

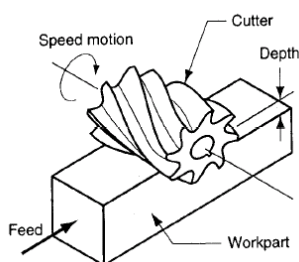
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่มีผลต่อความสึกหรอของคมตัดดอกกัดในการกัดเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 (Duplex stainless steel) ด้วยมีดเหล็กกล้ารอบสูง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้าเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

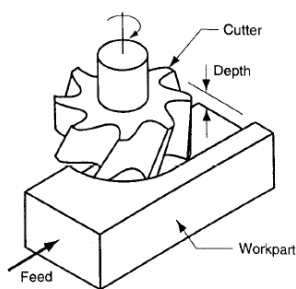
- 2.1 งานกัด
- 2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรกล CNC
- 2.3 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด
- 2.4 มีดกัด และความสึกหรอของมีดกัด
- 2.5 ประเภทของเหล็กกล้าสแตนเลส
- 2.6 เหล็กกล้าสแตนเลสกลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel)
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานกัด

งานกัด (Milling) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ งานกัดในแนวนอน (Peripheral Milling) และงานกัดงานในแนวตั้ง (Face Milling) ดังรูปที่ 2.1ก-ข



รูปที่ 2.1 ก งานกัดในแนวนอน (Peripheral Milling) [4]



รูปที่ 2.1 ข งานกัดงานในแนวตั้ง (FaceMilling) [4]

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรกล CNC

2.2.1 ความหมายของเอ็นซีและซีเอ็นซี

2.2.1.1 พัฒนาการของเครื่องจักรกล CNC

พัฒนาการของเครื่องจักร CNC มีมากกว่า 40 ปีในปี ค.ศ. 1948 สถาบัน M.I.T (Massachusetts Institute of Technology) ได้เริ่มนำโครงการพัฒนาเครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ขึ้น เพื่อที่จะนำไปใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องบินตามหลักการทางพลศาสตร์ที่มีความซับซ้อนจากการค้นคว้าวิจัย ดังกล่าวจึงมีการสร้าง และผลิตเครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบตัวเลขขึ้น (NC Machine) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมโลหะดังนั้นพัฒนาการของเครื่องจักร CNC จึงเริ่มจากเครื่องจักร NC ขึ้นมาก่อน

2.2.1.2 ความหมายของเอ็นซี (NC)

N ย่อมาจาก Numerical (นิวเมอรัล) หมายถึง ตัวเลข 0 ถึง 9 ตัวอักษร หรือโค้ด เช่น A, B, C ถึง Z และสัญลักษณ์อื่น ๆ เช่น เครื่องหมาย + , - และ %

C ย่อมาจาก Control (คอนโทรล) หมายถึง การควบคุมโดยกำหนดค่า หรือตำแหน่งจริงที่ต้องการเพื่อให้เครื่องจักรทำงานให้ได้ค่าตามที่กำหนด

ดังนั้น เอ็นซี (NC) หมายถึง การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยระบบตัวเลขและตัวอักษร ซึ่งจำกัดความนี้ได้จากประเทศสหรัฐอเมริกา กล่าวคือ การเคลื่อนที่ต่าง ๆ ตลอดจนการทำงานอื่น ๆ ของเครื่องจักรกล จะถูกควบคุมโดยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์อื่น ๆ ซึ่ง

จะถูกแปลงเป็นคลื่นสัญญาณ (Pulse) ของกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณออกอื่น ๆ ที่จะไปกระตุ้นมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อให้เครื่องจักรกลทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ

2.2.1.3 ความหมายของซีเอ็นซี (CNC)

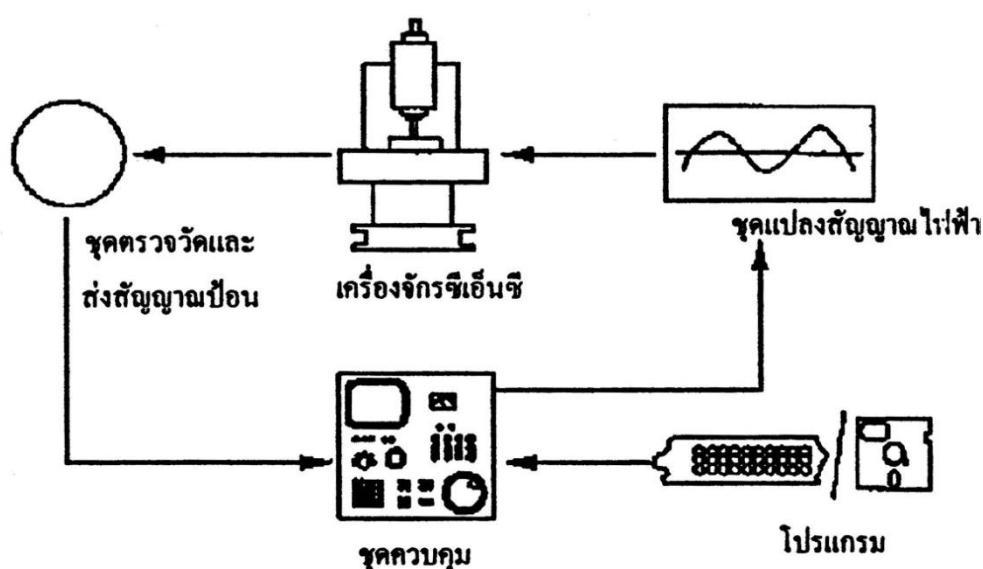
C ย่อมาจาก Computer หมายถึง คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักร

N ย่อมาจาก Numerical (นิวเมอริกัล) หมายถึง ตัวเลข 0 ถึง 9

ตัวอักษร หรือโค้ด เช่น A, B, C ถึง Z และสัญลักษณ์อื่น ๆ เครื่องหมาย + , - และ %

C ย่อมาจาก Control (คอนโทรล) หมายถึง การควบคุมโดยกำหนดค่า หรือตำแหน่งจริงที่ต้องการเพื่อให้เครื่องจักรทำงานให้ได้ค่าตามที่กำหนด

ดังนั้น ซีเอ็นซี (CNC) ซึ่งย่อมาจาก Computer Numerical Control คือ คอมพิวเตอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ สำหรับใช้ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 2.2 หลักการของเครื่องจักร NC / CNC [4]

ดังนั้น เครื่องจักรกลเอ็นซีในปัจจุบันนี้ส่วนมากจะหมายถึง เครื่องจักรกล ซีเอ็นซี ซึ่งจะมีคอมพิวเตอร์ที่สามารถเข้าใจตัวเลขและตัวอักษรหรือโปรแกรมที่ป้อนและขณะเดียวกัน จะใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมเครื่องจักรจากคำสั่ง หรือ โค้ดในโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป โดยโปรแกรมดังกล่าวสามารถป้อนเข้าคอมพิวเตอร์โดยใช้

