

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 โดยเทียบกับมาตรฐานของค่าความเรียบของพื้นผิวที่ได้จากการเจียรนัย ($R_a = 0.1 - 1.6 \mu\text{m}$) ในการกำหนดค่าความเรียบผิว ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน 3 ระดับ สภาพปกติ(Normal) อบอ่อน (Annealing) และ อบปกติ (Normalizing) ความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 380, 420 และ 460 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาทีซึ่งตัวแปรดังกล่าวมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 เพื่อศึกษาคูตัวแปรหลัก (สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนหรือความเร็วตัดหรืออัตราป้อน) และตัวแปรร่วม (สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนกับความเร็วตัด, สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนกับอัตราป้อน, ความเร็วตัดกับอัตราป้อน และสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนกับความเร็วตัดกับอัตราป้อน) ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 จากการทดลองอย่างไร หลังจากทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวงาน ในการกัดเหล็กกล้า AISI 1045 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองจริงปรากฏว่า ค่าความเรียบของพื้นผิวอยู่ในขอบเขตที่กำหนดโดยเทียบกับผิวของงานเจียรนัย ($0.1 - 1.6 \mu\text{m}$) เพราะเมื่อกำหนดให้ความแข็งชิ้นงานอยู่ในสภาพปกติ (Normal) แล้วเปลี่ยนอัตราป้อนเป็น 100 , 180 มม./นาที่ ใช้ความเร็วตัด 380,460 ม./นาที่ ได้ค่าความเรียบของพื้นผิวเท่ากับ 0.86, 1.12, 0.72, และ 0.96 μm ตามลำดับ และเมื่อกำหนดให้ความแข็งชิ้นงานอยู่ในสภาพอบอ่อน (Annealing) แล้วเปลี่ยนอัตราป้อนเป็น 100 , 180 มม./นาที่ ใช้ความเร็วตัด 380,460 ม./นาที่ ได้ค่าความเรียบของพื้นผิวเท่ากับ 0.67, 0.82, 0.54, และ 0.72 μm และเมื่อกำหนดให้ความแข็งชิ้นงานอยู่ในสภาพอบปกติ (Normalizing) แล้วเปลี่ยนอัตราป้อนเป็น 100 , 180 มม./นาที่ ใช้ความเร็วตัด 380,460 ม./นาที่ ได้ค่าความเรียบของพื้นผิวเท่ากับ 0.98 1.10 0.67 และ 0.82 μm ซึ่งทั้ง 3 กลุ่มมีค่าความเรียบของพื้นผิวอยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($R_a=0.1-1.6 \mu\text{m}$) ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นอิทธิพลหลัก (Main Effect) พบว่าความเร็วตัดมีค่า Sig หรือ $P = 0.000 < \alpha = 0.01$ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (α) .01 โดยที่สภาพความแข็งชิ้นงานและอัตราป้อนไม่มีผลต่อความเรียบผิว ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

5.1.3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผิวงาน คือสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนมีความสัมพันธ์กับ ความเร็วตัด ค่า Sig หรือ $P = 0.005 > \alpha = 0.05$ และความเร็วตัดมีความสัมพันธ์กับ อัตราป้อนค่า $P = 0.019 > \alpha = 0.05$ มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (α) 0.05 โดยที่ตัวแปรอื่น ไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

5.1.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวแปรรายคู่ (Multiple Comparisons) ในส่วนสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน เมื่อเปรียบเทียบสภาพความแข็งชิ้นงานเป็นรายคู่ที่ระดับ สภาพปกติ, สภาพอบอ่อน และ สภาพอบปกติ พบว่าสภาพความแข็งชิ้นงานที่ระดับ สภาพปกติ กับ สภาพอบปกติ $P = 0.025 > \alpha = 0.05$ มีความแตกต่างต่อความเรียบของผิวงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (α) 0.05 ดังตารางที่ ข.2 ส่วน ความเร็วตัดเมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วตัดเป็นรายคู่ที่ระดับ 380, 420 และ 460 เมตรต่อนาที พบว่าทุกคู่มีความแตกต่างต่อความเรียบของผิวงานโดยที่ความเร็วตัดที่ระดับ 380 กับ 420 เมตรต่อนาที $P = 0.000 > \alpha = 0.01$ ความเร็วตัดที่ระดับ 380 กับ 460 เมตรต่อนาที $P = 0.002 > \alpha = 0.01$ และความเร็วตัดที่ระดับ 420 กับ 460 เมตรต่อนาที $P = 0.001 > \alpha = 0.01$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (α) .01 ดังตารางที่ ข.3 ส่วนการเปรียบเทียบรายคู่ของอัตราป้อนนั้นพบว่าไม่มีระดับอัตราป้อนคู่ใดที่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างของความเรียบผิว

