

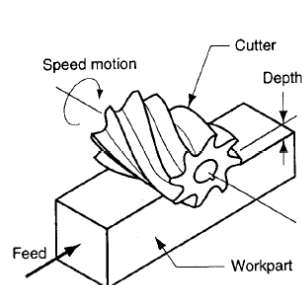
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัด ในการกัดทองเหลืองผสม โดยใช้น้ำมันตัด เหนือแบบผสมน้ำและน้ำมันพืช ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้าเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

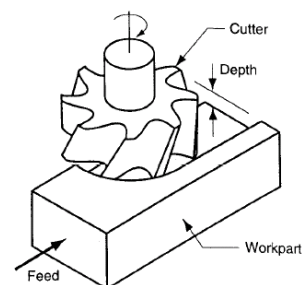
- 2.1 งานกัด
- 2.2 อิทธิพลที่มีต่อการตัดเนื้อโลหะ
- 2.3 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด
- 2.4 การสึกหรอของมีดกัด (Tool Wear)
- 2.5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสึกหรอคมตัดตามมาตรฐาน ISO 3685 :1993
- 2.6 อายุของมีดกัด (Tool Life)
- 2.7 ความเรียบของผิวงาน
- 2.8 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงาน
- 2.9 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steels)
- 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานกัด

Milling เรียกเป็นภาษาไทยว่า การกัด ซึ่งหมายถึงการใช้เครื่องมือตัด (ที่เรียกว่า Milling Cutter ดอกกัด) ที่หมุนรอบตัวเองอยู่กับที่ตัดเนื้อวัสดุ จากลักษณะดังกล่าว จึงเกิดการกัดขึ้น 2 ชนิดใหญ่ คือ งานกัดในแนวนอน (Peripheral Milling) และงานกัดงานในแนวตั้ง (Face Milling) ดังรูปที่ 2.1 [4]



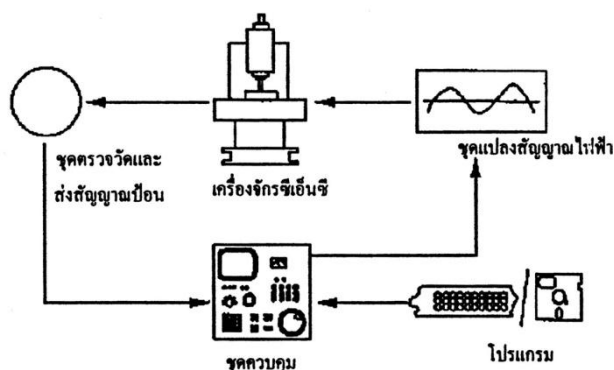
งานกัดในแนวนอน (Peripheral Milling)



งานกัดงานในแนวตั้ง (Face Milling)

รูปที่ 2.1 ลักษณะของการกัด [4]

เครื่องจักรกลซีเอ็นซี (CNC) ซึ่งย่อมาจาก Computer Numerical Control หมายถึง การใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมการทำงาน ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจตัวเลขและตัวอักษรหรือโปรแกรมที่ป้อนและขณะเดียวกัน จะใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมเครื่องจักรจากคำสั่ง หรือโค้ดในโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป โดยโปรแกรดังกล่าวสามารถป้อนเข้าคอมพิวเตอร์โดยใช้เป็นพิมพ์ สื่อบันทึกความจำ เช่น ฮาร์ดดิสก์ ระบบสื่อสารเชื่อมโยงข้อมูล เช่น สายส่งสัญญาณ RS 232 [4]

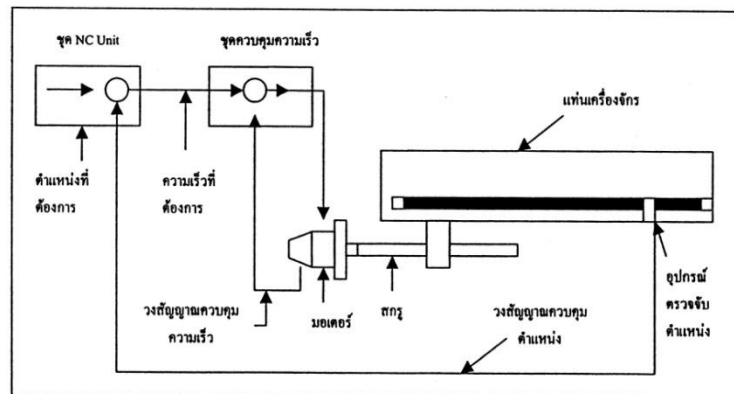


รูปที่ 2.2 หลักการของเครื่องจักร CNC [4]

2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับคำสั่งเป็นภาษาที่ระบบควบคุมเข้าใจได้เสียก่อนว่าจะให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีทำอะไร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Key Board) หรือเทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape) เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงานโดยอาศัยมอเตอร์ป้อน (Feed Moter) เพื่อให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ได้ เช่น เครื่องกลึงซีเอ็นซี ก็จะมีมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ 2 ตัว หรือเครื่องกัดซีเอ็นซีจะมีมอเตอร์ป้อน 3 ตัว จากนั้นระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้ว ก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อย ไม่สามารถไปหมุนขับให้มอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive Amplified) และส่งสัญญาณต่อไปยังมอเตอร์ป้อนแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ ตามที่โปรแกรมกำหนด ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน จะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้เนื่องจากระบบควบคุมซีเอ็นซีไม่สามารถมองได้ ซึ่งจะแตกต่างกับช่างควบคุมเครื่องจักรที่อาศัยสายตามองดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงาน ก็จะรู้ว่าต้องเลื่อนแท่นเลื่อนไปอีกเป็นระยะทางเท่าใด ดังนั้น จึงต้องออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถจะบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมได้รู้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่าระบบวัดขนาด (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Liner Scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับ

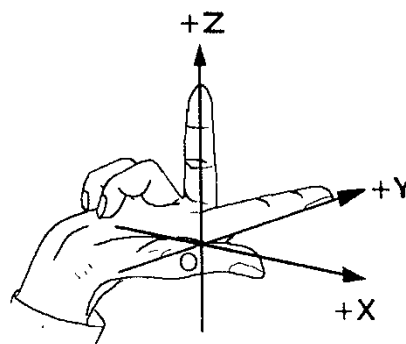
ระยะทางที่แท่นเคลื่อนเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเคลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใด จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าว ทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างและรูปทรงให้มีขนาดตามที่ต้องการได้ เนื่องจากการสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป จึงทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในที่ [4]



รูปที่ 2.3 หลักการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล CNC [4]

2.1.2 กฎมือขวาของระบบแนวแกน

เมื่อถ่างนิ้วมือขวา ทั้ง 3 นิ้วให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน นิ้วทั้ง 3 นิ้วจะแทนแกนในระบบแนวแกนต่อไปนี้



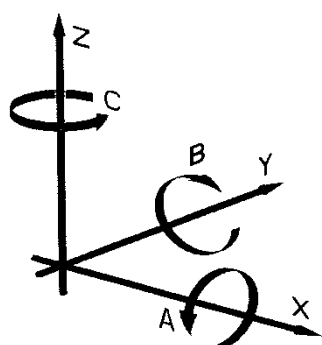
- นิ้วหัวแม่มือ แทนแกน X
- นิ้วชี้ แทนแกน Y
- นิ้วกลาง แทนแกน Z

รูปที่ 2.4 หลักการของกฎมือขวา [4]

โดยมีจุด O คือจุดศูนย์ (หรือจุด Origin) เป็นจุดตัดของทั้ง 3 แกน หรือตำแหน่งที่มีค่า $X = 0.0$, $Y = 0.0$ และ $Z = 0.0$ หรือ $(X, Y, Z) = (0, 0, 0)$

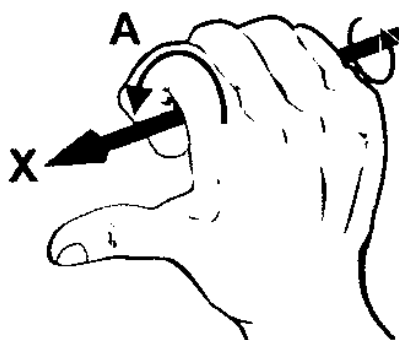
ตามมาตรฐานสากล ทั้งเครื่องกลึงและเครื่องกัด จะให้ทิศทางบวกของแกน Z อยู่ในแนวเดียวกับแกนของสปินเดิลของเครื่องจักร การทำงานของเครื่องจักรเป็นการเคลื่อนที่ของทุลเทียบกับแกน

หรือโคออร์ดิเนต ที่กำหนดบนชิ้นงาน สำหรับเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ผสมทั้งการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น (Linear Motion) หรือเคลื่อนที่ตามแนวความยาวของแกน X , Y , Z และ การเคลื่อนที่แบบเชิงมุม (Angular Motion) หรือ โคออร์ดิเนต A , B และ C โดยทิศทางของการเคลื่อนที่เชิงมุมจะเทียบกับแกน X , Y , Z [4]



โดยที่ โคออร์ดิเนต A เป็นการหมุนรอบแกน X
 โคออร์ดิเนต B เป็นการหมุนรอบแกน Y
 โคออร์ดิเนต C เป็นการหมุนรอบแกน Z

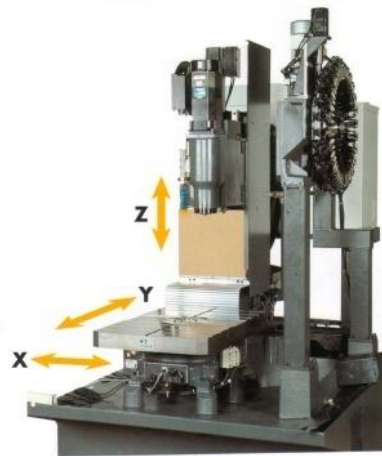
รูปที่ 2.5 โคออร์ดิเนตของการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง X , Y , Z และการเคลื่อนที่เชิงมุม A , B , C [4]



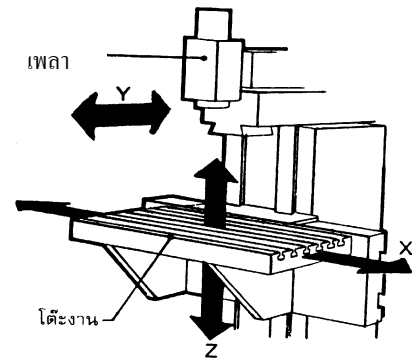
รูปที่ 2.6 หลักการของกฎมือขวาในการกำหนดทิศทางบวกของมุม A หมุนรอบแกน X [4]

2.1.3 แกนและทิศทางของเครื่องกัดซีเอ็นซี

เครื่องกัด CNC นั้น จะประกอบไปด้วยแนวแกน X เป็นแนวแกนที่ทำให้โต๊ะงาน (Table) นั้นเคลื่อนที่ตัดขวางกับแนวแกนของสปินเดิล ส่วนแนวแกน Y เป็นแนวแกนที่ทำให้โต๊ะงาน (Table) นั้นเคลื่อนที่เข้า – ออกในแนวตั้งฉากหรือตัดขวางกับแนวแกน X และแนวแกน Z ส่วนใหญ่จะเป็นแนวแกนการเคลื่อนที่ขึ้น – ลงของสปินเดิล [4]



รูปที่ 2.7 แนวแกนการเคลื่อนที่เครื่องกัด CNC [4]