1. คีย์บอร์ด (Keyboard) หรือ แป้นพิมพ์
2. สื่อบันทึกความจำ เช่น แผ่นดิสก์ , แถบเทปแม่เหล็ก และ แถบเทปกระดาษ
3. ระบบสื่อสารเชื่อมโยงข้อมูล เช่น สายส่งสัญญาณ RS 232

2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องจักรกล ซีเอ็นซี

หลักการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี จะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่ว ๆ ไป คือ พื้นฐานเบื้องต้นของการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะทำการผลิตชิ้นงานเหมือนกับเครื่องจักรกลทั่วไปแต่จะแตกต่างกันที่การควบคุมการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีจะใช้ คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ แทนที่จะใช้ช่างควบคุมเครื่อง ส่วนของการควบคุมเครื่องจักรแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

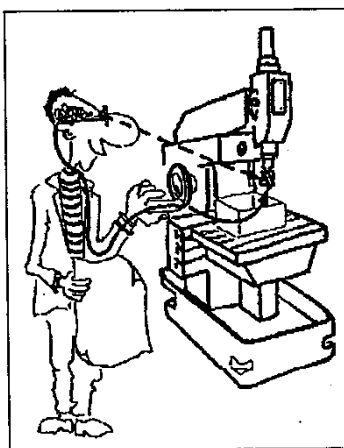
- การควบคุมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ (Movement)
- การควบคุมความเร็วของการเคลื่อนที่ (Speed)

2.2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลทั่วไป

เครื่องจักรกลทั่วไปจะต้องใช้ช่างควบคุมเครื่องในการหมุนเลื่อนโต๊ะงาน เพื่อเลื่อนคมตัดหรือชิ้นงานให้เคลื่อนที่ไปตามระยะที่ต้องการ เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานแล้วก็จะได้ชิ้นงานที่มีรูปทรงและขนาดตามความต้องการซึ่งช่างควบคุมเครื่องจะต้องคอยเฝ้าดูตำแหน่งของคมตัดที่สัมผัสกับเส้นรอบรูปบนชิ้นงานที่กำลังตัดเนื่องอยู่ตลอดเวลา และในการเปลี่ยนตำแหน่งของคมตัด ช่างจะต้องหมุนมือหมุน เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนต้องคอยสังเกตคมตัด เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นงานกับคมตัด และเมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ช่างก็จะหยุดหมุนมือหมุน คมตัดก็จะหยุดเคลื่อนที่ ซึ่งภาษาทางเทคนิค เรียกการทำงานนี้ว่า

2.2.2.1.1 การควบคุม (Control)

นอกเหนือจากการควบคุมตำแหน่งของชิ้นงานกับเครื่องมือตัดแล้ว ช่างยังต้องควบคุมอัตราป้อนซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุชิ้นงาน วัสดุของเครื่องมือตัดและตำแหน่งของคมตัดด้วย ซึ่งในบางครั้งช่างจะต้องลดอัตราป้อนลงเมื่อใกล้จะถึงตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องจริง ๆ นอกจากนี้จะต้องคอยปรับความเร็วรอบและตำแหน่งของการหล่อเย็นให้ถูกต้องอีกด้วย

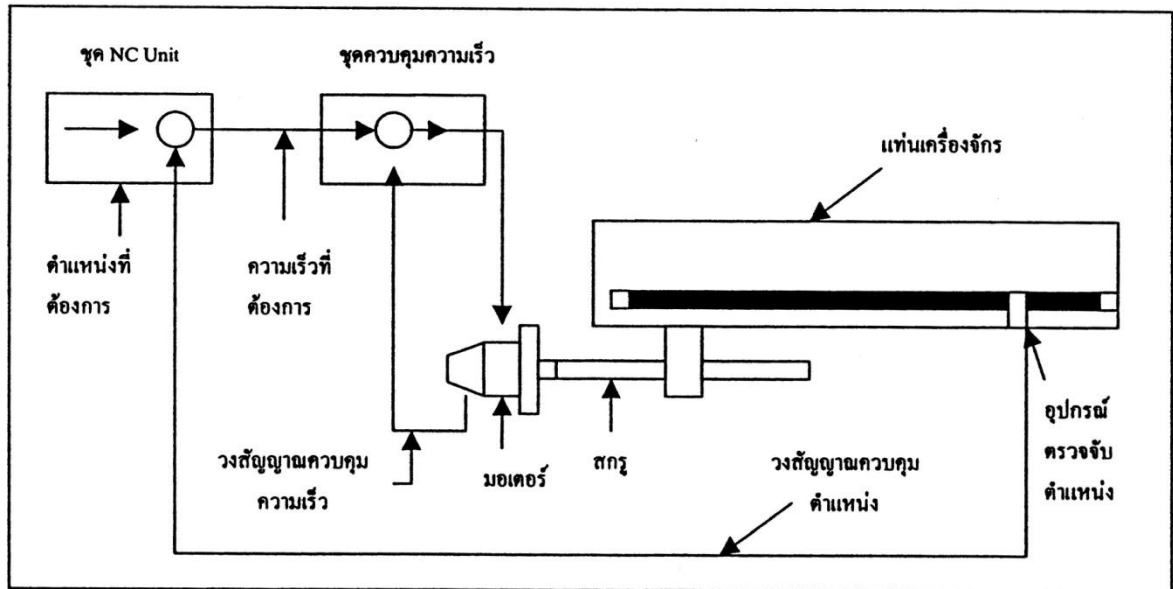


รูปที่ 2.3 การควบคุมเครื่องจักรโดยช่างผู้ปฏิบัติงาน [4]

2.2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับคำสั่งเป็นภาษาที่ระบบควบคุมเข้าใจได้เสียก่อนว่าจะให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีทำอะไร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Key Board) หรือเทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape) เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงานโดยอาศัยมอเตอร์ป้อน (Feed Moter) เพื่อให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ได้ เช่น เครื่องกลึงซีเอ็นซี ก็จะมีมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ 2 ตัว หรือเครื่องกัดซีเอ็นซี จะมีมอเตอร์ป้อน 3 ตัว จากนั้นระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้ว ก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อย ไม่สามารถไปหมุนขับให้มอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive amplified) และส่งสัญญาณต่อไปยังมอเตอร์ป้อนแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ ตามที่โปรแกรมกำหนด ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน จะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ เนื่องจากระบบควบคุมซีเอ็นซีไม่สามารถมองได้ ซึ่งจะแตกต่างกับช่างควบคุมเครื่องจักรที่อาศัยสายตามองดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงาน ก็จะรู้ว่าต้องเลื่อนแท่นเลื่อนไปอีกเป็นระยะทางเท่าใด ดังนั้น จึงต้องออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถจะบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมได้รู้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่า ระบบวัดขนาด (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Liner Scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใด

จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าว ทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างและรูปทรงให้มีขนาดตามที่ต้องการได้ เนื่องจากการสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป จึงทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในที่



รูปที่ 2.4 หลักการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล CNC [4]

2.2.3 องค์ประกอบของเครื่องจักรซีเอ็นซี

ส่วนใหญ่เครื่องจักร CNC จะมีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. ชุดควบคุมการทำงาน (Controller)
2. ระบบกลไกในการเคลื่อนที่ (Drive Mechanisms)
3. ตัวเครื่องจักร (Machine Body)

2.2.3.1 ชุดควบคุม CNC

ชุดควบคุมหรือ “คอนโทรลเลอร์” (CNC Controller) หรือ หน่วยควบคุมเครื่องจักร (MCU) ของเครื่องซีเอ็นซี เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรม (Store) และแก้ไขตัดแปลงโปรแกรม (Edit) ได้ คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อนและทำการควบคุมเครื่องจักรให้ทำงานตามคำสั่งในโปรแกรม NC นอกจากนี้ยังทำการประมวลและคำนวณข้อมูลแลตไค้ด (Code) และควบคุมการทำงานโดยผ่านระบบเชื่อมโยง (Interface)

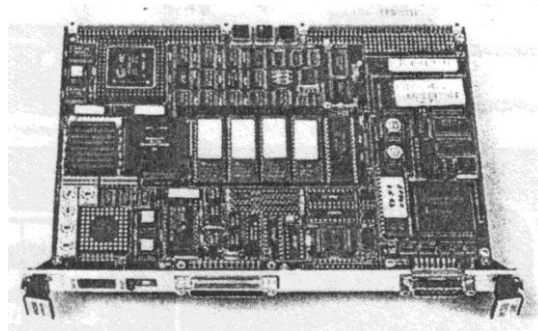


รูปที่ 2.5 ลักษณะของชุดควบคุม (CNC Controller) [4]

2.2.3.1.1 ภายในของชุดคอนโทรลเลอร์

ภายในชุดคอนโทรลเลอร์ประกอบไปด้วย

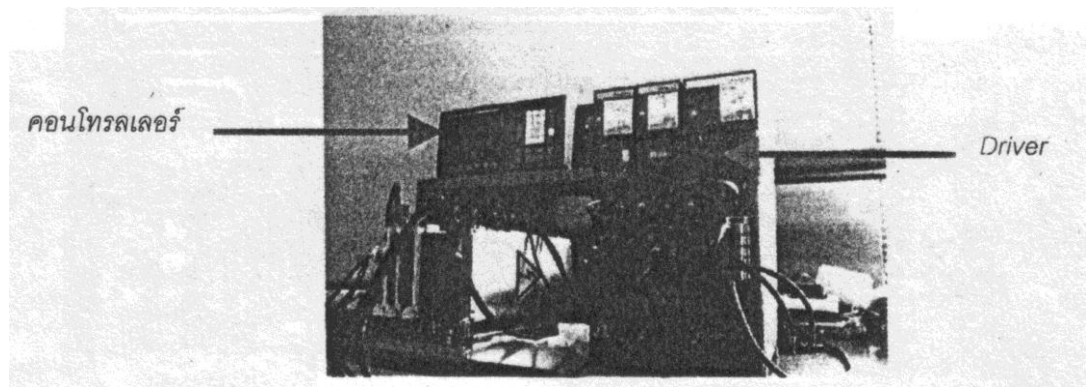
1. CPU หรือไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor)
2. หน่วยความจำแบบ RAM



รูปที่ 2.6 ลักษณะของแผงวงจรคอนโทรลเลอร์ [4]

ลักษณะของแผงวงจรคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วย

1. ระบบสื่อสาร เช่น RS 232 ระบบเชื่อมโยงแสดงผลและแผงควบคุม
2. ชุดควบคุมโซลเวอร์มอเตอร์ (Servodrive Control) หรือ Drive



รูปที่ 2.7 ลักษณะของชุดควบคุมไซเบอร์มอเตอร์ [4]

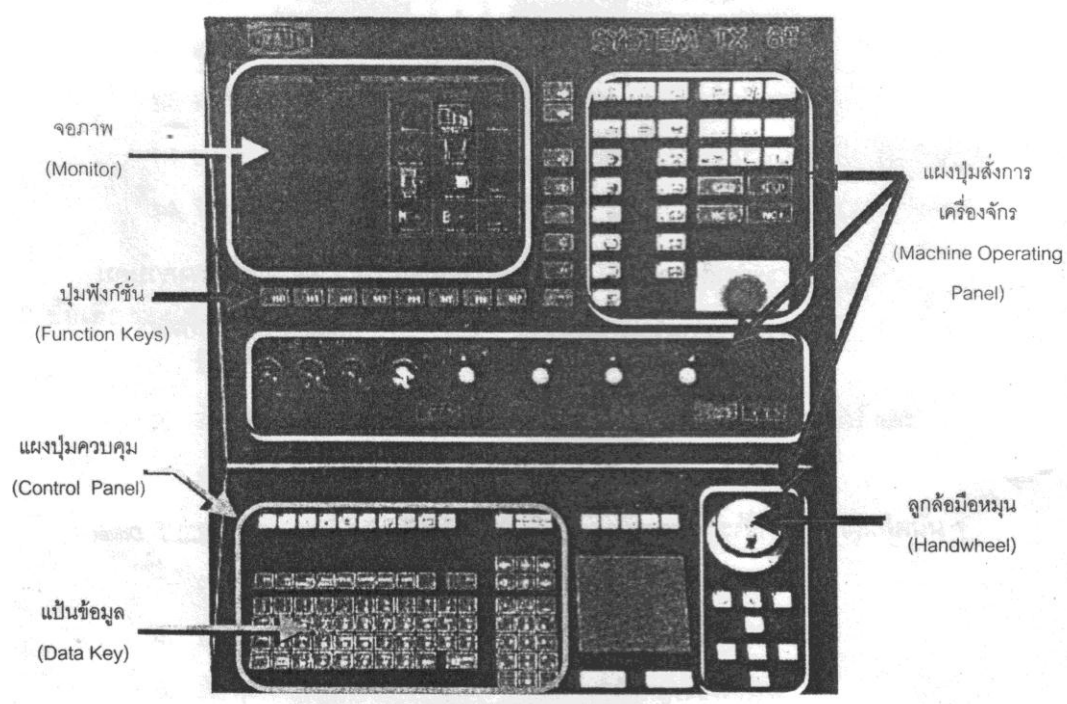
ลักษณะของชุดควบคุมไซเบอร์มอเตอร์ ประกอบด้วย

1. ชุดควบคุมมอเตอร์สปีนเดิล
2. ชุดควบคุมอื่น ๆ เช่น ระบบหล่อเย็น (Coolant) การเปลี่ยนทูลและการจับชิ้นงาน