5.1.5 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิว ระหว่างสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนกับความเร็วตัด พบว่าค่าความเรียบผิว (R_a) ละเอียดที่สุด คือ สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน ใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ระดับ 420 ม./นาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.473 μm และ ค่าความเรียบผิว (R_a) ที่หยาบที่สุดคือ สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบปกติ ใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ 380 ม./นาที มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.011 μm ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.3

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิว ระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน พบว่าค่าความเรียบผิว (R_a) ละเอียดที่สุด คือ การใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ระดับ 420 ม./นาทีและอัตราป้อน 100 มม./นาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.480 μm และ ค่าความเรียบ

ผิว (Ra) ที่หยาบที่สุดคือ การใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ระดับ 380 ม./นาที่และอัตราป้อน 180 มม./นาที่ มีค่าเฉลี่ยประมาณ $0.965 \mu\text{m}$ ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.4

5.1.6 Response Surface Regression เพื่อการพยากรณ์ค่าความเรียบของผิวงาน (Ra) สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ดังนี้ การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักทั้ง 3 ตัวกับความเรียบผิว ซึ่งเป็นตัวแปรตาม ผลจากจากการวิเคราะห์การถดถอย ที่ 4.4 ตัวแปรความเร็วตัดเป็นตัวทำนายความเรียบผิวของการทดลองเพราะมีค่า $P = 0.035 < 0.05$ จึงสรุปได้ว่าความเร็วตัดมีความสัมพันธ์กับความเรียบของผิวงาน และสามารถนำไปพยากรณ์หาค่าความเรียบของผิวงานได้อย่างมีนัยสำคัญ .05

5.1.7 การวิเคราะห์ Response Surface Regression เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเรียบผิว (Ra) สภาพความแข็งชิ้นงาน ความเร็วตัด และอัตราป้อน หากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นในการตัดสินใจของการพยากรณ์ได้จากค่า $R - Sq = 8.3 \%$ $R - Sq(adj) = 6.5 \%$ หมายความว่า ความเร็วตัด มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบผิวเพียง 8.3 %

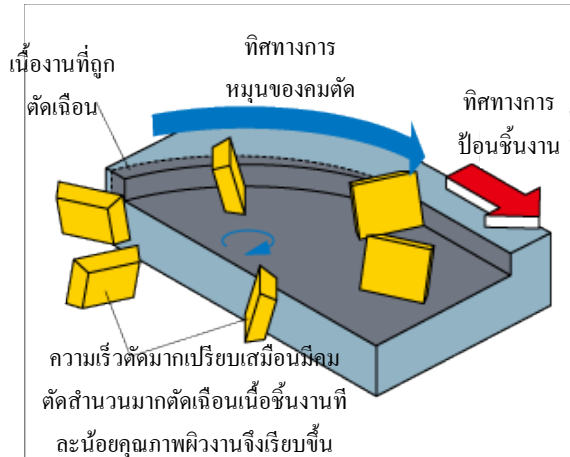
5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองการกัดเหล็กคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ด้วยมีดกัดอินเลิร์ทคาร์ไบด์ ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ กัน จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า

5.2.1 สภาพความแข็งชิ้นงาน ที่ผ่านการอบด้วยความร้อน (Heat treatment) แม้ว่าจะไม่ส่งผลต่อคุณภาพผิวงาน (คุณภาพผิวงาน Ra) ซึ่งการทดลองจำกัดระยะป้อนลึกไว้ที่ 0.5 มม.เท่าๆกัน ในการกัดชิ้นงาน ที่ผ่านการอบด้วยความร้อนในระดับที่ต่างกัน แต่ไม่ควรที่จะป้อนลึกมากเกินไปเพราะโดยหลักการของการกัดงานแข็งต้องการปรับปรุงขนาด และคุณภาพผิวงานให้อยู่ในขอบเขตของการเจียรนัยเท่านั้น ซึ่งหากป้อนลึกมากอาจส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของมีด ภาระที่มีดต้องรับแรงกระทำ เป็นต้น

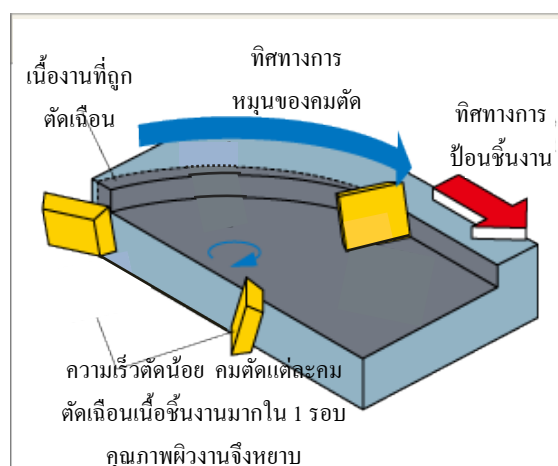
5.2.2 ความเร็วตัด (Cutting Speed) มีผลต่อความเรียบผิว (คุณภาพผิวงาน Ra) ในการกัดเหล็ก AISI 1045) เพราะเมื่อเพิ่มความเร็วตัดมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบของผิวงานมีค่าลดลงเรื่อยๆ ซึ่งหากมีการเพิ่มความเร็วตัดมากกว่า 420 เมตร/นาที่ อาจทำให้ค่าความเรียบของผิวงานมีค่าใกล้เคียงขอบเขตต่ำสุดที่ $0.1 \mu\text{m}$ ซึ่งอาจทำให้คุณภาพของผิวงานละเอียดเทียบเท่าผิวงานที่ผ่านการเจียรระไน และเมื่อลดความเร็วตัดลงมากมีผลทำให้ค่าความเรียบของผิวงานทดลองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งหากมีการลดความเร็วตัดน้อยกว่า 420 เมตร/นาที่ อาจทำให้ค่าความเรียบของผิวงานมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่า

1.6 μm . ซึ่งอาจทำให้คุณภาพของผิวชิ้นงานหยาบขึ้นเกินขอบเขตงานที่ผ่านการเจียระ เนื่องจากความเร็วตัดส่งผลต่อความเร็วรอบของเครื่องมือตัดในงานกัด ทำให้คมตัดของดอกกัดเคลื่อนที่มาทำการตัดเฉือนเนื้อวัสดุเร็วมากขึ้นใน 1 รอบ เปรียบเสมือนมีคมตัดจำนวนมากตัดเฉือนงานทีละน้อยทำให้ผิวเรียบขึ้น ที่อัตราป้อนเดียวกันดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 พฤติกรรมการตัดเฉือนของดอกกัดเมื่อเพิ่มความเร็วตัด

แต่เมื่อลดความเร็วตัดลง การตัดเฉือนเนื้อวัสดุใน 1 รอบ จะมีจำนวนคมตัดเคลื่อนที่มาตัดเฉือนเนื้อวัสดุน้อยลงทำให้คมตัดแต่ละคมจะกินเนื้อวัสดุมากที่อัตราป้อนเดียวกัน ผลคือคุณภาพผิวงานจะหยาบดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 พฤติกรรมการตัดเฉือนของดอกกัดเมื่อลดความเร็วตัด

