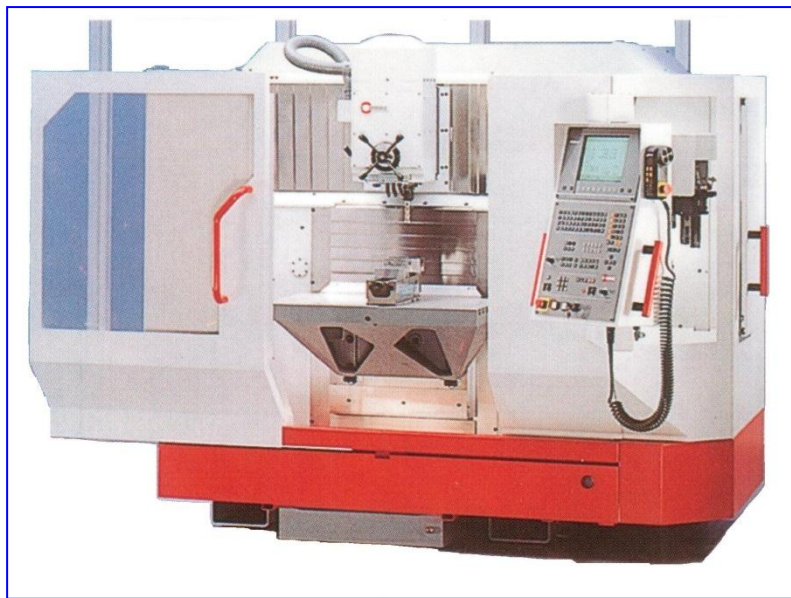


บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความลึกห่อของคมตัด ในการกัดทองเหลืองผสม โดยใช้น้ำมันตัด เกลือนแบบผสมน้ำและน้ำมันพืช ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้าเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 2.1 เครื่องกัด CNC Milling Machining center
- 2.2 ความหนาของผิวของผิวงาน
- 2.3 น้ำมันหล่อเย็น
- 2.4 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด
- 2.5 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด
- 2.6 การอบชุบเหล็กกล้าคาร์บอน
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องกัด CNC Milling Machining Center



รูปที่ 2.1 เครื่อง CNC Milling Machining Center[4]

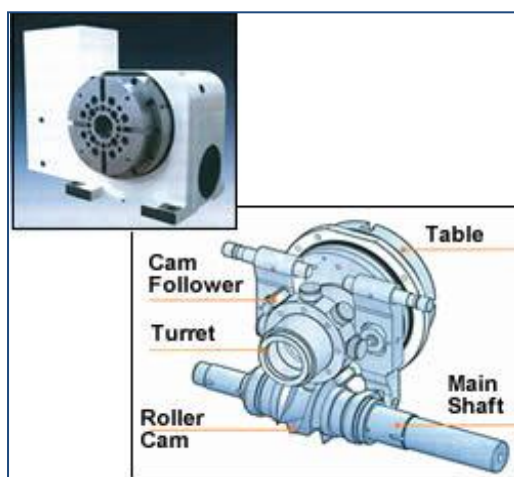
2.1.1 การจำแนกประเภทของ CNC Machining Center

เครื่องกัดแบบแนวตั้งนั้น มีจำนวนการใช้งานมากกว่าเครื่องแบบแนวนอนมากกว่าโดยเฉพาะในการนำมาใช้ผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็กและกลาง รวมถึงขนาดใหญ่ด้วยเช่นกัน โดยที่ข้อดีของแบบแนวนอนคือ ไม่สะสมความร้อนที่ชิ้นงาน เศษโลหะจะตกลงพื้นไม่สะสมบนผิวของชิ้นงาน ที่อาจทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนชิ้นงานได้

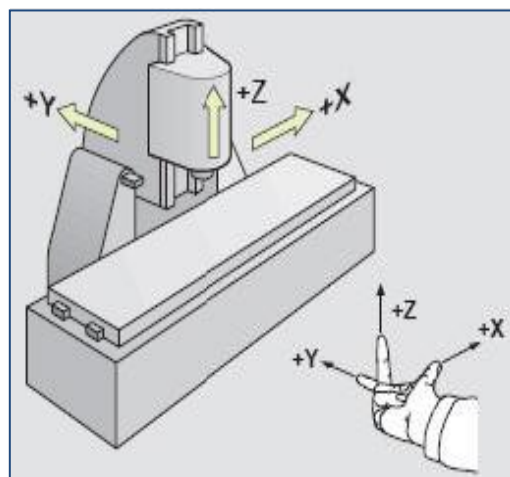
CNC Machining Center ที่สามารถเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งหัวสปินเดิลให้อยู่ได้ทั้งในแนวนอนหรือแนวตั้ง โดยใช้คำสั่ง CNC ในการเปลี่ยนตำแหน่งนั้น มีชื่อเรียกเครื่องประเภทนี้ว่า “Universal Machining Center” ฉะนั้นเครื่องจักรประเภทนี้จึงสามารถทำงานหลายขั้นตอนให้เสร็จได้ภายในเครื่องเดียวโดยไม่ต้องติดตั้งชิ้นงานใหม่ ซึ่งกัดได้ถึง 5-6 ด้านในครั้งเดียว [5]

2.1.2 การแบ่งตามจำนวนของแกนการเคลื่อนที่ของทูล ได้ดังนี้

1. แบบ 2 แกนครึ่ง (2½ Axes) เป็นเครื่องที่สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 แกน แต่เคลื่อนที่ได้พร้อม ๆ กันคราวละ 2 แกน เช่น X-Y, X-Z, Y-Z เป็นต้น เครื่องประเภทนี้เหมาะสำหรับการเจาะ (Drilling)
2. แบบ 3 แกนครึ่ง (3 axes) พบมากในเครื่อง HMC โดยเป็นการหมุนของ Indexing table ในแกน B แล้วจึงเคลื่อนที่ไปแกน X, Y และ Z ถ้าเป็นเครื่อง VMC จะติดตั้งให้หมุนในแกน A เป็นส่วนมาก

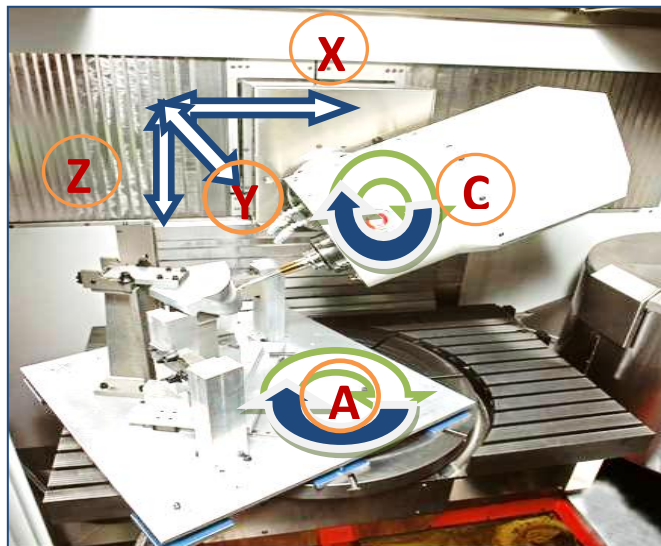


รูปที่ 2.2 Indexing Table



รูปที่ 2.3 CNC แบบ 3 แกน

3. แบบ 5 แกน (5 axes) มีการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) 3 แกน (X Y Z) และการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular Motion) หรือการหมุน 2 แกน เครื่อง 5 แกนสามารถเคลื่อนที่ใดพร้อม ๆ กันทั้ง 5 แกน



รูปที่ 2.4 เครื่อง Machining Center 5 แกน เคลื่อนที่ในแกน X, Y, Z การหมุนในแกน A และ C [6]

นอกจากนี้แล้วเครื่องจักรในระบบซีเอ็นซีบางชนิดก็จะมีแนวแกนป้อนและแนวแกนหมุนรวมกันอยู่หลายแนวแกน ซึ่งในการกำหนดแนวแกนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีตามมาตรฐาน EIA-267-B (Electronic Industries Association) ได้กำหนดแนวแกนมาตรฐานไว้ทั้งหมด 14 แนวแกน ประกอบไปด้วยแนวแกนที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง 9 แนวแกน แนวหมุนอีก 5 แนวแกน

2.1.3 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง Machining Center [5]

สามารถแบ่งได้ 4 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)
2. ระบบกลไกในการเคลื่อนที่ (Drive mechanisms)
3. ตัวเครื่องจักร (Machine Body)
4. อุปกรณ์เปลี่ยนทูลอัตโนมัติ (Automatic Tool Changer)

2.1.3.1 ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)

1. ชุดควบคุมของ Machining Center เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรมแก้ไขตัดแปลงได้ คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อนและทำงานตามคำสั่งในโปรแกรม

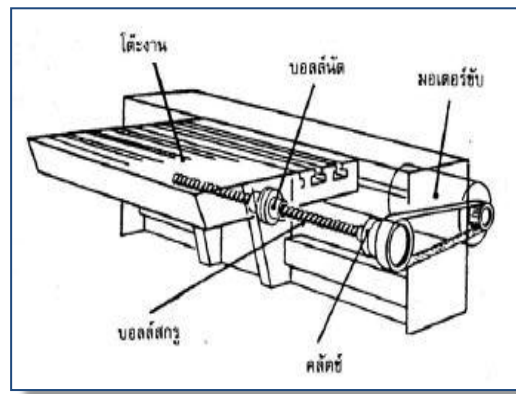
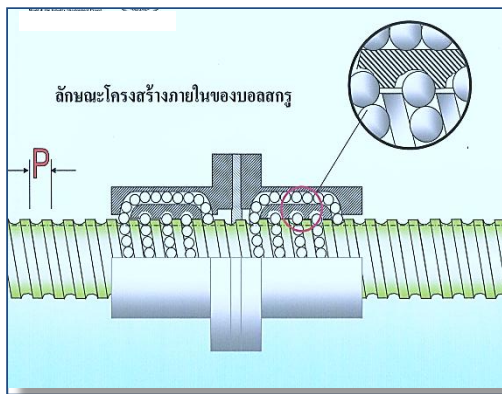
2. ชุดควบคุมประกอบไปด้วย แผงควบคุม (control panel) จอภาพ (monitor) แป้นพิมพ์ (keyboard หรือ keypad) และปุ่มสวิตช์ควบคุมต่างๆ เช่น ความเร็วฟีด (Feed) และความเร็วสปินเดิล (Spindle) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ชุดควบคุมการทำงานต่าง ๆ

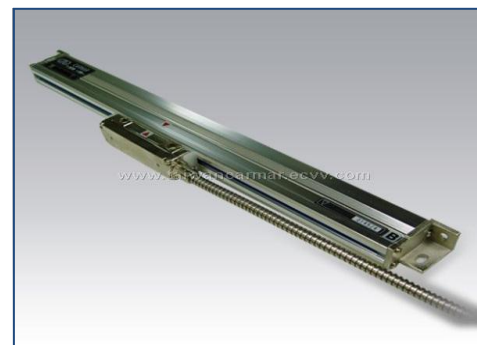
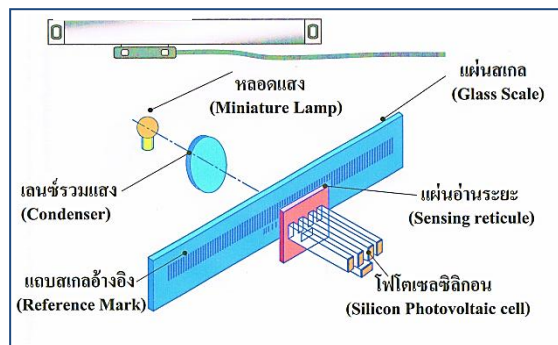
2.1.3.2 กลไกการเคลื่อนที่

ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (feed Motor) ซึ่งเป็นโซโวมอเตอร์ (servo motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้โดยใช้ บอลสกรู (ball screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (angular motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (linear motion) โดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (guide way) รองรับการเคลื่อนที่ที่แกนต่าง ๆ เป็นต้น [5]



รูปที่ 2.6 บอลสกรู (ball screw) และการเคลื่อนที่โต๊ะงาน

สำหรับเครื่องที่ต้องการความแม่นยำสูงจะมี ลิเนียร์สเกล (linear scale) เป็นอุปกรณ์ตรวจ-รู้หรือ เซนเซอร์ (sensor) บอกตำแหน่งในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้น ลิเนียร์สเกล (linear scale)

2.1.3.2 ตัวเครื่องจักร [5]

โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสม สำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลัก เช่น

1. แท่นเครื่อง (machine bed) เป็นโครงสร้างหลักของตัวเครื่องจักร สำหรับรองรับอุปกรณ์ และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร
2. หมอนรอง หรือแสดเคิล (saddle) เคลื่อนที่ได้ 1 แกน บนแท่นเครื่อง เช่น แกน X หรือแกน Y
3. โต๊ะ (table) สำหรับวางชิ้นงาน โดยทั่วไปโต๊ะเคลื่อนที่อยู่บนหมอนรอง มีรูปร่างตัวที (T-slot) สำหรับใช้ในการจับยึดชิ้นงานให้แนบติดกับโต๊ะ มีระนาบโต๊ะตั้งติดกับเสา

4. เสา (column) เป็นโครงสร้างสำหรับติดตั้งสปินเดิล เครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์แนวตั้งรุ่นใหม่นิยมสร้างเป็นแบบเสาคู่ (double Column) เพราะให้ความแม่นยำที่ดีกว่า

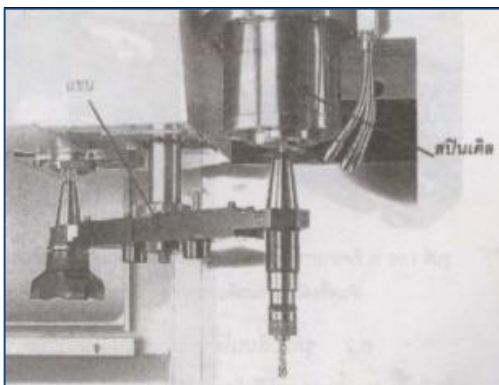
5. สปินเดิล (spindle) สำหรับติดตั้งชุดจับทูล แบบเทเปอร์แชงก์ (tapered shank) หรือแบบไฮสปีด (high speed) โดยมีมอเตอร์สปินเดิล (spindle motor) ขับเคลื่อนสปินเดิลผ่านเกียร์หรือสายพานหรือต่อตรงรวมเป็นชุดเดียวกัน

2.1.3.4 อุปกรณ์เปลี่ยนทูลอัตโนมัติ (Automatic Tool Changer, ATC)

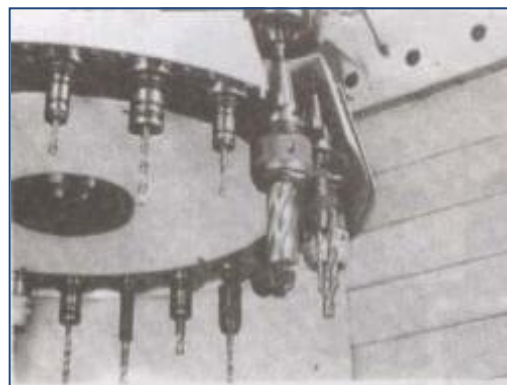
ติดตั้งในเครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ทั้งแบบแนวตั้ง (Vertical Machining Center หรือ VMC) และแบบแนวนอน (horizontal machining center) สามารถเปลี่ยนทูลจากที่เก็บทูล (Tool Storage) หรือทูลแมกกาซีน (Tool Magazine) ประเภทของATC สามารถแยกได้ดังนี้ [5]

1. เป็นแบบโซ่ (Chain-Type)
2. แบบจานหมุน (Carousel-Type)

โดยแบบโซ่สามารถเก็บทูลได้จำนวนมากกว่าแบบจานหมุน ทั้งสองแบบจะมีแขนจับเปลี่ยนทูล (Tool Changing Arm) ระหว่างที่เก็บทูลและสปินเดิล บางรุ่นอาจจะไม่ต้องใช้แขนหรือเป็นแบบไร้แขน (Armless)



รูปที่ 2.8 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ
แบบ Arm type tool changer



รูปที่ 2.9 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ
แบบ Armless type tool changer

2.1.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับงานกัด

ในการกัดค่าตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาในกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดมากที่สุด ประกอบด้วยความเร็วตัด (Cutting Speed), อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกของการตัดเฉือน (Depth of Cut) โดยที่ค่าตัวแปรทั้ง 3 นี้ จะเป็นตัวชี้วัดสมรรถภาพของกระบวนการตัดเฉือนขึ้นงาน ดังนั้น ในการ

พิจารณาเลือกค่าตัวแปรทั้ง 3 นี้ควรคำนึงถึงความสามารถในการตัดเฉือนของเครื่องมือตัด กำลังม้าที่ใช้ในการขับเพลาจับเครื่องมือตัด และความแข็งแกร่ง (Rigidity) ของชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึด [7]

2.1.4.1 ความเร็วตัด

ความเร็วตัด (Cutting Speed) ในกระบวนการขึ้นรูปทางกลด้วยเครื่องกัด หมายถึง ความเร็วขอบ ณ จุดที่เกิดการตัดเฉือนของเครื่องมือตัด ในขณะที่เครื่องมือตัดนั้นเดินตัดเฉือนบนผิวชิ้นงาน ในการเลือกค่าความเร็วตัดนั้น ควรพิจารณาถึงองค์ประกอบ ดังนี้ เช่น ความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุชิ้นงาน วัสดุและรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือตัด การหล่อเย็น อัตราป้อนและความลึกของการตัดเฉือน และกำลังม้าในการขับเพลาจับยึดเครื่องมือตัด เป็นต้น [8]

1. การคำนวณหาความเร็วตัดระบบนิ้ว

$$CS = \frac{\pi \times D \times N}{12}$$

เมื่อ

CS = ความเร็วตัด (ฟุต/นาที: FPM)

N = ความเร็วรอบของเครื่องมือตัด (รอบ/นาที: RPM)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัด (นิ้ว)

2. การคำนวณหาความเร็วตัดระบบเมตริก

$$CS = \frac{\pi \times D \times N}{1000}$$

เมื่อ

CS = ความเร็วตัด (เมตร/นาที: MPM)

N = ความเร็วรอบของเครื่องมือตัด (รอบ/นาที)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัด (มม.)

โดยทั่วไปแล้ว ค่าความเร็วตัดของวัสดุแต่ละชนิดนั้น เราจะทราบได้จากตารางหรือคู่มือในการตัดเฉือนของวัสดุนั้น ๆ ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงมักจะนำค่าความเร็วตัดจากตาราง ไปคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องมือตัด โดยใช้สมการ ต่อไปนี้ [8]

3. การคำนวณความเร็วรอบ ระบบนิว

$$N = \frac{12 \times CS}{\pi \times D}$$

4. การคำนวณความเร็วรอบ ระบบเมตริก

$$N = \frac{1000 \times CS}{\pi \times D}$$

2.1.4.2 อัตราป้อน

อัตราป้อน (Feed Rate) หมายถึง อัตราการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดที่เคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน ซึ่งกำหนดหน่วยของอัตราป้อนมี 3 ลักษณะ ดังนี้ [8]

1. อัตราป้อนเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ต่อฟันของเครื่องมือตัด เช่น นิ้ว/ฟัน (Inches Per Tooth : IPT) หรือมิลลิเมตร/ฟัน (Millimeters Per Tooth: MPT)
2. อัตราป้อนเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ต่อรอบ เช่น นิ้ว/รอบ (Inches Per Revolution : IPR) หรือ มิลลิเมตร/รอบ (Millimeter Per Revolution: MMPR)
3. อัตราป้อนเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ต่อนาที เช่น นิ้ว/นาที (Inches Per Revolution : IPM) หรือ มิลลิเมตร/นาที (Millimeter Per Minute: MPPM)

อัตราป้อนของงานกัด สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้ [8]

$$V_f = F_z \times Z \times N \text{ (มิลลิเมตรต่อนาที)}$$

เมื่อ

$$V_f = \text{อัตราป้อน (มิลลิเมตร/ฟัน)}$$

$$F_z = \text{จำนวนฟันของมีดกัด}$$

$$N = \text{ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)}$$

ในทางปฏิบัติ ค่าความเร็วตัดและอัตราป้อนในงานกัดนั้น จะดูจากตารางคู่มือมาตรฐาน ซึ่งจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุชิ้นงาน และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 [7]

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความเร็วตัดของวัสดุชนิดต่าง ๆ

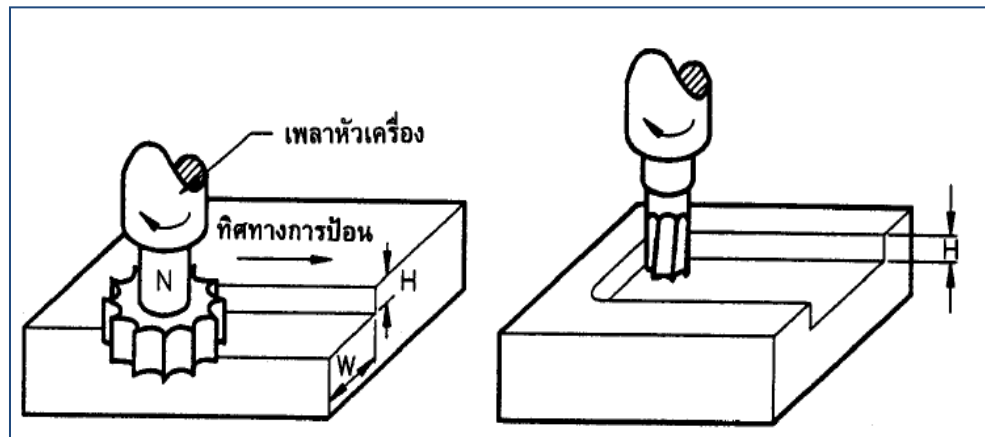
ชนิดของวัสดุ	ความเร็วตัด	
	มีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง	มีดกัดคาร์ไบด์
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	90-120	270-450
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง	70-100	225-375
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	30-70	145-300
เหล็กหล่อ (ชนิดอ่อน)	100-150	325-500
เหล็กหล่อ (ชนิดปานกลาง)	70-120	225-400
เหล็กหล่อ (ชนิดแข็ง)	30-100	145-375
เหล็กกล้าผสม	30-90	145-350
อะลูมิเนียมและทองเหลืองผสม	200-300	500-950
เหล็กกล้าไร้สนิม	65-90	200-300

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าอัตราป้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ (นิ้ว/ฟัน)

ชนิดของวัสดุ	อัตราป้อน		
	1/2	3/4	1 นิ้วขึ้นไป
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
อะลูมิเนียมและทองเหลืองผสม	0.003	0.004	0.005
เหล็กกล้าไร้สนิม	0.001	0.002	0.003

2.1.4.3 ความลึกของการตัดเฉือน

ความลึกหรือความกว้างของการตัดเฉือน (Depth of Cut) หมายถึง ระยะทางที่คมของเครื่องมือตัดหยั่งลึกเข้าไปในชิ้นงานในทิศทางที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปความลึกของการตัดหยาบจะมีขนาดมากกว่าความลึกของการตัดละเอียด การกำหนดความลึกของการตัดเฉือนนี้ จะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการคือ แรงม้าในการขับเคลื่อนเพลาค้นเครื่องมือตัดหรือชิ้นงานกับความแข็งแรงของเครื่องมือตัดหรือความแข็งแรงของเครื่องกัด [7]



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

รูปที่ 2.10 แสดงความลึก และความกว้างของการตัดเฉือนในงานกัด

2.1.4.4 การคำนวณกำลังม้าในงานกัด

การตัดเฉือนผิวชิ้นงานด้วยเครื่องกัดนี้ ส่วนมากแล้วกำลังแรงม้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนนั้นจะได้มาจากมอเตอร์ ดังนั้นก่อนที่เราจะทำการตัดเฉือนผิวชิ้นงานนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนวณกำลังที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการตัดเฉือนในแต่ละครั้ง จำนวนของกำลังที่จะต้องใช้ในการตัดเฉือนผิวชิ้นงานจำนวน 1 ลูกบาศก์นิ้ว/นาที นั้นเราเรียกว่า “หน่วยกำลังแรงม้า (Unit Horse power) ในการคำนวณกำลังแรงม้าที่ใช้ในการตัดเฉือน ณ ตำแหน่งปลายของเครื่องมือตัด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ [8]

$$HP_c = MRR \times UHP \times C$$

เมื่อ

$$HP_c = \text{กำลังแรงม้าที่เครื่องมือตัด}$$

$$MRR = \text{อัตราการตัดเฉือนผิวชิ้นงาน (ลูกบาศก์นิ้ว/นาที)}$$

$$\begin{aligned}
 UHP &= \text{หน่วยกำลังแรงม้า (กำลังที่ต้องใช้ในการตัดเฉือน} \\
 &\quad \text{ผิวชิ้นงาน 1 ลูกบาศก์นิ้ว/ นาที) ซึ่งดูได้จากตาราง} \\
 &\quad \text{มาตรฐาน (ตารางที่ 2.3)} \\
 C &= \text{ค่าแฟกเตอร์ของการป้อน} \\
 \text{โดยที่} \\
 MRR &= W \times H \times fm \\
 \text{เมื่อ} \\
 W &= \text{ความกว้างของการตัดเฉือน (นิ้ว)} \\
 H &= \text{ความลึกของการตัดเฉือน (นิ้ว)} \\
 Fm &= \text{อัตราป้อน (นิ้ว/นาที)}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 2.3 ค่า UHP สำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ

ชนิดวัสดุ	UHP	ชนิดวัสดุ	UHP
เหล็กกล้าที่มีความแข็งต่ำกว่า 150 BHN	1.4	ทองแดง	0.5
เหล็กกล้าที่มีความแข็งประมาณ 300 BHN	1.7	ทองเหลือง	0.4
เหล็กกล้าที่มีความแข็งประมาณ 400 BHN	2.0	บรอนซ์	0.5
เหล็กกล้าที่มีความแข็งประมาณ 500 BHN	2.5	เหล็กหล่อเหนียว	1.0
แมกนีเซียม	0.25	เหล็กกล้าทั่วไป	1.0
อะลูมิเนียมและทองเหลืองผสม	0.25	เหล็กกล้าไร้สนิม	1.7
เหล็กหล่อ	0.7		

ตัวอย่างที่ 2.1 กำหนดให้วัสดุของมีดกัดทำจากเหล็กกล้ารอบสูง (HSS) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว และคมตัด 4 ฟัน ใช้กัดผิวชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางและความแข็ง 300BHN ถ้าความลึกของการตัดเฉือน เท่ากับ 0.35 นิ้ว และความกว้างของการกัดเท่ากับ 0.50 นิ้ว [9]

จงคำนวณหา

1. ความเร็วตัด
2. อัตราป้อน/นาที
3. หน่วยกำลังม้า
4. ความเร็วรอบ
5. อัตราการตัดเฉือนผิววัสดุ
6. กำลังม้าที่ปลายมีดกัด
7. กำลังม้าที่เพลามอเตอร์ (ถ้า $E = 0.85$)

วิธีทำ

1. ค่าความเร็วตัดและอัตราป้อนดูได้จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} CS_m &= 70 \text{ ฟุต/นาที} \\ ft &= 0.002 \text{ นิ้ว/ฟัน} \end{aligned}$$

2. หน่วยกำลังม้า (UHP) จากตารางที่ 2.3 มีค่าเท่ากับ

$$UHP = 1.7 \text{ HP}$$

3. คำนวณหาความเร็วรอบ

$$\begin{aligned} N &= \frac{12 \times CS_m}{\pi \times D} \\ &= \frac{12 \times 70}{\pi \times 0.75} \\ &= 356.68 \text{ รอบต่อนาที} \end{aligned}$$

4. คำนวณหาอัตราป้อน (นิ้ว/นาที)

$$\begin{aligned} f_m &= ft \times T \times N \\ &= (0.002) \times 4 \times (356.68) \\ &= 2.85 \text{ นิ้ว/นาที} \end{aligned}$$

5. คำนวณหาอัตราการตัดเนื้อวัสดุ

$$\begin{aligned} MRR &= W \times H \times fm \\ &= (0.5) \times (0.35) \times (2.85) \\ &= 0.48 \text{ ลูกบาศก์นิ้ว/นาที} \end{aligned}$$

6. คำนวณหา กำลังม้าที่ปลายมีดกัด

$$\begin{aligned} HPC &= UHP \times MMR \\ &= 1.7 \times 0.5 \text{ HP} \\ &= 0.85 \text{ HP} \end{aligned}$$

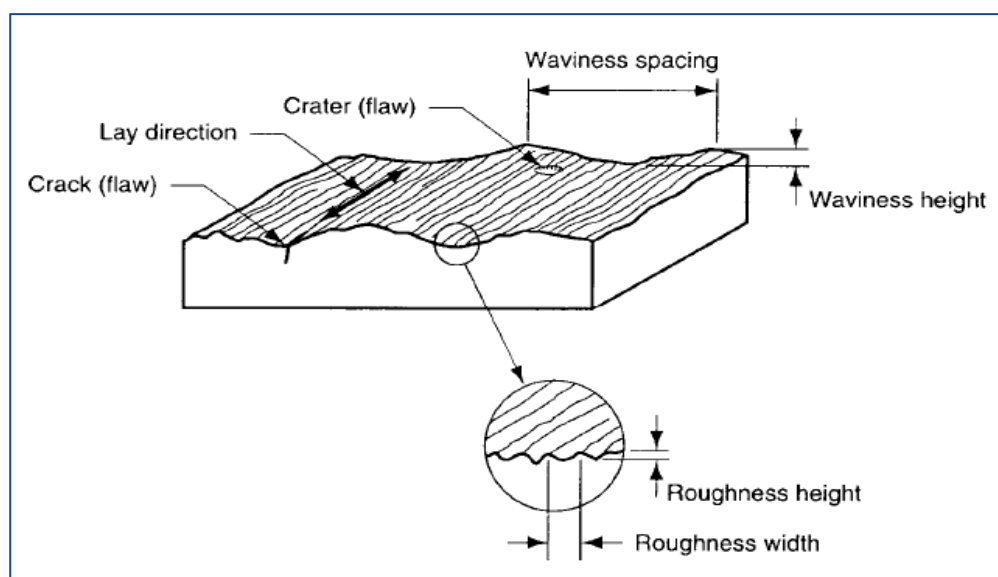
7. คำนวณหาค่ากำลังม้าที่เพลามอเตอร์

$$\begin{aligned}
 HP_m &= \frac{HP_c}{E} \\
 &= \frac{0.85}{0.85} \\
 &= 1 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

2.2 ความหยาบละเอียดของผิวงาน

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของผิวงานที่ผ่านการแปรรูปและผ่านการตัดเฉือน

ผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น งานกัด งานกลึง และงานเจียระไน ฯลฯ เมื่อมองด้วยสายตาเราจะเห็นว่าผิวของชิ้นงานมีความเรียบ แต่เมื่อนำมาขยาย ก็จะพบว่าผิวงานเหล่านั้นขรุขระเป็นคลื่น สูง - ต่ำไม่เท่ากัน โดยเฉพาะถ้าผิวของชิ้นงานใดมีความสูง - ต่ำ แตกต่างกันมาก ก็แสดงว่าผิวของชิ้นงานนั้นมีความหยาบของผิวมาก แต่ถ้าผิวของชิ้นงานใดมีความสูง - ต่ำ น้อย แสดงว่ามีความเรียบของผิวมากหรือเนียนมากกว่า ซึ่งความเรียบของผิวนี้ จะมีความจำเป็นสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลบางชนิด เช่น ตลับลูกปืน เป็นต้น แต่สำหรับชิ้นงานบางชนิดก็อาจจะไม่มีความจำเป็นที่จะต้องระบุความหยาบละเอียดของผิวงาน เพราะจะทำให้เสียเวลาในการผลิต [10]



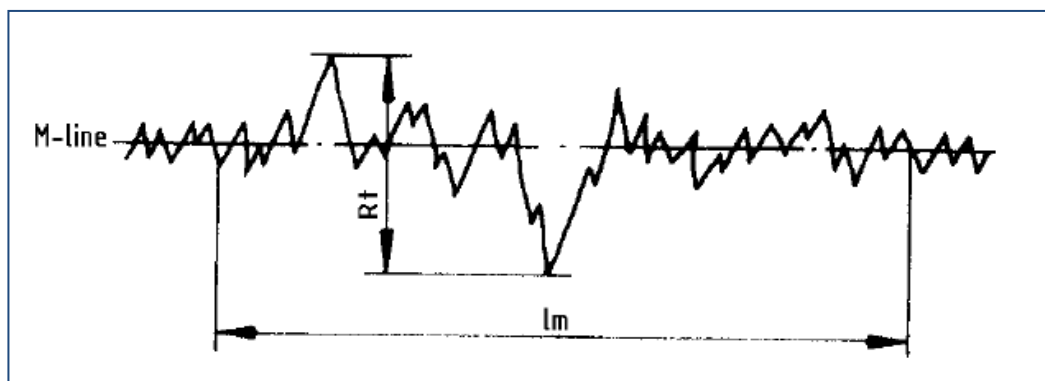
รูปที่ 2.11 ภาพขยายของผิวชิ้นงาน

1. ผิวงาน (Surface) หมายถึง ขอบเขตหรือบริเวณ ที่แยกออกจากส่วนเนื้อวัสดุงาน รูปร่างและลักษณะผิวงาน ระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายคำจำกัดความ (Descriptive Specifications)
2. รูปทรงผิว (Profile) หมายถึง เส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงาน ตลอดภาคน้ำตัดที่ถูกลำมาพิจารณา
3. ความหยาบของผิว (Roughness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป อันเนื่องมาจากขบวนการผลิต
4. คลื่นของผิวงาน (Waviness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่มีระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิว เกิดขึ้นจากการโก่งตัวของทั้งชิ้นงาน และการหลวมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการขึ้นรูป
5. Flaw หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่นรอยขีดข่วน รอยแตก และรูพรุน เป็นต้น
6. Lay หมายถึง แนวทิศทางของรอยสัน ส่วนยอดความหยาบของผิวที่ทำการตรวจสอบ

2.2.2 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานตามมาตรฐานของ ISO 4287

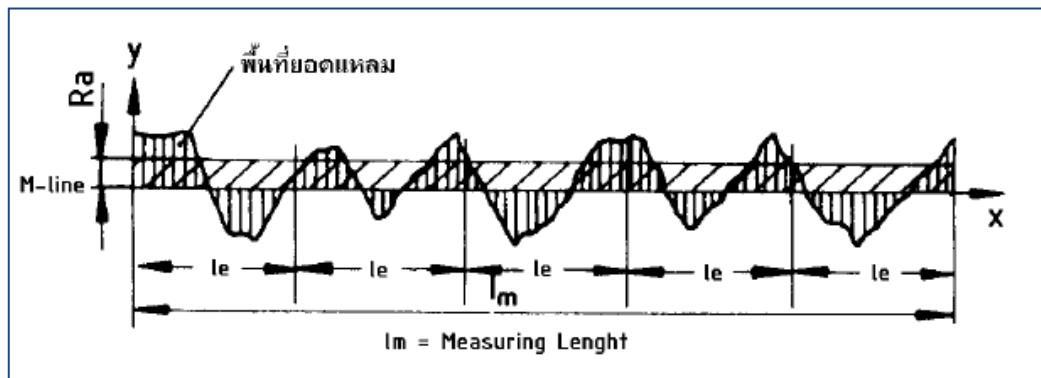
การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานที่จะกล่าวถึงนี้ ประกอบด้วย ค่า R_t , R_a และ R_z ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) โดยแต่ละค่ามีวิธีการวัด ดังนี้ [11]

1. ค่า R_t หมายถึง ค่าวัดจากจุดสูงสุดไปยังถึงจุดต่ำสุดของผิวงาน



รูปที่ 2.12 การวัดค่า R_t

2. ค่า R_a หมายถึง ค่าที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ของพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M - Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลาง หาค่าด้วยความยาวเฉลี่ย (L_m) โดยที่ค่าของ R_a มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร



รูปที่ 2.13 การวัดค่า Ra

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าและชั้นความหยาบของผิวงาน ตามมาตรฐานของ ISO1302 –1978 [11]

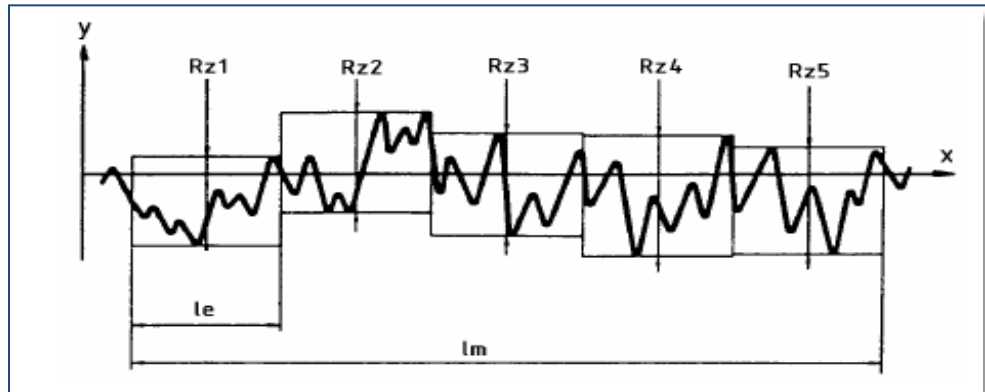
ค่า Ra (หน่วย : ไมโครเมตร)	ชั้นความหยาบละเอียดของผิว
50.00	N12
25.00	N11
12.50	N10
6.30	N9
3.20	N8
1.60	N7
0.80	N6
0.40	N5
0.20	N4
0.10	N3
0.05	N2
0.02	N1

หมายเหตุ : Ra คือ ค่า ที่ได้จากค่าเฉลี่ยเลขคณิต

3. ค่าความหยาบ Rz หมายถึง ค่าหาได้จากการวัดทดสอบเป็นช่วงเท่า ๆ กัน 5 ช่วง แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ Rz มีหน่วยเป็นไมโครเมตร

ตารางที่ 2.5 แสดงขอบเขตความเรียบผิวงานของกระบวนการการผลิต [25]

Process	Roughness height rating, μm (μin) Ra												
	50 (2000)	25 (1000)	1.25 (500)	6.3 (250)	3.2 (125)	1.6 (63)	0.8 (32)	0.4 (16)	0.2 (8)	0.1 (4)	0.05 (2)	0.025 (1)	0.012 (0.5)
Flame cutting													
Snagging													
Sawing													
Planing, shaping													
Drilling													
Chemical milling													
Elect discharge mach													
Milling													
Broaching													
Reaming													
Electron beam													
Laser													
Electro-chemical													
Boring, turning													
Barrel finishing													
Electrolytic grinding													
Roller burnishing													
Grinding													
Honing													
Electro-polish													
Polishing													
Lapping													
Supper finishing													
Sand casting													
Hot rolling													
Forging													
Perm. Mold costing													
Investment casting													
Extruding													
Cold rolling, Drawing													
Die casting													
The rang shown above are typical of the processes listed Higher or lower values may be obtained under special conditions													
													 Average application  Less Frequent application



รูปที่ 2.14 การวัดค่า Rz

2.2.3 การตรวจสอบความหยาบละเอียดของผิว

การตรวจสอบความหยาบและละเอียดของผิว โดยทั่วไปจะใช้วิธีการตรวจสอบผิวของชิ้นทดสอบ เปรียบเทียบกับค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ได้จากการเจียรระโนด้วยเครื่องวัดผิว ดังรูปที่ 2.12 [11]



รูปที่ 2.15 เครื่องมือวัดค่าความหยาบผิวงาน

2.3 น้ำมันหล่อเย็น

ในงานตัดเฉือนโลหะ สารหล่อเย็น (Coolant) นั้นจะมีความร้อนสูงมาก ซึ่งอาจสูงถึง 700 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า ความร้อนนี้เกิดจาก การเสียดสีระหว่างคมตัดกับชิ้นงาน และจากการเปลี่ยนรูปของเนื้อโลหะ (Deformation) ที่ถูกตัดเฉือน หากความร้อนไม่ได้ออกไปโดยเร็ว ความร้อนเกิดการสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้คมตัดเกิดความร้อนจัดและสูญเสียความแข็งและเกิดการสึกหรอ

ในที่สุด ชิ้นงานที่ได้รับความเค็ดร้อนก็อาจเกิดการบิดเบี้ยว ทำให้ไม่ได้ขนาดและคุณภาพผิวตามต้องการ

2.3.1 หน้าที่ของน้ำมันหล่อเย็น

หน้าที่ของสารหล่อเย็นมี ดังนี้ [12]

1. ระบายความร้อน น้ำมันตัดหรือน้ำมันหล่อเย็น มีหน้าที่ระบายความร้อนออกจากบริเวณการตัด เพื่อทำให้คมตัดและชิ้นงานไม่สูญเสียความแข็ง หรืออ่อนตัวอันเนื่องมาจากความร้อน อีกทั้งยังป้องกันไม่ให้เศษโลหะยึดติดที่ปลายคมตัด ทำให้สามารถตัดเฉือนได้เร็ว
2. หล่อลื่นลดแรงเสียดทาน น้ำมันตัดหรือน้ำมันหล่อเย็น มีหน้าที่หล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับคมตัด รวมทั้งลดแรงเสียดทานของเศษโลหะที่เคลื่อนที่ผ่านผิวคายเศษ ทำให้การตัดเฉือนใช้แรงน้อยลง ลดการสึกหรอของคมตัดได้
3. ชะล้างเศษโลหะ น้ำหล่อเย็นทำหน้าที่ชะล้างและพาเศษโลหะที่เกิดจากขบวนการตัดเฉือนออกไปจากบริเวณตัดเฉือน
4. ป้องกันสนิม น้ำหล่อเย็นจะทำหน้าที่ป้องกันสนิมให้กับชิ้นงานในขณะที่ทำการตัดเฉือน ซึ่งผิวชิ้นงานบริเวณที่ตัดเกิดเฉือนมักจะมีความไวต่อการเกิดสนิมมาก นอกจากนี้ น้ำหล่อเย็นยังช่วยป้องกันการเกิดสนิมให้กับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลได้ด้วย

2.3.2 ชนิดของสารหล่อเย็น

สารหล่อเย็นแบ่งชนิดตามการใช้งานได้ 3 ชนิด ดังนี้ [12]

1. ชนิดผสมกับน้ำ (Soluble Oils) น้ำมันชนิดนี้ มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าน้ำมันสบู่ทำจากสารสังเคราะห์หรือน้ำมันแร่ ผสมกับตัวทำละลาย และสารเพิ่มคุณภาพ เช่น การป้องกันสนิม สารป้องกันการเกิดฟอง สารฆ่าเชื้อ จุลินทรีย์ ใช้สำหรับงานตัดเฉือนโดยทั่ว ๆ ไป เช่น งานกลึง งานตัด งานเจาะ งานไส และงานกัด เป็นต้น วิธีการผสมกับน้ำควรใช้น้ำสะอาดใส่ลงในอ่างหรือภาชนะผสมตามอัตราส่วนโดยทั่วไปจะประมาณ 3-5% จากนั้นจึง เทน้ำมันสบู่ตามอัตราส่วนลงในน้ำ
2. ชนิดน้ำมัน (Cutting Oils) น้ำมันชนิดนี้ จะใช้ในกรณีหล่อเย็นวัสดุที่มีความเหนียวหรือแข็งมาก ๆ โดยทั่วไปจะเป็นน้ำมันแร่กลั่นอย่างดีผสมกับน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ เพื่อช่วยการหล่อลื่น สารช่วยเพิ่มคุณภาพในการช่วยรับแรงกด ดังนั้นการเลือกใช้ควรคำนึงถึงชนิดของโลหะ ทั้งนี้เพราะสารช่วยเพิ่มคุณภาพบางชนิดอาจทำให้มีธาตุของโลหะเปลี่ยนไป โดยคู่มือการใช้งานที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด
3. ชนิดที่มีส่วนผสมทางเคมี (Chemical Cutting Oils) เป็นน้ำยาหล่อเย็นที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี และจะอยู่ในสภาพของสารละลาย เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการหล่อเย็น การหล่อลื่น

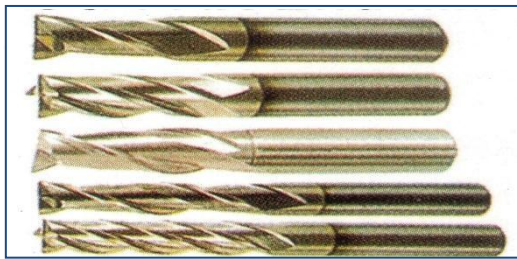
การสึกหรอ และลดแรงเสียดทานแต่จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของทางสารเคมี และบางชนิดมีส่วนผสมของสาร Extreme- Pressure (EP) ซึ่งจะต่อต้านการเกิดความร้อน และแรงดันสูงเนื่องจากการตัดเฉือน

2.4 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

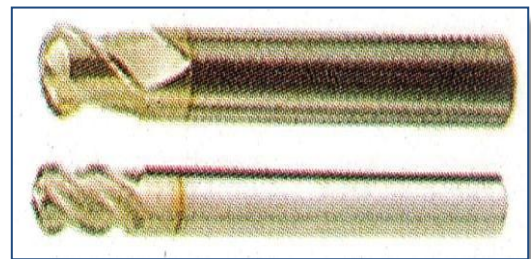
เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี หรือ เครื่องแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ มีดังนี้ คือ

2.4.1 เอ็นด์มิลล์ (End mill)

เอ็นด์มิลล์เป็นเครื่องมือตัดที่ใช้สำหรับเครื่องกัดเพลตตั้ง วัสดุที่ใช้ทำเอ็นด์มิลล์นั้นมีทั้งจากเหล็กกล้า รอบสูง (HSS) และ คาร์ไบด์ (Carbide) ซึ่งในกระบวนการตัดเฉือนผิวชิ้นงานด้วยเอ็นด์มิลล์นั้น อาศัยคมตัดตรงปลายและคมตัดด้านข้าง ในการขึ้นรูปชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้หลายลักษณะ เช่นการ กัดส่วนที่เป็นบ่าหรือส่วนที่เป็นคอรั่นก็ได้ ดอกกัดเอ็นด์มิลล์มีหลายลักษณะ เช่น เอ็นด์มิลล์ปลาย แบบหน้าตัดตรง แบบปลายครึ่งวงกลม และแต่ละชนิดยังแบ่งดอกกัดออกได้เป็นดอกกัดหยาบและ ดอกกัดละเอียด [4]



รูปที่ 2.16 เอ็นด์มิลล์แบบปลายหน้าตัดตรง



รูปที่ 2.17 เอ็นด์มิลล์แบบปลายครึ่งวงกลม

2.4.2 เฟซมิลล์ (Face mill)

เป็นเครื่องมือตัดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานปาดผิวของชิ้นงาน เฟซมิลล์ที่ใช้สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี นั้น ส่วนมากจะเป็นแบบอินเสิร์ต ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนอินเสิร์ตได้ เฟซมิลล์ยังมีรูปร่างลักษณะ และรูปทรงที่แตกต่าง ดังนั้นการเลือกใช้งานจึงควรพิจารณาถึงรูปร่างและวัสดุของชิ้นงานด้วย ส่วน รายละเอียดของเฟซมิลล์เราสามารถดูได้จากคู่มือการเลือกใช้งานของบริษัทผู้ผลิต [4]



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของเฟซมิลล์สำหรับปาดผิวชิ้นงาน

2.4.3 เม็ดมีดอินเสิร์ต (Insert)

เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ส่วนใหญ่จะเป็น เม็ดมีดอินเสิร์ต (Insert) เนื่องจากเม็ดมีดอินเสิร์ต (Insert) เมื่อเกิดการสึกหรอหลังการใช้งาน ไม่ต้องถอดออกไปลับคมตัดใหม่ซึ่งจะไม่เหมือนกับมีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กความเร็วสูง High Speed Steel (HSS) ซึ่งคมตัดจะอยู่ติดที่ตัวด้ามมีด เมื่อเวลาใช้ไปแล้วเกิดการสึกหรอจะต้องถอดออกจากป้อมทูลแล้วนำไปลับคมตัดใหม่แล้วจึงนำกลับมาประกอบกับป้อมทูลอีกครั้งโดยจะสูญเสียเวลาในการปฏิบัติงานมาก จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนามีดตัดแบบ มีดอินเสิร์ต (Insert) ซึ่งแยกคมตัดออกจากด้ามมีด ในหนึ่งเม็ดมีดอินเสิร์ตประกอบด้วยคมตัดหลาย ๆ คมขึ้นอยู่กับรูปร่างของเม็ดมีด เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยมจะมีคมตัด 8 คม และรูปร่างสามเหลี่ยมจะมีคมตัด 6 คม เป็นต้น วิธีการผลิตเม็ดมีดอินเสิร์ตนั้นจะขึ้นรูปด้วยวิธีการ Sinter และวัสดุที่ใช้ทำเม็ดมีดอินเสิร์ต ส่วนใหญ่จะทำจากทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ นอกจากนี้ยังมีวัสดุพวก Ceramic , Cermet , Cubic Boron Nitride (CBN) Polycrystalline Diamond (PCD) [4]

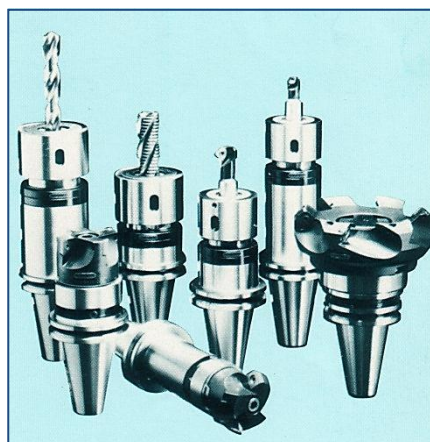


รูปที่ 2.19 รูปร่างของเม็ดอินเลิร์ต (Insert) แบบต่าง ๆ

2.4.4 อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี

ระบบการเปลี่ยนเครื่องมืออัตโนมัติ นั้นจะเป็นระบบที่ให้ความสะดวก และง่ายต่อการปฏิบัติงานของช่างควบคุมเครื่องก็จริง แต่ก็จำเป็นที่จะต้องอาศัยอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ (Tools holder) เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือจะต้องเลือกให้ถูกต้องและมีความเหมาะสมกับเครื่องมือตัดแต่ละชนิดด้วย [4]

ในปัจจุบันระบบรูเพลลาของเครื่องกัดซีเอ็นซี (Spindle) และอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ นั้นจะมีขนาดที่เป็นมาตรฐานซึ่งสามารถเลือกใช้โดยดูจากคู่มือของบริษัทผู้ผลิต แต่สิ่งสำคัญจะลืมไม่ได้ คือ จะต้องเลือกให้มีขนาดและมาตรฐานเดียวกันกับรูเพลลา เครื่องจักรที่ใช้งานอยู่เท่านั้นนอกเหนือจากนี้แล้ว ในการจับยึดเครื่องมือตัดบางชนิด อาจ会有ความจำเป็นที่จะต้องปลอกจับ (Collet) มาช่วย เช่น เอ็นด์มิลล์ ดอกตัดป เป็นต้น โดยที่ลักษณะของปลอกจับจะมีหลายขนาดให้เลือกใช้ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องมือตัดที่จะนำมาใช้ [4]



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือตัดสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.21 ปลอกจับ (collet) เครื่องมือตัดขนาดต่าง ๆ

2.5 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นเครื่องมือตัด (Tool Materials) เช่น มีดกลึง และ มีดกัด ที่ใช้ทำการตัดเฉือนโลหะ จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่มีความแข็ง ทนความร้อนที่อุณหภูมิสูง ทนต่อแรงกดและแรงดัดงอ ทั้งนี้เพราะในขณะเกิดการตัดเฉือนจะมีแรงต้านจากโลหะ อีกทั้งยังต้องมีความคงทนต่อความร้อนและทนต่อการสึกหรอสูง เนื่องจากในขณะทำการตัดเฉือนโลหะ จะเกิดการเสียดสีกันระหว่างมีดกัดกับเนื้อโลหะทำให้เกิดมีความร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งถ้าวัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดไม่มีความสามารถในการต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้วัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากที่แข็ง และใช้ในการตัดเฉือน อาจกลายเป็นวัสดุที่อ่อนได้ จะเห็นได้ว่าวัสดุเครื่องมือตัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานตัดเฉือนโลหะ นอกจากวัสดุในการทำเครื่องมือตัดเฉือนแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการตัดเฉือนโลหะอีก เช่น อัตราป้อน ความเร็วรอบ และรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือตัด [10]

2.5.1 เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง

เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสมต่ำและเหล็กกล้าผสมปานกลาง (Carbon steels and Low/medium alloy steels) บางครั้งเรียกว่า เหล็กเครื่องมือ (Tool steel) เป็นวัสดุที่มีใช้กันมานาน เหล็กเครื่องมือมีส่วนผสมของคาร์บอน 0.90 - 1.30 % เมื่อทำการชุบแข็งและเทมเปอร์ (Tempering) แล้วจะมีความแข็งแรงและความเหนียวที่เหมาะสมที่จะใช้ทำเป็นคมตัดได้ แต่ข้อจำกัดของเหล็กเครื่องมือ คือ จะสูญเสียความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงกว่า 190 องศาเซลเซียส [13]

2.5.2 เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง

เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง (Low/medium alloy steels) มีธาตุที่เป็นส่วนผสมหลัก คือ โมลิบดีนัม (Mo) โครเมียม (CR) ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งได้ดีขึ้น และทังสเตน(W) โมลิบดีนัมช่วยให้มีความสามารถทนการสึกหรอได้ดียิ่งขึ้น แต่เหล็กผสมก็มีข้อจำกัด เช่นเดียวกันกับเหล็กเครื่องมือ คือจะสูญเสียความแข็งแรงที่อุณหภูมิขณะทำการเทมเปอร์ (Tempering) ที่อุณหภูมิประมาณ 135 -330 องศาเซลเซียส [13]

2.5.3 เหล็กกล้ารอบสูง

เหล็กกล้าผสมสูง (High Speed Steels : HSS) มีคุณสมบัติสูงกว่าเหล็กเครื่องมือ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 580 องศาเซลเซียส โดยยังคงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงไว้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กเครื่องมือ เหล็กกล้ารอบสูงมีส่วนผสมหลักคือ เหล็ก โครเมียม วานาเดียม ทังสเตน โมลิบดีนัม และคาร์บอน ในบางกรณีก็มีการเติมโคบอลต์ด้วย โดยที่ส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ จะถูกควบคุมให้อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้เหล็กรอบสูงมี ความแข็ง ด้านทานการสึกหรอ และยังคงความเหนียวด้วย [13]

2.5.4 โคบอลต์หล่อผสม

โคบอลต์หล่อผสม (Cast Cobalt Alloys) เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของโคบอลต์มากกว่าธาตุชนิดอื่น ๆ ที่นำมาผสม ซึ่งจะมียูอยู่ประมาณ 38 - 53 % และมีธาตุอื่นผสม เช่น โครเมียม ทังสเตน และคาร์บอนโคบอลต์หล่อผสม ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดช่องว่างด้านคุณสมบัติ ระหว่างเหล็กรอบสูงและเหล็กเครื่องมือคาร์ไบด์ ความสามารถในการนำไปใช้งาน จะอยู่กึ่งกลางระหว่างเหล็กรอบสูงและวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานโคบอลต์หล่อผสม สามารถที่จะใช้งานได้ดีกว่าเหล็กรอบสูงทั้งในด้านที่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า โดยที่ยังสามารถคงความแข็งแรงไว้ได้ และยังสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูงกว่าเหล็กรอบสูงประมาณ 25 % อีกด้วย ธาตุที่ช่วยทำให้โคบอลต์หล่อผสมมีความแข็งแรงมากขึ้นคือ โครเมียม และทังสเตน ส่วนผสมอื่นที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติให้ดียิ่งขึ้นคือ วานาเดียม (V), โบรอน(B) นิกเกิล (Ni) และเทนทาลัม (Ta) เครื่องมือตัดที่เป็นโคบอลต์หล่อผสมจะถูกสร้างขึ้นมาโดยการหล่อให้รูปร่างที่ต้องการก่อน จากนั้น จึงทำการเจียรระไนให้ได้รูปร่างที่ต้องการเป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยที่ใช้ทำเครื่องมือตัดที่มีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน [10]

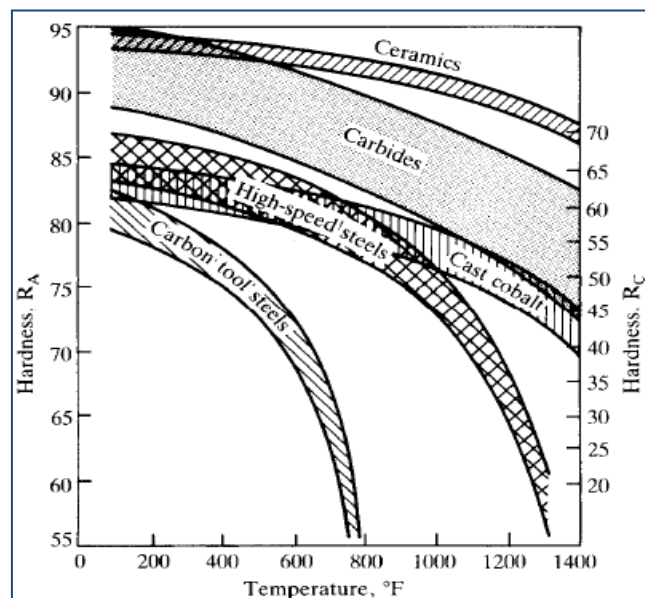
2.5.5 ซีเมนต์คาร์ไบด์

ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cement Carbide) หรือ เรียกอีกอย่าง คือ ทังสเตนคาร์ไบด์จัดเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง และมีการต้านทานการสึกกร่อนที่สูงด้วย ซีเมนต์คาร์ไบด์ถูกพัฒนาขึ้นไปประเทศเยอรมันในปีค.ศ. 1920 จุดประสงค์ของการพัฒนาขึ้นมาก็เพื่อใช้งานในการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูป และใช้แทนวัสดุอื่นที่มี

ราคาแพงกว่า ซีเมนต์คาร์ไบด์ที่พัฒนาขึ้นมารั้งแรกนั้น คือ ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ซึ่งมีส่วนผสมของ โคบอลต์ด้วยวิธีการผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การหลอมธาตุต่าง ๆ เข้าด้วยกันแล้ว หล่อ กรรมวิธีซินเตอร์ ภายหลัง พบว่า โคบอลต์เป็นตัวที่ทำการผสมโลหะผงได้เข้ากันดี จึงได้มีการพัฒนาเป็น ทังสเตนโคบอลต์ (WC-Co) และนิยม ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทังสเตนคาร์ไบด์จะ แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิด WC ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2800 องศาเซลเซียส และชนิด W₂C มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2750 องศาเซลเซียส [10]

2.5.6 เซอร์เมท

เซอร์เมท (Cermets) เป็นวัสดุเครื่องมือตัดที่ทำการผลิตมาจากกรรมวิธีโลหะผงหรือซินเตอร์ริง มี ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เซรามิกส์ และธาตุผสมอื่น ๆ เซรามิกส์ที่ผสมลงไปจะเป็นตัวช่วยในการต้านทานความร้อน และการสึกกร่อน ในขณะที่ส่วนผสมของโลหะอื่นเป็นตัวช่วยในด้านความเหนียว การยึดหยุ่น การต้านแรงกระแทก เซรามิกส์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีความสามารถในการต้านทานความร้อนสูง ในอุตสาหกรรมการผลิตได้แยกเครื่องมือตัดเซอร์เมท ออกเป็นสองชนิดคือ ชนิดที่มีไททาเนียมคาร์ไบด์เป็นโลหะฐาน และชนิดไททาเนียมคาร์ไบด์เป็นโลหะพื้นฐาน ในขณะที่ชนิดที่มีทังสเตนคาร์ไบด์เป็นโลหะฐาน เรียกว่า ซีเมนต์คาร์ไบด์ [10]



รูปที่ 2.22 เปรียบเทียบค่าความแข็งของวัสดุเครื่องมือตัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

2.5.7 เซรามิก

เซรามิก (Ceramics) จัดเป็นวัสดุเครื่องมือตัดชนิดใหม่ที่น่าสนใจ ซึ่งความสามารถของเซรามิกสามารถที่จะใช้งานได้หลากหลาย เช่น งานตัดปาดผิวที่ละเอียดงานตัดปาดผิวที่ใช้วัสดุอื่นตัดได้ยาก การพัฒนานำเซรามิกมาใช้ได้เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ซึ่งทำมาเพื่อเป็นชิ้นส่วนของงานที่ต้องใช้ในอุณหภูมิสูง เนื่องจากเซรามิกเป็นอโลหะ จึงมีความสามารถในการทนอุณหภูมิสูงอยู่แล้วเซรามิกที่ใช้ทำเครื่องมือตัดในปัจจุบันเป็นเซรามิกฐานอะลูมินา (Al_2O_3) เซรามิกฐานซิลิกอนไนไตร (Si_3N_4) [13]

2.5.8 วัสดุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษ

วัสดุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษ มี 2 ชนิด คือ เพชร (Diamond) และ CBN (Cubic Boron Nitride) วัสดุทั้งสองชนิดนี้ ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งจะใช้สำหรับเป็นเครื่องมือตัด เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเพชรและ CBN มีลักษณะคล้ายคลึงกันหลายอย่าง ทั้งสองชนิดเป็นวัสดุที่แข็งมากที่สุด [13]



รูปที่ 2.23 วัสดุคมตัดแบบเพชร



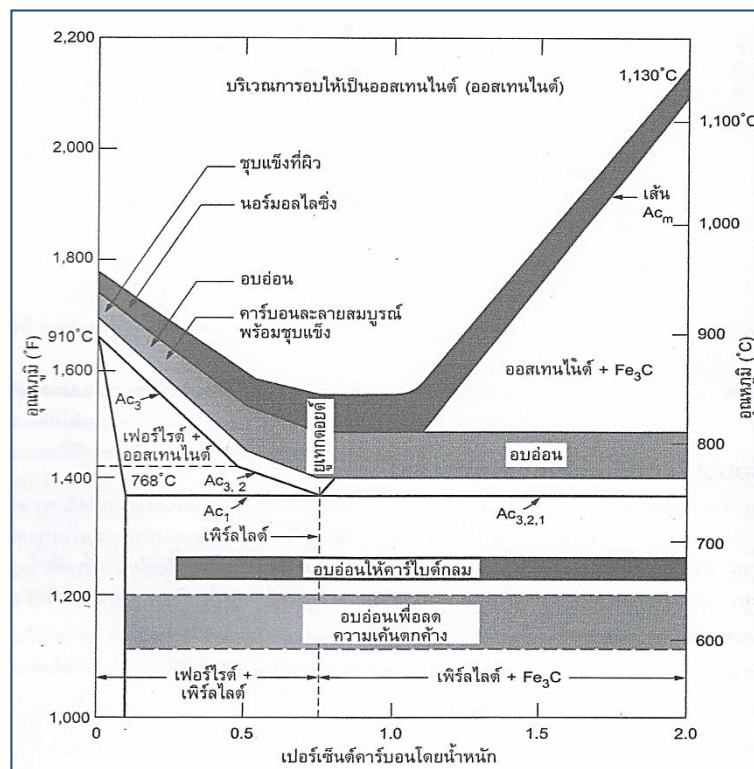
รูปที่ 2.24 วัสดุคมตัดแบบ CBN

2.6 การอบชุบความร้อนเหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าคาร์บอนมีสมบัติเด่นอย่างหนึ่งคือ สามารถเปลี่ยนแปลงระบบผลึกของตนเองได้เมื่อได้รับความร้อนหรือทำให้เย็นลง ซึ่งเราเรียกว่า สภาวะอัญรูป (allotropy) จากสมบัติที่ดีในข้อนี้ ทำให้เหล็กกล้าสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลโดยกระบวนการทางความร้อน (Heat treatment) ได้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นการทำให้เหล็กอ่อนขึ้นเพื่อขึ้นรูปได้ง่ายหรือการเพิ่มความแข็งแรงเพื่อทนทานการเสียดสี เป็นต้น กรรมวิธีการชุบเหล็กกล้าที่สำคัญๆ อาจจำแนกได้ดังต่อไปนี้ [14]

1. การอบอ่อน (annealing)
2. การอบนอร์มอลไลซ์ (normalizing)
3. การชุบแข็ง (hardening หรือ quenching)
4. การทำเทมเปอร์ (tempering)

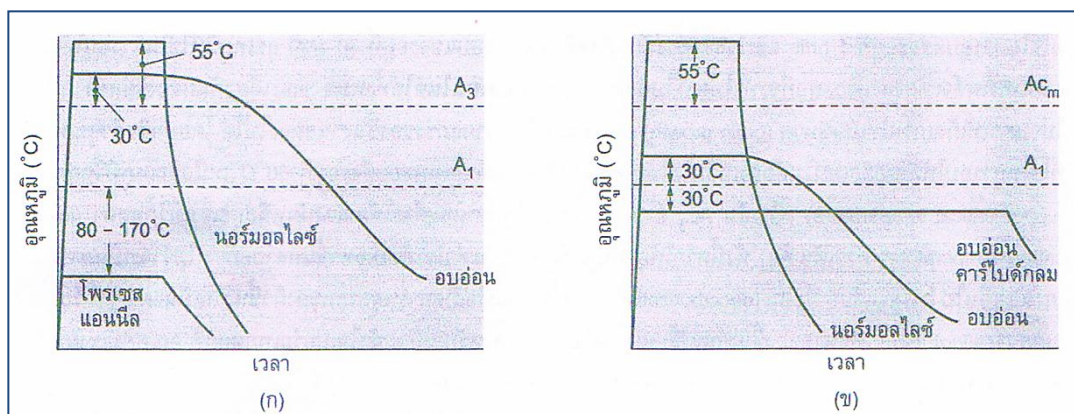
ในการอบชุบเหล็กกล้าคาร์บอนแต่ละชนิดที่มีส่วนผสมของคาร์บอนต่างกัน จะใช้ช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.25 จากรูปเราจะเห็นว่าเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์จะมีอุณหภูมิในการอบให้เป็นออสเทนไนต์เฟสเดียว (austenitizing) ที่ต่างกัน โดยเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ อุณหภูมิจะอยู่เหนือเส้น Ac_3 ไม่ว่าจะเป็นการอบให้เป็นออสเทนไนต์เพื่อการชุบแข็ง การอบนอร์มอลไลซ์ หรือการอบอ่อนก็ตาม ส่วนเหล็กกล้าไฮเพอร์ยูเทคตอยด์ อุณหภูมิในการอบให้เป็นออสเทนไนต์จะอยู่เหนือเส้น Ac_1 สำหรับการทำการอบอ่อนหรือการชุบแข็ง [14]



รูปที่ 2.25 ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ของการอบชุบความร้อนเหล็กกล้าคาร์บอน

2.6.1 การอบอ่อน

กระบวนการอบอ่อน (annealing) เป็นการให้ความร้อนกับเหล็กกล้าจนถึงอุณหภูมิออสเทนไนท์ซึ่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัวที่ช้าๆ วัตถุประสงค์ของการอบอ่อนทำเพื่อปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าที่ผ่านการขึ้นรูปต่างๆ เช่น ชี้นงานหล่อ การขึ้นรูปเย็น การขึ้นรูปร้อน ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อให้โครงสร้างมีความสม่ำเสมอ ลดความเค้นตกค้างที่มาจากการขึ้นรูป เป็นการเพิ่มความอ่อนและเหนียวให้กับเหล็กกล้า และเพิ่มความสามารถในการกลึงกัดให้ดีขึ้นอีกด้วย กระบวนการอบอ่อนที่นิยมใช้ประกอบไปด้วยการอบอ่อน (full annealing) การอบอ่อนให้คาร์ไบด์กลม (spheroidizing) โพรเซสแอนนีสลิ่ง (process annealing) และการอบอ่อนเพื่อลดความเค้น (stress relieving) รูปที่ 2.26 แสดงแผนภาพขั้นตอนการอบอ่อนวิธีต่างๆ และการอบนอร์มอลไลซ์ของเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์และไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ และช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแช่ [14]



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนการอบอ่อนและการอบนอร์มอลไลซ์ (ก) เหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ (ข) ไฮเปอร์ยูเทคตอยด์

1. การอบอ่อน (Full Annealing) เป็นการให้ความร้อนกับชิ้นงานจนถึงอุณหภูมิออสเทนไนท์ โดยเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์จะให้อุณหภูมิเหนือเส้น A₃ ประมาณ 30 °C (ดูรูปที่ 2.26) จากนั้นอบแช่ทิ้งไว้จนเหล็กกลายเป็นออสเทนไนต์ทั้งหมด แล้วปล่อยให้เย็นตัวช้าๆ ภายในเตา โครงสร้างจุลภาคที่ได้จะเป็นเฟิร์ลไลต์ชนิดหยาบ ซึ่งจะมีสมบัติที่อ่อนและเหนียว กลึงกัดได้ง่าย การปล่อยให้เย็นตัวอาจทำได้โดยปิดสวิตช์เตา แล้วรอให้อุณหภูมิตกลงต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตต่ำลงมา ช่วงหนึ่ง จากนั้นสามารถนำชิ้นงานออกมาจากเตาทำให้เย็นตัวในอากาศภายนอกได้ เพื่อลดเวลาการทำงาน โดยโครงสร้างที่ได้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างอื่นได้อีก [14]

2. การอบอ่อนเพื่อลดความเค้นตกค้าง (Stress Relieve Annealing) การอบอ่อนเพื่อลดความเค้นตกค้างเป็นการให้ความร้อนกับเหล็กกล้าที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตต่ำ และอบแช่ไว้ที่

อุณหภูมินี้ให้นานพอที่จะลดความเค้นตกค้าง (residual stress) ที่เกิดจากการขึ้นรูปเย็นหรือการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีทางความร้อนแบบอื่นมาให้หมดไป อัตราการเย็นตัวที่ให้อยู่หลังการอบแช่จะต้องไม่เร็วจนเกินไป เพราะจะเป็นสาเหตุของการทำให้เกิดความเค้นตกค้างขึ้นมาใหม่อีก สาเหตุของความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นกับเหล็กกล้ามีหลายสาเหตุ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการรีด การหล่อ การตีขึ้นรูป การตัดเฉือน การตัด หรือการเชื่อม ก็เป็นสาเหตุได้เช่นกัน [14]

เวลาในการอบแช่จะอยู่ที่ 1 hr/in และอัตราการเย็นตัวจะอยู่ระหว่าง 55°C/hr ถึง 100°C/hr ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอ่อนเพื่อลดความเค้นโดยทั่วๆ ไปจะอยู่ระหว่าง $500 - 650^{\circ}\text{C}$ ความร้อนที่ให้กับชิ้นงานจะเป็นตัวช่วยลดดิสโลเคชันและกลุ่มอะตอมที่บิดเบี้ยวมาจากการขึ้นรูปให้หมดไป

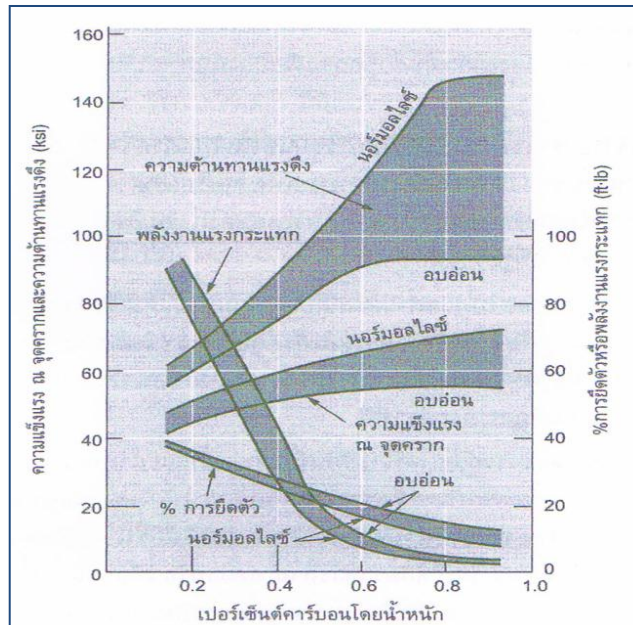
2.6.2 การอบนอร์มอลไลซ์

การอบนอร์มอลไลซ์ (normalizing) เป็นการให้ความร้อนกับเหล็กกล้าจนถึงอุณหภูมิออสเทนไนท์ ซึ่ง แล้วอบแช่ทิ้งไว้ จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง ความแตกต่างระหว่างนอร์มอลไลซ์กับการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์จะอยู่ที่อุณหภูมิออสเทนไนท์ซึ่งและอัตราการเย็นตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.26 โดยเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์อุณหภูมิออสเทนไนท์ซึ่งของการอบนอร์มอลไลซ์จะสูงกว่าการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ คือเหนือเส้น A_3 ขึ้นไปประมาณ 55°C แต่การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์จะสูงกว่า A_3 เพียง 30°C และกรณีเหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ อุณหภูมิการอบนอร์มอลไลซ์จะเหนือ A_{cm} แต่การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์จะใช้อุณหภูมิเหนือเส้น A_1 การปล่อยให้เหล็กเย็นตัวในอากาศจะมีอัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าการเย็นตัวในเตา ดังนั้น โครงสร้างที่ได้จะมีความละเอียดกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงสร้างเฟิร์ลไลต์ ความกว้างของแถบเฟอร์ไรต์และซีเมนไทต์จะแคบและสั้นลง ทำให้โครงสร้างละเอียด ความแข็งแรงมีมากขึ้นความสม่ำเสมอของเกรนจะมีมากขึ้น ดังนั้นการทำการอบนอร์มอลไลซ์จึงเหมาะกับการปรับปรุงโครงสร้างและการกระจายตัวของเกรนก่อนการชุบแข็ง ปกติแล้วกระบวนการนี้จะทำกับเหล็กกล้าที่ผ่านการหล่อขึ้นรูปมาและเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน ซึ่งเกรนที่ได้จะหยาบและไม่สม่ำเสมอ โครงสร้างไม่เป็นเนื้อเดียวกันสำหรับงานหล่อ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างให้สม่ำเสมอด้วยกระบวนการอบนอร์มอลไลซ์

2.6.3 การชุบแข็ง

1. การชุบแข็ง (quenching or hardening) เป็นการทำให้เหล็กกล้าเย็นตัวอย่างรวดเร็ว (rapid cooling) เพื่อเปลี่ยนสภาพไปเป็นโครงสร้างที่เราต้องการ กระบวนการชุบแข็งนี้จะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันความเหนียวจะลดลง โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากชุบแข็งโดยมากจะเป็นมาร์เทนไซต์หรือเบนไนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเหล็กที่เราต้องการ องค์ประกอบที่มี

ความสำคัญต่อการชุบแข็งเหล็กกล้าประกอบไปด้วยปริมาณคาร์บอน หากมีน้อยเกินไปจะทำให้อสเทนไนต์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ได้น้อย ประการที่สอง อุณหภูมิออสเทนไนท์ซึ่งต้องเหมาะสม หากอุณหภูมิต่ำไป โครงสร้างเฟอร์ไรต์หรือซีเมนไทต์อาจสลายตัวไปเป็น



รูปที่ 2.27 ผลของคาร์บอนและกระบวนการอบชุบที่มีต่อสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน

ออสเทนไนต์ไม่หมด หรือหากอุณหภูมิสูงไป ก็จะทำให้เกรนโตเกินขนาดที่ต้องการ และประการสุดท้าย อัตราการเย็นตัว หากอัตราการเย็นตัวต่ำกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต (CCR) จะทำให้ออสเทนไนต์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ไม่หมด ดังนั้นตัวแปรที่มีส่วนอย่างมากในการควบคุมอัตราการเย็นตัวคือสารชุบ (quenching media) ซึ่งต้องเลือกให้เหมาะกับชนิดของเหล็ก

อุณหภูมิในการอบให้เป็นออสเทนไนต์สำหรับการชุบแข็งจะอยู่เหนือเส้น A_3 ไปประมาณ $30 - 50^\circ\text{C}$ สำหรับเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ สำหรับเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยด์จะอยู่เหนือเส้น A_1 ขึ้นไปประมาณ $30 - 50^\circ\text{C}$ โดยไม่จำเป็นจะต้องให้อุณหภูมิสูงถึงเส้น A_{cm} ทั้งนี้เพราะที่เหนือเส้น A_{cm} จะทำให้เกรนโตเกินไป โครงสร้างที่ค้ำยหลังการชุบจะไม่ค้ำยทนแรงกระแทกน้อย และอาจเกิดการบิดงอหรือแตกร้าวได้ง่าย และที่สำคัญ ที่เหนือเส้น A_1 โครงสร้างของเหล็กจะประกอบไปด้วยออสเทนไนต์และคาร์ไบด์ซึ่งมีความแข็งในตัวอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องให้สลายตัวไปเป็นออสเทนไนต์แต่อย่างใด เพราะภายหลังจากการชุบแข็ง ออสเทนไนต์จะกลายไปเป็นมาร์เทนไซต์พร้อมกับมีคาร์ไบด์ฝังตัวอยู่ด้วยความแข็งก็จะเพิ่มขึ้น (คาร์ไบด์แข็ง $700 - 800\text{ HB}$ ส่วนมาร์เทนไซต์แข็ง $650 - 700\text{ HB}$) [14]

2. สารชุบ (Quenching Media) เป็นตัวกลางผ่านความร้อนจากชิ้นงานให้หมดไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นสมบัติของสารชุบต้องให้อัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต เพื่อป้องกันการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์ไปเป็นโครงสร้างอื่นที่ไม่ใช่มาร์เทนไซต์

2.1 น้ำ เป็นสารชุบที่หาง่าย ราคาต่ำ นิยมใช้กับการชุบแข็งเหล็กกล้าทั่วๆไปที่เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไม่สูงนัก ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจุ่มชิ้นงานลงในน้ำ ช่วงแรกจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากการเกิดไอน้ำปกคลุมชิ้นงาน เมื่อไอน้ำแตกออก ก็จะให้อัตราการเย็นตัวที่สูงมาก ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการทำให้เกิดความเค้นตกค้างจนชิ้นงานเกิดการบิดงอและแตกร้าวได้ ไม่เหมาะกับงานที่รูปร่างซับซ้อน

2.2 น้ำเกลือ เป็นสารชุบที่ประกอบไปด้วยน้ำและเกลือโซเดียมหรือแคลเซียมคลอไรด์ โดยปกติจะมีส่วนผสมของโซเดียมคลอไรด์ประมาณ 10% น้ำเกลือจะให้อัตราการเย็นที่สูงกว่าน้ำ และขณะจุ่มชุบจะเกิดไอน้ำปกคลุมผิวงานน้อยกว่าน้ำ เหมาะกับการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและชิ้นงานรูปร่างไม่ซับซ้อน ปัญหาของน้ำเกลือคือความเค็มที่กัดกร่อนชิ้นงานได้ ดังนั้นต้องมีวิธีการป้องกันปัญหาดังกล่าวที่ดี

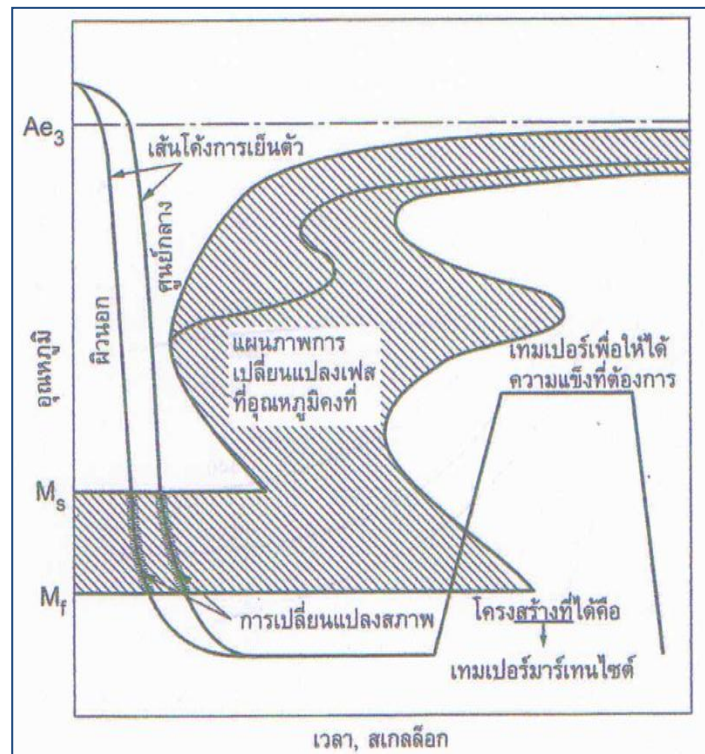
2.3 น้ำมัน เป็นสารชุบที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำและน้ำเกลือ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการชุบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ การถ่ายเทความร้อนจะมีความสม่ำเสมอ ทำให้เกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงานน้อย งานที่รูปร่างซับซ้อนจะชุบในน้ำมันได้ดี หากต้องการให้น้ำมันถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น จะต้องอุ่นน้ำมันให้ร้อนในช่วงอุณหภูมิ 50 – 80 °C ความหนืดของน้ำมันจะลดลง และให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น ปัญหาของน้ำมันจะอยู่ตรงไอน้ำที่เกิดการเผาไหม้ที่มีกลิ่นเหม็นและเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งต้องมีการป้องกันเป็นอย่างดี

2.4 อากาศ เป็นสารชุบที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หากต้องการให้มีอัตราในการเย็นตัวสูง จะต้องมีการเป่าให้อากาศเคลื่อนไหว สารชุบที่เป็นอากาศนี้จะให้อัตราการเย็นตัวที่ช้า เหมาะกับเหล็กเครื่องมือและเหล็กผสมมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา [14]

2.6.4 การทำเทมเปอร์ (Tempering)

โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ได้จากการชุบแข็งมานั้นจะมีสมบัติที่แข็งและเปราะ อีกทั้งอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วจะทำให้เกิดความเครียดขึ้นภายใน ส่งผลให้เหล็กขาดความเหนียว ไม่ทนต่อแรงกระแทก อาจแตกร้าวภายหลังการใช้งานได้ ดังนั้นต้องมีการนำเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาทำการทำเทมเปอร์เพื่อคลายความเครียดให้หมดไป ขณะเดียวกันก็จะทำให้ความแข็งที่มีสูงเกินไปจนเปราะ ได้ลดลงขณะที่ความเหนียวเพิ่มขึ้น การทำเทมเปอร์เป็นการให้ความร้อนกับเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A_1 อบแช่ทิ้งไว้ที่เวลา 1 hr/in จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวช้าๆ ภายในเตาหรือในอากาศโครงสร้างที่ได้จะเป็นการปรับตัวของโครงสร้างมาร์เทนไซต์ให้อยู่ในสภาวะกึ่งสมดุลซึ่งเรียกว่า เทมเปอร์มาร์

เทนไซด์ (tempered martensite) รูปที่ 2.28 แสดงขั้นตอนการการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบนแผนภาพ I-T ของการชุบแข็งและทำเทมเปอร์เหล็กกล้า ซึ่งโครงสร้างที่ได้จะเป็นเทมเปอร์มาเทนไซด์



รูปที่ 2.28 ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบนแผนภาพ I-T ของการชุบแข็งและทำเทมเปอร์

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลขณะทำการทำเทมเปอร์จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลา ความเค้นตกค้าง (residual stress) เกิดขึ้นจากการชุบแข็งเนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่สูง เมื่อนำชิ้นงานมาทำเทมเปอร์ ความเค้นดังกล่าวจะลดลงยิ่งอุณหภูมิในการทำเทมเปอร์สูงขึ้น เฟอร์เซ็นต์ความเค้นตกค้างก็จะลดลงมากขึ้นด้วย การทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิต่ำๆ ที่ 150°C จะช่วยลดความเปราะของเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งลงได้โดยไม่ทำให้ความแข็งของเหล็กเปลี่ยนแปลงไป [14]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eyup Bagci, และคณะ [6] ได้ศึกษาปัจจัยที่จะทำให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุดในการกัดเหล็ก cobalt - based alloy (satellite 6) ด้วยระยะป้อนลึก 3 ระดับ ได้แก่ 0.25, 0.5 และ 0.75 มิลลิเมตร, ความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 50, 70 และ 90 เมตรต่อนาที และอัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาทีตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองปรากฏว่าทั้งสามปัจจัยมีผลต่อความเรียบผิว

บุทรศักดิ์ ทวีอักษรพันธ์ [7] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอในการกลึงเหล็กหล่อขาวโครเมียมสูง Cr 2828 ด้วยมีดกลึงเซรามิก สภาพหล่อความแข็งอยู่ระหว่าง 54 ± 2 HRC ด้วยมีดกลึงเซรามิกโดยใช้การสึกหรอของผิวหลบสูงสุด (VB max = 0.6 มิลลิเมตร) ในการกำหนดอายุการใช้งานของมีดกลึงตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 120, 160 และ 200 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 0.05, 0.075 และ 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อนลึก 3 ระดับ ได้แก่ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลองปรากฏว่าทั้งสามปัจจัยมีผลต่อการสึกหรอของมีดกลึงเซรามิก คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนและระยะป้อนลึกที่ต่ำ การสึกหรอของมีดกลึงเซรามิกจะน้อยในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็ว ตัด อัตราป้อนและระยะป้อนลึก การสึกหรอของมีดกลึงเซรามิกก็จะมากขึ้นตาม

J.M. Vieira และคณะ [8] ได้ศึกษาเรื่อง Performance of cutting fluid during face milling of steels เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้น้ำมันตัดเฉือนในงานกัดผิวราบเหล็กเหนียว ซึ่ง ประกอบด้วย น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ น้ำมันกึ่งสังเคราะห์และน้ำมันสังเคราะห์ การ กัด ผิวราบ เหล็ก เหนียว AISI 8640 โดยใช้มีดคาร์ไบด์เคลือบผิวเปรียบเทียบกับงานกัดแบบแห้งเพื่อวิเคราะห์หาอายุการใช้ 32 งานของมีด กำลังงานที่ใช้ในการตัดเฉือนและความเรียบผิวงานรวมทั้งศึกษาความสามารถในการหล่อเย็นของน้ำมันตัดเฉือน อุณหภูมิระหว่างการตัดเฉือนของวัสดุเหล็ก AISI 1020 โดยวิธีการใช้เทอร์โมคัปเปิล จากการทดลองพบว่า เมื่อตัดเฉือนแบบแห้งจะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคือ การใช้ น้ำมันสังเคราะห์ น้ำมันแบบผสมน้ำ และน้ำมันกึ่งสังเคราะห์ ตามลำดับ ส่วนกำลังที่ใช้ในการตัดเฉือนจะเป็นส่วนกลับผกผันกับอุณหภูมิส่วนอายุการใช้งาน ได้สูงที่สุดคือ การตัดเฉือนแบบแห้ง รองลงมาคือแบบสังเคราะห์และกึ่งสังเคราะห์ตามลำดับ การกะเทาะของคมตัดจะมีลักษณะเป็นแบบซี่คล้ายหวี ส่วนความเรียบผิวงานนั้น การตัดเฉือนแบบแห้งจะมีผิวงานที่ค่อนข้างเรียบกว่าการใช้น้ำมันตัดเฉือนแบบ อื่น ๆ

สุเทพ คงทัน [5] ศึกษาสมบัติการเป็นน้ำมันตัดเฉือนในการกลึง โดยการใช้ น้ำมันพืชที่ไม่มีการเติมแต่งด้วยสารเคมี เปรียบเทียบกับน้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ ที่มีการใช้งานอยู่โดยทั่วไป ข้อมูลที่ทำการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบได้แก่ ขนาดของแรงตัดเฉือน ความเรียบผิวงาน และการสึกหรอของมีดตัด ขนาดของความเร็วตัดอยู่ในช่วง 20 ถึง 38 เมตรต่อนาที วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กเหนียว และวัสดุมีดกลึงเป็นเหล็กความเร็วรอบสูง จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ความเร็วตัดต่ำกว่า 30 เมตรต่อนาที การใช้ น้ำมันพืชเป็นน้ำมันตัดเฉือน ให้ค่าแรงตัดเฉือนและการสึกหรอของมีดตัดต่ำกว่า การใช้ น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ ส่วนความเรียบผิวงานมีค่าใกล้เคียงกัน สาเหตุเนื่องจากการมีสมบัติ ของ การหล่อลื่นที่ดีของน้ำมันพืช และความสามารถในการไหลแทรกเข้าไปถึงผิวสัมผัสของชิ้นงาน และใบมีดตัดที่ดีที่ความเร็วตัดต่ำ

ปัญญาคม เจริญไชย [9] ได้ศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำมันพืชและน้ำหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ ที่มีต่องานกลึงเหล็กเครื่องมือ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและการสึกหรอของของมีดกลึง โดยใช้วิธีการกลึงปอกชิ้นงาน มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย สารหล่อเย็น ความเร็วตัด และ อัตราป้อน ตัวแปรตามคือคุณภาพของผิวงานและการสึกหรอของมีดกลึง เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย เครื่องกลึง ยันศูนย์ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เครื่องทดสอบหาความเรียบผิว และอุปกรณ์หาการสึกหรอมีดกลึง ชิ้นงานทดลองคือ เหล็กเครื่องมือ AISI 4140 ผลการศึกษาพบว่า สารหล่อเย็นไม่มีอิทธิพลต่อผลต่อการสึกหรอของมีดกลึง ความเร็วตัดมีอิทธิพลต่อความเรียบ อย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ความเร็วตัดมีอิทธิพลต่อการสึกหรอของมีดกลึง มุมเลี้ยวของดอกตัดเกลียวไม่มีผลต่อการสึกหรอของดอกตัดเกลียว อย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อัตราป้อนมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว และการสึกหรอของมีดกลึงอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05