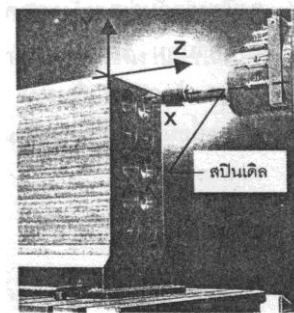
รูปที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโต๊ะงาน

และสปีดเดิน ของเครื่องกัด CNC [4]

ถ้าเป็นเครื่องกัดแนวอน ส่วนใหญ่แนวแกน Z เป็นการเคลื่อนที่เข้าออกของทูลเมื่อเทียบกับชิ้นงาน ในแนวอนทิศทางบวกชี้เข้าหาสปีดซึ่งติดตั้งอยู่ในแนวอน โดยมีแนวแกน X เป็นการเคลื่อนที่ตัดขวางกับชิ้นงาน หรือไปทางซ้าย - ขวา แกน Y เป็นการเคลื่อนที่ขึ้นลง [4]



รูปที่ 2.9 เครื่องกัด CNC แนวอน [4]

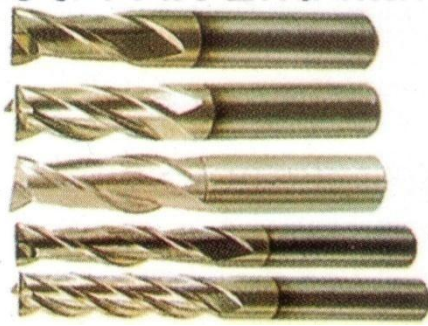


รูปที่ 2.10 แนวแกนเครื่องกัด CNC แนวอน [4]

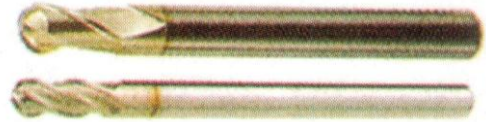
2.1.4 เครื่องมือตัดสำหรับเครื่องซีเอ็นซี

เอนด์มิลล์ (End Mill) เป็นเครื่องมือตัดที่ใช้สำหรับเครื่องกัดเพลาตั้ง วัสดุที่ใช้ทำเอนด์มิลล์นั้นมีทั้งทำจากเหล็กกล้ารอบสูง(HSS)และ คาร์ไบด์ (Carbide) ซึ่งในกระบวนการตัดเนื้อผิวชิ้นงานด้วยเอนด์มิลล์นั้นอาศัยคมตัดตรงปลายและคมตัดด้านข้าง ในการขึ้นรูปชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้หลายลักษณะ เช่นการกัดส่วนที่เป็นเบ้าหรือส่วนที่เป็นคอรันก็ก็ได้ ดอกกัดเอนด์มิลล์มีหลายลักษณะ

เช่น เอนด์มิลล์ปลายแบนหน้าตัดตรง แบบปลายครึ่งวงกลม และแต่ละชนิดยังแบ่งดอกกัดออกได้เป็น ดอกกัดหยาบและดอกกัดละเอียด [4]



รูปที่ 2.11 เอนด์มิลล์แบบปลายหน้าตัดตรง [4]



รูปที่ 2.12 เอนด์มิลล์แบบปลายครึ่งวงกลม [4]

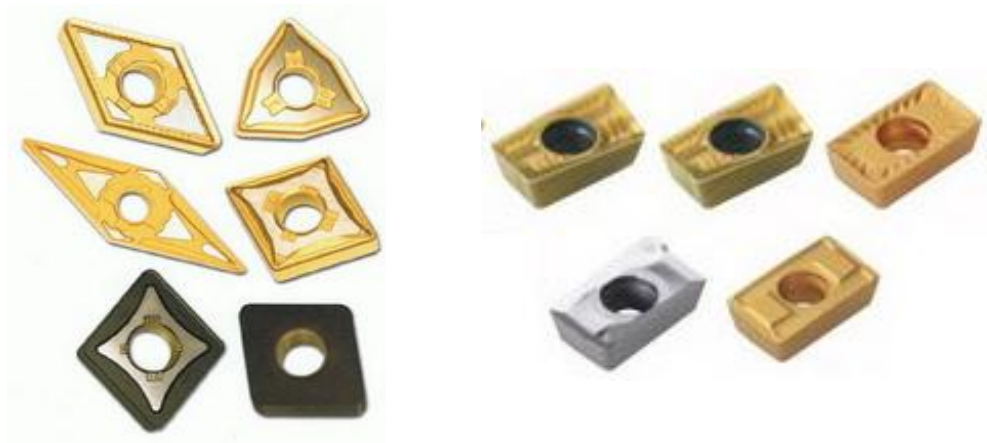
เฟซมิลล์ (Face Mill) เป็นเครื่องมือตัดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานปาดผิวของชิ้นงาน เฟซมิลล์ที่ใช้สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีนั้น ส่วนมากจะเป็นแบบอินเสิร์ต ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนอินเสิร์ตได้ เฟซมิลล์ยังมีรูปร่างลักษณะและรูปทรงที่แตกต่าง ดังนั้นการเลือกใช้งานจึงควรพิจารณาถึงรูปร่างและวัสดุของชิ้นงานด้วย ส่วนรายละเอียดของเฟซมิลล์เราสามารถดูได้จากคู่มือการเลือกใช้งานของบริษัทผู้ผลิต [4]



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของเฟซมิลล์สำหรับปาดผิวชิ้นงาน [4]

มิลคาร์ไบด์ (Carbide) เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ส่วนใหญ่จะเป็น คาร์ไบด์ (Carbide) เนื่องจากคาร์ไบด์ (Carbide) เมื่อเกิดการสึกหรอหลังการใช้งาน ไม่ต้องถอดออกไปลับคม ตัดใหม่ ซึ่งจะไม่เหมือนกับมิลตัดที่ทำจากเหล็กคาร์บอนและเหล็กความเร็วสูง High Speed Steel (HSS) ซึ่งคมตัดจะอยู่ติดที่ตัวด้ามมิล เมื่อเวลาใช้ไปแล้วเกิดการสึกหรอจะต้องถอดออกจากป้อมทูลแล้วนำไปลับคมตัดใหม่แล้วจึงนำกลับมาประกอบกับป้อมทูลอีกครั้ง โดยจะสูญเสียเวลาในการปฏิบัติ

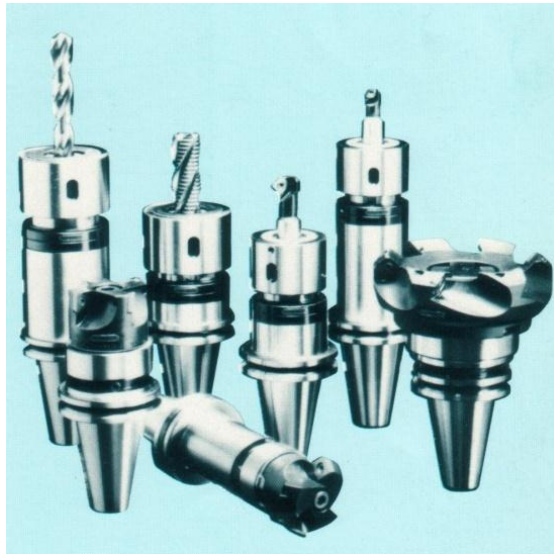
งานมาก จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนามีดตัดแบบมิดคาร์ไบด์ (Carbide) ซึ่งแยกมิดตัดออกจากด้ามมิด ในหนึ่งมิดคาร์ไบด์ (Carbide) ระบายด้วยคมตัดหลาย ๆ คมขึ้นอยู่กับรูปร่างของเม็ดมิด เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยมจะมีคมตัด 8 คม และรูปร่างสามเหลี่ยมจะมีคมตัด 6 คม เป็นต้น วิธีการผลิตมิดคาร์ไบด์ (Carbide) นั้นจะขึ้นรูปด้วยวิธีการ Sinter [4]



รูปที่ 2.14 รูปร่างของมิดคาร์ไบด์ (Carbide) แบบต่างๆ [4]

2.1.5 อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี

ระบบการเปลี่ยนเครื่องมืออัตโนมัติ นั้นจะเป็นระบบที่ให้ความสะดวก และง่ายต่อการปฏิบัติงานของช่างควบคุมเครื่องก็จริง แต่ก็จำเป็นที่จะต้องอาศัยอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ (Tools Holder) เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือจะต้องเลือกให้ถูกต้องและมีความเหมาะสมกับเครื่องมือตัดแต่ละชนิดด้วย ในปัจจุบันระบบรูเพลลาของเครื่องกัดซีเอ็นซี (Spindle) และอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ นั้นจะมีขนาดที่เป็นมาตรฐานซึ่งสามารถเลือกใช้โดยดูจากคู่มือของบริษัทผู้ผลิต แต่สิ่งสำคัญจะลืมไม่ได้ คือ จะต้องเลือกให้มีขนาดและมาตรฐานเดียวกันกับรูเพลลาของเครื่องจักรที่ใช้งานอยู่เท่านั้น นอกเหนือจากนี้แล้ว ในการจับยึดเครื่องมือตัดบางชนิด อาจมีความจำเป็นที่จะต้องปลดกจับ (Collet) มาช่วย เช่น เอ็นด์มิลล์ ดอกตัดाप เป็นต้น โดยที่ลักษณะของปลดกจับจะมีหลายขนาด ให้เลือกใช้ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องมือตัดที่จะนำมาใช้ [4]



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือตัดสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบต่างๆ [4]



รูปที่ 2.16 ปลอกจับ (Collet) เครื่องมือตัดขนาดต่างๆ [4]

2.2 อิทธิพลที่มีต่อการตัดเฉือนโลหะ

ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องมีความรู้ในทฤษฎีของการตัดเฉือน พิจารณาความเร็วรอบ (Speed) , ความเร็วตัด (Cutting Speed) , อัตราป้อน (Feed Rate) และระยะป้อนลึก (Depth of Cut) ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับเครื่องจักรด้วยและข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลทางด้านเทคนิคของวัสดุชิ้นงาน ข้อมูลทางด้านเทคนิคของวัสดุมีดตัด เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดอินเลิร์ตและยังรวมไปถึงคุณภาพผิวของชิ้นงานเพราะจะต้องคำนวณค่าต่างๆเพื่อที่จะนำไปลงในโปรแกรม CNC เพื่อที่จะนำข้อมูลไปป้อนลงในเครื่อง ต่อไป [4]

2.2.1 ความเร็วรอบของเพลาชับหรือเพลางาน (Spindle Speed)

การหาความเร็วรอบของเพลางานกลึง งานกัด และ งานเจาะ

จากสูตร

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad \text{เราจะได้} \quad n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (2.1)$$

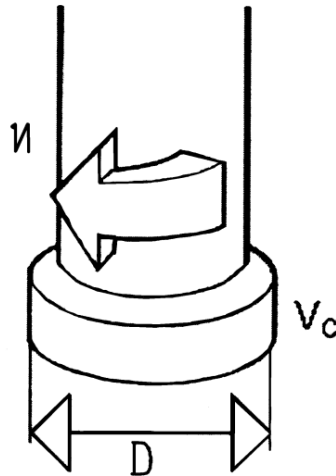
กำหนดให้

V_c = ความเร็วตัด เมตร / นาที

D = Ø ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลางาน มิลลิเมตร

n = ความเร็วรอบของเพลางาน รอบ / นาที (rev / min)

π = ค่าพาย เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14



รูปที่ 2.17 ความเร็วรอบของเพลานในงานกัดและงานเจาะ [4]

