



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช



รายงานวิจัย

ต้นแบบเครื่องเจียรระไนอัญมณีความเร็วสูง

High-Speed Machine Prototype of Gemstone Grinding

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รุ่งกิจการพานิช หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คมสัน จิระภัทรศิลาปะ ผู้ร่วมโครงการ

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กันยายน 2548

ชื่อโครงการ ต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูง
ชื่อผู้ดำเนินการ รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา ฐักิจการพานิช
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ कमสัน จิระภัทรศิลป์
เดือนและปีที่ทำเสร็จ กันยายน 2548

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่รัฐบาลส่งเสริมให้เป็นอุตสาหกรรมส่งออกชั้นนำของประเทศ กระบวนการเจียรไนเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตอัญมณีเพราะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อัญมณีมากที่สุด ดังนั้นกระบวนการเจียรไนจึงต้องมีการดำเนินการและการควบคุมอย่างใกล้ชิด รวมทั้งพัฒนากระบวนการให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ในการศึกษาเรื่องนี้จึงทำการพัฒนาเครื่องเจียรไนอัญมณีที่ใช้ความเร็วสูง พร้อมทั้งศึกษาสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของการเจียรไนที่ดีขึ้น วิจัยดำเนินการครอบคลุมตั้งแต่ การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการเจียรไนอัญมณี การพัฒนาต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณี การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเจียรไนอัญมณี การทดลองการเจียรไนของเครื่องต้นแบบโดยใช้อัญมณีชนิด คิวบิก เซอร์โคเนีย ซึ่งเป็นอัญมณีสังเคราะห์ที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดในอุตสาหกรรมอัญมณี และเครื่องประดับ แล้วทำการวิเคราะห์หาระดับพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับการเจียรไนด้วยต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูงนี้

ต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูงที่สร้างมีรายละเอียดสำคัญได้แก่ 1) เป็นเครื่องเจียรไนแนวตั้งที่ติดตั้งมอเตอร์ความเร็วสูง 2) ขนาดของจานเจียรไนเงามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร และ 3) ความเร็วรอบของการเจียรไนสามารถปรับระดับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 15,000 รอบต่อ นาที ผลการทดลองพบว่า ระดับพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับการเจียรไนด้วยต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูงเพื่อให้ผิวเรียบดีที่สุดได้แก่ ความละเอียดของแผ่นเจียรไน 1,500 mesh ความเร็วของการเจียรไน 150 เมตรต่อวินาที และความลึกของการเจียรไน 0.02 มิลลิเมตร

เลขหมู่	จพ
	๑๙ 15
เลขทะเบียน	013011
วัน, เดือน, ปี	17 ม.ค. 50

Project Title High-Speed Machine Prototype of Gemstone Grinding
Name of the Investigator Associate Professor Jittra Rukijkanpanich
Assistant Professor Komson Jirapattarasilp
Year September 2005

Abstract

The jewelry industry is one of several industries that Thai government has been willing to promote to the lead industry of Thailand. The gemstone grinding is the most important process of jewelry production, which will finally, which affects to the quality of the jewelry. In order to gain better quality of products, the grinding process needs to be thoughtfully considered and controlled. For this study, the gemstone grinding machine prototype was developed. The conditions of the parameters were investigated in order to increase the efficiency of grinding process. The methodology for this study was concerned preliminary study on gemstone grinding, development of the grinding machine prototype, analysis and identification parameters related gemstone grinding, analysis of the experiments on the optimal parameters of the prototype and validation of the optimal parameters. In this study, the cubic zirconia, the well-known gems in jewelry market, has been used in the evaluation of this prototype.

The gemstone grinding machine prototype has the main characteristics as follows: 1) it is a vertical grinding machine that equipped with high motor and powdered spindle, 2) the diameter of the grinding plate is 200 mm., and 3) the rotational speed can be varied between 0-15,000 rpm. The results of experiment showed the optimal parameters for good surface roughness were the abrasive grit size at 1,500 mesh, grinding speed at 150 m/s and depth of grinding at 0.02 mm. .

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ ผู้บริหารของบริษัทกราฟท อาท จำกัด ที่เอื้อเฟื้อตั้งแต่ให้ทำการทดลอง โดยให้สามารถเปลี่ยนแปลงเครื่องเจียรที่มีอยู่เดิม และให้พนักงานลองทดลองเจียร ซึ่งเป็นการรบกวนเวลาทำงานตามปกติของโรงงาน รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบสำคัญของการทดลอง คืออัญมณีที่ผ่านกระบวนการเบื้องต้นมาแล้วพร้อมทำการเจียรระโน

ขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช และกรรมการทุกท่านที่พิจารณาให้ทุนสนับสนุนในการจัดสร้างต้นแบบเครื่องอัญมณีความเร็วสูงอย่างพอเพียง และขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือรวมทั้งเป็นกำลังใจแต่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	<u>หน้า</u>
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การวัดความเร็วสูง	4
2.2 งานเจียร์ไน	7
2.3 กระบวนการเจียร์ไนอัญมณี	8
2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจียร์ไนอัญมณี	9
3. รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน	10
3.1 วิธีการดำเนินการ	10
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง	13
4. สภาพปัจจุบันของการเจียร์ไนอัญมณีในอุตสาหกรรม	15
4.1 กระบวนการเจียร์ไนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน	15
4.2 เครื่องเจียร์ไนอัญมณีและสภาพการเจียร์ไน ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน	16
4.3 ข้อเสียเปรียบของเครื่องเจียร์ไนปัจจุบัน	20
4.4 แนวทางการพัฒนาเครื่องเจียร์ไนอัญมณี	20
4.5 การทดสอบแนวทางการพัฒนาเครื่องเจียร์ไนอัญมณี โดยใช้ความเร็วสูง	21

สารบัญ (ต่อ)

	<u>หน้า</u>
บทที่	
5. การออกแบบต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูง	24
5.1 การออกแบบต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูง	24
5.2 การสร้างเครื่องต้นแบบ	26
6. การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูง	28
6.1 ประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์	28
6.2 การทดสอบความเร็วรอบและความเร็วตัด	32
6.3 การทดสอบระยะแกว่งของจานเจียรไน	33
7. การทดลองและการประเมินผล	35
7.1 ขั้นตอนการทดลองการทำงานของต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูง	35
7.2 พารามิเตอร์ของการเจียรไน	35
7.3 อัญมณีที่ใช้ในการทดลอง	35
7.4 การออกแบบการทดลอง	36
7.5 ผลการทดลองและการประเมินผล	38
8. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะในการขยายผล	44
8.1 สรุปผลการศึกษา	44
8.2 ข้อเสนอแนะในการขยายผล	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	
ก แบบ (Drawings) ของต้นแบบ	47
ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	56
ค ภาพถ่ายต้นแบบและการทดลอง	65
ง ค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบ	71

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	ช่วงของการตัดความเร็วสูงในการตัดวัสดุชนิดต่างๆ	5
2.2	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของการทำผิวสำเร็จระหว่างการตัดด้วยความเร็วปกติกับการตัดด้วยความเร็วสูง	6
2.3	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย Machining Cost เมื่อใช้มีดคาร์ไบด์ชนิดธรรมดา กับมีดคาร์ไบด์ที่เคลือบผิว	7
3.1	รายละเอียดขั้นตอนของการดำเนินงาน	11
4.1	กระบวนการเจียรในอัญมณี	15
4.2	การไหลของการเจียรในอัญมณี	17
4.3	ลักษณะของเครื่องเจียรในแบบสองจาน	18
4.4	บริเวณการเจียรที่พนักงานใช้ปัจจุบัน (ระหว่างเส้นประ)	19
4.5	อาการแกว่งของเพลลาและจานเจียรใน	20
4.6	ระบบส่งกำลังที่ปรับปรุงใหม่	21
6.1	Slip – Torque เมื่อลดแรงดัน ไฟฟ้าที่มอเตอร์	28
6.2	ความสัมพันธ์ Speed – Torque แรงดัน ไฟฟ้าที่มอเตอร์เพิ่มขึ้น	29
6.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับจานเจียรใน 8 นิ้ว และ 6 นิ้ว	32
6.4	อาการแกว่งของเพลลาและจานเจียรใน	34
7.1	ภาพจำลองการทดลองเจียรในอัญมณีด้วยคันแบบที่สร้างขึ้น	37
7.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรใน 600 mesh	38
7.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรใน 1,000 mesh	39
7.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรใน 1,500 mesh	39
7.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรที่ระดับความลึกของการตัด 0.02 มม.	40
7.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรที่ระดับความลึกของการตัด 0.06 มม.	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
7.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรไนที่ระดับความลึกของการตัด 0.10 มม.	41
7.8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเจียรไนกับความเรียบผิวและความเร็วตัด	42
7.9	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเจียรไนกับความเรียบผิวและความละเอียดของงานเจียรไน	43



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

<u>ตารางที่</u>	<u>ชื่อตาราง</u>	<u>หน้า</u>
2.1	เกรดความแข็งของหินเจียรไน	8
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานและผลที่จะได้รับ	13
4.1	ความเร็วรอบของเครื่องเจียรไนเกาหลี	18
4.2	ความเร็ววัดของการเจียรไน	19
4.3	ผลการทดสอบความเร็วรอบของเครื่อง	22
4.4	สถานะและเงื่อนไขการทดลองเบื้องต้น	23
4.5	เวลาเฉลี่ยของการเจียรไนของพลอยไฮโดรขนาด 8 มม. เฉพาะค้ำบน และเจียรละเอียดขีดเงา	23
6.1	ผลการทดลองความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้า (A)	31
6.2	ผลการทดสอบความเร็วรอบของเครื่อง	33
6.3	ผลทดสอบระยะแกว่งของจานเจียรไน	34
7.1	คุณสมบัติของอัญมณีที่ใช้ในการทดลอง: Cubic zirconia	36
7.2	รายละเอียดของต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูง (Specifications of the machine and equipment)	37
7.3	สถานะเงื่อนไขของพารามิเตอร์ของการเจียรไนที่ใช้ในการทดลอง	37

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าของการผลิตเพื่อจำหน่ายและส่งออกไปต่างประเทศสูงในอันดับต้นๆของประเทศ และความต้องการเครื่องประดับอัญมณีของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ปี คาดว่าจะมีอัตราการเติบโตปีละไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 [1] ดังนั้นอุตสาหกรรมนี้จึงได้รับความสนใจให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาในด้านต่างๆ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับนี้เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ฝีมือในการทำงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการของลูกค้านำและเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดมูลค่าผลิตภัณฑ์สูง การใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการผลิตของอุตสาหกรรมนี้จึงอาจไม่เป็นผลดีต่อการขยายผลต่ออุตสาหกรรมนี้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน แรงงานฝีมือหาได้ยากมากยิ่งขึ้น ดังนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ช่วยให้ทำงานได้ง่ายและเร็วขึ้น โดยที่ยังใช้ฝีมือในการทำงานอยู่เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องได้รับความสนใจและพัฒนา

แนวทางการวิจัยสาขาหนึ่งของงานวิจัยและพัฒนาที่น่าสนใจ ได้แก่ กระบวนการเจียรในอัญมณี กระบวนการดังกล่าวมีผลต่อมูลค่าและคุณภาพของอัญมณี โดยทั่วไปแล้ว มีปัจจัย 4 ประการ ที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าและคุณภาพของอัญมณี ได้แก่ สี (Color) น้ำหนัก (Carat) ความใสปราศจากสิ่งเจือปน (Clear) และการตัดเจียร (Cut) สามปัจจัยแรก เป็นสิ่งที่อาจควบคุมได้ยาก เพราะสินแร่ที่มาเป็นอัญมณีนั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ส่วนปัจจัยที่สี่นั้นได้สามารถควบคุมได้ด้วยกระบวนการตัดเจียรอัญมณี [2] ซึ่งเป็นกระบวนการเพิ่มมูลค่าของอัญมณีจากสินแร่ให้มีรูปร่างหรือรูปทรงตามที่ต้องการ ซึ่งอัญมณีจะมีมูลค่ามากหรือน้อยนั้นต้องการความประณีตและความชำนาญในการตัดเหลี่ยม ความประณีตและความชำนาญนี้ทำให้อัญมณีที่เจียรในแล้วมีแสงเงาที่สวยงาม ส่งผลให้อัญมณีนั้นมีมูลค่าสูง กล่าวโดยสรุปแล้วขั้นตอนการเจียรในเป็นขั้นตอนสำคัญของกระบวนการผลิตอัญมณีที่ควรได้รับความสนใจในการพัฒนาเป็นอย่างมาก

ขั้นตอนเจียรในเป็นขั้นตอนที่มีต้นทุนสูงมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนการผลิตทั้งหมด เพราะต้องใช้ทั้งบุคลากรที่มีทักษะ ใช้เวลาในการผลิตและเป็นงานที่มีค่าใช้จ่าย (Cost) มากที่สุด ซึ่งถ้าสามารถทำการตัดเจียรให้ใช้เวลาที่น้อยลงแต่คงคุณภาพของเหลี่ยมและรูปทรงต่างๆ ได้แวววาวเหมือนเดิม จะทำให้สามารถลดต้นทุนของขั้นตอนนี้ลงได้

ปัญหาที่พบส่วนใหญ่ในกระบวนการตัดเจียรในอัญมณี สามารถแบ่งได้ 4 ประการ ได้แก่

1. ปัญหาด้านการผลิต ต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรง ขนาดและชนิดของผลิตภัณฑ์บ่อย ใช้เวลาที่ใช้ในการผลิตก็แตกต่างกันไป การวางแผนการผลิตมีความซับซ้อนมาก และไม่มีมาตรฐานของการผลิตที่ดีพอ ส่งผลในการส่งมอบไม่ได้ตามเวลาที่กำหนด

2. ปัญหาด้านการตรวจวัดคุณภาพของอัญมณีที่เจียรเสร็จ ปัจจุบัน โรงงานผลิตและเจียรอัญมณีส่วนใหญ่ยังไม่มีวิธีการตรวจวัดที่เป็นมาตรฐาน รวมทั้งตัวชี้วัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ความเรียบความเงาของอัญมณี ยังคงใช้สายตาตรวจสอบ โดยผู้ชำนาญ ขนาดและรูปร่างทรงเหลี่ยมต่างๆ ยังใช้การวัดที่ละเอียดพอ

3. ปัญหาด้านแรงงาน ปัจจุบันการเจียรระไนอัญมณีใช้แรงงานคนเป็นหลัก ดังนั้นช่างเจียรต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษ เนื่องจากมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ทำให้ช่างต้องอาศัยความสามารถมาก ส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเวลาที่ใช้การผลิตมากขึ้นกับความชำนาญของช่างเจียร

4. ปัญหาด้านวิธีการตัดเจียร เนื่องจากวิธีการเจียรระไนอัญมณีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันในประเทศไทย ยังใช้เครื่องจักรที่เป็นเทคโนโลยีขั้นต่ำ เครื่องเจียรระไนที่ใช้มี ความเร็วอยู่ที่ประมาณ 2,500-3,500 รอบต่อนาที อีกทั้งไม่มีการควบคุมกรรมวิธีการเจียรระไน รวมถึงสภาวะและเงื่อนไข

ในการศึกษานี้ได้สนใจเฉพาะในปัญหาด้านวิธีการตัดเจียรระไน โดยคิดว่าการพัฒนาเครื่องเจียรระไนอัญมณีรวมทั้งการกำหนดสภาวะเงื่อนไขของการเจียร จะเกิดประโยชน์ต่อกระบวนการเจียรระไนอัญมณีของประเทศให้มีประสิทธิภาพ จึงทำการศึกษานำร่องถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาเครื่องเจียรระไนอัญมณีที่ใช้ความเร็วสูง โดยทำการปรับปรุงจากเครื่องเจียรระไนที่มีอยู่เดิม [11] ต่อมาจึงสนใจที่จะขยายผลการศึกษาให้เกิดค้นแบบเครื่องเจียรระไนอัญมณีความเร็วสูงพร้อมทั้งศึกษาสภาวะเงื่อนไขในการเจียรระไนที่เหมาะสม ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเทคโนโลยีการเจียรระไนความเร็วสูงในการเจียรระไนอัญมณีให้เกิดขึ้นแพร่หลาย ซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอัญมณีในระดับประเทศมากขึ้นต่อไป

1.2 วัดอุปสงค์

- เพื่อออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องเจียรระไนอัญมณีที่ใช้ความเร็วสูง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการสร้างต้นแบบการเจียรระไนอัญมณีความเร็วสูงและทำการทดสอบการเจียรระไนอัญมณีเฉพาะรุ่น Cubic Zirconia (CZ) ซึ่งเป็นประเภทของอัญมณีที่ผลิตมากที่สุด โดยสนใจสภาวะเงื่อนไขของพารามิเตอร์ในการเจียรระไนที่มีผลต่อระยะเวลาที่เจียรระไนกับความเรียบผิว

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

1. ทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการออกแบบและสร้าง
2. ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบ และกำหนดอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
3. ทำการจัดสร้างเครื่องต้นแบบ

4. ทำการทดสอบสมรรถนะและความสามารถของเครื่อง
5. ทำการปรับแก้ไขจุดบกพร่องของเครื่องต้นแบบ
6. ทำการทดลองการใช้งานจริง
7. ทำการบันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง
8. สรุปผลการศึกษาและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องต้นแบบเพื่อใช้ในการเจียรไน อัญมณี ที่มีประสิทธิภาพ
2. สามารถนำเครื่องต้นแบบที่ได้ไปพัฒนากระบวนการผลิตอัญมณีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. เครื่องต้นแบบช่วยในการเพิ่มผลผลิต ให้กับอุตสาหกรรมอัญมณี
4. สร้างเทคโนโลยีด้านเครื่องเจียรไนที่เป็นของตนเอง ทำให้ลดการซื้อเทคโนโลยีและเครื่องจักรจากต่างประเทศ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทที่ 2

ทฤษฎีและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้ได้แบ่งเนื้อหาของทฤษฎีและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็นส่วนย่อยต่าง ๆ ดังนี้ ความหมายของการตัดความเร็วสูง ข้อได้เปรียบของการตัดความเร็วสูง การตัดความเร็วสูงในวัสดุต่างๆ ค่าใช้จ่ายของการตัดความเร็วสูง กระบวนการเจียรในอัญมณี ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจียรในอัญมณี และการออกแบบการทดลอง ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การตัดความเร็วสูง

การตัดความเร็วสูง เป็นกระบวนการตัดวัสดุที่ใช้ความเร็วในการตัด (Cutting Speed) ที่สูงกว่าปกติสูงถึง 10,000 รอบต่อนาที และมีอัตราป้อนที่มากกว่าปกติสูงถึง 100 เมตรต่อนาที [3] มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการตัดวัสดุเพื่อการผลิตอยู่มาก ทั้งโลหะและอโลหะ โดยโลหะได้แก่ เหล็ก อลูมิเนียมผสม ทั้งสเตนคาร์ไบด์ ในอโลหะได้แก่ เซรามิก แก้ว พลาสติก การตัดความเร็วสูงมีข้อดีหลายประการ คือ มีอัตรานำวัสดุออกสูง (High Material Removal Rate-MRR) ทำให้คุณภาพของผิวดีมาก (High surface quality) เกิดแรงในการตัดต่ำ (Low cutting force) รวมทั้งใช้เวลาตัดที่น้อยลง และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า [4-6]

การตัดความเร็วสูงได้มีการประยุกต์ใช้ในการตัดวัสดุที่มีความแข็งมากหรือเปราะที่ตัดด้วยกรรมวิธีปกติได้ไม่สะดวก สำหรับการตัดเจียรด้วยความเร็วสูงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำมาใช้ในการผลิตวัสดุจำพวกอโลหะ เช่น เซรามิก และทั้งสเตนคาร์ไบด์ [7-10]

ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการตัดความเร็วสูง เพื่อมาใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่การพัฒนาตัวเครื่องจักร ตัวแกนหมุน (Spindle) มอเตอร์ความเร็วสูง ตัวควบคุม ตัวดอกกัด รวมถึงตัวแบบในกระบวนการผลิตด้วยการตัดความเร็วสูง (HSM Manufacturing Processing Model) [5-10] ต่อไปนี้เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับการตัดความเร็วสูง

2.2.1 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของการตัดความเร็วสูง

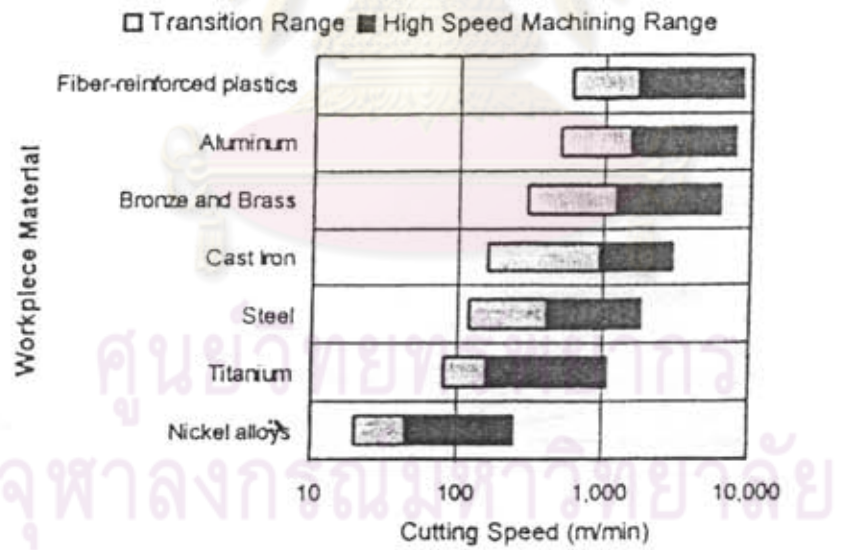
เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแบบปกติแล้ว การตัดความเร็วสูงมีข้อได้เปรียบด้วยกันหลายข้อ ได้แก่ การตัดที่สามารถใช้ได้ตั้งแต่วัสดุโลหะเช่น ไม้ พลาสติก โพลีเมอร์ วัสดุผสมไฟเบอร์กลาส จนถึงโลหะตั้งแต่โลหะที่มีความแข็งน้อยเช่น อะลูมิเนียม ทองเหลือง จนถึงวัสดุที่มีความแข็งมากเช่น นิเกิลอัลลอยด์ ไททาเนียมอัลลอยด์ เหล็กทำแม่พิมพ์ เป็นต้น นอกจากนั้นการตัดความเร็วสูงยังให้อัตราการตัดที่สูง เกิดแรงตัดที่ต่ำทำให้ชิ้นงานมีการบิดหรือโก่งตัวน้อย สามารถทำชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงเช่นการตัดให้เป็นแผ่นบาง ทำชิ้นงานที่มีผิวละเอียดมากถึง $0.1 \mu\text{m Ra}$ ทำให้ผิวมีความละเอียดโดยไม่ต้องมาขัดแต่ง [5] ข้อได้เปรียบทั้งหลายส่งผลให้การผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้การตัดความเร็วสูงช่วยลดเวลาทำการผลิตลง เนื่องจากลดกระบวนการตกแต่งละเอียดให้น้อยลงและลด

เวลาการตั้งเครื่องเนื่องจากไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องจักรในระหว่างการผลิตบ่อย จนมีการกล่าวว่าการผลิตด้วยการตัดความเร็วสูงเป็น กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพด้านค่าใช้จ่าย (Cost-effective manufacturing process) เมื่อต้องการผลิตชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงและมีคุณภาพผิวที่ดี [2]

ส่วนข้อเสียเปรียบของการตัดความเร็วสูง คือ อัตราการสึกหรอสูงจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือตัดที่มีคุณภาพดีซึ่งก็มีราคาแพง ความจำเป็นที่ต้องสวมชุดหัวจับมีดกัด แกนหมุนที่มีอายุใช้งานจำกัด ประมาณ 5,000 ถึง 10,000 ชั่วโมงทำงานเมื่อใช้ความเร็วรอบสูงสุด[5] รวมทั้งตัวเครื่องจักร มอเตอร์ขับ และระบบควบคุมมีราคาแพงกว่าเครื่องจักรทั่วไป [6,7]

2.2.2 การตัดความเร็วสูงในวัสดุต่างๆ

การตัดความเร็วสูงในวัสดุต่างๆนั้น ได้ถูกกำหนดโดยพิจารณาจากชนิดของวัสดุกับความเร็วตัด โดยความเร็วตัดของวัสดุของแต่ละชนิดที่พิจารณาว่าเป็นการตัดด้วยความเร็วสูงจะแตกต่างกัน โดยวัสดุที่มีความแข็งแรงต่ำจะถูกพิจารณาว่าเป็นการตัดความเร็วสูงต่อเมื่อใช้ความเร็วตัดที่สูง ในขณะที่วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจะถูกพิจารณาว่าเป็นการตัดความเร็วสูงเมื่อใช้ความเร็วตัดที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วตัดที่จัดว่าเป็นการตัดความเร็วสูงกับวัสดุชนิดต่างๆ



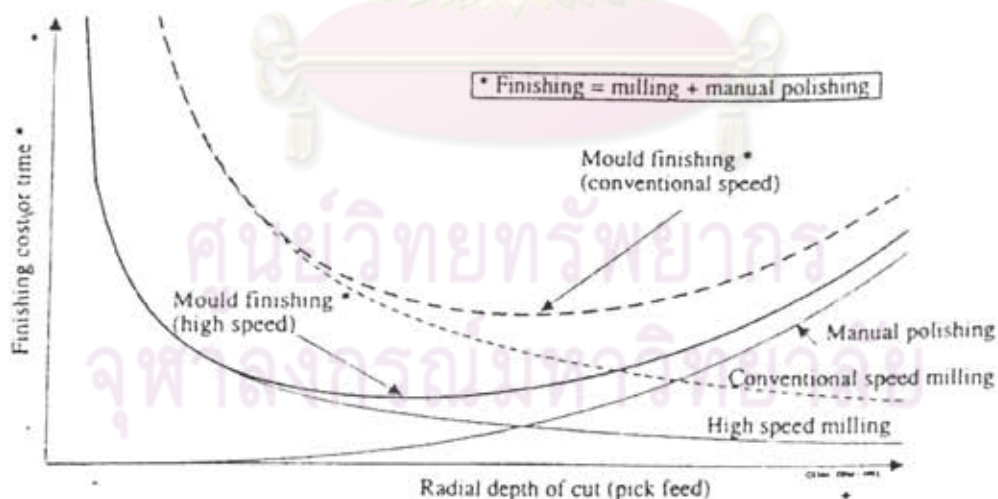
รูปที่ 2.1 ช่วงของการตัดความเร็วสูงในการตัดวัสดุชนิดต่างๆ [3]

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าวัสดุพลาสติกเสริมเส้นใย (Fiber-reinforced Plastics) และโลหะอะลูมิเนียม ความเร็วตัดที่ถูกจัดว่าเป็นการตัดความเร็วสูง คือ ตั้งแต่ 2000 เมตรต่อนาทีขึ้นไป ทองเหลืองที่ความเร็วตัดตั้งแต่ 1500 เมตรต่อนาทีขึ้นไปถึงจัดเป็นการตัดความเร็วสูง เหล็กหล่อพิจารณาที่ความเร็วตัด 900 เมตรต่อนาทีขึ้นไป เหล็กกล้าความเร็วตัดตั้งแต่ 700 เมตรต่อนาทีขึ้นไป

โหลาเนียมที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อนาทีขึ้นไป และในขณะที่นิกเกิลอัลลอยด์แก่ความเร็วตัด 70 เมตรต่อนาทีที่จัดเป็นการตัดความเร็วสูงแล้ว ดังนั้นเมื่อพิจารณาความเร็วตัดของวัสดุชนิดหนึ่งอาจจัดเป็นการตัดความเร็วสูงในขณะที่ที่ความเร็วตัดเดียวกันวัสดุอีกชนิดหนึ่งอาจจัดเป็นการตัดแบบธรรมดา เช่น ที่การตัดเหล็กกล้าผสมที่ความเร็วตัด 700 เมตรต่อนาที จัดเป็นการตัดความเร็วสูง แต่กับอะลูมิเนียม ถูกจัดเป็นการตัดแบบธรรมดา

2.2.3 การตัดความเร็วสูงกับค่าใช้จ่าย

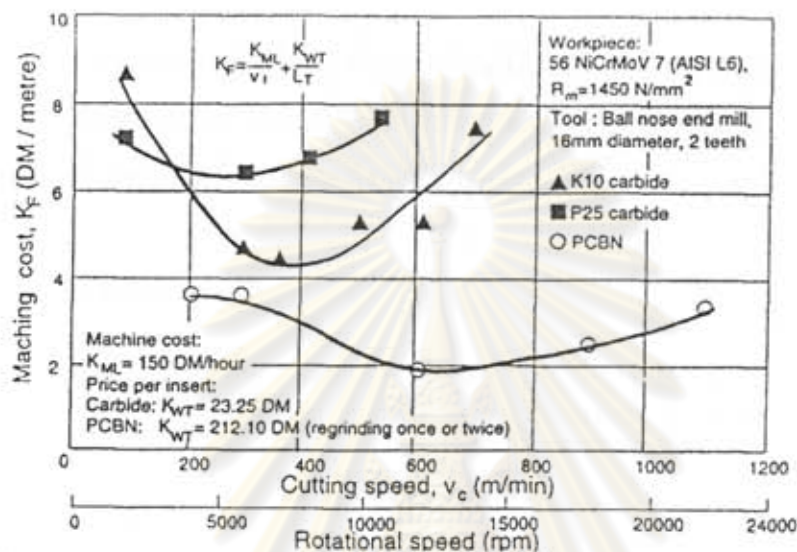
ค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยใช้เครื่องจักรที่ตัดด้วยความเร็วสูง มีการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตระหว่างกรรมวิธีต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของการทำผิวสำเร็จระหว่างการตัดด้วยความเร็วปกติกับการตัดด้วยความเร็วสูง [5] ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าการใช้การตัดความเร็วสูงจะใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการใช้การตัดความเร็วปกติ ที่ความลึกในการตัดเท่ากัน เนื่องจากที่การตัดความเร็วสูงมีการใช้อัตราป้อนที่สูง ทำให้ใช้เวลาน้อยกว่า เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมของการทำผิวสำเร็จ การตัดความเร็วสูงก็จะต่ำกว่าการตัดความเร็วปกติเช่นกัน และนอกจากนั้น เมื่อใช้ความเร็วตัด นอกจากนั้นยังมีการศึกษาในด้านการใช้กลยุทธ์ในการกักงานกับการทำผิวสำเร็จในการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปที่ทำมาจากเหล็กหล่อ เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้เครื่องจักร CNC ความเร็วสูง กับวิธีการเดิมคือการใช้เครื่องจักรแบบธรรมดาพร้อมกับการใช้คน โดยปรากฏว่า การใช้เครื่องจักรความเร็วสูงสามารถลดเวลาในการผลิตลงจาก 450 ชั่วโมงเหลือเพียง 115 ชั่วโมง และลดค่าใช้จ่ายลง 60 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของการทำผิวสำเร็จระหว่างการตัดด้วยความเร็วปกติกับการตัดด้วยความเร็วสูง

ผู้วิจัยบางท่านได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายของการใช้มีดตัดกับการตัดความเร็วสูง เช่น Koing และคณะ ได้ศึกษาการใช้มีดตัดชนิดต่างๆ ในการตัดความเร็วสูง กับวัสดุแม่พิมพ์ AISI L6

ที่มีความแข็ง 45 HRC โดยเปรียบเทียบมีดตัด 3 ชนิด คือ ชนิด มีดคาร์ไบด์ ชนิด K10 และ ชนิด P25 กับ มีดคาร์ไบด์ที่เคลือบผิวที่เรียกว่า Polycrystalline Cubic Boron Nitride (PCBN) ผลการวิเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายแล้ว มีดชนิดที่ 3 ใช้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด และยังสามารถใช้งานที่ความเร็ว ตัดสูงกว่ามีดคาร์ไบด์ทั้งสองชนิดแรก ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย Machining Cost เมื่อ ใช้มีดคาร์ไบด์ชนิดธรรมดา กับมีดคาร์ไบด์ที่เคลือบผิว

2.2 งานเจียรระโน

งานเจียรระโนเป็นงานปาดผิวละเอียด ทำให้ผิวงานราบเรียบละเอียดมีคุณภาพสูง มีทั้งความ ประณีตและ เที่ยงขนาดอย่างยิ่ง องค์ประกอบของงานเจียรระโนประกอบไปด้วย

2.2.1 หินเจียรระโน

หินเจียรระโนเป็นเครื่องมือ คมมีดที่มีหลายคม สามารถปาดผิวโลหะออกได้ทุกคม ตัวหิน ประกอบด้วยวัสดุหินเจียรระโนประสมผสมกับวัสดุผสม (Binding material) เมล็ดของวัสดุหิน เจียรระโนมักจะมีขนาดต่างๆกัน ปั้นขึ้นรูปมีด้ามมีคมหิน

2.2.2 วัสดุหินเจียรระโน

วัสดุหินเจียรระโนมีทั้งวัสดุธรรมชาติ และวัสดุสังเคราะห์ วัสดุธรรมชาติ ได้แก่ หินควอต ผง เอมเอมรี และคอร์ันดัมธรรมชาติ แต่งานเจียรระโนโลหะต้องใช้หินสังเคราะห์ทั้งหมด ได้แก่ คอร์ นดัมไฟฟ้า และซิลิกอนคาร์ไบด์ ส่วนเพชร เหมาะใช้งานเจียรระโนละเอียด

2.2.3 วัสดุประสานหินเจียรไน

วัสดุประสานหินเจียรไน มีหน้าที่ประสานเมล็ดหินเจียรไนให้ติดกัน หินเจียรไนเพชรจะต้องมีลำตัวเป็น โลหะ และเฉพาะที่ขอบเจียรไนเท่านั้น จึงจะมีเพชรเจียรไนติดอยู่ วัสดุประสานอาจเป็น สารเรซิน หรือ โลหะผสมทองแดง-ดีบุก ที่จินเคอร์

2.2.4 ความแข็งของหินเจียรไน

ความแข็งของหินเจียรไน มิได้หมายถึงความแข็งของเมล็ดวัสดุหินเจียรไน แต่หมายถึงค่ากำลังความแข็งแรงของหินสำเร็จรูป ทั้งเมล็ดวัสดุหินกับวัสดุประสานรวมกันต่างหาก ความกดคั้นที่ใช้อัดขึ้นรูปหิน ถ้ากดมากหินนั้นจะแข็งมาก และถ้ากดคั้นน้อยหินนั้นจะอ่อนลงมา ความแข็งของหินเจียรไนพูดเป็น ใค้ดอักษร A ถึง Z ดังเกรดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 เกรดความแข็งของหินเจียรไน

ABCD	EFG	HIJK	LMNO	PQRS	TUVW	XYZ
อ่อนมากที่สุด	อ่อนมาก	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง	แข็งมาก	แข็งมากที่สุด

2.3 กระบวนการเจียรไนอัญมณี

การเจียรไนอัญมณี เป็นเทคนิคที่ทำให้อัญมณีมีความแวววาวเป็นประกายและมีสีสันเด่นชัดยิ่งขึ้น โดยใช้เครื่องมือตัดแร่ให้เป็นเหลี่ยม เพื่อให้แสงหักเหสะท้อนกลับไปกลับมาจากภายใน ผลึกและสะท้อนออกมาทางด้านหน้า การเจียรไนมีหลายแบบ เช่น แบบเหลี่ยมเกสร แบบขึ้นบันไดหรือแบบเหลี่ยมมรกต แบบผสม แบบหลังเบี้ย แบบเหลี่ยมกุหลาบ เป็นต้น กระบวนการเจียรไนสามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.3.1 การเจียรไนให้ได้รูปทรงหยาบ เป็นการเจียรไนให้ได้รูปทรงคร่าว (เรียกว่าการโกลน) ใช้การเจียรไนด้วยแผ่นเจียรไนหรือล้อเจียรไนที่เป็น Diamond Bonded Plate ความละเอียด #600 Mesh

2.3.2 การเจียรไนขึ้นรูปและขัดเงาละเอียด จะประกอบด้วย

- การเจียรไน ดัดเหลี่ยมที่ด้านล่าง (Bottom) ของพลอย
- การเจียรไนดัดเหลี่ยมด้านบน (Top) ของพลอย
- การเจียรไนราบด้านบน (Table) ของพลอยให้ได้ระนาบ

โดยทั้งหมดใช้การเจียรไนด้วยแผ่นเจียรไนที่เป็น Diamond Bonded Plate ความละเอียด #1200 หรือ #1500 Mesh และทำการเจียรไนละเอียดเพื่อให้ผิวเป็นเงาด้วยจานดีบุก+ ผงขัดเพชร ละเอียดของการเจียรไนทั้ง 2 แบบ มีดังต่อไปนี้

1) การเจียรระโนขึ้นรูป โดยใช้การเจียรระโน ด้วยแผ่นเจียรที่เป็น Diamond Bonded Plate ขนาด 8" (200 มม.) ความละเอียด ตั้งแต่ #600 #1200 หรือ #1500 Mesh ในขณะที่ทำการเจียรระโนมีการใช้น้ำช่วยขัดเศษเจียร กระบวนการนี้เป็นการเจียรระโนให้ได้รูปร่างและขนาดหรือให้ได้เหลี่ยมมุม ความเรียบของผิวเจียรระโนที่ได้อยู่ใน ช่วง 10-30 μm Ra

2) การเจียรระโนละเอียดเพื่อขัดเงา ใช้จานสีบุกขนาด 6" (150 มม.) ที่มีผงขัดเพชรความละเอียด 0.5 μm เจียรระโนขัดเงาเพื่อให้ได้ผิวความละเอียดและขึ้นเงาเหมือนผิวกระจก ความละเอียดของผิวอยู่ในช่วง 0.5-1 μm

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจียรระโนอัลูมิเนียม

จากการศึกษาปัจจัยในการเจียรระโนอัลูมิเนียมที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมอัลูมิเนียมและเครื่องประดับ [11] พบว่าปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเจียรระโนที่มีคุณภาพ มีดังต่อไปนี้

1. ความแข็งของอัลูมิเนียม โดยทั่วไปจะแบ่งคร่าวๆ เป็นอัลูมิเนียมเนื้อแข็งและอัลูมิเนียมเนื้ออ่อน ความแข็งของอัลูมิเนียมจะมีผลต่อการเจียรระโน โดยต้องใช้งานเจียรระโนที่มีความแตกต่างกัน ผงขัดเพชรที่มีความแตกต่างกัน ความเร็วตัดที่แตกต่างกัน

2. ความเร็วตัด ความเร็วตัดเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเจียรระโนอัลูมิเนียม โดย ความเร็วตัดจะส่งผลความสามารถของกระบวนการ เช่น ความเรียบของผิว ความเร็วในการเจียรระโน อัตราการผลิต เป็นต้น

3. แผ่นเจียรระโน การใช้แผ่นเจียรระโนที่มีความละเอียด (Mesh) ที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการเจียรระโน เนื่องจากความละเอียดของแผ่นเจียรระโนส่งผลโดยตรงต่อความเรียบของผิวงาน

4. ความสามารถของพนักงานเจียรระโน เนื่องจากการเจียรระโนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังอาศัยทักษะและความชำนาญของพนักงานเจียรระโนเป็นส่วนใหญ่ พนักงานเป็นผู้ควบคุมกระบวนการเจียรระโนที่เป็นได้แก่ การออกแรงกดชิ้นงาน การเคลื่อนที่ชิ้นงานในการป้อนเจียร (feed) การเจียรระโนให้ได้มุมเหลี่ยมและรูปร่างตามที่กำหนด ถึงแม้จะมีอุปกรณ์ที่ช่วยกำหนดการตั้งเหลี่ยมเพื่อเจียรระโนก็ตาม ดังนั้นพนักงานที่มีทักษะความชำนาญมาก ก็จะสามารถผลิตงานได้มาก และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากกว่า มีการแก้ไขงานน้อยกว่า

บทที่ 3

รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการดำเนินงานของการสร้างต้นแบบเครื่องเจียรไน อัญมณีความเร็วสูง ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ วิธีการดำเนินงาน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการดำเนินการ

การดำเนินงานได้เริ่มตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการออกแบบ แล้วทำการวิเคราะห์แล้วสร้างต้นแบบ และทดสอบการทำงานของต้นแบบก่อนนำไปทดลองการทำงานจริง และประเมินผล โดยรูปที่ 3.1 ได้แสดงรายละเอียดของการดำเนินงาน

3.1.1 การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการออกแบบและสร้าง

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องเจียรไนอัญมณีและกระบวนการเจียรไนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้เครื่องเจียรไนที่จะศึกษาเป็นเครื่องเจียรไนที่ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับในวงการ ที่เรียกกันว่า “จักรเกาหลี” นอกจากนี้ยังศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเจียรไน ซึ่งรายละเอียดแสดงในบทที่ 4

3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของการศึกษานี้ ได้ศึกษาถึงความเร็วรอบที่ใช้ ความเร็วตัดของการเจียรไน การวัดผลที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการเจียรไน ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการเจียร ความเรียบของผิว รวมถึงจุดอ่อนของวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

3.1.3 การศึกษาทฤษฎีเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบต้นแบบที่ใช้ในการเจียรไน

ทำการรวบรวมทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ แล้วลองทำการทดลองในการนำร่องเพื่อให้ได้แนวทางการสร้างที่ชัดเจนขึ้น ทฤษฎีต่างๆ เหล่านี้ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.1.4 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูง

ในหัวข้อนี้ดำเนินการจัดหาอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างต้นแบบ รายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 5

3.1.5 การทดสอบสมรรถนะและความสามารถของต้นแบบ

ในการทดสอบสมรรถนะมีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของต้นแบบ และดูลักษณะการแกว่งของจานเจียร

3.1.6 การทดลองกับการทำงานจริง และทำการประเมินผล

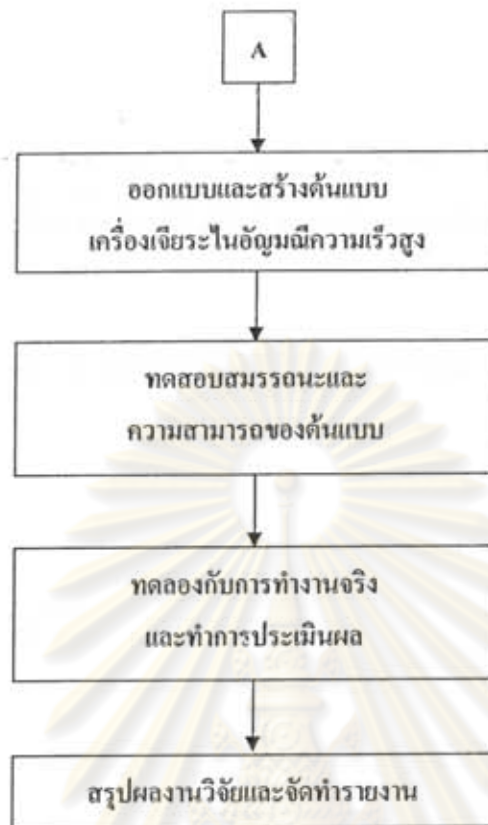
หลังจากที่ได้ทำการทดสอบต้นแบบและปรับปรุงแก้ไขแล้ว จึงนำไปทดสอบกับการทำงานจริง และทำการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินผลการทำงานของต้นแบบและทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น ในการทดลองจะทำการหาสภาวะเงื่อนไขของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1.7 สรุปผลงานวิจัยและจัดทำรายงาน

ผลที่ได้รับในการดำเนินงานที่ได้รับ แสดง ได้ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รายละเอียดขั้นตอนของการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) รายละเอียดขั้นตอนของการดำเนินงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและผลที่จะได้รับ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ผลที่จะได้
1.สำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการออกแบบและการสร้าง
2.ออกแบบต้นแบบ และกำหนดอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	แบบงานของต้นแบบ และอุปกรณ์ในการสร้าง
3 จัดหาอุปกรณ์และสร้างเครื่องต้นแบบ	ต้นแบบเครื่องเจียรระ ในอัญมณีความเร็วสูง
4. ทดสอบสมรรถนะและความสามารถของต้นแบบ	ข้อมูลสมรรถนะของต้นแบบ
5. ปรับแก้ไขจุดบกพร่องของต้นแบบ	ข้อมูลผลการทดลองใช้งานที่โรงงาน
6. คิดตั้งและทดลองที่โรงงาน บันทึกผลการทดลอง	ผลการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่อง
7. วิเคราะห์ผลการทดลองใช้	ต้นแบบที่แก้ไขข้อบกพร่องแล้ว
8. สรุปผลการสร้างและเขียนรายงาน	รายงานการวิจัย

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง

ในที่นี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) เครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ในการสนับสนุนการสร้าง และ (2) เครื่องจักร อุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบของต้นแบบ

3.2.1 เครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ในการสนับสนุนการสร้าง

1. เครื่องจักรกล ได้แก่ เครื่องกลึง เครื่องเจาะ เครื่องกัด โลหะ
2. เครื่องเชื่อม โลหะ
3. เครื่องพ่นสี
4. Digital Multi-meter

3.2.2 เครื่องจักร อุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบของต้นแบบ

1. มอเตอร์ไฟฟ้า
2. ตัวควบคุมความเร็ว (Speed Controller)
3. อุปกรณ์วัดความเร็ว (Speed Measurement Instrument)
4. ตัวแปลงไฟ (Transformer)
5. วงจรรีเลย์ (Circuit Relay)
6. ไบเจียร์ไน

3.3 การวัดความเรียบผิว

เนื่องจากว่าความเรียบผิวเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของการวัดคุณภาพผิวงานของอัญมณีที่ผ่านการเจียรไนแล้ว จึงแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวัดความเรียบผิว บางครั้งใช้คำว่า ความหยาบผิว (Roughness) แทนคำว่าความเรียบผิว โดยมีความหมายในทางตรงข้ามกัน ทั้งนี้การวัดความเรียบผิวสามารถวัดได้จากการวัดความหยาบของผิว ค่าความหยาบผิวในการศึกษานี้เป็นค่าความหยาบเฉลี่ย (R_a) ได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมเหนือเส้นกึ่งกลางกับพื้นที่หลุมใต้เส้นกึ่งกลางแล้วหารด้วยความยาว (L_m) มีหน่วยเป็นไมโครเมตร ปัจจุบันนี้มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยโดยมีเครื่องวัดค่าความหยาบผิว โดยมีระบบประมวลผล นำภาพส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล แล้วคำนวณออกมาเป็นค่าความหยาบ ดังแสดงในรูป ก-4 และ ก-5

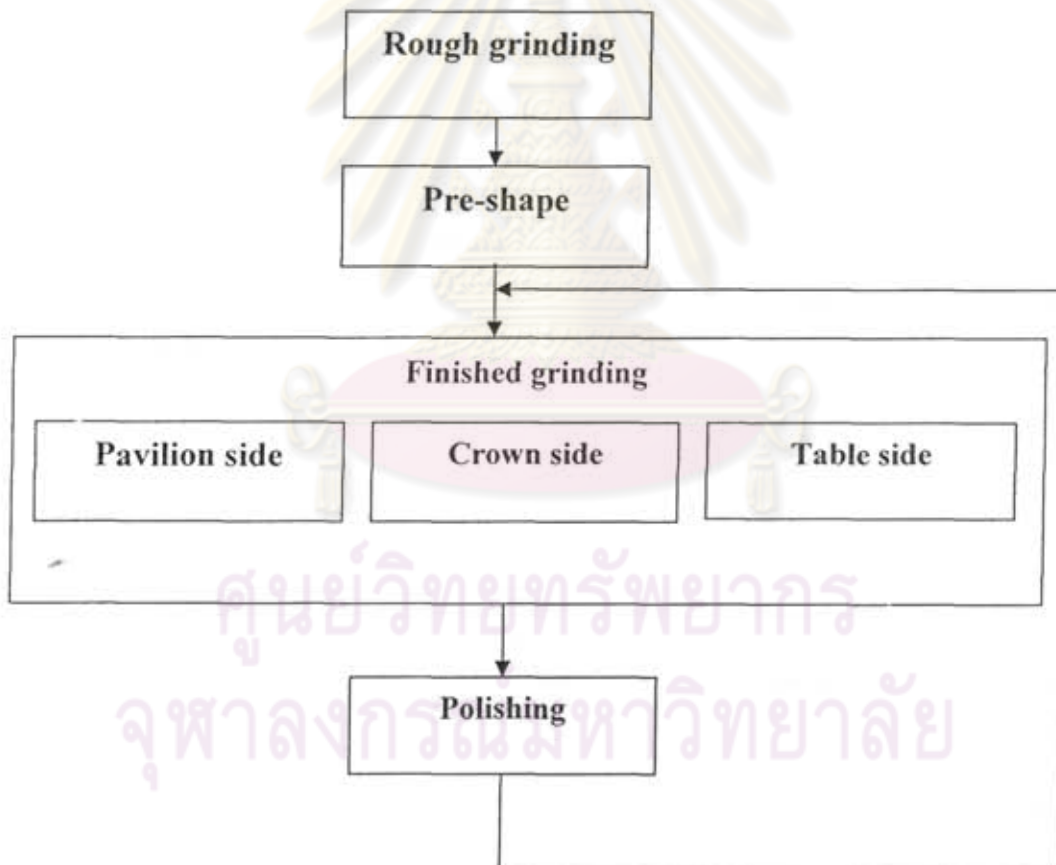
รายละเอียดของการสร้างและการทดสอบแสดงในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4.1 กระบวนการเจียรระโนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

กระบวนการเจียรระโนอัญมณีที่ใช้กันในปัจจุบันประกอบไปด้วยการเจียรหยาบ (Rough grinding) การขึ้นรูป (Pre-shape) การเจียรระโนขั้นสุดท้าย (Finished grinding) โดยที่การเจียรระโนขั้นสุดท้ายจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าว่าต้องการผลงานแบบใด ซึ่งการเจียรบางครั้งต้องการให้เจียรระโนขั้นสุดท้าย มีการเจียรระโนพาวิลเลียน (Pavilion) หมายถึงการเจียรระโนเหลี่ยมมุมเหมือนเพชร การเจียรระโนคราวน์ (Crown) หมายถึงมีการเจียรระโนยอด ซึ่งเปรียบเทียบกับเหมือนมงกุฎ และ การเจียรระโนเทเบิล (Table) หมายถึงการเจียรระโนแบบระนาบ ซึ่งเป็นด้านบนของการเจียรระโนอัญมณี หลังจากนั้นจึงไปสู่กระบวนการขัด (Polishing) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระบวนการเจียรระโนอัญมณี

จากรูปที่ 4.1 ขั้นตอนเจียรระโนขั้นสุดท้ายเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากที่สุด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สนใจในการศึกษานี้ ขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ฝีมือและทักษะความชำนาญของผู้

เจียรไนสูง ใช้ระยะเวลาในการเจียรนาน และเป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อคุณภาพของอัญมณีมากที่สุด ความแวววาวของอัญมณีจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้ ด้วยข้อจำกัดของเวลาในการศึกษานี้ ได้เลือกทดลองเฉพาะการเจียรไนเทเบิลซึ่งเป็นการเจียรหน้าด้านบนสุดของอัญมณี เป็นการเจียรให้ได้ระนาบ โดยใช้จานสีบุกขนาด 6 นิ้ว และผงขัดเพชร (Diamond Bonded Plate) ความละเอียด 1,200 ถึง 1,500 Mesh

รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของกระบวนการเจียรไนขั้นสุดท้ายในแต่ละด้าน โดยเริ่มต้นจากการติดอัญมณีบนทวน (Holder) โดยใช้ตัวประสานคือกาว แล้วทำการเจียรไน และขัดผิวในแต่ละด้าน หลังจากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพว่ามีความแวววาว เหลี่ยมมุมถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ได้คุณภาพก็ต้องกลับไปดำเนินการแก้ไขงาน ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครบทุกด้านของอัญมณี

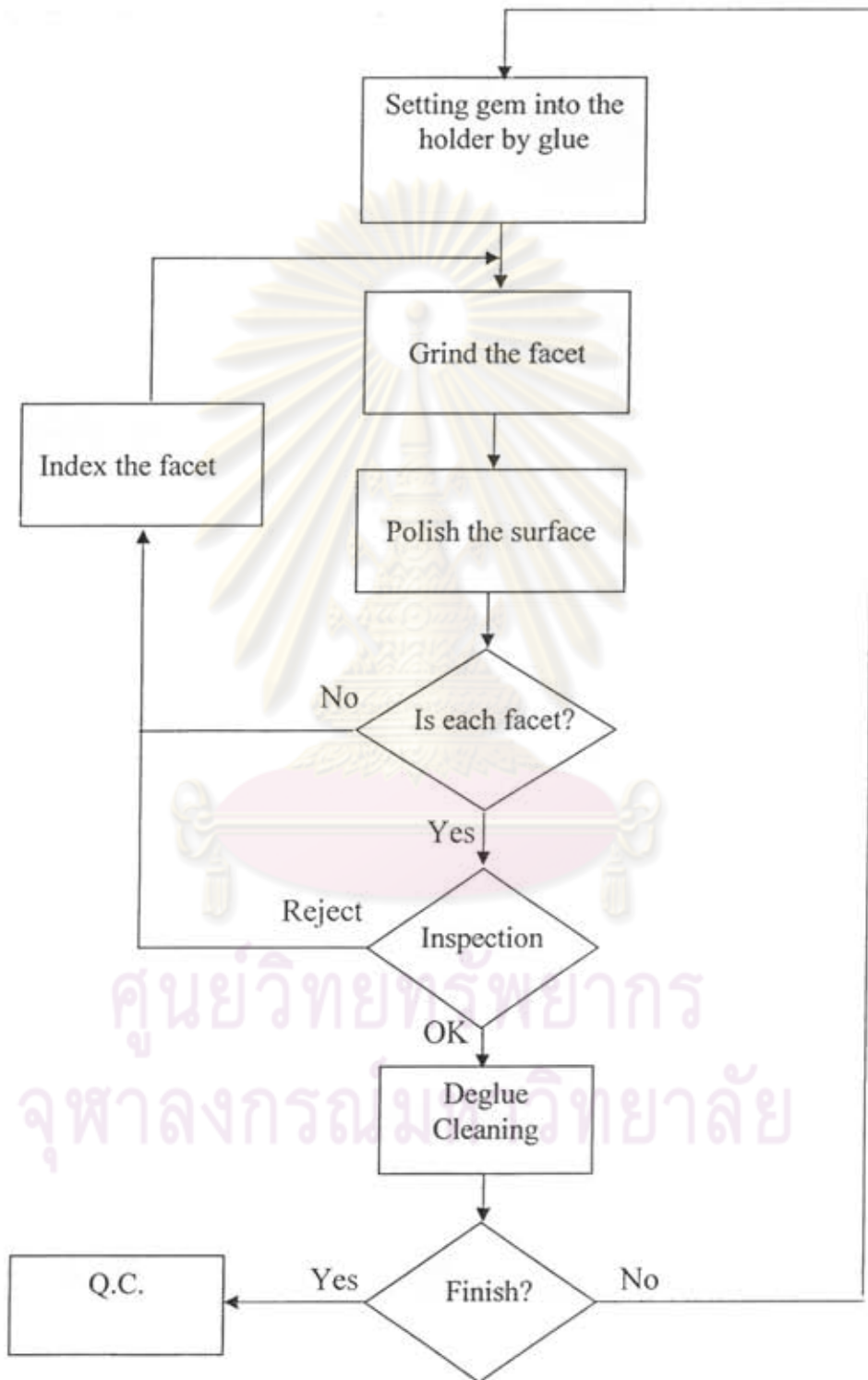
4.2 เครื่องเจียรไนอัญมณีและสภาพการเจียรไนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาริเริ่มค้นจากเครื่องเจียรไนที่ได้เป็นที่นิยมใช้และได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการเจียรไน ที่เรียกกันว่า “จักรเกาหลี่” จักรดังกล่าวเป็นเครื่องเจียรแบบสองจาน โดยมีรายละเอียดของเครื่องเจียรดังนี้

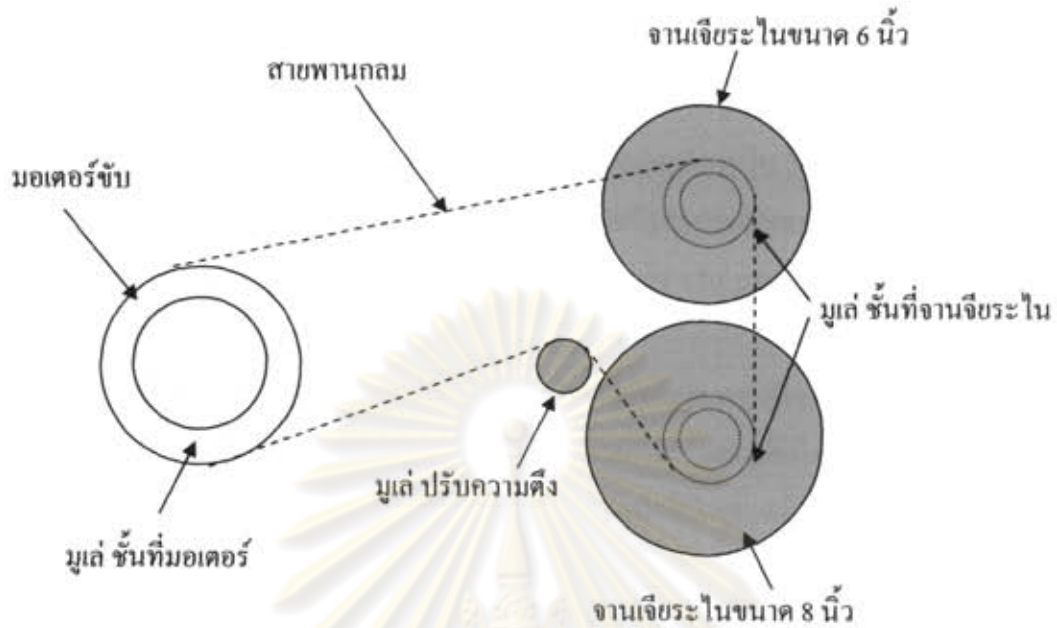
4.2.1 เครื่องเจียรไนอัญมณีที่ใช้ในปัจจุบัน

เครื่องเจียรไนที่ใช้เป็นเครื่องเจียรไนแบบสองจาน ประกอบด้วย จานเจียรไนขึ้นรูป ขนาดจาน 8 นิ้ว (200 มม.) และจานเจียรไนเงา ขนาดจาน 6 นิ้ว (150 มม.) ดังรูปที่ 4.3 เครื่องเจียรไนดังกล่าวใช้อินดักชันมอเตอร์ (Induction Motor) ขนาด 1/4 แรงม้า (1,400 รอบต่อนาที) การส่งกำลังใช้มู่เต้และสายพานกลมพลาสติกขนาด 8 มม.

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 การไหลของการเจียรระไนอัญมณี



รูปที่ 4.3 ลักษณะของเครื่องเจียรไนแบบสองจาน

4.2.2 การปรับตั้งความเร็วรอบของเครื่อง

เครื่องสามารถปรับตั้งความเร็วรอบได้ 4 จังหวะ การปรับความเร็วรอบใช้การเปลี่ยนมูเล่ ขับที่มอเตอร์และมูเล่ตามที่จานเจียรไน ระบบกำลังขับเป็นมอเตอร์ โดยที่มูเล่มอเตอร์เป็นมูเล่แบบ 2 ชั้น

ในการคำนวณความเร็วรอบของเครื่องได้ผลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเร็วรอบของเครื่องเจียรเกาหลี

ขนาดมูเล่มอเตอร์	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	
	ขนาดมูเล่ ที่จานขัด 40 มม.	ขนาดมูเล่ ที่จานขัด 50 มม.
70 มม.	2870	2050
90 มม.	3700	2650

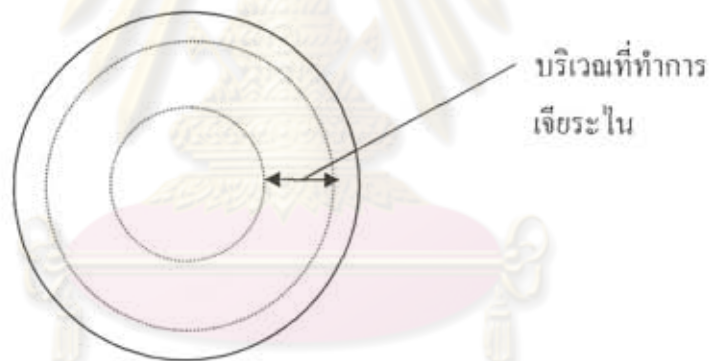
ตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบของเครื่องเจียรไนที่คำนวณได้มี 4 ระดับได้แก่ 2,050 2,650 2,870 3,700 รอบต่อนาที แต่มีข้อสังเกตว่าพนักงานส่วนใหญ่ใช้ความเร็วสูงสุดที่ 3,700 รอบต่อนาที

4.2.3 การหาความเร็วตัดของการเจียรไน

ในการหาความเร็วตัดสามารถแบ่งตามลักษณะของงานเจียรไน ได้ดังนี้

1) การเจียรไนขึ้นรูปด้วยงานเจียร 8" ความเร็วตัดผันแปรตามตำแหน่งที่ทำการเจียร พนักงานใช้งานเจียรที่บริเวณตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. ถึง 180 มม. (ระหว่างบริเวณเส้นประ) ดังรูปที่ 4.4

2) การเจียรไนละเอียดด้วยงานคีมุก 6" จะมีการใช้บริเวณการเจียรไนเป็นพื้นที่วงแหวนเส้นประ (ดังรูปที่ 4.4) เช่นเดียวกับ การเจียรตัดด้วยงาน 8" กล่าวคือใช้บริเวณตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. ถึง 155 มม. ดังนั้นความเร็วตัดจะผันแปรไปตามจุดที่ใช้เจียรไน เมื่อทำการคำนวณความเร็วตัดของการเจียรไนทั้งสองแบบแล้ว จะได้ความเร็วตัดของการเจียรไน 4 ระดับ โดยแต่ละความเร็วตัดจะมีการผันแปรเป็นช่วง ดังตารางที่ 4.2 ส่วนรายละเอียดของการเจียรไน ในที่นี้อธิบายเป็น 2 ประเด็นได้แก่ กระบวนการเจียรไนในปัจจุบันกับขั้นตอนการเจียรไนอัจฉริยะ



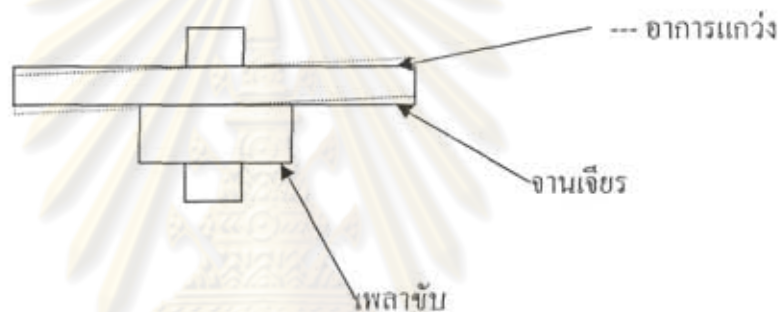
รูปที่ 4.4 บริเวณการเจียรไนที่พนักงานใช้ปัจจุบัน (ระหว่างเส้นประ)

ตารางที่ 4.2 ความเร็วตัดของการเจียรไน

ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	
	งานเจียรไน 6" (ที่ \varnothing 75 มม. - \varnothing 155 มม.)	งานเจียรไน 8" (ที่ \varnothing 75 มม. - \varnothing 180 มม.)
2,050	483 - 998	483 - 1,160
2,650	624 - 1,290	624 - 1,498
2,870	676 - 1,397	676 - 1,623
3,700	872 - 1,801	872 - 2,092

4.3 ข้อเสียเปรียบของเครื่องเจียรระไนปัจจุบัน

1. ความเร็วสูงสุด ประมาณ 3,700 รอบต่อนาที และไม่สามารถปรับความเร็วได้อย่างต่อเนื่อง
2. การส่งกำลังที่ใช้มู่เล่ โคช ที่มู่เล่มอเตอร์เป็น มู่เล่ชั้นแบบ 2 ชั้น เป็นการปรับความเร็วรอบเป็นจังหวะ ทำให้ไม่สามารถปรับเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่อง
3. การใช้สายพานพลาสติกกลมทำให้เกิดการฉีก ไถล รวมทั้งสายพานมีการยืดตัวได้ง่าย ทำให้การส่งกำลังไม่ดีเท่าที่ควร
4. งานเจียรระไนมีความไม่สมดุล มีอาการแกว่งตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ของงานเจียรระไน เมื่อทำการวัดระยะแกว่งพบว่ามีค่าถึง 0.100 มม. ถ้ายังหมุนด้วยความเร็วรอบสูงจะเกิดอาการสั่นสะท้านมากตามขึ้นไป



รูปที่ 4.5 อาการแกว่งของเพลาชับและจานเจียรระไน

4.4 แนวทางการพัฒนาเครื่องเจียรระไนอัจฉริยะ

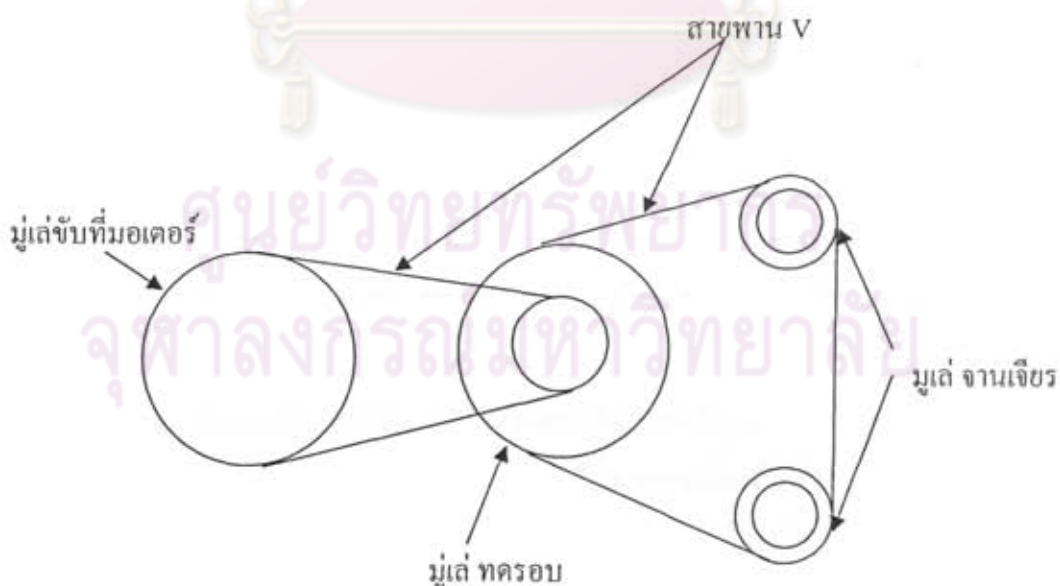
การสร้างต้นแบบเครื่องเจียรระไนอัจฉริยะที่ใช้ความเร็วสูงที่โดยมีสมบัติของเครื่องที่จะพัฒนาดังนี้

1. ความสามารถในการทำความเร็วรอบ คือตั้งแต่ 10,000 ถึง 15,000 รอบต่อนาที
2. ความสามารถในการปรับความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่อง (Variable Speed) คือ ตั้งแต่ศูนย์ถึงความเร็วสูงสุด โดยมีอุปกรณ์วัดความเร็วรอบที่หมุนได้ พร้อมทั้งสามารถปรับตั้งรอบตามที่ต้องการได้สะดวก
3. การส่งกำลังที่แบบตรง (Direct Drive) เพื่อให้ได้กำลังขับที่มีการสูญเสียกำลังน้อยลดการสั่นสะเทือนเนื่องจากมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว ทำให้เกิดประสิทธิภาพของการเจียรระไนสูง
4. ความเที่ยงตรงของงานเจียรระไน รวมทั้งการแกว่งน้อยที่ความเร็วสูงๆ

4.5 การทดสอบแนวทางการพัฒนาเครื่องเจียรในอัญมณีโดยใช้ความเร็วสูง

4.5.1 การดำเนินการปรับปรุงเครื่องเจียรในอัญมณีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

- 1) เปลี่ยนมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 1 เท่า โดย เปลี่ยนมอเตอร์เป็น ชนิด Induction ขนาด 1/4 แรงม้า ชนิด 2 ขั้ว (2P) ใช้ไฟ 220/380 V 3 เฟส ความเร็วรอบ 2,800 รอบต่อนาที
- 2) เพิ่มชุดมูเล่ขับ และส่งกำลังใหม่โดยให้มีอัตราทดเพิ่มขึ้นเป็น 2:1 ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วรอบได้ 1 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.6
- 3) เปลี่ยนเป็น สายพานแบบตัว V ที่สามารถส่งกำลังได้ดีกว่า
- 4) ติดตั้งระบบปรับความเร็วแบบต่อเนื่อง (Variable Speed Controller) โดยใช้ ระบบ Investor ที่มีลักษณะการปรับความถี่กระแส ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ทำให้สามารถปรับความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 0 - 3200 รอบต่อนาที การควบคุมมีปุ่มหมุนปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่รอบต่ำถึงรอบสูงเกินกว่าความเร็วปกติ (2800 รอบต่อนาที) ไปอีก 10% การควบคุมสามารถปรับให้ตั้งที่ ความถี่ที่ระดับต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง
- 5) ทำการแก้ไข โดยการกลึงหน้าคัมเพลขาขับใหม่ให้มีความสมดุลและนิ่งมากขึ้น ดังรูปที่ 4.5 คือ แกว่งตามเส้นประ เมื่อทำการวัดระยะแกว่งพบว่ามามีค่าถึง 0.100 มม ถ้ายังหมุนด้วยความเร็วรอบสูงจะเกิดอาการสั่นสะท้านมากตามขึ้นไป



รูปที่ 4.6 ระบบส่งกำลังที่ปรับปรุงใหม่

4.5.2 การทดสอบเครื่อง

- 1) ทดสอบการหมุนที่ความเร็วต่างๆ โดยทำการปรับความถี่ของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ และทำการวัดความเร็วรอบของงานเจียรระไนที่หมุนจริง โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบแบบแสงอินฟราเรด พร้อมทั้งบันทึกค่าความเร็ว ได้ผลการปรับตั้งและวัดความเร็วของเครื่องดังแสดงในตารางที่ 4.3
- 2) การทดสอบระยะแกว่งของงานเจียรระไนหลังได้ทำการปรับปรุง พบว่าระยะแกว่งของงานเจียรระไนได้ลดลงจากเดิม 0.100 มม. เหลือ 0.02 มม.
- 3) การตรวจสอบว่างานหมุนมีอาการสะท้านมือเวลาตัดเจียรหรือไม่ ปรากฏว่าเมื่อทำการหมุนที่ความเร็วรอบสูงๆ ขึ้น อาการสะท้านมือมีการลดลง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความเร็วรอบของเครื่อง

ค่าที่แสดงบนตัว INVERTOR (Hz)	ค่าความเร็วที่วัดได้ (รอบต่อนาที)	ความเร็วตัดสูงสุด (เมตรต่อนาที)	
		งานเจียรระไน 6 นิ้ว	งานเจียรระไน 8 นิ้ว
10	3,000	1,460	16,90
15	4,400	2,140	2,480
20	6,000	2,920	3,390
25	7,500	3,650	4,240
30	9,000	4,380	5,090
35	10,500	5,110	5,940
40	12,000	5,840	6,785
45	13,000	6,330	7,350
50	14,500	7,060	8,200
55	15,500	7,540	8,765

4.5.3 การทดลองความเป็นไปได้ในการใช้การเจียรระไนความเร็วสูง

ได้ทำการทดลองเจียรระไน โดยให้พนักงานที่เจียรระไนพลอยชนิดหนึ่งที่เรียกว่าพลอยไฮโดร โดยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบไปที่ความเร็วต่างๆ ปรากฏว่า โดยทำการปรับตั้งความเร็วรอบที่ประมาณ 9000 รอบต่อนาที (มากกว่าการเจียรระไนแบบเดิม 3 เท่า) โดยใช้แผ่นเจียรระไน ผงขัดและพนักงานที่เหมือนกันทุกประการดังรายละเอียดตารางที่ 4.4 ผลปรากฏว่า เวลาเฉลี่ยของการเจียรระไนน้อยลง ในขณะที่คุณภาพผิวไม่มีแตกต่างไปจากเดิม ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 สภาวะและเงื่อนไขการทดลองเบื้องต้น

วัสดุงาน	ฟลอยไฮโดร ขนาด 8 มม.
ลักษณะการเจียรระโน	เจียรระโนตัดเหลี่ยมด้านบน
งานเจียรระโนขึ้นรูป	แผ่นเจียรระโน Diamond Bonded Plate ขนาด 8" #1200 Mesh
งานเจียรระโนละเอียด	งานตีบุก ขนาด 6"
ผงขัด	Diamond Abrasive 0.5 μm
ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	3700 (แบบเดิม) 9000 (แบบพัฒนา)

ตารางที่ 4.5 เวลาเฉลี่ยของการเจียรระโนของฟลอยไฮโดรขนาด 8 มม. เฉพาะด้านบน และเจียรละเอียดขัดเงา

	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	เวลาเฉลี่ยของการเจียรระโน ต่อชิ้น (นาที)
การเจียรระโนแบบเดิม	3,700	1.35
การเจียรระโนความเร็วสูง	9,000	1.12

การออกแบบเครื่องเจียรระโนอัตโนมัติความเร็วสูง และการสร้างได้นำเสนอไว้ในบทที่ 5 ส่วนบทที่ 6 เป็นการทดสอบสมรรถนะของคั่นแบบ และบทที่ 7 แสดงรายละเอียดของการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การออกแบบต้นแบบเครื่องเจียรในอัญมณีความเร็วสูง

5.1 การออกแบบต้นแบบเครื่องเจียรในอัญมณีความเร็วสูง

ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการออกแบบเครื่องเจียรในได้แก่

1. รูปร่าง ขนาด ของเครื่องเจียรใน

เครื่องต้นแบบเจียรในอัญมณีความเร็วสูง จะต้องมีลักษณะ รูปร่าง ขนาด ที่จะนำมาทำงานในการเจียรใน โดยจะต้องเป็นเครื่องที่ไม่ใหญ่จนเกินไป สะดวกในการใช้งาน และสามารถควบคุม ปรับความเร็วรอบได้ คิดว่าเครื่องที่มีอยู่แล้ว ความสูงของเครื่องควรอยู่ในระดับที่สามารถนั่งทำงานได้สะดวก คือ ความสูงของพื้น โต๊ะควรอยู่ระหว่าง 70-100 ซม.

2. ต้นทุนในการผลิตเครื่องเจียรใน

การพัฒนาเครื่องต้นแบบเจียรในอัญมณีนั้น ต้องคำนึงถึงต้นทุนในการสร้างซึ่งอาจจะต้องใช้งบประมาณสูง แต่เมื่อเราพิจารณาถึงส่วนประกอบต่างๆ จะมีส่วนประกอบที่สามารถจัดหาได้ในประเทศ และบางชิ้นต้องมีการจัดหามาจากต่างประเทศซึ่งอาจมีราคาสูง แต่ส่วนประกอบโดยรวมจะมีราคาค่อนข้างต่ำเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่จัดทำขึ้นเองหรือหาซื้อได้ตามท้องตลาด ตามหลักการแล้วต้นทุนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนจากอุปกรณ์ที่ต้องเป็นตัวต้นแบบ ต้นทุนจากเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้สนับสนุนในการสร้าง และต้นทุนค่าแรง แต่เนื่องจากว่าในการคิดต้นทุนเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการสนับสนุนการสร้างอาจมาสามารถประเมินได้ถูกต้องชัดเจน เนื่องจากเครื่องจักรและอุปกรณ์หลายอย่างมีอยู่แล้ว ดังนั้นจึงขอสรุปว่าค่าใช้จ่ายในการสร้างเฉพาะส่วนที่เป็นอุปกรณ์และค่าแรงที่ว่าข้าง รวมแล้วมีราคาไม่สูง สามารถจัดหาและจัดสร้างได้ง่ายทั่วไป

3. วัสดุที่เลือกใช้ในการผลิต

ในการประดิษฐ์สิ่งต่างๆ ขึ้นในทางวิศวกรรม สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ คุณสมบัติของวัสดุที่จะต้องใช้ในการผลิตเครื่องจักรอุปกรณ์ต่าง ถ้าเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมอาจก่อความเสียหายในด้านทรัพย์สินและชีวิต ซึ่งอาจจะรวมไปถึงการเปรียบเทียบวัสดุว่าเกรดนั้น ประเภทนั้นมีความเหมาะสมเพียงใด ทั้งในเรื่องต้นทุนในการซื้อวัสดุหรือคุณสมบัติของวัสดุว่าวัสดุนั้นคืออะไร ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วัสดุ ค่าความเชื่อถือ ความเหมาะสมในการทำงานทั้งการรับสภาวะงานต่างๆ ที่เกิดขึ้นซึ่งต้องพิจารณาวัสดุที่ใช้ในการประดิษฐ์ อย่างละเอียด เพื่อที่จะได้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะกับการใช้งาน

4. การคำนวณหาแรงต่างๆที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงาน

ในการเจียรไนอัญมณีนั้น ย่อมจะต้องเกิดแรงเฉือน และ โมเมนต์ต่างๆ เช่น แรงกด แรงดัน และแรงบิด เป็นต้น ซึ่งจะต้องทำการคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะทำการออกแบบให้รองรับสภาวะต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ ความสิ้นสะท้อน ได้

5. หลักการทำงานของเครื่องเจียรไนอัญมณี

เครื่องเจียรไนอัญมณี มีหลักการทำงาน คือ ตัวเครื่องจะประกอบด้วย ล้อหินเจียรไน จำนวน 2 ล้อ จะขับ และ ส่งกำลังโดยมอเตอร์ จำนวน 2 ตัว ซึ่งล้อหินเจียรไน จะถูกทำให้หมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงตั้งแต่ 0 ถึง 15,000 รอบต่อนาที โดยมีตัวปรับความเร็วรอบ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบ ให้ได้ความเร็วตามที่กำหนด

6. การออกแบบภาพรวมของเครื่อง

ในการออกแบบจะใช้หลักการและทฤษฎีของเครื่องเจียรไน ซึ่งเป็นแนวทางในการออกแบบ ทำให้ได้ขนาดและรูปร่างของคันแบบเครื่องเจียรไนอัญมณี โดยคันแบบเครื่องเจียรไน จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ (1) ชุดเจียรไน และ (2) ส่วนที่เป็น โต๊ะเครื่องและชุดควบคุมความเร็วรอบ

(1) ชุดเจียรไน ทำหน้าที่ในการตัดเฉือนงานและติดตั้งงานเจียรไน ซึ่งชุดเจียรไนนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ตัวเครื่องโดยมีการออกแบบให้จับยึดงานเจียรไน 2 ขนาด คืองานเจียรไนขนาด 200 มม.และ 150 มม. ซึ่งตัวเครื่องนี้มีการออกแบบโดยการหล่อ โดยการใช้อลูมิเนียมในการหล่อเพื่อให้ได้น้ำหนักเบา และงานเจียรไนที่ประกอบบนตัวเครื่อง มี 2 ขนาด คืองานเจียรไนขนาด 200 มม.และ 150 มม.ซึ่งเป็นงานเจียรไน มีขนาดเบา และความหนาน้อย

(2) ส่วนที่เป็น โต๊ะเครื่องและชุดควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งโต๊ะทำงานออกแบบให้มีขนาดที่พอเหมาะในการทำงานซึ่งใช้ในการทำงานแบบนั่ง เป็นการเหมาะในการเจียรไนซึ่งต้องใช้เวลาในการทำงานเป็นเวลานาน จึงออกแบบให้มีความสูงของระนาบพื้น โต๊ะพอดีกับลักษณะการทำงานของพนักงาน โดยคำนึงถึงความสูงนั่งระดับสอดคล้องตามหลักการการยศาสตร์ (Ergonomics) ส่วนชุดปรับควบคุมความเร็วรอบ ได้มีการออกแบบให้มีลักษณะการปรับความเร็วรอบที่เรียบง่ายในการใช้งานและสะดวก

ซึ่งในการออกแบบเครื่องเจียรไนอัญมณียังสามารถถอดประกอบงานเจียรไนได้ง่ายและสามารถทำการบำรุงรักษาได้สะดวก รายละเอียดของแบบ (drawings) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

5.2 การสร้างเครื่องต้นแบบ

การจัดหาวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องเจียรในอัญมณี ตามที่ออกแบบไว้

โครงสร้างของเครื่องเจียรในอัญมณีที่สำคัญประกอบไปด้วย

- ตัวเครื่อง
- ฐานเครื่อง
- ชุดเพลลาขับ
- มอเตอร์ไฟฟ้าและตัวปรับความเร็วรอบ
- ชุดหล่อเย็น

วัสดุอื่นๆ ที่นอกเหนือจากนี้ ในการประดิษฐ์เครื่องเจียรในอัญมณี ที่หาซื้อได้ทั่วไป ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการทำไม่สูง รายละเอียดการสร้างต้นแบบเครื่องมีดังต่อไปนี้

5.2.1 ตัวเครื่อง

ตัวเครื่องทำหน้าที่จับยึดงานเจียรในและแกนหมุนงานในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุนั้น จะเปรียบเทียบระหว่างเหล็ก กับ อะลูมิเนียมผสม อะลูมิเนียมผสม ง่ายต่อการผลิตชิ้นส่วนโลหะ อะลูมิเนียมมีคุณสมบัติด้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็ก น้ำหนักหรือความถ่วงจำเพาะ อะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบากว่าเหล็กมาก ทำให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย จึงทำการเลือกอะลูมิเนียมผสม โดยใช้กรรมวิธีการหล่อโลหะ เนื่องจากรูปร่างของตัวเครื่องมีความซับซ้อน ทำให้ใช้กรรมวิธีการหล่อจะทำได้ง่ายกว่ากรรมวิธีอื่น

ขั้นตอนในการสร้างตัวเครื่อง อธิบายได้ดังนี้

1. การทำแบบกระสวนงานหล่อ (Casting Pattern)

แบบกระสวนงานหล่อ (Casting Pattern) หมายถึง แบบที่ใช้ในการสร้างแบบทราย โดยแบบจำลองจะมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานจริง โดยจะเผื่อขนาดเพิ่มเติมให้ใหญ่ขึ้น เพื่อแก้ไขการหดตัว และ เผื่อการกลิ้งไส ชนิดของแบบกระสวนที่เลือกเป็นแบบไม้ ขึ้นเดียว เพราะง่ายต่อการหล่อ และ ถอดแบบ ในการหล่ออะลูมิเนียมจะต้องมี ส่วนขยายแบบจำลอง (Pattern allowance) เพื่อชดเชยการหดตัว ส่วนที่จะต้องมีการกลิ้งไสออก ส่วนขยายเพื่อการแก้ไขการถอดแบบ และส่วนเพิ่มเติมเพื่อการแก้ไขปัญหาต่างๆ ส่วนขยายเพื่อชดเชยการหดตัวของอะลูมิเนียม จะเผื่อขนาดสำหรับหดตัว 14 มม. ต่อ เมตร ส่วนขยายเพื่อชดเชยการกลิ้งไส จะเผื่อขนาดความหนาขึ้นกับลักษณะผิวงานสุดท้ายที่ต้องการ โดยทั่วไป จะเผื่อขนาดไว้ 3- 18 มม. ส่วนขยายเพื่อการแก้ไขการถอดแบบ จะเผื่อไว้เพื่อการแก้ไขการถอดแบบ ซึ่งจะเผื่อเป็นเทเปอร์ (Taper) โดยผิวด้านนอกจะเผื่อเทเปอร์ไว้ประมาณ 10-20 มม. ต่อความสูง 1 เมตร แต่ถ้าผิวด้านใน อาจจะเผื่อมากถึง 60 มม. ต่อความสูง 1 เมตร

2. การหล่อตัวเครื่องอะลูมิเนียมผสม

การหล่ออะลูมิเนียมผสม ได้ดำเนินการจัดจ้าง โรงงานหล่อ โลหะเป็นผู้ดำเนินการ ลักษณะเป็นการหล่อโดยใช้แบบทราย และการหลอมอะลูมิเนียมผสม จะต้องเตรียมเตาที่ใช้ในการหลอม ซึ่งเตาที่ใช้ในการหลอม คือ เตาครุซิบิล (Crucible Furnace) ที่ใช้ในการเทน้ำโลหะลงแบบที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส การแกะแบบ และตักแต่งผิวของอะลูมิเนียมผสม โดยการแกะแบบนั้นจะต้องปล่อยให้โลหะเย็นตัวทั้งหมดก่อน เมื่อแกะแบบเสร็จแล้วทำการตักแต่งผิวของตัวเครื่องเรียบร้อยแล้ว

3. การตัดแต่งด้วยเครื่องจักรกล

การตัดแต่งผิวหน้าด้านบนของตัวเครื่องโดยใช้เครื่องจักรกล ทำการปาดหน้าให้เรียบ จากนั้นทำการเจาะรูเพื่อที่จะต่อเพลลาของเครื่องกับงานเจียรไน รวมทั้งตัวยึดต่างๆ ในการนี้ ได้ดำเนินการจัดจ้างภายนอกเป็นผู้ดำเนินการ

5.2.2 ฐานเครื่อง

ฐานเครื่อง ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักโดยเลือกวัสดุที่เป็นเหล็กกล้า เพราะมีความแข็งแรง ทน ซึ่งฐานเครื่องจะประกอบไปด้วย เหล็กกล้าปล่องตรงกลางสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 10X10 มม. ซึ่งแบ่งดังนี้ ขนาด 60 ซม. จำนวน 3 ชั้น ขนาด 50 ซม. จำนวน 4 ชั้น ขนาด 75 ซม. จำนวน 4 ชั้น โดยการทำการเชื่อมประสานด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า ให้ได้โต๊ะที่เป็นฐานเครื่อง สี่เหลี่ยมกว้าง ด้านหน้า และ ด้านหลัง 80 ซม. ด้านข้าง 70 ซม. ความสูง 75 ซม.

5.2.3 ชุดเพลลาขับ

ชุดเพลลาขับประกอบด้วย เพลลาขับ ปลอกเพลลาขับ ลูกปืนแบริ่ง ซึ่งจะประกอบเข้ากับตัวเครื่อง เพลลาขับทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลัง ไปยังงานเจียร เพลลาขับทำมาจากวัสดุเหล็กกล้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 59 มม. และยาว 172 มม. ส่วนปลอกออกแบบไว้จับยึดงานเจียร ส่วนตัวปลอกเพลลาขับ ทำมาจากวัสดุทองเหลืองสำหรับประกอบเพลลาขับและตัวลูกปืนแบริ่งเข้ากับปลอกเพลลาขับ

5.2.4 ชุดมอเตอร์ไฟฟ้าและตัวปรับความเร็วรอบ

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนส่งกำลังไปยังเพลลาขับ มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสสลับขนาด 1.6 กิโลวัตต์ เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบมาใช้งานที่ความเร็วสูง จำนวน 2 ตัว และสำหรับตัวปรับความเร็วรอบเป็นตัวปรับความเร็วแบบลดความถี่ ใช้หลักการที่เรียกว่า INVERTOR (INVERTOR-SPEED CONTROLLER) มีความสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นอุปกรณ์ที่จัดหาซื้อในประเทศ

5.2.5 ชุดหล่อเย็น

ชุดหล่อเย็นเป็นชุดสำหรับจ่ายน้ำหล่อเย็น ในขณะที่เจียรไนประกอบด้วย ป้อนน้ำหล่อเย็น ดังเก็บน้ำหล่อเย็น วาล์วปิด-เปิด และหัวพ่น ป้อนน้ำหล่อเย็นมีขนาด 100 วัตต์ 0.31 แอมแปร์ 220 โวลต์



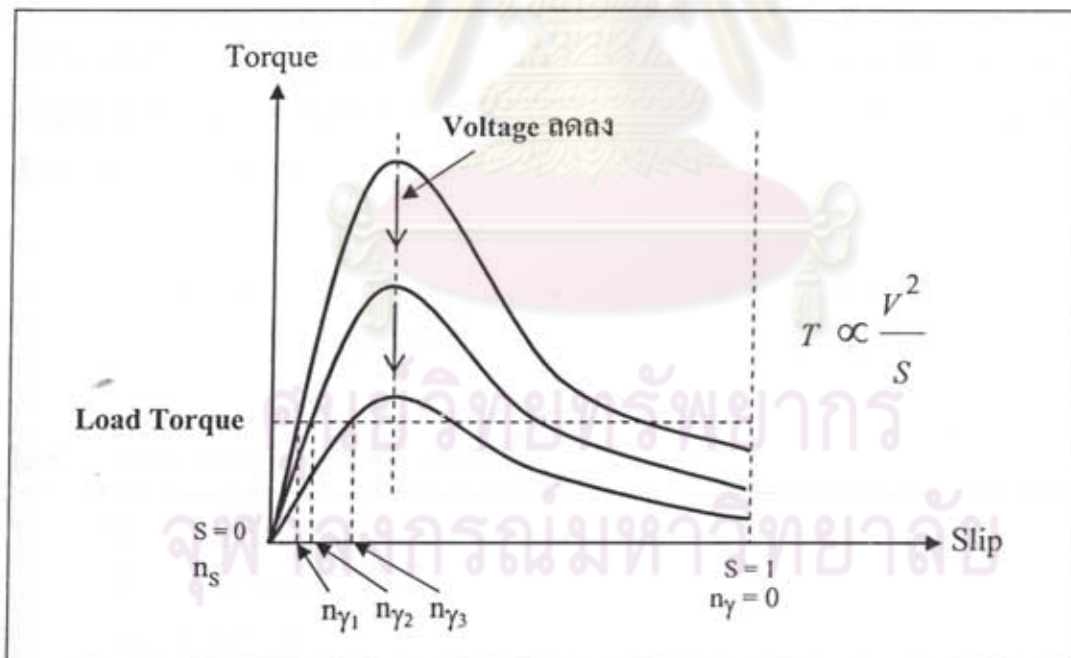
บทที่ 6

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบเครื่องเจียรในอัญมณีความเร็วสูง

ในบทนี้จะอธิบายถึงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบเครื่องเจียรในอัญมณีความเร็วสูง เพื่อที่จะทดสอบถึงด้านการเคลื่อนไหว ความเร็วรอบและความเร็วตัด ความสัมพันธ์กัน โดยทดสอบหาระยะแกว่งของงานเจียรใน ว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยรายละเอียดในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

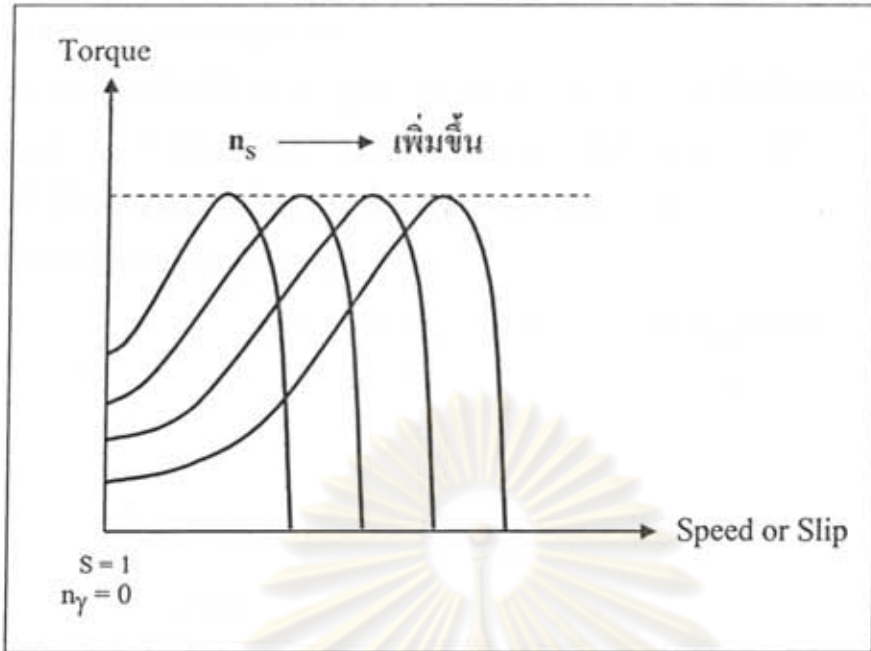
6.1 ประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

ในการหาประสิทธิภาพจะต้องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ได้ตั้งแต่ 0-20,000 รอบ/นาที เนื่องจากความเร็วรอบมีผลต่อแรงบิด และแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามกำลังที่สองของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวด สเตเตอร์ ถ้าแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจะทำให้แรงบิด (Slip-Torque) เปลี่ยนไป ในขณะเดียวกันความเร็วรอบของมอเตอร์ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังแสดงในรูป 6.1



รูปที่ 6.1 Slip - Torque เมื่อลดแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์

เมื่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ได้ ในขณะที่มอเตอร์มีความเร็ว (Speed) เพิ่มขึ้นนั้น ก็จะสังเกตได้ว่า แรงบิด (Torque) มีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ Speed – Torque เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์เพิ่มขึ้น

ในการหาประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลนั้นเป็นการหาอัตราส่วนระหว่างกำลังส่งออกกับกำลังส่งเข้า กำลังที่สูญเสียไปของเครื่องนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุ ได้แก่ ความฝืด การระบายความร้อนและความต้านทานไฟฟ้า ทั้งนี้อัตราส่วนระหว่างกำลังส่งออกกับกำลังส่งเข้า เรียกว่า ประสิทธิภาพ (η) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังส่งออก}}{\text{กำลังส่งเข้า}} \quad \text{หรือ} \quad \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

โดยที่ ความหมายของสัญลักษณ์แสดงได้ดังนี้

η = ประสิทธิภาพ

P_{ab} = กำลังส่งออก

P_{zu} = กำลังส่งเข้า

หมายเหตุ กำลังที่ส่งออกจะน้อยกว่ากำลังที่ส่งเข้าเสมอ

ดังนั้นประสิทธิภาพ ย่อมมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ($\eta < 1$)

ประสิทธิภาพ η ไม่มีหน่วย

แต่กำหนดให้ในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้ เช่น $\eta = 0.8$ หรือ 80 % เป็นต้น

6.1.1 รายการแสดงการคำนวณ

ในการสร้างเครื่องได้ใช้มอเตอร์เฟสเดียว คือชนิด ยูนิเวอร์แซล ซึ่งมีกำลังมอเตอร์ 1.6 kW ความถี่ของมอเตอร์ คือ 50 – 70 Hz และจำนวนขั้วแม่เหล็กในขดลวดไฟฟ้า (P) ซึ่งมีอยู่ 4 ขั้ว กระแสไฟฟ้าที่ใช้คือ 7 แอมแปร์ การคำนวณต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

หาความเร็วของโรเตอร์ (n_r)

$$n_s = \frac{1.6 \text{ kW} \cdot f}{P} = \frac{1.6 \text{ kW} \times 50 \text{ Hz}}{4}$$
$$= 20000 \text{ rpm}$$

$$n_r = (1 - S) n_s$$

$$n_r = (1 - 0.05) 20000$$

ดังนั้น $n_r = 19000 \text{ rpm}$

กำลังไฟฟ้าอินพุต

$$P_{in} = VI \cos \theta$$
$$= (220 \text{ V}) (7 \text{ A}) (0.635)$$

ดังนั้น $P_{in} = 977.9 \text{ W}$

หาค่ากำลังไฟฟ้า $P_r = 1103 \text{ W} - 65.58 \text{ W}$

ดังนั้น $P_r = 1037.4 \text{ W}$

หาค่าของ P_m

จากสมการ $P_m = (1 - S) P_r$

$$= (1 - 0.05)(1037.4 \text{ W})$$

ดังนั้น $P_m = 985.53 \text{ W}$

หาค่าของ T_d

จากสมการ $T_d = \frac{P_r}{n_s} = \frac{1037.4 \text{ W}}{20000}$

ดังนั้น $T_d = 0.052 \text{ N-m}$

หาค่า P_{out}

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } P_{out} &= P_m - \text{กำลังสูญเสียรวมในโรเตอร์} \\ &= 985.53 \text{ W} - 80 \text{ W} - 32 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } P_{out} = 873.53$$

$$\text{หาค่า } T_m = \frac{P_{out}}{nr} = \frac{873.53 \text{ W}}{19000}$$

$$\text{ดังนั้น } T_m = 0.046 \text{ N-m}$$

หาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)

$$\begin{aligned} \% \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{873.53 \text{ W}}{977.9 \text{ W}} \times 100\% \end{aligned}$$

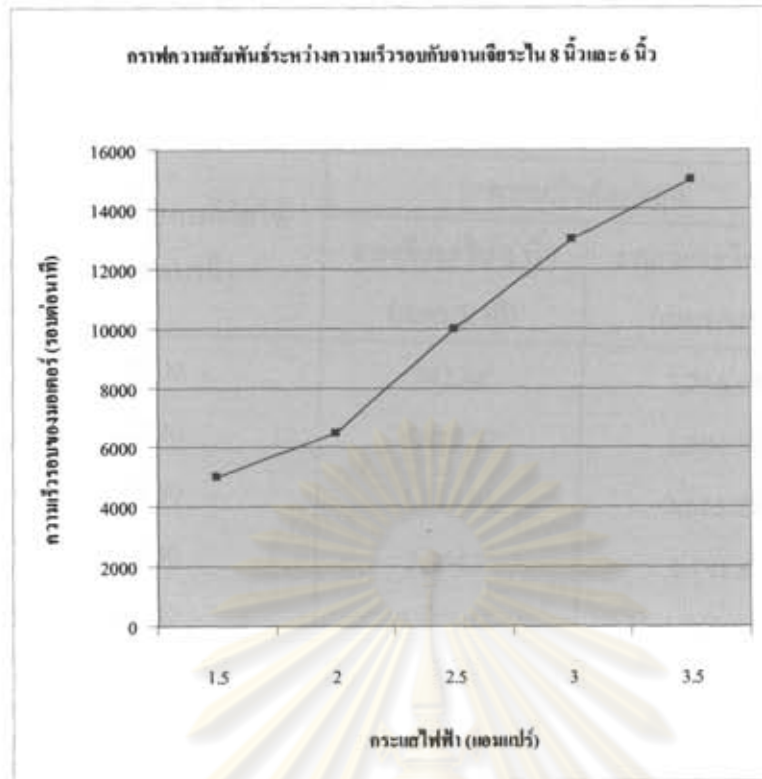
$$\text{ดังนั้น } \% \eta = 89.33\%$$

จากการคำนวณสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 89.33 %

ส่วนในการทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนงาน
เจียร์ไนซึ่งมีหน่วยเป็น รอบ/นาที(rpm) กับกระแสไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในตัวมอเตอร์มี
กระแสไฟฟ้า 7.7 แอมแปร์ ซึ่งความเร็วรอบจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า ($N \propto A$) จากการ
ทดสอบได้ค่าการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้า (A)

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบต่อนาที, rpm)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, A)
5,000	1.5
6,500	2
10,000	2.5
13,000	3
15,000	3.5



รูปที่ 6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับงานเฉื่อยใน 8 นิ้วและ 6 นิ้ว

จากข้อมูลในตารางหาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าจึงนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 6.3 เมื่อได้ความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงทำการทดสอบความเร็วรอบและความเร็วตัดต่อไป

6.2 การทดสอบความเร็วรอบและความเร็วตัด

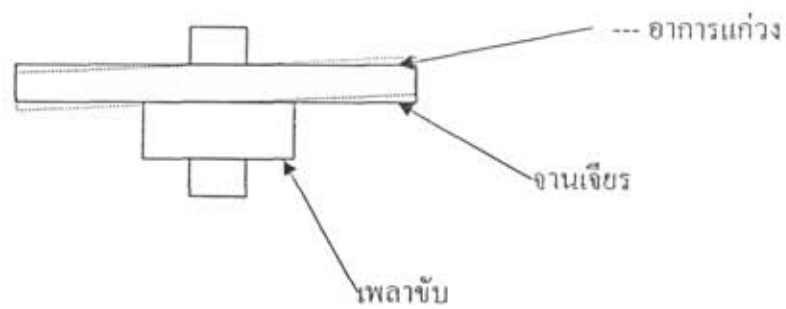
การทดสอบการหมุนที่ความเร็วต่างๆ โดยทำการปรับความถี่ของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ และทำการวัดความเร็วรอบของงานเฉื่อยในที่หมุนจริง โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบแบบสัญญาณเหนี่ยวนำ พร้อมทั้งบันทึกค่าความเร็ว ได้ผลการปรับตั้งและวัดความเร็วของเครื่องดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบความเร็วรอบของเครื่อง

ค่าความเร็วรอบที่วัดได้ (รอบต่อนาที)	ความเร็วตัดสูงสุด	
	งานเจียรใน 6 นิ้ว (เมตร/นาที)	งานเจียรใน 8 นิ้ว (เมตร/นาที)
2,000	942.48	1,256.64
3,000	1,413.72	1,884.96
4,000	1,884.96	2,513.28
5,000	2,356.2	3,141.6
6,000	2,827.44	3,769.92
7,000	3,298.68	4,398.24
8,000	3,769.92	5,026.56
9,000	4,241.16	5,654.88
10,000	4,712.4	6,283.2
11,000	5,183.64	6,911.52
12,000	5,654.88	7,539.84
13,000	6,126.12	8,168.16
14,000	6,597.36	8,796.48
15,000	7,068.6	9,424.8

6.3 การทดสอบระยะแกว่งของงานเจียรใน

การทดสอบการแกว่งตัวของงานเจียรใน เพื่อตรวจสอบว่า งานเจียรในเมื่อหมุนแล้ว จะต้องไม่มีการแกว่งตัวที่จะส่งผลให้เกิดการสันเสียดัน ที่มีผลต่อการเจียรในได้ การทดสอบได้ใช้เครื่องทดสอบ Dial Test Indicator วัดระยะที่งานขนาด 200 มม. และดูค่าการแกว่งตัวไปของงานในหนึ่งรอบการหมุน ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 อาการแกว่งของเพลาลูกและจานเจียรระโน

ผลการทดสอบพบว่าระยะแกว่งของจานเจียรระโนได้มีค่าไม่เกิน 0.01 มม. ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 6.3 ผลทดสอบระยะแกว่งของจานเจียรระโน

การทดสอบครั้งที่	ระยะแกว่ง (มม.)
1	0.01
2	0.01
3	0.01
4	0.01
5	0.01
เฉลี่ย	0.01

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การทดลองและการประเมินผล

ในบทนี้จะอธิบายถึงการนำต้นแบบไปทดลองการใช้งานเจียรระโนและทำการประเมินผล การทดลอง ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1 ขั้นตอนการทดลองการทำงานของต้นแบบเครื่องเจียรระโนอัญมณีความเร็วสูง

ในการทดลองได้ทำการทดลองเจียรระโนอัญมณีด้วยต้นแบบที่สร้างขึ้นที่โรงงานผลิต อัญมณีและเครื่องประดับ โดยทำการทดลองกับการเจียรระโนอัญมณี โดยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอน ได้ดังต่อไปนี้

- 1) การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดผล
 - 2) การออกแบบการทดลอง
 - 3) ดำเนินการทดลอง
 - 4) วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล
- รายละเอียดต่างๆ แสดงได้ในหัวข้อต่อไป

7.2 พารามิเตอร์ของการเจียรระโน

พารามิเตอร์ของการเจียรประกอบไปด้วย 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ (1) ความเร็วของการเจียรระโน (Grinding speed) หรือความเร็วตัด (2) ขนาดของผงขัด (Abrasive grit size) ในการศึกษานี้ ได้ใช้ความละเอียดของงานเจียรระโนเงาเป็นตัวบอกความละเอียดของผงขัด และ (3) ความลึกของการเจียรระโน (Depth of grinding) รายละเอียดของระดับต่างๆ ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่ 7.3

7.3 อัญมณีที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้ได้ใช้อัญมณีคิวบิก เซอร์โคเนีย (Cubic Zirconia) เหตุผลที่เลือกอัญมณีนี้มาทำการทดลองเพราะว่า

- 1) ราคาของอัญมณีไม่สูงมากจนเกินไปที่จะนำมาทำการทดลอง
- 2) เป็นอัญมณีที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับอย่างแพร่หลาย
- 3) มีความสวยงามแวววาว โปรงแสง รูปร่างหน้าตาและคุณสมบัติภายนอกใกล้เคียงเพชร ยกเว้นค่าความแข็ง

- 4) อัญมณีที่นิยมในยุคก่อนมักเป็นแบบทึบแสง ดังนั้นการให้ความสำคัญของกระบวนการเจียรระไนสำหรับกับอัญมณีประเภทนี้น้อยกว่าอัญมณีคิวบิก เซอร์โคเนีย

ตารางที่ 7.1 คุณสมบัติของอัญมณีที่ใช้ในการทดลอง: Cubic zirconia

Hardness (Mohr)	6.5-8.5
Molecular Weight (g/mol)	123.223
Density (g/cc)	5.6- 5.9
Refractive Index (N_o , c-axis)	1.78-2.15
Fracture-toughness (MPa $m^{1/2}$)	1.6-2.5
Modulus of elastic (GPa)	210-233

7.4 การออกแบบการทดลอง

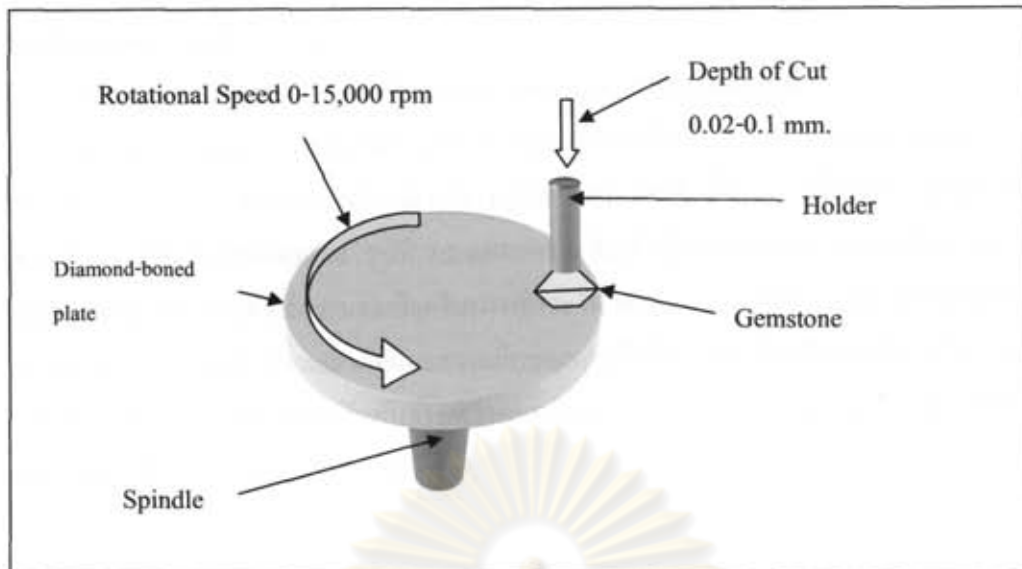
ในการออกแบบการทดลองได้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองเจียรระไนอัญมณี Cubic Zirconia ซึ่งรูปที่ 7.1 ได้แสดงภาพจำลองการทดลอง ซึ่งทำให้เข้าใจถึงการทดลองที่ชัดเจนขึ้น ส่วนรายละเอียดของเครื่องและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมในการทดลองและระดับของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 7.2 และตารางที่ 7.3

ความเร็วตัดที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 3,700 รอบต่อนาที ถึง 15,000 รอบต่อนาที เมื่อแปลงเป็นความเร็วตัดจะมีค่าตั้งแต่ 28 เมตรต่อวินาที ถึง 146 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ความลึกของการเจียรมีค่าตั้งแต่ 0.02 ถึง 0.10 มม. และขนาดของผงขัดมีค่าตั้งแต่ 600, 1000 และ 1500 mesh

ผลการทดลองได้ทำการวัดค่าความหยาบผิว (Roughness) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความเรียบของผิว และเวลาที่ใช้ในการเจียรระไน แล้วเกิดความแวววาว

จากการศึกษาได้พบว่า การแวววาวของผิวเกิดจากคุณภาพของการเจียรระไน การเจียรที่ได้เหลี่ยมมุมตามที่ต้องการ และมีคุณภาพของการเจียรให้ได้ผิวเรียบจะทำให้ผลงานการเจียรออกมาดี มีคุณภาพสูง และเป็นสิ่งที่ถูกต้องการ แต่ในการตรวจวัดความเรียบผิวนั้น ไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจากว่าไม่มีเครื่องมือวัดความเรียบผิวแต่มีเครื่องมือวัดความขรุขระ (Roughness) ค่าที่ได้จากการวัดความหยาบผิวหรือความขรุขระผิวสามารถอธิบายเรื่องความเรียบผิวได้ นั่นคือยิ่งมีความหยาบผิวมากแสดงว่าความเรียบผิวน้อย

การทดลองได้มุ่งเน้นที่การเจียรระนาบบน (Table) เพราะผลการเจียรระไนสามารถขยายผลไปยังการเจียรด้านล่างหรือด้านข้างต่อไปได้ เพียงแค่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งของการเจียรในเท่านั้น และตามปกติแล้วด้านระนาบบนเป็นส่วนที่ถูกให้ความสำคัญเป็นจุดแรก



รูปที่ 7.1 ภาพจำลองการทดลองเจียรระไนอัญมณีด้วยด้นแบบที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 7.2 รายละเอียดของด้นแบบเครื่องเจียรระไนอัญมณีความเร็วสูง
(Specifications of the machine and equipment)

Grinding Machine	Vertical Type
Grinding Plate	Diamond Electroplated Plate \varnothing 200 mm
Rotational Speed	0 – 15000 rpm
Work piece	Cubic Zirconia, CZ
Coolant	water based chemical solution

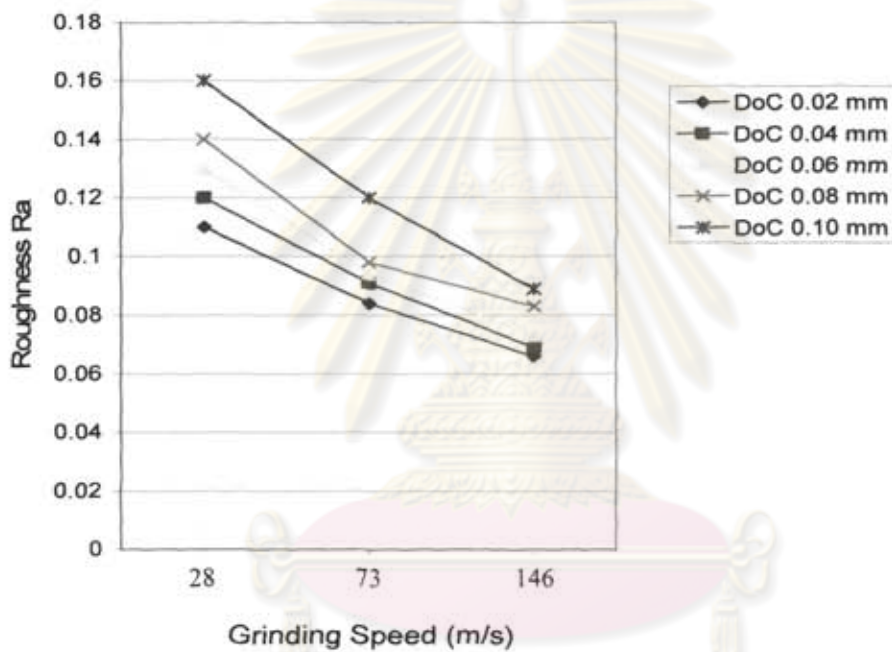
ตารางที่ 7.3 สภาวะเงื่อนไขของพารามิเตอร์ของการเจียรระไนที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าช่วง (Range)
ความละเอียดของการเจียรระไน (Grinding Plate in mesh)	600 1000 1500
ความเร็วในการตัด (Grinding Speed in m / s)	28-146
ความลึกของการตัด (Depth of Cut, DOC in mm)	0.02-0.1

7.5 ผลการทดลองและการประเมินผล

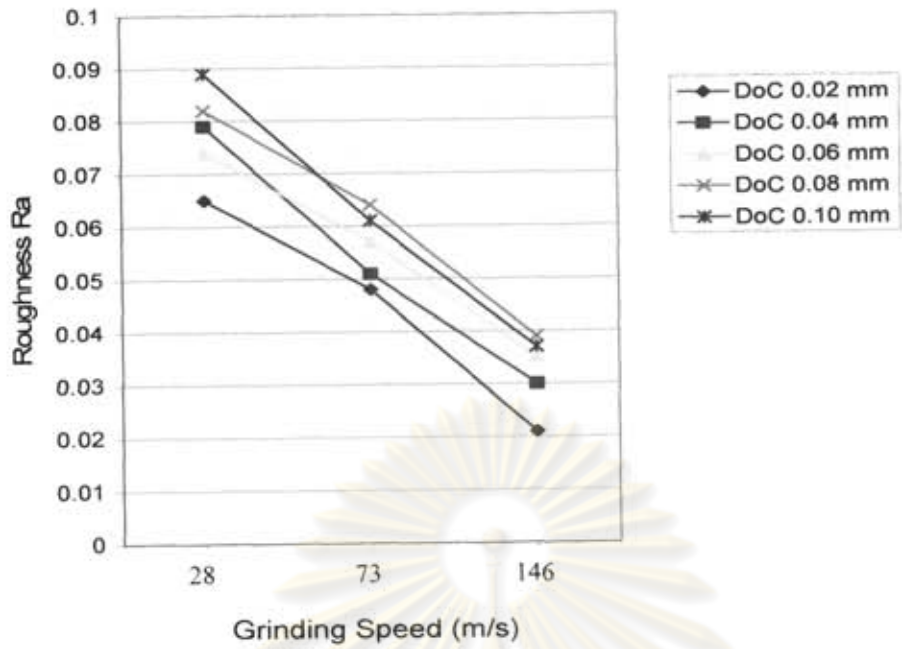
7.5.1 มุมมองความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัด

เมื่อทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวที่ได้เมื่อมีการปรับความเร็วตัด ผลการศึกษาพบว่า ความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น รวมทั้งความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความลึกในการตัดลดลง รูปที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรระนาบ 600 mesh รูปที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรระนาบ 1,000 mesh และรูปที่ 7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรระนาบ 1,500 mesh

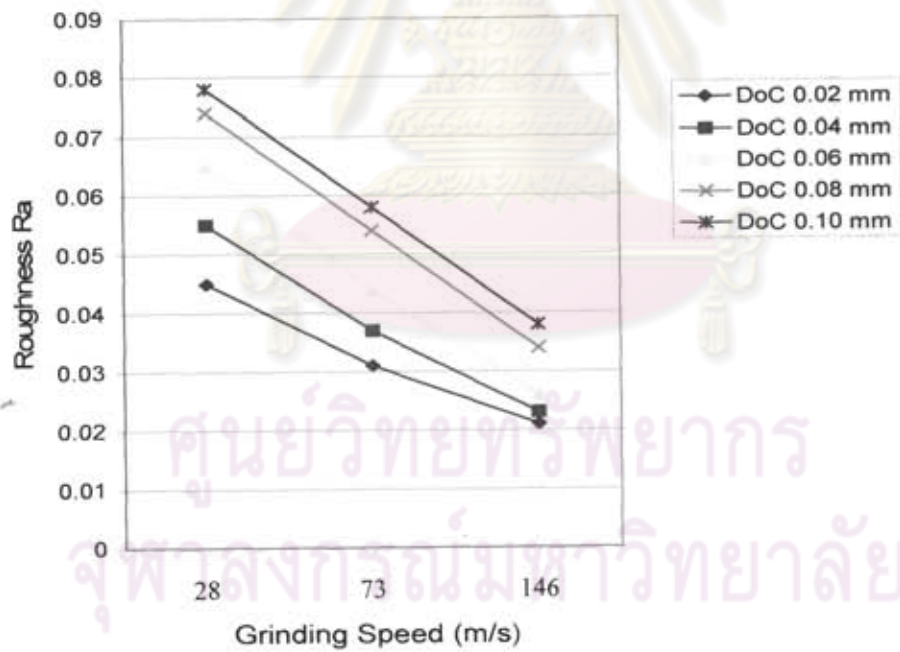


รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรระนาบ 600 mesh

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



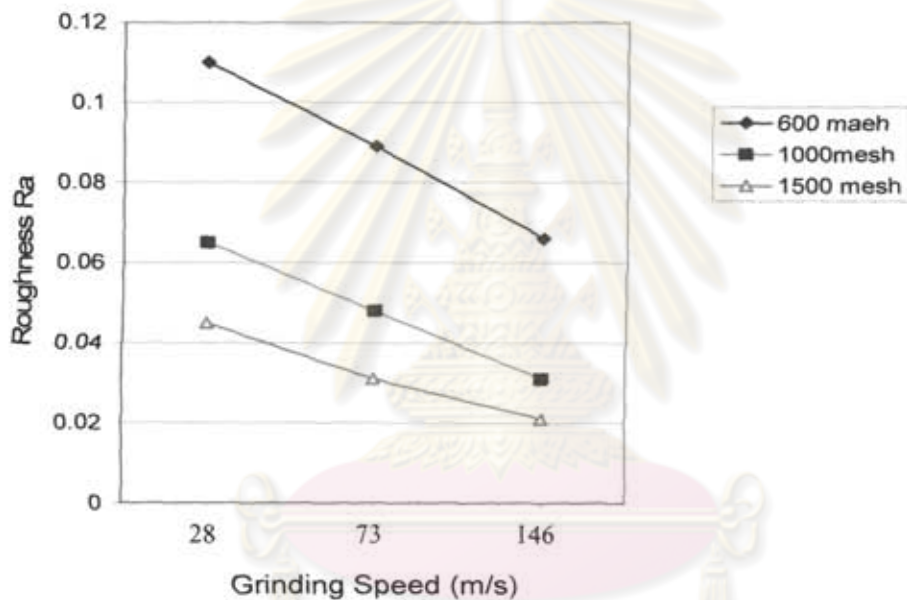
รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรระใน 1,000 mesh



รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความลึกของการตัดที่ความละเอียดในการเจียรระใน 1,500 mesh

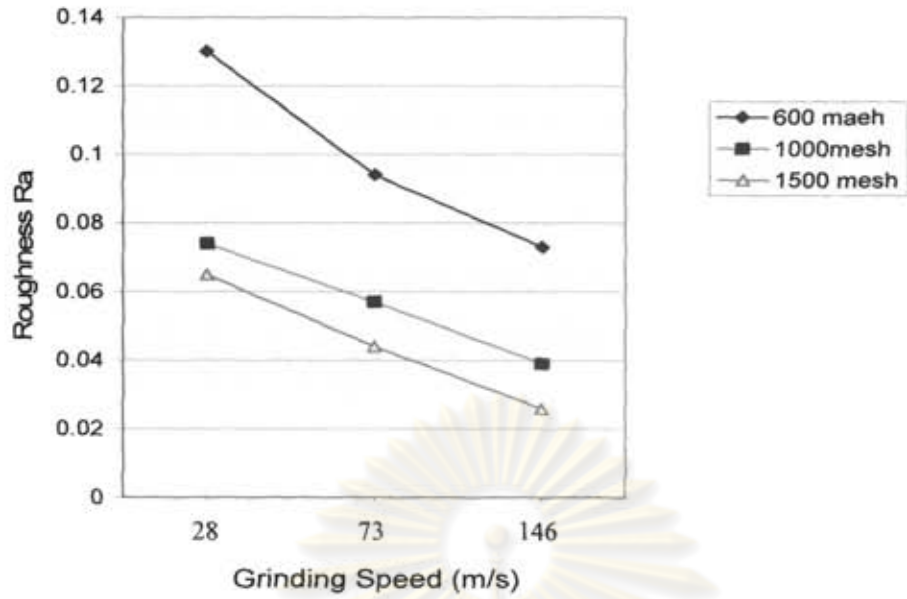
7.5.2 มุมมองความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดของผงขัดหรือจานเจียรไน

ในที่นี้ได้นำเสนอในอีกมุมมองหนึ่ง โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวที่ได้เมื่อมีการปรับความเร็วตัด ผลการศึกษาพบว่า ความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น รวมทั้งความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความละเอียดของจานเจียรมีค่าสูงขึ้น รูปที่ 7.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรไนที่ระดับความลึกของการตัด 0.02 มม. รูปที่ 7.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรไนที่ระดับความลึกของการตัด 0.06 มม. และรูปที่ 7.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรไนที่ระดับความลึกของการตัด 0.10 มม.

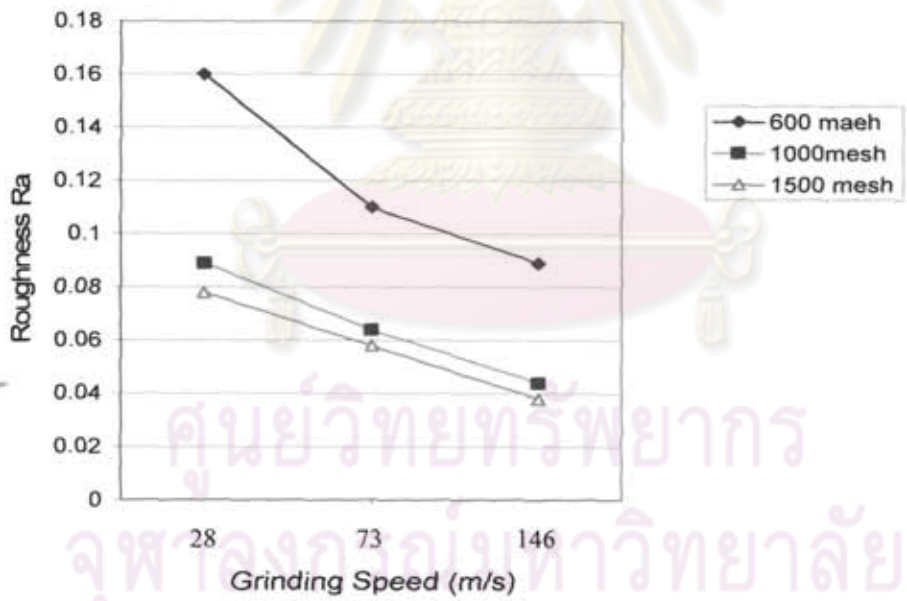


รูปที่ 7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรไนที่ระดับความลึกของการตัด 0.02 มม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรระไนที่ระดับความลึกของการตัด 0.06

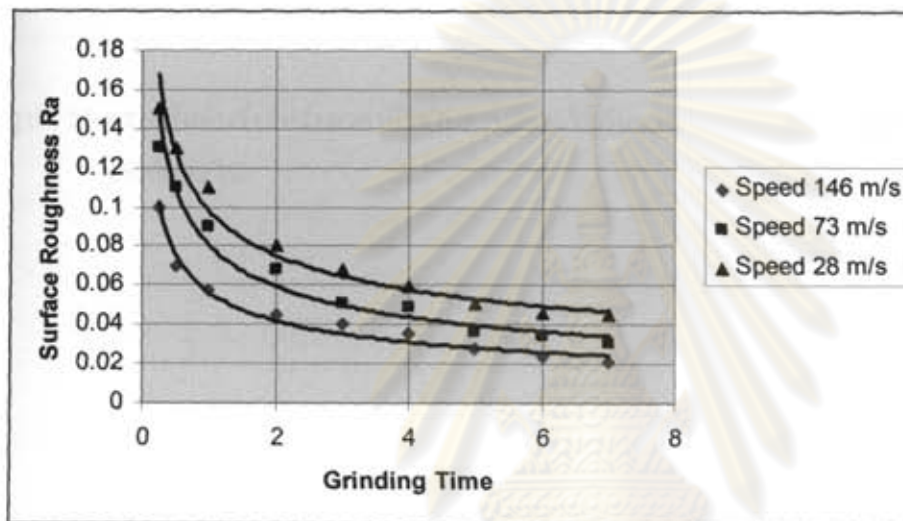


รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับความเร็วตัดและความละเอียดในการเจียรระไนที่ระดับความลึกของการตัด 0.10 มม.

7.5.3 มุมมองของระยะเวลาในการเจียรไนกับความเร็วตัดและความละเอียดของงานเจียรไน

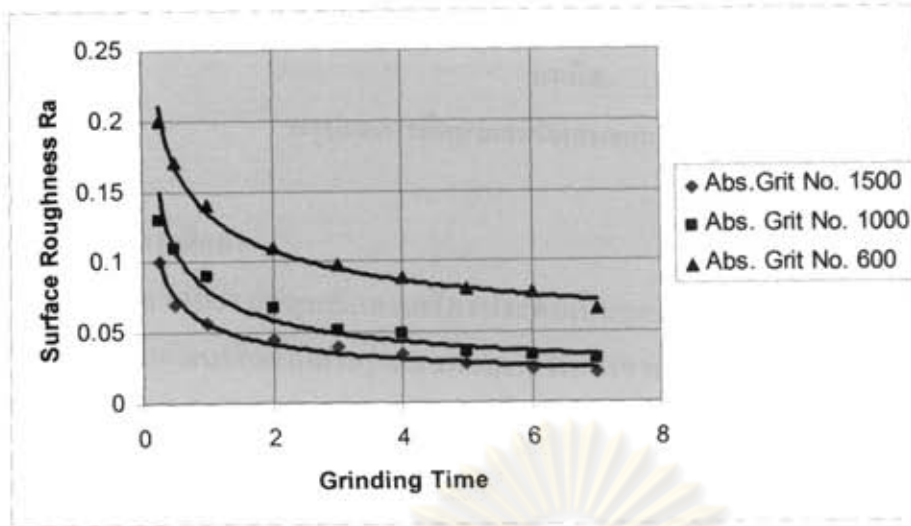
ในอีกมุมมองหนึ่งของความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการเจียรเมื่อมีการปรับความเร็วตัด ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้เวลาเท่ากัน ความเรียบผิวมีค่ามากขึ้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7.8 ในทำนองเดียวกัน เมื่อใช้เวลาเท่ากัน ความเรียบผิวมีค่ามากขึ้นเมื่อความละเอียดของงานเจียรไนมีค่ามากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 7.9

จากการประเมินผลดังกล่าวข้างต้น ได้มีการสรุปผลการสร้างต้นแบบเครื่องเจียรไนอัตโนมัติความเร็วสูงในบทความต่อไปซึ่งเป็นบทสรุปท้าย



รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการเจียรไนกับความเรียบผิวและความเร็วตัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเจียรไนกับความเรียบผิวและความละเอียดของงานเจียรไน

ศูนย์วิจัยทางการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะในการขยายผล

8.1 สรุปผลการศึกษา

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับความสนใจให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาในด้านต่างๆ แนวทางการวิจัยสาขาหนึ่งของการวิจัยและพัฒนาที่น่าสนใจ ได้แก่ กระบวนการเจียรไนอัญมณี ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของกระบวนการผลิตอัญมณีที่ควรได้รับความสนใจในการพัฒนาเป็นอย่างมาก ขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่มีต้นทุนสูงมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนการผลิตทั้งหมด เพราะต้องใช้ทั้งบุคลากรที่มีทักษะ ใช้เวลาในการผลิตและเป็นงานที่มีค่าใช้จ่าย (Cost) มากที่สุด ซึ่งถ้าสามารถทำการคัดเจียรไนให้ใช้เวลาที่น้อยลงแต่คงคุณภาพของเหลี่ยมและรูปทรงต่างๆ ได้แวววาวเหมือนเดิม จะทำให้สามารถลดต้นทุนของขั้นตอนนี้ลงได้ ในการศึกษาที่น่าสนใจเฉพาะในปัญหาด้านวิธีการคัดเจียร โดยคิดว่าการพัฒนาเครื่องเจียรไนอัญมณี รวมทั้งการกำหนดสภาวะเงื่อนไขของการเจียร จะเกิดประโยชน์ต่อกระบวนการเจียรไนอัญมณีของประเทศให้มีประสิทธิภาพ จึงทำการศึกษานำร่องถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาเครื่องเจียรไนอัญมณีที่ใช้ความเร็วสูงโดยทำการปรับปรุงจากเครื่องเจียรไนที่มีอยู่เดิม ต่อมาจึงสนใจที่จะขยายผลการศึกษาให้เกิดต้นแบบเครื่องเจียรไนอัญมณีความเร็วสูงพร้อมทั้งศึกษาสภาวะเงื่อนไขในการเจียรไนที่เหมาะสม ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเทคโนโลยีการเจียรไนความเร็วสูงในการเจียรไนอัญมณีให้เกิดขึ้นแพร่หลาย ซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอัญมณีในระดับประเทศมากขึ้นต่อไป

ขั้นตอนของการศึกษาเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการออกแบบและสร้าง ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบ และกำหนดอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ทำการจัดสร้างเครื่องต้นแบบและทำการทดสอบสมรรถนะและความสามารถของเครื่อง เมื่อทำการปรับแก้ไขจุดบกพร่องของเครื่องต้นแบบแล้ว จึงนำไปทดลองการใช้งานจริง และทำการบันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง

ผลการสร้างต้นแบบจะได้รายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1) เป็นเครื่องเจียรไนแนวตั้ง (Vertical Type)
- 2) ขนาดของจานเจียรไนเงามีเส้นผ่าศูนย์กลาง $\varnothing 200$ mm
- 3) ความเร็วที่ใช้ในการเจียรไนสามารถปรับระดับได้ โดยสามารถเจียรได้ถึง 15,000 รอบต่อนาที
- 4) ใช้น้ำหล่อเย็นเป็นระบบหล่อเย็น

เมื่อทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องพบว่ามีประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 89.33% ความเร็วอุกออกแบบให้สัมพันธ์กับขนาดจานเจียรไน และเมื่อทำการทดลอง โดยมีสภาวะเงื่อนไข

ต่างๆ ได้แก่ ความละเอียดของการเจียรระโน (Grinding Plate) ได้แก่ 600, 1,000 และ 1,500 mesh ความเร็วในการตัด (Grinding Speed) มีค่า 28-146 m/s และความลึกของการตัด (Depth of Cut, DOC) มีค่า 0.02-0.1 mm ทำให้ได้ข้อสรุปว่า

1) ความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น รวมทั้งความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความลึกในการตัดลดลง

2) ความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น รวมทั้งความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความละเอียดของจานเจียร์มีค่าสูงขึ้น

3) เมื่อใช้เวลาเท่ากัน ความเรียบผิวมีค่ามากขึ้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น

4) อาจกล่าวได้ว่าเมื่อความเร็วในการตัดสูงขึ้น ความละเอียดในการเจียรสูงขึ้น และระยะความลึกของการเจียรต่ำจะทำให้สามารถได้ผลงานที่มีคุณภาพดีโดยมีผิวเรียบและเวลาที่ใช้ในการเจียรลดลง จากการศึกษาที่ซึ่งพบว่า ระดับพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับการเจียรระโนด้วยต้นแบบเครื่องเจียรระโนอัญมณีความเร็วสูงที่สร้างขึ้นเพื่อให้ผิวเรียบดีที่สุด ได้แก่ ความละเอียดของแผ่นเจียรระโน 1,500 mesh ความเร็วของการเจียรระโน 150 เมตรต่อวินาที และความลึกของการเจียรระโน 0.02 มิลลิเมตร (หมายเหตุ ในที่นี้ใช้ตัวเลข 150 เมตรต่อวินาที แทน 146 เมตรต่อวินาที สำหรับการสรุปผล เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง)

8.2 ข้อเสนอแนะในการขยายผล

1. การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะอัญมณีเพียงชนิดเดียว คือ Cubic Zirconia เนื่องจากเหตุผลสนับสนุนหลายประการ ในการขยายผลต่อไปควรมีการทดลองในอัญมณีชนิดต่างๆ โดยใช้ลำดับขั้นตอนในการศึกษานี้เป็นแนวทาง ซึ่งสามารถกระทำได้ไม่ยาก

2. จากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของผู้บริหารระดับหัวหน้างานของแผนกเจียรระโนพบว่าได้รับความสนใจและทดลองใช้แล้วพบว่าสามารถลดเวลาในการเจียรระโนลงได้ แต่ต้องให้เวลาพนักงานเจียรระโนปรับตัวในช่วงการเรียนรู้ อุปสรรคที่สำคัญมี 2 ประเด็น ประเด็นแรกคือความเคยชินของพนักงานมีฝีมือและไม่อยากเรียนรู้ของใหม่ ประเด็นที่สองคือการขาดแคลนแรงงานที่มีฝีมือ พนักงานใหม่ไม่ค่อยมีความอดทน ดังนั้นควรมีการพัฒนาการเจียรระโนความเร็วสูงให้สามารถใช้งาน โดยใช้ทักษะความชำนาญน้อยลง เช่น ขยายผลในเรื่องระบบอัตโนมัติ เช่นเดียวกับงานกลึงที่มีเครื่อง CNC เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของโลกได้ส่วนหนึ่ง

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่สร้างเป็นต้นแบบขึ้นมานั้นสามารถหาได้ทั่วไป แต่สิ่งสำคัญคือการสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆ โดยอ้างอิงกับมาตรฐานสากลของการสอบเทียบเครื่องมือ เพื่อให้สามารถหาระดับความเชื่อมั่นได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น ระดับความเชื่อมั่น 99% เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

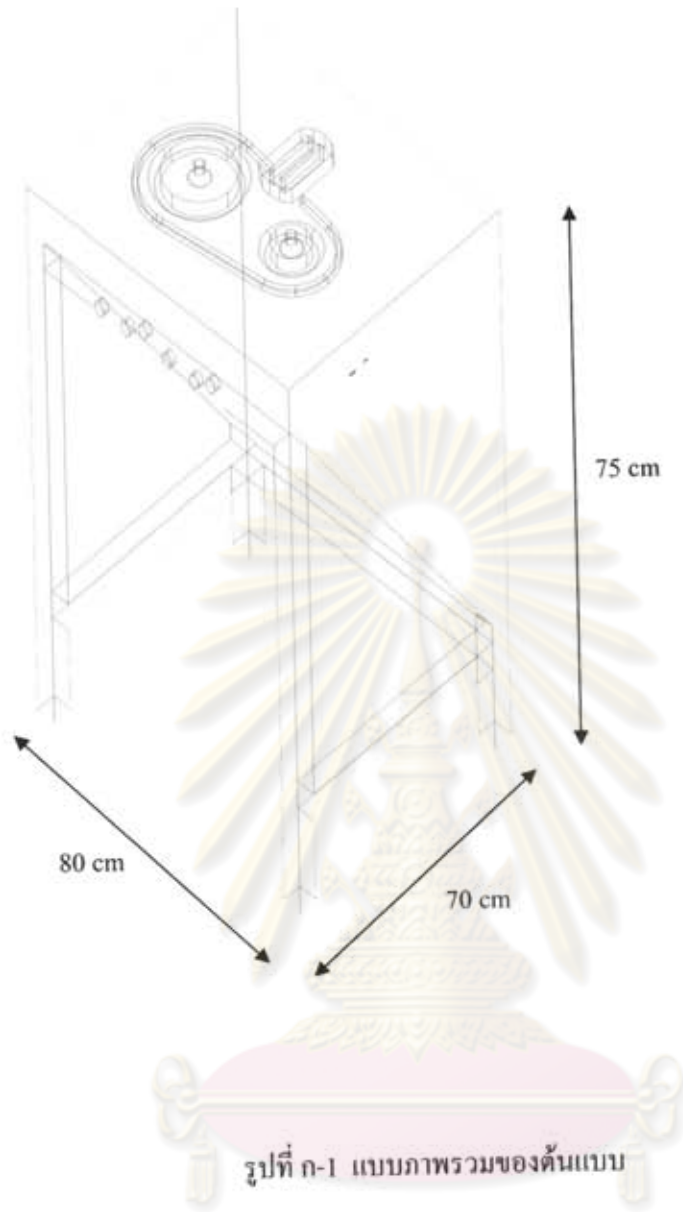
- [1] สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ “สถิติการส่งออกอัญมณี โลหะมีค่า และเครื่องประดับของไทย ระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี 2544 และ 2545”
- [2] Jittra Rukijkanpanich and Nuntiya Jiwangkul (2001). *Process Flow Improvement in a Jewelry Factory : A case Study*. The Proceeding of the 16th International Conference on Production Research, Prague, Czech Republic. 29 July-3 August 2001
- [3] Schulz H and Moriwaki T (1992) *High Speed Machining*, Annals of the CIRP Vol.41(2) p637-643
- [4]. Tlustý J (1993) *High Speed Machining*, Annals of the CIRP Vol.42(2) p733-738.
- [5] Dewes R.C. and Aspinwall D.K. (1997) *A review of ultra high speed milling of hardened steels*, Journal of Materials Processing Technology Vol.69: p1-17.
- [6] Kim JD. and Kang YH (1997) *High-speed Machining of Aluminum using Diamond Endmills* , International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol.37(8): p 115-1165.
- [7] Park KY, Lee DG, Nakagawa T.,(1995) *Mirror surface grinding characteristics and mechanism of carbon-fiber-reinforced plastics*, Journal of Materials Processing Technology Vol.52: p2-4
- [8]. Itoh N., Ohmori H., and Bandyopadhyay Bp.,(1997) *Grinding Characteristics of Hard and Brittle material by ELID-Lap grinding using fine grain wheels*, Materials and Manufacturing Process Vol. 12(6): p.1037-1048
- [9] Zhang CH, Kato T, Li W, Ohmori H., (2000) *A comparative study: surface characteristics of CVD-SiC ground with cast iron bond diamond wheel*, International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol.40: p 527-537
- [10] Zhang B, Yang FL, Wang JX, Zhu ZQ and Monahan R., (2000) *Stock removal rate and work piece strength in multi-pass grinding of ceramics*, Journal of Materials Processing Technology Vol.104(3): p178-184
- [11] คมสัน จิระภัทรศิลป์ และ จิตรา รุกิจการพานิช (2546) *การศึกษาการเจียรระไนอัญมณีด้วยความเร็วสูงอัญมณี* การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2546 โรงแรมท็อปแลนด์ หน้า111-118



ภาคผนวก ก

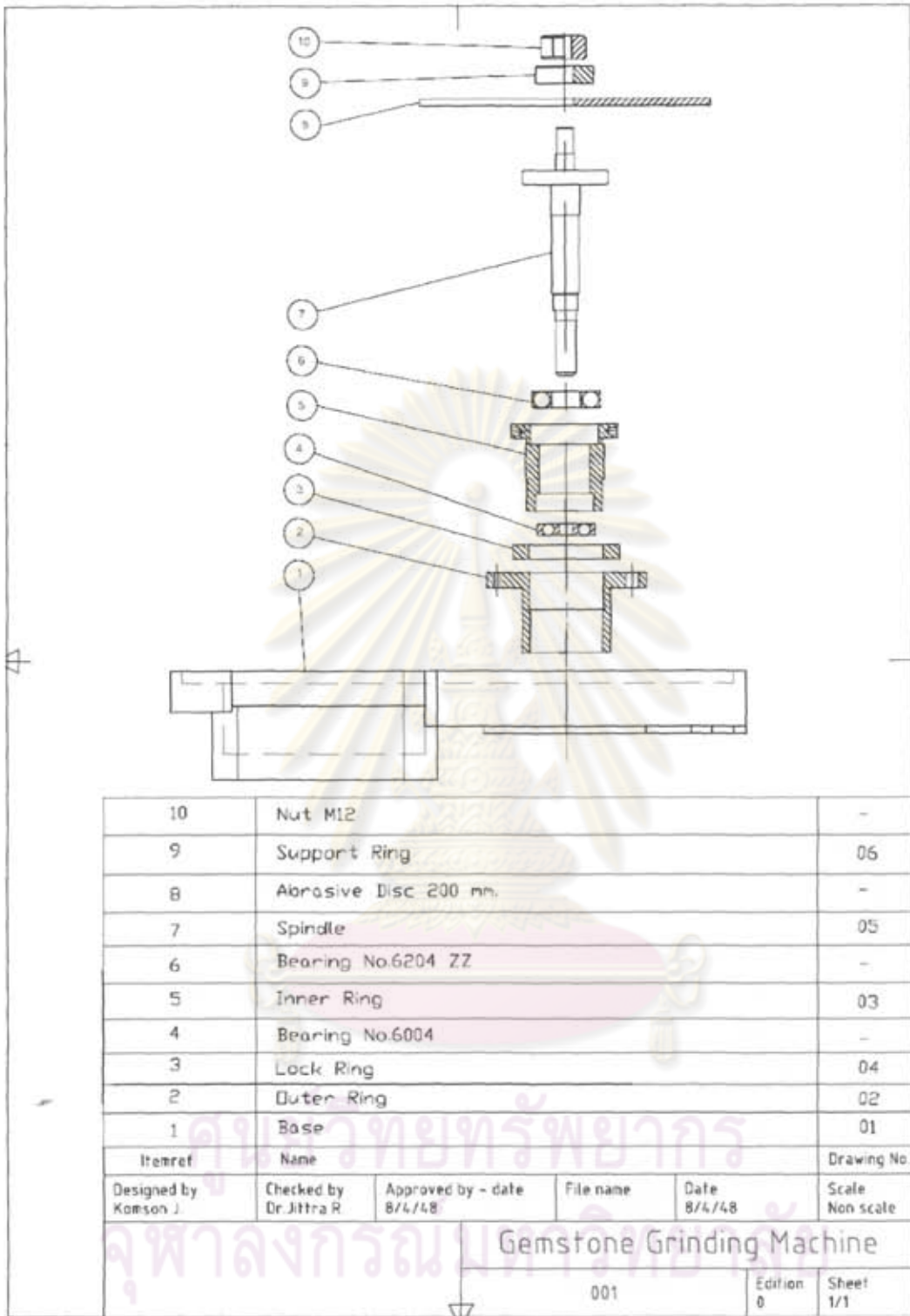
แบบ (Drawings) ของต้นแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

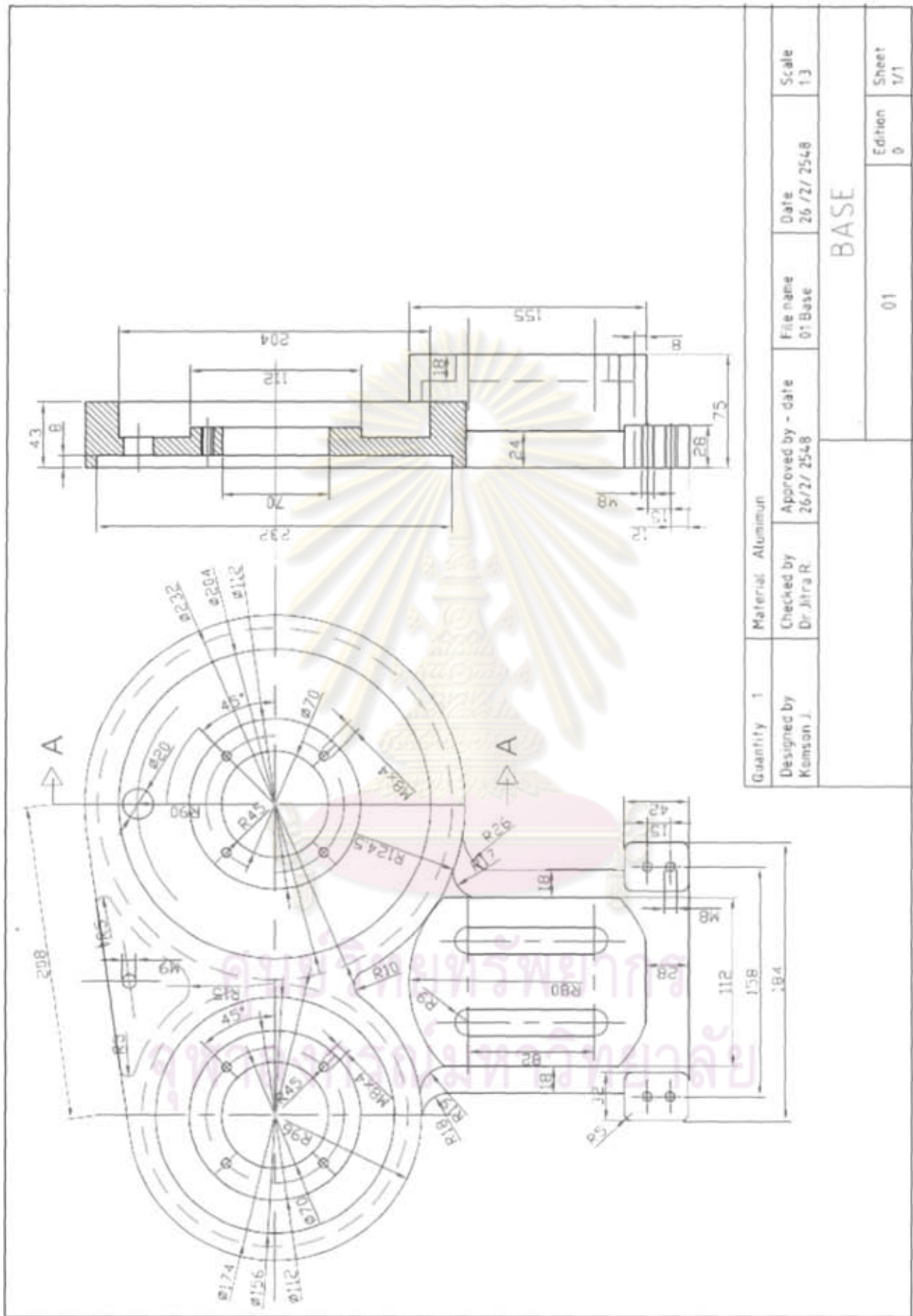


รูปที่ ก-1 แบบภาพรวมของคันเบบ

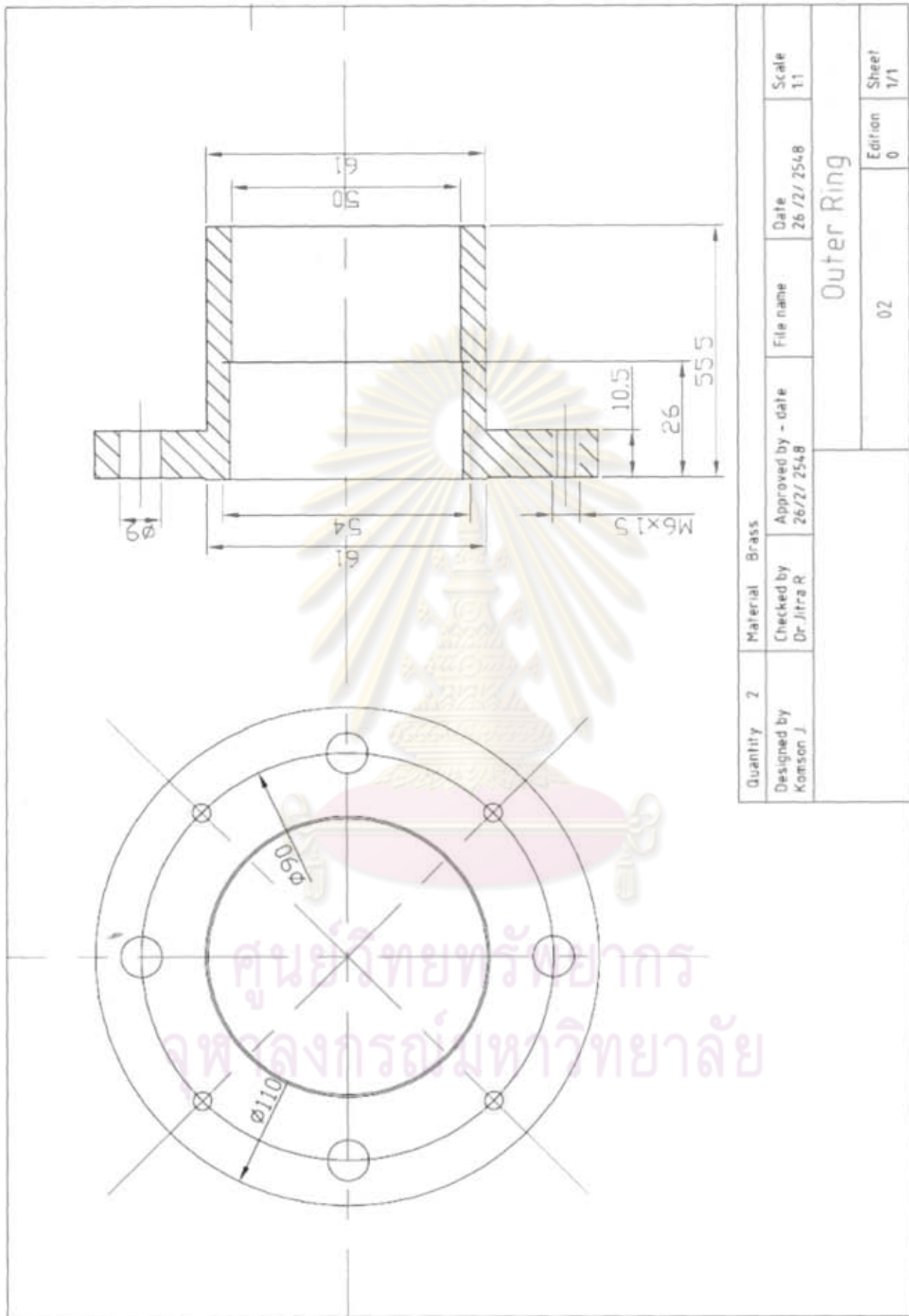
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



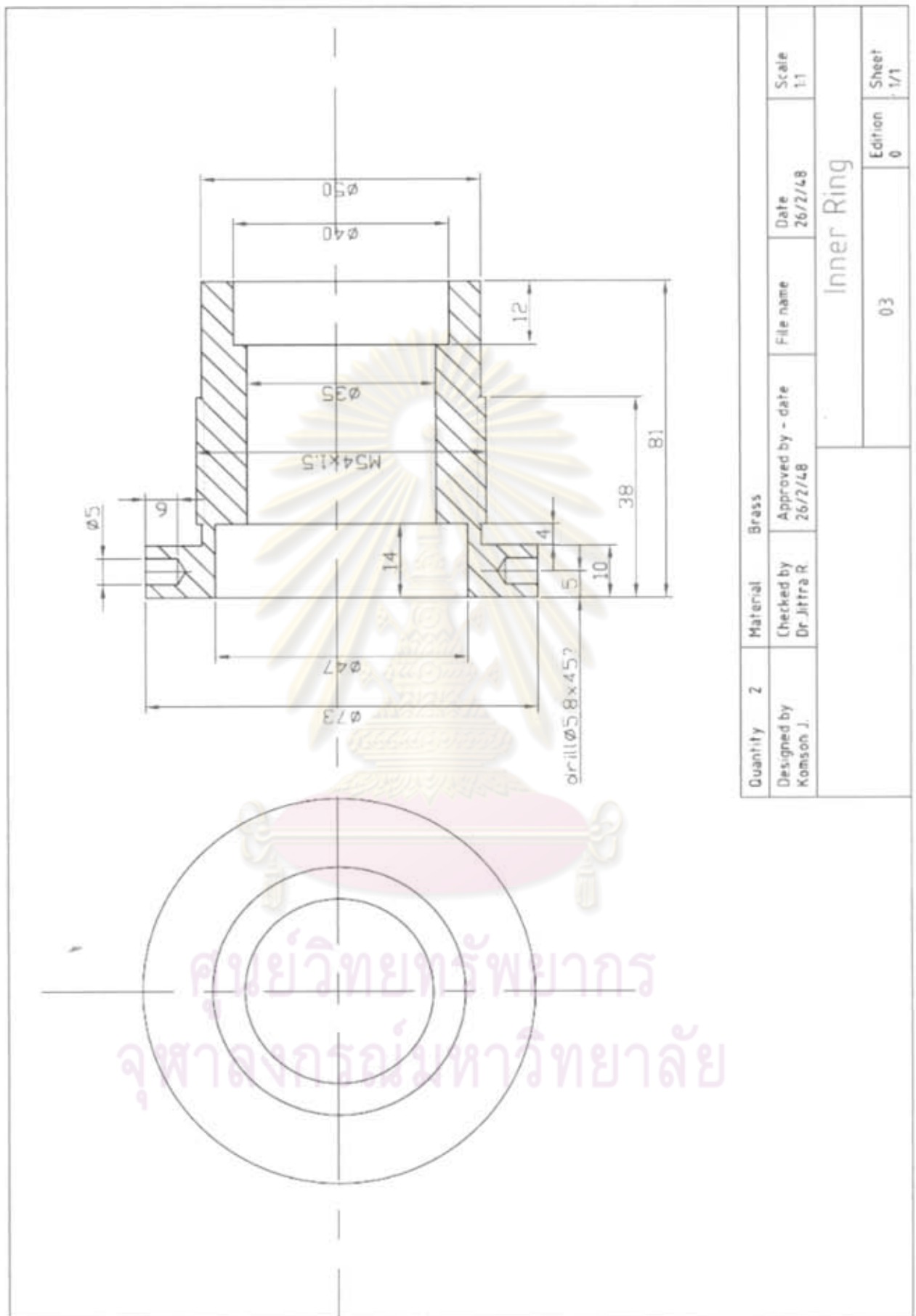
รูปที่ ก-2 แบบ (Drawing) : ส่วนเจียรไน



รูปที่ ก-3 แบบ (Drawing) : ส่วนฐาน



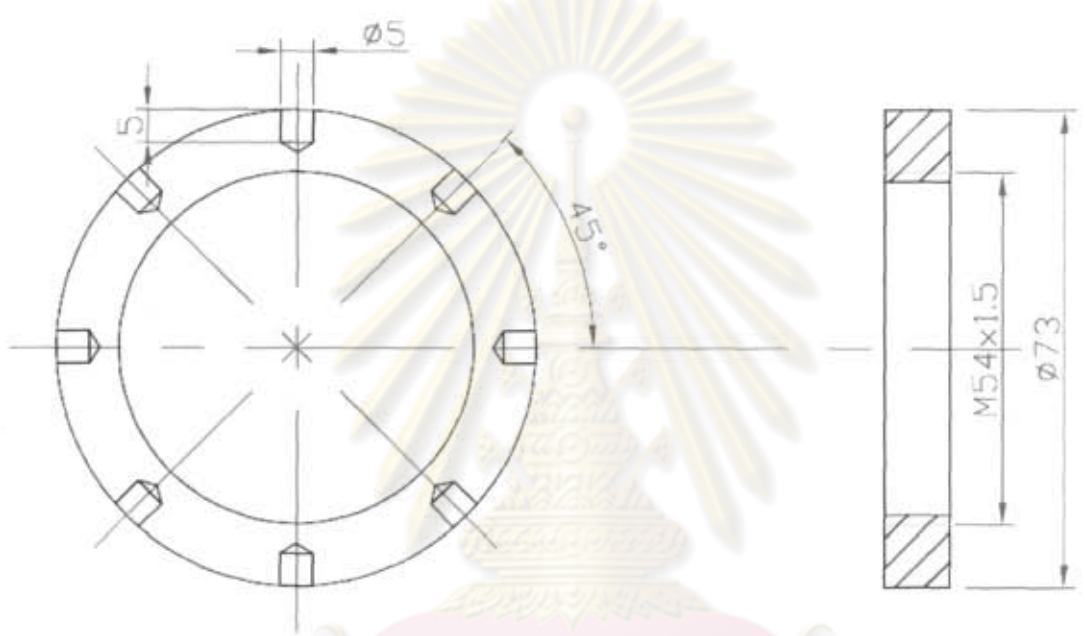
รูปที่ ก-4 แบบ (Drawing) : ส่วนแหวนตัวนอก



Quantity	2	Material	Brass	File name	Inner Ring		Scale	1:1	
Designed by	Komson J.	Checked by	Dr Jitra R.	Approved by - date	26/2/48	Date	26/2/48	Sheet	1/1
				03	Edition	0			

รูปที่ ก-5 แบบ (Drawing) : ส่วนแหวนตัวใน

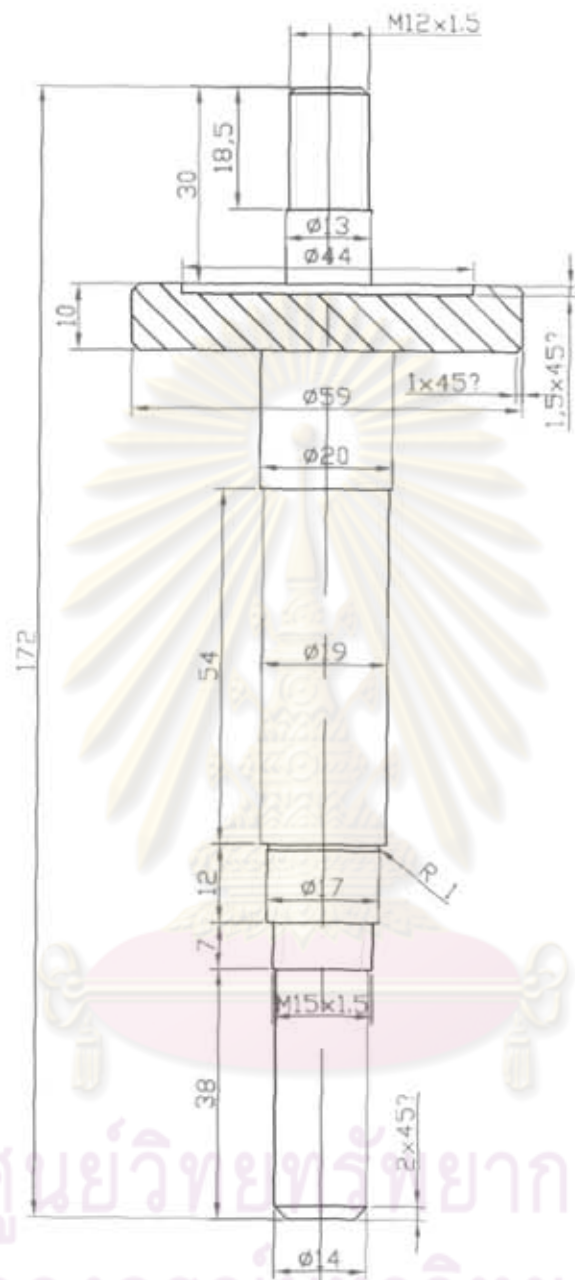
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Quantity	2	Material	Brass		
Designed by	Komson J.	Checked by	Dr.Jitra R.	Approved by - date	28/2/48
			File name	Date	Scale
			Lock Ring		
			04	Edition	Sheet
				0	1/1

รูปที่ ก-6 แบบ (Drawing) : ส่วนแหวนล็อก

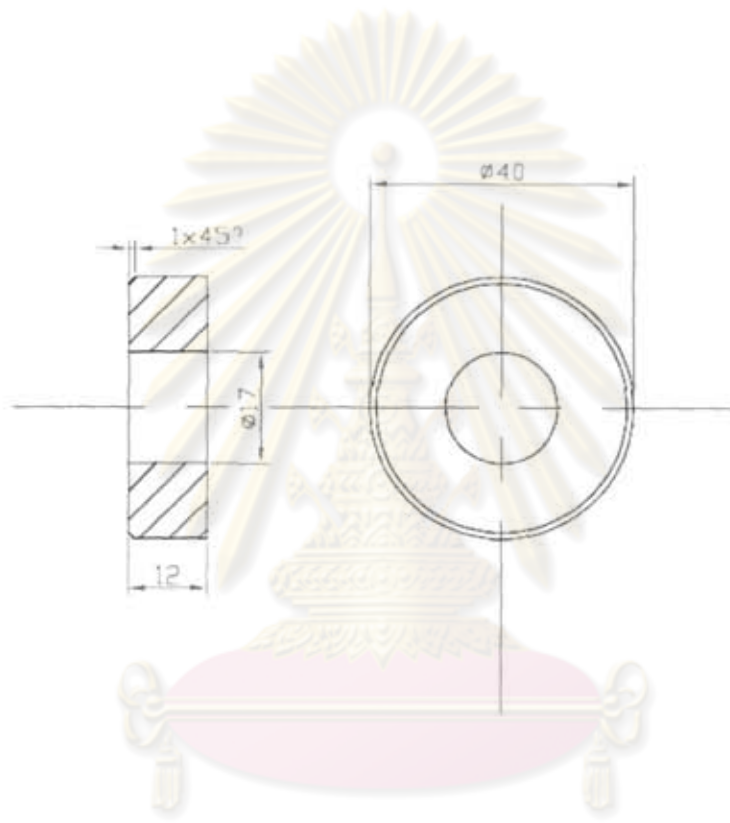


ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Quantity	2	Material	: Steel							
Designed by	Komson J.	Checked by	Dr. Jitra R.	Approved by - date	1/3/48	File name	Date	1/3/48	Scale	1:1
							Spindle			
							05		Edition	0

รูปที่ ก-7 แบบ (Drawing) : ส่วน Spindle

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Quantity	2	Material	Aluminum		
Designed by	Komson J.	Checked by	Dr.Jittra R.	Approved by - date	8/4/48
			File name	Date	Scale
			Support Ring		
			06	Edition	Sheet
				0	1/1

รูปที่ ก-8 แบบ (Drawing) : ส่วนแหวนรอง



ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

จากการศึกษานี้ได้จัดทำบทความชื่อ “The Experiment of High-Speed Grinding of Gemstone: Cubic Zirconia” ซึ่งส่งลงตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ชื่อ “International Journal of Advanced Manufacturing Technology” ซึ่งมีรายละเอียดของใบตอบรับการส่งบทความ และบทความฉบับสมบูรณ์ (Full Paper) ดังต่อไปนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Editorial Manager(tm) for International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Manuscript Draft

Manuscript Number: IJAMT-S-05-00154

Title: The Experiment of High-Speed Grinding of Gemstone: Cubic Zirconia

Article Type: Original Research

Section/Category:

Keywords: Abrasive grit size, Cubic zirconia, Gemstone, Grinding speed, Depth of grinding, High-speed grinding

Corresponding Author: Komson Jirapattarasilp,

Corresponding Author's Institution: Chulalongkorn University

First Author: Komson Jirapattarasilp

Order of Authors: Komson Jirapattarasilp; Jitra RUKIJKANPANICH, D.Eng

Manuscript Region of Origin:

Abstract: The grinding is one of the majorities machining process of gems manufacturing. The largest gemstone in jewelry market is cubic zirconia (CZ) that is grinding in the same fashion as diamonds. This study was interested to investigate the influence of parameters on grinding CZ gemstone. The parameters were grinding speed, depth of grinding and abrasive grit size of diamond electroplated disc. The results could be concluded that the surface finish was improved when increase grinding speeds and abrasive grit size. The grinding times was decreased when increase grinding speeds. Examination of the surface texture of the ground surface on CZ was analyzed and reported.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Experiment of High-Speed Grinding of Gemstone: Cubic Zirconia

KOMSON JIRAPATTARASILP¹ AND JITTRA RUKIJKANPANICH¹

¹Department of Industrial Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10230, Thailand

The grinding is one of the majorities machining process of gems manufacturing. The largest gemstone in jewelry market is cubic zirconia (CZ) that is grinding in the same fashion as diamonds. This study was interested to investigate the influence of parameters on grinding CZ gemstone. The parameters were grinding speed, depth of grinding and abrasive grit size of diamond electroplated disc. The results could be concluded that the surface finish was improved when increase grinding speeds and abrasive grit size. The grinding times was decreased when increase grinding speeds. Examination of the surface texture of the ground surface on CZ was analyzed and reported.

Keyword: Abrasive grit size, Cubic zirconia, Gemstone, Grinding speed, Depth of grinding, High-speed grinding

1. Introduction

The gemstone manufacturing comprises several processes. One of the majorities manufacturing process is gemstone machining. The machining consists of shape and ground cutting, grinding and finishing. From the earlier paper [1], the problems of gemstone grinding process were concerned in the gemstone surface and time-consuming. They were used for determining the performance. In the present, The detail of, it found that performance has been inconsistency and depended on working of individual workers. They can not know the concerned parameters that affect to the performance. Consequently, the effects of parameter in grinding gemstone have to investigate in order to increase quality and performance.

Selecting the parameters of grinding process is very important. These parameters should relate to gemstone grinding performance. There are few researches study on parameter for gemstone grinding, although there are several researches study on grinding of other materials such as harden metal, advanced ceramics and sapphire [2-11]. They were performed and studied any selected parameters such as wheel speed, work feed rate, depth of grinding, time of grinding, abrasive grit size, wheel bond type, and.

Correspondence and offprint requests to: Dr. Jittra Rukijkanpanich, Department of Industrial Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10230, Thailand
Email rieckp@eng.chula.ac.th

This study proposes to investigate the influences of parameters in grinding gemstone that effect to the quality of surface finish and grinding time. The selected parameters which were studied are grinding speed, depth of grinding and abrasive grit size. Grinding was carried out using a diamond-electroplated disc. The gemstone, Cubic zirconia (CZ) was the selected material as sample of this study.

This paper comprises four main sections. The first is the introduction, the material and experimental condition has presented in the second parts. Then results and discussion are reported in the following sections. Finally, concluding was presented.

2. Material and Experimental condition

In this section, the terms of the Cubic Zirconia (CZ) and the experimentation were presented. The experimentation was concerned with details of parameters, observed response, machine and equipment (grinding machine), condition of experiment and examine method.

2.1 Cubic Zirconia

Zirconia or Zirconium oxide (ZrO_2) is best known in the advanced ceramic and gemstone. It is an oxide of the metallic element zirconium. Each zirconium atom is surrounded by eight oxygen atoms and each oxygen atom is connected to four zirconium atoms as shown in fig1. Normally, zirconia can exist in three phase, i.e. cubic, tetragonal and monoclinic. It is hard and fracture-tough at room temperature and very high thermal shock resistance. Additionally, it is fine grain size and enables excellent surface finishes including the ability to hold a sharp edge. Baddeleyite is a natural mineral of the same chemical composition, but it is a monoclinic mineral. If the mineral is heated to about 2,365 degrees Celsius, it becomes isometric. In this form it is unstable, and on cooling, it reverts back into the original structure.

In the synthetic, to transform phase from monoclinic to cubic, this reversion is overcome by adding up to 15 % of an oxide as a stabilizer. Yttrium, calcium, and others can be used. The added stabilizer evidently contributes to some variation. Mostly all cubic zirconia on the market also contains yttrium oxide that acts as a stabilizer. Almost all the rough in the market are chemically comprised of 87.5% zirconium oxide (ZrO_2) and 12.5%

yttrium oxide(Y_2O_3) [12]. CZ has the ideal calcium fluorite (CF2) structure and lattice parameter is 0.517 nm, as show in fig 2. The zirconium atoms are situated in FCC lattice, i.e. at the halves of the 110 directions as well as at the corners of the cubic. Oxygen atoms remain at the quarters of 111 directions.

To produce CZ, the extremely high temperature required to melt the ores ,almost 2,400 degrees Celsius , is too hot for any conventional crucible, or melting vessel, to withstand. Therefore, to produce cubic zirconia, scientists have devised a proprietary process. A radio-frequency "skull crucible" system is used, in which the melting zirconia powder actually creates the sides of its own container during its formation. Cooling this extremely hot molten ore becomes the most crucial step in the entire process. A carefully programmed cooling procedure is required to form the flawless crystals that are subsequently transformed into exquisite cubic zirconia gemstones.

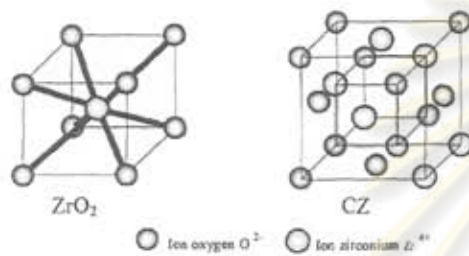


Fig 1. The unit cell of ZrO_2 and CZ.

CZ has a relatively lower strength, fracture toughness and elastic than tetragonal and monoclinic zirconia. To improve these properties, especially the fracture-toughness, cubic zirconia has been blended with either MgO, CaO, or Ytria as a stabilizer with transformed phase to tetragonal in order to facilitate transformation toughening.

Because of single crystal optically clear and high refractive index, cubic zirconia has been began popular gems. Cubic zirconia is an incredible material. It seems a shame to burden a fine material with the "diamond stimulant" tag. Like diamonds, and do not lose their color or brilliance. The best cubic zirconia gem is colorless. It is available in a variety of colors. Cubic zirconia as a gemstone is cut in the same fashion as diamonds. Because the cubic zirconia stone is so dense and solid, it outweighs a diamond of the same millimeter size, weighing 1.7 times more than a diamond of the same millimeter diameter. With a hardness of 6.5-8.5 on the Mohr scale and modulus of elastic about 210-233 GPa, cubic zirconia is classified as a soft to semi hard gemstone. The property of cubic zirconia shown as on Table 1

2.2 Experimentation

The experiment of this study were setup and use the gemstone grinding machine that it is a vertical grinding

Table 1 The property of Cubic Zirconia [13-14]

Hardness (Mohr)	8.5
Molecular Weight (g/mol)	123.223
Density (g/cc)	5.6- 5.9
Refractive Index (N_o , c-axis)	1.78-2.15
Fracture-toughness (MPa $m^{1/2}$)	2.5
Modulus of elastic (GPa)	210-233

machine that equipped with high-speeds motor and powered spindle. The grinding process was selected vertical grinding that is a popular on gemstone grinding in factory. The schematic of gemstone grinding and set-up machine are shown in fig 2. The speeds of grinding were selected from conventional speeds 30 meter per second (m/s) to high speeds 150 meter per second (m/s). So, the girding speeds of 30, 90 and 150 m/s were used . A diamond-electroplated disc was use. The disc has a diameter of 200 mm. The diamond grit were 600, 1000 and 1500 mesh which average abrasive sizes were approximately 42, 25 and 16 μm , respectively. The depth of grinding was varied from 0.02 mm to 0.10 mm. The detail and experimental set-up details are shown in Table 2. The grinding conditions are shown in Table 3.

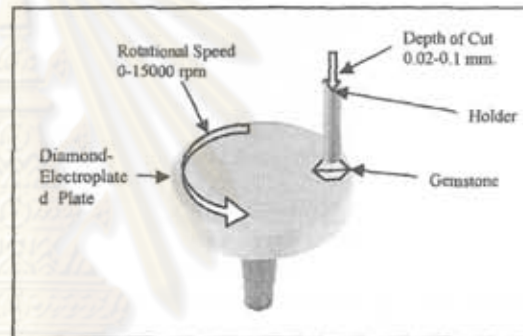


Fig.2 schematic of gemstone grinding and set-up machine

Table 2. Specifications of the machine and equipment.

Grinding Machine	Vertical Type
Grinding Plate	Diamond Electroplated disc Ø200 mm
Rotational Speed	0 – 15000 rpm
Workpiece	CZ

Table 3.Grinding parameters

Grinding parameters	Range
Abrasive grit size in mesh	600 1000 1500
Grinding speed in m/s	30 90 150
Depth of grinding in mm.	0.02 0.06 0.1

The surface finish was measured in term of mean surface roughness (Ra) using surface roughness tester. The grinding texture of the ground specimens was examined using a optical microscope with analyzer of Leica Q550 MW.

3. Experimental Results and Discussion

3.1 The influence of grinding speed, depth of grinding and abrasive grit size on surface finish

The surface roughness (Ra) which was measured at abrasive grit size of grinding plate of 600-1500 mesh as a function of the grinding for different grinding speeds and depth of grinding are shown in Fig. 3-5. Generally, the roughness initially decreased with increasing grinding speeds (V_s), decreased to almost the surface roughness at $0.02 \mu\text{m}$. An decreased depth of grinding would normally lead to a less grinding force and thus improve the ground surface finish that mean the surface roughness value was expected to be decreased. CZ characteristic is like ductile combine brittle material. Including with temperature in grinding zone rise up, soften grinding surface and reduce the tendency was produced.[15] As results, The surface roughness slightly decreased with decreasing depth of grinding at high grinding speed. Furthermore, the depth of grinding at low speeds grinding was more effect to surface roughness than depth of grinding at high speed grinding.

The surface roughness Ra which was measured at various abrasive grit size of grinding plate and different grinding speeds of the depth of grinding 0.02-1.0 mm is shown in Fig. 6-8. It results that the roughness decreased with increasing grinding speeds, at all abrasive grit size. The surface roughness decreased with decreasing abrasive grit size.

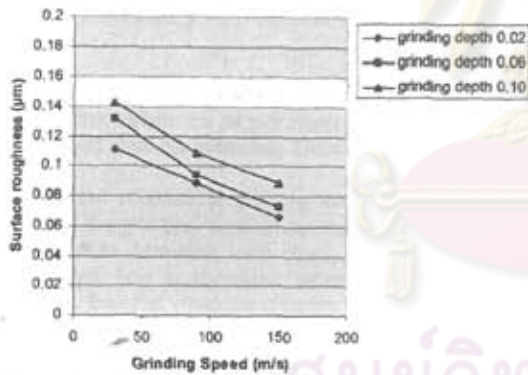


Figure 3. Surface roughness of CZ as a Grinding Speed for various depth of grinding at abrasive grit size 600 mesh

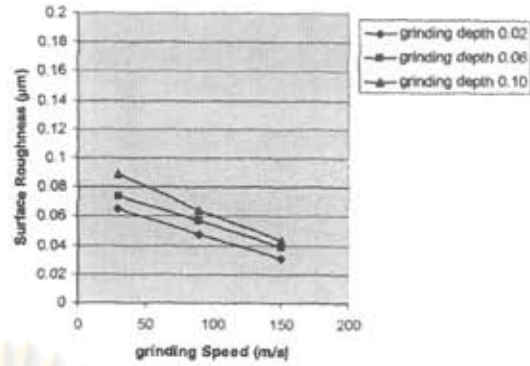


Figure 4. surface roughness of CZ as a Grinding Speed for various depth of grinding at abrasive grit size 1000 mesh

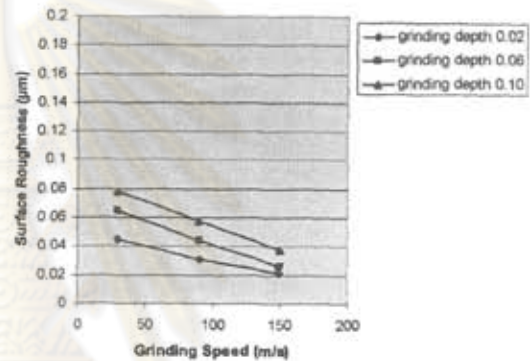


Fig. 5 Surface roughness as a Grinding Speed for various depth of grinding at abrasive grit size 1500 mesh

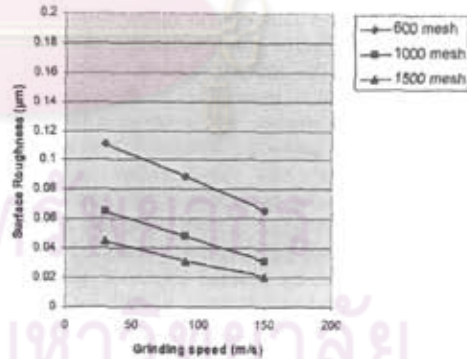


Fig. 6 Surface roughness as a grinding speed for various abrasive grit size mesh at a 0.02 mm.

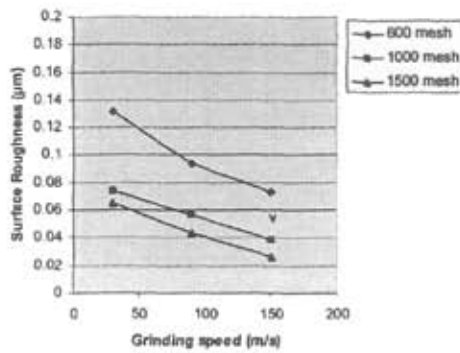


Fig. 7 Surface roughness as a Grinding Speed for various abrasive grit size mesh at $a = 0.06$ mm.

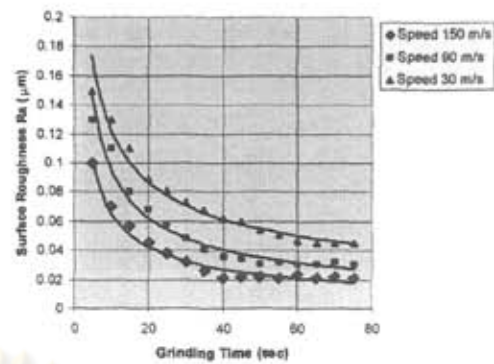


Fig. 9 Variation of surface roughness with grinding time when using abrasive grit size at 1500 and depth of grinding is 0.02 mm.

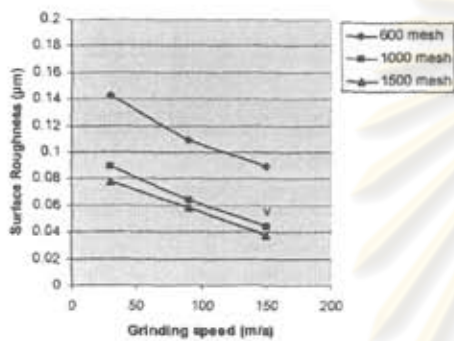


Figure 8. Surface roughness of CZ as a Grinding Speed for various abrasive grit size mesh at depth of grinding 0.10 mm.

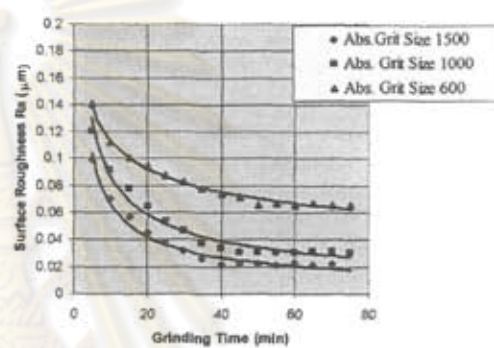


Fig. 10 Variation of surface roughness with grinding time when using Vs 150 m/s and depth of grinding is 0.02 mm.

3.2 The Influence of grinding speed and abrasive grit size on grinding Time

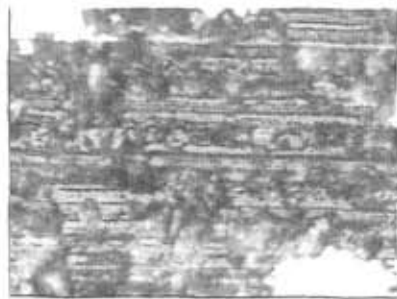
Fig 9 and 10 show the grinding speed and abrasive grit size effect the grinding time. From evaluation base on surface roughness decreasing until steady, as show Figure8, the grinding time is decreasing when we use high grinding speed. Besides, when the abrasive grit size is increasing, it effect to grinding time slightly increasing grinding time but surface roughness could be improved more over increasing grinding time.

3.3 The Results of Micrographpy Examination

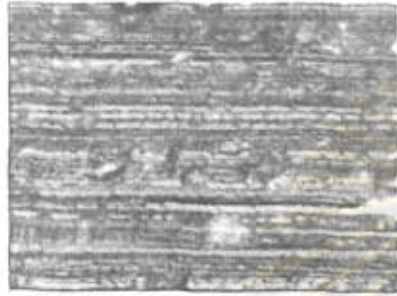
Examination of the surface texture of the ground surface under an optical microscope reveals that the process of chip formation changes in relation to the grinding speed. Figure 11 shows optical micrograph pictures of the ground surface for CZ at depth of grinding 0.02 mm with various grinding speed. The surface texture of the ground CZ was smaller burrs, scratches, chips, pocket and crack areas, fins, and ridges at high grinding speeds.

The previous study [4,10] was grinding on yttria partially stabilized tetragonal zirconia polycrystal (YTZP). it was observed that mechanism of material removed at high speed was plastic deformation. Unlike YTZP, CZ has a less fracture toughness and strength than YTZP. CZ has been some isolated pockets of defects like advanced ceramic such as aluminum oxide (Al_2O_3). Therefore, material removal is not smooth under normal grinding processes. Consequently, it would be difficult to achieve a very fine surface finish. The rougher and severe wear tracks were observed at lower grinding speed. The surface texture was improved 1-2 times when increasing grinding speed because at high grinding speed the normal force of grinding decreased because an increase in the grinding speed resulted in a smaller undeformed chip thickness, and thus a smaller grinding force.[4]

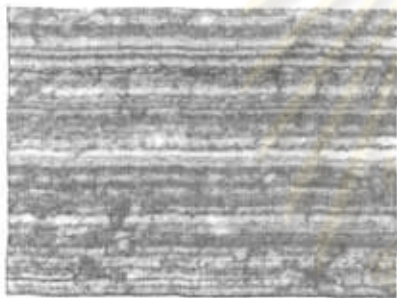
In addition, the abrasive grit size was effected the surface finsh also. Fig 12 shows optical micograph of ground surface with various abrasive gits size. The fine mesh produce few burrs, scratches espacially crack pcket. Therefore, lower mesh, the rougher and severer tracks were occurred.



(a) V_s 30 m/s

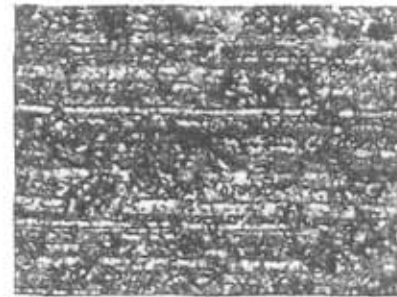


(b) V_s 90 m/s



(c) V_s 150 m/s

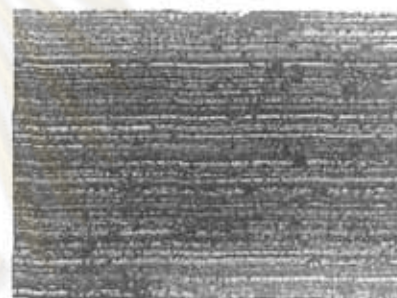
Fig.11 Optical micrograph of ground surface (500x) various grinding speed at depth of grinding 0.02 mm; 1000 mesh.



a) 600 mesh



b) 1000 mesh



c) 1500 mesh

Fig.12 Optical micrograph of ground surface (100x) of various abrasive grit size at depth of grinding 0.02 mm; $V_s = 90$ m/s.

4. Conclusion

Based on the experimental study, the following can be concluded that:

1. The surface finish was improved that compared to the depth of grinding of grinding process when the grinding speed was increased.
2. The surface finish was improved that compared to the higher abrasive grit size when the grinding speed was increased.
3. The surface roughness R_a of ground CZ was found to be low at high-grinding speeds. The surface texture was improved 2-3 time and owing to the folding of asperities.
4. The surface roughness decreased with an increasing grinding speed at almost all levels of depth of grinding and abrasive grit size.

5. The increasing mesh size of the abrasive grit and grinding speed is an effective method to improving the surface finish.

Reference

- [1] Rukijkanpanich J. and Jiwangkul N. (2001) The improvement process flow in jewelry factory : a case study *The Proceeding of the 16th International Conference on Production Research*, Prague, Czech Republic.
- [2] Funkenbusch P.D., Zhou, Y., Takahashi T. and Golini D. (1998) Grinding of single crystal sapphire: workpiece roughness correlations. *Wear*, Vol.218, p.1-7.

- [3] Huang H. and Liu Y.C. (2003) Experimental investigations of machining characteristics and removal mechanisms of advanced ceramics in high speed deep grinding *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, p. 811-823.
- [4] Ha M.K., Kwak J.S., Hwang Y.M. and Chung J.S. (2004) Machining characteristics of mold material in high-speed grinding *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.155-156, p. 1189-1195
- [5] Ling Y, Huang H., Ramesh K. and Huang T. (2005) High speed versus conventional grinding in high removal rate machining of alumina and alumina-titania. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol.45, p. 897-907.
- [6] Klocke F., Brinksmeier E., Evans C., Howes T., Inasaki I., Minke E., Tonshott H. K., Webster J.A. and Stuff D. (1997) High-Speed Grinding - Fundamentals and State of the Art in Europe, Japan, and the USA. *Annals of the CIRP*, Vol. 46/2 p715-724.
- [7] Mamalis A. G., Kundrak J., Gyani K. and Horvath M. (2002) On the precision grinding of advanced ceramics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 20 p 255-258.
- [8] Matsuo T., Touge M., and Yamada H. (1997) High-Precision Surface Grinding of Ceramics with Superfine Grain Diamond Cup Wheels. *Annals of the CIRP*. Vol. 46/1 p249-252.
- [9] Ramesh K., Yeo S.H., Gowri S. and Zhou L. (2001) Experimental evaluation of super high-speed grinding of advanced ceramics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.17, p. 87-92.
- [10] Zarudi I. and Zhang L.C., (1998) Effect of ultraprecision grinding on the microstructural change in silicon monocrystals *Journal of Material Processing Technology*, Vol.84, p 149-158.
- [11] Zhong Z.W. (2003) Grinding of Aluminium-Based Metal Matrix Composites Reinforced with Al_2O_3 or SiC Particles. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.21, p. 79-83.
- [12] (Nassau, K.,1981).
- [13] R Ingel R.P., Lewis D., Bender B.A., and Rice R.W., (1984) Physical, Microstructural and Thermomechanical Properties of ZrO_2 Single Crystals, *Advances in Ceramics*, Vol. 12, pp. 408-414.
- [14] Munro R. G., *Elastic Moduli Data for Polycrystalline Ceramics*, NISTIR 6853, (2002), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland USA.
- [15] Blaedel K.L., Taylor J.S., Evans C.J., Ductile-regime grinding of brittle materials, in: S. Jahanmir, M. Ramulu, P. Koshy (Eds.), *Machining of Ceramics and Composites*, Marcel Dekker, New York, 1999, pp. 139-176

Notation

a	Depth of Grinding (mm)
CZ	Cubic Zirconia
Ra	Average Surface Roughness (μm)
V_s	Grinding Speed (m/s)
YTZP	Ytria Partially Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal
Y_2O_3	Yttrium Oxide
ZrO_2	Zirconium Oxide

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ภาพถ่ายต้นแบบและการทดลอง

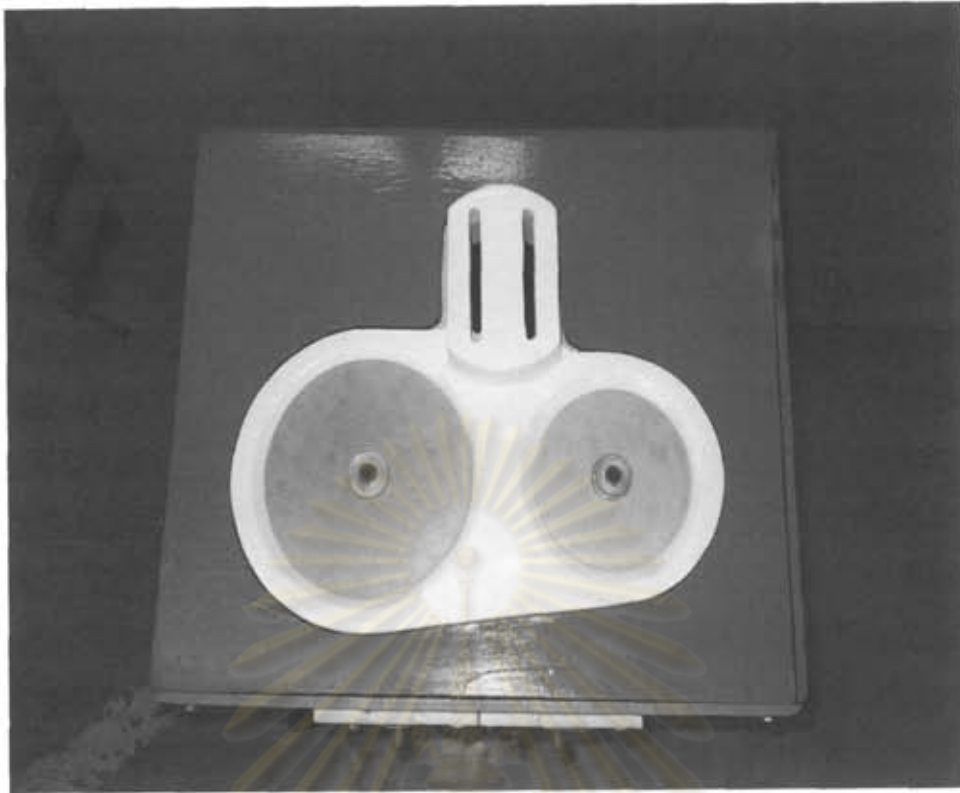


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



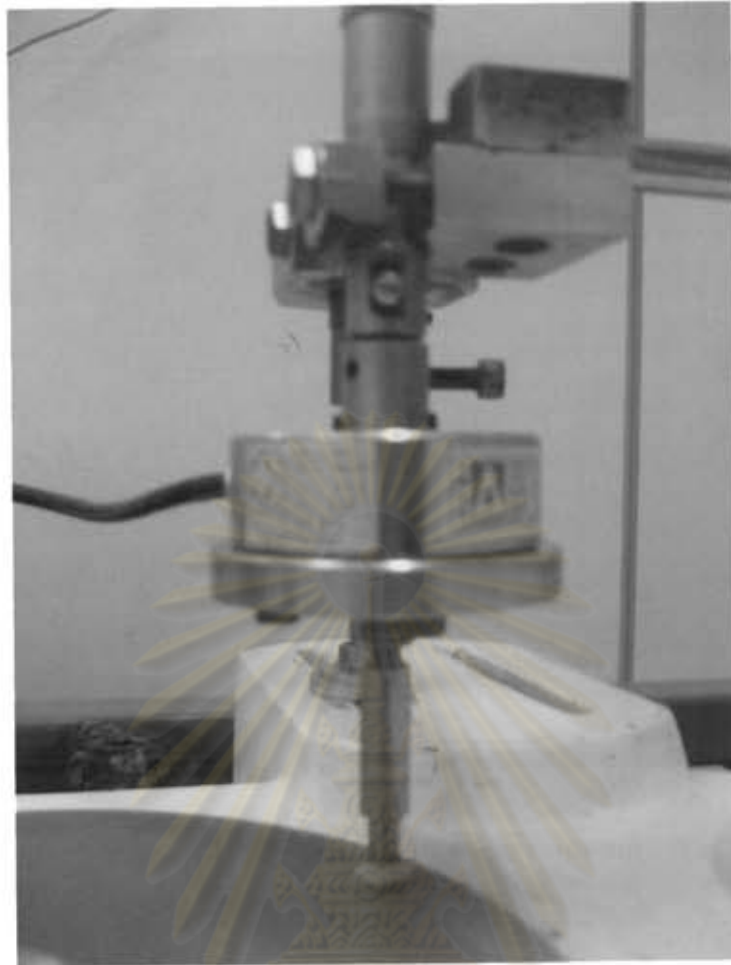
รูปที่ ก-1 ดันแบบเครื่องเจียรในความเร็วสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



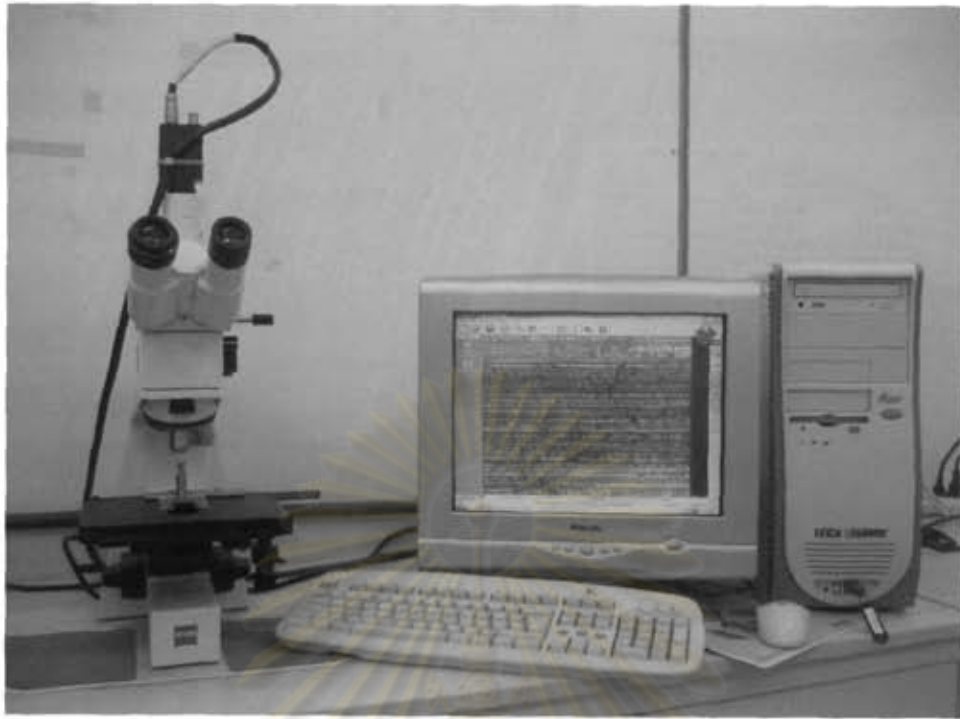
รูปที่ ก-2 ด้านบนของต้นแบบเครื่องเจียรในความเร็วสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



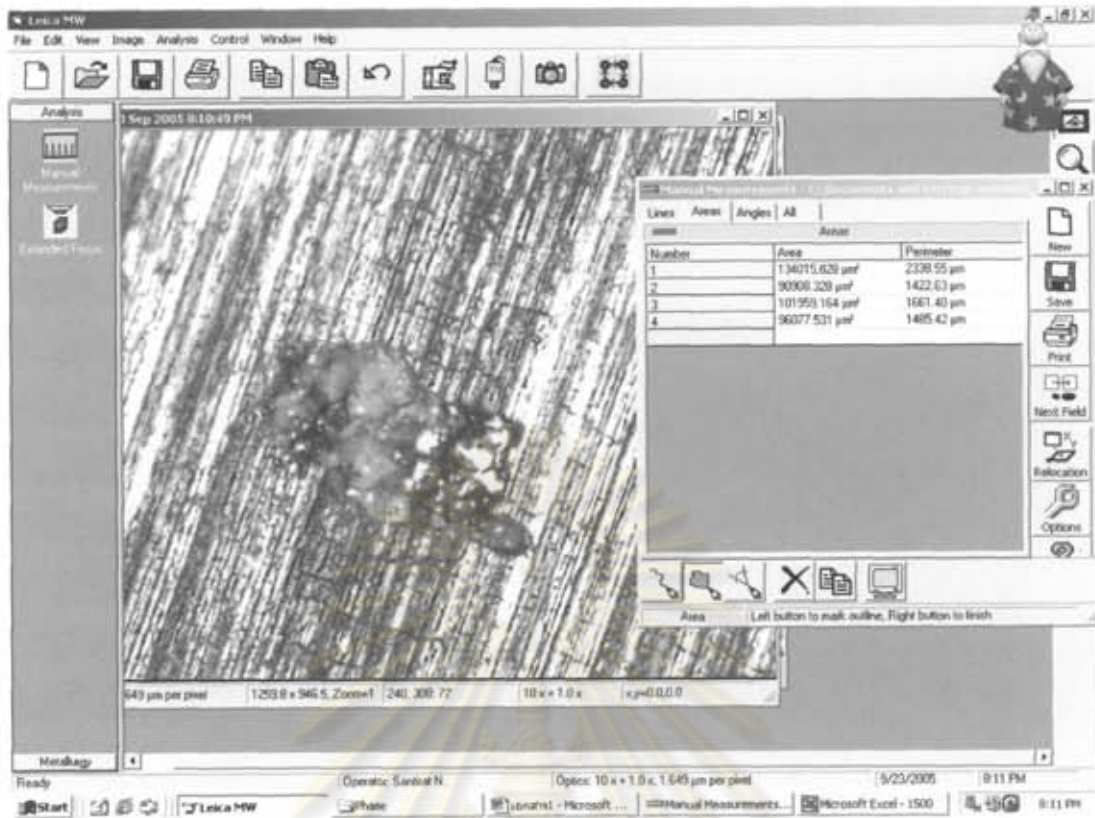
รูปที่ ก-3 การทดสอบการเจียรไนโดยต่อเข้ากับ load cell

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค-4 หน้าจอแสดงผลการทดสอบความหยาบผิว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์ความหยาบผิว

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบ

ต้นทุนในการสร้างเครื่อง ประกอบไปด้วย

1. ค่าจ้างเหมาทำชิ้นส่วนเครื่อง	15,000 บาท
2. ค่าจ้างเหมาทำระบบขับเคลื่อน	14,000 บาท
3. ค่าจ้างเหมาทำอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ	10,000 บาท
4. ค่าวัสดุดิบ ประกอบด้วย	
อลูมิเนียมและเหล็ก	10,000 บาท
ลูกปืน	4,000 บาท
ใบเจียร	7,000 บาท
อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ	6,000 บาท
ปั้มน้ำหล่อเย็น	3,000 บาท
รวมทั้งสิ้น	<u>69,000 บาท</u>



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย