในโรงงานคือ ความเร็วตัด 250 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001นิ้ว ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมคือ 441.13 บาทต่อชิ้นและให้อัตราการผลิต 6.87 ชิ้นต่อวันแต่เงื่อนไขที่

เหมาะสมในการเจียรงานกรณีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดอยู่ที่ความเร็วตัด 153 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมคือ 257.01 บาทต่อชิ้นและให้อัตราการผลิต 4.67 ชิ้นต่อวันฉะนั้นจากเงื่อนไขค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเมื่อต้องการปรับอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อุปกรณ์เจียรของโรงงานทำได้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ 184.12 บาทต่อชิ้นแต่จะให้อัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น จากเดิม 2.2 ชิ้นต่อวัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในกระบวนการตัดปาดผิวโลหะไม่ว่าจะเป็นการกลึง การไส การกัดและการเจียรไนเป็นกระบวนการที่จำเป็นอย่างยิ่งในอุสาหกรรมการผลิตซึ่งการเจียรไนเป็นกระบวนการตัดปาดผิวที่ให้ความละเอียดของผิวชิ้นงานและให้ขนาดของชิ้นงานที่แม่นยำสูงมากแต่ปัจจุบันในประเทศไทยยังขาดการศึกษาการทดลองอยู่มาก อาจด้วยเหตุผลที่ว่าต้นทุนในการศึกษาทดลองค่อนข้างสูงแต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันในโลกอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันสูงทั้งด้านราคาและคุณภาพสินค้าดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพยายามลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำที่สุดเพื่อให้สามรถแข่งขันกับตลาดได้ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาเทคโลยีทางด้านการเจียรไนจึงจำเป็นอย่างยิ่ง

2. เนื่องจากการเจียรไนเป็นงานที่มีความละเอียดอย่างมากดังนั้นเครื่องจักรที่ใช้งานหรือนำมาทำการทดลองจะต้องมีประสิทธิภาพสูงการปรับค่าต่างๆต้องละเอียดและแม่นยำซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะให้ผลการทดลองและการวิเคราะห์ได้ถูกต้องดังนั้นการทดลองไม่ควรทดลองกับเครื่องที่มีความสามารถต่ำซึ่งจะให้ผลการทดลองที่ผิดพลาดได้

3. เนื่องจากในการทดลองเป็นการเจียรไนผิวภายนอกทรงกระบอกซึ่งจะเห็นได้ว่าความเร็วตัดมีผลอย่างมากต่อค่าใช้จ่ายและอัตราการผลิตที่สูงขึ้นหรือต่ำลงดังนั้นควรทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของความเร็วตัดของชิ้นงานและความเร็วตัดหินเจียรเพิ่มเติมจากผลการทดลองในครั้งนี้เพื่อให้ได้ความเร็วตัดที่เหมาะสมที่มีต้นทุนต่ำที่สุดและการผลิตที่สูงที่สุดต่อไปซึ่งในการทดลองนี้ไม่สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง

4. ในการวิจัยที่มีความละเอียดจะต้องควบคุมคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานที่นำมาทำการทดลองจะต้องมีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกชิ้นงานเพื่อให้ผลการทดลองถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.ปริมาณน้ำหล่อเย็นชิ้นงานในขณะทำการเจียรเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานดังนั้นต้องคอยตรวจสอบให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งานและระบบการกรองของน้ำต้องมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่เสมอ

6. ในงานที่ต้องการคุณภาพของผิวชิ้นงานมากๆจำเป็นต้องมีเครื่องมือวัดความหยาบผิวซึ่งจะทำให้ง่ายในการแบ่งแยกคุณภาพผิวในการเจียรได้

7. การเจียรไนผิวภายนอกทรงกระบอกความละเอียดในการปรับตั้งแนวชิ้นงานให้ได้แนวกับตัวเครื่องจักรก่อนทำการเจียรเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ขนาดของชิ้นงานที่เจียรได้อยู่ในช่วงที่กำหนดตลอดชิ้นงานได้ง่าย

8. ผู้ปฏิบัติงานเจียรจะต้องมีทักษะและความละเอียดโดยเฉพาะต้องเป็นคนช่างสังเกตุเพราะการปฏิบัติงานเจียรสิ่งที่จะต้องสังเกตุคือ การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรขณะเจียร ประกายไฟที่เกิดจากการเจียร ปริมาณน้ำหล่อเย็น การเกิดเสียงดังสะท้านผิดปกติของหินเจียร ค่าของกระแสจาก แอมป์มิเตอร์ซึ่งแสดงความผิดปกติของมอเตอร์ รวมถึงสังเกตุคุณภาพผิวที่เจียรได้ ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้มีผลทางอ้อมที่จะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและอายุการใช้งานของหินเจียร

9. สิ่งที่จะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้คือการลืมปรับหน้าหินเจียรให้สมดุลย์ก่อนเจียรเนื่องจากหินเจียรที่ผลิตมาจากโรงงานผู้ผลิตอาจไม่ได้ปรับแต่งสมดุลย์มารวมถึงความละเอียดในการประกอบหินเจียรเข้าใช้งานหินเจียรอาจไม่สมดุลย์และทำให้หินเจียรแกว่งเมื่อทำการเจียรอาจทำให้หินเจียรแตกได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา วานิชย์บัญชา .2545.การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล ,กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี เค แอนด์ เอสโฟโต้สตูดิโอ.

นิธิ บุรณจันทร์ .2527. การกำหนดสภาวะการตัดที่ให้ผลดีที่สุดในกระบวนการกลึงทรงกระบอก ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง .2537. การศึกษาความสัมพันธ์ของส่วนโค้งปลายมีด ความลึกในการตัด และ อัตราการเดินมีดที่มีผลต่อความเรียบผิว, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภูวดล วงศ์สร้างทรัพย์ .2541.การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเจียรเหล็กหล่อสีเทาด้วยหินเจียรซิลิกอนคาร์ไบด์และคิวบิกโบรอนไนไทรด์ , วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มานพ ตันตระบัณฑิตย์ และ พรพิจิตร ประทุมทอง.2533.กรรมวิธีการผลิต : สมาคมเทคโนโลยี-ไทยญี่ปุ่น.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. และ จันทนา จันทโร .2536. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม,กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ . 2541.อิทธิพลของความเร็วตัดที่มีต่ออายุของมีดตัดคาร์ไบด์สำหรับชิ้นส่วนของปั๊มน้ำรถยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรสิทธิ ทองทวีชัยกิจ .2542. การศึกษาหาอิทธิพลของสภาวะการตัดในแต่ละขั้นตอนย่อยสำหรับกระบวนการเจียรไนทรงกระบอก(แบบยันศูนย์)ที่มีผลต่อความหยาบผิว , วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Amstead,B.H.,Ostward,Phillipe,and Begeman,Myron.L.Manufacturing Process. Seventh Edition.(New York :John Wiley & Son,1977),pp613-644.

Degarmo,E.Paul.Material and Process in Manufacturing . Fourth Edition.(New York : Macmillan Publishing,1974),pp.645-689.

รายการอ้างอิง(ต่อ)

Hahn,R.S., The effect of wheel-work conformity in precision grinding,(Transaction of the American Society of Mechanical Engineer,New York,November 1955), pp.1325-1329.

H.Alawi and M.A.Younis, Probabilitic approach to the conformity of wheel-work in grinding process,(International Journal Production Research,vol24,no.2, New York,1986),pp.279-290.

Handbook on Grinding Effective . (Australia : Norton Pty, December 1992).

Lindberg,Roy A. Process and Materials of Manufacture. Fourth Edition.(New York : Allyn and Bacon,1990) ,p.226.

Serope,Kalpakjian.Manufacturing Engineering and Technology. Third Edition. (Reading,MA : Addison-Wesley Publishing,1995),pp.616-793.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก. ผลการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

Regression

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	LOGD, LOGF, LOGV[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: LOGT

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000[a]	1.000	1.000	5.531E-03

a. Predictors: (Constant), LOGD, LOGF, LOGV

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.038	3	1.013	33101.271	.000[a]
	Residual	4.283E-04	14	3.059E-05		
	Total	3.038	17			

a. Predictors: (Constant), LOGD, LOGF, LOGV

b. Dependent Variable: LOGT

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	19.148	.063		304.612	.000
	LOGV	-4.519	.014	-.999	-314.817	.000
	LOGF	-.220	.016	-.043	-13.558	.000
	LOGD	-2.74E-02	.009	-.010	-3.162	.007

a. Dependent Variable: LOGT

<u>ภาคผนวก ข.</u> การคำนวณค่าใช้จ่ายในการเจียรผิวเหล็กหล่อด้วยหินซิลิกอนคาร์ไบด์

<u>เงื่อนไขการเจียร์</u> คือ ความเร็วตัด 150 ฟุต/นาที อัตราการป้อน 70 นิ้ว./นาที ความลึกในการตัด 0.0010 นิ้ว

ในการใช้เงื่อนไขนี้ในการทำการเจียร สิ่งที่จะเป็นตัวกำหนดต้นทุนในการผลิตคือ อายุการใช้งานของหินเจียรอายุการใช้งานของหินเจียรสามารถหาได้จากสมการของ Taylor (Taylor's life cutting speed equation)

$$VT^{n} \quad f^{x} \quad d^{y} \quad = C$$

V=ความเร็วตัด (ฟุต ต่อ นาที)

T=อายุการใช้งานของหินเจียร (นาที)

n,x,y,C = ค่าคงที่ของวัสดุของชิ้นงาน และหินเจียร ($0<n,x,y <=1$, $C>0$)

จากการทดลองจะได้รูปแบบของ Taylor ดังนี้คือ

$$VT^{0.221} \quad f^{0.0487} \quad d^{0.0061} = 17,267.15$$

ฉะนั้น $T = 12,992.8$ นาที

1. Handling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการนำชิ้นงานเข้าออกเครื่องจักร และการเคลื่อนที่ของ Tool เข้าและออกจากชิ้นงาน สำหรับการทำงาน 1 รอบการทำงาน และค่าใช้จ่ายนี้จะเป็นค่าคงที่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับความเร็วตัดจึงไม่นำมาพิจารณา T_h = เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนถอดชิ้นงานเข้าออก1ชิ้น = 30 นาที

2. Grinding Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเสียเวลาในการเจียรชิ้นงาน สำหรับ 1 รอบการทำงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด

$$T_g = \text{Grinding Time}$$
$$= (L / f N)$$
$$= (L\pi D / V f)$$

เมื่อ T_g = เวลาในการเจียรงานต่อ 1 ชิ้นงาน (min)

L = ความยาวของการเจียร = 133.86 in.

D = เส้นผ่าศูนย์กลางชิ้นงาน = 29.724 in.

V = ความเร็วในการตัด = 1800 in/min หรือ150 ft./min.

f = อัตราการป้อน = 3.632 in. / rev หรือ 70 in/min

C = จำนวน cycle ในการเจียร = 200 รอบ

T_g = ($L\pi D$ / V f) x c

= 133.86 x 3.142 x 29.724 / (1800 x3.632) x 200

= 382.46 นาที

ซึ่งสมการต้นทุนในการเจียรสามารถเขียนได้ด้วยสมการดังนี้

Grinding Cost = C_o x T_g

C_o = 0.84 บาท / นาที

ฉะนั้น Grinding Cost = 0.84 x 382.46

= 321.26 บาท ต่อ ชิ้น

2. Tool Changing Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนหินเจียรสำหรับ 1 รอบการทำงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด

T_c = เวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนหินเจียร = 60 นาที

Tool Changing Cost = (C_o x T_c x T_g) /T

= (0.84 x 60 x 382.46) / 12,992.8

= 1.48 บาท ต่อ ชิ้น

3. Tooling Cost เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้หินเจียรสำหรับ 1 รอบการทำงาน ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับราคาหินเจียรและอายุการใช้งานของหินเจียร

Tooling Cost = C_t x T_g / T

C_t = ราคาของหินเจียร = 2,500 บาท

ฉะนั้น Tooling Cost = 2,500 x 382.46 / 12,992.8

= 73.59 บาท ต่อ ชิ้น

จากสมการต้นทุนรวม คือ

Cu = (Handling Cost) +(Grinding Cost) +(Tool Changing Cost) +(Tooling Cost)

เมื่อไม่นำ Handling Cost มาพิจารณาสมการต้นทุนรวมจึงเท่ากับ

Cu = (Grinding Cost) +(Tool Changing Cost) +(Tooling Cost)

= 396.34 บาท ต่อ ชิ้น

<u>การคำนวณกำลังการผลิตที่เงื่อนไขการผลิตต่าง ๆ</u>

$$T_u = T_h + T + (T_c \times T_g / T)$$

T_h= เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนชิ้นงาน1ชิ้น = 30 นาที

T_g = เวลาในการเจียรชิ้นงาน 1 ชิ้น = 382.46 นาที

$(T_C \times Tg)/T$ = เวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนหินเจียรต่อ1ชิ้นงาน = 1.48 นาที

T_u = เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้นงาน = 413.94 นาที

กำลังการผลิตต่อวัน(เวลาทำงาน 21 ชั่วโมงต่อวัน) = 3.04 ชิ้น / วัน

การคำนวณ $V_{min\ ,\ cost}$ $V_{max\ ,\ prod}$

กรณีของหิน Sic ที่เงื่อนไข ดังต่อไปนี้

อัตราการป้อน = 3.632 in./rev หรือ 70 in/min

ความลึกในการตัด = 0.0010 in

จากอัตราการป้อน และความเร็วตัดที่กำหนดดังข้างต้นจะทำให้ได้สมการ Tool Life ของหิน Sic ดังต่อไปนี้

$$V\ T^{0.221} = 14{,}644.16$$

C_o = 0.84 บาท / นาที

T_c = 60 นาที

C_t = 2,500 บาท

$$V_{min\ ,\ cost} = k/\ [(1/n - 1)((C_o x T_c + C_t)/C_o)]^n$$

$$= 14{,}692.5/\ [(1/0.222 - 1)(([0.84 \times 60] + 2{,}500)/\ 0.84)]^{0.221}/12$$

= 156.64 ฟุต / นาที

$$V_{max\ .\ prod} = k/\ [(1/n - 1) \times T_c\ ]^n$$

$$= 14{,}641.5\ /\ [1/0.221 - 1) \times 60]^{0.221}/12$$

= 373.25 ฟุต / นาที

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมนตรี นาคอนันตกุล เกิดเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พศ. 2507 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการผลิต จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2537 หลังจากนั้นได้เข้าทำงานกับบริษัท แอล พี เอ็น เหล็กแผ่น จำกัด สมุทรปราการ และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย