

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

จากการดำเนินการทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1 ผลจากการทดลองเบื้องต้น

จากการดำเนินการทดลองกึ่งชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลืองด้วยใบมีดเพชร กำหนดค่าตัวแปรต่างๆตามแผนการทดลองในบทที่ 3 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระ โดยพิจารณาค่า level of confidence (CL หรือ $1-\alpha$) เมื่อ α เป็นค่า level of significance แบบ two-tailed โดยปกติถือว่า CL=0.90 หมายถึงมีความสำคัญทางสถิติพอที่จะเชื่อถือได้ CL=0.95 หมายถึงมีความสำคัญทางสถิติเชื่อถือได้มาก และ CL=0.99 ขึ้นไปหมายถึงมีความสำคัญทางสถิติเชื่อถือได้สูงมาก ซึ่งสามารถสรุปผลเบื้องต้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระของผิวสำเร็จ ทั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลืองได้ดังนี้

1.1 อัตราการป้อนใบมีด (feed)

จากผลการทดลองเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการป้อนใบมีดมีผลโดยตรงต่อความขรุขระของผิวชิ้นงานโดยค่า α มีค่าต่ำกว่า 0.01 ทั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง นั่นคือสามารถเชื่อถือได้สูงมากกว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนใบมีด ความขรุขระของผิวชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นทั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง

1.2 ความลึกในการป้อนใบมีด (depth of cut)

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของความลึกในการป้อนใบมีดต่อความขรุขระของพื้นผิว ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้กำหนดให้มีความลึกในการป้อนใบมีดน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร และเมื่อนำผลการ

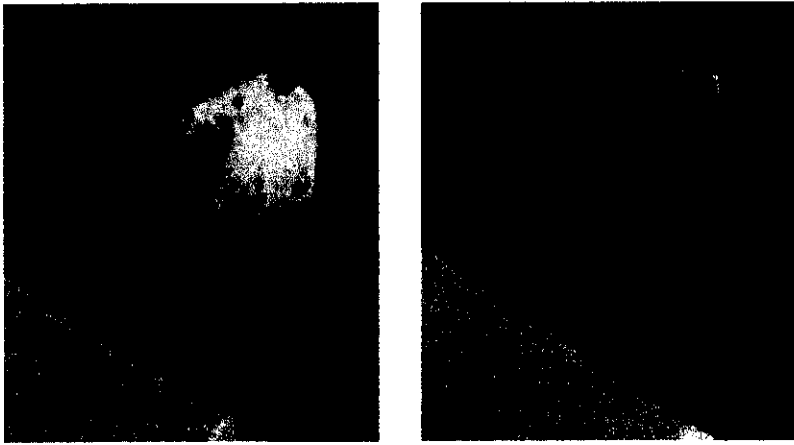
ทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าความลึกในการบิ่นใบมีดไม่มีผลที่สามารถวัดได้ต่อความขรุขระของผิวชิ้นงานทั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง

1.3 ความเร็วในการตัด (cutting speed)

จากการทดลองพบว่าในช่วงของการใช้ความเร็วของการตัดไม่มากนัก ผลของความขรุขระเนื่องจากความเร็วจะสังเกตได้ยาก แต่เมื่อใช้ความเร็วในการตัดสูงขึ้นความขรุขระจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติถึงแม้ค่า CL จะมีค่าต่ำกว่า 0.90 ซึ่งไม่สามารถยอมรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วในการตัดและค่าความขรุขระ แต่ก็ต่ำกว่าไม่มากนัก แสดงว่าแนวโน้มของความขรุขระจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการตัดโดยเฉพาะชิ้นงานอะลูมิเนียม จึงมีความเป็นไปได้ที่ผลการทดลองจะขัดแย้งกับบางทฤษฎีที่เคยมีผู้เสนอเอาไว้ เช่น E.J.A. Amarego ซึ่งใช้ใบมีดไฮสปีดกลึงชิ้นงานอัลลอยของอะลูมิเนียม และ M.C. Shaw ซึ่งใช้ใบมีดคาร์ไบด์กลึงชิ้นงานเหล็กกล้ามีเดียคาร์บอน โดยทั้ง 2 งานวิจัยระบุว่าความขรุขระมีแนวโน้มที่จะลดลงหรือคงที่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น(ศุภโชค, 2543 : 215) นอกจากนี้ในระหว่างการทำทดลองเบื้องต้นได้พบว่าน่าจะมีปัจจัยอื่นเช่นความสั่นสะเทือนเข้ามาเกี่ยวข้องกับค่าความขรุขระที่วัดได้ด้วย ซึ่งจะนำเสนอผลของความสั่นสะเทือนที่มีต่อค่าของความขรุขระต่อไปในหัวข้อ 4.3

1.4 การสึกหรอของใบมีดเพชร

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ได้แยกใบมีดที่ใช้ในการกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลืองออกจากกันเพื่อเปรียบเทียบความสึกหรอ พบว่าในการกลึงชิ้นงานทั้ง 2 ชนิดไม่พบการสึกหรอของใบมีดเนื่องจากการกลึงชิ้นงาน จะมีก็เพียงเศษของวัสดุชิ้นงานติดอยู่บนผิวหน้ามีด ซึ่งทำให้สีของใบมีดเปลี่ยนไป สอดคล้องกับความเข้าใจที่มีอยู่เดิมว่า เมื่อนำใบมีดเพชรที่มีความแข็งสูงไปกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลืองซึ่งเป็นวัสดุอ่อน ใบมีดจะไม่มีอาการสึกหรอ หรือสึกหรอน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่าที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งรูปถ่ายผิวหน้าใบมีดที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก จ



ภาพประกอบ 4.1 แสดงรูปถ่ายไมโครสโคปของชิ้นงานอะลูมิเนียม (ซ้าย) และทองเหลือง (ขวา)

2 การบอบอ่อนชิ้นงาน

จากผลการทดลองวัดความแข็งของชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง แล้วนำชิ้นงานทั้ง 2 ชนิดไปบอบอ่อน จากนั้นจึงนำมาวัดความแข็งเปรียบเทียบกันก่อนและหลังการบอบอ่อน ข้อมูลที่ได้นำมาทดสอบเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าหลังจากการบอบอ่อนชิ้นงานอะลูมิเนียมมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งของชิ้นงานทองเหลืองไม่เปลี่ยนแปลง สาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานอะลูมิเนียมมีความแข็งเพิ่มขึ้นคาดว่าเกิดจากในชิ้นงานมีสิ่งแปลกปลอมผสมอยู่มาก(ดังผลการทดสอบส่วนผสมของชิ้นงานในภาคผนวก ค)

สิ่งแปลกปลอมที่ผสมในเนื้อของอะลูมิเนียมนี้จะเป็นตัวขัดขวางการบอบอ่อนของอะลูมิเนียม นอกจากนี้พบว่าปริมาณสิ่งแปลกปลอมเล็กน้อยที่มีอยู่ในเนื้อของอะลูมิเนียม อาจทำให้ความแข็งแรงของอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นได้อีกถึง 40 % (เล็ก, 2533) ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการบอบอ่อนจากคำแนะนำในคู่มือการเลือกใช้วัสดุ ไม่เพียงพอที่จะบอบอ่อนชิ้นงานให้มีความแข็งลดลงได้ คงเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงความเค้นและความเครียดที่ตกค้างอยู่ในชิ้นงานจากการขึ้นรูป จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบค่าความแข็งก่อนและหลังการบอบอ่อนได้ดังนี้

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง ก่อนและหลังการอบอ่อน

ความแข็งของชิ้นงาน ที่ระยะห่างจาก จุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี (BHN)		อะลูมิเนียม		ทองเหลือง	
		ก่อนอบอ่อน	หลังอบอ่อน	ก่อนอบอ่อน	หลังอบอ่อน
2 cm	ชั้นที่ 1	48.90	55.98	85.14	83.87
	ชั้นที่ 2	53.98	61.48	84.22	83.87
	ชั้นที่ 3	54.04	61.70	83.30	83.65
3.5 cm	ชั้นที่ 1	49.82	55.92	85.14	83.53
	ชั้นที่ 2	52.72	60.39	84.22	83.53
	ชั้นที่ 3	53.13	58.92	83.53	83.08
5 cm	ชั้นที่ 1	47.90	54.78	86.20	84.91
	ชั้นที่ 2	51.38	56.89	84.45	84.91
	ชั้นที่ 3	50.31	56.63	85.38	84.68

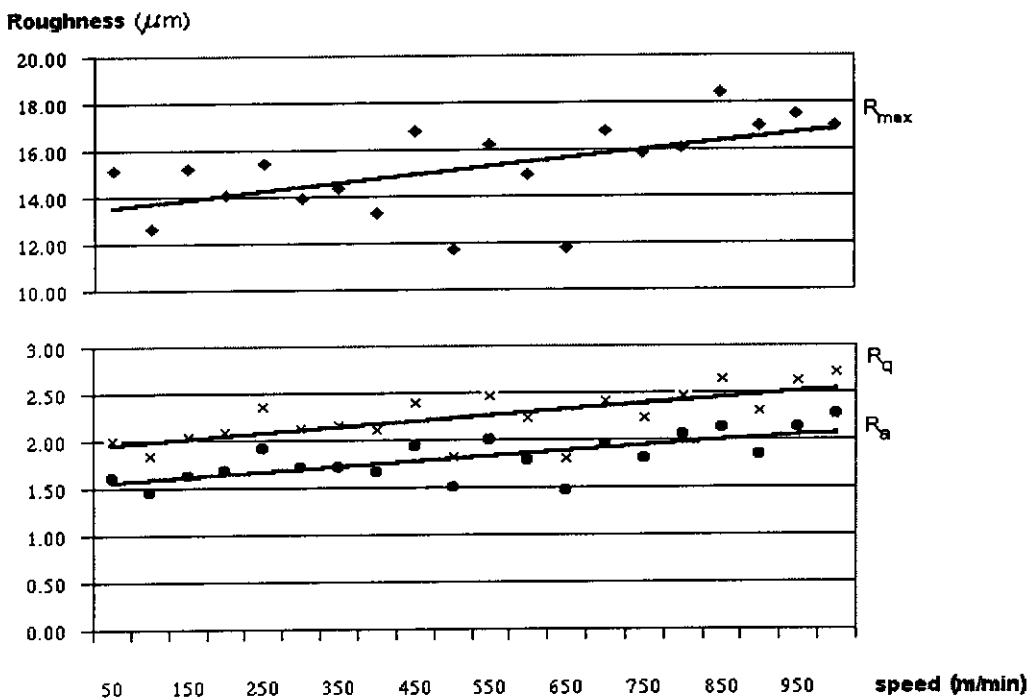
3 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระ ความเร็วในการตัดและความสิ้นสະเทือนของ เครื่องกลึง

ได้ออกแบบการทดลองแบบเปลี่ยนตัวแปรทีละตัว เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความเร็วในการตัดและค่าความขรุขระ จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าความลึกในการป้อนใบมีดไม่ มีผลต่อค่าความขรุขระ ส่วนอัตราป้อนมีผลโดยตรงต่อค่าความขรุขระ จึงได้ออกแบบการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยได้ดำเนินการทดลองกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง ทั้ง ลักษณะตามที่มีจำหน่าย(as-received) ลักษณะที่ผ่านการอบอ่อน(annealed) กำหนดให้ค่า ความลึกในการป้อนใบมีดมีค่าคงที่ 0.05 mm ตลอดการทดลอง เนื่องจากค่าความลึกดังกล่าว สูงกว่าค่า R_{max} ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นซึ่งจะสามารถกำจัดผิวเดิมได้หมด ส่วนอัตราป้อนมีค่า คงที่ 0.046 mm/rev เช่นกันเนื่องจากอัตราป้อนดังกล่าวเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องจะสามารถทำได้ จึง เป็นค่าที่จะทำให้ผิวของชิ้นงานมีค่าความขรุขระน้อยที่สุด บันทึกข้อมูลค่าความขรุขระ R_a , R_q , R_{max} และวัดค่าความความสิ้นสະเทือนของเครื่องกลึงเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ ของความเร็วและความสิ้นสະเทือนต่อค่าความขรุขระที่วัดได้จากการทดลอง

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึง

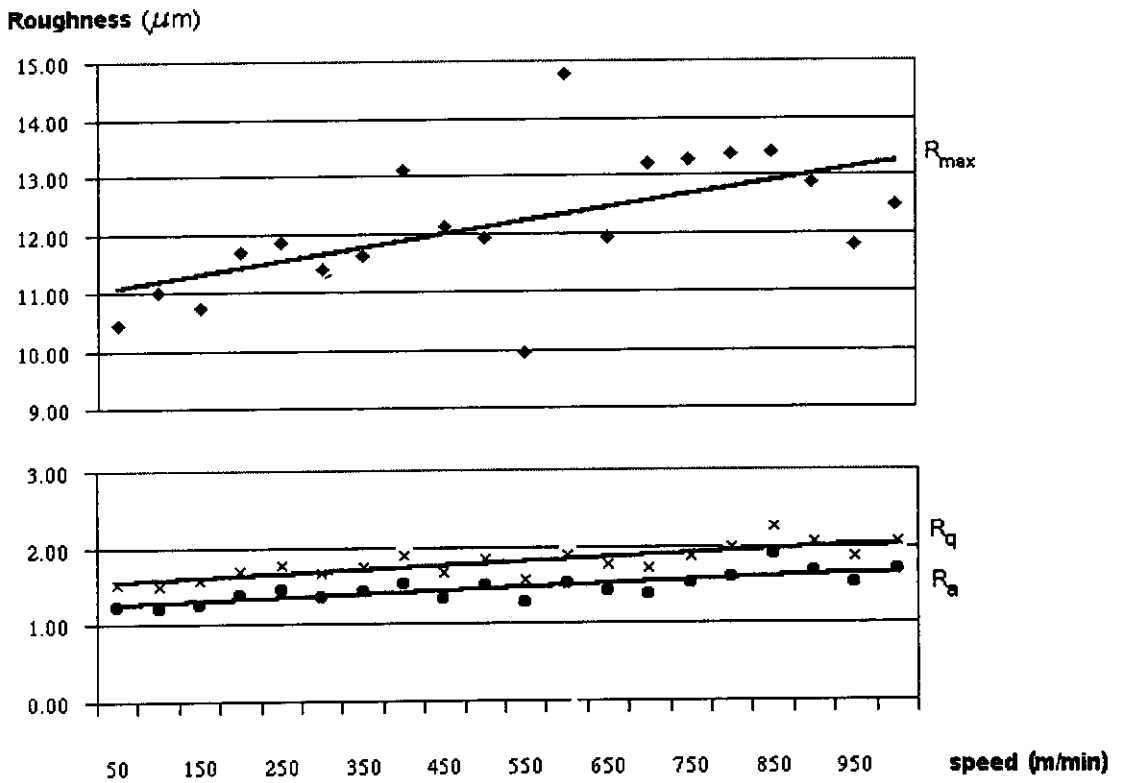
จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึง โดยการทดลองแบบเปลี่ยนตัวแปรทีละตัว ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ทดลองเปลี่ยนค่าความเร็วโดยเริ่มทดลองที่ความเร็ว 50 m/min แล้วเพิ่มความเร็วในการกลึงครั้งละ 50 m/min จนกระทั่งถึง 1,000 m/min โดยทดลองเหมือนกันทั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง ทั้งชิ้นงานตามสภาพที่ได้รับและชิ้นงานผ่านการอบอ่อนรวม 4 การทดลอง พิจารณา ค่า regression coefficient, R ของทุกการทดลองพบว่าค่า R มีค่ามากกว่า 0.6 แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึงดีพอสมควร(ความน่าจะเป็นและสถิติ, 2533) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแยกสรุปแต่ละการทดลองได้ดังนี้

3.1.1 ชิ้นงานอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับ พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการกลึง ค่าความขรุขระ R_a , R_q , R_{max} จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง3ค่า โดยเฉพาะค่า R_{max} ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนมากกว่าค่าอื่น ดังภาพประกอบ 4.2



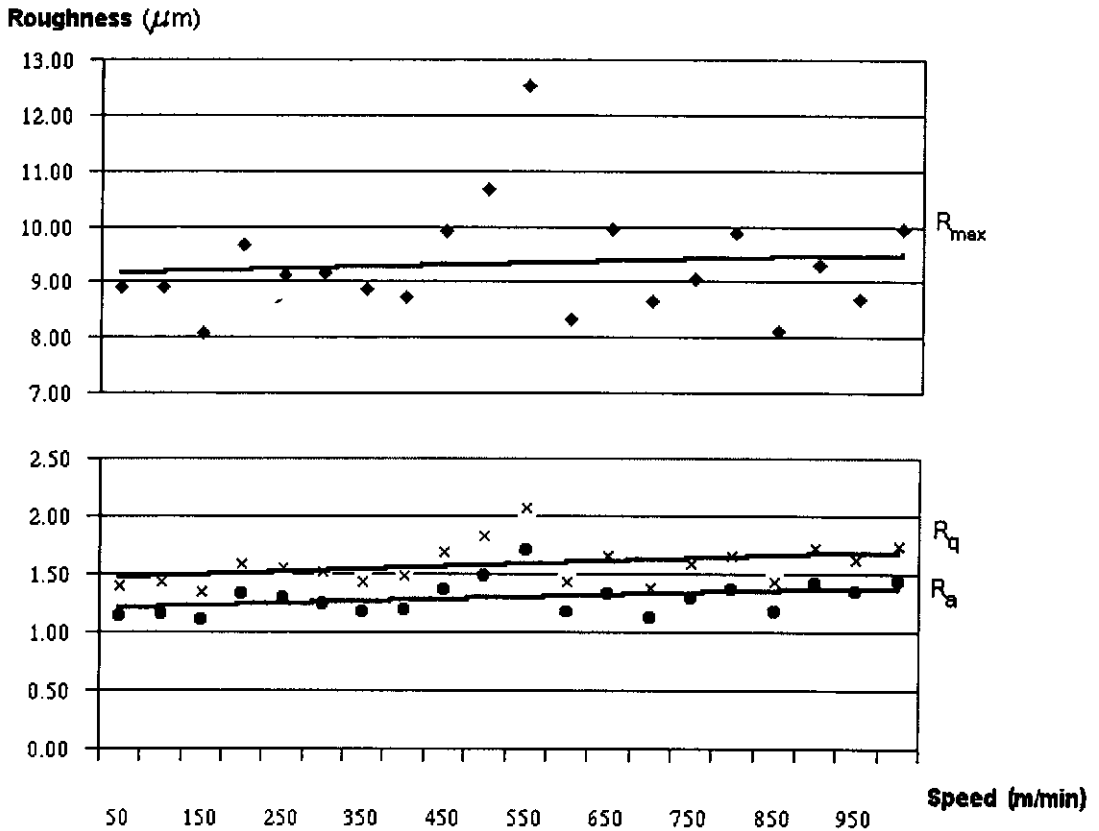
ภาพประกอบ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับ ที่อัตราป้อน.0046mm/rev และความลึกในการตัด.05 mm

3.1.2 ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อน พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการกลึง ค่าความขรุขระ R_a , R_q , R_{max} มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วเหมือนกับกรณีชิ้นงานอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับ ดังภาพประกอบ 4.3



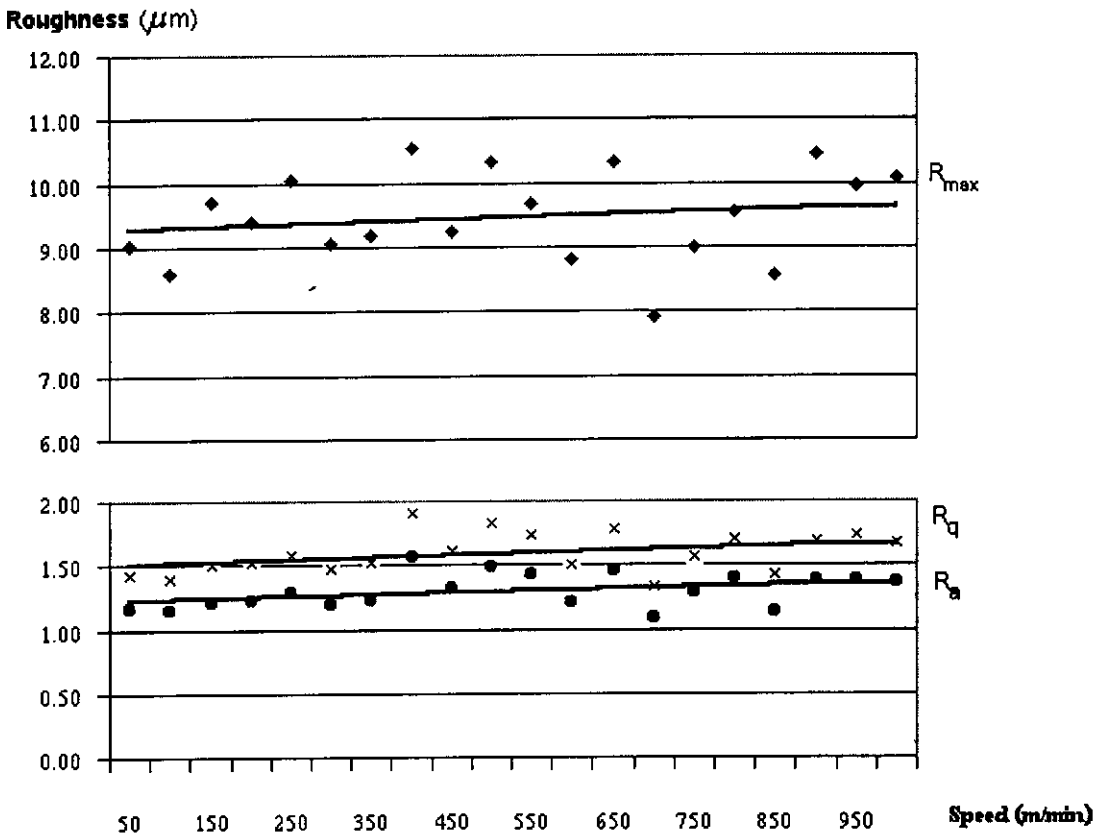
ภาพประกอบ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนที่อัตราป้อน.0046mm/rev และความลึกในการตัด.05 mm

3.1.3 ชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับ พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการกลึง ค่าความขรุขระ R_a , R_q มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วน R_{max} มีแนวโน้มจะคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วในการกลึง ดังภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึงชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับ ที่อัตราป้อน 0.0046 mm/rev และความลึกในการตัด 0.05 mm

3.1.4 ชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการอบอ่อน เช่นเดียวกับชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับ ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการกลึง ค่าความขรุขระ R_a , R_q มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วน R_{max} มีแนวโน้มจะคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วในการกลึง ดังภาพประกอบ 4.5



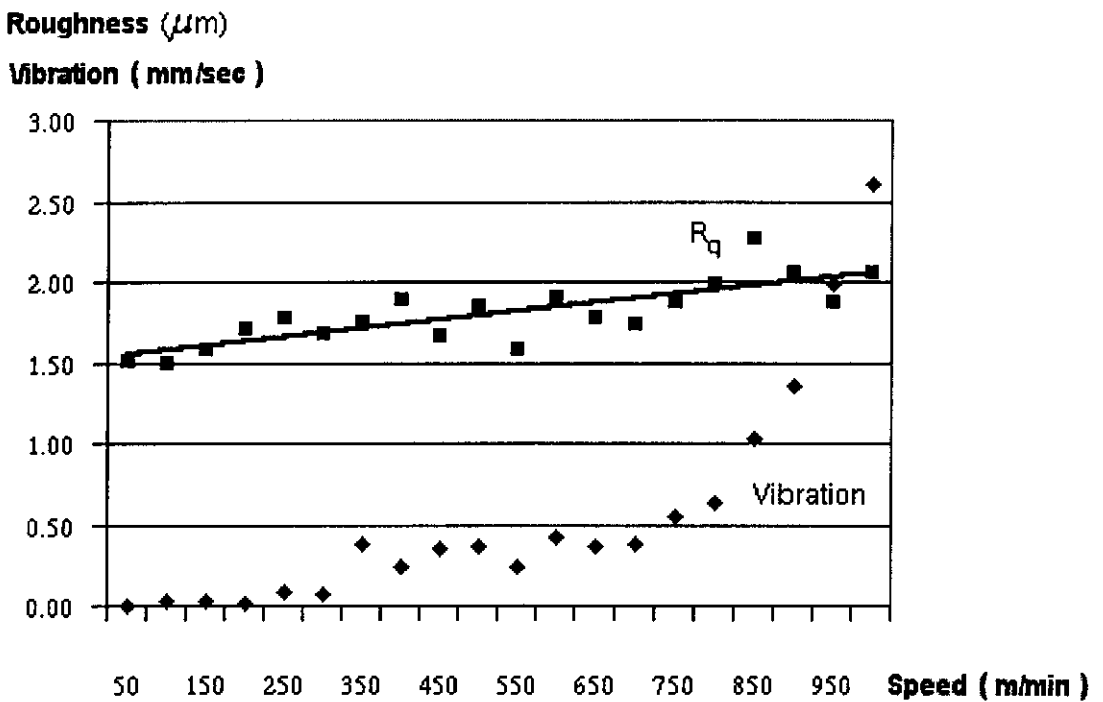
ภาพประกอบ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึงชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการอบอ่อน ที่อัตราป้อน.0046mm/rev และความลึกในการตัด.05 mm

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ ความสั้นสะท้อนและความเร็วในการกลึง

ในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและความเร็วในการกลึงนั้น ได้มีการบันทึกค่าความสั้นสะท้อนของเครื่องกลึงที่ระดับความเร็วต่างๆ โดยบันทึกค่าความสั้นสะท้อน 2 จุด(หน่วยเป็นความเร็วของการสั้นสะท้อน mm/sec) จุดแรกคือบริเวณด้านบนของ head stock

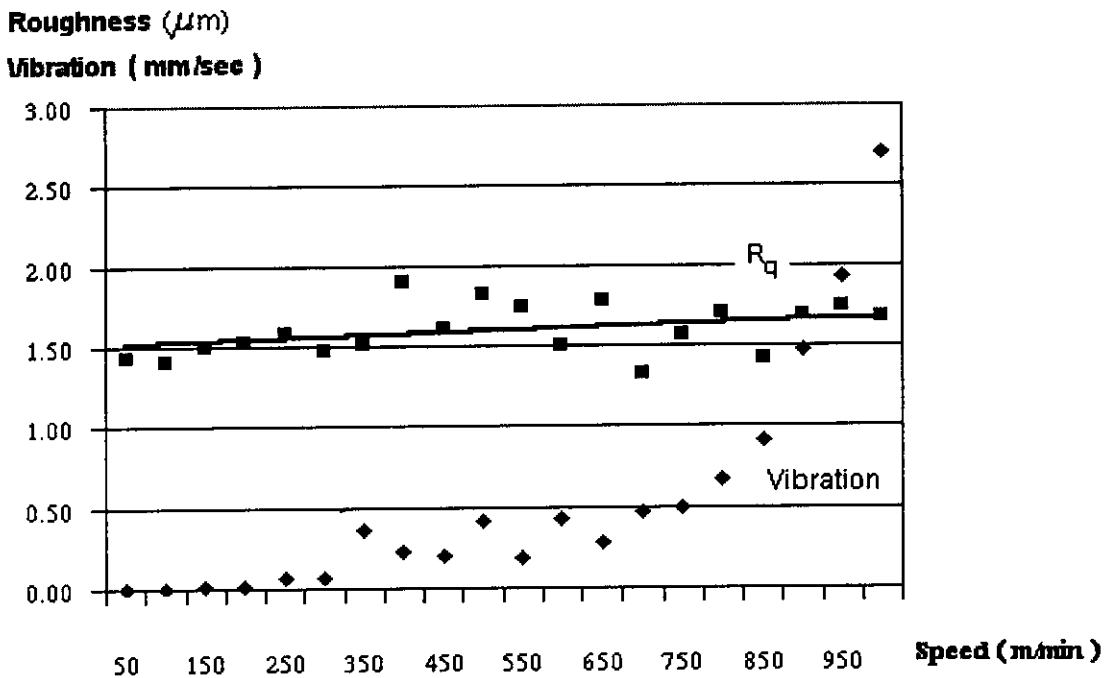
และจุดที่ 2 คือบริเวณด้านบนของบ่อมืด นำค่าที่บันทึกได้มาเฉลี่ยเป็นค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลอง ในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ ความสั่นสะเทือนและความเร็วในการกลึงนั้นจะพิจารณาเฉพาะค่า R_q เปรียบเทียบกันระหว่างชิ้นงานอะลูมิเนียมและชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับพบว่าความสัมพันธ์มีลักษณะดังนี้

3.2.1 ชิ้นงานอะลูมิเนียม นำเฉพาะค่า R_q มาพิจารณาพบว่าเมื่อความเร็วในการกลึงเพิ่มขึ้น ความสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น ความขรุขระของผิวชิ้นงานก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังภาพประกอบ 4.6



ภาพประกอบ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) ความสั่นสะเทือน และความเร็วในการกลึงชิ้นอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับ

3.2.2 ชิ้นงานทองเหลือง พบว่าเมื่อความเร็วในการกลึงเพิ่มขึ้น ความสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น แต่ความขรุขระของผิวชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วและความสั่นสะเทือนน้อยกว่าชิ้นงานอะลูมิเนียม ดังภาพประกอบ 4.7



ภาพประกอบ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) ความสั่นสะเทือน และความเร็วในการกลึงชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับ

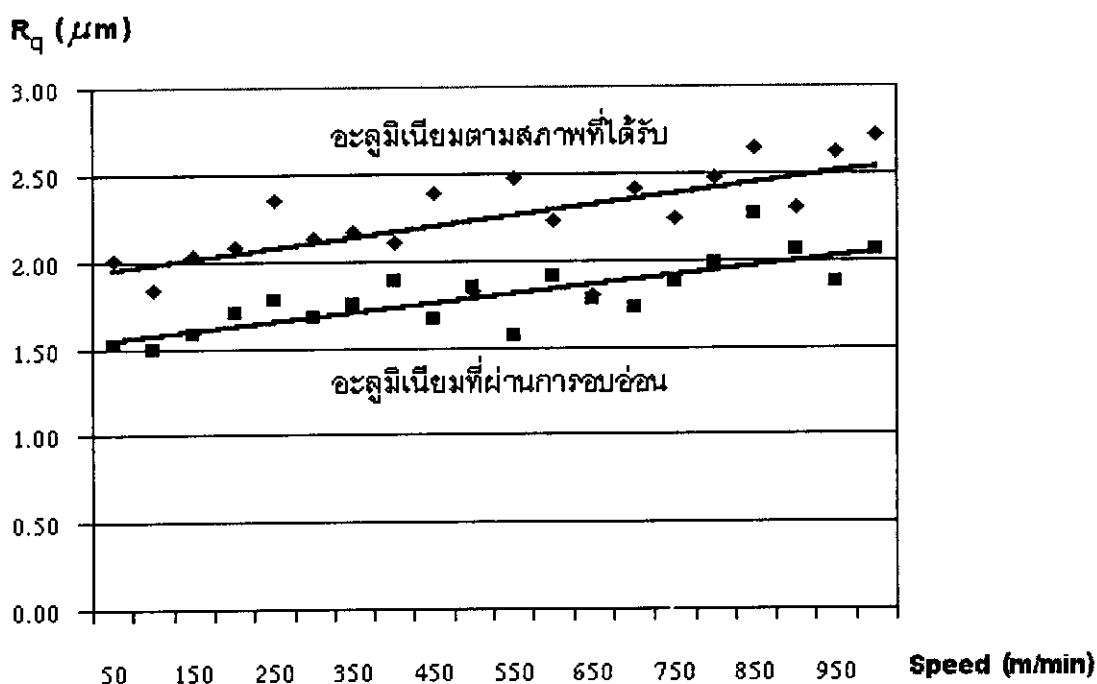
จากการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระนั้น นักวิจัยหลายคนได้กล่าวถึงปัจจัยอันเนื่องมาจากความสั่นสะเทือนของทั้งชิ้นงานและใบมีด ในขณะที่ใบมีดเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงาน ซึ่งการสั่นสะเทือนจะมีผลให้ลักษณะของการตัดซึ่งเดิมหมายถึงการที่ใบมีดเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงานเพียงอย่างเดียวเปลี่ยนไป โดยจะมีการกระแทกกระหว่างใบมีดและชิ้นงานรวมอยู่ด้วย ผลจากลักษณะดังกล่าวทำให้มีการกระแทก แดก และฉีกขาดของพื้นผิวชิ้นงานรวมอยู่กับการรอยของคมมีด

ผลดังกล่าวแสดงออกมาต่างกัน ระหว่างวัสดุเหนียวเช่นอะลูมิเนียมและวัสดุเปราะเช่นทองเหลือง โดยวัสดุเหนียวจะเกิดเป็นครีบและรอยกระแทกบนผิว ทำให้พบว่าเมื่อมีความสั่นสะเทือนมากค่าความขรุขระที่วัดได้จะมีค่ามากขึ้นด้วย และจากการสังเกตพบว่าหากใช้นิ้วมือลูพื้นผิวของชิ้นงานที่จุดใกล้เคียงกับจุดวัดครั้งแรก แล้ววัดค่าความขรุขระซ้ำ พบว่าค่าความขรุขระที่วัดได้จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่สำหรับวัสดุเปราะเช่นทองเหลืองจะไม่พบลักษณะดังกล่าว ดังนั้นความสั่นสะเทือนจึงอาจไม่ส่งผลต่อค่าความขรุขระของวัสดุเปราะมากนัก หรืออาจมีผลแต่เครื่องมือที่มีอยู่ไม่มีความละเอียดเพียงพอที่จะตรวจวัดปัจจัยดังกล่าวได้ ตัวอย่างผิวชิ้นงานจากการทดลองแสดงในภาคผนวก ข

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ การอบอ่อนชิ้นงานและความเร็วในการกลึง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ให้ความสนใจถึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อค่าความขรุขระของผิวสำเร็จ นอกเหนือจากอัตราป้อน ความลึก และความเร็วในการกลึง นั่นคือการปรับปรุงคุณภาพของ ชิ้นงานด้วยการอบอ่อน(annealing) จึงได้ทดลองโดยการนำชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง ไปอบอ่อนแล้วนำมาทดลองกลึงเพื่อเปรียบเทียบค่าความขรุขระ (เฉพาะค่า R_q) กับชิ้นงานตาม สภาพที่ได้รับ แยกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ การอบอ่อนชิ้นงานและความเร็วใน การกลึงของชิ้นงานแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

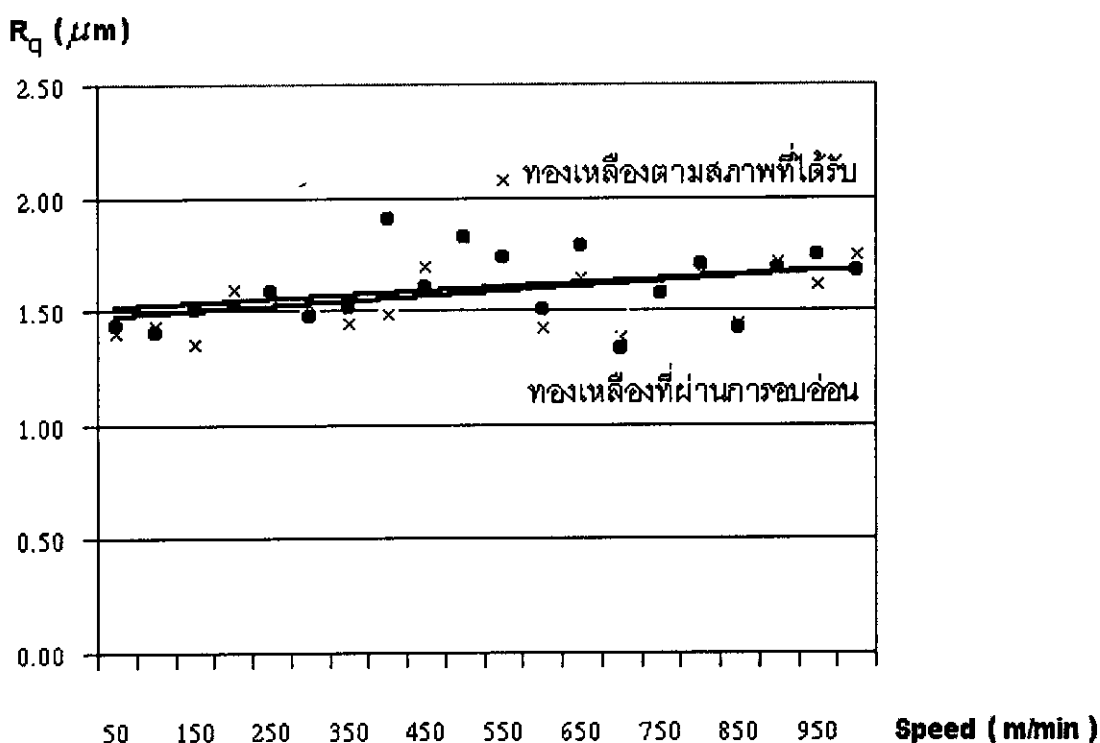
3.3.1 ชิ้นงานอะลูมิเนียม พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าความขรุขระก่อนและหลังการอบอ่อน นั้น ความขรุขระโดยเฉลี่ยของชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน จะมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานชนิดตาม ที่ได้รับมาอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพประกอบ 4.8



ภาพประกอบ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) และความเร็วในการ กลึงชิ้นอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับเปรียบเทียบกับชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่าน การอบอ่อน

3.3.2 **ชิ้นงานทองเหลือง** พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าความขรุขระของผิวสำเร็จ ก่อนและหลังการอบอ่อนนั้น ความขรุขระโดยเฉลี่ยของชิ้นงานตามสภาพที่ได้รับและชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน ไม่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพประกอบ 4.9

จึงสามารถกล่าวได้ว่าการอบอ่อนชิ้นงานอะลูมิเนียมก่อนการกลึงนั้นมีผลทำให้ค่าความขรุขระลดลง แต่จะไม่มีผลกับชิ้นงานทองเหลือง



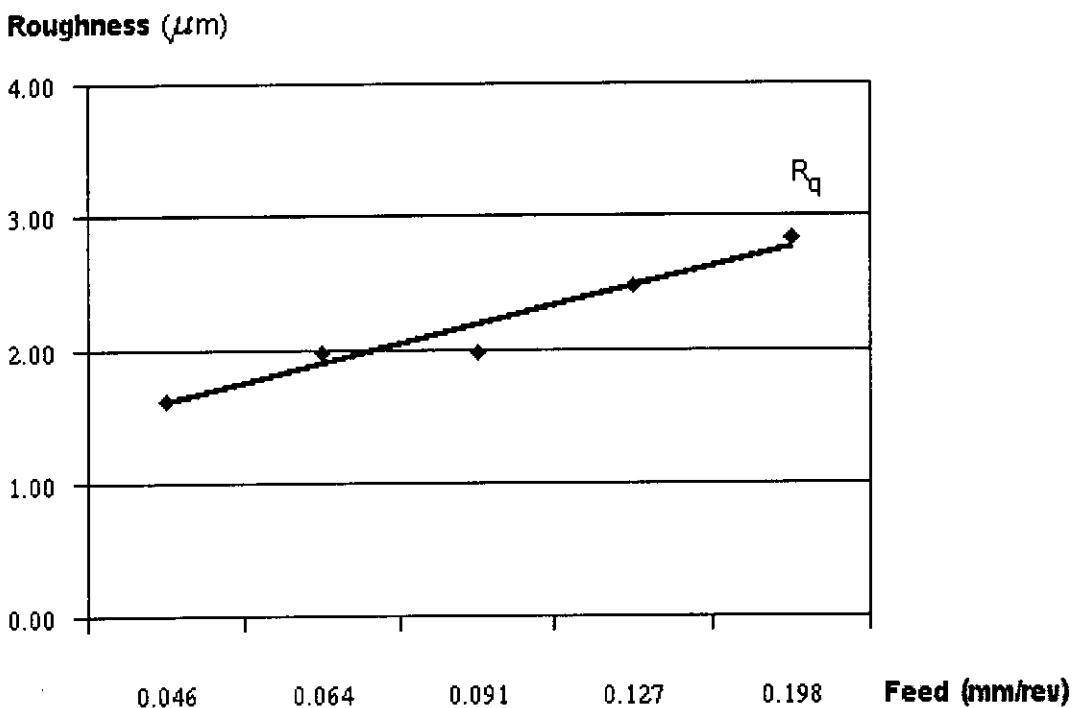
ภาพประกอบ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) และและความเร็วในการกลึงชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับเปรียบเทียบกับชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการอบอ่อน

4 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระและอัตราป้อนของใบมีด

จากการทดลองเบื้องต้นทำให้ทราบว่า อัตราป้อนใบมีดมีผลโดยตรงต่อค่าความขรุขระของผิวชิ้นงานดังนั้นจึงได้ดำเนินการทดลองโดยเปลี่ยนอัตราป้อนของใบมีด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าว โดยทดลองที่ความเร็ว 3 ระดับเพื่อเปรียบเทียบกัน แต่ผลการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง นำค่ามาเฉลี่ยพบความสัมพันธ์ของชิ้นงานทั้ง 2 ชนิด ทั้งตามสภาพที่ได้รับและผ่านการอบอ่อนซึ่งแยกพิจารณาแต่ละการทดลอง ดังนี้

4.1 ชิ้นงานอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับ

พบว่าค่าความขรุขระเพิ่มขึ้นตามอัตราป้อนของใบมีด ดังภาพประกอบ 4.10

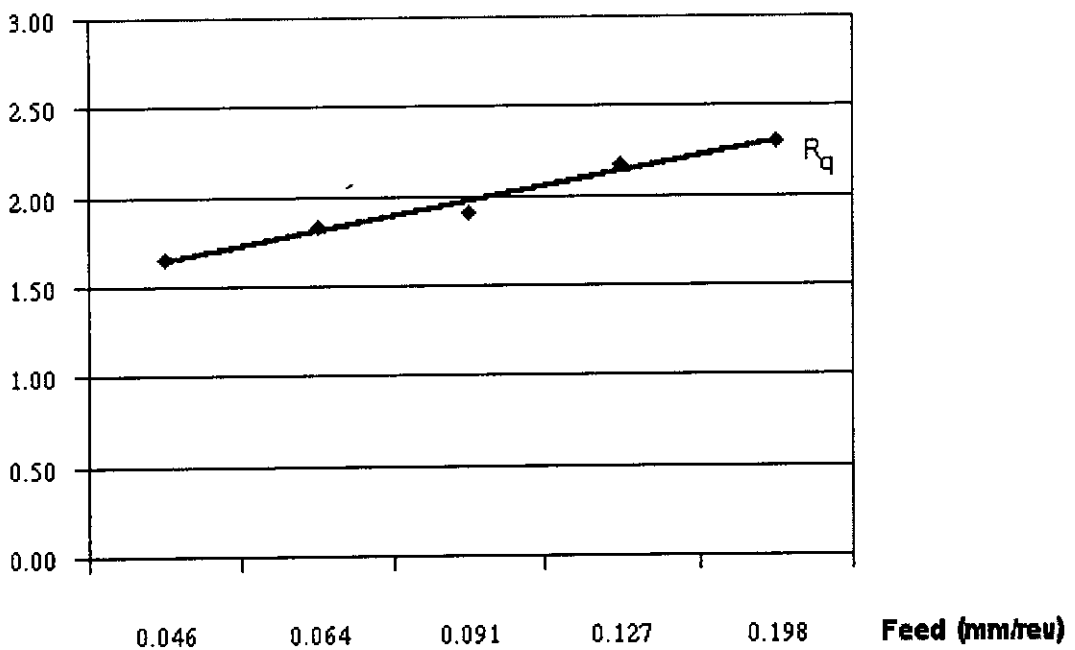


ภาพประกอบ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) และอัตราป้อนของใบมีดในการกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับที่ระดับความเร็ว 500 m/min

4.2 ชิ้นงานอะลูมิเนียมผ่านการอบอ่อน

พบว่าค่าความขรุขระเพิ่มขึ้นตามอัตราป้อนของใบมีดเช่นเดียวกับชิ้นงานอะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับ ดังภาพประกอบ 4.11

Roughness (μm)

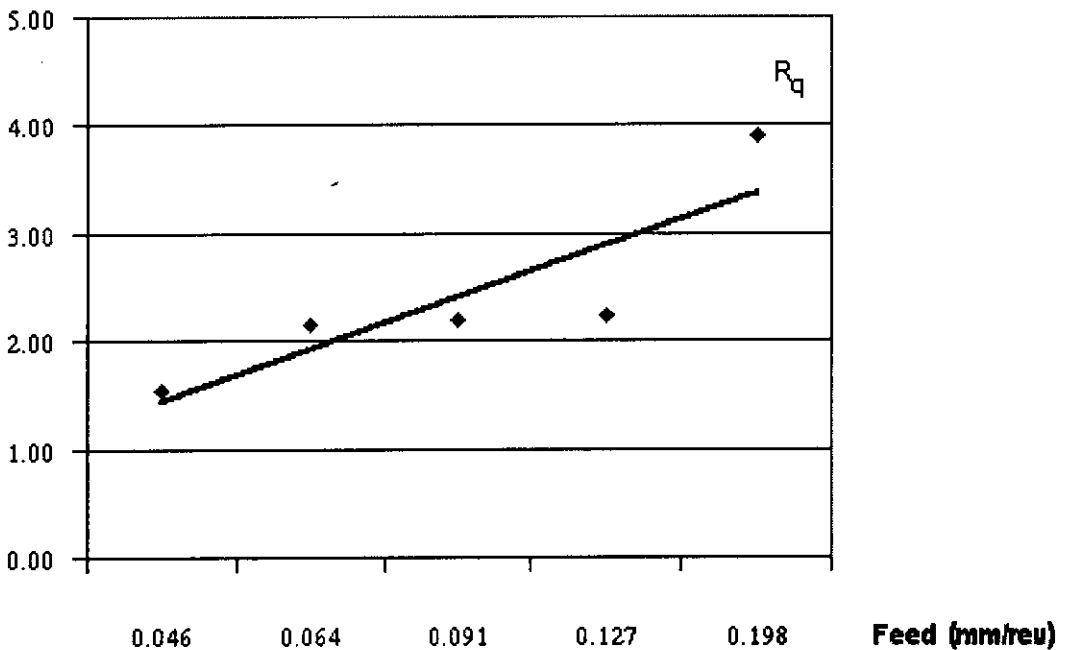


ภาพประกอบ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) และอัตราป้อนของใบมีดในการกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการการอบอ่อนที่ระดับความเร็ว 500m/min

4.3 ชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับ

พบว่าค่าความขรุขระเพิ่มขึ้นตามอัตราป้อนของใบมีด ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของการตัดวัสดุด้วยวิธีการกลึงดังภาพประกอบ 4.12

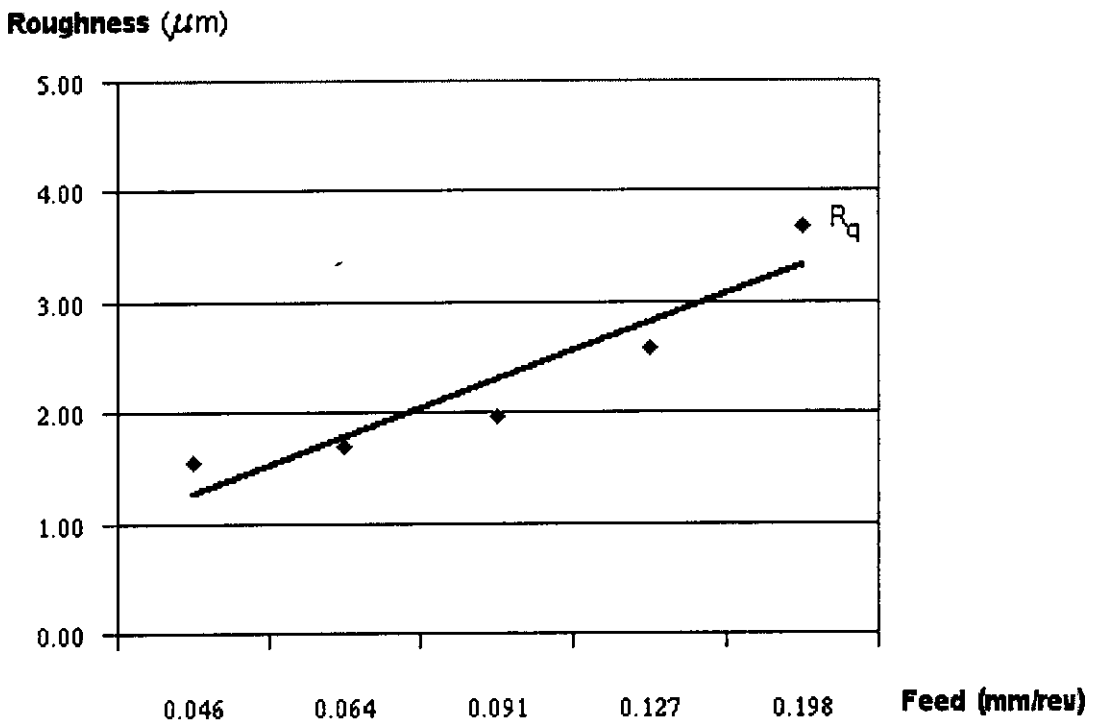
Roughness (μm)



ภาพประกอบ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) และอัตราป้อนของใบมีดในการกลึงชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับที่ระดับความเร็ว 500 m/min

4.4 ชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการอบอ่อน

พบว่าค่าความขรุขระของผิวสำเร็จเพิ่มขึ้นตามอัตราป้อนของใบมีดเช่นเดียวกับชิ้นงานทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับ ดังภาพประกอบ 4.13



ภาพประกอบ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระ(เฉพาะค่า R_q) และอัตราป้อนของใบมีดในการกลึงชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการอบอ่อนที่ระดับความเร็ว 500 m/min

จากการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าความขรุขระและอัตราป้อนของใบมีดในการกลึงชิ้นงานทั้ง 4 ชิ้น เมื่อนำผลการทดลองไปทดสอบทางสถิติ พบว่าความสัมพันธ์มีลักษณะเหมือนกัน นั่นคืออัตราป้อนใบมีดมีผลโดยตรงต่อค่าความขรุขระของผิวชิ้นงาน ซึ่งจากค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวจะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาสมการสำหรับทำนายค่าความขรุขระในการกลึงละเอียด อะลูมิเนียมและทองเหลืองต่อไป

5 สมการของความขรุขระในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลือง

จากการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลืองแล้วพิจารณาค่าความขรุขระ R_a และ R_q และ R_{max} เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยวิธี Multiple linear regression, R เพื่อหาสมการที่ใช้ทำนายค่าความขรุขระ พบว่าปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ซึ่งมีผลต่อค่าความขรุขระนั้นสำหรับชิ้นงานอะลูมิเนียมและชิ้นงานทองเหลืองมี 2 ปัจจัย คือ อัตราป้อนใบมีด และความเร็วในการตัด โดยเมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสมการของความขรุขระผ่านการยอมรับที่ระดับ $CL = 0.95$ และสมการที่ได้จะ fit กับข้อมูลดีมาก เนื่องจากค่า R เฉลี่ยของสมการมีค่า 0.930 ซึ่งถือว่าสูงมาก นั่นคือสมการค่าความขรุขระโดยภาพรวมมีความน่าเชื่อถือสูงและสามารถทำนายค่าความขรุขระได้อย่างแม่นยำ

แต่พบว่าในกรณีของ R_{max} นั้นพบว่าค่า R ของสมการมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยนั้น สาเหตุหลักก็เนื่องมาจาก ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระนอกเหนือจากปัจจัยที่สามารถควบคุมได้เช่นอัตราป้อนและความเร็วในการตัดแล้ว ยังมีผลเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่นความสั่นสะเทือนมาเกี่ยวข้องด้วย รวมทั้งวิธีการวัดค่าที่นำเฉพาะค่าความขรุขระสูงสุดมาพิจารณาเพียงค่าเดียว ทำให้ความน่าเชื่อถือของสมการมีค่าลดลง แต่ก็ยังพอใช้งานได้ เนื่องจากค่า R ยังมีค่ามากกว่า 0.5 ซึ่งถือว่ายังพบความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ สามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปสมการของค่าความขรุขระในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลืองที่ได้จากการทดลองได้ดังนี้

$$R_a = K_{1a} + K_{2a}f + K_{3a}s \quad (4.1)$$

$$R_q = K_{1q} + K_{2q}f + K_{3q}s \quad (4.2)$$

$$R_{max} = K_{1max} + K_{2max}f + K_{3max}s \quad (4.3)$$

เมื่อ R_a , R_q และ R_{max} เป็นค่าความขรุขระหน่วยเป็น μm

f เป็นอัตราป้อนใบมีดหน่วยเป็น mm/rev

v เป็นความเร็วในการตัดหน่วยเป็น m/min

ค่าคงตัวต่างๆ ในสมการค่าความขรุขระแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

พบว่าเมื่อเขียนสมการที่ได้จากการทดลองให้มีลักษณะเป็นสมการเส้นตรง สมการจะ fit กับผลการทดลองได้ดี จึงอาจกล่าวได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วในการตัด อัตราป้อน

ใบมีด และค่าความขรุขระของผิวสำเร็จ มีลักษณะเป็นเส้นตรง และสามารถนำไปทำนายค่าความขรุขระในการกลึงละเอียดได้

ตาราง 4.2 แสดงค่าคงตัวในสมการของความขรุขระ ในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียม และทองเหลือง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	ค่าความขรุขระ	ค่าคงตัวในสมการความขรุขระ				
		K_1	K_2	K_3	R	CL
1. อะลูมิเนียมตามสภาพที่ได้รับ	R_a	0.993	4.363	3.194e-4	0.951	1.000
	R_q	1.261	6.701	4.069 e-4	0.967	1.000
	R_{max}	13.069	31.349	1.103 e-3	0.923	1.000
2. อะลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อน	R_a	0.916	2.585	5.925 e-4	0.970	1.000
	R_q	1.156	4.220	7.431 e-4	0.978	1.000
	R_{max}	10.259	21.458	3.983 e-3	0.553	0.888
3. ทองเหลืองตามสภาพที่ได้รับ	R_a	0.532	12.565	1.899 e-4	0.953	1.000
	R_q	0.779	14.069	2.077 e-4	0.959	1.000
	R_{max}	6.549	63.070	7.431 e-4	0.969	1.000
4. ทองเหลืองที่ผ่านการอบอ่อน	R_a	0.603	12.074	-2.222e-6	0.990	1.000
	R_q	0.784	13.912	4.644 e-5	0.992	1.000
	R_{max}	7.806	56.599	1.728 e-4	0.955	1.000
				<u>เฉลี่ย</u>	<u>0.930</u>	<u>0.991</u>

หมายเหตุ $e-x$ คือ $\times 10^{-x}$

หน่วยของ R_a , R_q และ R_{max} เป็น μm

R คือ regression coefficient

CL คือ confidence level

6 ความขรุขระของผิวในอุดมคติและจากการทดลอง

จากความเข้าใจในอดีต พื้นผิวสำเร็จในการตัดวัสดุคือผิวที่คมมีดฝากรอยเอาไว้ และค่าความขรุขระคือค่าที่คำนวณได้จากผิวที่คมมีดฝากรอยเอาไว้โดยไม่มีอิทธิพลอื่นๆ เช่นการกะเทาะหรือฉีกขาดของพื้นผิวเข้ามาเกี่ยวข้อง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระในอุดมคติมีเฉพาะค่าของมุมมีด และรัศมีจุมมีดเท่านั้น (ดังแสดงในภาคผนวก ก) เมื่อนำเครื่องมือวัดค่าความขรุขระมาวัดค่าความขรุขระจริงที่วัดได้ ควรมีค่าเท่ากับค่าความขรุขระที่เกิดจากการรอยใบมีด(ศุภโชค, 2543)

แต่จากการทดลองครั้งนี้พบว่าความขรุขระที่วัดได้จริงจะสูงกว่าค่าความขรุขระที่คำนวณจากการรอยใบมีดเป็นอย่างมาก ทั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมและชิ้นงานทองเหลือง (เปรียบเทียบเฉพาะค่า R_{max}) ในการเปรียบเทียบค่าความขรุขระในอุดมคติซึ่งได้จากการคำนวณ ซึ่งวิธีการคำนวณและสมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก นำมาเปรียบเทียบกับค่าความขรุขระที่ได้จากสมการทำนายค่าความขรุขระจากการทดลอง โดยทดลองที่ความเร็วในการตัดต่ำสุด ทั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองเหลือง เนื่องจากในช่วงความเร็วในการตัดต่ำนั้น ค่าความขรุขระมีค่าน้อยที่สุด จึงคำนวณค่าความขรุขระโดยให้ความเร็วในการตัดมีค่าเป็นศูนย์สำหรับการเปรียบเทียบ (เปรียบเทียบเฉพาะค่า R_{max}) ผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 เปรียบเทียบค่าความขรุขระในอุดมคติและค่าความขรุขระที่ได้จากการทดลอง

ชิ้นงาน	กรณี	feed (mm)	Depth (mm)	r_e (mm)	Ψ	Ψ	h_{OA} (μm)	R_{max} (μm)	ความ แตกต่าง
อะลูมิเนียมที่ได้รับ	1	.046	.05	0.4	30°	60°	0.66	14.51	13.85
อะลูมิเนียมที่ได้รับ	2	.064	.05	0.4	30°	60°	1.28	15.06	13.78
อะลูมิเนียมที่ได้รับ	3	.091	.05	0.4	30°	60°	2.59	15.94	13.35
อะลูมิเนียมที่ได้รับ	4	.127	.05	0.4	30°	60°	5.07	17.05	11.98
อะลูมิเนียมที่ได้รับ	5	.198	.05	0.4	30°	60°	12.44	19.27	6.83
อะลูมิเนียมอบอ่อน	1	.046	.05	0.4	30°	60°	0.66	11.22	10.56
อะลูมิเนียมอบอ่อน	2	.064	.05	0.4	30°	60°	1.28	11.60	10.32
อะลูมิเนียมอบอ่อน	3	.091	.05	0.4	30°	60°	2.59	12.20	9.61
อะลูมิเนียมอบอ่อน	4	.127	.05	0.4	30°	60°	5.07	12.97	7.9
อะลูมิเนียมอบอ่อน	5	.198	.05	0.4	30°	60°	12.44	14.49	2.05
ทองเหลืองที่ได้รับ	1	.046	.05	0.4	30°	60°	0.66	9.40	8.74
ทองเหลืองที่ได้รับ	2	.064	.05	0.4	30°	60°	1.28	10.50	9.22
ทองเหลืองที่ได้รับ	3	.091	.05	0.4	30°	60°	2.59	12.22	9.63
ทองเหลืองที่ได้รับ	4	.127	.05	0.4	30°	60°	5.07	14.43	9.36
ทองเหลืองที่ได้รับ	5	.198	.05	0.4	30°	60°	12.44	18.82	6.38
ทองเหลืองอบอ่อน	1	.046	.05	0.4	30°	60°	0.66	10.44	9.78
ทองเหลืองอบอ่อน	2	.064	.05	0.4	30°	60°	1.28	11.45	10.17
ทองเหลืองอบอ่อน	3	.091	.05	0.4	30°	60°	2.59	13.02	10.43
ทองเหลืองอบอ่อน	4	.127	.05	0.4	30°	60°	5.07	15.03	9.96
ทองเหลืองอบอ่อน	5	.198	.05	0.4	30°	60°	12.44	19.04	6.6

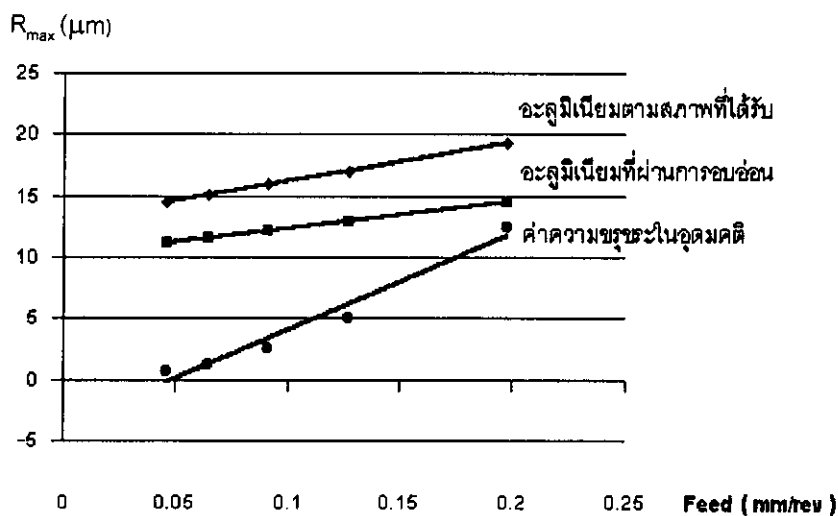
หมายเหตุ h_{OA} คือค่าความขรุขระที่คำนวณได้จากทฤษฎี

R_{max} คือค่าความขรุขระที่ได้จากสมการความขรุขระในการทดลอง

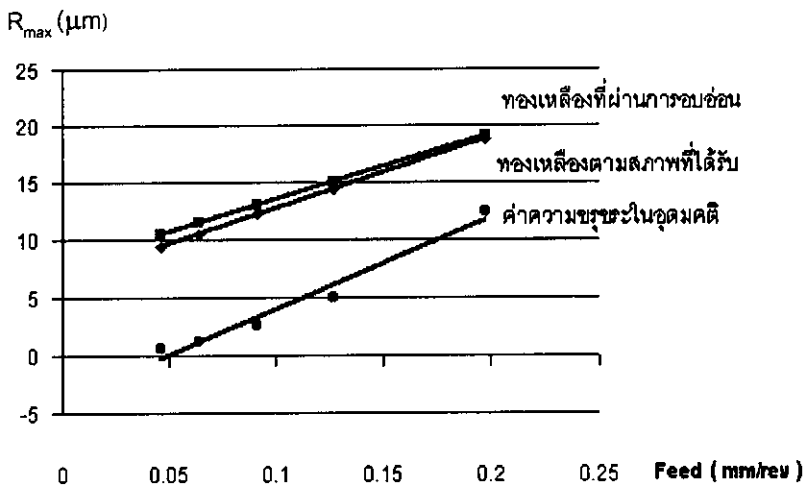
ความแตกต่างมีค่าเท่ากับ $R_{max} - h_{OA}$

จากตาราง 4.3 พบว่า ค่าความขรุขระจากการทดลองซึ่งได้มาจากการคำนวณจากสมการค่าความขรุขระ และค่าความขรุขระจากทฤษฎีการฝากรอยของคมมีดไม่ได้ไปด้วยกัน ทั้งนี้เนื่องมาจาก ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระไม่ได้มีเฉพาะปัจจัยที่ควบคุมได้คือ speed, feed และ depth เท่านั้น แต่ยังคงมีปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การสั่นสะเทือนของชิ้นงานและใบมีด การกะเทาะฉีกขาดของผิวสำเร็จ และความเป็นเนื้อเดียวกันของชิ้นงาน เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าความขรุขระในอุดมคติและจากการทดลองได้ดังภาพประกอบ 4.14 และ 4.15

ผลจากการทดลองบอกให้ทราบว่า ค่าความขรุขระในอุดมคติเป็นค่าต่ำกว่าค่าความเป็นจริงทุกกรณี ดังนั้นค่าความขรุขระในอุดมคติจึงไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์ค่าความขรุขระได้



ภาพประกอบ 4.14 แสดงอิทธิพลของอัตราป้อนต่อค่าความขรุขระที่คำนวณจากรอยใบมีดและค่าความขรุขระที่วัดได้จริงจากการทดลองกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมด้วยใบมีดเพชร



ภาพประกอบ 4.15 แสดงอิทธิพลของอัตราป้อนต่อค่าความขรุขระที่คำนวณจากรอยใบมีดและค่าความขรุขระที่วัดได้จริงจากการทดลองกลึงชิ้นงานทองเหลืองด้วยใบมีดเพชร

7 สมการของแรงตัดในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลือง

ในการทดลองเพื่อศึกษาถึงแรงตัดในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลืองนั้น จะต้องนำค่า \$v\$, \$d\$, และ \$f\$ มาพิจารณาทุกตัว โดยใช้รูปแบบสมการแรงตัดที่ได้จากการทดลอง สมการของแรงตัดจากการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้ (\$F\$ แทน \$F_{tang}\$, \$F_{red}\$ และ \$F_{feed}\$ มีหน่วยเป็น kgf) (ศุภโชค, 2538)

$$F = 10^{C_0} v^{C_v} f^{C_f} d^{C_d} \tag{4-4}$$

- เมื่อ \$v\$ เป็นความเร็วในการตัดหน่วยเป็น m/min
- \$f\$ เป็นอัตราป้อนใบมีดหน่วยเป็น mm/rev
- \$d\$ เป็นความลึกในการตัดหน่วยเป็น mm

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยวิธี Multiple linear regression R ในรูปแบบของ linear regression in logarithmic scale โดยพิจารณาตัวแปรอิสระทุกตัวคือ \$v, f, d\$ และตัวแปรตามคือแรงตัด \$F_{tang}\$, \$F_{red}\$ และ \$F_{feed}\$ การเลือกใช้หน่วยดังกล่าวนี้ ทำให้ค่าของตัวเลขกระทำตรีตสมการของแรงสั้นและเข้าใจง่าย รูปแบบของสมการมีดังต่อไปนี้

$$\log F = C_0 + C_v \cdot \log v + C_f \cdot \log f + C_d \cdot \log d \quad (4-5)$$

โดย F หมายถึงแรงตัด (cutting force) ในสามทิศทาง คือ F_{tang} , F_{red} และ F_{feed}

ได้ผลสรุปเหมือนกันทั้งอะลูมิเนียมและทองเหลือง นั่นคือค่าของแรงตัดทุกค่า (ค่า F ทั้ง F_{tang} , F_{red} และ F_{feed}) มีค่าน้อยมาก และมีหลายค่าจากการทดลองที่เครื่องวัดแรงอ่านค่าเป็นลบ ซึ่งเมื่อเขียนให้อยู่ในรูปแบบ logarithmic scale ทำให้ไม่สามารถหาดังกล่าวค่าได้

ผู้วิจัยได้พยายามแทนค่าแรงที่น้อยกว่า 0 (ค่าของแรงจากการวัดที่ติดลบ) ด้วยค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถเป็นไปได้อีก (0.001kgf.) แล้วดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติต่อด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS/PC* เพื่อพยายามหาสมการของแรงตัดในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลือง และเมื่อพิจารณาค่า Multiple linear regression R ของสมการพบว่าค่า R ส่วนใหญ่มีค่าใกล้ 0 หมายความว่าสมการที่ได้จากการทดลองกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลืองเชื่อถือได้น้อยมาก

จากข้อสรุปข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า ในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลืองนั้น ค่าของแรงตัดมีค่าน้อยมาก วิธีการวัดและเครื่องมือที่มีอยู่ไม่แม่นยำพอที่จะวัดค่าดังกล่าวได้ ซึ่งเมื่อนำค่าจากการทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นค่าของแรงในการกลึงละเอียดอะลูมิเนียมและทองเหลืองจึงอาจจะเลยหรือไม่นำมาพิจารณาก็ได้