บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการศึกษาผลกระทบของกระบวนการกัดต่อสมบัติอลูมิเนียมผสมทองแดง เกรด 2024 เป็นการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว และการสึกหรอของมีดกัดในการกัดอลูมิเนียมผสมทองแดง เกรด 2024 ด้วยดอกกัด (End Mill) High Speed Steel แบบ 2 คมตัด ขนาด ϕ 10 มิลลิเมตร ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้าทฤษฎี แนวความคิด และเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอลูมิเนียม

2.2 งานกัด

2.3 เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC Machine)

2.4 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

2.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับงานกัด

2.6 ความเรียบของผิวงาน

2.7 น้ำมันหล่อเย็น

2.8 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด

2.9 มีดกัดและความสึกหรอของมีดกัด

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอลูมิเนียม [4]

อะลูมิเนียม (ภาษาอังกฤษสะกดได้ว่า aluminium หรือ aluminum ในอเมริกาเหนือ) คือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะหลังทรานซิชันที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อต้านการออกซิเดชันเป็นเยี่ยม แข็งแรง และน้ำหนักเบา มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย และอะลูมิเนียมสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกอย่างมาก ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอะลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยาน และสำคัญในด้านอื่น ๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรง

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่พบมากบริเวณเปลือกโลก เป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับสามรองจากธาตุซิลิคอน คือพบประมาณ 7.5% โดยมวล อะลูมิเนียมในธรรมชาติอยู่ในรูปของสารประกอบชนิดต่าง ๆ เช่น บอกไซด์ (Al2O3.2H2O) ไครโอไลต์ (Na3AlF6) แต่ในธรรมชาติอะลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีสีขาวเงินมีความหนาแน่น 2.699 g/cm 320 C นำไฟฟ้าได้ดี และนำได้ดีขึ้นเมื่อมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น มีความว่องไวในการป้องกันไม่ให้ผุกร่อน ต่อไป ทับทิม ไพริน

และบุศราคัมที่ใช้เป็นเครื่องประดับ เป็นพลอยประเภทคอรันดัมสูตรเคมี คือ Al_2O_3ซึ่งมีความแข็งรองจากเพชร แต่มีสีต่างกันเพราะมีธาตุอื่นที่เป็นมลทินต่างกัน ถ้ามีโครเมียมออกไซด์ปนอยู่จะมีสีชมพูถึงแดงเข้มเรียกว่า ทับทิม ถ้ามีไทเทเนียมและเหล็กออกไซด์ปนอยู่จะมีสีน้ำเงินเรียกว่า ไพลิน และถ้ามีเหล็กออกไซด์ปนอยู่จะมีสีเหลืองเรียกว่า บุศราคัม

2.1.1 อลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum Alloys) [5]

เป็นโลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุ ทองแดง (Copper/Cu), แมกนีเซียม (Magnesium/Mn),แมงกานีส (Manganese/Mg), ซิลิกอน (Silicon/Si) และสังกะสี (Zinc/Zi) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ดังนี้

1. อลูมิเนียมหล่อผสมอัลลอย (Casting Alloys) แบ่งหมวดย่อย Heat-Treatable / Non Heat-Treatable
2. อลูมิเนียมผสมอัลลอย (Wrought Alloys) แบ่งหมวดย่อย Heat-Treatable / Non Heat-Treatable

ประมาณ 85% ของอลูมิเนียมใช้ทำแผ่นรีดฟอยล์ และบีดอัดเป็นท่อน (Extrusions) อลูมิเนียมผสมอัลลอย(Casting Alloys) เป็นผลิตภัณฑ์ที่คุ้มค่าใช้จ่ายเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่โดยปกติจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า อลูมิเนียมผสมอัลลอย (Wrought Alloys) และที่สำคัญที่สุดของระบบผสมอัลลอยคือปริมาณของอลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) ที่ระดับสูงของซิลิกอน (4.0% ถึง 13%)นำไปสู่การหล่ออลูมิเนียมที่มีคุณภาพดี โดยมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรมโครงสร้าง และชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องการ ความทนทานต่อการกัดกร่อน รวมถึงน้ำหนักเบา อัลลอยโลหะผสมส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์จากโลหะที่น้ำหนักเบา 2 ชนิด คือ อลูมิเนียม และแมกนีเซียมอัลลอยที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ (Aerospace Manufacturing) เนื่องจากอลูมิเนียม-แมกนีเซียมเป็นอัลลอยโลหะผสมที่มีทั้งเบากว่าโลหะผสมอลูมิเนียมอื่นๆ และทำปฏิกิริยากับไฟน้อยกว่าโลหะผสมชนิดอื่นที่มีแมกนีเซียมผสมอยู่ในปริมาณสูงมากๆ พื้นผิวของอลูมิเนียมผสมอัลลอย(Aluminum Alloy Surfaces) มีความเงางามชัดเจนแม้ในสภาพแวดล้อมที่แห้งเนื่องจากการก่อตัวของผิวเคลือบที่ป้องกันอลูมิเนียมออกไซด์ ในสภาพแวดล้อมที่เปียกชื้นการกัดกร่อนของกรดทางเคมีและปฏิกิริยาทางไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเมื่อโลหะผสมอลูมิเนียมถูกใช้เป็นสื่อผ่านของกระแสไฟฟ้ากับโลหะอื่นๆ ที่มีศักยภาพเชิงลบมากกว่าการกัดกร่อนก็จะเกิดขึ้นมากกว่าอลูมิเนียมทั่วไป อลูมิเนียมผสมอัลลอย (Aluminum Alloys) ที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายสามารถนำมาใช้ในงานวิศวกรรมโครงสร้างต่างๆ โดยมีการใช้มาตรฐานเทียบของอเมริกา (ANSI), เยอรมัน/ยุโรป (DIN), นานาชาติ (UNS/ISO) เป็นต้น การคัดเลือกอัลลอยให้ถูกต้องตามลักษณะการใช้งานปรกติจะพิจารณาระดับ ความสามารถในการทนแรงดึง (Tensile Strength), ความหนาแน่น (Density), ความเหนียว (Ductility), ความสามารถในการ

ขึ้นรูป (Formability), ความสามารถในการทำงาน (Workability), ความสามารถในการเชื่อม (Weldability), ความทนทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) เป็นต้น ปัจจุบันมีการใช้อลูมิเนียมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการบิน เนื่องจากมีอัตราส่วนความแข็งแกร่งต่อน้ำหนักที่เหมาะสม ในขณะที่ อลูมิเนียมบริสุทธิ์อ่อนเกินไปสำหรับการใช้งาน และขาดความสามารถในการทนแรงดึง (Tensile Strength) ที่จำเป็นสำหรับ เครื่องบิน และเฮลิคอปเตอร์

2.1.2 อลูมิเนียมผสมอัลลอยกับประเภทของเหล็ก (Aluminum Alloys versus Type of Steels)

อลูมิเนียมผสมอัลลอยโดยทั่วไปมักจะมีค่ายืดหยุ่นโมดูลัส (Elastic Modulus) ประมาณ 70 GPa ซึ่งประมาณหนึ่งในสามของเหล็กและเหล็กอัลลอยในตลาดก็มีค่ายืดหยุ่นโมดูลัสที่ผ่านองค์ประกอบนี้ ดังนั้น ชิ้นส่วนอุปกรณ์ทีทำจากอลูมิเนียมผสมอัลลอยมีโอกาสยืดตัวจนเสียรูปร่างได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนทีทำจากเหล็กกล้าที่มีขนาดและรูปร่างเดียวกัน แม้จะมีอลูมิเนียมผสมอัลลอยบางชนิดที่มีค่าความสามารถในการทนแรงดึง (Tensile Strength) ที่สูงกว่าเหล็กกล้าบางชนิดและถูกใช้ทดแทนก็ตาม ผลิตภัณฑ์โลหะใหม่ได้ถูกเลือกออกแบบด้วยการเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสม การอัดขึ้นรูปเป็นกระบวนการสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่ม อลูมิเนียม (Aluminum/Al), แมงกานีส (Manganese/Mg), ซิลิกอน (Silicon/Si) สามารถผ่านกระบวนการบีบอัด (extruded) เพื่อสร้างรูปแบบที่ซับซ้อนได้ โดยทั่วไป การออกแบบโลหะที่แข็ง และเบาสามารถเกิดขึ้นได้กับอลูมิเนียมผสมอัลลอยมากกว่าจะเกิดขึ้นกับเหล็ก เช่น การดัดท่อผนังที่บาง ความเครียดจะลดลงสำหรับขนาดที่ใหญ่ขึ้น การเพิ่มสัดส่วนและรัศมีความหนาของผนังจะเป็นการเพิ่มรัศมี (และน้ำหนัก) โดย 26% เพื่อสามารถลดความเครียดผนัง ด้วยเหตุนี้ โครงจักรยานที่ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยจะใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าท่อเหล็ก หรือไททาเนียมเพื่อให้ได้ความเหนียวและความแข็งแรง ในงานวิศวกรรมยานยนต์, รถที่ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยใช้ตัวถังที่ทำจากวัสดุที่ใช้ในยานอวกาศ ที่ผ่านการบีบอัดโครงสร้างเพื่อให้มั่นใจด้านความแข็งแกร่ง ซึ่งได้เปลี่ยนแปลงวิธีการออกแบบรถเหล็กปัจจุบันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของตัวถังที่ถูกออกแบบเป็นชิ้นเดียว อลูมิเนียมอัลลอยถูกใช้อย่างแพร่หลายในวิศวกรรมเครื่องยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บล็อกเครื่องยนต์ (Cylinder Blocks) และ ห้องจุดระเบิด (Crankcases) เนื่องจากสามารถลดน้ำหนักได้จริง เนื่องจากอลูมิเนียมอัลลอยถูกตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับความทนทานต่อการงอที่อุณหภูมิสูง ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญ เทคนิคในการผลิตและความก้าวหน้าโลหะถูกนำออกมาใช้และประสบความสำเร็จอย่างสูงในอุตสาหกรรมรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็น หัวสูบ (Cylinder Heads) และห้องจุดระเบิด (Crankcases) ข้อจำกัดทางโครงสร้างที่สำคัญของอลูมิเนียมอัลลอย คือ ความทนทานต่อการล้าต่ำเมื่อเทียบกับเหล็ก ในสภาพห้องปฏิบัติการควบคุมเหล็กแสดงอาการล้า ซึ่งเป็นระดับความเครียดต่ำโดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น อลูมิเนียมอัลลอย จึงถูกใช้อย่างระมัดระวังเฉพาะในส่วนที่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อการล้าได้อย่างแน่นอน

2.1.3 ประเภทของอลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum Alloys)

2.1.3.1 กลุ่มไม่สามารถทำ Heat Treatment (Non-Heat-Treatable Aluminum Alloys)

1050/1080/1200 - อลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure Aluminum) ที่ใช้ทั่วไป ทนทานต่อสารเคมีและสภาพอากาศ สามารถใช้งานและเชื่อมได้ง่าย แต่เป็นเกรดที่มีความแข็งต่ำที่สุด เหมาะสำหรับเครื่องงอุปกรณ์ทางเคมี งานที่ต้องการความสะอาดบริสุทธิ์ หรือเครื่องอัดต่าง ๆ

1350 - เป็น Electrical Quality Alloy ใช้กับงานไฟฟ้า 3003/3103 (Aluminum Sheets and Plates) - ทนทานต่อการกัดกร่อน และเชื่อมได้ มีความแข็งแรง เหมาะทำเป็น ถังกักเก็บ (Storage tanks), อุปกรณ์ทางเคมี (Chemical equipment), งานเชื่อมต่างๆ (Brazing Applications), ตัวถังรถตู้ และ การใช้งานในอุณหภูมิต่ำ (Cryogenic)

5005 - เหมาะกับงานเคลือบสี (Anodised Coating) ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่า 3003/3103 ใช้ได้ดีกับงานละเอียดซับซ้อน งานออกแบบตกแต่ง งานออกแบบโครงสร้าง และอุปโภคบริโภคทั่วไป

5052 (2.5% Mag common in USA)/5251 (2% Mag for UK only) / 5754 (3% Mag an EU standard) - อยู่ในสภาพพร้อมอบคืนไฟ ทนทานต่อการกัดกร่อน และเชื่อมได้ดี เหมาะกับงานทนแรงดันของเรือ (Pressure Vessels), ถัง (Tanks), อุปกรณ์เชื่อมต่อ (Fittings), งานที่ต้องการความแข็งแรง เช่น เรือลากจูง ตัวถังรถยนต์

5083 (Similar to 5154) - เหมาะกับงานเชื่อมที่ต้องการความแข็งแรงของจุดเชื่อม เช่น รางขนถ่าย อุปกรณ์ชิ้นส่วนในเรือ สะพาน การใช้งานในอุณหภูมิต่ำ(Cryogenic) เครน(Cranes) สามารถเชื่อม (Weldability) ทนทานต่อการกัดกร่อนดีเยี่ยม ไม่เหมาะกับงานที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่า 65.5°C

5086 (Common in USA) - เหมาะกับงานเชื่อมโครงสร้าง เรือลากจูง โครงสร้างขนาดมหึมา รถบรรทุก สามารถทนแรงดันของเรือ อุปกรณ์และโครงสร้างเรือใช้งานในอุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Vessels) ที่ต้องทนต่อการสั่นสะเทือน (Energy Absorption) ไม่เหมาะกับงานที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่า 65.5°C

5454 - เหมาะกับงานเชื่อมโครงสร้าง ผ่าน ASME Approved เพื่อใช้งานทีอุณหภูมิสูงถึง 204.4°C เช่น รถบรรทุกยางมะตอยร้อนเพื่อทำถนน (Hot Asphalt Road Tankers), ตัวถังรถขนถ่าย (Dump Body) สามารถทนแรงดันของเรือ (Pressure Vessels) และโครงสร้างกลางทะเล

2.1.3.1 กลุ่มสามารถทำ Heat Treatment (Heat-Treatable Aluminum Alloys)

2014/2024 - เป็น High Strength Alloys สามารถตัดแต่งชิ้นงานได้ดีเยี่ยม เพื่อทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ในเครื่องบิน (Aircraft) มีข้อจำกัดด้านการขึ้นรูป และทนการกัดกร่อนในอุณหภูมิสูงได้บ้างเท่านั้น ไม่แนะนำให้เชื่อมด้วยวิธี Fusion Welding เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงเช่น เครื่องบินและเครื่องจักรกล เฟือง ข้อต่อ ตัวถังรถยนต์ เป็นต้น

6082 (สภาพจำหน่ายเป็น Heat Treated)/6061 (Common in USA) - ใช้กับงานโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรง น้อย-ปานกลาง สามารถขึ้นรูป/เชื่อม/ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี มีความแข็งหลังทำ Heat Treatment เนื่องจากสูญเสียความแข็งระหว่างการเชื่อม

7020 - สามารถตัดแต่งได้ดี เหมาะกับการใช้งานบนพื้นดิน

7075 (Aircraft Alloy) - แข็งแรง สามารถตัดแต่งดี ไม่เหมาะกับงานเชื่อม/สภาวะกัดกร่อน

2.1.3.2 กลุ่ม Tooling Plate

1. Cast Plate - ผ่านการอบคลายเครียด (Thermal Stress Relieved) มาแล้ว เหมาะกับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง (Precision Applications) เช่น แผ่นยึดอุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อม/เคลือบสี และมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ไม่เหมาะกับการขึ้นรูป (No Forming)
2. Rolled Plate - คือ 5000 series เป็นเกรด Super Annealed มีความเสถียรและความเที่ยงตรงสูง
3. 5558 - ถูกออกแบบเพื่อใช้เป็นงานเครื่องมือ โดยเฉพาะฐานเครื่องจักร สามารถเชื่อม ขัดเงา เคลือบสี

2.1.4 คุณสมบัติของอลูมิเนียม

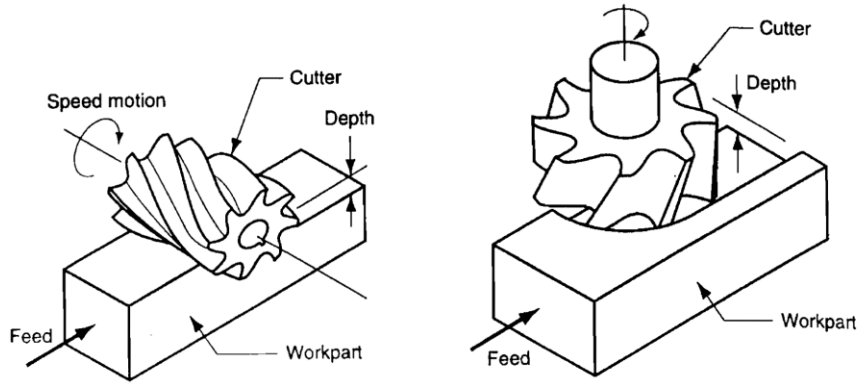
คุณสมบัติทั่วไปของอลูมิเนียม มีน้ำหนักเบา มีความต้านทานต่อการเป็นสนิม มีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง แต่มีความเหนียวสูงสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางแทนเหล็ก และทองแดงได้ ในหลาย ๆ ด้านของงานวิศวกรรมและอุตสาหกรรม อลูมิเนียมมีคุณสมบัติทางด้านหล่อหลอมที่ดี โดยมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ สามารถรวมตัวกับโลหะอื่นๆ เป็นโลหะผสมได้ง่ายมีความสามารถในการไหลอยู่ในเกณฑ์สูง สามารถหล่อหลอมได้ง่าย ข้อเสียของอลูมิเนียมมีอยู่บ้างเหมือนกัน โดยเฉพาะอลูมิเนียมมีขอบเขตการยืดหยุ่นต่ำ ทำให้การใช้งานถูกจำกัดขอบเขตไปมาก [6]13,14

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเชิงกลของอลูมิเนียม [7]11

คุณสมบัติ	ความต้านทาน
ความแข็งแรง (Tensile Strength)	8-10 Kg/mm^2
พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit)	3 Kg/mm^2
อัตราการยืดตัว (Percent Elongation)	40-45 %
ความแข็ง (Hardness)	16-20 H_B
โมดูลัสการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	7,800 Kg/mm^2

2.2 งานกัด

การกัด หรือ การมิลลิ่ง คือ การตัดชิ้นงานจากเครื่องมือหมุน (rotating tool) หรือมีดหมุน ถ้าเป็นการกัดจากเครื่องกัดอัตโนมัติ จะเคลื่อนที่ 2 แกน แต่ถ้ากัดจากเครื่อง CNC milling จะเคลื่อนที่ได้ 3 แกน เครื่องกัดจะดูเหมือนกับเครื่องเจาะ แต่บล็อกที่ใช้จับชิ้นงานจะสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน X และแกน Y ซึ่งเครื่องเจาะจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ มีดหมุนจะนำเอาชิ้นงานส่วนที่ไม่ต้องการออกเพื่อให้ได้รูปร่างตามที่กำหนด เครื่องกัดเป็นเครื่องจักรที่สำคัญในกระบวนการผลิตชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานส่วนใหญ่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการนี้ การกัดสามารถทำได้ทั้ง 2D และ 3D ตัวอย่างชิ้นงาน เช่น เครื่องยนต์ ,เครื่องมือ,ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของ เครื่องจักรกล ฝาครอบ Jig และ Fixture เป็นต้น ล้วนต้องผ่านกระบวนการกัดทั้งสิ้น วัสดุที่สารถใช้กับเครื่องกัดได้ กลุ่มที่มีความแข็ง คือ อลูมิเนียม, สแตนเลส, ทองแดง, เหล็ก, ทองเหลือง เป็นต้น ส่วนกลุ่มที่ไม่แข็งมาก คือ ไนล่อน,เทปล่อน เป็นต้น งานกัดแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ งานกัดในแนวนอน (Peripheral Milling) และงานกัดในแนวตั้ง (Face Milling) ดังรูป 2.1 [8]



(ก) งานกัดในแนวนอน (Peripheral Milling) (ข) งานกัดในแนวตั้ง (Face Milling)

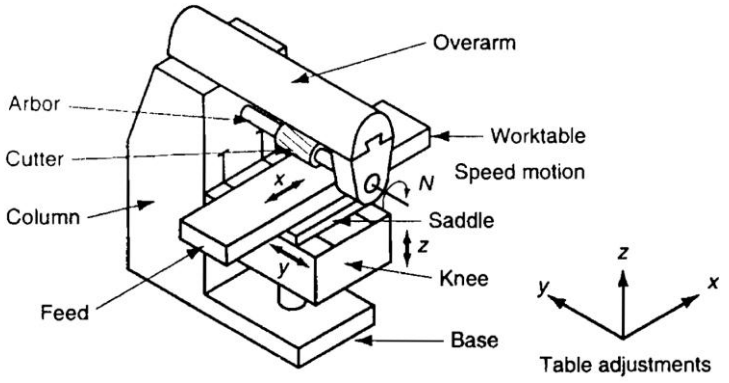
รูปที่ 2.1 ลักษณะของการกัด [8]

2.2.1 เครื่องกัด

เครื่องกัด (Milling Machines) ที่ใช้สำหรับงานขึ้นรูปโลหะมีให้เลือกใช้หลายแบบหลายขนาด โดยเครื่องที่นิยมใช้กับงานทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่แกนหมุนของมีดอยู่ในแนวราบ หรือเครื่องกัดเพลานอน (Plain Milling Machines) ส่วนอีกแบบหนึ่งแกนหมุนของมีดจะอยู่ในแนวตั้ง เรียกว่าเครื่องกัดเพลาตั้ง (Vertical Milling Machines) เครื่องกัดมีให้เลือกใช้หลายขนาด

2.2.1.1 เครื่องกัดเพลานอน

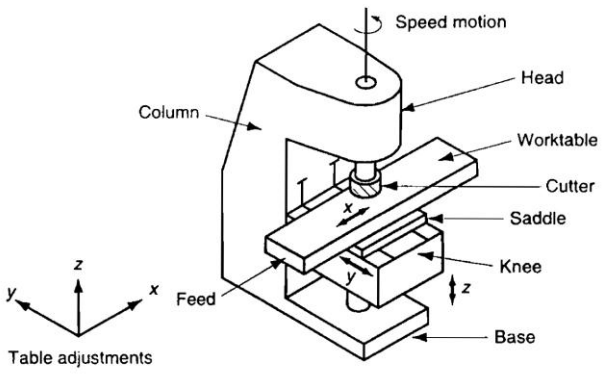
เป็นเครื่องกัดที่มีเพลาจับมีดกัดอยู่ในแนวนอน และมีโต๊ะงานสำหรับจับชิ้นงาน หรือปากกาจับงานทั้งแบบธรรมดา (Plane Table) และแบบโต๊ะงานปรับองศาได้ (Universal Table) นิยมใช้กัดงานทั่ว ๆ ไป ทั้งกัดผิวราบ กัดมุม กัดร่องและกัดเฟือง ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของเครื่องกัดเพลานอน [7]

2.2.1.2 เครื่องกัดเพลาตั้ง

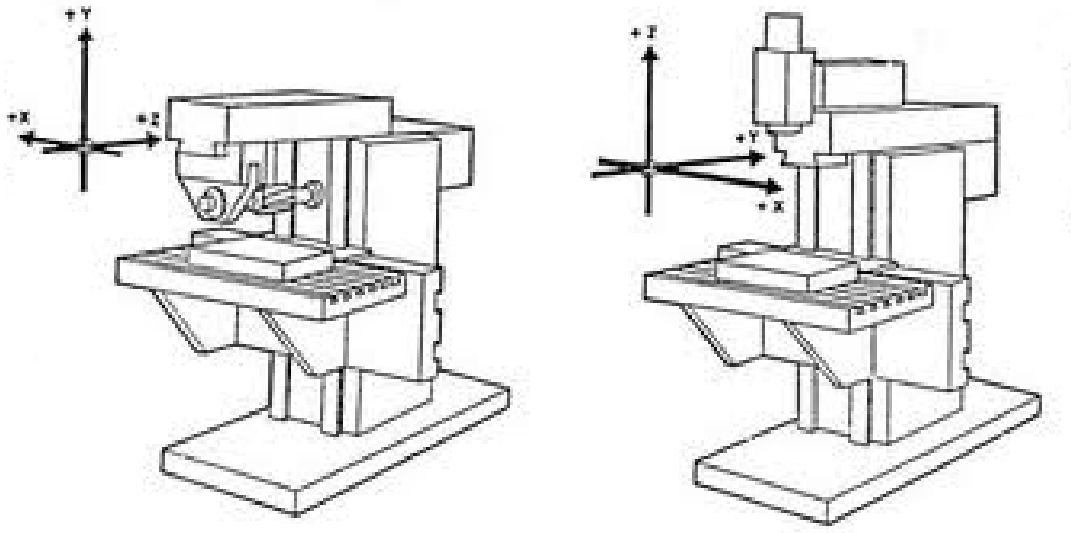
เป็นเครื่องกัดที่มีเพลาจับมีดกัดอยู่ในแนวตั้งหรือแนวดิ่ง และสามารถปรับเป็นมุมต่าง ๆ ได้ โต๊ะงานมีทั้งแบบธรรมดาและแบบปรับองศาได้ นิยมใช้ในการกัดร่องรูปแบบต่าง ๆ ด้วยเอ็นมิล (End Mill) หรือมีดกัดที่ใช้กับเครื่องกัดตั้ง การคว้านรู เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3 [8]



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องกัดเพลาตั้ง [7]

2.2.1.3 เครื่องกัดซีเอ็นซี

เครื่องกัดซีเอ็นซีเป็นเครื่องจักรกลประเภทหนึ่งที่มีขอบข่ายการทำงานค่อนข้างกว้าง กล่าวคือ นอกจากจะสามารถทำงานกัดเช่นเดียวกับเครื่องกัดทั่วไปแล้ว ยังสามารถทำงานอื่น ๆ เช่น เจาะรู ทำเกลียว คว้านรู ได้อีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องกัดซีเอ็นซีจะแบ่งออกได้เป็นเครื่องกัดซีเอ็นซีเพลานอน และเครื่องกัดซีเอ็นซีเพลาตั้ง เหมือนกัน เครื่องกัดซีเอ็นซีจะมีแกนการควบคุมตั้งแต่ 3 แกน 4 แกน 5 แกน และมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [9]

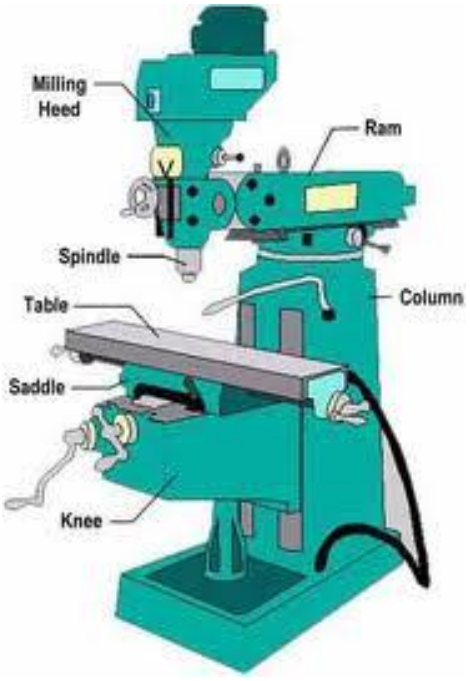


รูปที่ 2.4 เครื่องกัดซีเอ็นซีแบบเพลานอน และเพลาตั้ง [9]

2.2.2 ส่วนประกอบของเครื่องกัด

เครื่องกัดเพลานอนและเครื่องกัดเพลาตั้งมีส่วนประกอบที่คล้ายกัน จะแตกต่างกันตรงที่เพลาการกัดแนวนอน และเพลาการกัดตั้งรวมทั้งตำแหน่งของมอเตอร์ส่งกำลังเท่านั้น โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องกัดจะแสดงในรูปที่ 2.5 และรูป 2.6 [10]

รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของเครื่องกัดเพลานอน [10]



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของเครื่องกัดเพลาตั้ง [11]

จากรูปที่ 2.5 และ 2.6 สามารถแยะออกเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้ [10]

2.2.2.1 ฐานเครื่อง (Base)

เป็นส่วนที่อยู่ด้านล่างสุด ทำจากเหล็กหล่อและหล่อต่อเนื่องมาจนถึงโครงเครื่อง (Column) ใช้รองรับส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกัด ส่วนล่างสุดจะใช้ยึดกับพื้นและเป็นที่เก็บระบบน้ำหล่อเย็น โครงเครื่องจะเป็นที่เก็บชุดระบบส่งกำลังสำหรับเพลามีดกัด (Spindle)

2.2.2.2 เพลามีดกัด (Arber)

ใช้สำหรับจับมีดกัดในลักษณะที่มีดกัดสวมอยู่บนเพลามีดกัด เพลาจะต้องมีความแข็งแรง เพลามีดกัดจะสวมอยู่ในแบริ่งที่หัวเครื่อง และปลายของคานจับเพลามีดกัด

2.2.2.3 คานจับเพลามีดกัด (Over ram)

เป็นส่วนที่อยู่บนสุดของเครื่องกัดแบบเพลานอน สามารถเลื่อนเข้า - ออก เพื่อให้มีความยาวพอดีกับเพลาจับมีดกัด คานจับมีดกัด ใช้สำหรับจับเพลามีดกัดที่ปลายด้านนอก

2.2.2.4 โต๊ะงาน (Work Table)

ใช้สำหรับจับชิ้นงานที่วางอยู่บนโต๊ะงาน เคลื่อนที่ไป และกลับ (แกน Y) ลักษณะการจับยึดมีหลายรูปแบบ เช่น ปากกาจับงานสำหรับโต๊ะงาน โดยใช้ T-Slots เป็นตัวจับยึดปากกาเป็นต้น

2.2.2.5 รางเลื่อน (Saddle)

ใช้สำหรับรองรับโต๊ะงาน และเลื่อนโต๊ะงานให้เคลื่อนที่ไป และกลับ(แกน X) เพื่อป้อนงานกัด

2.2.2.6 แท่นรองรางเลื่อน (Knee)

ใช้สำหรับรองรับรางเลื่อน และเคลื่อนที่โต๊ะงานตามแนวตั้ง (แกน Z) เพื่อที่จะป้อนกัดงานให้ได้ระยะป้อนลึกในงานกัด

2.3 เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC Machine) [9]

2.3.1 ความหมายของเครื่องจักรกลทั่วไป และเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

เครื่องจักกลทั่วไปที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงาน เช่น การเปิดและปิดสวิตช์ควบคุมการหมุนของเพลาหัวเครื่อง การเปลี่ยนอัตราป้อน และความเร็วรอบ เป็นต้น ในการปฏิบัติหน้าที่ต่าง ๆ เหล่านี้ช่างผู้ควบคุมเครื่องจำเป็นต้องใช้วิจารณญาณ และการตัดสินใจร่วมกันแก้ปัญหา

เครื่องจักรกลซีเอ็นซี การเคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการผลิตชิ้นงานจะทำงานโดยอัตโนมัติด้วยตัวเครื่องจักรเอง ตามข้อมูลตัวเลข (Numerical Information) ที่ป้อนให้กับระบบควบคุมของเครื่องจักรกลในรูปแบบรหัส ที่ระบบควบคุมเครื่องสามารถใช้ได้

2.3.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักกลซีเอ็นซีแทนการใช้เครื่องจักรกลทั่วไป

ระบบซีเอ็นซีเป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากเครื่องจักรกลทั่วไป ดังนั้นความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกลทั่วไปก็จะอยู่ที่ความสามารถของระบบควบคุม นั่นคือคอมพิวเตอร์ เมื่อนำระบบซีเอ็นซีไปควบคุมเครื่องจักร ความสามารถในการทำงานต่าง ๆ จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลทั่วไป ดังนี้

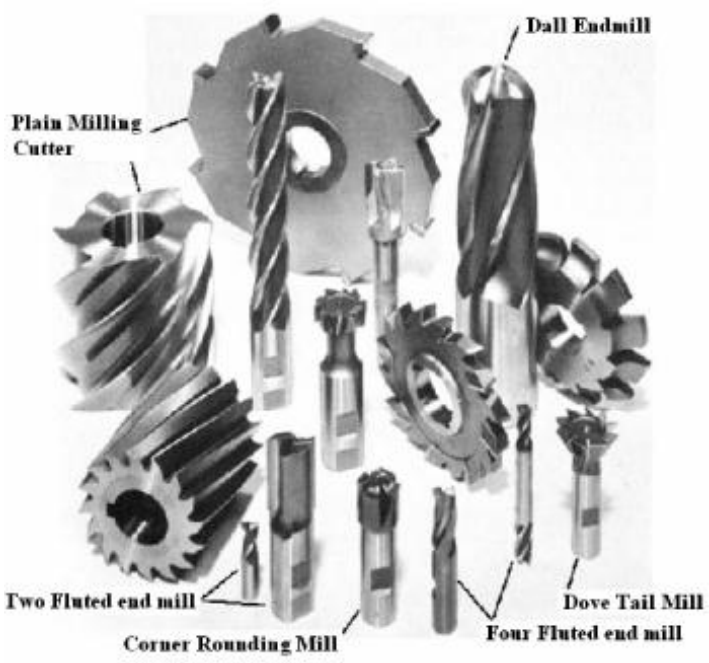
1. การแสดงภาพจำลอง (Simulation) การทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าในระบบจอภาพ
2. ความจุของหน่วยความจำเพิ่มมากขึ้น สามารถเก็บข้อมูลโปรแกรมได้มาก
3. การแก้ไขและลบโปรแกรมสามารถกระทำได้ด้วนเครื่องจักรโดยตรง
4. สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกได้
5. ระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น
6. มีการชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดและการส่งกำลัง
7. มีโปรแกรมสำเร็จสำหรับการคำนวณหาค่าต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน เป็นต้น

2.3.3 ข้อดีของการใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีมาใช้ในการกัดโลหะแทนการใช้ เครื่องจักรกลทั่วไป

1. มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง การเปลี่ยนงานใหม่จะแก้หรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น
2. มีความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ในระดับเดียวกันตลอดในช่วงความเร็วรอบและอัตราการป้อนที่ใช้ในการผลิต
3. ใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่า
4. สามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนง่าย
5. การปรับตั้งเครื่องจักรกระทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่น
6. การตรวจสอบคุณภาพไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอนและทุกชิ้น

2.4 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

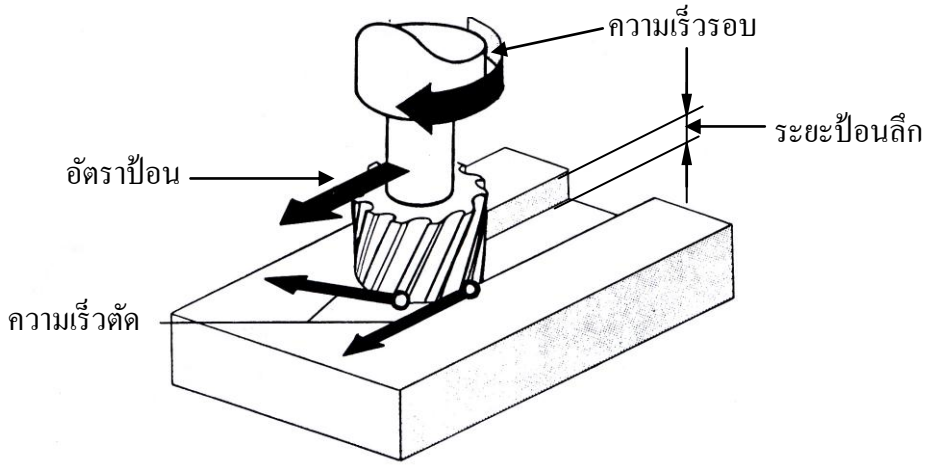
เครื่องมือตัดที่ใช้ในงานกัดโดยทั่งไป ได้แก่มีดกัดราบ (Plain Cutter) มีดกัดร่อง (End Mill) มีดกัดตั้ง (Shell Cutter) มีดกัดข้าง (Side Cutter) มีดกัดเฟือง (Gear Cutter) มีดกัดชนิดถอดเปลี่ยนคมตัดได้ (Indexable Cutting Tools) มีดกัดร่องหางเหยี่ยว (Dovetail) มีดกัดร่อง T-Slot และมีดกัดปลายมน (Radius Cutter) เป็นต้น [10] ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องมือตัดสำหรับการกัดงานในลักษณะต่าง ๆ [10]

2.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับงานกัด

ในการกัดค่าตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาในกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดมากที่สุด ประกอบด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกของการตัดเฉือน (Deep of Cut) โดยที่ค่าตัวแปรทั้ง 3 นี้ จะเป็นตัวชี้วัดสมรรถภาพของกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงาน ดังนั้น ในการพิจารณาเลือกค่าตัวแปรทั้ง 3 นี้ ควรคำนึงถึงความสามารถในการตัดเฉือนของเครื่องมือตัด กำลังม้าที่ใช้ในการขับเพลาจับเครื่องมือตัด และความแข็งแกร่ง (Rigidity) ของชิ้นงาน และอุปกรณ์จับยึด [9]



รูปที่ 2.8 ความเร็วรอบ ความเร็วขอบ ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก [9]

2.5.1 ความเร็วรอบ

ความเร็วรอบ (Speed) หมายถึงความเร็วรอบของมีดกัดที่หมุนได้ในเวลา 1 นาที มีหน่วยนับเป็นจำนวนรอบต่อนาที (Revolution Per Minute : RPM) การใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมจะส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวขึ้น และทำให้งานออกมามีคุณภาพผิวงานดี ใช้เวลาในการทำงานน้อย เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการลับหรือเปลี่ยนมีดกัด โดยมีวิธีการคำนวณหาความเร็วรอบได้ดังนี้ [12]

$$N = \frac{1{,}000 \times V}{\pi \times D}$$

เมื่อ

N = ความเร็วรอบของเครื่องมือตัด (รอบ/นาที)

V = ความเร็วตัดของเครื่องมือตัด (เมตร/นาที)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัด (มม.)

2.5.2 ความเร็วตัด

ความเร็วตัด (Cutting Speed) ในกระบวนการขึ้นรูปทางกลด้วยเครื่องกัด หมายถึง ความเร็วขอบ ณ จุดที่เกิดการตัดเฉือนของเครื่องมือตัด ในขณะที่เครื่องมือตัดเดินตัดเฉือนบนผิวชิ้นงาน ในการเลือกค่าความเร็วตัดนั้น ควรพิจารณาถึงองค์ประกอบ ดังนี้ เช่น ความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุชิ้นงาน วัสดุ และรูปทรงเลขาคณิตของเครื่องมือตัด การหล่อเย็น อัตราป้อน และความลึกของการตัดเฉือน และกำลังม้าในการขับเพลาจับยึดเครื่องมือตัด เป็นต้น [12] โดยมีวิธีการคำนวณหาความเร็วได้ ดังนี้

$$V = \frac{\pi \times D \times N}{1,000}$$

เมื่อ

V = ความเร็วตัดของเครื่องมือตัด (เมตร/นาที)

N = ความเร็วรอบของเครื่องมือตัด (รอบ/นาที)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัด (มม.)

2.5.3 อัตราป้อน

อัตราป้อน (Feed) หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนที่ของมีดตัด หรือการเคลื่อนที่ของงาน ต่อการหมุนของชิ้นงาน หรือการหมุนของมีดตัด 1 รอบ การเคลื่อนที่ของมีดตัด หรืองานจะมีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร ดังนั้น อัตราป้อนจะมีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตรต่อรอบ ถ้าป้อนกินงานทีละน้อย จะสามารถใช้อัตราป้อนได้เร็วกว่าการป้อนกินงานครั้งละมาก ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ [12]

$$Vf = fz \times Z \times N$$

เมื่อ

Vf = อัตราป้อน (มิลลิเมตร/ฟัน)

Z = จำนวนฟันของมีดกัด

N = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

ในทางปฏิบัติ ค่าความเร็วตัดและอัตราป้อนในงานกัดนั้น จะดูจากตารางคู่มือมาตรฐาน ซึ่งจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุชิ้นงาน และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 [12]

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความเร็วตัดของวัสดุชนิดต่าง ๆ [12]

ชนิดของวัสดุ	ความเร็วตัด	
	มีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง	มีดกัดคาร์ไบด์
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	90 - 120	270 - 450
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง	70 - 100	225 - 375
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	30 - 70	145 - 300
เหล็กหล่อ (ชนิดอ่อน)	100 - 150	325 - 500
เหล็กหล่อ (ชนิดปานกลาง)	70 - 120	225 - 400
เหล็กหล่อ (ชนิดแข็ง)	30 - 100	145 - 375
เหล็กกล้าผสม	30 - 90	145 - 350
อลูมิเนียมและทองเหลืองผสม	200 - 300	200 - 300
เหล็กกล้าไร้สนิม	65 - 90	200 - 300

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าอัตราป้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ (นิ้ว/ฟัน) [12]

ชนิดของวัสดุ	ขนาดของมีดกัดชนิด End mill (นิ้ว)		
	1/2	3/4	1 นิ้ว ขึ้นไป
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	0.001	0.003	0.003
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง	0.001	0.002	0.003
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	0.001	0.002	0.002
เหล็กหล่อ (ชนิดอ่อน)	0.001	0.003	0.003
เหล็กหล่อ (ชนิดปานกลาง)	0.001	0.002	0.003
เหล็กหล่อ (ชนิดแข็ง)	0.001	0.002	0.002
เหล็กกล้าผสม	0.001	0.002	0.002
อลูมิเนียมและทองเหลืองผสม	0.003	0.004	0.005
เหล็กกล้าไร้สนิม	0.001	0.002	0.003

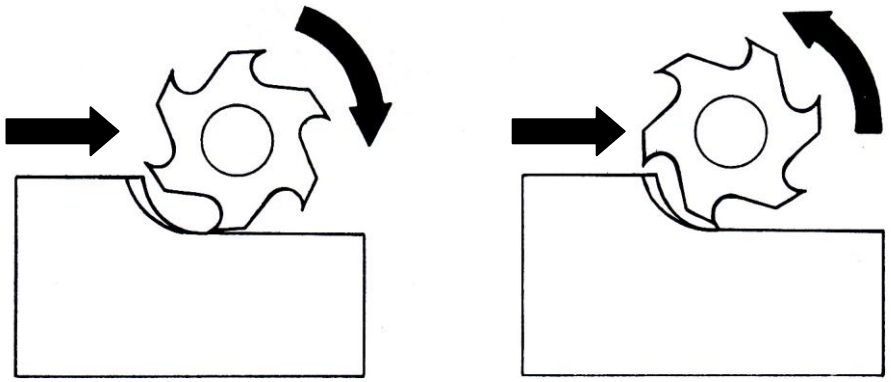
ทิศทางของการกัดนั้นมีอยู่ 2 ทิศทาง นั่นคือ การกัดตามกับการตัดทวน ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนรูปของเศษ (Chip formation) และความดันตัดเฉือน (Cutting pressure)

2.5.3.1 งานกัดตาม (Conventional Milling)

ในงานกัดตามความหนาของเศษและความดันในการกัดเฉือนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ที่ฟันมีดกัด และจะมีค่าสูงสุดก่อนที่ฟันมีดจะเลื่อนพ้นวัสดุงานเล็กน้อย เมื่อฟันมีดกัดเลื่อนพ้นวัสดุงานแล้ว จะเกิดภาวะที่ติดตามมาคือ ความดันตัดเฉือนจะหมดไปในทันที ทำให้มีดกัดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยเร็ว และฟันมีดกัดถัดไปจะเลื่อนเข้ากัดวัสดุงานในลักษณะการกระตุก (Jerking) เป็นผลให้เกิดเป็นรอยสั่น (Chatter Marks) ขึ้นที่ผิวงาน ดังรูปที่ 2.9 ก

2.5.3.2 งานกัดทวน (Climb Milling)

ในงานกัดทวน ลักษณะการเกิดเศษจะกลับกันกับงานกัดตาม กล่าวคือ เมื่อฟันตัดเริ่มเข้าตัดเฉือนชิ้นงาน ความหนาของเศษและความดันตัดเฉือนจะมีค่าสูงสุด และเมื่อฟันมีดกัดเลื่อนออกจากวัสดุงาน เศษจะมีขนาดบางที่สุดและความดันตัดเฉือนมีค่าน้อยสุด ดังนั้น จึงทำให้เกิดรอยสั่นสะเทือนน้อยและชิ้นงานมีผิวสำเร็จที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานกัดตาม งานกัดทวนจะใช้เครื่องกัดที่มีกำลังน้อยกว่าได้ แต่ต้องการความแข็งแรงของเครื่องกัดมากกว่า และมีโต๊ะงานที่ปราศจากระยะคลอน (Backlash) ดังแสดงในรูปที่ 2.9.ข [11]



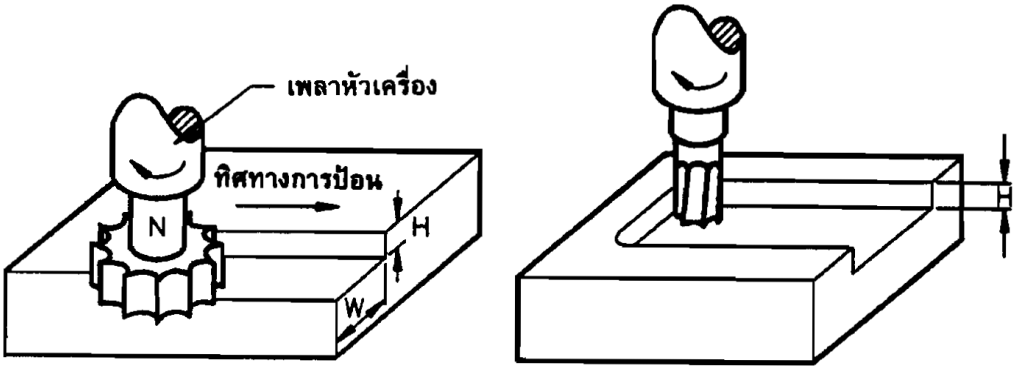
ก) การกัดทวน ข) การกัดตาม

รูปที่ 2.9 ลักษณะการเคลื่อนที่กัด [11]

2.5.4 ความลึกของการตัดเฉือน

ความลึกหรือความกว้างของการตัดเฉือน (Deep of Cut) หมายถึง ระยะทางที่คมตัดของเครื่องมือตัดหยั่งลึกเข้าไปในชิ้นงานในทิศทางที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปความลึกของการตัดหยาบจะมีขนาดมากกว่าความลึกของการตัดละเอียด การกำหนดความลึกของการตัดเฉือนนี้ จะต้องพิจารณาถึง

องค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการคือ แรงม้าในการขับเพลาจับเครื่องมือตัด หรือชิ้นงาน กับความแข็งแกร่งของเครื่องมือตัด หรือความแข็งแกร่งของเครื่องกัด [13]



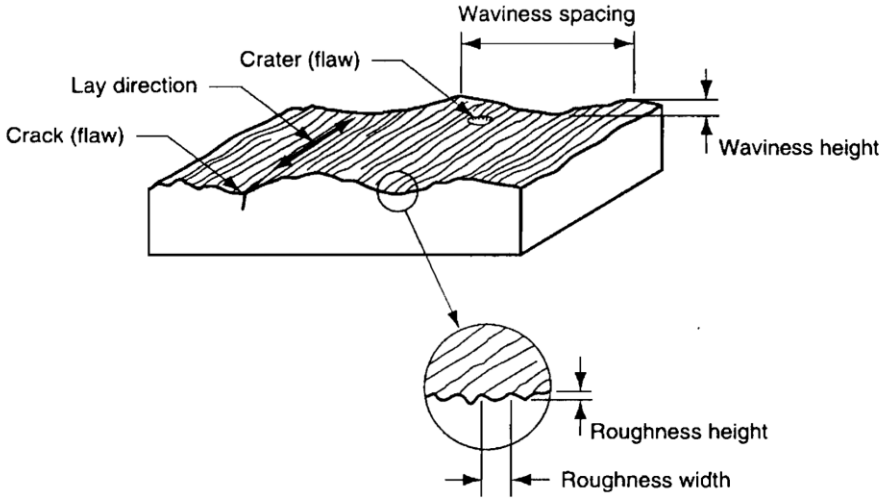
ก) การกัดด้วยมีดปาด (Face Milling) ข) การกัดด้วยมีดกัดเอ็นมิลล์ (End Milling)

รูปที่ 2.10 แสดงความลึก และความกว้างของการตัดเฉือนในงานกัด [13]

2.6 ความเรียบของผิวงาน

2.6.1 ลักษณะทั่วไปของผิวงานที่ผ่านการแปรรูปและผ่านการตัดเฉือน

ผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น งานกัด งานกลึง และงานเจียระไน ฯลฯ เมื่อมองด้วยสายตาเราจะเห็นว่าผิวของชิ้นงานนั้นมีความเรียบ แต่เมื่อนำมาขยาย ก็จะพบว่าผิวงานเหล่านั้นมีความขรุขระเป็นคลื่น สูง - ต่ำไม่เท่ากัน โดยเฉพาะถ้าผิวของชิ้นงานใดมีความสูง - ต่ำแตกต่างกันมาก ก็แสดงว่าผิวของชิ้นงานนั้นมีความหยาบของผิวมาก แต่ถ้าผิวของชิ้นงานใดมีความสูง - ต่ำน้อย แสดงว่ามีความเรียบของผิวมากหรือละเอียดมากกว่า ซึ่งความเรียบของผิวนี้จะมีความจำเป็นสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลบางชนิด เช่น ตลับลูกปืน เป็นต้น แต่สำหรับชิ้นงานบางชนิดก็อาจจะไม่มีความจำเป็นที่จะต้องระบุความหยาบละเอียดของผิวงาน เพราะจะทำให้เสียเวลาในการผลิต [8]



รูปที่ 2.11 ภาพขยายของผิวชิ้นงาน [8]

2.6.1.1 ผิวงาน (Surface)

หมายถึง ขอบเขตหรือบริเวณ ที่แยกอออกจากส่วนเนื้อวัสดุงาน รูปร่างและลักษณะผิวงาน ระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายคำจำกัดความ (Descriptive Specifications)

2.6.1.2 รูปทรงผิว (Profile)

หมายถึง เส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงาน ตลอดภาคหน้าตัดที่ถูกนำมาพิจารณา

2.6.1.3 ความหยาบของผิว (Roughness)

หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอันเนื่องมาจากขบวนการผลิต

2.6.1.4 คลื่นของผิวงาน (Waviness)

หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่มีระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิว เกิดขึ้นจากการโก่งตัวของทั้งชิ้นงาน และการหลอมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการขึ้นรูป

2.6.1.5 Flaw

หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่เกิดขึ้นจุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่นรอย ขีดข่วน รอยแตก และรูพรุน เป็นต้น

2.6.1.6 Lay

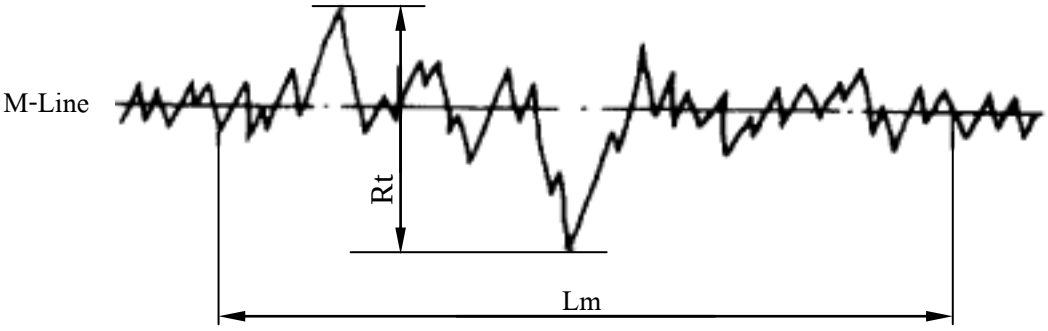
หมายถึง แนวทิศทางของรอยสัน ส่วนยอดความหยาบของผิวที่ทำการตรวจสอบ

2.6.2 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานตามมาตรฐานของ ISO 4287

การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานที่จะกล่าวถึงนี้ประกอบด้วย ค่า Rt, Ra และ Rz ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) โดยแต่ละค่ามีวิธีการวัด ดังนี้ [14]

2.6.2.1 ค่า Rt

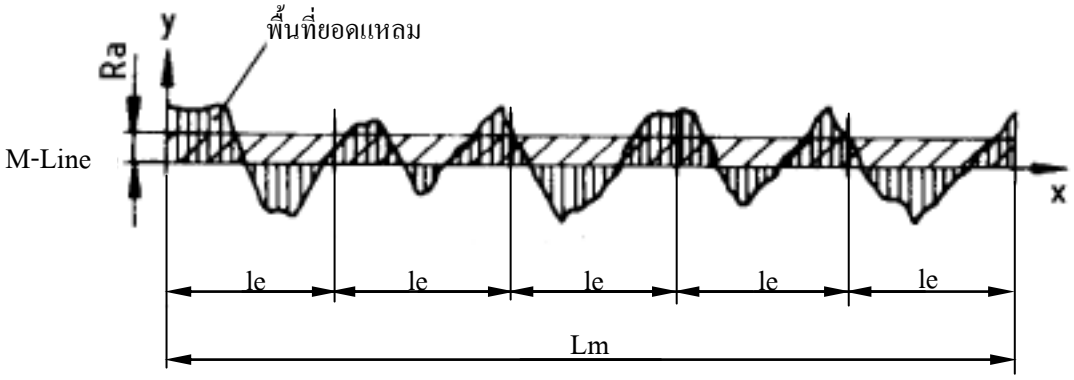
หมายถึง ค่าวัดจากจุดสูงสุดไปยังถึงจุดต่ำสุดของผิวงาน



รูปที่ 2.12 การวัดค่า Rt [14]

2.6.2.2 ค่า Ra

หมายถึง ค่าที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ของพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M – Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลาง หารด้วยความยาวเฉลี่ย (Lm) โดยที่ค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร



Lm = Measuring Lenght

รูปที่ 2.13 การวัดค่า Ra [14]

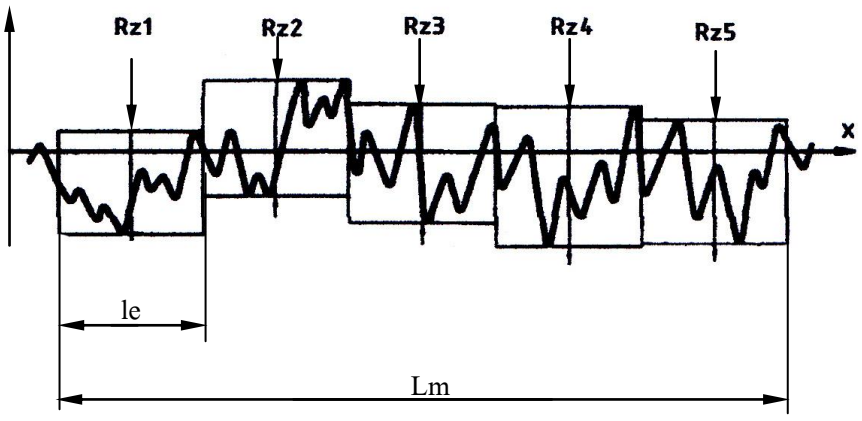
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าและขั้นความหยาบของผิวงาน ตามมาตรฐาน ISO1302 - 1978 [11]

ค่า Ra (หน่วย : ไมโครเมตร)	ขั้นความหยาบละเอียดของผิว
50.00	N12
25.00	N11
12.50	N10
6.30	N9
3.20	N8
1.60	N7
0.80	N6
0.40	N5
0.20	N4
0.10	N3
0.05	N2
0.02	N1

หมายเหตุ : Ra คือ ค่าที่ได้จากค่าเฉลี่ยเลขคณิต

2.6.2.3 ค่าความหยาบ Rz

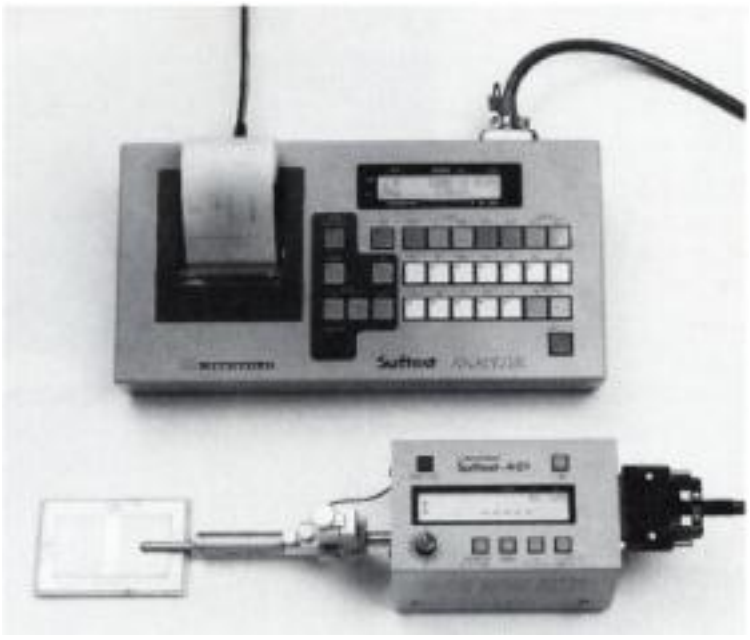
หมายถึง ค่าหาได้จากการวัดทดสอบช่วงเท่า ๆ กัน 5 ช่วง แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ Rz มีหน่วยเป็นไมโครเมตร



รูปที่ 2.14 การวัดค่า Rz [14]

2.6.3 การตรวจสอบความหยาบละเอียดของผิว

การตรวจสอบความหยาบละเอียดของผิว โดยทั่วไปจะใช้วิธีการตรวจสอบผิวของชิ้นทดสอบเปรียบเทียบกับค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ได้จากการเจียระไนด้วยเครื่องวัดผิว [14]



รูปที่ 2.15 เครื่องวัดค่าความหยาบละเอียด [14]

2.7 น้ำมันหล่อเย็น

ในงานตัดเฉือนโลหะ สารหล่อเย็น (Coolant) นั้นจะมีความร้อนสูงมาก ซึ่งอาจสูงถึง 700 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า ความร้อนนี้เกิดจาก การเสียดสีระหว่างคมตัดกับชิ้นงาน และจากการเปลี่ยนรูปของเนื้อโลหะ (Deformation) ที่ถูกตัดเฉือน หากความร้อนไม่ได้ระบายออกไปโดยเร็ว ความร้อนเกิดการสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้คมตัดเกิดความร้อนจัดและสูญเสียความแข็งและเกิดการสึกหรอในที่สุด ชิ้นงานที่ได้รับความเดือดร้อนก็อาจเกิดการบิดเบี้ยว ทำให้ไม่ได้ขนาดและคุณภาพผิวตามต้องการ

2.7.1 หน้าที่ของน้ำมันหล่อเย็น

หน้าที่ของสารหล่อเย็น มีดังนี้ [17]

2.7.1.1 ระบายความร้อน

น้ำมันตัดหรือน้ำมันหล่อเย็น มีหน้าที่ระบายความร้อนออกจากบริเวณการตัด เพื่อทำให้คมตัดและชิ้นงานไม่สูญเสียความแข็ง หรืออ่อนตัวอันเนื่องมาจากความร้อน อีกทั้งยังป้องกันไม่ให้เศษโลหะยึดติดที่ปลายคมตัด ทำให้สามารถตัดเฉือนได้เร็ว

2.7.1.2 หล่อลื่นลดแรงเสียดทาน

น้ำมันตัดหรือน้ำมันหล่อเย็น มีหน้าที่หล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับคมตัด รวมทั้งลดแรงเสียดทานของเศษโลหะที่เคลื่อนที่ผ่านผิวคายเศษ ทำให้การตัดเฉือนใช้แรงน้อยลง ลดการสึกหรอของคมตัดได้

2.7.1.3 ชะล้างเศษโลหะ

น้ำมันหล่อเย็นจะทำหน้าที่ป้องกันสนิมให้กับชิ้นงานในขณะทำการตัดเฉือน ซึ่งผิวชิ้นงานบริเวณที่ตัดเฉือนมักจะมีความไวต่อการเกิดสนิมมาก นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นยังช่วยป้องกันการเกิดสนิมให้กับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลได้ด้วย

2.7.2 ชนิดของสารหล่อเย็น

สารหล่อเย็นแบ่งชนิดตามต้องการใช้ได้ 3 ชนิด ดังนี้ [17]

2.7.2.1 ชนิดผสมกับน้ำ (Soluble Oils)

น้ำมันชนิดนี้มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าน้ำมันสบู่ทำมากจากสารสังเคราะห์หรือน้ำมันแร่ ผสมกับตัวทำลายและสารเพิ่มคุณภาพ เช่น การป้องกันสนิม สารป้องกันการเกิดฟอง สารฆ่าเชื้อ จุลินทรีย์ ใช้สำหรับงานตัดเฉือนโดยทั่ว ๆ ไป เช่น งานกลึง งานตัด งานเจาะ งานไส และงานกัด เป็นต้น วิธีการผสมกับน้ำควรใช้น้ำสะอาดใส่ลงในอ่างหรือภาชนะผสมตามอัตราส่วนโดยทั่วไปจะประมาณ 3 – 5% จากนี้จึงเทน้ำมันสบู่ตามอัตราส่วนลงในน้ำ

2.7.2.2 ชนิดน้ำมัน (Cutting Oils)

น้ำมันชนิดนี้จะใช้ในกรณีหล่อเย็นวัสดุที่มีความเหนียวหรือแข็งมาก ๆ โดยทั่วไปจะเป็นน้ำมันแร่กลั่นอย่างดีผสมกับน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ เพื่อช่วยการหล่อลื่น สารช่วยเพิ่มคุณภาพในการช่วยรับแรงกด ดังนั้นการเลือกใช้ควรคำนึงถึงชนิดของโลหะ ทั้งนี้เพราะสารช่วยเพิ่มคุณภาพบางชนิดอาจทำให้มีของโลหะเปลี่ยนไป โดยดูคู่มือการใช้ตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด

2.7.2.3 ชนิดที่มีส่วนผสมทางเคมี (Chemical Cutting Oils)

เป็นน้ำยาหล่อเย็นที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี และจะอยู่ในสภาพของสารละลาย เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการหล่อเย็น การหล่อลื่น การสึกหรอ และลดแรงเสียดทานแต่จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของทางสารเคมี และบางชนิดมีส่วนผสมของสาร Extreme – Pressure (EP) ซึ่งจะต่อต้านการเกิดความร้อน และแรงดังสูงเนื่องจากการตัดเฉือน

2.8 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นเครื่องมือตัด (Tool Materials) เช่น มีดกลึง และมีดกัด ที่ใช้ทำการตัดเฉือนโลหะ จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่มีความแข็ง ทนความร้อนที่อุณหภูมิสูง ทนต่อแรงกด และแรงดัดงอ ทั้งนี้เพราะในขณะเกิดการตัดเฉือนจะมีแรงต้านจากโลหะ อีกทั้งต้องมีความคงทนต่อความร้อนและทนต่อการสึกหรอสูง เนื่องจากในขณะที่ทำการตัดเฉือนโลหะ จะเกิดการเสียดสีกันระหว่างมีดกัดกับเนื้อโลหะทำให้เกิดมีความร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งถ้าวัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดไม่มีความสามารถในการต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้วัดสุที่นำมาทำเครื่องมือตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากที่แข็ง และใช้ในการตัดเฉือน อาจกลายเป็นวัสดุที่อ่อนได้ จะเห็นได้ว่าวัสดุเครื่องมือตัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานตัดเฉือนโลหะ นอกจากวัสดุในการทำเครื่องมือตัดเฉือนแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการตัดเฉือนโลหะอีก เช่น อันตราป้อน ความเร็วรอบ และรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือตัด [8]

2.8.1 เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง

เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง (Carbon steels and Low/medium alloy steels) บางครั้งเรียกว่า เหล็กเครื่องมือ (Tool steel) เป็นวัสดุที่มีใช้กันมานาน เหล็กเครื่องมือมีส่วนผสมของคาร์บอน 0.90 - 1.30% เมื่อทำการชุบแข็งและเทมเปอร์ (Tempering) แล้วจะมีความแข็งแรงและความเหนียวที่เหมาะสมที่จะใช้ทำเป็นคมตัดได้ แต่ข้อจำกัดของเหล็กเครื่องมือ คือจะสูญเสียความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงกว่า 190 องศาเซลเซียส [15]

2.8.2 เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง

เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง (Low/medium alloy steels) มีธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักคือ โมลิบดีนัม (Mo) โครเมียม (CR) ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งได้ดี และทังสเตน (W) โมลิบดีนัมช่วยให้มีความสามารถทนการสึกหรอได้ดียิ่งขึ้น แต่เหล็กผสมก็มีข้อจำกัดเช่นเดียวกันกับเหล็กเครื่องมือ คือจะสูญเสียความแข็งแรงที่อุณหภูมิขณะทำการเทมเปอร์ (Tempering) ที่อุณหภูมิประมาณ 135 - 330 องศาเซลเซียส [15]

2.8.3 เหล็กกล้ารอบสูง

เหล็กกล้าผสมสูง (High Speed Steels : HSS) มีคุณสมบัติสูงกว่าเหล็กเครื่องมือ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 580 องศาเซลเซียส โดยยังมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงไว้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กเครื่องมือ เหล็กกล้ารอบสูงมีส่วนผสมหลักคือ เหล็ก โครเมียม วานาเดียม ทังสเตน โมลิบดีนัม และคาร์บอน ในบางกรณีก็มีการเติมโคบอลท์ด้วย โดยที่ส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ จะถูกควบคุมให้อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้เหล็กรอบสูงมีความแข็ง ต้านทานการสึกหรอ และยังคงความเหนียวด้วย [15]

2.8.4 โคบอลท์หล่อผสม

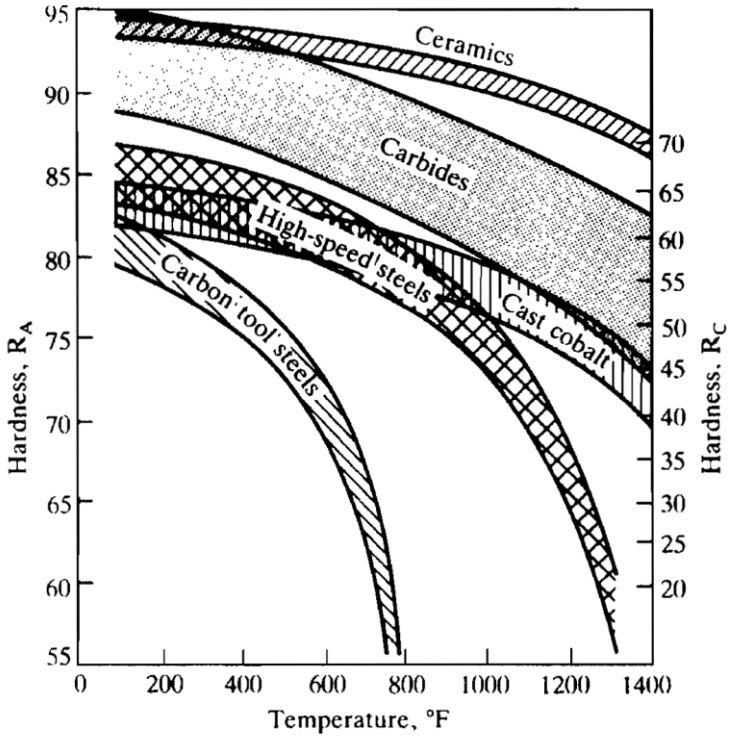
โคบอลท์หล่อผสม (Cast Cobalt Alloys) เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของโคบอลท์มากกว่าธาตุชนิดอื่น ๆ ที่นำมาผสม ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 38 – 53% และมีธาตุอื่นผสม เช่น โครเมียม ทังสเตน และคาร์บอน โคบอลท์หล่อผสม ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดช่องว่างด้านคุณสมบัติระหว่างเหล็กรอบสูงและเหล็กเครื่องมือคาร์ไบด์ ความสามารถในการนำไปใช้งาน จะอยู่กึ่งกลางระหว่างเหล็กรอบสูงและวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานโคบอลท์หล่อผสม สามารถที่จะใช้งานได้ดีกว่าเหล็กรอบสูงทั้งในด้านที่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า โดยที่ยังสามารถคงความแข็งไว้ได้ และยังสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูงกว่าเหล็กรอบสูงประมาณ 25% อีกด้วย ธาตุที่ช่วยทำให้โคบอลท์หล่อผสมมีความแข็งมากขึ้นคือ โครเมียม และทังสเตน ส่วนผสมอื่นที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติให้ดียิ่งขึ้น คือ วานาเดียม (V), โบรอน (B) นิเกิล (Ni) และเทนทาลัม (Ta) เครื่องมือตัดที่เป็นโคบอลท์หล่อผสมจะถูกสร้างขึ้นมาโดยการหล่อให้รูปร่างที่ต้องการก่อนจากนั้น จึงทำการเจียระไนให้ได้รูปร่างที่ต้องการเป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยใช้ทำเครื่องมือตัดที่มีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน [8]

2.8.5 ซีเมนต์คาร์ไบด์

ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cement Carbide) หรือ เรียกอีกอย่าง คือ ทังสเตนคาร์ไบด์ จัดเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง และมีการต้านทานการสึกกร่อนที่สูงด้วย ซีเมนต์คาร์ไบด์ถูกพัฒนาขึ้นไปประเทศเยอรมันในปี ค.ศ. 1920 จุดประสงค์ของการพัฒนาขึ้นมาก็เพื่อใช้งานในการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูป และใช้แทนวัสดุอื่นที่มีราคาแพงกว่า ซีเมนต์คาร์ไบด์ที่พัฒนาขึ้นมาครั้งแรกนั้น คือ ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ซึ่งมีส่วนผสมของโคบอลท์ด้วยวิธีการผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การหลอมธาตุต่าง ๆ เข้าด้วยกันแล้วหล่อ กรรมวิธีซินเตอร์ ภายหลัง พบว่า โคบอลท์เป็นตัวที่ทำการผสานโลหะผงได้เข้ากันดี จึงได้มีการพัฒนามาเป็น ทังสเตนโคบอลท์ (WC – Co) และนิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทังสเตนคาร์ไบด์จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิด WC ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2800 องศาเซลเซียส และชนิด W2C มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2750 องศาเซลเซียส [8]

2.8.6 เซอร์เมท

เซอร์เมท (Cermeted) เป็นวัสดุเครื่องมือตัดที่ทำการผลิตมาตามกรรมวิธีโลหะผงหรือซินเตอร์ริ่ง มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เซรามิคส์ และธาตุผสมอื่น ๆ เซรามิคส์ที่ผสมลงไปจะเป็นตัวช่วยในการต้านทานความร้อน และการสึกกร่อน ในขณะที่ส่วนผสมของโลหะอื่นเป็นตัวช่วยในด้านความเหนียว การยืดหยุ่น การต้านแรงกระแทก เซรามิคส์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของอโลหะ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีความสามารถในการต้านทานความร้อนสูง ในอุตสาหกรรมการผลิตได้แยกเครื่องมือตัดเซอร์เมทออกเป็นสองชนิดคือ ชนิดที่มีไททาเนียมคาร์ไบด์เป็นโลหะฐาน และชนิดไททาเนียมคาร์โบไนไตร์เป็นโลหะพื้นฐาน ในขณะที่ชนิดที่มีทังสเตคาร์ไบด์เป็นโลหะฐานเรียกว่า ซีเมนต์คาร์ไบด์ [8]



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบค่าความแข็งของวัสดุเครื่องมือตัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ [8]

2.8.7 เซรามิก

เซรามิก (Ceramics) จัดเป็นวัสดุเครื่องมือตัดชนิดใหม่ที่นำมาใช้ ซึ่งความสามารถของเซรามิกสามารถที่จะใช้งานได้หลากหลาย เช่น งานตัดปาดผิวที่ละเอียดงานตัดปาดผิวที่ใช้วัสดุอื่นตัดได้ยาก การพัฒนานำเซรามิกมาใช้ได้เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ซึ่งทำมาเพื่อเป็นชิ้นส่วนของงานที่ต้องใช้ในอุณหภูมิสูง เนื่องจากเซรามิกเป็นอโลหะ จึงมีความสามารถในด้านการทนอุณหภูมิสูงอยู่แล้วเซรามิกที่ใช้ทำเครื่องมือตัดในปัจจุบันเป็นเซรามิกฐานอะลูมิน่า (Al_2O_3) เซรามิกฐานซิลิกอนไนเตร (Si_3N_4) [15]

2.8.8 วัสดุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษ

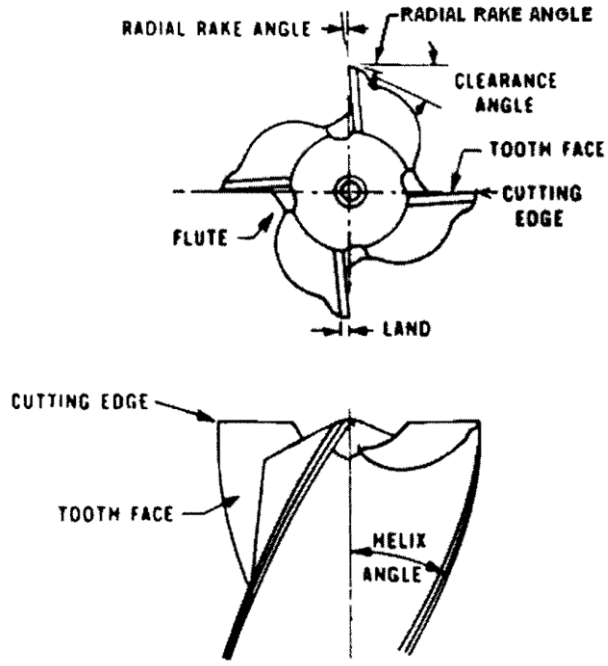
วัดสุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษมี 2 ชนิด คือ เพชร (Diamond) และ CBN (Cubic Boron Nitride) วัสดุทั้งสองชนิดนี้ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งจะใช้สำหรับเป็นเครื่องมือตัด เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเพชรและ CBN มีลักษณะคล้ายคลึงกันหลายอย่าง ทั้งสองชนิดเป็นวัสดุที่แข็งมากที่สุด [15]

2.9 มีดกัดและความสึกหรอของมีดกัด

2.9.1 มีดกัด

มีดกัด หรือเอ็นมิลล์ (End mill) ผลิตจากวัสดุหลายชนิด ได้แก่ เหล็กกล้ารอบสูงหมายเลข 1.3343, 1.3243, 1.3247 ตามมาตรฐาน DIN และวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (Solid Tungsten Carbide) การผลิตเอ็นมิลล์ส่วนใหญ่ใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้ารอบสูง เช่น ตามมาตรฐาน AISI [10] เหล็กกล้ารอบสูงที่ใช้ผลิตเอ็นมิลล์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เหล็กกล้ารอบสูงผสมโมลิบดีนั่มกับโคบอลต์เป็นหลัก เช่น M30 M33 M34 M42 M43 M46 และ M47 เป็นต้น และเหล็กกล้ารอบสูงผสมทังสเตนเป็นหลัก เช่น T4 T5 T6 T8 และT15 เป็นต้น ในการกำหนดรูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์จะพิจารณาจากเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น วัสดุสำหรับผลิตเอ็นมิลล์ วัสดุชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือนและเงื่อนไขในการตัดเฉือน เป็นต้น โดยที่ขนาดรูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์นั้นประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ [11]

1. มุมคายในแนวรัศมี (Radial Rake Angle)
2. มุมหลบในแนวรัศมี (Radial Relief Angle)
3. มุมหลบ (Clearance Angle)
4. มุมเกลียวหรือมุมเฉียง (Helix Angle)
5. ความยาวทั้งหมด (Over Length)
6. ความยาวช่วงคมตัด (Cut Length)



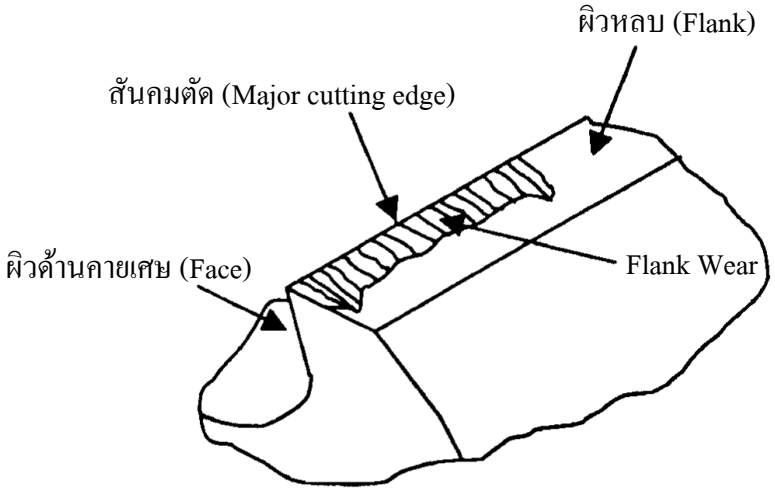
รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของมีดกัดร่อง (End Mill) [11]

2.9.2 ความสึกหรอของมีดกัด

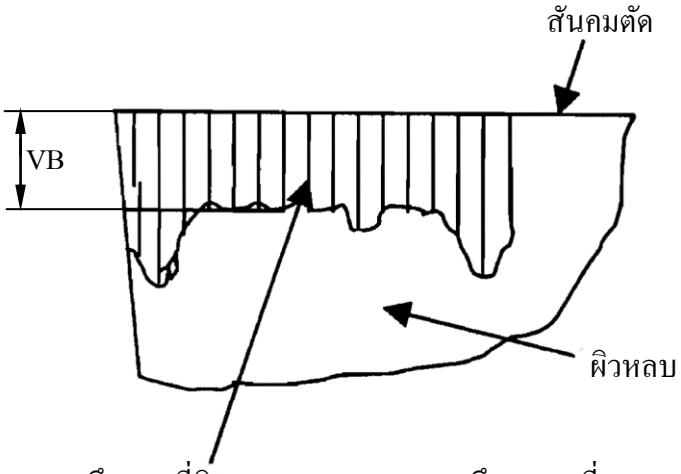
เครื่องมือตัดขณะที่ตัดเฉือนโลหะ จะเกิดความเค้น การเสียดสี และความร้อนสูง ส่งผลทำให้เครื่องมือตัดมีอายุการใช้งานสั้นลง ซึ่งจะปรากฏออกมาในรูปความสึกหรอ (Wear) ให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดผิดไปจากที่ต้องการ และมีผิวหยาบ อัตราการสึกหรอ ส่วนมากมีสาเหตุมาจาก การเลือกใช้เครื่องมือตัดที่ไม่เหมาะสมกับวัสดุงาน รวมทั้งรูปร่างของวัสดุเครื่องมือตัดด้วย นอกจากนี้ การหล่อเย็นที่ไม่ถูกชนิดหรือการหล่อเย็นไม่ตรงจุด และไม่มีกำลังน้ำหล่อเย็นฉีดแรงเพียงพอ ที่สำคัญคือการเลือกใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบ ความเร็วตัด และอัตราการป้อนไม่ถูกต้อง การสึกหรอของมีดกัด แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ [16]

2.9.2.1 การสึกหรอของคมตัดบริเวณผิวหลบ (Flank Wear)

การสึกหรอที่ผิวหลบ เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับคมตัดทุกประเภท ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการสึกหรอที่เกิดจากชิ้นงานเคลื่อนที่สัมผัสผ่านมีดกัดในขณะเดียวกันก็เกิดเศษตัด (Chip) แยกตัวออกมาจากชิ้นงาน ถ้าการสึกหรอด้าน ผิวหลบขยายตัวเพิ่มขึ้น ก็จะมีผลโดยตรงต่อขนาด และคุณภาพของผิวงาน ดังนั้นในการศึกษาการสึกหรอของมีดกัดจะทำการตรวจสอบที่ผิวหลบเป็นหลัก ส่วนการตรวจสอบระยะการสึกหรอที่ ผิวหลบ จะเป็นการวัดความกว้างของการสึกหรอตลอดช่วงความลึกในการตัด



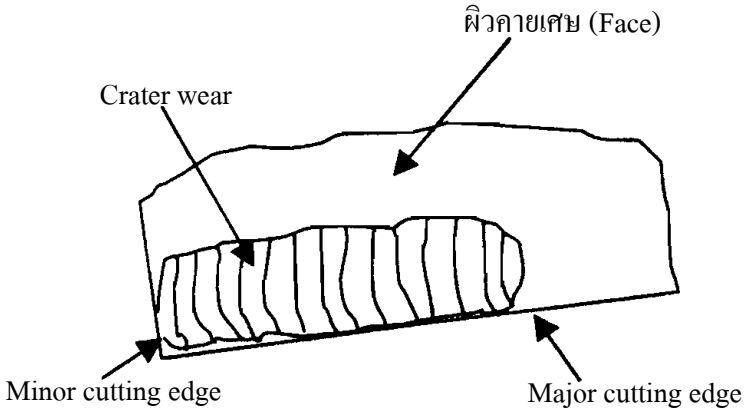
รูปที่ 2.18 คมตัดและการสึกหรอของผิวหลบของมีด (Flank Wear) [16]



รูปที่ 2.19 การสึกหรอของผิวหลบ (Flank Wear) [16]

2.9.2.2 การสึกหรอที่ผิวคายเศษของคมตัด (Crater Wear)

การสึกหรอที่ผิวคายเศษ เป็นการสึกหรอเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างเศษตัด (Chip) เคลื่อนที่ออกจากบริเวณการสัมผัสผิวคายเศษแต่ละคมตัดของมีดกัด มีแรงเสียดทานและความร้อนเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการสึกหรอเป็นการสึกหรอที่ผิวคายเศษ [16]



รูปที่ 2.20 การสึกหรอที่ผิวคายเศษของมีดกัด [16]

2.9.3 สาเหตุการสึกหรอของมีดกัด

โดยทั่วไปสาเหตุการหมดสภาพของเครื่องมือภายใต้การทำงานแบบปกติในการตัดเฉือน จะเป็นการสึกหรอจากการสึกเพียงเล็กน้อยก่อน ต่อจากนั้นเมื่อมีเวลาใช้งานในการตัดเพิ่มขึ้น การสึกหรอของเครื่องมือตัดก็จะเพิ่มข้นเรื่อย ๆ และอัตราการสึกหรอก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งคมตัดไม่สามารถตัดเฉือนโลหะได้ดีเช่นเดิม สาเหตุการสึกหรอของเครื่องมือตัดประกอบด้วย [17]

1. การขัดสี เนื่องจากชิ้นงานมีความแข็งมากกว่ากว่าและเกิดการลื่นไถลในลักษณะการขัดถูทำให้ขอบของคมตัดสึกหรอ

2. การแพร่ความร้อน บริเวณการตัดในสภาวะความร้อนสูง

3. การสึกหรอแบบออกซิเดชั่น การตัดในลักษณะการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) เช่น ในช่วงที่อุณหภูมิตัดเฉือนสูง ๆ เป็นต้น

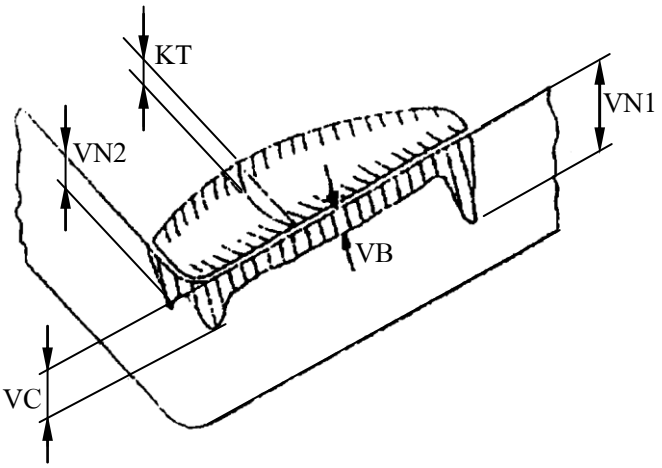
4. การยึดติด ระหว่างผิวคายเศษกับเศษตัด สัมผัสกับภายใต้แรงกดและแรงเสียดทาน เมื่อผิวโลหะทั้งสองชนิดถูกประกบติดกัน ภายใต้ภาวะที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น

5. การสึกหรอทางเคมีและการแตกตัวทางไฟฟ้า การสึกหรอทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเครื่องมือตัดกับชิ้นงาน ถ้าหากมีการหล่อเย็น ขบวนการทางเคมีจะกระทำหรือเกิดขึ้นต่อระบบของสารหล่อเย็น ในขณะทำการตัดเฉือน

นอกจากนี้ องค์ประกอบ และเงื่อนไข ที่มีผลต่อการสึกหรอของคมตัดบริเวณการตัดเฉือนประกอบด้วย ความลึกในการตัดเฉือน ความเร็วป้อน ความเร็วตัด รูปทรงเรขาคณิต มุมตั้งมีด ความยาวด้ามมีด วัสดุชิ้นงาน ระยะความยาวจากคมตัดบริเวณการตัดถึงจุดจับยึดของด้ามเอ็นมิลล์ ปริมาณและชนิดของสารหล่อเย็น เป็นต้น

2.9.4 การวัดขนาดของการสึกหรอของคมตัด

ขนาดของการสึกหรอของคมตัด จะขึ้นอยู่กับสันคมตัดนำ และวัดระยะตั้งฉากกับสันคมตัดก่อนการสึกหรอ (ก่อนใช้งาน) ลงไปถึงเส้นขอบเขตการสึกหรอที่ขนานกับสันคมตัด ซึ่งจะได้ขนาดการสึกหรอเฉลี่ย หรือจนถึงขนาดการสึกหรอสูงสุด [17]



รูปที่ 2.21 การวัดขนาดการสึกหรอของคมตัด [17]

KT คือ ขนาดความลึกจากผิวคายเศษถึงผิวที่สึกหรอมากที่สุด โดยวัดตั้งฉากกับผิวคายเศษ

VN1 คือ ขนาดการสึกหรอของผิวหลบ บริเวณผิวชิ้นงาน โดยวัดตั้งฉากจากสันคมตัดนำถึงตำแหน่งการสึกหรอสูงสุด

VN2 คือ ขนาดการสึกหรอแบบรอยบาก (Notch wear) ที่ปลายมีดโดยวัดตั้งฉากจากสันคมตัดรองถึงตำแหน่งการสึกหรอสูงสุด

VB คือ ขนาดการสึกหรอเฉลี่ยของผิวหลบ โดยวัดตั้งฉากจากสันคมตัดนำถึงตำแหน่งการสึกหรอ โดยเฉลี่ยจากระยะตัดลึก

VC คือ ขนาดการสึกหรอแบบรอยบาก

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมเดช อิงคะวะระ [3] ได้ทำการศึกษา ผลกระทบของความเค้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเฉือนโลหะ ผลการทดลอง พบว่า อัตราป้อน ความเร็วตัด และมุมคายเศษ เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการกระจายของความเค้น ที่เกิดขึ้นบนผิวคายเศษ ของเครื่องมือตัด ซึ่งส่งผลให้เครื่องมือตัดเกิดการสึกหรอที่ผิว (Flank wear) และผิวคายเศษ (Crater wear) นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า

รัศมีของปลายเครื่องมือตัด ความร้อนที่เกิดขึ้นในขบวนการตัดเฉือน วัสดุเครื่องมือตัด และรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือตัด มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเช่นเดียวกัน

สหรัตน์ วงษ์ศรียะ และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์ตัวแปรในการชุบเหล็กกล้ารอบสูง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานการสึกหรอของเอ็นมิลล์ หมายเลข M42 ตามมาตรฐาน AISI ที่ผลิตภายในประเทศ โดยเปรียบเทียบกับเอ็นมิลล์ประเภทเดียวกันที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลการวิจัยพบว่า เอ็นมิลล์ที่นำเข้าจากต่างประเทศมีความแข็งมากที่สุด 68.33 HRC เกิดการสึกหรอที่ผิวหลบ (Flank wear) เนื่องจากการตัดเฉือนเท่ากับ 0.114 มิลลิเมตร สมรรถนะการต้านทานการสึกหรอมากกว่าเอ็นมิลล์ที่ที่มีความแข็งแรงต่ำ เอ็นมิลล์ที่ผลิตในประเทศมีความแข็งอยู่ในช่วง 64 - 66 HRC การสึกหรอของผิวหลบอยู่ในช่วง 0.145 - 0.015 มิลลิเมตร

มารุต แซ่ห่ง และคณะ [16] ได้ศึกษาการหาค่าการนำความร้อนในของเหลวแต่ละชนิด ได้แก่ น้ำ น้ำมันเครื่อง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อเย็น น้ำมันคอมเพรสเซอร์ น้ำมันหม้อแปลง น้ำมันชุบโลหะ และกลีเซอรีน ผลจาการทดลอง พบว่า ของเหลวแต่ละชนิดนั้นมีค่าการนำความร้อนไม่เท่ากัน และอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนมาก ถ้าหากอุณหภูมิของของเหลวเปลี่ยนไปก็จะทำให้ค่าการนำความร้อนของของเหลวนั้นเปลี่ยนตามด้วย สรุปได้ว่าค่าการนำความร้อนนั้นจะแปรผันตามค่าของอุณหภูมิ โดยที่น้ำ และน้ำมันหล่อเย็น มีค่าการนำ ความร้อนอยู่ในช่วง 0.586 – 1.1878 W/m·K ของเหลวในกลุ่มของ น้ำมันเครื่อง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมันปาล์ม น้ำมันคอมเพรสเซอร์ น้ำมันหม้อแปลง และน้ำมันชุบโลหะ มีค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.08 – 0.377 W/m·K และกลีเซอรีนมีค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.287 - 0.324 W/m·K

สหรัตน์ วงษ์ศรียะ และคณะ [17] ได้ศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานและการสึกหรอของเอ็นมิลล์ (End mill) ที่ผลิตภายในประเทศ เปรียบเทียบกับเอ็นมิลล์ที่ผลิตและนำเข้ามาจากต่างประเทศจำนวน 17 ตราผลิตภัณฑ์ สำหรับเอ็นมิลล์ที่ผลิตจากเหล็กกล้ารอบสูง หมายเลข M42 ตามมาตรฐานของ AISI โดยตัดเฉือนเหล็กกล้ากลุ่มที่ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไป โดยทำการทดสอบและเปรียบเทียบในด้านต่าง ๆ เช่น รูปทรงเรขาคณิต ประสิทธิภาพการใช้งานและการสึกหรอ ภายใต้เงื่อนไขการตัดเฉือนที่เหมือนกัน ทดสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาและส่วนผสมทางเคมี การศึกษาและทดลองใช้เอ็นมิลล์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 85 มิลลิเมตร ช่วงความยาวคมตัด 30 มิลลิเมตร มุมคายเศษ (Rake Angle) 9.83 องศา มุมเฉียง (Helix Angle) 29.08 องศามุมหลบ (Relief Angle) 15.57 องศา ทำการทดสอบกับวัสดุชิ้นงานทำเป็นเหล็กกล้าเบอร์ 1050 ตามมาตรฐานของ AISI ที่มีความแข็ง 200 HB โดยทำการอบแบบปกติ (Normalizing) ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ผลการวิจัย พบว่า ระยะการสึกหรอที่ผิวหลบของมีด

กัด VE05 มีระยะการสึกหรอน้อยกว่าคือ 0.12 มิลลิเมตร ส่วนมีดกัด D016, GY01, IZ03 และ HA04 เกิดการสึกหรอเท่ากับ 0.14, 0.22, 0.24 และ 0.26 มิลลิเมตร ตามลำดับ

สหรัตน์ วงษ์ศรียะ และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาวิจัย เพื่อเลือกใช้เครื่องมือตัดในงานอุตสาหกรรม ผลการศึกษา พบว่า สมบัติของแผ่นมีดกลึงคาร์ไบด์ จากข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ผลิตแผ่นมีดกลึงและจากการจัดหมู่ของกลุ่มแผ่นมีดกลึงกลึงคาร์ไบด์เปรียบเทียบกับชนิดสารเคลือบผิว เลือกเฉพาะแผ่นมีดที่ใช้สำหรับกลึงเหล็กหล่อ ผลการจัดกลุ่มของสารเคลือบผิวมีดกลึงแต่ละตราผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ไม่มีความแตกต่างกัน

สิงห์แก้ว ป๊อกเทิ่ง [19] ได้ทำการศึกษา การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานและการสึกหรอของดอกสว่านในการตัดเจาะโลหะด้วยเครื่องกัด CNC โดยการเปรียบเทียบสว่านแต่ละตราผลิตภัณฑ์จากหลายประเทศผู้ผลิต ซึ่งใช้อยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมจาก 5 ประเทศ ผู้ผลิต คือ ประเทศออสเตรเลีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอังกฤษ ประเทศจีน และประเทศเช็คโกสโลวเกีย มาทดสอบความแข็งและการสึกหรอ ซึ่งในการทดสอบการสึกหรอของดอกสว่านนี้ตั้งอยู่บนเงื่อนไขเดียวกัน คือใช้เครื่องกัด CNC จากการทดสอบข้างต้นใช้สว่านจำนวน 5 ชิ้นต่อหนึ่งตราผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัย พบว่า ค่าความแข็ง และค่าการสึกหรอ ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

สหรัตน์ วงษ์ศรียะ [20] ได้ทำการศึกษา เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านทานการสึกหรอของเอ็นมิลล์ประเภททังสเตนคาร์ไบด์ ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแม่พิมพ์ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า เอ็นมิลล์ชนิดเคลือบผิวแข็ง จำหน่ายที่ราคาช่วง 2500 – 3800 บาทต่อชิ้น มุมคายเศษอยู่ในช่วง 5-9 องศามุมหลบอยู่ในช่วง 6 – 9 องศา มุมเฉียงอยู่ในช่วง 26 – 28 องศา ความแข็งแกนกลางอยู่ในช่วง 1677 – 1770 HV การสึกหรอที่ผิวหลบ อยู่ในช่วง 0.032 – 0.060 มิลลิเมตร น้ำหนักที่สูญหายอยู่ในช่วง 0.0385 – 0.0573 กรัม และเปรียบเทียบเอ็นมิลล์ชนิดเคลือบผิวแข็งด้วย TiAlN กับเอ็นมิลล์ชนิดไม่เคลือบผิว ปรากฏว่าวัสดุสำหรับผลิตเอ็นมิลล์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรง ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สหรัตน์ วงษ์ศรียะ [21] ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของการต้านทานต่อการสึกหรอของแผ่นมีดกลึง ผลการทดลอง ด้านความต้านทานต่อการสึกหรอ โดยวัดระยะที่ผิวหลบ ทำการทดสอบกับชิ้นงานจำนวน 4 บริษัท ที่กำหนดเป็นรหัสแตกต่างกัน ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. แผ่นมีดกลึง รหัส AC110G การสึกหรอ ทั้ง 3 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 0.0513, 0.7784 และ 0.3133 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2. แผ่นมีดกลึง รหัส UC5005 การสึกหรอ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายของสันคมตัดนำของแผ่นมีดกลึง และเป็นการสึกหรอบริเวณกว้างขึ้นที่บริเวณ Nose Radius ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.153, 0.40 และ 0.5258 มิลลิเมตร ตามลำดับ

3. แผ่นมีดกลึง รหัส GC 3015 การสึกหรอเฉลี่ยของแผ่นมีด น้อยที่สุด คือ 0.1904 มิลลิเมตร

4. แผ่นมีดกลึงรหัส CA110 มีการสึกหรอมากที่สุด คือ 0.8376 มิลลิเมตร การสึกหรอโดยรวมจะเริ่มสูงขึ้น การสึกหรอเฉลี่ยของแผ่นมีด ชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 0.4489 มิลลิเมตร

5. เปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า แผ่นมีด รหัส AC110G เกิดการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นมีด รหัส AC110G และแผ่นมีดกลึง รหัส GC 3015 เกิดการสึกหรอน้อยที่สุด

สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ [23] ได้ศึกษาเชิงวิศวกรรมย้อนรอยมีดกัดร่อง (Slot drills) ที่ผลิตจากเหล็กกล้ารอบสูง ภายใต้เงื่อนไขการตัดเฉือนที่แตกต่างกัน 2 ลักษณะ ได้แก่ การตัดเฉือนภายใต้เงื่อนไขการเฉลี่ย คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน เท่ากัน และเงื่อนไขที่กำหนดของแต่ละผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 รหัส ผลการศึกษา พบว่า

1. ผลการทดสอบการสึกหรอของมีดกัดร่อง โดยใช้เงื่อนไขค่าเฉลี่ย ทำการตัดเฉือนทั้งหมดเป็นระยะทาง 3000 มิลลิเมตร และไม่มีการหล่อเย็นมีดกัดร่อง ที่มีระยะการสึกหรอที่ผิวหลบมากที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างมีดกัดร่อง E มีระยะการสึกหรอที่ผิวหลบมากที่สุด เท่ากับ 0.121 มิลลิเมตร เพราะมีการแตกหักบริเวณคมตัด เนื่องจากการตัดเฉือนในขณะทดสอบ ส่วนตัวอย่างมีดกัดร่องที่มีระยะการสึกหรอน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างมีดกัดร่อง B มีระยะการสึกหรอที่ผิวหลบ เท่ากับ 0.088 มิลลิเมตร

2. ผลการทดสอบการสึกหรอของมีดกัดร่อง โดยใช้เงื่อนไขมาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ทำการตัดเฉือนทั้งหมดเป็นระยะทาง 3000 มิลลิเมตร และไม่มีการหล่อเย็นมีดกัดร่อง ที่มีระยะการสึกหรอที่ผิวหลบมากที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างมีดกัดร่อง E มีระยะการสึกหรอที่ผิวหลบมากที่สุด เท่ากับ0.123 มิลลิเมตร ส่วนตัวอย่างมีดกัดร่องที่มีระยะการสึกหรอน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างมีดกัดร่อง B มีระยะการสึกหรอที่ผิวหลบ เท่ากับ 0.087 มิลลิเมตร

3. ผลการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสึกหรอที่ผิวหลบ พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความผิดพลาดการสึกหรอของมีดกัด โดยใช้เงื่อนไขค่าเฉลี่ยที่ผิวหลบมีค่ามากที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างมีดกัดร่อง รหัส H มีค่าเท่ากับ 0.019 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความผิดพลาดการสึกหรอที่ผิวหลบมีค่าน้อยที่สุด ได้แก่ มีดกัดร่องรหัส B มีค่าเท่ากับ 0.013 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความผิดพลาดการสึกหรอของมีดกัดร่อง โดยใช้เงื่อนไขค่ามาตรฐานผู้บริษัทผลิตกำหนดที่ผิวหลบมีค่ามากที่สุด ได้แก่ตัวอย่าง มีดกัดร่อง รหัส B มีค่าเท่ากับ 0.021 มิลลิเมตร ความผิดพลาด

การสึกหรอของมีดกัดร่องที่ผิวหลบมีค่าน้อยที่สุด ได้แก่ตัวอย่าง มีดกัดร่อง รหัส E มีค่าเท่ากับ 0.006 มิลลิเมตร

Abuelnaga A.M. and E1 – Dardiry [24] ได้ศึกษาเรื่อง Optimization Methods for Metal Cutting โดยเป็นการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับความเหมาะสมทั่วไป ในการตัดเฉือนตามทฤษฎีและสูตรที่มี และใช้วิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการตรวจสอบและวินิจฉัยหาข้อสรุป ผลการวิจัย พบว่า มีการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปมากมาย สำหรับเงื่อนไขการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดเฉือนโลหะ ซึ่งในแต่ละโปรแกรมจะมีคุณสมบัติ และข้อจำกัดในการใช้งานแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงานและเงื่อนไขในการผลิตในแต่ละกรณี สิ่งที่สำคัญคือ การทำความเข้าใจในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ จากข้อมูลการผลิต และเป้าหมายของงานนั้น ๆ อย่างถูกต้อง แล้วจึงนำวิธีออฟติไมเซชั่น (Optimization) มาประยุกต์ใช้ สำหรับในการตัดสินใจว่าจะเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการผลิตแต่ละงาน และความถนัดหรือความเข้าใจของแต่ละบุคคล

C.P. Koulamas, B.K. Lambert and M.L. Smith. [25] ได้ศึกษาเรื่อง Optimal machining condition and Buffer space size for Two – Stage case ซึ่งเป็นการศึกษาแบบจำลองในการคำนวณความเร็วตัดเพื่อให้ได้ผลดีที่สุดเมื่อต้องการให้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุด หรือต้องการให้อัตรากำไรสูงที่สุด ผลจากการทดลอง พบว่า ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยชิ้นงานสูงขึ้น เมื่อราคาเครื่องมือตัดและค่าใช้จ่ายโสหุ้ยเพิ่มมากขึ้น และในการผลิตชิ้นงานจำนวนหนึ่งจะช่วยให้รักษาสภาวะการตัดที่ให้ผลดีที่สุดไว้ได้

ประวุฒิ เพชรไพรินทร์ [26] ได้ทำการศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัดในการกัดทองเหลืองผสม พบว่า ปัจจัยที่มีผล คือ สารหล่อเย็นที่มีผลต่อความผิวงาน โดยที่สารหล่อเย็นชนิดน้ำมันแบบผสมน้ำให้ค่าความเรียบผิวมากกว่าน้ำมันพืช ส่วนความเร็วตัดมีผลต่อความผิวงาน เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นด้วย อัตราป้อนมีผลต่อคุณภาพผิวงาน เมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานลดลง ตรงข้ามกับการใช้น้ำมันพืชจะให้ค่าความเรียบผิวชิ้นงานที่สูงขึ้น อัตราป้อนมีผลต่อความสึกหรอของคมตัด โดยเมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงขึ้นจะให้ค่าความสึกหรอของคมตัดที่ลดลง

ประพล เปี่ยมศักดิ์ชัย [27] ได้ทำการศึกษาความเรียบผิวของงานกัดเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น D2 โดยใช้ตัวแปรต้นคือ ระยะป้อนลึก ความเร็วตัด และอัตราป้อน พบว่า ความเร็วตัด และอัตราป้อนส่งผลต่อความเรียบผิว โดยที่ความเร็วตัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวลดลง และอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น

ชุมพร ช่างกลึงเหมาะ [28] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบละเอียดผิวของชิ้นงานกับเงื่อนไขการกัดของวัสดุอิพอกซีเรซิ่นเติมอลูมิเนียม โดยใช้ตัวแปรต้นคือ ระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน พบว่า ตัวแปรดังกล่าวสามารถเป็นตัวแทนความหยาบละเอียดของผิวชิ้นงานในลักษณะระนาบได้เป็นอย่างดี และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง ของระยะป้อนลึก ความเร็วรอบของดอกกัด และอัตราป้อนของดอกกัด ตามลำดับ

ศุภเอก ประมูลมาก และวิเชียร เถื่อนเครือวัลย์ [29] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของระยะกินลึกและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัดที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน พบว่า ระยะกินลึกของงาน เมื่อระยะกินลึกมากขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพผิวงานลดลง และขนาดของมีดกัด ส่งผลต่อค่าความเรียบผิว เมื่อใช้มีดกัดใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพผิวงานลดลง

มานพ วรศรี [30] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความแข็งของงานกัดกล้าเครื่องมือ SKD 16 พบว่า อัตราป้อนมีผลต่อความเรียบผิวงาน เมื่อเพิ่มอัตราป้อนมากขึ้นค่าความเรียบผิวจะมีค่ามากขึ้น เพราะอัตราป้อนมาขึ้นทำให้มีดเดินกัดงานมีระยะห่างระหว่างรอยกัดกว้าง ซึ่งส่งผลต่อจำนวนรอยกัดที่มีระยะห่างมากกว่าอัตราป้อนที่น้อย ทำให้ผิวงานมีความละเอียดน้อยกว่า

สมิง อบมา [31] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผิวและการสึกหรอของคมตัดในการกัดพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยใช้ความเร็วตัดที่ 60, 70 และ 90 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 200, 300 และ 400 มิลลิเมตร/นาที พบว่า อัตราป้อนและทิศทางตัดมีผลต่อความเรียบผิวงาน และอัตราป้อน ความเร็วตัด และทิศทางการกัด มีผลต่อการสึกหรอของคมตัด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนมากขึ้นค่าความเรียบผิวจะมีค่ามากข้น