

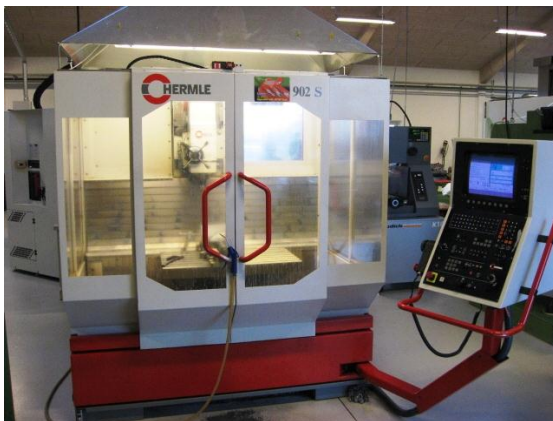
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อส่งผลกระทบต่อความเรียบผิว ในกระบวนการกัดอะลูมิเนียมผสม เกรดAA7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้าเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

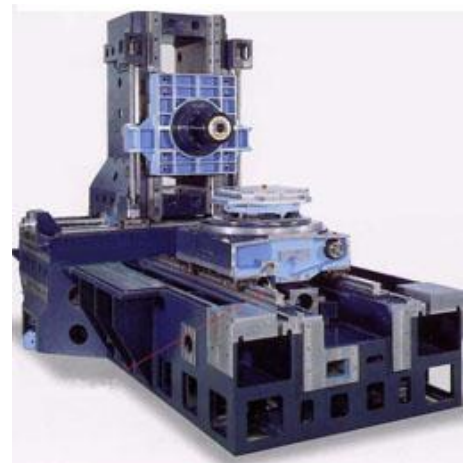
- 2.1 เครื่องกัดซีเอ็นซี
- 2.2 วัสดุที่ใช้ทำมีดตัด
- 2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานโดยการกัด
- 2.4 อะลูมิเนียมผสม และการบ่มแข็ง (Aging)
- 2.5 ความเรียบของผิวงาน
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องกัดซีเอ็นซี

เครื่องกัดซีเอ็นซี ถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถทำงานได้ค่อนข้างหลากหลาย เช่น งานกัด งานเจาะ งานคว้าน งานทำเกลียว เป็นต้น ทำให้เครื่องกัดซีเอ็นซีถูกออกแบบให้มีการเคลื่อนที่ตั้งแต่ 3 แนวแกนขึ้นไป โดยมีแนวแกนหลัก 3 แกน ได้แก่ แกน X แกน Y และแกน Z เครื่องกัดซีเอ็นซีโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลตตั้ง เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลานอน โดยขึ้นอยู่กับการวางตำแหน่งของเพลตหัวเครื่อง [3]



รูปที่ 2.1 เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลตตั้ง [18]



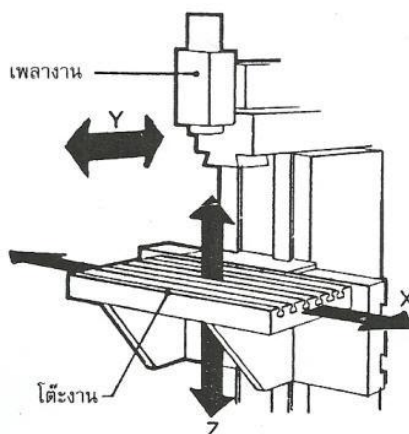
รูปที่ 2.2 เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลานอน [18]

2.1.1 ส่วนประกอบในการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซี [3]

การเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องขึ้นงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี จะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมซีเอ็นซี ที่ถูกติดตั้งขึ้นจากบริษัทผู้ผลิต โดยจะทำหน้าที่ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด เพื่อตัดต่อเนื่องขึ้นงาน ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซีที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 7 ส่วนดังนี้

2.1.1.1 แนวแกนป้อน (Feed Axes)

แนวแกนป้อนหมายถึง แนวหรือทิศทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องซีเอ็นซีตามทิศทางต่างๆ เช่น เคลื่อนที่ขึ้น-ลง เคลื่อนที่ซ้าย-ขวา เคลื่อนที่เข้า - ออก เป็นต้น สำหรับแนวแกนป้อนนั้นจะทำให้ส่วนประกอบของเครื่องกัดซีเอ็นซี มีการเคลื่อนที่ เช่น การเคลื่อนที่ของโต๊ะงาน การเคลื่อนที่ของหัวเพลลาเครื่อง หรือการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น สำหรับทิศทาง การเคลื่อนที่นั้นจะใช้ทฤษฎีตามกฎมือขวา เพื่ออ้างอิงทิศทาง การเคลื่อนที่ เครื่องกัดซีเอ็นซี จะมีแนวแกน 3 แนวแกน ได้แก่ แกน X , แกน Y และแกน Z โดยทั่วไปจะมี 2 แกนสำหรับการเคลื่อนที่ของโต๊ะงาน ส่วนแกนที่ 3 จะเป็นการเคลื่อนที่ของเพลลาหัวเครื่อง (เพลลางาน) ถ้าเครื่องกัดนั้นเป็นแบบโต๊ะงานอยู่กับที่ เพลลาหัวเครื่องจะเคลื่อนที่ทั้ง 3 แนวแกน

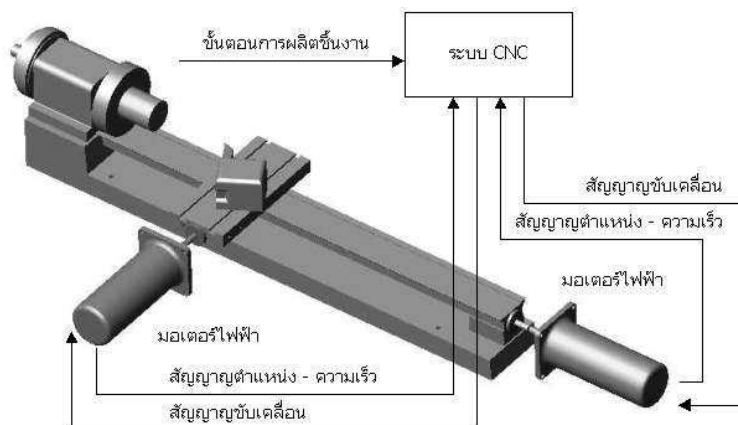


รูปที่ 2.3 ทิศทางของแนวแกนป้อน [18]

2.1.1.2 ระบบขับป้อน (Feed Drive)

ระบบขับป้อน หมายถึงระบบที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่เรียงลำดับ หรือเคลื่อนที่พร้อมกัน ตามทิศทางของแนวแกน ซึ่งมีผลให้ขึ้นงานเกิดการตัดต่อเนื่องจากเครื่องมือตัด ระบบขับป้อนโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์กระแสตรงเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแนวแกนป้อน ซึ่งสามารถหมุนและเบรกให้หยุดได้ทันทีขณะทำงาน อีกทั้งเมื่อมีการเคลื่อนที่ที่จะต้องเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอไม่ติดขัด เนื่องจากการออกแบบการเคลื่อนที่ของโต๊ะงานโดยใช้เกลิยว บอลด์สกรู (Ball Screw) ขับเคลื่อนที่เพื่อไม่ให้เกิดระยะทางที่ผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ บอลด์สกรูเป็นระบบขับ

ป้อนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบซีเอ็นซี โดยการส่งกำลังของบอลด์สกรูซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวกลมเพื่อลดความฝืดและเพิ่มความเที่ยงตรงขณะเคลื่อนที่



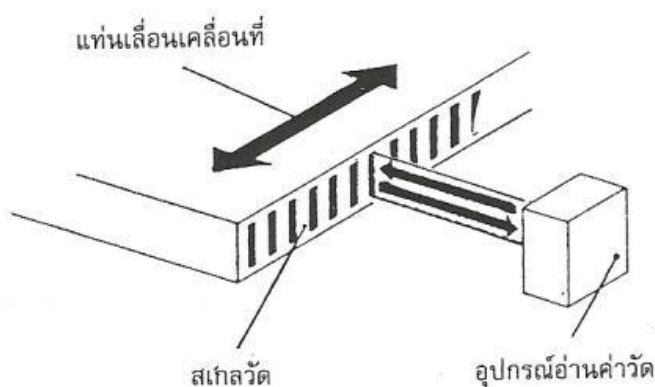
รูปที่ 2.4 ลักษณะระบบขับป้อนของซีเอ็นซี [18]

2.1.1.3 ระบบวัดขนาด (Measuring Systems)

การเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละแนวแกนของแท่นเลื่อน จะถูกส่งไปยังระบบควบคุม โดยระบบวัดขนาด การวัดตำแหน่งของแท่นเลื่อนสามารถที่จะวัดได้ทั้งโดยตรง และโดยทางอ้อม

2.1.1.3.1 การวัดตำแหน่งโดยตรง (Direct Measurement)

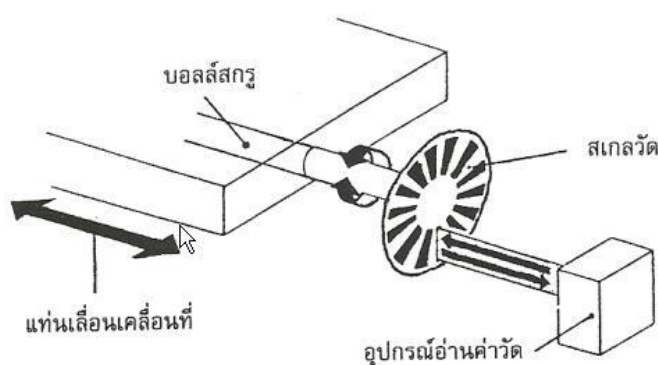
การวัดตำแหน่งโดยตรง จะมีสเกลวัดยึดติดกับแท่นเลื่อนหรือโต๊ะงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ ข้อดีของวิธีการวัดแบบนี้ก็คือ ความไม่เที่ยงตรงของสกรุนำเลื่อน และระบบขับจะไม่มีผลกระทบต่อค่าที่อ่านได้ อุปกรณ์อ่านค่าวัดจะอ่านข้อมูลในการวัดจากขีดสเกลวัด และแปลงข้อมูลนี้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งกลับไปยังระบบควบคุม



รูปที่ 2.5 การวัดตำแหน่งโดยตรง [18]

2.1.1.3.2 การวัดตำแหน่งทางอ้อม (Indirect Measurement)

การวัดตำแหน่งทางอ้อม เป็นการเคลื่อนที่ซึ่งมาจากการส่งกำลังของบอลล์สกรู ผ่านมายังอุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด โดยจะทำการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนที่หมุนของแผ่นจานสัญญาณ ที่ติดอยู่กับบอลล์สกรู และส่งไปยังชุดควบคุม ระบบควบคุมจะคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนจากสัญญาณการหมุน ของแผ่นจานสัญญาณ

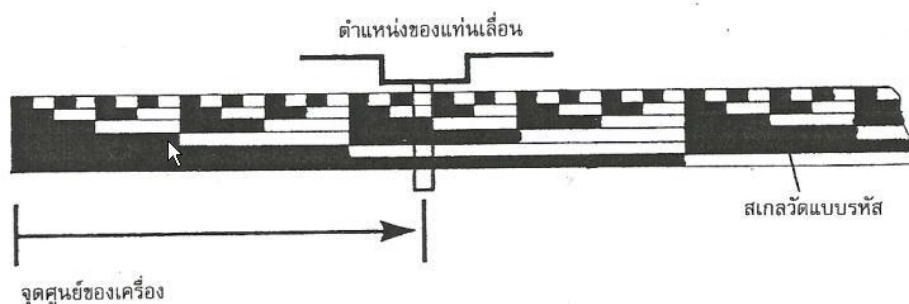


รูปที่ 2.6 การวัดตำแหน่งทางอ้อม [18]

การวัดตำแหน่งทั้งทางตรงและทางอ้อมจะขึ้นอยู่กับวิธีวัดตำแหน่งของเครื่องกัดซีเอ็นซี และโดยทั่วไปการวัดตำแหน่งที่นิยมใช้มีอยู่ 2 วิธีคือ การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ และการวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง

2.1.1.3.3 การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Coordinate)

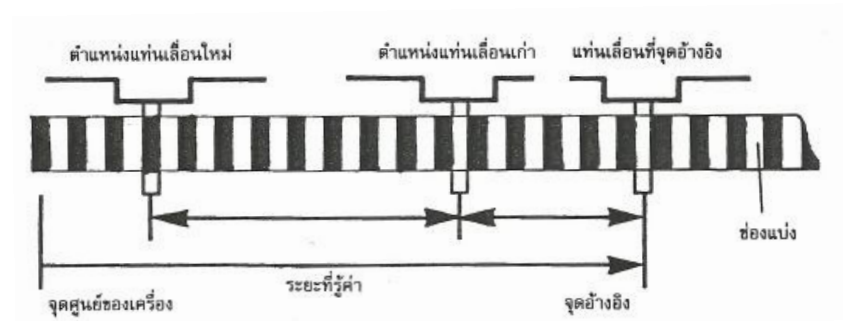
การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ หมายถึง การวัดตำแหน่งต่าง ๆ โดยอ้างอิงจุดศูนย์ของเครื่อง ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงที่แน่นอนและถาวรของเครื่องจักร โดยการวัดขนาดจะใช้สเกลวัดแบบรหัส ซึ่งจะชี้แสดงตำแหน่งของแท่นเลื่อนที่ถูกต้องตลอดเวลา



รูปที่ 2.7 การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ [18]

2.1.1.3.4 การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง (Incremental Coordinate)

การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง เป็นการเคลื่อนที่แบบสั้น ๆ ตามความยาวที่ถูกกำหนดเป็นช่วงๆ โดยจะอ้างอิงจากสุดท้ายที่ผ่านมา เป็นจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ในลำดับต่อไปเสมอ



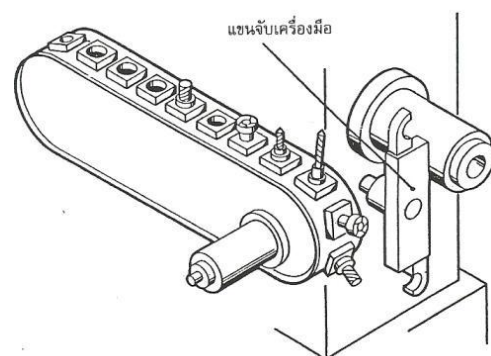
รูปที่ 2.8 การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง [18]

2.1.1.4 ชุดเปลี่ยนเครื่องมือตัด (Tool Changers)

การตัดเฉือนชิ้นงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี ขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะดำเนินการตัดเฉือนอย่างต่อเนื่อง และโดยอัตโนมัติ โดยการจับยึดชิ้นงานเพียงครั้งเดียว ทำให้จำเป็นต้องใช้เครื่องมือจำนวนหลายๆ อันในการทำงาน เพื่อให้ชิ้นงานมีคุณภาพ เนื่องจากเครื่องมือตัดเมื่อทำการตัดเฉือนไปแล้วจะมีการสึกหรอขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนเครื่องมือตัดอันใหม่ ดังนั้นระบบซีเอ็นซีจึงมีอุปกรณ์เปลี่ยนเครื่องมือตัด เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่จำเป็นต้องหยุดการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี ลักษณะของชุดเปลี่ยนเครื่องมืออัตโนมัติ มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ 1.) แบบเทอร์เทียลเครื่องมือ (Tool Turrets) 2.) แบบแม็กกาซีนยึดเครื่องมือ (Tool Magazines)



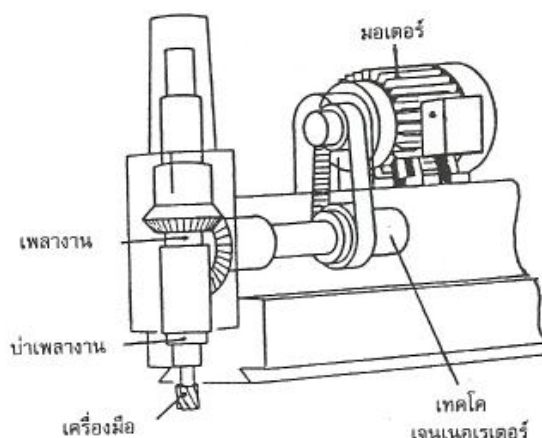
รูปที่ 2.9 แบบเทอร์เทียลเครื่องมือ [18]



รูปที่ 2.10 แบบแม็กกาซีนยึดเครื่องมือ[18]

2.1.1.5 เพลางาน (Work Spindle)

เพลางานเป็นชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบของเครื่องกัดซีเอ็นซีที่สำคัญมาก มีหน้าที่หลักในการทำงาน คือ จับพาเครื่องมือตัดหมุนตัดเฉือนชิ้นงาน โดยทั่วไปจะมีเพลางาน อยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ เพลางานในแนวตั้ง และแนวนอน



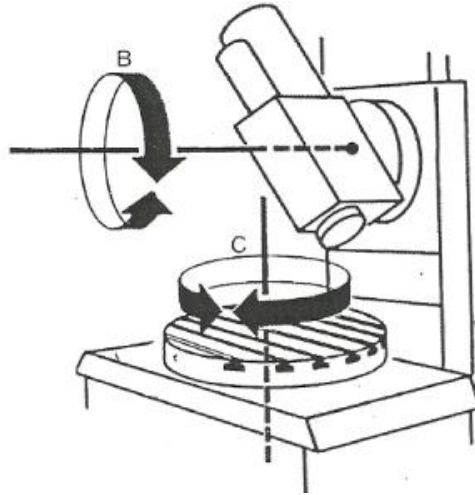
รูปที่ 2.11 เพลางานเครื่องกัด [18]

2.1.1.6 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Workpiece holding devices)

อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจะจัดเตรียมไว้สำหรับยึดชิ้นงานเข้ากับโต๊ะงาน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบต่างๆ เช่น แขนกดชิ้นงาน ปากกาจับชิ้นงาน แท่นแม่เหล็ก อุปกรณ์ที่ออกแบบเฉพาะงาน ซึ่งควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถถอดและใส่ชิ้นงานได้รวดเร็ว และการบังคับตำแหน่งการจับชิ้นงานซ้ำๆ กันนั้นมีความเที่ยงตรงเสมอ

2.1.1.7 แนวแกนหมุนและแนวแกนป้อนย่อย (Rotation axes and additional feed axes)

เครื่องกัดซีเอ็นซีที่มีความสามารถในการทำงานสูง จะมีแนวแกนการเคลื่อนที่มากกว่า 3 แนวแกน หรือมากกว่าแนวแกนปกติ เครื่องกัดซีเอ็นซีบางเครื่องจะมีโต๊ะงานหรือส่วนหัวของเพลางานหมุนได้ ทำให้สามารถตัดเฉือนชิ้นงานได้หลายด้านต่อการจับงานครั้งหนึ่ง แนวแกนที่โต๊ะงานและส่วนหัวของเพลางานหมุนจะถูกควบคุมอิสระ



รูปที่ 2.12 แนวแกนหมุนของโต๊ะงานและส่วนหัวของเพลางาน [18]

2.2 วัสดุที่ใช้ทำมีดตัด (Tool Materials) [4]

จากลักษณะการพังของเครื่องมือตัดทำให้สามารถระบุคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการ ของวัสดุที่ควรจะนำมาทำเครื่องมือตัด ดังนี้

1. Toughness เป็นความสามารถของวัสดุที่จะรับพลังงานโดยไม่เกิดการพังหรือแตกหัก วัสดุที่จะใช้ทำมีดตัดควรมีลักษณะผสมระหว่าง ความแข็งแรง (strength) และความเหนียว (ductility)
2. Hot hardness เป็นความสามารถของวัสดุที่จะยังคงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง
3. Wear resistance เป็นความสามารถของวัสดุในการต้านทานการสึกหรอ

ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการต้านทานการสึกหรอคือ ความแข็งวัสดุที่ใช้ทำมีดตัดควรมีคุณสมบัติสำคัญทั้ง 3 ประการดังที่กล่าวมาข้างต้น จะมากน้อยแตกต่างกันอย่างไรขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกมาใช้ วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำมีดตัด ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอน (plain carbon and low alloy steels) เหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel: HSS.) โลหะผสมโคบอลต์ (cast cobalt alloys) ซีเมนต์คาร์ไบด์ (cemented carbides, cermets) เซรามิกส์ (ceramics) เพชร (synthetic diamond) เป็นต้น ตามลักษณะค่าความแข็งและความแข็งแรงของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ทำมีดตัดการพัฒนาวัสดุที่ใช้ทำมีดตัดเกิดขึ้นเนื่องจากความต้องการความเร็วในการตัดที่สูงขึ้น ทำให้ต้องมีการพัฒนาวัสดุที่สามารถทนความร้อนและรับแรงที่ความเร็วสูงๆ ได้ วัสดุบางชนิดแม้จะมีการพัฒนามานานแต่ยังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น เหล็กกล้ารอบสูง (high-speed steel) การพัฒนาวัสดุในช่วงหลังๆ จะเน้นที่ส่วนผสมของโลหะผสมที่มีคุณสมบัติพิเศษ รวมถึงการพิจารณาโลหะวิทยาของวัสดุ ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำมีดตัดบางชนิด ดังนี้

2.2.1 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 [5]

2.2.2 เหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel:HSS)

เหล็กกล้ารอบสูงจะมีส่วนผสมของโลหะผสมมากขึ้น ทำให้สามารถคงความแข็งของวัสดุได้ดีที่อุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอน จึงสามารถใช้งานที่ความเร็วตัดสูงๆ ได้ เหล็กกล้ารอบสูงมีหลายชนิดแต่สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ โดยสถาบันเหล็กกล้าอเมริกัน (AISI) ได้แก่ 1) ชนิดที่ผสมทังสเตน (tungsten type) เรียกว่า เหล็กเกรดที (T-grades) และ 2) ชนิดที่ผสมโมลิบดีนัม (molybdenum type) เรียกว่า เหล็กเกรดเอ็ม (M-grades) เหล็กกล้าชนิดที่ผสมทังสเตน จะมีทังสเตน (W) เป็นโลหะผสมหลักในอัตราส่วน 12 - 20% นอกจากนี้ยังมีโลหะผสมอื่นๆ อีกเช่น โครเมียม (chromium, Cr) ประมาณ 4% และวานาเดียม (vanadium, V) 1 - 2% เหล็กกล้ารอบสูงเกรดที ที่เป็นที่รู้จักและใช้กันมากชนิดหนึ่งคือ T1 หรือเหล็กกล้ารอบสูงชนิด 18-4-1 จะมีโลหะผสมดังนี้ 18% W, 4% Cr และ 1% V เหล็กกล้าชนิดที่ผสมโมลิบดีนัม จะมีทังสเตนและโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมหลักในอัตราส่วน 6% และ 5% ตามลำดับ รวมทั้งโลหะผสมอื่นๆ เช่นเดียวกับเหล็กเกรดที สำหรับคุณสมบัติของโลหะผสมชนิดต่างๆที่เติมในเหล็กกล้ารอบสูง เหล็กกล้ารอบสูงทั่วไปจะมีส่วนผสมของคาร์บอน (C) ประมาณ 0.75 - 1.5% ในทางการค้าเหล็กกล้ารอบสูงจะมีความสำคัญและนิยมใช้กันมากในปัจจุบันแม้จะมีการใช้งานมานานแล้ว โดยจะเหมาะกับมีดตัดหรือเครื่องมือตัดที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่น ดอกเจาะ ดอกตัด หรือ มีดกัด เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถผ่านกระบวนการทางความร้อนให้มีความแข็งสูงถึง 65 Rockwell C รวมถึงมีค่า Toughness ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น เช่น เซรามิกส์ หรือซีเมนต์คาร์ไบด์สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดของวัสดุชนิดนี้ให้ดีขึ้นทำได้โดยการเคลือบผิวด้วยไททาเนียมไนไตรด์ (Titanium nitride, TiN) [4]

2.2.3 โคบอลต์หล่อผสม (Cast Cobalt Alloys)

โลหะผสมโคบอลต์ จะประกอบไปด้วย โคบอลต์ประมาณ 40 – 50%, โครเมียมประมาณ 25 -35%, ทังสเตนประมาณ 15 - 20% และโลหะผสมอื่นๆ เครื่องมือตัดหรือมีดตัดที่ทำจากวัสดุชนิดนี้จะถูกผลิตให้มีรูปร่างที่ต้องการด้วยกระบวนการหล่อในแม่พิมพ์กราไฟต์ แล้วทำการเจียรไนให้มีรูปร่าง

และความคมตามต้องการ คุณสมบัติในการทนการสึกหรอ (wear resistance) จะมีค่าสูงกว่าเหล็กกล้ารอบสูง แต่ไม่ดีเท่าซีเมนต์คาร์ไบด์ คุณสมบัติเรื่อง toughness จะสูงกว่าซีเมนต์คาร์ไบด์แต่ไม่ดีเท่าเหล็กกล้ารอบสูง ส่วนค่าความแข็งในการทำงานในสภาวะที่มีความร้อนสูง (hot hardness) ของโลหะผสมโคบอลต์จะมีค่าอยู่ระหว่างวัสดุทั้งสอง มีดตัดที่ทำจากวัสดุชนิดนี้จะเหมาะกับการกัดหยาบ (heavy roughing cuts) ที่ความเร็วสูงกว่ามีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้ารอบสูง และที่อัตราการป้อนสูงกว่ามีดตัดที่ทำจากซีเมนต์คาร์ไบด์ และสามารถใช้ตัดหรือกัดชิ้นงานที่ทำจากทั้งโลหะและอโลหะ รวมถึงพลาสติกและกราไฟต์ ปัจจุบันมีดตัดที่ทำจากโลหะผสมโคบอลต์มีความสำคัญน้อยกว่ามีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้ารอบสูงและซีเมนต์คาร์ไบด์ [4]

2.2.4 ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbides, Cermets and Coated Carbides)

Cemented Carbides เป็นกลุ่มของวัสดุที่ทำจากทั้งสแตนคาร์ไบด์(WC) โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยโลหะผง (powder metallurgy technique) โดยมีโคบอลต์เป็นวัสดุประสาน รวมถึงอาจมีส่วนผสมอื่นๆ เช่น ไททาเนียมคาร์ไบด์(TiC) และ แทนทาลัมคาร์ไบด์(TaC) ในช่วงแรกของการทำมีดตัดจากซีเมนต์คาร์ไบด์ส่วนผสมหลักจะเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์และโคบอลต์ ซึ่งสามารถใช้ในการกัดชิ้นงานเหล็กหล่อและชิ้นงานที่ไม่ใช่โลหะเพราะสามารถใช้งานที่ความเร็วตัดสูงกว่ามีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้ารอบสูงและโลหะผสมโคบอลต์ แต่พบว่าการสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อายุการใช้งานของมีดตัดที่ทำจากซีเมนต์คาร์ไบด์ในยุคแรกๆ ค่อนข้างสั้นและไม่เหมาะกับการตัดชิ้นงานที่ทำจากเหล็ก จากนั้นมีการค้นพบส่วนผสมที่ทำให้การสึกหรอลดลงได้แก่การเติมไททาเนียมคาร์ไบด์(TiC) และแทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ซึ่งส่วนผสมใหม่นี้สามารถใช้ในการตัดหรือกัดชิ้นงานที่ทำจากเหล็กได้ด้วย ดังนั้นซีเมนต์คาร์ไบด์จึงสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ 1) เกรดที่ใช้ตัดชิ้นงานที่ไม่ใช่เหล็ก (non-steel cutting grade) เช่น อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดงแมกนีเซียม เหล็กหล่อ จะมีส่วนผสมหลักคือทั้งสแตนคาร์ไบด์และโคบอลต์(WC-Co), 2) เกรดที่ใช้กับชิ้นงานที่ทำจากเหล็ก (steel cutting grade) เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ สแตนเลส หรือโลหะผสมกลุ่มเหล็กอื่นๆ จะเพิ่มส่วนผสมอีกสองอย่างคือ ไททาเนียมคาร์ไบด์(TiC) และ แทนทาลัมคาร์ไบด์(TaC)คุณสมบัติของซีเมนต์คาร์ไบด์ทั้งสองเกรดจะคล้ายๆ กัน ได้แก่ 1) มีค่าความทนแรงอัดสูง (high compressive strength) แต่มีค่าความทนแรงดึงต่ำถึงปานกลาง (low-to-moderate tensile strength), 2) ความแข็งสูง (high hardness), 3) ความแข็งในการทำงานที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูง (high hot hardness), 4) ความทนต่อการสึกหรอสูง (high wear resistance), 5) ค่าการนำความร้อนสูง (high thermal conductivity), 6) ค่าโมดูลัสของอีลาสติคสูง (high modulus of elasticity), 7) ค่า toughness ต่ำกว่าเหล็กกล้าความเร็วสูง

Cermets เป็นส่วนผสมของเซรามิกส์และโลหะบางชนิด โดยซีเมนต์คาร์ไบด์ถือเป็นวัสดุชนิดหนึ่งในกลุ่ม cermets แต่ลักษณะเฉพาะของ Cermets คือจะมีส่วนผสมของไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) และไททาเนียมไนไตรด์ (TiCN) ที่มีนิกเกิลและโมลิบดีนัมเป็นวัสดุประสาน เหมาะกับการกัดชิ้นงานที่ทำจาก เหล็กกล้า สแตนเลส และเหล็กหล่อ ที่ความเร็วสูงและอัตราการป้อนต่ำซึ่งจะทำให้ผิวของชิ้นงานเรียบโดยอาจไม่จำเป็นต้องมีการเจียรไน

Coated Carbides เป็นซีเมนต์คาร์ไบด์ที่เคลือบผิวบาง ๆ ด้วยวัสดุที่ทนต่อการสึกหรอ เช่น ไททาเนียมคาร์ไบด์ ไททาเนียมไนไตรด์ และ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ความหนาของการเคลือบจะบางมากอยู่ในช่วง 0.0001 – 0.0005 นิ้ว (2.5-13 μm) เนื่องจากพบว่า การเคลือบที่หนาเกินไปจะทำให้วัสดุเปราะและแตกง่าย มีดตัดที่ทำจากวัสดุชนิดนี้ นิยมใช้กับชิ้นงานที่ทำจากเหล็กหล่อและเหล็กกล้าในกระบวนการกลึงและกระบวนการกัดโดยใช้ความเร็วสูง ในระยะหลังมีการพัฒนาวัสดุให้ใช้งานกับโลหะนอกกลุ่มเหล็กได้โดยการเคลือบด้วยวัสดุต่างชนิดกัน เช่น โครเมียมคาร์ไบด์ (CrC), เซอร์โคเนียมไนไตรด์ (ZrN) และเพชร (diamond) ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานของมีดตัดได้ [5]

2.2.5 เซรามิกส์ (Ceramics)

เซรามิกส์เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมหลักคือ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีเกรนละเอียดมาก ในปริมาณ 99% โดยประมาณ และอาจมีออกไซด์ชนิดอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยเล็กน้อยเช่น เซอร์โคเนียม ออกไซด์ (zirconium oxide) เซรามิกส์ ถูกผลิตโดยกระบวนการกดอัดขึ้นรูปที่ความดันและอุณหภูมิสูงโดยไม่ต้องใช้วัสดุประสาน (sintering process) มีดตัดที่ทำจากเซรามิกส์จะใช้งานได้ดีเยี่ยมในการกลึงเหล็กหล่อและเหล็กกล้าที่ความเร็วสูง โดยเฉพาะในการกลึงละเอียดซึ่งจะให้ผิวชิ้นงานที่ดีมาก แต่ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งในการกัดหยาบเนื่องจากมีค่า toughness ต่ำ นอกจากนี้มีดตัดที่มีส่วนผสมของอะลูมิเนียมออกไซด์มักถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานขัดละเอียด (abrasive) เช่น การเจียรไน [4]

2.2.6 เพชรสังเคราะห์ (Synthetic Diamonds and Cubic Boron Nitride)

Synthetic Diamonds หรือเพชรสังเคราะห์ ในบรรดาวัสดุทั้งหลายที่เรารู้จักเพชร (diamond) นับเป็นวัสดุที่มีความแข็งที่สุด จากการวัดค่าความแข็งพบว่าเพชรจะมีค่าความแข็งมากกว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ประมาณ 3 – 4 เท่า เนื่องจากความแข็งเป็นคุณสมบัติสำคัญประการหนึ่งของมีดตัดที่ดีทำให้เพชรเป็นหนึ่งในวัสดุที่ถูกพิจารณานำมาใช้งาน กระบวนการผลิตมีดตัดที่ทำจากเพชรสังเคราะห์ทำได้ โดยกระบวนการกดอัดขึ้นรูปเพชรที่มีเกรนละเอียดมากที่ความดันและอุณหภูมิสูงโดยไม่ต้องใช้วัสดุประสาน สำหรับการใช้งานของมีดตัดที่ทำจากเพชรจะนิยมใช้ในการกัดชิ้นงานที่ไม่ใช่เหล็กที่ความเร็วสูงและใช้ในการขัดผิวชิ้นงานที่ไม่ใช่โลหะเช่น ไฟเบอร์กลาส (fiberglass)

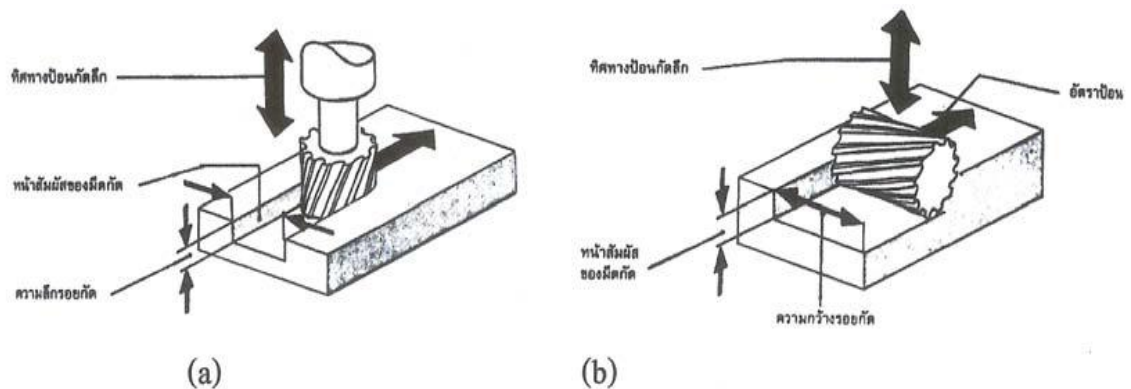
และกราฟไฟต์ ส่วนชิ้นงานที่ทำจากเหล็กไม่ค่อยนิยมใช้กับมิดตัดชนิดนี้เนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเหล็กกับคาร์บอนในเพชร

Cubic Boron Nitride (CBN) เป็นวัสดุที่มีความแข็งแกร่งมาจากเพชร กระบวนการผลิตจะเหมือนกัน คือใช้การกดอัดที่ความดันและอุณหภูมิสูง โดยปกติมักใช้ในการเล็บบผิวมิดตัด ที่ทำจากซีเมนต์คาร์ไบด์ และเนื่องจาก CBN จะไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กและนิกเกิลเหมือนกับเพชร ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในการกัดชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าและโลหะผสมนิกเกิล [4]

2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานโดยการกัด [3]

2.3.1 ลักษณะชนิดของการกัด

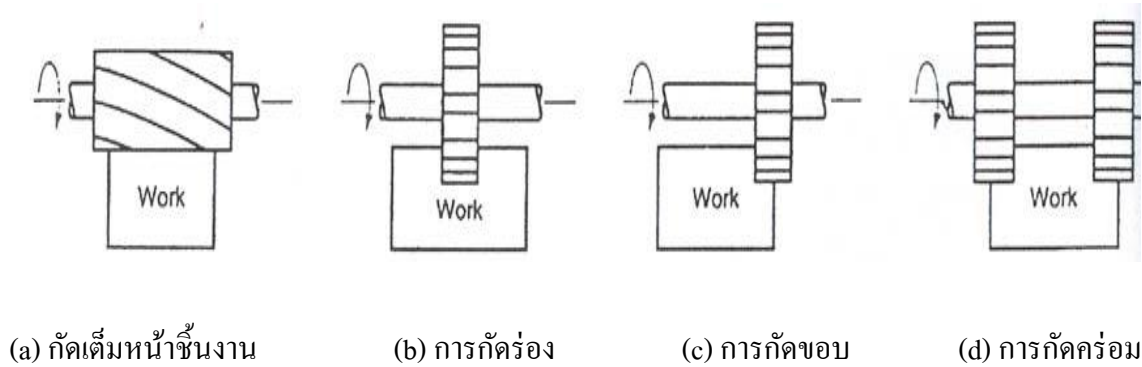
การขึ้นรูปชิ้นงานโดยทั่วไปมีหลายวิธี และการกัดก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีความหลากหลายในการขึ้นรูปชิ้นงานให้ได้ตามรูปทรงและผิวที่ต้องการ การกัดเป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการตัดปาดผิวชิ้นงานด้วยการป้อนชิ้นงานผ่านเครื่องมือตัดที่หมุนอยู่ และการเลือกใช้ดอกกัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและรูปแบบของชิ้นงานที่จะนำมากัด โดยทั่วไปการกัดสามารถแบ่งตามลักษณะชนิดของการกัดได้เป็น 2 ชนิดคือ (a) การกัดตั้ง (กัดด้วยหน้าของดอกกัด) (b) การกัดนอน (กัดด้วยขอบของดอกกัด) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะการกัด (a) การกัดตั้ง (b) การกัดนอน [19]

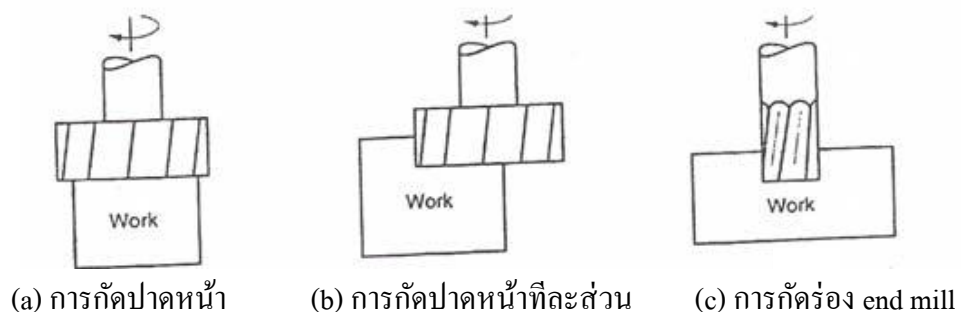
การกัดนอนมักเรียกว่า การกัดราบ ซึ่งแกนหมุนของเครื่องมือจะขนานกับพื้นผิวของชิ้นงานที่จะทำการปาดผิว และใช้คมตัดที่อยู่ตามแนวด้านข้างของดอกกัดในการตัดเนื้อชิ้นงานการกัดนอนทำได้หลายแบบดังแสดงในรูปที่ 2.14 (a) การกัดเต็มหน้าชิ้นงาน (slip milling) เป็นกรรมวิธีพื้นฐานของการกัดด้วยขอบดอกกัด ซึ่งความกว้างของดอกกัดกว้างเกินกว่าขนาดของชิ้นงาน (b) การกัดร่องดอก

กัดมีความกว้างน้อยกว่าความกว้างชิ้นงาน ซึ่งเมื่อกัดลงในชิ้นงานจะเกิดเป็นร่องขึ้น (c) การกัดขอบ และ (d) การกัดคร่อม การกัดคร่อมจะต่างจากการกัดขอบตรงที่เป็นการกัดขอบทั้งสองด้านพร้อมกัน

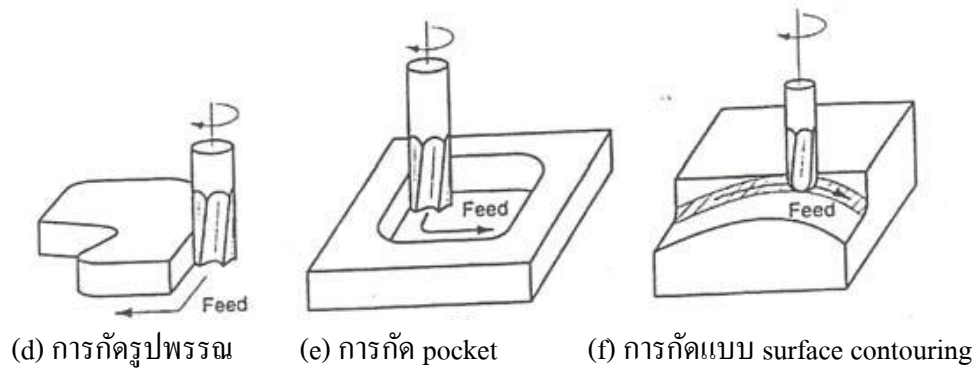


รูปที่ 2.14 ลักษณะการกัดนอนแบบต่าง ๆ [19]

การกัดตั้ง แกนหมุนของดอกกัดทำมุมฉากกับผิวชิ้นงานที่ทำการกัด การตัดปาดผิวเกิดขึ้นทั้งที่ปลายและขอบด้านข้างของดอกกัด ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดชิ้นงานที่ทำการกัดจะเรียกว่า การกัดปาดหน้า (รูปที่ 2.15 (a)) ดอกกัดปาดหน้าที่ละส่วน เป็นการกัดปาดหน้าชิ้นงานทีละข้าง (รูปที่ 2.15 (b)) ดอกกัดจะกัดไม่เต็มหน้าชิ้นงาน; การกัดด้วย end mill เป็นการกัดร่องลงบนชิ้นงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกกัดเล็กกว่าขนาดจริง (รูปที่ 2.15 (c)); การกัดรูปพรรณ (รูปที่ 2.15 (d)) เป็นการกัดรูปร่างชิ้นงานภายนอกด้วย end mill ผิวชิ้นงานที่ได้จะเป็นผิวเรียบ; การกัด pocket (รูปที่ 2.15 (e)) เป็นการกัดชิ้นงานให้เกิดเป็นหลุมลึกลงไปจากผิวหน้าด้วย end mill; การกัดแบบ surface contouring (รูปที่ 2.15 (f)) ส่วนมากนิยมใช้ดอกกัด end mill แบบหัวบอลมากกว่าแบบปลายตัดเรียบ เป็นการป้อนมีดกัดตามเส้นทางเดินในลักษณะเส้นโค้ง กลับไปมาเพื่อที่จะทำให้ผิวที่ผ่านการกัดเป็นรูปร่างในสามมิติ ซึ่งนิยมใช้ในการทำแม่พิมพ์



รูปที่ 2.15 ลักษณะการกัดตั้งแบบต่าง ๆ [19]



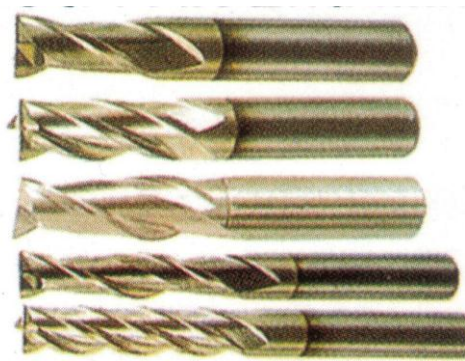
รูปที่ 2.15 (ต่อ) ลักษณะการกัดตั้งแบบต่าง ๆ [19]

2.3.2 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดตั้ง [6]

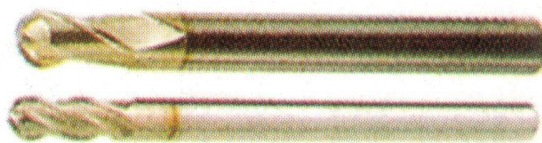
เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี หรือเครื่องแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ มีดังนี้

2.3.2.1 ดอกกัด หรือ เอ็นมิลล์ (End mill)

เอ็นมิลล์เป็นเครื่องมือตัดที่ใช้สำหรับเครื่องกัดเพลตตั้ง วัสดุที่ใช้ทำเอ็นมิลล์นั้นมีทั้งทำจากเหล็กกล้าโรบสูง (HSS.) และ คาร์ไบด์ (Carbide) ซึ่งในกระบวนการตัดเนื้อผิวชิ้นงานด้วยเอ็นมิลล์นั้น อาศัยคมตัดตรงปลายและคมตัดด้านข้าง ในการขึ้นรูปชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ หลายลักษณะ เช่น การกัดส่วนที่เป็นเป้าหรือส่วนที่เป็นคอร์นูนก็ได้ ดอกกัดหรือเอ็นมิลล์มีหลายลักษณะ เช่น ดอกกัดปลายแบบหน้าตัดตรง แบบปลายครึ่งวงกลม และแต่ละชนิดยังแบ่งออกเป็นดอกกัดหยาบและดอกกัดละเอียด [6]



รูปที่ 2.16 ดอกกัดแบบปลายหน้าตัดตรง [19]



รูปที่ 2.17 ดอกกัดแบบปลายครึ่งวงกลม [19]

2.3.2.2 ดอกกัดปาดหน้า หรือเฟซมิลล์ (Face milling cutter)

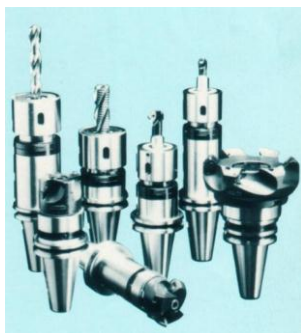
เป็นเครื่องมือตัดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานปาดผิวของชิ้นงาน ดอกกัดปาดหน้าที่ใช้สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีนั้น ส่วนมากจะเป็นแบบอินเสิร์ต ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนอินเสิร์ตได้ ดอกกัดปาดหน้ามีรูปร่างและรูปทรงที่แตกต่างกันหลายลักษณะ ดังนั้นการเลือกใช้งานจึงควรพิจารณาถึงรูปร่าง และวัสดุของชิ้นงานด้วย ส่วนรายละเอียดของดอกกัดปาดหน้า เราสามารถดูได้จากคู่มือการเลือกใช้งานของบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 2.18 ดอกกัดปาดหน้า (Face milling cutter) [19]

2.3.2.3 อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี

ระบบการเปลี่ยนเครื่องมืออัตโนมัติ นั้น จะเป็นระบบที่ให้ความสะดวก และง่ายต่อการปฏิบัติงานของช่างควบคุมเครื่องก็จริง แต่ก็จำเป็นที่จะต้องอาศัยอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ (Tools holder) เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือจะต้องเลือกให้ถูกต้องและมีความเหมาะสมกับเครื่องมือตัดแต่ละชนิดด้วย ในปัจจุบันระบบรูเพลลาของเครื่องกัดซีเอ็นซี (Spindle) และอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ นั้น จะมีขนาดที่เป็นมาตรฐานซึ่งสามารถเลือกใช้ให้มีขนาดและมาตรฐานเดียวกันกับรูเพลลาของเครื่องจักรที่ใช้งาน นอกจากนี้ในการจับยึดเครื่องมือตัดบางชนิด อาจ会有ความจำเป็นที่จะต้องใช้ปลอกจับ (Collet) มาช่วย เช่น เอ็นมิลล์ ดอกต๊าป เป็นต้น



รูปที่ 2.19 อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือตัด [19]

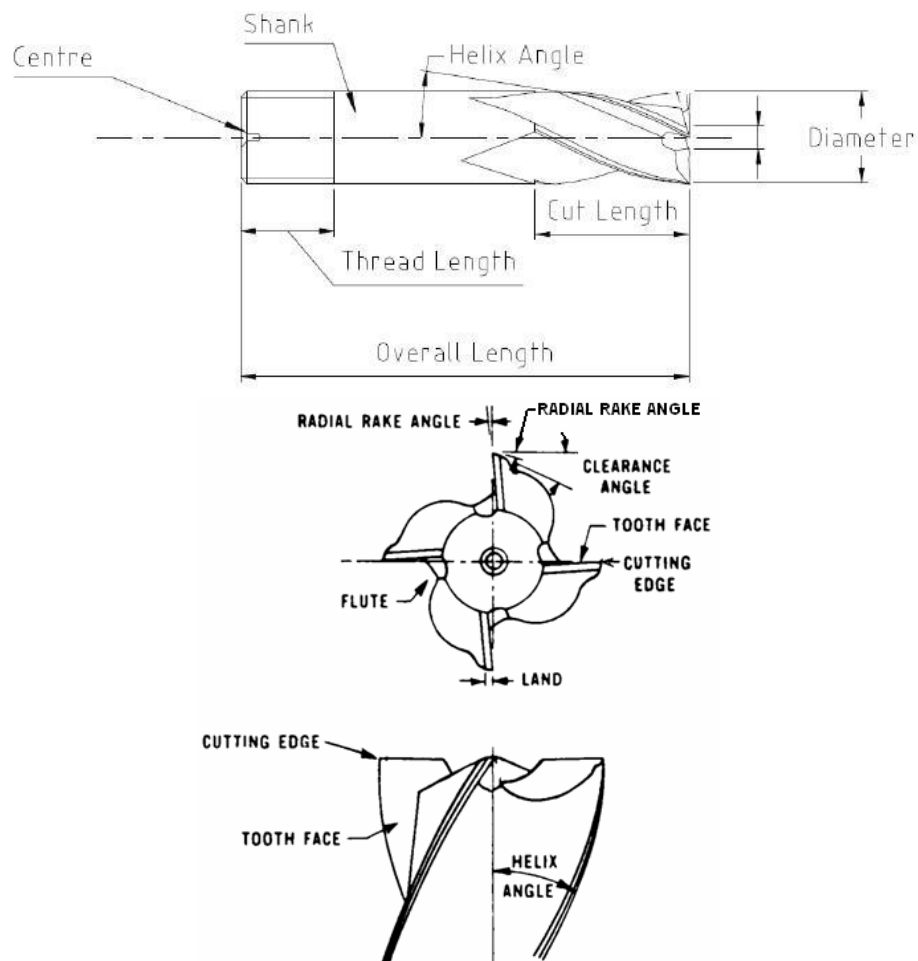


รูปที่ 2.20 ปลอกจับ (collet) เครื่องมือตัด [19]

2.3.3 ส่วนต่าง ๆ ของดอกกัด (End mill) [7]

ดอกกัด หรือเอ็นมิลล์ (End mill) ผลิตจากวัสดุหลายชนิด ได้แก่ เหล็กกล้ารอบสูง และวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (Solid Tungsten Carbide) การผลิตดอกกัดส่วนใหญ่ใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้ารอบสูง เช่น ตามมาตรฐาน AISI เหล็กกล้ารอบสูงที่ใช้ผลิตดอกกัดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เหล็กกล้ารอบสูงผสมโมลิบดีนัมกับโคบอลต์เป็นหลัก เช่น M30 M33 M34 M42 M43 M46 และ M47 เป็นต้น และเหล็กกล้ารอบสูงผสมทังสเตนเป็นหลัก เช่น T4 T5T6 T8 และ T15 เป็นต้น ในการกำหนดรูปทรงเรขาคณิตของดอกกัดจะพิจารณาจากเงื่อนไขต่างๆ เช่น วัสดุสำหรับผลิตดอกกัด วัสดุชิ้นงานที่ทำการ

1. มุมภายในแนวรัศมี (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 2.21 ส่วนต่างๆของดอกกัด (End mill) [5]

2.4 อะลูมิเนียมผสม และการบ่มแข็ง (Aging)

2.4.1 อะลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloys)

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีสีเงิน โดยทั่วไปมีความหนาแน่น 2.70 g/cm^3 ซึ่งมีค่า 1 ใน 3 ของความหนาแน่นของเหล็ก แต่หากเปรียบเทียบอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้ว อะลูมิเนียมมีค่าสูงกว่าเหล็กมาก ด้วยคุณสมบัติข้อนี้ทำให้อะลูมิเนียมผสมถูกนำมาใช้ผลิตเครื่องบิน แม้พิมพ์สำหรับฉีดพลาสติก เป็นต้น เพราะอะลูมิเนียมสามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีการนำไฟฟ้าและนำความร้อนที่สูงมาก ไม่มีการเปลี่ยนสภาพจากวัสดุเหนียวไปเป็นวัสดุเปราะที่อุณหภูมิต่ำ และต้านทานการกัดกร่อน อย่างไรก็ตาม อะลูมิเนียมก็มีข้อจำกัดในเรื่องคุณสมบัติทางกล เช่น ทำให้เกิดการแตกหักจากการล้าตัวได้ ที่ความเค้นต่ำๆ อะลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความแข็งแรงต่ำไม่ทนทานต่อการเสียดสี แต่สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ [8]

การกำหนดมาตรฐานของอะลูมิเนียมผสมตามมาตรฐานของ ASM (American Society of Metals) ซึ่งสามารถจำแนกออก โดยใช้ระบบตัวเลข 4 หลัก ดังนี้ ตัวเลขหลักที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงกลุ่มของอะลูมิเนียมผสม ซึ่งมีอยู่ 8 กลุ่ม ตามตารางที่ 2.1 เช่น 1XXX แทนโลหะที่มีอะลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99% โดยน้ำหนัก เป็นต้น [9]

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์อะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นและอะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม

อะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็น	อะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม
<u>1XXX</u>	อะลูมิเนียม ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 99.00%
<u>2XXX</u>	ทองแดง (Copper , Cu)
<u>3XXX</u>	แมงกานีส (Manganese , Mn)
<u>4XXX</u>	ซิลิกอน (Silicon , Si)
<u>5XXX</u>	แมกนีเซียม (Magnesium , Mg)
<u>6XXX</u>	แมกนีเซียมกับซิลิกอน (Magnesium , Mg and Silicon , Si)
<u>7XXX</u>	สังกะสี (Zinc, Zn)
<u>8XXX</u>	ธาตุอื่นๆ (Other Element)
<u>9XXX</u>	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)

ตัวเลขหลักที่สอง เป็นสัญลักษณ์ใช้สำหรับกำกับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนผสมของโลหะ ให้แตกต่างไปจากโลหะผสมเดิม เช่น ตัวเลข 0 แสดงว่า เป็นโลหะผสมดั้งเดิม ส่วนตัวเลข 1-9 แสดงว่า เป็นโลหะที่ผสมเข้าไปเปลี่ยนแปลงจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น หมายเลข 2024 ตัวเลขหลักที่สองคือ 0 (4.5%Cu , 1.5%Mg , 0.5%Si , 0.1%Cr) เมื่อเทียบกับหมายเลข 2218 ตัวเลขหลักที่สองคือ 2 (4.0%Cu , 2.0%Ni , 1.5%Mg , 0.2%Si) ซึ่งสังเกตได้ว่า หมายเลข 2218 มีนิกเกิล (Ni)ผสมเข้าตัวเลขหลักที่สาม และ 2 เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงชนิดย่อยๆ ของโลหะที่ผสมในกลุ่มเดียวกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น หมายเลข 2014 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 14 (4.4%Cu , 0.8%Si , 0.8%Mn , 0.4%Mg) และ หมายเลข 2017 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 17 (4.0%Cu , 0.8%Si , 0.5%Mn , 0.5%Mg , 0.1%Cr) เฉพาะอะลูมิเนียมในกลุ่ม 1XXX ตัวเลขหลักที่สาม และ หลักที่สี่ จะแสดงปริมาณของ อะลูมิเนียมที่เป็น จุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ที่ปรากฏภายหลัง 99% เช่น หมายเลข 1060 และ หมายเลข 1080 หมายถึง อะลูมิเนียมขึ้นรูป ที่มีอะลูมิเนียม 99.60% และ 99.80% ตามลำดับ

2.4.1.1 การกำหนดการให้ความร้อนของอะลูมิเนียมผสม

การกำหนดการให้ความร้อนอะลูมิเนียมผสม (Temper Designations of Aluminum Alloys) ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน โดยได้กำหนดตามมาตรฐาน ASM (American Society of Metals) ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกำหนดการให้ความร้อนอะลูมิเนียมผสม

สัญลักษณ์	ใช้แทน	ความหมาย
F	สภาพเดิม ผ่านการ ขึ้นรูปตามปกติ	ชิ้นงานที่ไม่ผ่าน กรรมวิธีทาง ความร้อน ต่อเนื่อง หรือ ทางกล เช่น งานหล่อ หมายถึง สภาพที่ได้ จากการหล่อ
O	สภาพการอบอ่อน สภาพการอบ ทำให้เกิดผลึกใหม่ (Annealed)	เป็นการอบคลาย ทำให้อ่อนด้วย การอบอ่อน หรือ การอบ ทำให้เกิดผลึกใหม่ ทำให้มีคุณสมบัติ ด้านความอ่อน และเหนียว มักจะใช้กับ งานขึ้นรูปเย็น
H	ทำให้มี ความแข็ง ที่เกิดจากการขึ้นรูปเย็น	ใช้กับงานที่ต้องการ เพิ่มคุณสมบัติทางกล ให้สูงขึ้น โดยการแปรรูปเย็น อาจจะมี กรรมวิธีทางความร้อนควบคู่ และ H ต้องตามด้วยตัวเลขตัวเดียว หรือหลายตัว ซึ่งตัวเลขแสดงถึง การกำหนด ในการผลิต

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การกำหนดการให้ความร้อนอะลูมิเนียมผสม

สัญลักษณ์	ใช้แทน	ความหมาย
H1	ผ่านการ ทำให้แข็ง โดยการขึ้นรูปเย็น อย่างเดียว	เป็นการผ่าน กระบวนการแปรรูปเย็น อย่างเดียว มีตัวเลขตัวที่สอง กำกับอยู่ด้วย จะแสดง ความรุนแรงของการแปรรูป ความรุนแรง ของการแปรรูป วัดด้วยปริมาณของ การแปรรูป ในบางครั้ง อาจมีตัวเลข ตัวที่สามกำกับไว้ เพื่อบอกถึง การควบคุม การอบคลาย หรือระบุถึง คุณสมบัติทางกลพิเศษ
H2	ผ่านการ ทำให้แข็ง โดยการแปรรูปเย็น แล้วทำการอบคลาย	ใช้กับงาน แปรรูปเย็น เพื่อต้องการเพิ่ม ความแข็งแรงของวัสดุ เกินกว่าระดับที่ ต้องการเล็กน้อย ต่อจากนั้นจึง นำไปอบคลาย จะเห็นว่าความแข็งแรง จะถูกลดลงระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีปริมาณ การแปรรูปเย็น ยังคงเหลืออยู่ การกำหนดตัวเลข จะกำหนดเช่นเดียวกับ H1
H3	เพิ่มความแข็ง โดยการแปรรูปเย็น และ ทำให้เสถียรภาพ	ใช้กับงานที่ ผ่านการแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ให้แก่วัสดุ จากนั้นนำไปทำ กรรมวิธีทางความร้อน เพื่อให้โลหะคงรูป ความร้อนที่ให้นี้ ยังไม่มากพอ ที่จะลดความเครียด ทำให้มี ความเค้นตกค้างในโลหะ ส่วนใหญ่ใช้กับ โลหะผสมที่มี แมกนีเซียมอยู่ด้วย ความแข็งนี้ อาจบอกด้วย ตัวเลขตัวเดียว หรือหลายตัวก็ได้
W	สภาพไม่คงรูป หลังทำการอบ ด้วยความร้อน ของสารละลายของแข็ง	ใช้กับโลหะผสม ของอะลูมิเนียม ที่สามารถแตกตัวขึ้นได้เองเท่านั้น หมายถึง หลังจากทำกรรมวิธี ให้ความร้อน เพื่อให้เกิด การละลายตัวของธาตุผสม ให้เป็นเนื้อเดียวกัน กับอะลูมิเนียม จากนั้นทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโลหะชนิดนี้ มีการเปลี่ยนแปลง (ทางโครงสร้าง) ตลอดเวลาที่ทิ้งไว้ในอากาศ ดังนั้นจึงต้อง ระบุเวลาหลังกรรมวิธี การให้ความร้อน กำกับไว้ด้วย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การกำหนดการให้ความร้อนอะลูมิเนียมผสม

สัญลักษณ์	ใช้แทน	ความหมาย
T	เป็นการ ปฏิบัติการ ทางความร้อน เพื่อให้โลหะ คงรูป เนื่องจาก F , O หรือ H	ใช้กับโลหะที่ ผ่านกรรมวิธีทาง ความร้อน ซึ่งอาจทำร่วมกับ กรรมวิธีทางกลด้วย หรือไม่ก็ได้ ซึ่งทำให้ชิ้นงาน เสถียรภาพ การอบคลาย ใช้อักษรตัว T ตามด้วยเลข 2 ถึง 10 เป็นข้อกำหนด ของการทำงาน เพื่อเปลี่ยนสภาพ ของชิ้นงาน แตกต่างกันไป โดยการเติมตัวเลข ตัวเดียว หรือ หลายตัวก็ได้
T2	การอบอ่อน ใช้สำหรับ งานหล่อ เท่านั้น	เป็นการอบอ่อน เพื่อให้โลหะเกิด การอ่อนตัว ทำให้เหนียวขึ้น ใช้กับงานที่ได้ จากการหล่อ
T3	การอบละลาย และ การแปรรูปเย็น	เป็นภาวะโลหะ ภายหลังการ ทำอบละลาย ต่อจากการทำแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ให้แก่วัสดุ
T4	การอบละลาย และ การเองจิ้งได้เอง จนอยู่ใน สภาพคงรูป (เองจิ้งธรรมชาติ)	ใช้กับโลหะที่ทำ การอบละลายแล้ว ต่อจากนั้น ทิ้งไว้จนเกิด การเองจิ้ง ทำให้เกิดความแข็ง และ เกิดการคงรูป
T5	การเองจิ้ง โดยกรรมวิธีทางความร้อน	ใช้กับโลหะที่ผ่าน การทำกรรมวิธี ทางความร้อน เพื่อให้เกิดการเองจิ้ง โดยไม่ต้องทำ การอบละลายมาก่อน
T6	การอบละลาย แล้ว อบแช่ (เองจิ้งเทียม)	ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย ต่อจากนั้น ใช้กรรมวิธี ทางความร้อน เพื่อทำให้เกิด การเองจิ้งเทียม
T7	การอบละลาย และ ให้มีเสถียรภาพ	ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย โดยมีการควบคุม ทั้งอุณหภูมิ และ เวลา เพื่อควบคุม การโตของเกรน หรือ ช่วยควบคุม ความเค้นตกค้าง ในเกรนที่หลงเหลือ อยู่ในโลหะ หรือ ควบคุมทั้งสองอย่าง
T8	การอบละลาย แล้ว แปรรูปเย็น และ อบบ่มตัวแข็ง	ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย เพื่อให้โลหะเหนียวขึ้น จากนั้นจึงทำ การแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงวัสดุ ขึ้นอีกโดย การบ่มตัวแข็ง

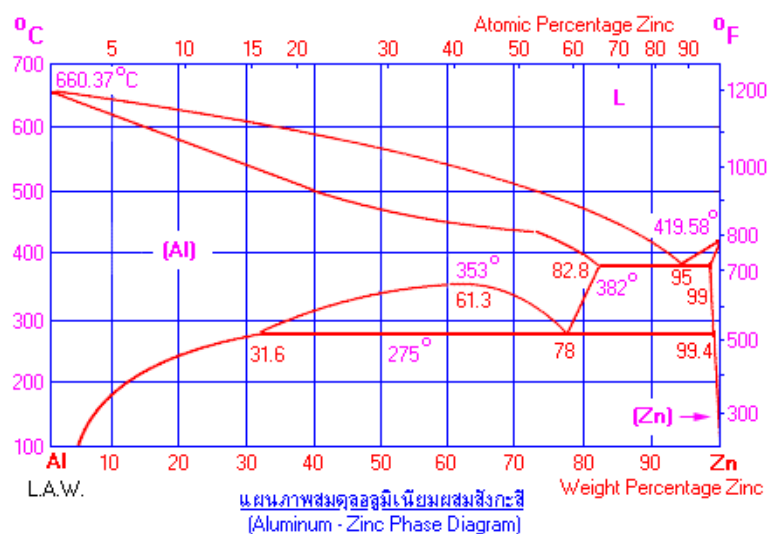
ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การกำหนดการให้ความร้อนอะลูมิเนียมผสม

สัญลักษณ์	ใช้แทน	ความหมาย
T9	การอบละลาย แล้ว อบบ่มตัว แข็ง และ แปรรูปเย็น	ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย แล้วทำ การอบบ่ม แข็ง จากนั้นจึงทำ การแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความ แข็งแรง ให้แก่วัสดุ
T10	การอบบ่มตัวแข็ง แล้ว ทำ การแปรรูปเย็น	ใช้กับโลหะที่ผ่าน กรรมวิธีทาง ความร้อน เพื่อให้เกิด การอบบ่มแข็ง โดยไม่ผ่าน การอบอ่อน มาก่อน ต่อจากนั้นทำ การแปรรูปเย็น อีกเพื่อเพิ่ม ความ แข็งแรง ให้แก่วัสดุ

การทำกรรมวิธีการให้ความร้อน (Heat Treatment) ในการทำให้เนื้ออะลูมิเนียม เปลี่ยนแปลงไปในทางที่แข็งแรงขึ้น เพราะอะลูมิเนียมกลุ่ม 2XXX , 5XXX บางตัว (ส่วนมากไม่นิยมทำ) , 6XXX และ 7XXX สามารถทำให้แข็งแรง โดยการให้ความร้อน ดังนั้นอะลูมิเนียมกลุ่มนี้ มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า เป็นพวกที่ทำกรรมวิธีทางความร้อนได้ (Heat Treatment Alloys)

อะลูมิเนียมกลุ่มที่เหลือ คือ 1XXX , 3XXX , 4XXX บางตัว และ 5XXX เป็นพวกที่ไม่อาจจะปรับปรุงคุณสมบัติทางกลให้แข็งแรงได้เด่นชัด โดยการทำการกรรมวิธีทางความร้อน (Non Heat Treatment Alloys) แต่สามารถทำให้แข็งแรง โดยการทำให้แปรรูปเย็น [9]

2.4.1.2 อะลูมิเนียมผสมสังกะสี (Aluminum Zinc Alloys : 7xxx) [9]



รูปที่ 2.22 แผนภาพสมดุลอะลูมิเนียมผสมสังกะสี [20]

จากแผนภาพสมดุลอะลูมิเนียมสังกะสี เราจะพบว่า สังกะสี (Zn) มีอุณหภูมิการหลอมละลายต่ำกว่า อะลูมิเนียม (Al) คือ อุณหภูมิที่ 419.5°C นอกจากนี้แล้ว สังกะสียังมีโครงสร้างผลึก แบบ Hexagonal ซึ่งแตกต่างจากอะลูมิเนียม การผสมสังกะสี 4-8% และแมกนีเซียม 1-3% ในอะลูมิเนียม ใช้ในการผลิต อะลูมิเนียมผสม ที่แปรรูปเย็น สามารถปฏิบัติการ ทางความร้อนได้ ในกลุ่ม 7XXX อะลูมิเนียมผสม บางกลุ่ม ถูกพัฒนาคุณสมบัติ ความแข็งแรงสูงสุด ของพื้นฐาน อะลูมิเนียมผสมสังกะสี และ แมกนีเซียม ทั้งสองธาตุ มีความสามารถในการละลาย ในสภาวะสารละลายของแข็งสูง นอกจากนี้ การเพิ่มทองแดง 1-2% ลงในกลุ่ม 7XXX ทำให้มีคุณสมบัติ ด้านความแข็งแรง ของอะลูมิเนียมผสม สังกะสี และผสมแมกนีเซียมสูงขึ้น จะนิยมนำไปใช้งาน ทางด้านการอากาศยาน ที่มีความต้องการ ความแข็งแรงสูง [9]

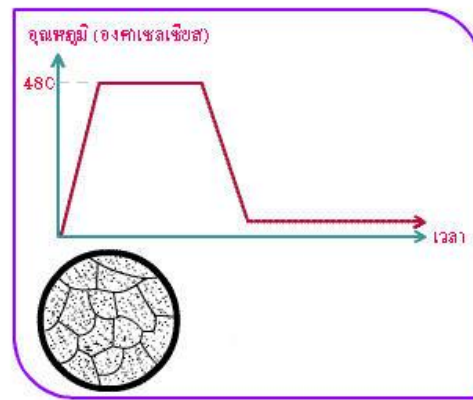
2.4.1.3 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

ความสำเร็จจากการพัฒนาของ อะลูมิเนียมผสมสังกะสี และผสมแมกนีเซียม เป็นส่วนสำคัญ ของกลุ่ม 7XXX การพัฒนานี้เป็นไปได้ โดยผลของธาตุโครเมียมที่เติม ซึ่งเป็นการปรับปรุงครั้งใหญ่ ของความ ต้านทานการกัดกร่อน ที่เกิดจากการแตกร้าว (Stress-Corrosion Cracking Resistance) ของแผ่น อะลูมิเนียม จากอะลูมิเนียมผสมสังกะสี และผสมแมกนีเซียม และทองแดงผสม อะลูมิเนียม หมายเลข 7075 มี 5.6%สังกะสี , 2.5%แมกนีเซียม , 1.6%ทองแดง และ 0.3%โครเมียม การ เปลี่ยนแปลง ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น ของ อะลูมิเนียมหมายเลข 7075 , 7178 เป็นการพัฒนาในปี ค.ศ. 1951 มีปริมาณธาตุ สังกะสี , แมกนีเซียม และ ทองแดงมาก อะลูมิเนียมหมายเลข 7001 เป็นการ เสนอในปี ค.ศ. 1960 และ มี 7.4%สังกะสี , 3.0% แมกนีเซียม , และ 2.1%ทองแดง

2.4.2 การเพิ่มความแข็งแรง (Precipitation Strengthening) [9]

อะลูมิเนียมผสมสังกะสีและผสมแมกนีเซียม แปรรูปเย็น สามารถเพิ่มความแข็งแรง โดยวิธีการบ่ม แข็งหรือการทำเอจจิง(Aging) หลังจากปฏิบัติการทางให้ความร้อน และการลดอุณหภูมิ วิธีการทำเอจ จิง ของอะลูมิเนียมผสมสังกะสี และผสมแมกนีเซียม เป็นที่รู้จักทั่วไป มีดังนี้

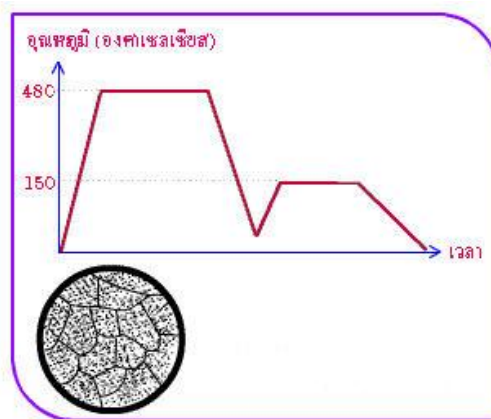
2.4.2.1 ขั้นตอนการทำเอจจิงธรรมชาติ (Natural Aging)



รูปที่ 2.23 แผนภาพสมดุลการทำเองจิ้งธรรมชาติ [20]

1. ให้ความร้อนแก่อะลูมิเนียมที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส
2. อบแช่คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้โครงสร้าง α
3. ลดอุณหภูมิลงในน้ำจะได้โครงสร้าง α' ปล่อยให้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 6-7 วัน จะได้โครงสร้าง η เกาะยึดติดกับโครงสร้าง

2.4.2.2 ขั้นตอนการทำเองจิ้งเทียม (Artificial Aging)

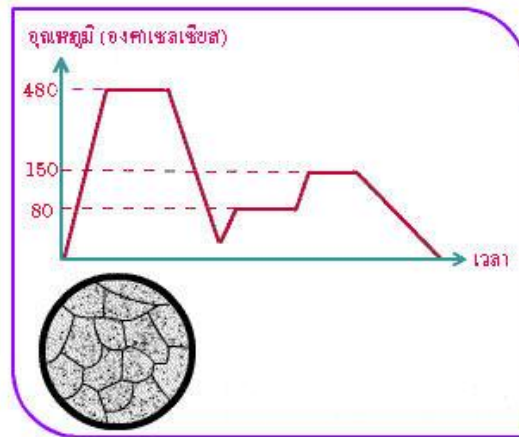


รูปที่ 2.24 แผนภาพสมดุลการทำเองจิ้งเทียม [20]

1. ให้ความร้อนแก่อะลูมิเนียมที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส
2. อบแช่คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้โครงสร้าง α
3. ลดอุณหภูมิลงในน้ำจะได้โครงสร้าง α' อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
4. อบแช่ไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงจะได้โครงสร้าง η'

5. ลดอุณหภูมิอย่างช้าๆจะได้โครงสร้างเกาะยึดติดกับโครงสร้างพื้น α'

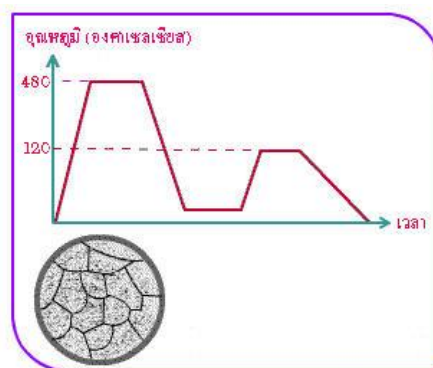
2.4.2.3 ขั้นตอนการทำ Duplex High



รูปที่ 2.25 แผนภาพสมดุลการทำ Duplex Height [20]

1. ให้ความร้อนแก่อะลูมิเนียมที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส
2. อบแช่คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้โครงสร้าง α
3. ลดอุณหภูมิลงในน้ำจะได้โครงสร้าง α' อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
4. คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 16 ชั่วโมงจะทำให้เกิดโครงสร้าง GP Zone
5. อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150 คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 16 ชั่วโมง จะทำให้โครงสร้าง GP Zone ที่มีลักษณะหยาบขึ้น
6. ลดอุณหภูมิอย่างช้าๆจนถึงอุณหภูมิห้อง จะได้โครงสร้าง GP Zone

2.4.2.4 ขั้นตอนการทำ Duplex Low



รูปที่ 2.26 แผนภาพสมดุลการทำ Duplex Low [20]

1. ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส
2. อบแช่คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้โครงสร้าง α
3. ลดอุณหภูมิลงในน้ำจะได้โครงสร้าง α' คงอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 5 วัน
4. อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส
5. คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 16 ชั่วโมงจะทำให้เกิดโครงสร้าง GP Zone
6. ลดอุณหภูมิต่ำๆจนถึงอุณหภูมิห้อง จะได้โครงสร้าง GP Zone

2.4.2.5 อะลูมิเนียมผสมสังกะสี เกรด AA7075

ส่วนผสมทางเคมี

ซิลิกอน (Si)	0.40
เหล็ก (Fe)	0.50
ไททาเนียม (Ti)	0.20
ทองแดง (Cu)	1.20 - 2.00
แมกนีเซียม (Mg)	2.10 - 2.90
สังกะสี (Zn)	5.10 - 6.10
แมงกานีส (Mn)	0.30
โครเมียม (Cr)	0.18 - 0.28
อื่นๆ	0.05

คุณสมบัติทางฟิสิกส์[10]

อุณหภูมิหลอมเหลว	480 - 635	°C
อุณหภูมิแข็งตัว	477	°C
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20-100 °C	23.6	$\mu\text{m/m.K}$
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20 °C	960	J/kg.K
ความหนาแน่น	2.80	g/cm^3
ค่าการนำไฟฟ้าที่ 20 °C	17 - 21	$\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$
โมดูลัสของการยืดหยุ่นที่ 20 °C	72	10^3N/mm^2

คุณสมบัติทางกล[10]

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมสังกะสี เกรด AA7075

การบ่ม แข็ง	ความเค้นแรงดึง (Mpa)	ความเค้นจุด คราก (Mpa)	เปอร์เซ็นต์ ความยืด	ความแข็ง (HV)	ความเค้นแรง เฉือน (Mpa)
O	228	103	17	60	152
T6,T651	572	503	11	150	331
T73	503	434	...	...	...

คุณลักษณะเด่น

1. นำความร้อนได้ดีมาก และมีน้ำหนักเบา
2. มีความแข็งแรงสูงเทียบเท่ากับเหล็กโครงสร้าง
3. ด้านทานการกัดกร่อนได้ดี
4. ความสามารถในการตัด กัด กลึงดีมาก
5. สามารถปรับปรุงคุณภาพผิวได้หลายวิธี

การใช้งาน

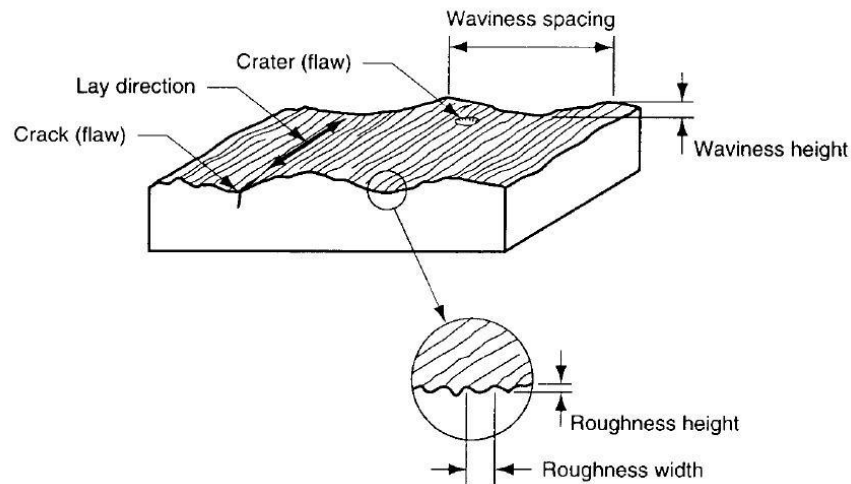
1. ทำแม่พิมพ์เป่า และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
2. อุปกรณ์ ชิ้นส่วนในยานพาหนะ
3. ชิ้นส่วนในเครื่องจักร และเครื่องมือกล
4. ส่วนประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

2.5 ความเรียบของผิวงาน

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีต่างๆ ซึ่งจะให้คุณภาพหรือความเรียบผิวของผิวชิ้นงานที่แตกต่างกัน เมื่อมองด้วยสายตาเราจะเห็นว่าผิวของชิ้นงานมีความเรียบ แต่เมื่อนำมาขยาย ก็จะพบว่าผิวงานเหล่านั้นขรุขระเป็นคลื่น สูง - ต่ำไม่เท่ากัน โดยเฉพาะถ้าผิวของชิ้นงานใดมีความสูง - ต่ำแตกต่างกันมาก ก็แสดงว่าผิวของชิ้นงานนั้นมีความหยาบของผิวมาก แต่ถ้าผิวของชิ้นงานใดมีความสูง - ต่ำน้อย แสดงว่ามีความเรียบของผิวมากหรือละเอียดมาก ดังนั้นต้องให้ความสำคัญต่อคุณภาพของผิวงานและกำหนดค่าความละเอียดให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานซึ่งคุณภาพของผิวชิ้นงานจะสัมพันธ์โดยตรงกับกระบวนการผลิต [11]

2.5.1 ความหมายของความหยาบผิว

ความหยาบผิวแปลมาจากคำภาษาอังกฤษ “Surface Roughness” หมายถึงขนาดความขรุขระของผิว หากมีความขรุขระมากแสดงว่ามีความหยาบมาก หากมีความขรุขระน้อยก็แสดงว่ามีความหยาบน้อย



รูปที่ 2.27 ส่วนต่างๆของความเรียบผิวงาน [20]

2.5.1.1 ผิวงาน (Surface) หมายถึง ขอบเขตหรือบริเวณ ที่แยกออกจากส่วนเนื้อวัสดุงาน รูปร่างและลักษณะผิวงาน ระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายคำจำกัดความ (Descriptive Specifications)

2.5.1.2 รูปทรงผิว (Profile) หมายถึง เส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงาน ตลอดภาคหน้าตัดที่ถูกนำมาพิจารณา

2.5.1.3 ความหยาบของผิว (Roughness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป อันเนื่องมาจากขบวนการผลิต

2.5.1.4 คลื่นของผิวงาน (Waviness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่มีระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิว เกิดขึ้นจากการโก่งตัวของทั้งชิ้นงาน และการหลวมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการขึ้นรูป

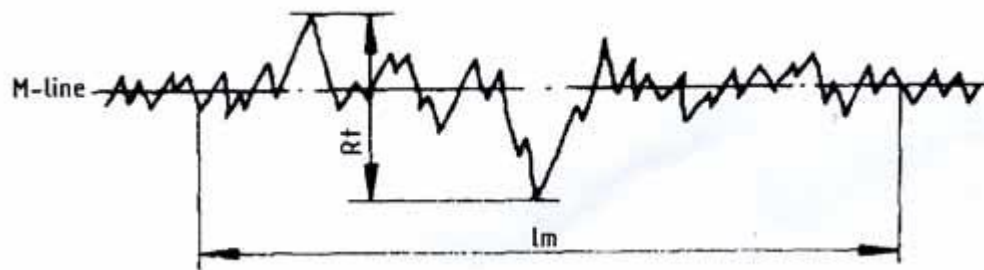
2.5.1.5 Flaw หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่นรอยขีดข่วน รอยแตก และรูพรุน เป็นต้น

2.5.1.7 Lay หมายถึง แนวทิศทางของรอยสัน ส่วนยอดความหยาบของผิวที่ทำการตรวจสอบ

2.5.2 ประเภทความหยาบละเอียดของผิวงาน [12]

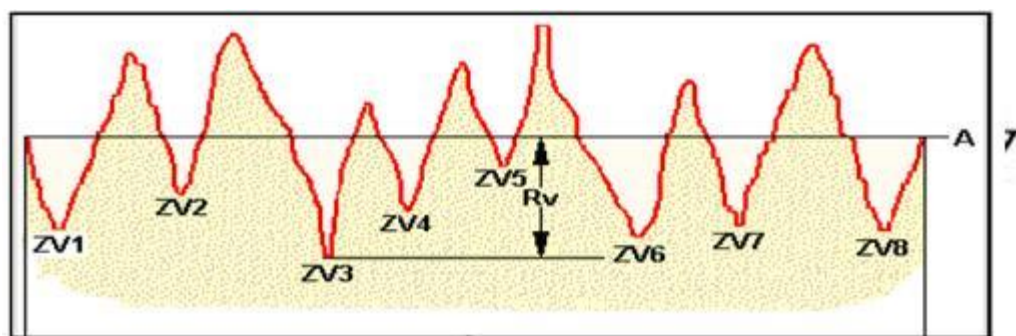
การหาค่าความหยาบละเอียดของผิวงาน สามารถหาได้จากผิวงานมาตรฐานตามลักษณะความหยาบ ตั้งแต่หยาบจนถึงละเอียด โดยใช้เครื่องมือช่วยในการหาความหยาบละเอียดของผิวงานดังนี้

2.5.2.1 ความหยาบผิวขนาดโดยรวม (Roughness total height : R_t , R_y) ได้จากการวัดจากระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดที่สุดของผิวงานกับจุดที่ต่ำที่สุดของผิวงาน มีหน่วยเป็น μm



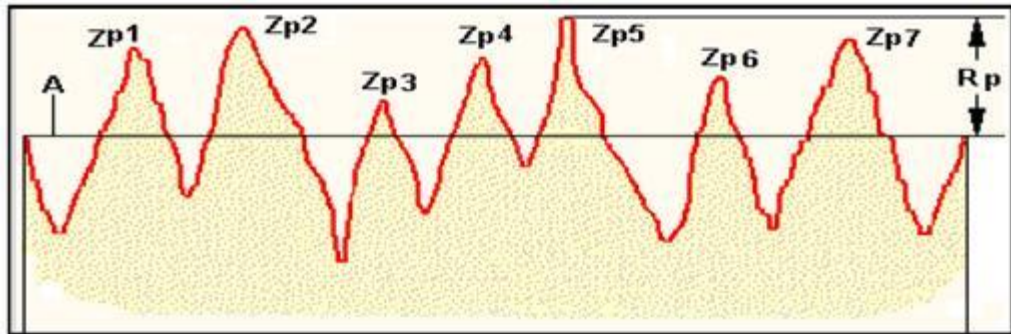
รูปที่ 2.28 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดโดยรวม [6]

2.5.2.2 ความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด (Roughness valley : R_v) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิว โดยวัดขนาดความลึกของหลุม โดยแสดงความลึกหลุมที่มีขนาดลึกที่สุด



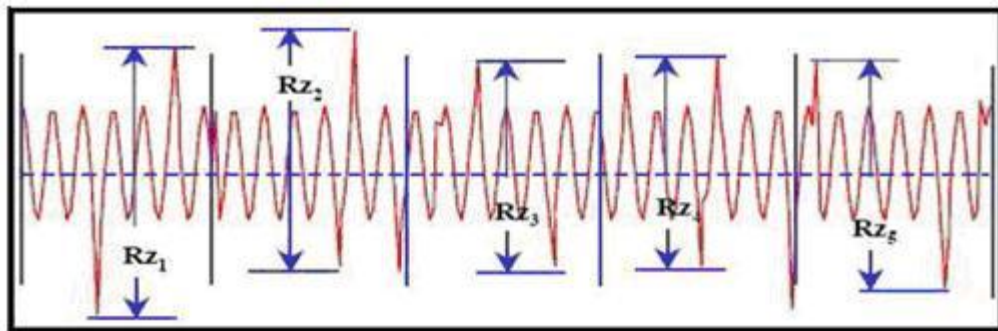
รูปที่ 2.29 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด [6]

2.5.2.3 ความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด (Roughness Peak : R_p) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยวัดขนาดความสูงของยอด โดยแสดงความสูงของยอดที่มีขนาดสูงที่สุด



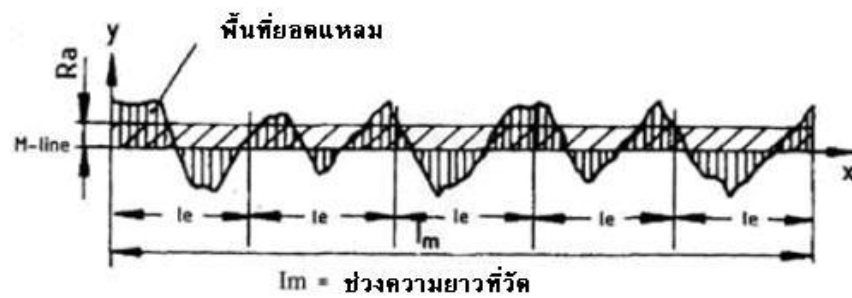
รูปที่ 2.30 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด [6]

2.5.2.4 ความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย (Roughness Ten-point mean : R_z) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยวัดขนาดความสูงของยอดกับความลึกของหลุม โดยแสดงขนาดเฉลี่ยของระยะระหว่างความสูงของยอดกับความลึกของหลุม ทั้งหมด 5 ชุด การวัดทดสอบเป็นช่วงเท่า ๆ กัน 5 ช่วง แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ R_z มีหน่วยเป็นไมโครเมตร



รูปที่ 2.31 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด [6]

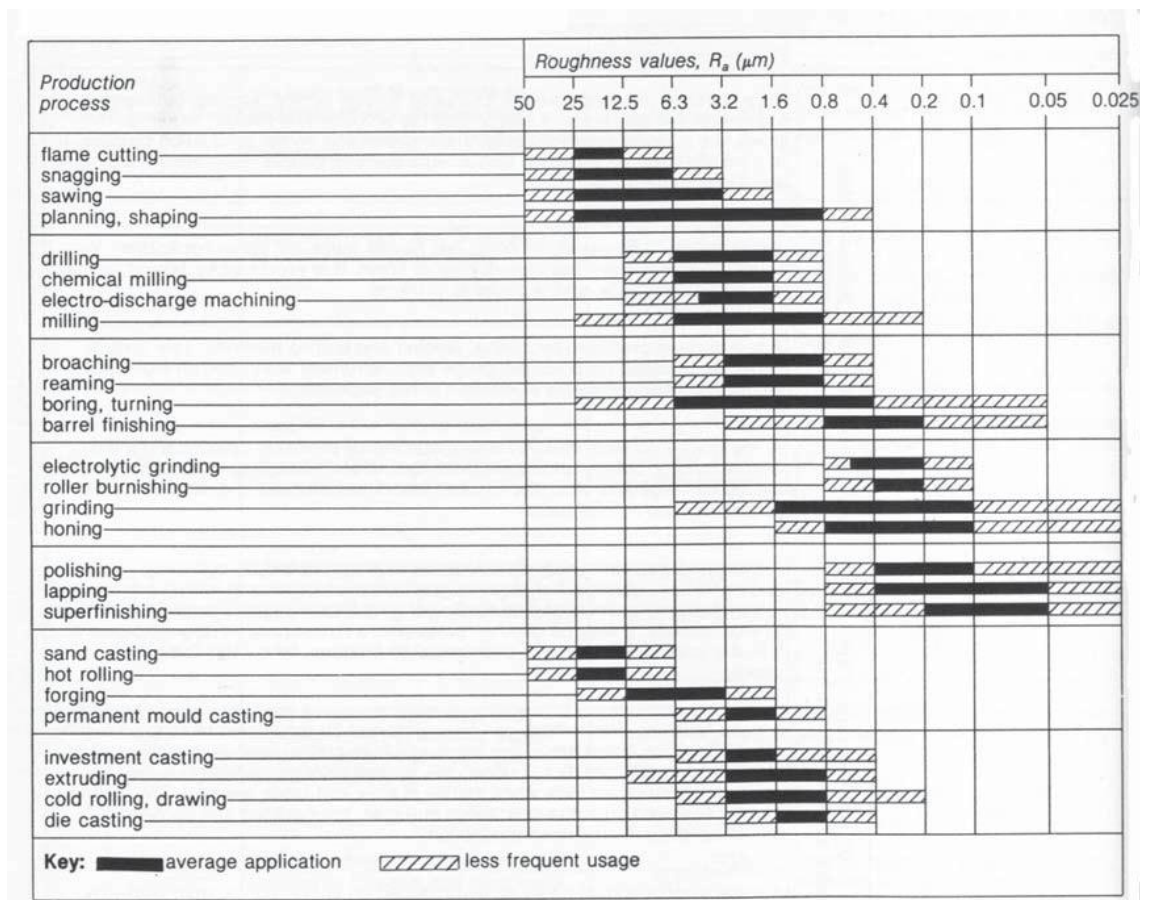
2.5.2.5 ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average: R_a) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวด้วยค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของผิวที่วัด ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และหลายมาตรฐานมักอ้างอิงค่านี้ในการกำหนดมาตรฐานความหยาบผิว การหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิตได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลาง หารด้วยความยาวเฉลี่ย (L_m) โดยที่ค่าของ R_a มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร (μm)



รูปที่ 2.32 แสดงการหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต [20]

2.5.3 ความเรียบผิวจากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ

ค่าความเรียบผิวที่สามารถผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต สำหรับการออกแบบและการเลือกค่าความเรียบผิวจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการผลิตที่มีอยู่ด้วย กรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆและช่วงค่าความเรียบผิวที่จะสามารถทำได้นั้นแสดงดังในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ค่าความเรียบผิวของกรรมวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ [6]

2.5.4 องค์ประกอบที่มีผลต่อความเรียบผิวงาน

คุณภาพผิวงานที่จะทำการตัดเฉือน สามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้ผิวงานที่ได้มีลักษณะอย่างไร จึงจะเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงของเครื่องจักร และความเที่ยงตรงของวัสดุรองรับ (Bearing)
2. คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการตัดเฉือนเป็นผิวสำเร็จของวัสดุงาน
3. ชนิด ประเภท และลักษณะของวัสดุมีด
4. การเลือกใช้วัสดุน้ำมันตัดเฉือน
5. ลักษณะของการเกิดเศษ
6. มุมมีดที่ใช้
7. ตัวแปรที่ใช้ในการตัดเฉือน ได้แก่ อัตราป้อน ความลึกรอยตัด และความเร็วตัด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปวุฒิ เพชรไพรินทร์ [7] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัด วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นทองเหลืองผสมและใช้มีดกัด (End Mill) ชนิดเหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel : HSS) ปัจจัยที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย สารหล่อเย็น ความเร็วรอบ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการป้อนตัด ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผล คือ สารหล่อเย็นที่มีผลต่อความผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยที่สารหล่อเย็นชนิดน้ำมันแบบผสมน้ำให้ค่าความเรียบผิวมากกว่าน้ำมันพืช ส่วนความเร็วตัดมีผลต่อความผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นด้วย อัตราป้อนมีผลต่อคุณภาพผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานลดลง ตรงข้ามกับการใช้น้ำมันพืชจะให้ค่าความเรียบผิวชิ้นงานที่สูงขึ้น อัตราป้อนมีผลต่อความสึกหรอของคมตัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยเมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงขึ้นจะให้ค่าความสึกหรอของคมตัดที่ลดลง

ประพล เปี่ยมศักดิ์ชัย[13] ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบผิว ในการกัดเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น D2 ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วตัด และอัตราป้อนมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 ส่วนระยะป้อนลึกไม่มีผลต่อความเรียบผิว โดยที่ความเร็วตัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวลดลง ซึ่งตรงกันข้ามกับอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น

Pantawane, P.D. and Ahuja, B.B., [14] ศึกษา Experimental investigations and multi-objective optimization of friction drilling process on AISI 1015 การเพิ่มความเร็วยกจาก 2500-4500 rpm ความเรียบผิวจะลดลงจาก 0.536 cm เป็น 0.341 cm ความผิดพลาดของขนาดรูเจาะพบว่าเพิ่มขึ้นจาก 452 cm เป็น 495 cm เมื่ออัตราป้อนเปลี่ยนแปลงจาก 71.36 เป็น 198.64 mm./min และขนาดของดอกเจาะส่งผลทำให้ขนาดของรูเจาะผิดพลาดขณะที่ความเรียบผิวลดลงส่งผลให้ได้ผิวที่ดีเยี่ยม ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นของขนาดดอกเจาะและอัตราป้อนพบว่ามีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อขนาดของรูแต่ไม่มีความสำคัญกับความเรียบผิว เงื่อนไขการเลือกค่าที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานเจาะด้วยแรงเสียดทานของเหล็ก AISI 1015 ขนาด 1 มม. ที่ดีที่สุดที่ความเร็วรอบ 4500 rpm อัตราป้อน 71.36 mm./min ขนาดดอกเจาะ 7.3 มม.

ชุมพร ช่างกลึงเหมาะ[15]ได้ศึกษาการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบละเอียดผิวของชิ้นงานกับเงื่อนไขการกัดของวัสดุพอกซีเรซินเดิมอะลูมิเนียม ได้นำเสนอการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบละเอียดผิวของชิ้นงานกับเงื่อนไขการกัดสำหรับวัสดุพอกซีเรซิน ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ได้ ซึ่งในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกัดชิ้นงานด้วยเงื่อนไขการกัดต่างๆ (การเปลี่ยนค่าความเร็วรอบดอกกัด การป้อนกัดลึก และอัตราการป้อนกัด) จากนั้นชิ้นงานที่ได้จึงถูกนำมาวัดความหยาบละเอียดของผิว โดยการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาค่าความหยาบละเอียดของผิวชิ้นงานในรูปแบบ 3 มิติ ผลการศึกษาพบว่าการใช้พื้นผิวจริงต่อพื้นผิวระนาบ (A_m/A_n) สามารถใช้แทนความหยาบละเอียดของผิวชิ้นงานในลักษณะระนาบได้เป็นอย่างดีและตัวแปรดังกล่าวตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของ ความเร็วรอบดอกกัด อัตราป้อนกัด และการป้อนกัดลึก ตามลำดับ

วิเชียร เกื้อนเครือวัลย์ และ ศุภเอก ประมูลมาก [16] ได้ศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผิวชิ้นงาน ที่ผ่านการกัดด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซีแมชชีนเซ็นเตอร์ วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็ก SKD11 และมีดกัดไฮสปีดแบบ 2 ฟัน มาใช้ในการทดลอง ปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษาประกอบด้วยระยะกินลิ้งงาน, และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัด ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าคุณภาพความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ .01 คือ ระยะกินลิ้งงาน, และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัด ผลการทดลองที่ได้จะถูกนำมาใช้หาอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมที่มีผลกระทบต่อค่าความเรียบผิวแบบมีนัยสำคัญ จากการทดลองพบว่าถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัดมีขนาดเล็ก จะให้ค่าความเรียบของผิวชิ้นงานได้ดีกว่ามีดกัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับระยะกินลิ้งงานถ้าระยะกินลิ้งมีขนาดน้อยจะให้งานที่มีค่าความเรียบผิวที่ดีว่าการกัดชิ้นงานที่มีระยะกินลิ้งสูง ที่ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01