ความเร็วตัดถือว่ามียุทธูปผลต่อความเรียบผิวการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปัญญาคม เจริญไชย [19] ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว โดยใช้วิธีการกลึงปอกผิวชิ้นงาน ในการกลึงเหล็กเครื่องมือ AISI 4140 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยสารหล่อเย็น ความเร็วตัดและ อัตราป้อน ตัวแปรตามคือคุณภาพของผิวงาน ผลการศึกษาพบว่าความเร็วตัดมียุทธูปผลต่อความเรียบผิวเพราะเมื่อเพิ่มหรือลดความเร็วตัด ส่งผลทำให้ผิวงานมีความหยาบและละเอียดมากขึ้นตามระดับของความเร็วตัด งานวิจัยนี้มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Eyup Bagci และคณะ [15] ซึ่งได้ศึกษาตัวแปรที่จะทำให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุดในการกัดเหล็ก cobalt - based alloy (satellite 6) ด้วยระยะป้อนลึก 3 ระดับ ได้แก่ 0.25, 0.5 และ 0.75 มิลลิเมตร, ความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 50, 70 และ 90 เมตรต่อนาที และอัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาทีตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองปรากฏว่าทั้งสามตัวแปรมีผลต่อความเรียบผิว ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยครั้งนี้ คืออัตราป้อนไม่มียุทธูปผลต่อความเรียบผิว ส่วนความเร็วตัดมียุทธูปผลต่อความเรียบผิวในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 ที่ผ่านการอบด้วยความร้อนในระดับที่แตกต่างกันโดยใช้น้ำมันตัดเป็นสารหล่อเย็น แต่และอาจแตกต่างจากงานวิจัยของ J.M. Vieira และคณะ [17] ที่พบว่าในการตัดเฉือนแบบแห้ง จะให้ความเรียบผิวงานดีกว่าการใช้การใช้น้ำมัน ตัดเฉือนแบบอื่น ซึ่งถ้าเปรียบเทียบในการทดลองครั้งนี้อาจจะยังเห็นผลไม่ชัดเจนนักเนื่องจากการทดลองครั้งนี้ได้ใช้น้ำมันตัดเฉือนชนิดผสมน้ำในทดลองเท่านั้น แต่ถ้านำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัย ของสุเทพ คงทัน [18] ก็เห็นได้ว่าการใช้สารหล่อเย็นไม่ว่าจะเป็น การใช้น้ำมันพืชเป็นสารหล่อเย็นหรือ การใช้น้ำมันชนิดผสมน้ำก็จะให้ค่าความเรียบผิวที่ไม่แตกต่างกันเลย

5.2.3 อัตราป้อน (Feed Rate) ไม่มีผลต่อความเรียบผิว (คุณภาพผิวงาน Ra) ในการกัดเหล็ก AISI 1045 เพราะเมื่อเพิ่มระดับอัตราป้อน หรือลดระดับอัตราป้อน ไม่มีผลทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลง แต่เมื่อพิจารณาค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้ใช้อัตราป้อนที่ระดับ 100 มม./นาที ซึ่งเป็นอัตราป้อนระดับกลางของการทดลองครั้งนี้

5.2.4 จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ ของการพยากรณ์ จากสมการ Response Surface Regression ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการทดลอง ($R-Sq = 8.3 \%$) จะเห็นค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจมีค่าน้อยมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่าความเร็วตัดมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 โดยตรง ส่วนสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนและอัตราป้อน ไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

1. กำหนดระดับของตัวแปร เช่น ความเร็วตัดและอัตราป้อน ให้มีระยะห่างมากกว่าการทดลองครั้งนี้ ซึ่งอาจจะพบข้อแตกต่างมากกว่าการทดลองครั้งนี้
2. ทดลองกับวัสดุอื่น ๆ โดยเฉพาะวัสดุที่นิยมนำมาใช้งานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เพื่อทดสอบตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของวัสดุที่นำมาทดลอง
3. เครื่องมือตัดที่ใช้ในการทดสอบ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องเมคานิคที่ใช้กังงานหุบแข็งและการสึกหรอของเมคานิคซึ่งควรได้รับการศึกษาต่อไป
4. ทดลองโดยใช้สารหล่อเย็นชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงรูปแบบและลักษณะการหล่อเย็น เช่น การทดลองโดยไม่ใช้สารหล่อเย็นแต่ใช้ลมแทน ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้อาจส่งผลต่อความเรียบผิว ซึ่งควรได้รับการศึกษาต่อไป
5. ควรมีการศึกษาร่วมกับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรม เพื่อจะได้นำความรู้ในการวิจัยนี้ไปใช้ในการกัดเหล็กเครื่องมือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ และลดต้นทุนการผลิตในงานอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถทดแทนงานเจียรนัย ทำให้เป็นประโยชน์อย่างมากในเชิงพาณิชย์และเพื่อการแข่งขันในอุตสาหกรรมทั้งในและต่างประเทศต่อไป