2.2.2 การหาอัตราป้อนของเครื่องมือตัดของงานกลึง งานกัด

อัตราป้อนเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพผิวของชิ้นงาน และยังรวมไปถึงระยะเวลาในการตัดเฉือนชิ้นงานอีกด้วย โดยทั่วไปอัตราป้อนที่ใช้เป็นข้อมูลในการตัดเฉือนในเครื่องจักรแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ

- อัตราป้อนต่อรอบ (Feed per Revolution)
- อัตราป้อนต่อฟัน (Feed per Tooth)
- อัตราป้อนของโต๊ะงานหรือความเร็วโต๊ะงาน (Table Feed)

ในงานกัดบนเครื่องกัด CNC เรามักจะนิยมใช้ อัตราป้อนแบบ ความเร็วของโต๊ะงาน ดังนั้นอัตราป้อนจะสามารถคำนวณได้ จากสูตร

$$f = f_n \cdot n \cdot z \quad \text{งานกัด} \quad (2.2)$$

f_n	คือ อัตราป้อนต่อรอบ	มิลลิเมตร / รอบ
f	คือ ความเร็วของโต๊ะงาน	มิลลิเมตร / นาที
n	คือ ความเร็วรอบของเพลางานกัด	รอบ / นาที
z	คือ จำนวนฟันของเครื่องมือตัด	

หรือจะหาได้จากสูตร

* สำหรับงานกัด ค่า F และค่า S สัมพันธ์กันจากสมการ

$$\text{ค่าฟีด } F \text{ (mm/rev)} = \text{ค่าฟีด } F \text{ (mm/tooth)} \times \text{จำนวนคมตัดของทูล (z)}$$

$$\text{หรือ } F \text{ (mm/rev)} = z \cdot F \text{ (mm/tooth)} \quad (2.3)$$

$$\text{ค่าฟีด } F \text{ (mm/min)} = \text{ค่าฟีด } F \text{ (mm/rev)} \times \text{ค่าความเร็วรอบของสปินเดิล } n \text{ (rev/min)}$$

$$\text{หรือ } F \text{ (mm/min)} = n \text{ (mm/rev)} \cdot F \text{ (mm/rev)} \quad (2.4)$$

2.2.3 อัตราป้อน

ของโต๊ะงานหรือความเร็วโต๊ะงาน (Table Feed) เป็นความเร็วของโต๊ะงานในงานกัด หรือชุดจับยึดทูลในงานกัด

2.2.4 การหาระยะป้อนลึกที่เหมาะสมในการทำงาน (Depth of Cut)

ระยะป้อนลึกที่เหมาะสมนั้น จะมีผลต่อการทำงานเป็นอย่างมาก ถ้าเราเพิ่มระยะป้อนลึกในการทำงาน ชิ้นงานที่ผลิตนั้นก็ใช้เวลาในการทำงานที่น้อยกว่า แต่คุณภาพผิวหรือความเที่ยงตรงในการทำงานนั้นจะมีค่าที่มากเกินไปกว่าที่จะยอมรับได้ แต่ถ้าเราใช้เวลาในการป้อนลึกน้อย ๆ ในการ

ทำงาน คุณภาพผิวจะดีขึ้น แต่ระยะเวลาในการทำงานก็จะยาวนานขึ้นและยังทำให้อัตราการสึกหรอของ ทูลเพิ่มขึ้นอีกด้วย [5]

2.3 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นเครื่องมือตัด (Tool Materials) เช่น มีดกลึง และมีดกัด ที่ใช้ทำการตัดเฉือนโลหะ จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่มีความแข็ง ทนความร้อนที่อุณหภูมิสูง ทนต่อแรงกดและแรงดัดงอ ทั้งนี้เพราะในขณะที่เกิดการตัดเฉือนจะมีแรงต้านจากโลหะ อีกทั้งยังต้องมีความคงทนต่อความร้อนและทนต่อการสึกหรอสูง เนื่องจากในขณะที่ทำการตัดเฉือนโลหะ จะเกิดการเสียดสีกันระหว่างมีดกัดกับเนื้อโลหะทำให้เกิดมีความร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งถ้าวัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดไม่มีความสามารถในการต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้วัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากที่แข็ง และใช้ในการตัดเฉือน อาจกลายเป็นวัสดุที่อ่อนได้ จะเห็นได้ว่าวัสดุเครื่องมือตัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานตัดเฉือนโลหะ นอกจากวัสดุในการทำเครื่องมือตัดเฉือนแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการตัดเฉือนโลหะอีก เช่น อัตราป้อน ความเร็วรอบ และรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือตัด [5]

2.3.1 วัสดุหลักที่ใช้ในการทำเครื่องมือตัดต่างๆ

2.3.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) ใช้กันในช่วงที่ยังไม่มีการค้นพบเหล็กกล้าความเร็วสูง โดยวัสดุนี้จะมีปริมาณคาร์บอน 0.8%–1.20% จึงสามารถทำการชุบแข็งได้ดีและด้วยกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมอาจเพิ่มความแข็งของมันจนมีค่าใกล้เคียงกับเหล็กกล้าความเร็วสูงต่างๆ หรืออาจทำให้มีความเหนียวแน่นได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามเหล็กกล้านี้มีความสามารถในการชุบแข็งหรือความลึกในการชุบแข็งต่ำและจะสูญเสียความแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศา ดังนั้นจึงถูกจำกัดใช้เฉพาะเครื่องมือตัดขนาดเล็ก และไม่เหมาะสมในการตัดด้วยความเร็วสูงหรือใช้ในงานหนัก แต่จะใช้ในการปฏิบัติกับวัสดุอ่อน

2.3.1.2 เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel : HSS) เหล็กกล้าความเร็วสูงหรือเหล็กโรบสูงจะมีส่วนประกอบของโลหะผสมสูง มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถรักษาสภาพของคมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิประมาณ 650 องศา ซึ่งสภาพนี้เป็นคุณสมบัติในด้านความต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงหรือความแข็งขณะร้อนแดง (Red Hardness) อันเป็นคุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุดในการตัดต่างๆ โดยเหล็กกล้าทำเครื่องมือตัดชนิดแรกที่มีคุณสมบัติดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นโดย Frederick W. Taylor และ M. White ในปี ค.ศ. 1900 ซึ่งทำโดยการเติมทั้งสแตน 18%

และโครเมียม 5.5% ลงเป็นธาตุผสมในเหล็กกล้า ส่วนผสมนี้สืบทอดมาจนถึงปัจจุบันโดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากธาตุผสมข้างต้นแล้ว ธาตุอื่นที่ใช้กันโดยปกติได้แก่ วานาเดียม โมลิบดีนัมหรือพลวงและคาร์บอน อนึ่งแม้ว่าเหล็กกล้าความเร็วสูงมีส่วนผสมแปรเปลี่ยนไปได้มาก

2.3.1.3 โลหะผสมหล่อนอกกลุ่มเหล็ก (Cast Nonferrous Alloy) โลหะผสมนอกกลุ่มเหล็กจำนวนมากประกอบด้วยส่วนผสมหลัก โครเมียม โคบอลต์และทังสเตนกับธาตุผสมในปริมาณน้อยกว่าตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปที่มีการสร้างรูปแบบคาร์ไบด์ เช่นแทนทาลัมหรือโบรอน ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมเป็นพิเศษสำหรับทำเครื่องมือตัด เมื่อหล่อให้เข้ารูปแล้ววัสดุจะมีความแข็งแรงสูงและสามารถรักษามุมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิ 925 องศา เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าความเร็วสูงมันจะสามารถใช้ได้ที่อัตราเร็วตัดสูงกว่าถึง 2 เท่าที่อัตราการป้อนเดียวกันอย่างไรก็ตามโลหะผสมนี้จะมีราคาแพงมากกว่า ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธีทางความร้อนและทำการตัดปาดได้ด้วยการเจียรนัยเพียงวิธีเดียวเท่านั้น เครื่องมือตัดที่มีรูปร่างซับซ้อนสามารถขึ้นรูปได้โดยการหล่อในแม่แบบเซรามิกส์ หรือโลหะแล้ว ทำผิวสำเร็จโดยการเจียรนัย คุณสมบัติของชิ้นงานภายหลังการหล่อจะแปรไปตามระดับของการหล่อเย็นที่เนื้อวัสดุได้รับในระหว่างการหล่อ ซึ่งส่วนผสมของเนื้อวัสดุเหล่านี้จะอยู่ในช่วงของทังสเตน 12%–25% โคบอลต์ 40%–50% และโครเมียม 15%–35% ร่วมกับธาตุที่ทำให้เกิดการก่อตัวของคาร์ไบด์ เช่นคาร์บอนในช่วง 1%–4% โดยสมบัติที่ได้จากส่วนผสมเหล่านี้คือ มีความต้านทานต่อการเกิดแอ่งและความต้านทานต่อการกระแทก ส่วนในด้านของประสิทธิภาพในการตัดนั้นจะอยู่ระหว่างเหล็กกล้าความเร็วสูงและเหล็กกล้าคาร์ไบด์

2.3.1.4 คาร์ไบด์ (Carbide) มีดเล็บบคาร์ไบด์ (Carbide Cutting Tool) ทำขึ้นได้โดยการทางโลหะผงเท่านั้นโดยผงโลหะของทังสเตนคาร์ไบด์และโคบอลต์จะถูกอัดให้มีรูปร่างตามต้องการแล้วนำเข้าสู่กระบวนการกึ่งยัดเหนียวในเตาซึ่งมีบรรยากาศของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1,550 องศา จากนั้นจึงทำผิวสำเร็จโดยการเจียรนัย เครื่องมือคาร์ไบด์นี้มีส่วนผสมของทังสเตนคาร์ไบด์ประมาณ 94 % และโคบอลต์ 6 % เหมาะสมกับการตัดปาดเหล็กหล่อและวัสดุอื่นๆจำนวนมากยกเว้นเหล็กกล้า เนื่องจากเศษตัดจะยึดติดหรือเชื่อมตัวเข้ากับผิวหน้าคาร์ไบด์และฝังตัวลงในเครื่องมือตัดอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องนี้อาจแก้ไขได้โดยการเติมไททาทเนียมและแทนทาลัมคาร์ไบด์ เข้าผสมพร้อมกันกับเพิ่มปริมาณของโคบอลต์ ซึ่งในเครื่องมือตัดของคาร์ไบด์ที่เหมาะสมแก่การปฏิบัติสำหรับเหล็กกล้าจะประกอบไปด้วย ทังสเตนคาร์ไบด์ 82% ไททาทเนียมคาร์ไบด์ 10% และโคบอลต์ 8% ส่วนผสมนี้จะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเป็นผลให้มีแนวโน้มการสึกหรอที่ด้านบนหรือความเปราะเล็กน้อยลง เนื่องจากการแปรเปลี่ยนส่วนประกอบจะทำให้คาร์ไบด์มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไป โดยคาร์ไบด์ระดับคุณภาพต่างๆ สามารถหาซื้อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติการทั่วไป

2.3.1.5 เพชร (Diamond) เพชรใช้เป็นเครื่องมือตัดคมเดียวสำหรับการตัดขนาดเบาที่อัตราเร็วสูงซึ่งต้องการการรองรับอย่างมั่นคงแข็งแรงเนื่องจากวัสดุเพชรมีความแข็งและเปราะสูงมากเป็นพิเศษรูปแบบของการใช้งานคือ ใช้ในการตัดปาดวัสดุที่มีความแข็งจนยากต่อการปฏิบัติการด้วยเครื่องมืออื่นๆ ทั้งยังต้องการความแม่นยำและผิวสำเร็จที่ดีเยี่ยมหรือใช้ในการตัดขนาดเบาที่ความเร็วสูงสำหรับวัสดุอ่อนกว่า เช่น การตัดปาดพลาสติก ยางแข็ง คาร์บอนอัดและอลูมิเนียมที่อัตราเร็วตัด 5-25 เมตรต่อวินาที รวมทั้งสามารถใช้ในการตบแต่งล้อหินเจียรนัย แม่แบบดึงลดขนาดเล็ก การเจียรนัยและการขัดถูจำเพาะอย่าง

2.3.1.6 เซรามิก (Ceramic) เป็นส่วนผสมของผงอลูมิเนียมออกไซด์และสารตัวเติมจำพวกไททาเนียมแมกนีเซียม หรือโครเมียมออกไซด์ (Chromium Oxide) รวมตัวประสานที่นำผ่านเข้ากระบวนการทำมิดเล็ก (Cutting Tool Insert) ตัวมิดเล็กที่ได้อาจยึดเข้ากับฐานมิดได้ทั้งโดยการใช้ตัวบีบจับ (Clamp) หรือการใช้อีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin) โดยสมบัติของมิดเล็กคือมีความแข็งแรงในด้านการรับแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่งแต่ค่อนข้างเปราะ ดังนั้นมิดเล็กจึงต้องมีค่ามุมคายเป็นลบในช่วง 5-7 องศา เพื่อความแข็งแรงเช่นเดียวกับฐานการรองรับซึ่งต้องทำอย่างแน่นหนาเครื่องมือตัดซิลิกอนไนไตรด์ (Silicon Nitride) ซึ่งมีชื่อรหัสเป็น S-8 จะใช้ในการตัดปาดเหล็กหล่อวัสดุจากเซรามิกส์ชนิดนี้มีอายุการใช้งานถึง 1,500 ชั่วโมงเหล็กหล่อในขณะที่เครื่องมือทั้งสแตนคาร์ไบด์เคลือบผิวมีอายุงานเพียง 250 ชั่วโมง [5]

2.4 การสึกหรอของมิดกัด (Tool Wear)

การสึกหรอของเครื่องมือตัด (Tool Wear) หมายถึง การใช้งานจนหมดสภาพระหว่างทำงานตัดเฉือนที่ส่วนของมิดตัดถูกกระทำด้วยพลังงานความร้อน และพลังงานกล [6]

2.4.1 กลไกของการสึกหรอจากการขัดสี

กลไกของการสึกหรอจากการขัดสี (Mechanism of Wear in Silding System) จากการศึกษาลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานต่างๆ สองชิ้นขัดสีกันพบว่ามียู่ 4 ลักษณะ คือ

2.4.1.1 การสึกหรอเนื่องจากการขัดสี (Adhesion Wear Mechanism) เป็นการขัดสีโลหะ 2 ชนิด โดยที่การขัดสีเกิดขึ้นเข้าไปซึ้มาบนผิวหน้าอันเดิม ซึ่งได้ผลดังนี้คือ Bowden และ Tabor พบว่าโลหะที่อ่อนกว่าส่วนหนึ่งจะหลอมละลายไปปะติดกับโลหะที่แข็งกว่า เกิดเป็นปุ่มนูนบนโลหะที่แข็งกว่า แต่เมื่อการขัดสีดำเนินไปปุ่มนูนนี้จะถูกขัดให้หลุดออกโดยที่รอยฉีกจะกินลึกกว่ารอยต่อของโลหะทั้งสองนั้นทำให้ผิวของโลหะที่แข็งกว่าร้อนไป

2.4.1.2 การสึกหรอเนื่องจากการขีดเกาของวัสดุ (Abrasive Wear Mechanism) การสึกหรอเนื่องจากการขีดเกาของวัสดุ (Adhesion Wear) เกิดจากการที่ผิววัสดุ 2 ชนิดรวมขีดเกาเป็นเนื้อเดียวกันอันเนื่องมาจากแรงอัดและการยึดติดกัน แล้วเกิดแรงเฉือนจนทำให้บริเวณที่ขีดเกาเป็นเนื้อเดียวกันนั้นขณะตัดโลหะมักจะเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ได้ เนื้อวัสดุของปลายคมตัดจะแตกและติดไปกับเศษชิ้นงานได้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะตัดโลหะ และแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการเกิดการขีดเกากันของวัสดุแต่ละคู่ (เครื่องมือตัดกับชิ้นงาน) การขีดเกานี้จะเกิดที่ความเร็วตัดต่ำๆแต่จะขึ้นกับเวลา และมีแนวโน้มว่าจะเกิดน้อยลงเมื่อใช้ความเร็วตัดสูงๆ ถ้าเป็นการตัดที่รุนแรงหรือมีการสั่นสะเทือนหรือกระแทกเป็นช่วงๆ จะทำให้เกิดการขีดเกาเร็วขึ้น และสึกหรอมาก

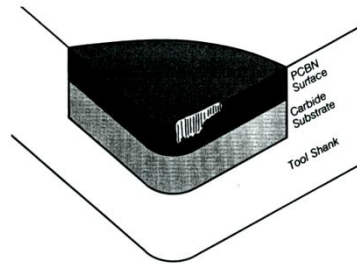
2.4.1.3 การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (Diffusion Wear Mechanism) การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (Diffusion Wear) เคมีนี้หรือของธาตุเหล่านี้เกิดในสถานะของแข็ง (Solid – State Diffusion) ที่อะตอมเคลื่อนย้ายจาก Lattice หนึ่ง จากที่มีอะตอมเข้มข้นกว่าไปยังที่มีอะตอมเบาบางกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า บรรยากาศแวดล้อมมากก็ยิ่งมีการแพร่ซึมส่วนผสมได้มากขึ้น ขณะตัดโลหะ เมื่อเกิดการขีดเกาของวัสดุ และเกิดอุณหภูมิสูงเพียงพอในบริเวณที่ขีดเกาเป็นเนื้อเดียวกันนี้ จะเกิดการไหลของอะตอมจากเนื้อวัสดุเครื่องมือตัดไปยังเนื้อชิ้นงานปริมาณการแพร่ซึมจะมาก หรือ น้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคู่สัมผัสกันของเนื้อวัสดุทั้งสอง และระดับการสั่นของอะตอมซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าเวลาที่สัมผัสขีดเกากันอยู่ยาวนานก็จะแพร่ซึมได้มาก แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงก็จะแพร่ซึมได้น้อย เครื่องมือตัดที่ทำจากเหล็กกล้าไฮสปีด จะมีอะตอมของธาตุคาร์บอนของเครื่องมือตัดแพร่ซึมเข้าไปสู่ผิวชิ้นงาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมบริเวณนี้ คุณสมบัติของเครื่องมือตัดก็จะเปลี่ยนไป จะสึกหรอได้ง่าย

2.4.1.4 การสึกหรอเนื่องจากการล้า (Fatigue Wear Mechanism) ว่าเมื่อผิวหน้าอันหนึ่งมีปมูนขึ้นมาแล้วขัดสีไปบนผิวหน้าอีกอันหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงกดขึ้นที่ผิวหน้าข้างหน้าปมูนนั้นขณะเดียวกันก็เกิดแรงดึงขึ้นข้างหลังปมูนนั้นเมื่อปมูนนั้นเคลื่อนที่ไปบนผิวหน้าใดก็ทำให้ผิวหน้านั้นได้รับแรงกด และแรงดึงสลับกัน ซึ่งเป็นสาเหตุก็เกิดการล้าตัวขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะทำให้เกิด Crack ขึ้นได้ผิวหน้าและรอย Crack นี้จะดำเนินต่อไปยังผิวหน้าทำให้ผิวหน้าหลุดไป

2.4.2 ชนิดการสึกหรอบนคมตัดของมีด

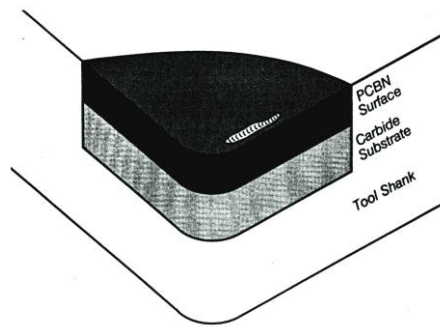
โดยทั่วไปแล้วการสึกหรอบนคมตัดของมีดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะของตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอ คือ การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) การสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear) และการสึกหรอที่ปลายมีด (Nose Wear)

2.4.2.1 การสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear) จะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดตั้งในรูปที่ 2.18 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนเมื่อการสึกหรอบนผิวหยาบเกิดขึ้นมากก็จะมี การขัดสีเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย



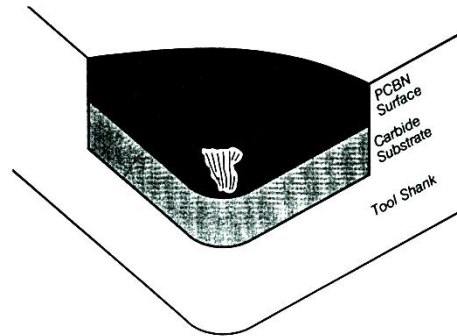
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของการสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear) [6]

2.4.2.2 การสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear) จะมีลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นร่องลึก เกิดใกล้ๆกับคมตัดแสดงในรูปที่ 2.19 การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการไหลของเศษกลึงไปบนผิวคายของมีดกลึง เมื่อการสึกหรอบนผิวคายเกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear) [6]

2.4.2.3 การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose Wear) เป็นการสึกหรอที่ปลายมีดกลึง หรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือน แสดงในรูปที่ 2.20 การสึกหรอที่ปลายมีดบนคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน



รูปที่ 2.20 การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose Wear) [6]

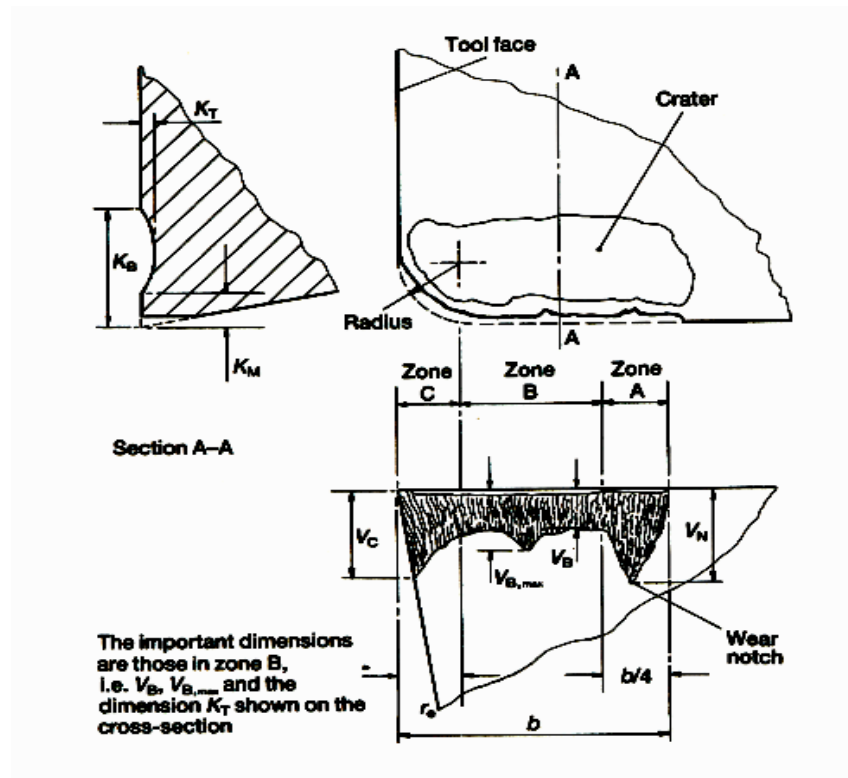
2.4.3 ลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนคมตัด

1. การสึกหรอบนผิวหلب (Flank Wear)
2. การสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear)
3. การสึกหรอเนื่องจากการเปลี่ยนรูป (Plastic Deformation)
4. การสึกหรอลักษณะแหว่ง (Notch Wear)
5. การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking)
6. การแตกเนื่องจากการล้าตัว (Fatigue)
7. การกะเทาะ (Chipping)
8. การแตกหัก (Fracture)
9. การพอกเศษ (Built – Up Edge)

2.5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสึกหรอคมตัดตามมาตรฐาน ISO 3685 :1993

2.5.1 การแบ่งเขตของการสึกหรอบนผิวหلب (Flank Wear)

มาตรฐาน ISO 3685:1993 ได้มีการแบ่งเขตของการสึกหรอบนผิวหلب (Flank Wear) เพื่อให้การวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหلبเป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยเขตของการสึกหรอบนผิวหلب [7]



รูปที่ 2.21 แสดงเขตของการสึกหรอตามมาตรฐานสากล (ISO ISO 3685:1993) [7]

จากรูปที่ 2.21 มาตรฐาน ISO ได้แบ่งเขตของการสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear Zone) ออกเป็น 3 เขต คือ เขต A เขต B และเขต C โดยกำหนดให้ b เป็นระยะป้อนลึกในการตัดเฉือนชิ้นงาน

- เขต A เป็นเขตที่อยู่บนผิวหยาบด้านในสุดของคมตัด มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ได้กำหนดให้เขต A มีค่าเท่ากับ 1 ใน 4 ของ b (เมื่อ b = ระยะป้อนลึก) ดังแสดงในรูปที่ 2.21

- เขต B เป็นเขตที่อยู่บนผิวหยาบเช่นเดียวกับเขต A และเขต B ก็เป็นเขตที่อยู่ระหว่างเขต A กับเขต C มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ไม่ได้กำหนดช่วงกว้างของเขต B แต่จะกำหนดให้ช่วงกว้างของเขต B ขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของเขต A และเขต C ดังแสดงในรูปที่ 2.21

- เขต C เป็นเขตที่อยู่บนผิวหยาบเช่นเดียวกับเขต A และเขต B เขต C จะอยู่นอกสุดของคมตัดและเขต C ก็อยู่ติดกับเขต B มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ได้กำหนดให้เขต C มีช่วงกว้างเท่ากับรัศมีปลายมีด (Nose) ดังแสดงในรูปที่ 2.21 [7]

2.5.2 ข้อกำหนดในการใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear)

เครื่องมือในการบ่งบอกการเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพของใบมีดมาตรฐาน ISO 3685 : 1993(E) ได้กำหนดการวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear) โดยกำหนดให้ทำการวัดขนาดของการ

สึกหรอบนผิวหลบในช่วงกว้างของเขต B และกำหนดให้ V_B เป็นขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเฉลี่ย ส่วน $V_{B \max}$ เป็นขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบสูงสุด นอกจากนี้มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ยังมีข้อกำหนดในการใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเป็นเครื่องมือในการบ่งบอกการเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพของใบมีด โดยกำหนดให้เลือกใช้ได้สองกรณี คือถ้าเลือกใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเฉลี่ยจะกำหนดให้ใบมีดเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพเมื่อขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเฉลี่ย (V_B) มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร และถ้าเลือกใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบสูงสุด จะกำหนดให้ใบมีดเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพเมื่อขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบสูงสุด ($V_{B \max}$) มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร ตำแหน่งของ V_B และ $V_{B \max}$ แสดงในรูปที่ 2.21

2.6 อายุของมีดกัด (Tool Life)

อายุมีด คือ เมื่อมีดตัดเสื่อมสภาพ มีการเปลี่ยนมีดนำมีดใหม่มาทดแทนและลับมีดที่เสียหรือเครื่องมือเดิม อายุบอกเป็นเวลาที่สามารถใช้งานได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่าอายุการใช้งานของใบมีด (Tool Life) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อต้นทุนการผลิต การวัดอายุการใช้งานของใบมีดนั้นจะเริ่มนับอายุจากเวลาที่ใบมีดเพิ่งลับใหม่ จนกระทั่งถึงเวลาที่ใบมีดเสื่อมสภาพจนไม่สามารถทำการตัดโลหะให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งใบมีดอาจจะกะเทาะร้าวลงจริงๆ หรือเพียงแค่สึกหรอก็ได้ เวลาของอายุการใช้งานมักเป็นเวลาของการใช้งานจริงๆ คือเวลาของการตัดโลหะจริงๆ นอกจากจะวัดอายุการใช้งานของใบมีดในหน่วยเวลาแล้ว ยังอาจวัดเป็นหน่วยอื่นๆ เช่น จำนวนปริมาตรของวัสดุงาน (Work Material) ที่ถูกตัดออกไปก่อนใบมีดจะสิ้นสภาพ เป็นต้น [8]

2.6.1 เกณฑ์การหมดอายุของใบมีดกัด (Tool Life Criterion)

สภาพการหมดอายุของใบมีดกลึง (Tool Life Criterion) สามารถพิจารณาได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ เกณฑ์การหมดอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือตัวใบมีดเป็นหลัก (Tool Life Criteria Base on Tool) ซึ่งก็ได้แก่การพิจารณาสภาพของใบมีดโดยอาจถือว่าใบมีดสิ้นสภาพเมื่อ

- ก. คมมีด (Cutting Edge) กะเทาะหรือร้าว
- ข. ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) ใหญ่เกินไป ตาม ISO ถ้า $V_{B \max} > 0.6$ มิลลิเมตร หรือ $V_{B \text{ average}} > 0.3$ มิลลิเมตร
- ค. ขนาดของการสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear) ลึกเกินไปหรือใหญ่เกินไป หรือกว้างเกินไป
- ง. พิจารณาทั้งคู่การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) และการสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear) ประกอบเข้าด้วยกัน

- จ. ปริมาตรหรือน้ำหนักของเนื้อสารที่สึกออกจากใบมีดมีค่ามากเกินไป
- ฉ. ใบมีดแตกหักลงจริงๆ

2.6.2 เกณฑ์การหมดอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือเอาชิ้นงานเป็นหลัก (Tool Life Criteria Base on Work Piece)

เป็นต้นว่า

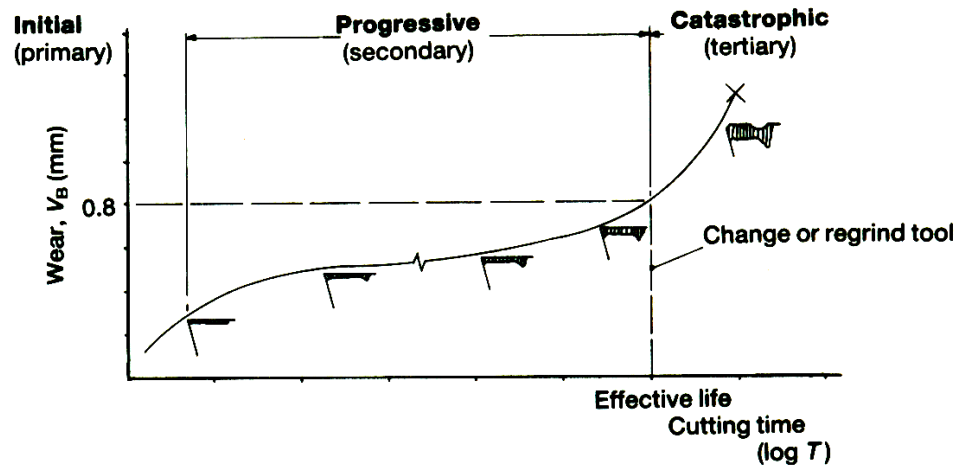
- ก. ความขรุขระของพื้นผิวของชิ้นงานมีค่าสูงเกินไป หรือหยาบเกินไปกว่า พิกัดความเรียบผิวในแบบงาน
- ข. ขนาดของชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีขนาดไม่ถูกต้องตามที่กำหนด เช่นเกิด Nose Wear มีดก็จะทุบ มีดก็มี ขนาดสั้นลง ทำให้ชิ้นงานโตขึ้น หรือโตไม่สม่ำเสมอ

2.6.3 เกณฑ์การหมดอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือหลักอื่นๆ

- ก. แรงหรือกำลังในการตัดโลหะมีค่าสูงจนเกินไป
- ข. เสียงที่เกิดจากการกลึง ดังกว่าปกติ มีค่าผิดไป เช่นการใช้วัดเสียงความถี่สูง/ต่ำ
Acoustic Emission Signals
- ค. การสั่นสะเทือน ในการตัดโลหะ โดยวัดแรงสั่นสะเทือน เนื่องจากการกระแทกของมีดตัดชิ้นงาน

2.6.4 การสึกหรอเป็นมีด กับการอายุ การใช้งาน

การสึกหรอของคมตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า มีดมีการหมดสภาพมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด (Tool Life) นั้น อาจจะประมาณจากขนาดของการสึกหรอแบบหลุมบนผิว (Crater Wear) หรือขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) ก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด จะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้ใบมีดหมดสภาพที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical Point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) ในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่า มี 3 ขั้น คือ การสึกหรอขั้นแรก (Primary Wear or Initial Wear) การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary Wear or Progressive Wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (Tertiary Wear or Catastrophic Wear) ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) กับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด [8]

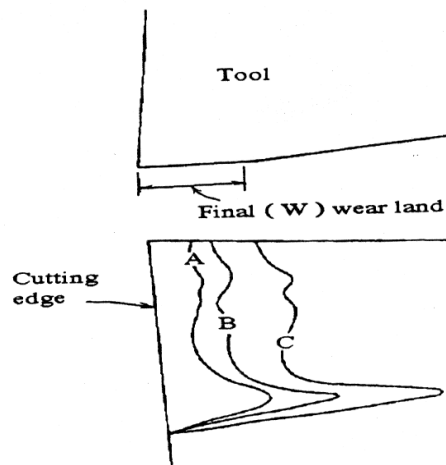
การสึกหรอขั้นแรก (Primary Wear or Initial Wear) เมื่อนำมีดกลึงที่เพิ่งลับใหม่ หรือใบมีดใหม่มา ใช้ทำการตัดเฉือนชิ้นงานคมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็ว จากรูปที่ 2.22 กราฟแสดงขนาดของการสึกหรอเทียบกับเวลา แสดงให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอในขั้นแรกจะสูงมาก ซึ่งอัตราการสึกหรอนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดเฉือนและวัสดุของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน

การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary Wear or Progressive Wear) การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอที่ดำเนินต่อเนื่องมาจากการสึกหรอในขั้นแรก แต่การสึกหรอเพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่ คืออัตราการสึกหรอน้อยกว่าช่วงแรก จุดสิ้นสุดของการสึกหรอในช่วงนี้จะเรียกว่าจุดวิกฤติของการสึกหรอบนผิวหลบ (Critical Point of Flank Wear) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า Critical Flank ซึ่งจุดนี้มักใช้เป็นจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของใบมีด ในกรณีนี้จะสิ้นสุดเมื่อการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear, V_B) มีขนาดมากกว่า 0.8 มม. ดังรูปที่ 2.22

การสึกหรอขั้นที่สาม (Tertiary Wear or Catastrophic Wear) การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอขั้นสุดท้าย การสึกหรอจะเกิดขึ้นมากและรวดเร็วซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) ของใบมีดหรือคาร์ไบด์ การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) นี้เกิดจากการประกอบกันของการสึกหรอบนผิวหลบที่มีค่าสูง (High Flank Wear) กับการการสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่ (Large Crater Wear)

2.6.5 การวัดอายุของมีด (Measuring Tool Life)

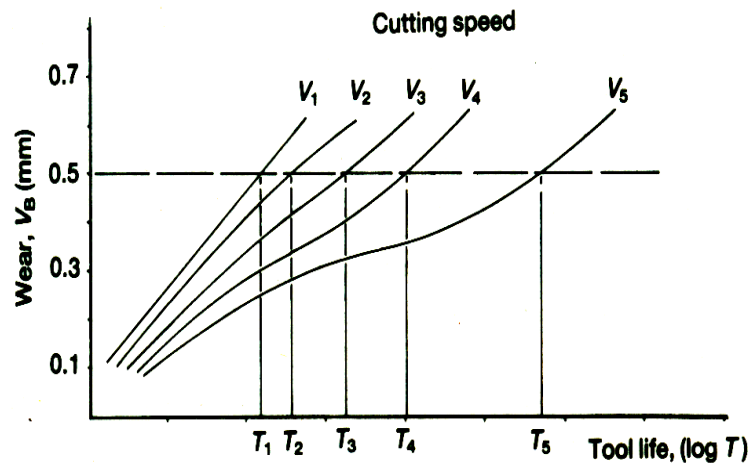
การศึกษาถึงการวัดอายุของมีดทำให้เราสามารถทราบถึงการแตกหักที่เกิดจากชิ้นงานการสึกหรอมากเกินไปทำให้เกิดการแตกหักของปลายมีดคมตัด หรืออาจเกิดการสึกหรอใช้งานไม่ได้ และทำให้ข้อแตกต่างของการออกแบบ และการเลือกเครื่องมือไม่เหมาะสม ปกติอายุคมมีดของมีดจะเกิดประโยชน์หรือประสิทธิภาพสูงสุดในขบวนการผลิตและจะทำให้เกิดการสึกหรอที่มีลักษณะค่อยๆ เกิดที่ด้านข้างของมีดตัด(มีดตัดทำงานติดต่อกัน) ส่วนการสึกหรอด้านหน้านั้นเกิดจาก Chip ที่ไหลออกจากมีดตัดหรือในพื้นที่ที่เท่าๆกัน การสึกหรอที่เกิดจาก Chip ไหลผ่านมีดตัดจะทำให้เกิดการสึกหรอลักษณะเป็นแอ่งลึกบน Rank Face ถ้าวธิบายในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงการพัฒนาของการสึกหรอ Wear Land , ช่วง A เป็นจุดเริ่มต้น และ ช่วง C เป็นจุดสุดท้ายของการสึกหรอ [8]

ถึงอย่างไรการสึกหรอด้านหน้าที่เกิดจากการตัด จะทำให้การตรวจสอบความแข็งและปกติการสึกหรอด้านข้างจะมีอิทธิพลมากที่สุดที่ทำให้มีดตัดเกิดความเสียหาย และจะเป็นการวัดอายุมีดตัดที่เหมาะสมในการสึกหรอส่วนนี้ ปัญหาที่เกี่ยวกับการสึกหรอด้านข้างของมีดตัดลักษณะค่อยๆ เกิด และจะทำให้ทราบถึงอายุของมีดตัด

Frederick W. Taylor ได้ทดลองปฏิบัติงานและได้แสดงการเปรียบเทียบลำดับของ Cutting Tools และเสนอแนวคิดที่ว่า ช่วงเวลา 20 นาทีแรกของการตัด มีดจะมีอายุมากที่สุดหลังจากเพิ่ม Cutting Speed จะทำให้มีดตัดเกิดการอ่อนตัวลงภายหลังจาก 20 นาที ของการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนของการสึกหรอที่เร็วที่สุดและถูกต้องจะสัมพันธ์กับ การทำงานของเครื่องจักรชิ้นส่วน ฯลฯ



รูปที่ 2.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานของใบมีดกับความเร็วตัดที่เปลี่ยนไป
เมื่อกำหนด Critical Flank = 0.5 มม. [8]

2.7 ความเรียบของผิวงาน

1. ลักษณะทั่วไปของผิวงาน ที่ผ่านการแปรรูปและผ่านการตัดเฉือนผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น งานกัด งานกลึง และงานเจียระไน ฯลฯ เมื่อมองด้วยสายตาเราจะเห็นว่าผิวของชิ้นงานมีความเรียบ แต่เมื่อนำมาขยาย ก็จะพบว่าผิวงานเหล่านั้นขรุขระเป็นคลื่น สูง - ต่ำไม่เท่ากัน สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลบางชนิด เช่น คลັบลูกปืน เป็นต้น แต่สำหรับชิ้นงานบางชนิดก็อาจจะไม่มีความจำเป็นที่จะต้องระบุความหยาบละเอียดของผิวงาน เพราะจะทำให้เสียเวลาในการผลิต [8]

2. ผิวงาน (Surface) หมายถึง ขอบเขตหรือบริเวณ ที่แยกออกจากส่วนเนื้อวัสดุงาน รูปร่างและลักษณะผิวงานระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายคำจำกัดความ (Descriptive Specifications)

3. รูปทรงผิว (Profile) หมายถึง เส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงานตลอดภาคหน้าตัดที่ถูกนำมาพิจารณา

4. ความหยาบของผิว (Roughness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต

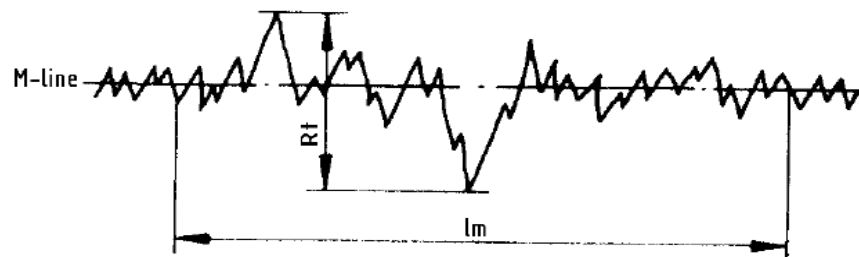
5. คลื่นของผิวงาน (Waviness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่มีระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิว เกิดขึ้นจากการโก่งตัวของทั้งชิ้นงาน และการหลวมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการขึ้นรูป

6. Flaw หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่นรอยขีดข่วน รอยแตก และรูพรุน เป็นต้น
7. Lay หมายถึง แนวทิศทางของรอยสัน ส่วนยอดความหยาบของผิวที่ทำการตรวจสอบ

2.8 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงาน

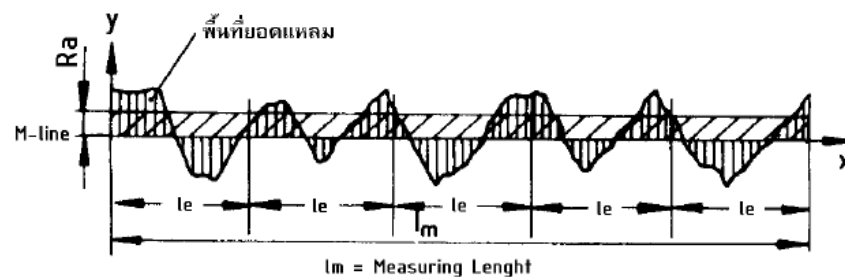
การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานที่จะกล่าวถึงนี้ ประกอบด้วย ค่า R_t , R_a และ R_z ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) โดยแต่ละค่ามีวิธีการวัด ดังนี้

1. ค่า R_t หมายถึง ค่าวัดจากจุดสูงสุดไปยังถึงจุดต่ำสุดของผิวงาน



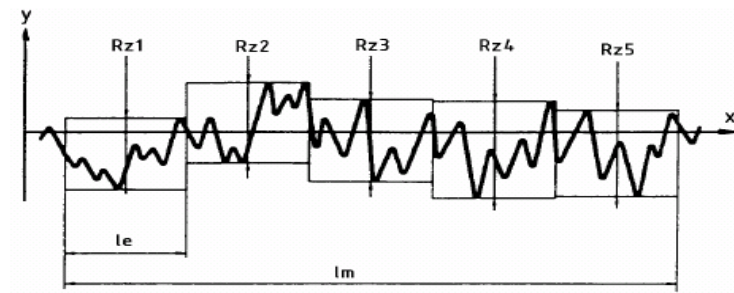
รูปที่ 2.25 การวัดค่า R_t [9]

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



รูปที่ 2.26 การวัดค่า R_a [9]

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



รูปที่ 2.27 การวัดค่า Rz [9]

2.8.1 การตรวจสอบความหยาบละเอียดของผิว

การตรวจสอบความหยาบละเอียดของผิว โดยทั่วไปจะใช้วิธีการตรวจสอบผิวของชิ้นทดสอบ เปรียบเทียบกับค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ได้จากการเจียรไนด้วยเครื่องวัดผิว



รูปที่ 2.28 เครื่องมือวัดค่าความหยาบผิวงาน

2.9 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steels)

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steels) หมายถึงเหล็กกล้าที่ผสมโครเมียมอย่างน้อย 10.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน โดยเหล็กกล้าไร้สนิมจะสร้างฟิล์มของโครเมียมออกไซด์ที่บางและแน่นที่ผิวเหล็กกล้า ซึ่งจะปกป้องเหล็กกล้าจากบรรยากาศภายนอก [10]

เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างจุลภาคได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic grade)
2. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic grade)
3. เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex grade)

4. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค (Martensitic grade)

5. เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก (Precipitation – hardening grade)

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic grade) ที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียม (cr) ประมาณ 12% หรือ 17% (ช่วงของส่วนผสมของ $\pm 1\%$) มีนิเกิลน้อยมาก (ติดมากับวัตถุดิบ) เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์และมีคุณสมบัติสามารถดัดได้ มีค่าความต้านทานที่จุดคราก (Yield strength) และค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ปานกลาง มีค่าความยืด (Elongation) สูงเช่นเกรด 430, 409 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติกมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มออสเทนนิติกแต่อาจพบปัญหาเรื่องเกรนหยาบ (Grain coarsening) และสูญเสียความแข็งแรง (Toughness) หลังการเชื่อมการใช้งาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า ชิ้นส่วนระบบท่อไอเสีย และในบางเกรดจะผสมโครเมียมสูงเพื่อใช้กับงานที่ต้องทนอุณหภูมิสูง

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียมประมาณ 17% (ช่วงของส่วนผสม $\text{Cr} \pm 1\%$ และนิเกิล (ni) ประมาณ 9% (ช่วงของส่วนผสม ni $\pm 1\%$ การผสมนิเกิลทำให้เหล็กกลุ่มนี้ ต่างจากกลุ่มเฟอร์ริติกโดยนิเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน และทำให้โครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ เหล็กกลุ่มนี้บางเกรดจะผสมโครเมียมและนิเกิลเพิ่มเพื่อให้สามารถทนต่อการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของเตาหลอม เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกนี้จะทนทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าเหล็กกลุ่มเฟอร์ริติก ในด้านคุณสมบัติเชิงกล เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) ใกล้เคียงกับกลุ่มเฟอร์ริติก แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าความยืด (Elongation) สูงกว่าจึงสามารถขึ้นรูปได้ดีมาก เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (ในสภาพผ่านการอบอ่อน) เช่น เกรด 304, 316, 321, 301 การใช้งานเช่น เครื่องมือแพทย์ หม้อ ช้อน ถาด

เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex grade) จะมีโครงสร้างผสมระหว่างออสเทนไนต์และเฟอร์ไรต์ มีโครเมียมผสมประมาณ 21-28 % และนิเกิลประมาณ 3-7.5 % เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดครากสูงและค่าความยืดสูง จึงเรียกได้ว่ามีทั้งความแข็งแรงและความเหนียว (Ductility) สูง เช่น เกรด 2304, 2205, 2507

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค (Martensitic grade) จะผสมโครเมียมประมาณ 11.5-18 % เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคาร์บอนเหมาะสมและสามารถชุบแข็งได้ เหล็กกล้ากลุ่มนี้มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) สูงมาก แต่จะมีค่าความยืด (Elongation) ต่ำ เช่น เกรด 420 การใช้งาน เช่น ใช้ทำเครื่องมือตัดชิ้นส่วน มีด

เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก (Precipitation – hardening grade) มีโครเมียมผสมประมาณ 15-18 % และนิกเกิลอยู่ประมาณ 3-8 % เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถ ทำการอบชุบแข็งได้ จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปัม หัววาล์ว ตัวอย่างของเหล็กเกรดนี้ เช่น PH 13-9 Mo , AM-350

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel) นับว่าเป็นกลุ่มที่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันมากที่สุด มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ FCC (Face Centered Cubic) เหล็กกล้ากลุ่มนี้ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ด้วยกระบวนการทางความร้อน แต่สามารถทำให้แข็งแรงได้โดยการขึ้นรูปเย็น (Work Hardening) มีคุณสมบัติที่ไม่ดูดซึมแม่เหล็ก (Nonmagnetic) ในสภาพหลังการอบอ่อน (Annealed Condition) ยกเว้นในกรณีที่มีการขึ้นรูปเย็นอย่างรุนแรง ส่งผลให้เหล็กกล้ามีความเค้นตกค้าง (Residual Stress) และไม่ได้อบอ่อน หรืออาจเกิดจากกรณีโครงสร้างเคลือบเฟอร์ไรต์ อยู่ในโครงสร้างพื้นฐานออสเทนนิติก ในปริมาณสูง ซึ่งมักเกิดขึ้นในชิ้นส่วน ที่ผ่านการหล่อและเชื่อม ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกมีคุณสมบัติที่ดูดซึมแม่เหล็กได้ ยกเว้นบางเกรด เช่น AISI 904L ที่ไม่ดูดซึมแม่เหล็กในทุกสภาวะ[3]

เกรดพื้นฐานของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ คือ เกรด AISI 304 ซึ่งบางครั้งเราจะเรียกเกรดนี้ว่า 18/8 คือมีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 8% และมีช่วงของส่วนผสมจนถึงโลหะผสมสูงหรือชุบเปอร์ออสเทนนิติก (Super - austenitic) เช่นเกรด AISI 904 L และโลหะผสมเกรดที่มีโมลิบดีนัมผสม 6% นอกจากธาตุนิกเกิลซึ่งเป็นธาตุสำคัญที่สุด ที่ทำให้เฟสออสเทนไนต์มีความเสถียรแล้ว ธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนก็มักใช้เป็นธาตุผสมเพื่อเพิ่มสมบัติทั้งทางกลและทางเคมีด้วย เนื่องจากธาตุทั้งสองสามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ในโครงสร้างผลึกแบบ FCC

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ โลหะผสมโครเมียม – นิกเกิล (Chromium - Nickel) เช่น เกรด AISI 304 และ AISI 316 เป็นต้น และโลหะผสมโครเมียม-แมงกานีส-ไนโตรเจน (Chromium-Manganese-Nitrogen Alloy) เช่น เกรด AISI 201 และ AISI 241 เป็นต้น โดยโลหะผสมกลุ่มหลักโดยมีนิกเกิลผสมในปริมาณต่ำเนื่องจากในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา นิกเกิล ซึ่งเป็นธาตุผสมหลักของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติกมีราคาสูงขึ้นประมาณ 5 เท่า ทำให้ผู้ผลิตมีต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นและส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยเฉพาะเกรดที่มีนิกเกิลผสมสูงนอกจากนี้ยังมีรายงานว่านิกเกิลที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับผลิตเป็นชิ้นส่วนที่ปลูกฝังในร่างกายมนุษย์ (Implant Material) นั้นมีความเป็นพิษกับเนื้อเยื่อดังนั้นหนึ่งในการขับเคลื่อนที่แข็งแกร่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมคือการผลิตวัสดุชนิดใหม่ๆ เพื่อให้มีราคาต่ำลงแต่มีสมบัติใกล้เคียงหรือดีกว่าวัสดุเดิมจึงได้มีความพยายามในการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มใหม่ขึ้นมาทดแทนกลุ่มออสเทนนิติกโดยเฉพาะเกรด AISI 304 ที่มีการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายเหล็กกล้า

ไร้สนิมกลุ่มใหม่นี้คืออนุกรม 200 (Series 200) ซึ่งมีการปรับลดส่วนผสมทางเคมีบางตัวโดยเฉพาะธาตุ นิกเกิลซึ่งนอกจากจะลดต้นทุนการผลิตแล้วยังสามารถลดน้ำหนักของโครงสร้างและปัญหา สิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากธาตุดังกล่าวใช้พลังงานค่อนข้างสูงในการแยกหรือสกัดเพื่อผลิตเป็น เหล็กกล้าไร้สนิม นอกจากการลดปริมาณธาตุ นิกเกิลแล้วยังมีการปรับลดโครเมียมเช่นกัน โดยอาจเติม ไนโตรเจนและทองแดง เพื่อคงความเสถียรของเฟสออสเทนไนต์ แต่ธาตุที่มักใช้ในการทดแทน นิกเกิล ได้แก่ แมงกานีส คาร์บอน และไนโตรเจน[48] ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มดังกล่าวนี้ (CrMnN steel) มีสมบัติทางกลที่ต้านทานการสึกหรอร่วมกับการกัดกร่อน (Corrosive Wear Resistance) และความต้านทานการกัดกร่อนใกล้เคียงกับเกรด AISI 304 การเติมแมงกานีส (5-20%) เพื่อเพิ่ม ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนในเฟสออสเทนไนต์รวมทั้งเพิ่มความเสถียรให้กับเฟส ออสเทนไนต์ และป้องกันในการเปลี่ยนเฟสเป็นมาเทนไซด์ในโลหะผสมที่มีนิกเกิลผสมต่ำซึ่ง แมงกานีสมีราคาถูกกว่านิกเกิลประมาณ 5-10 เท่า สำหรับการเติมไนโตรเจนนั้น จะเพิ่มทั้งความ เสถียรให้กับโครงสร้างออสเทนไนต์และส่งผลต่อสมบัติทั้งตัวของฟิล์มออกไซด์ ลักษณะดังกล่าว จะเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็มและการกัดกร่อนใต้รอยซ้อน รวมทั้งเพิ่มคุณสมบัติ ทางกลโดยไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของวัสดุ บางครั้งมักเรียกเกรดดังกล่าวว่า Mn-N Substituted Austenitic Stainless Steel ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าเทียบเท่า นิกเกิล (Nickel Equivalent) ดังสมการที่ 1 จะ เห็นว่าทั้งคาร์บอน ไนโตรเจน ทองแดงและ แมงกานีส เป็นธาตุที่ช่วยในการฟอร์มตัวของเฟส ออสเทนไนต์

ค่า นิกเกิลเทียบเท่า = $Ni\% + 30C\% + 30N\% + 0.5Mn\% + 0.3Cu\%$ (โดยน้ำหนัก) ____ สมการที่ 1

จากสมการดังกล่าวจะเห็นว่าธาตุที่เติมลงไปเพื่อชดเชยสมบัติของนิกเกิลแม้มีศักยภาพสูง แต่การเติม แมงกานีสในปริมาณสูงมักเหนี่ยวนำให้เกิดการแตกตามขอบเกรนที่มีอุณหภูมิติดลบ (Cryogenic Intergranular Fracture) และการเติมไนโตรเจน แม้จะเพิ่มความแข็งแรงของโลหะผสมออสเทนนิติก แต่ถ้าเติมในปริมาณสูงเกินไปจะลดความแข็งแรงที่อุณหภูมิติดลบ (Cryogenic Toughness) และความ ต้านทานต่อแรงกระแทกของเหล็กกล้าไร้สนิมได้

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกยังสามารถผสมธาตุโมลิบดีนัม ไทเทเนียม หรือทองแดงเพื่อปรับปรุง ให้สามารถใช้งานในสภาวะที่แวดล้อมที่รุนแรงต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการใช้งานที่ อุณหภูมิสูงหรือทนทานการกัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์เป็นองค์ประกอบ ส่วนเกรดที่มี โครเมียมในปริมาณสูง เช่น เกรด AISI 309 และ AISI 310 จะเหมาะสมสำหรับการใช้งานในสภาวะ แวดล้อมแบบซิไดซิง (Oxidizing) และมีการใช้งานที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่เกิน 1,150 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิมากกว่านี้จะทำให้ฟิล์มโครเมียมออกไซด์มีความไม่ต่อเนื่องและสูญเสียความ

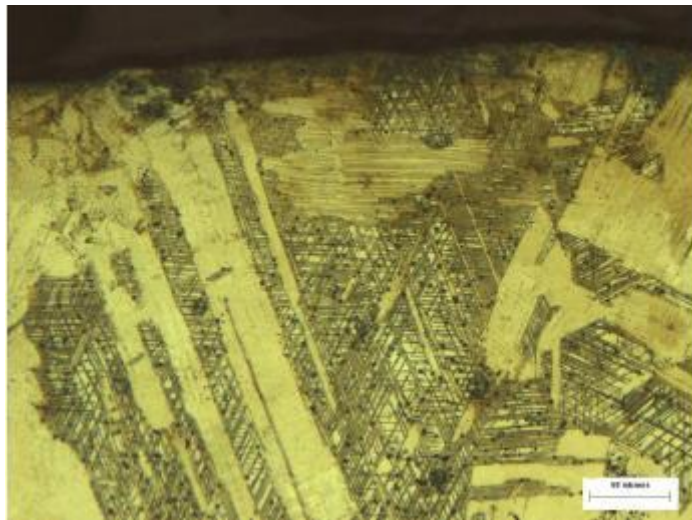
ด้านทานการกัดกร่อนในกรณีที่ต้องการสมบัติด้านทานการกัดกร่อนตามขอบเกรน เมื่ออยู่ใต้สภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิสูง มักเติมไทเทเนียมและไนโอเบียมเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับคาร์บอน(จับตัวกับคาร์บอนเป็นคาร์ไบด์) เช่นในเกรด AISI 306L และ AISI 347 นอกจากนี้เกรดที่มีคาร์บอนต่ำ(ที่มักต่อท้ายด้วย L และ S)เช่นเกรด AISI 304L จะมีสมบัติด้านทานการกัดกร่อนตามขอบเกรนและมีความสามารถในการเชื่อมที่ดี โลหะผสมที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงบางเกรด เช่น โลหะผสม 20Cb-3 ซึ่งมีนิกเกิลผสมสูง (20-38%) สามารถจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะประเภทนิกเกิลเป็นธาตุผสมหลัก (Nickel-Based Alloy)

สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีนิกเกิล โมลิบดีนัม (6%) และไนโตรเจน(-0.2%) ผสมอยู่ บางครั้งจะเรียกเกรดดังกล่าวว่า ซูเปอร์ออสเทนนิติก เช่น เกรด AISI 904L และ UNS S31254 (254SMO) เป็นต้น

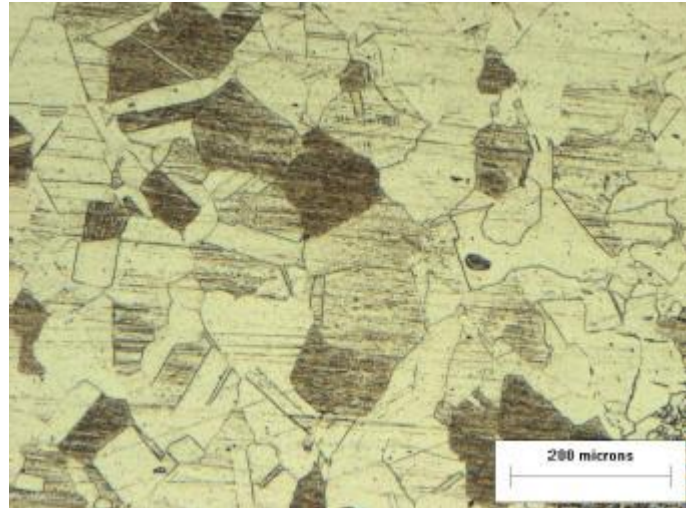
โลหะผสมเกรดAL6XN(UNS N08367) เป็นเกรดใหม่ของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีโครเมียมและโมลิบดีนัมปริมาณสูงมีการเพิ่มความแข็งแรงโดยการเติมไนโตรเจน(Nitrogen Strngthened Austenitic Stainless Steel) ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท Allegherry Ludlum Corporation มีความต้านทานการกัดกร่อนแบบได้รอยซ่อนแบบรูเข็มการแตกร้าวจากความเค้นร่วมกับการกัดกร่อนและความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงดีเยี่ยมเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304L และ 316L นอกจากนี้ยังเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มดuple็กซ์โดยเฉพาะถ้าพิจารณาราคา แม้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติกถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ จำนวนมาก โดยเฉพาะประเภทโครงสร้างที่ใช้งานในสภาพแวดล้อมที่กัดกร่อนรุนแรง เช่น ระบบท่อ ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน โรงงานผลิตสารเคมี โรงงานผลิตปุ๋ยเคมี โรงงานบำบัดน้ำเสีย ฯ เนื่องจากมีความต้านทานการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าดีเยี่ยม มีคุณสมบัติทางกลเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงที่ดีขึ้นรูปได้ง่าย รวมทั้งมีความสามารถในการเชื่อมที่ดีก็ตาม เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ยังเหมาะต่อต่อสภาวะใช้งานที่อุณหภูมิตดล (Cryogenic Condition) เนื่องจากอิทธิพลของธาตุนิกเกิล ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติกสามารถป้องกันปัญหาการแตกหักแบบเปราะที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับเหล็กกล้าประเภทอื่นๆ แต่มักมีความไวต่อการกัดกร่อนแบบเฉพาะที่ เช่น การกัดกร่อนแบบรูเข็ม การกัดกร่อนได้รอยซ่อน การกัดกร่อนตามขอบเกรน และการแตกร้าวเนื่องจากความเค้นร่วมกับการกัดกร่อน ดังนั้นการประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ จึงควรพิจารณาเลือกใช้ด้วยความระมัดระวัง

สำหรับชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่ผ่านการเชื่อม นั้น โครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมมีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานที่ผ่านการหล่อ (Cast Structure) โดยมักมีโครงสร้างเซลล์เฟอร์ไรต์ (Ferrite) เกิดขึ้นในช่วง 2-10% ในโครงสร้างพื้นแบบออสเทนนิติก ดังนั้นจึงป้องกันการแตกร้าวในขณะร้อน(Hot

Cracking) ในระหว่างการเย็นตัว ต้องควบคุมปริมาณเคลด้าเฟอร์ไรต์น้อยที่สุด นอกจากนี้ ในระหว่างการใช้งาน มักพบว่าความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมสามารถไปเพิ่มศักยภาพของความเค้นจากการใช้งาน(Applied Stress) และความเค้นตกค้างจากการขึ้นรูป ยิ่งถ้าชิ้นงานมีสภาวะการรับแรงดึงจากธรรมชาติอยู่แล้ว (เช่น ผิวด้านนอกท่อ)สามารถส่งเสริมให้วัสดุมีความไวในการแตกร้าวเนื่องจากความเค้นรวมกับการกักร่อนได้เป็นอย่างดีและในการปฏิบัติทางวิศวกรรมนั้น ค่าความเค้นตกค้างสูงสุดที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมอาจมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานแรงที่จุดครากของวัสดุ ดังนั้นวัสดุจึงสามารถเกิดการแตกร้าวเนื่องจากความเค้น รวมกับการกักร่อนได้โดยไม่ต้องมีแรงเค้นกระทำระหว่างใช้งาน และถ้ามีการให้ความร้อนในอัตราสูง(High Heat Input)ในระหว่างการเชื่อม และยังถ้ามีอัตราการเย็นตัวช้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดการแยกตัวตกตะกอนของธาตุผสม (Segregation of Alloying Elements)และมีการฟอร์มตัวของบริเวณที่พ้องโครเมียมส่งผลให้วัสดุมีความต้านทานการกักร่อนลดลง สำหรับกลไกในการขยายตัวของการแตกร้าวเนื่องจากความเค้นรวมกับการกักร่อนนั้นมีทั้งแบบผ่าเกรนและตามขอบเกรน(Transgranular and intergranular Cracking)โดยการขยายตัวของรอยแตก แบบตามขอบเกรนมักเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนไม่เหมาะสมหรือถูกใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์(Sensitization)[10]



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI 304L ที่ผ่านการอบอ่อน มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นออสเทนนิติกและไม่ดูดติดแม่เหล็ก[10]



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI 304 มี slip band ที่เกิดจากการขึ้นรูปเย็นอย่างรุนแรงในโครงสร้างพื้นฐานเป็นออสเทนนิติก โดยจะส่งเสริมให้เกิดโครงสร้างแอลฟาไพรม์มาร์เทนไซต์ในบริเวณ slip band ที่ติดกันและสามารถดูดซับแม่เหล็กได้ [10]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eyup Bagci, และคณะ [11] ได้ศึกษาปัจจัยที่จะทำให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุดในการกัดเหล็ก Cobalt – Based Alloy 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 100 140 180 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองปรากฏว่าทั้งสามปัจจัยมีผลต่อความเรียบผิว

ประพล เปี่ยมศักดิ์ชัย [12] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวในการกัดเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น D2 โดยกำหนดตัวแปรประกอบด้วย ระยะป้อนลึก 3 ระดับ ได้แก่ 0.25, 0.5 และ 0.75 มิลลิเมตรความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 50, 70 และ 90 เมตรต่อนาที และอัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 100, 140, และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรตามคือคุณภาพของผิวงาน การทดลองใช้เครื่องกัดโลหะที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ภายใต้สภาวะการตัดเฉือนที่สารหล่อเย็นผลการศึกษาพบว่า ความเร็วตัด และ อัตราป้อนมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 ส่วนระยะป้อนลึกไม่มีผลต่อความเรียบผิว โดยที่ความเร็วตัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าเรียบผิวลดลง ซึ่งตรงกันข้ามกับอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น

สุรศักดิ์ ศิริศิลป์ [13] จึงได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของคมตัดในดอกสว่านชนิดเกลียวแบบไฮสปีด และชนิดเกลียวแบบไฮสปีดโคบอล 8 % โดยการวิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของดอกสว่านอายุการใช้งานของดอกสว่าน (Tool Life) ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวได้กำหนดให้ความเร็วตัด อัตราการป้อน และชนิดของดอกสว่านเป็นตัวแปร ของการทดลองจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าการสึกหรอของดอกสว่านและอายุการใช้งานของดอกสว่านที่เกิดขึ้น มีผลโดยตรงมาจาก ความเร็วตัด อัตราการป้อน และ ส่วนผสมของดอกสว่าน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้จากการทดลองยัง พบว่าดอกสว่านชนิดเกลียวแบบไฮสปีดโคบอล 8% มีอายุการใช้งานที่นานกว่าดอกสว่านชนิดเกลียวแบบไฮสปีด

ประวุฒิ เพชรไพรินทร์ [14] ได้ทำการศึกษารื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัดในการกัดทองเหลืองผสม พบว่า ปัจจัยที่มีผล คือ สารหล่อเย็นที่มีผลต่อความผิวงาน โดยที่สารหล่อเย็นชนิดน้ำมันแบบผสมน้ำให้ค่าความเรียบผิวมากกว่าน้ำมันพืช ส่วนความเร็วตัดมีผลต่อความผิวงาน เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นด้วย อัตราป้อนมีผลต่อคุณภาพผิวงาน เมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานลดลง ตรงข้ามกับการใช้น้ำมันพืชจะให้ค่าความเรียบผิวชิ้นงานที่สูงขึ้น อัตราป้อนมีผลต่อความสึกหรอของคมตัด โดยเมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงขึ้นจะให้ค่าความสึกหรอของคมตัดที่ลดลง สุกเอก ประมูลมาก และวิเชียร เกื่อนเครือวัลย์ [15] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของระยะกินลึกและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมิดกัทที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน พบว่า ระยะกินลึกของงาน เมื่อระยะกินลึกมากขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพผิวงานลดลง และขนาดของมิดกัท ส่งผลต่อค่าความเรียบผิว เมื่อใช้มิดกัทใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพผิวงานลดลง

สหรัตน์ วงษ์ศรียะ [16] ได้ทำการศึกษา เปรียบเทียบประสิทธิภาพการด้านทานการสึกหรอของเอ็นมิลล์ประเภททังสเตนคาร์ไบด์ ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแม่พิมพ์ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า เอ็นมิลล์ชนิดเคลือบผิวแข็ง จำหน่ายที่ราคาช่วง 2500 – 3800 บาทต่อชิ้น มุมคายเศษอยู่ในช่วง 5-9 องศา มุมหลบอยู่ในช่วง 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 กับเอ็นมิลล์ชนิดไมเคลือบผิว ปรากฏว่าวัสดุสำหรับผลิตเอ็นมิลล์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรง ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

มานพ วรศรี [17] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความแข็งของงานกัดกล้าเครื่องมือ SKD 16 พบว่า อัตราป้อนมีผลต่อความเรียบผิวงาน เมื่อเพิ่มอัตราป้อนมากขึ้นค่าความเรียบผิวจะมีค่ามากขึ้น เพราะอัตราป้อนมากขึ้นทำให้มีดเดินกัดงานมีระยะห่างระหว่างรอยกัดกว้าง ซึ่งส่งผลต่อจำนวนรอยกัดที่มีระยะห่างมากกว่าอัตราป้อนที่น้อย ทำให้ผิวงานมีความละเอียดน้อยกว่า

สมิง อบมา [18] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผิวและการสึกหรอของคมตัดในการกัดพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยใช้ความเร็วตัดที่ 60, 70 และ 90 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 200, 300 และ 400 มิลลิเมตร/นาที พบว่า อัตราป้อนและทิศทางตัดมีผลต่อความเรียบผิวงาน และอัตราป้อน ความเร็วตัด และทิศทางการกัด มีผลต่อการสึกหรอของคมตัด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนมากขึ้นค่าความเรียบผิวจะมีค่ามากขึ้น