2.2.3.1.2 ภายนอกของชุดคอนโทรลเลอร์

ภายนอกชุดควบคุม เป็นแผงควบคุมการทำงาน หรือ Operating Panel สำหรับการเชื่อมโยงผู้ใช้ (User Interface) กับอุปกรณ์ภายในคอนโทรลเลอร์ เช่น การควบคุมการทำงานของเครื่องจักร การจัดการโปรแกรมชุดควบคุมสามารถแยกได้เป็น 3 ส่วน คือ

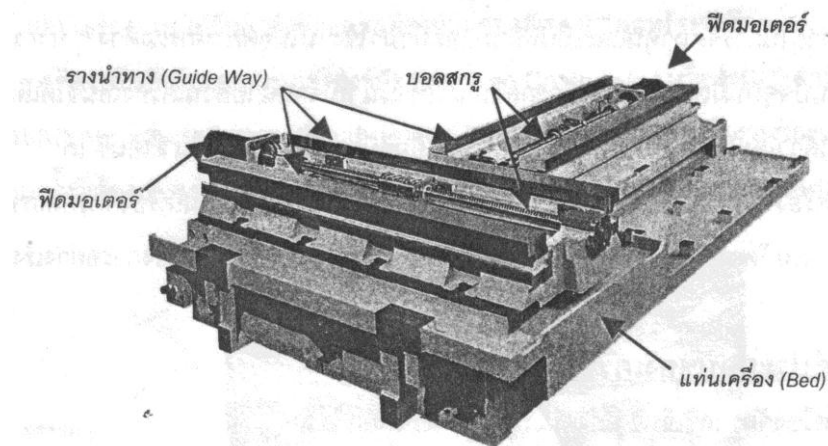
1. แผงปุ่มสั่งการเครื่องจักร (Matching Operating Panel) เช่น การเริ่มทำงาน (Cycle Start) การเลือกบังคับการเคลื่อนที่ของแกนต่าง ๆ การปรับค่าฟีดและการปรับความเร็วสปีนเดิล การเปิด – ปิดสปีนเดิล และรวมถึงการใช้มือหมุน (Handwheel) สำหรับปรับตำแหน่งการเคลื่อนที่
2. แผงควบคุม (Control Panel) และปุ่มฟังก์ชัน (Function Keys) ประกอบด้วยแป้นข้อมูล (Data Key) ได้แก่ ตัวอักษร (A ถึง Z) ตัวเลข (0, 1, ..., 9) คำสั่งทางคณิตศาสตร์ (+, -) การแก้ไขโปรแกรม การเปลี่ยนโหมดการแสดงผลโปรแกรม การแก้ไขค่าตำแหน่งต่าง ๆ และข้อมูลของทูล (Tools)
3. จอภาพ ใช้ในการแสดงผลโปรแกรมชิ้นงาน หรือ โปรแกรมเอ็นซี และข้อมูลต่าง ๆ ตามโหมดใช้งาน



รูปที่ 2.8 ลักษณะภายนอกของชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์ [4]

2.2.3.2 กลไกการเคลื่อนที่ (Drive Mechanisms)

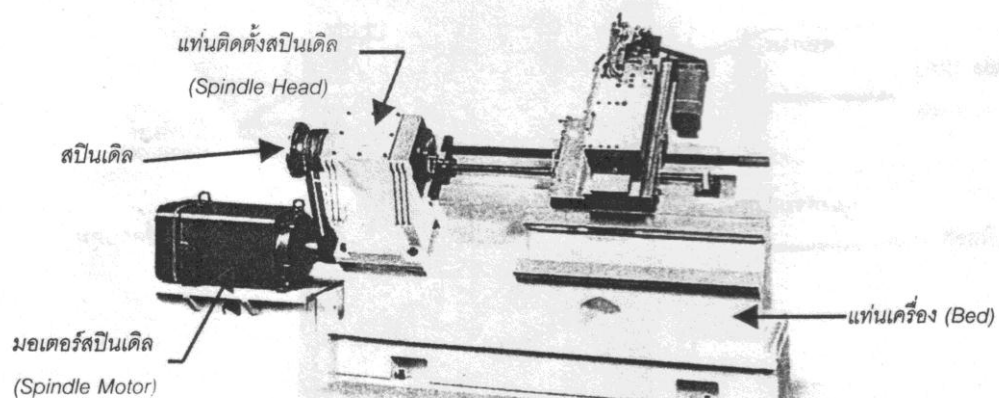
กลไกการเคลื่อนที่ ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (Feed Motor) ซึ่งเป็น โซโวมอเตอร์ (Servo Motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่าง ๆ ได้โดยใช้ บอลสกรู (Ball Screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular Motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) โดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (Guide way) รองรับการเคลื่อนที่ที่แกนต่าง ๆ ของตัวเครื่องจักร



รูปที่ 2.9 กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล CNC [4]

2.2.3.3 ตัวเครื่องจักร (Machine Body)

ตัวเครื่องจักร คือ โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการทำงานตามประเภทของเครื่องจักรนั้น ๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลัก เช่น แท่นเครื่อง (Machine Bed หรือ Bed) โต๊ะวางชิ้นงาน (Table – สำหรับเครื่องกัด) แท่นติดตั้งสปินเดิล (Spindle Head) และมอเตอร์สปินเดิล (Spindle Motor) เป็นต้น ส่วนประกอบดังกล่าว เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในเครื่องจักรกลธรรมดา ที่ใช้มือควบคุม (Manual Machine หรือ Conventional Machine)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของตัวเครื่องจักรกล CNC [4]

2.2.5 ข้อดีและข้อเสียของ เครื่องจักรกล CNC

ข้อดี

1. มีความเที่ยงตรงสูงในการปฏิบัติงานเพราะชิ้นงานต่าง ๆ ต้องการขนาดที่แน่นอน
2. คุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้นงานเท่ากันหมดเนื่องจากผลิตโดยใช้โปรแกรมในการสั่งเครื่องจักร CNC ทำงาน
3. โอกาสเกิดความเสียหาย หรือต้องแก้ไขชิ้นงานน้อยหรือแทบไม่มี เพราะชิ้นงานที่ทำจะใช้โปรแกรมในการควบคุมถ้าผิดพลาดก็แก้ไขที่โปรแกรม
4. สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องหยุดพักเครื่องแต่ต้องมีคนควบคุมประจำเครื่อง CNC
5. มีความรวดเร็วสูงในการผลิตทำให้ได้ผลผลิตสูง เพราะสามารถกำหนดระยะเวลาในการผลิตชิ้นงานได้ว่าใช้เวลาในการทำงานกี่ชั่วโมง / นาที / วินาที
6. สามารถคาดคะเนและวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำ เพราะรู้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานเพื่อที่จะนัดหรือส่งงานลูกค้าได้ตรงตามเวลา

7. สามารถสลับเปลี่ยนรูปแบบของชิ้นงานได้หลากหลายรูปทรงเนื่องจากสะดวกและรวดเร็วในการทำงานเพราะใช้โปรแกรมในการสั่งงาน

8. เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผลผลิตที่เท่ากัน เครื่องจักรกล ซีเอ็นซี ใช้พื้นที่น้อยกว่าและลดพื้นที่การจัดเก็บชิ้นงาน

9. มีความสะดวก สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่มีการแก้ไขบ่อย ๆ เพราะเวลาแก้ไขสามารถแก้ไขได้ที่โปรแกรม

10. ชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงและมีหลายขั้นตอนการผลิต สามารถใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเครื่องเดียว ทำให้ไม่ต้องย้ายไปทำงานที่เครื่องอื่นให้เสียเวลาในการปฏิบัติงาน

11. ลดขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพลงเพราะชิ้นงานนั้นได้ขนาดเท่ากันทุก ๆ ชิ้นแต่ควรเลือกค่าของความเร็วรอบ , ความเร็วตัด ให้เหมาะสมเพื่อลดอายุการสึกหรอของทุลที่ใช้

12. ทำให้สามารถใช้ ทุล หรือ เครื่องมือตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะจะต้องคำนวณค่าต่าง ๆ มาก่อนลงมือปฏิบัติงานกับเครื่องจักร CNC

13. ลดแรงงานในสายการผลิตลงเนื่องจาก ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน สามารถคุมได้ 3 ถึง 5 เครื่อง

14. ใช้อุปกรณ์เสริมน้อย ไม่ต้องใช้แผ่นลอกแบบ(Camplates หรือ Templates) แต่ผู้ใช้จะต้องเขียนโปรแกรมให้ถูกต้อง

ข้อเสีย

1. มีราคาแพงมากเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศเนื่องจากยังไม่มีการผลิตเครื่องจักร CNC ภายในประเทศ

2. ค่าซ่อมแซมสูง การซ่อมแซมมีความซับซ้อน เพราะทั้ง ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ รวมถึง คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ

3. อุปกรณ์และซอฟต์แวร์เสริม (Option) มีราคาสูงและต้องได้มาจากผู้ผลิตเครื่องจักร CNC นั้น ๆ เท่านั้น

4. ต้องมีความรู้พื้นฐานทางวิชาคณิตศาสตร์มากพอสมควรสำหรับการเขียนโปรแกรม เพราะไม่งั้นไม่สามารถคำนวณหาค่าของจุดต่าง ๆ ได้เลย

5. ต้องมีพื้นที่ในการทำงานว่างพอและยังรวมไปถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ให้แก่ผู้เขียนโปรแกรม NC

6. ต้องหางานป้อนให้เครื่องทำงานประจำอย่างสม่ำเสมอไม่ให้หยุดนิ่งเพราะอาจจะทำให้ชิ้นส่วนบางอย่างเสื่อมสภาพและเครื่องจักรจะได้รันเครื่องเตรียมพร้อมตลอดเวลา

7. ไม่เหมาะกับการผลิตชิ้นงานจำนวนน้อย ๆ ควรใช้กับผลิตชิ้นงานจำนวนมาก ๆ เพราะจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในจ้างพนักงาน

8. ค่าซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรสูงมาก ๆ เพราะต้องใช้ช่างผู้ชำนาญเฉพาะทางในการซ่อมแซม

9. ชิ้นส่วนอะไหล่ถ้าเกิดการชำรุดหรือเสียหายในบางกรณี ต้องรอสั่งมาจากต่างประเทศอย่างเดียวเนื่องจากไม่ได้ผลิตในประเทศ

10. คอนโทรลเลอร์ เป็นภาษาอังกฤษ ช่างต้องเรียนรู้และมีการฝึกอบรมการใช้เครื่องและการเขียนโปรแกรมก่อนเริ่มใช้เครื่องเพราะไม่งั้นจะใช้ไม่เป็น

2.2.6 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

เครื่องมือตัดที่ใช้ในงานกัดโดยทั่วไป ได้แก่ มีดกัดราบ (Plain Cutter) มีดกัดร่อง (End Mill) มีดกัดตั้ง (Shell End Mill) มีดกัดข้าง (Side Cutter) มีดกัดเฟือง (Gear Cutter) มีดกัดชนิดถอดเปลี่ยนคมตัดได้ (Indexable Cutting Tools) มีดกัดร่องหางเหยี่ยว (Dovetail) มีดกัดร่อง T-Slot และมีดกัดปลายมน (Radius Cutter) เป็นต้น [4]

2.2.6.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับงานกัด

ในการกัดค่าตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาในกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดมากที่สุด ประกอบด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed), อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกของการตัดเฉือน (Depth of Cut) โดยที่ค่าตัวแปรทั้ง 3 นี้ จะเป็นตัวชี้วัดสมรรถภาพของกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงาน ดังนั้น ในการพิจารณาเลือกค่าตัวแปรทั้ง 3 นี้ควรคำนึงถึงความสามารถในการตัดเฉือนของเครื่องมือตัด กำลังม้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องมือตัด และความแข็งแรง (Rigidity) ของชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึด [6]

2.2.6.2 ความเร็วตัด

ความเร็วตัด (Cutting Speed) ในกระบวนการขึ้นรูปทางกลด้วยเครื่องกัด หมายถึง ความเร็วขอบ ณ จุดที่เกิดการตัดเฉือนของเครื่องมือตัด ในขณะที่เครื่องมือตัดนั้นเคลื่อนตัดเฉือนบนผิวชิ้นงาน ในการเลือกค่าความเร็วตัดนั้น ควรพิจารณาถึงองค์ประกอบ ดังนี้ เช่น ความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุชิ้นงาน วัสดุและรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือตัด การหล่อเย็น อัตราป้อนและความลึกของการตัดเฉือน และกำลังม้าในการขับเคลื่อนเครื่องมือตัด เป็นต้น [5]

การคำนวณหาความเร็วตัดระบบนี้

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

เมื่อ

CS = ความเร็วตัด (ฟุต/นาที: FPM)

N = ความเร็วรอบของเครื่องมือตัด (รอบ/นาที: RPM)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัด (นิ้ว)

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 [5]

ระบบนิ้ว

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

ระบบเมตริก

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

อัตราป้อน (Feed Rate) หมายถึง อัตราการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดที่เคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน ซึ่งกำหนดหน่วยของอัตราป้อนมี 3 ลักษณะ ดังนี้ [5]

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: MMPM)

อัตราป้อนของงานกัด สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้ [4]

$$V_f = f_z \times Z \times n \text{ (มิลลิเมตร/นาที)}$$

เมื่อ

V_f = อัตราป้อน (มิลลิเมตร/ฟัน)

Z = จำนวนฟันของมีดกัด

N = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

ในทางปฏิบัติ ค่าความเร็วตัดและอัตราป้อนในงานกัดนั้น จะดูจากตารางคู่มือมาตรฐาน ซึ่งจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุชิ้นงาน และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด

2.2.6.2.1 ชนิดของวัสดุความเร็วตัด

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

2.2.6.2.2 ชนิดของวัสดุ ขนาดของมีดกัดชนิด End mills (นิ้ว) 1/2 3/4 1 นิ้วขึ้นไป

1. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ 0.001 0.003 0.003
2. เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง 0.001 0.002 0.003
3. เหล็กกล้าคาร์บอนสูง 0.001 0.002 0.002
3. เหล็กหล่อ (ชนิดอ่อน) 0.001 0.003 0.003
4. เหล็กหล่อ (ชนิดปานกลาง) 0.001 0.002 0.003

5. เหล็กหล่อ (ชนิดแข็ง) 0.001 0.002 0.002
6. เหล็กกล้าผสม 0.001 0.002 0.002
7. อะลูมิเนียมและทองเหลืองผสม 0.003 0.004 0.005
8. เหล็กกล้าไร้สนิม 0.001 0.002 0.003

2.2.6.3 ความลึกของการตัดเฉือน

ความลึกหรือความกว้างของการตัดเฉือน (Depth of Cut) หมายถึง ระยะทางที่คมของเครื่องมือตัดหยั่งลึกเข้าไปในชิ้นงานในทิศทางที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปความลึกของการตัดหยาบจะมีขนาดมากกว่าความลึกของการตัดละเอียด การกำหนดความลึกของการตัดเฉือนนี้ จะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการคือ แรงม้าในการขับเคลื่อนเครื่องตัดหรือชิ้นงานกับความแข็งแรงของเครื่องมือตัดหรือความแข็งแรงของเครื่องกัด [5]

2.2.6.4 การคำนวณกำลังม้าในงานกัด

การตัดเฉือนผิวชิ้นงานด้วยเครื่องกัดนี้ ส่วนมากแล้วกำลังแรงม้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนนั้นจะได้อาจมอเตอร์ ดังนั้นก่อนที่จะทำการตัดเฉือนผิวชิ้นงานนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนวณกำลังที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการตัดเฉือนในแต่ละครั้ง จำนวนของกำลังที่จะต้องใช้ในการตัดเฉือนผิวชิ้นงานจำนวน 1 ลูกบาศก์นิ้ว/นาที นั้นเราเรียกว่า “หน่วยกำลังแรงม้า (Unit Horse power)” ในการคำนวณกำลังแรงม้าที่ใช้ในการตัดเฉือน ณ ตำแหน่งปลายของเครื่องมือตัด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ [4]

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

เมื่อ

$$HP_c = \text{กำลังแรงม้าที่เครื่องมือตัด}$$

$UHP = \text{หน่วยกำลังแรงม้า (กำลังที่ต้องใช้ในการตัดเฉือนผิวชิ้นงาน 1 ลูกบาศก์นิ้ว/นาที) ซึ่งดูได้จากตารางมาตรฐาน}$

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

$$C = \text{ค่าแฟกเตอร์ของการป้อน}$$

โดยที่

$$MRR = W \times H \times f_m$$

เมื่อ

W = ความกว้างของการตัดเฉือน (นิ้ว)

H = ความลึกของการตัดเฉือน (นิ้ว)

f_m = อัตราป้อน (นิ้ว/นาที)

ตารางที่ 2.3 ค่า UHP สำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ

2.2.6.5 ชนิดของวัสดุ 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 300 BHN ถ้าความลึกของการตัดเฉือน เท่ากับ 0.35 นิ้ว และความกว้างของการกัดเท่ากับ 0.50 นิ้ว [5]

จงคำนวณหา

1. ความเร็วตัด 5. อัตราการตัดเฉือนผิววัสดุ
2. อัตราป้อน/นาที 6. กำลังม้าที่ปลายมีดกัด
3. หน่วยกำลังม้า 7. กำลังม้าที่เพลามอเตอร์ (ถ้า $E = 0.85$) 16
4. ความเร็วรอบ

วิธีทำ

1. ค่าความเร็วตัดและอัตราป้อนได้จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$CS_m = 70 \text{ ฟุต/นาที}$$

$$f_t = 0.002 \text{ นิ้ว/ฟัน}$$

2. หน่วยกำลังม้า (UHP) จากตารางที่ 2.3 มีค่าเท่ากับ

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

3. คำนวณหาความเร็วรอบ

$$\begin{aligned}
 N &= 12 \times CSm \\
 &\quad \times D \\
 &= 12 \times 70 \times 0.75 \\
 &= 356.68 \text{ รอบ/นาที}
 \end{aligned}$$

4. คำนวณหาอัตราป้อน (นิ้ว/นาที)

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

5. คำนวณหาอัตราการตัดเฉือนวัสดุ

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

6. คำนวณหากำลังม้าที่ปลายมีดกัด

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

7. คำนวณหากำลังม้าที่เพลามอเตอร์

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

2.3 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นเครื่องมือตัด (Tool Materials) เช่น มีดกลึง และมีดกัด ที่ใช้ทำการตัดเฉือนโลหะ จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่มีความแข็งแรง ทนความร้อนที่อุณหภูมิสูง ทนต่อแรงกด และแรงดัดงอ ทั้งนี้เพราะในขณะที่เกิดการตัดเฉือนจะมีแรงต้านจากโลหะ อีกทั้งยังต้องมีความคงทนต่อความร้อนและทนต่อการสึกหรอสูง เนื่องจากในขณะที่ทำการตัดเฉือนโลหะ จะเกิดการเสียดสีกันระหว่าง

มีดกัดกับเนื้อโลหะทำให้เกิดมีความร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งถ้าวัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดไม่มีความสามารถในการต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้วัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากที่แข็ง และใช้ในการตัดเฉือน อาจกลายเป็นวัสดุที่อ่อนได้ จะเห็นได้ว่าวัสดุเครื่องมือตัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานตัดเฉือนโลหะ นอกจากวัสดุในการทำเครื่องมือตัดเฉือนแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการตัดเฉือนโลหะอีก เช่น อัตราป้อน ความเร็วรอบ และรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือตัด [5]

2.3.1 เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง

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

2.3.2 เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมปานกลาง

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

2.3.3 เหล็กกล้ารอบสูง

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

2.3.4 โคบอลต์หล่อผสม

โคบอลต์หล่อผสม (Cast Cobalt Alloys) เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของโคบอลต์มากกว่าธาตุชนิดอื่น ๆ ที่นำมาผสม ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 38 - 53 % และมีธาตุอื่นผสม เช่น โครเมียม ทังสเตน และคาร์บอนโคบอลต์หล่อผสม ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดช่องว่างด้านคุณสมบัติ ระหว่างเหล็กหล่อสูงและเหล็กเครื่องมือคาร์ไบด์ ความสามารถในการนำไปใช้งาน จะอยู่กึ่งกลางระหว่างเหล็กหล่อสูงและวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานโคบอลต์หล่อผสม สามารถที่จะใช้งานได้ดีกว่าเหล็กหล่อสูงทั้งในด้านที่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า โดยที่ยังสามารถคงความแข็งแรงไว้ได้ และยังสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูงกว่าเหล็กหล่อสูงประมาณ 25 % อีกด้วย ธาตุที่ช่วยทำให้โคบอลต์หล่อผสมมีความแข็งแรงมากขึ้นคือ โครเมียม และทังสเตน ส่วนผสมอื่นที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติให้ดียิ่งขึ้น คือ วานาเดียม (V), โบรอน (B) นิกเกิล (Ni) และแทนทาลัม (Ta) เครื่องมือตัดที่เป็นโคบอลต์หล่อผสมจะถูกสร้างขึ้นมาโดยการหล่อให้รูปร่างที่ต้องการก่อน จากนั้น จึงทำการเจียระไนให้ได้รูปร่างที่ต้องการเป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยที่ใช้ทำเครื่องมือตัดที่มีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน

2.3.5 ซีเมนต์คาร์ไบด์

ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cement Carbide) หรือ เรียกอีกอย่าง คือ ทังสเตนคาร์ไบด์จัดเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง และมีการต้านทานการสึกกร่อนที่สูงด้วย ซีเมนต์คาร์ไบด์ถูกพัฒนาขึ้นไปประเทศเยอรมันในปีค.ศ. 1920 จุดประสงค์ของการพัฒนาขึ้นมาก็เพื่อใช้งานในการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูป และใช้แทนวัสดุอื่นที่มีราคาถูกกว่า ซีเมนต์คาร์ไบด์ที่พัฒนาขึ้นมารั้งแรกนั้น คือ ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ซึ่งมีส่วนผสมของโคบอลต์ด้วยวิธีการผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การหลอมธาตุต่าง ๆ เข้าด้วยกันแล้วหล่อ กรรมวิธีซินเตอร์ ภายหลัง พบว่า โคบอลต์เป็นตัวที่ทำการผสมผสานโลหะผงได้เข้ากันดี จึงได้มีการพัฒนามาเป็น ทังสเตนโคบอลต์ (WC-Co) และนิยม ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทังสเตนคาร์ไบด์จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิด WC ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2800 องศาเซลเซียส และชนิด W2C มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 2750 องศาเซลเซียส[6]

2.3.6 เซอร์เมท

เซอร์เมท (Cermeted) เป็นวัสดุเครื่องมือตัดที่ทำการผลิตมาตามกรรมวิธีโลหะผงหรือซินเตอร์ริง มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เซรามิกส์ และธาตุผสมอื่น ๆ เซรามิกส์ที่ผสมลงไปจะเป็นตัวช่วยในการต้านทานความร้อน และการสึกกร่อน ในขณะที่ส่วนผสมของโลหะอื่นเป็นตัวช่วยในด้านความเหนียว การยึดหยุ่น การต้านแรงกระแทก เซรามิกส์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของอโลหะซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีความสามารถในการต้านทานความร้อนสูง ในอุตสาหกรรมการผลิตได้แยกเครื่องมือตัดเซอร์เมท

ออกเป็นสองชนิดคือ ชนิดที่มีไททาเนียมคาร์ไบด์เป็นโลหะฐาน และชนิดไททาเนียมคาร์ไบด์ในไตรเป็นโลหะพื้นฐาน ในขณะที่ชนิดที่มีทังสเตนคาร์ไบด์เป็นโลหะฐาน เรียกว่า ซีเมนต์คาร์ไบด์ [6]

2.3.7 เซรามิก

เซรามิก (Ceramics) จัดเป็นวัสดุเครื่องมือตัดชนิดใหม่ที่น่าสนใจ ซึ่งความสามารถของเซรามิกสามารถที่จะใช้งานได้หลากหลาย เช่น งานตัดปาดผิวที่ละเอียดงานตัดปาดผิวที่ใช้วัสดุอื่นตัดได้ยากการพัฒนาเซรามิกมาใช้ได้เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ซึ่งทำมาเพื่อเป็นชิ้นส่วนของงานที่ต้องใช้ในอุณหภูมิสูง เนื่องจากเซรามิกเป็นอโลหะ จึงมีความสามารถในการทนอุณหภูมิสูงอยู่แล้วเซรามิกที่ใช้ทำเครื่องมือตัดในปัจจุบันเป็นเซรามิกฐานอะลูมินา (Al_2O_3) เซรามิกฐานซิลิกอนไนไตร (Si_3N_4)

2.3.8 วัสดุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษ

วัสดุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษ มี 2 ชนิด คือ เพชร (Diamond) และ CBN (Cubic Boron Nitride) วัสดุทั้งสองชนิดนี้ ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งจะใช้สำหรับเป็นเครื่องมือตัด เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเพชรและ CBN มีลักษณะคล้ายคลึงกันหลายอย่าง ทั้งสองชนิดเป็นวัสดุที่แข็งมากที่สุด [6]

2.4 มัดกัดและความสึกหรอของมัดกัด

2.4.1 มัดกัด

มัดกัด หรือเอ็นมิลล์ (End mill) ผลิตจากวัสดุหลายชนิด ได้แก่ เหล็กกล้ารอบสูงหมายเลข 1.3343, 1.3243, 1.3247 ตามมาตรฐาน DIN และวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (Solid Tungsten Carbide) การผลิตเอ็นมิลล์ส่วนใหญ่ใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้ารอบสูง เช่น ตามมาตรฐาน AISI เหล็กกล้ารอบสูงที่ใช้ผลิตเอ็นมิลล์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เหล็กกล้ารอบสูงผสมโมลิบดีนัมกับโคบอลต์เป็นหลัก เช่น M30M33 M34 M42 M43 M46 และ M47 เป็นต้น และเหล็กกล้ารอบสูงผสมทังสเตนเป็นหลัก เช่น T4 T5 T6 T8 และ T15 เป็นต้น ในการกำหนดรูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์จะพิจารณาจากเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น วัสดุสำหรับผลิตเอ็นมิลล์ วัสดุชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือนและเงื่อนไขในการตัดเฉือน เป็นต้น โดยที่ขนาดรูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์ นั้นประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ [6]

1. มุมคายในแนวรัศมี (Radial Rake Angle)
2. มุมหลบในแนวรัศมี (Radial Relief Angle)
3. มุมหลบ (Clearance Angle)
4. มุมเกลียวหรือมุมเฉียง (Helix Angle)

5. ความยาวทั้งหมด (Over Length)

6. ความยาวช่วงคมตัด (Cut Length)

2.4.2 ความสึกหรอของมีดกัด

เครื่องมือตัดขณะตัดเนื้อโลหะ จะเกิดความเค้น การเสียดสี และความร้อนสูง ส่งผลทำให้เครื่องมือตัดมีการใช้งานสั้นลง ซึ่งจะปรากฏออกมาในรูปความสึกหรอ (Wear) ให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดผิดไปจากที่ต้องการ และมีผิวหยาบ อัตราการสึกหรอ ส่วนมากมีสาเหตุมาจาก การเลือกใช้เครื่องมือตัดที่ไม่เหมาะสมกับวัสดุงาน รวมทั้งรูปร่างของวัสดุเครื่องมือตัดด้วย นอกจากนี้ การหล่อเย็นที่ไม่ถูกชนิด หรือการหล่อเย็นไม่ตรงจุด และไม่มีกำลังน้ำหล่อเย็นแรงเพียงพอ ที่สำคัญคือการใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบ ความเร็วตัด และอัตราการป้อนไม่ถูกต้อง การสึกหรอของมีดกัด แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

2.4.2.1 การสึกหรอของคมตัดบริเวณผิวหยาบ (Flank Wear)

การสึกหรอที่ผิวหยาบ เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับคมตัดทุกประเภท ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการสึกหรอที่เกิดจากชิ้นงานเคลื่อนที่สัมผัสผ่านมีดกัดในขณะเดียวกันก็เกิดเศษตัด (Chip) แยกตัวออกมาจากชิ้นงาน ถ้าการสึกหรอด้านผิวหยาบขยายตัวเพิ่มขึ้น ก็จะมีผลโดยตรงต่อขนาด และคุณภาพของผิวงาน ดังนั้นในการศึกษาการสึกหรอของมีดกัดจะทำการตรวจสอบที่ผิวหยาบเป็นหลัก ส่วนการตรวจสอบระยะการสึกหรอที่ผิวหยาบ จะเป็นการวัดความกว้างของการสึกหรอตลอดช่วงความลึกในการตัด[6]

2.4.2.2 การสึกหรอที่ผิวคายเศษของคมตัด (Crater Wear)

การสึกหรอที่ผิวคายเศษ เป็นการสึกหรอเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างเศษตัด (Chip) เคลื่อนที่ออกจากบริเวณการสัมผัสกับผิวคายเศษแต่ละคมตัดของมีดกัด มีแรงเสียดทานและความร้อนเพิ่มขึ้น [6]

2.4.3 สาเหตุการสึกหรอของมีดกัด

โดยทั่วไปสาเหตุการหมดสภาพของเครื่องมือภายใต้การทำงานแบบปกติในการตัดเนื้อโลหะ จะเป็นการสึกหรอจากการสึกเพียงเล็กน้อยก่อน ต่อจากนั้นเมื่อมีเวลาใช้งานในการตัดเพิ่มขึ้น การสึกหรอของเครื่องมือตัดก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และอัตราการสึกหรอก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งคมตัดไม่สามารถตัดเนื้อโลหะได้ดีเช่นเดิม สาเหตุการสึกหรอของเครื่องมือตัดประกอบด้วย

2.4.3.1 การขัดสี

เนื่องจากชิ้นงานมีความแข็งมากกว่าและเกิดการสั่นไหวในลักษณะการขัดถูทำให้ขอบของคมตัดสึกหรอ

2.4.3.2 การแพร่ความร้อน

บริเวณการตัดในสภาวะความร้อนสูง

2.4.3.3 การสึกหรอแบบออกซิเดชัน

การตัดในลักษณะการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) เช่น ในช่วงที่อุณหภูมิตัดเฉือนสูง ๆ เป็นต้น

2.4.3.4 การยึดติด

ระหว่างผิวคายเศษกับเศษตัด สัมผัสกันภายใต้แรงกดและแรงเสียดทาน เมื่อผิวโลหะทั้งสองชนิดถูกประกบติดกัน ภายใต้ภาวะที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น

2.4.3.5 การสึกหรอทางเคมีและการแตกตัวทางไฟฟ้า

การสึกหรอทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเครื่องมือตัดกับชิ้นงาน ถ้าหากมีการหล่อเย็น ขบวนการทางเคมีจะกระทำหรือเกิดขึ้นต่อระบบของสารหล่อเย็นในขณะที่ทำการตัดเฉือนนอกจากนี้ องค์ประกอบ และเงื่อนไข ที่มีผลต่อการสึกหรอของคมตัดบริเวณการตัดเฉือนประกอบด้วย ความลึกในการตัดเฉือน ความเร็วป้อน ความเร็วตัด รูปทรงเรขาคณิต มุมตั้งมีด ความยาวด้ามมีด วัสดุชิ้นงาน ระยะความยาวจากคมตัดบริเวณการตัดถึงจุดจับยึดของด้ามเอ็นมิลล์ ปริมาณและชนิดของสารหล่อเย็น เป็นต้น

2.4.4 การวัดขนาดของการสึกหรอของคมตัด

ขนาดของการสึกหรอของคมตัด จะขึ้นอยู่กับสันคมตัดนำ และวัดระยะตั้งฉากกับสันคมตัดก่อนการสึกหรอ (ก่อนใช้งาน) ลงไปถึงเส้นขอบเขตการสึกหรอที่ขนานกับสันคมตัด ซึ่งจะได้ขนาดการสึกหรอเฉลี่ย หรือจนถึงขนาดการสึกหรอสูงสุด การวัดขนาดการสึกหรอของคมตัด KT คือ ขนาดความลึกจากผิวคายเศษถึงผิวที่สึกหรอมากที่สุด โดยวัดตั้งฉากกับผิวคายเศษ VN1 คือ ขนาดการสึกหรอของผิวหลบ บริเวณผิวชิ้นงาน โดยวัดตั้งฉากจากสันคมตัดนำถึงตำแหน่งการสึกหรอสูงสุดVN2 คือ ขนาดการสึกหรอแบบรอยบาก (Notch wear) ที่ปลายมีดโดยวัดตั้งฉากจากสันคมตัดรองถึงตำแหน่งการสึกหรอสูงสุดVB คือ ขนาดการสึกหรอเฉลี่ยของผิวหลบ โดยวัดตั้งฉากจากสันคมตัดนำถึงตำแหน่งการสึกหรอ โดยเฉลี่ยจากระยะตัดลึกVC คือ ขนาดการสึกหรอแบบรอยบาก

2.5 ประเภทของเหล็กกล้าสแตนเลส [7]

เหล็กกล้าไร้สนิมหรือเหล็กกล้าสแตนเลส (Stainless Steel) สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง โดยอาศัยหลักการแตกต่างกัน อาจแบ่งตามปริมาณธาตุผสม ลักษณะโครงสร้างจุลภาคหรือกรรมวิธีการผลิต การแบ่งชนิดตามลักษณะของโครงสร้างเป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 เหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติก (Austenitic stainless steels)

เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ต่ำ โครเมียมประมาณ 17–25% มีนิกเกิลผสม 8–22% เพื่อทำให้เปลี่ยนจาก Matrix Ferrite เป็น Austenite แม้เหล็กดูไม่ติด แต่หากผ่าน Cold Working อาจมีสมบัติแม่เหล็กได้เล็กน้อยขึ้นรูปได้ดี มีสมบัติไม่เป็นแม่เหล็ก (Non-Magnetic) ตัวอย่างเช่น มีส่วนผสมของโครเมียม 18% มีส่วนผสมของนิกเกิล 8% เพื่อปรับปรุงสมบัติในการสร้าง, ประกอบ (Fabrication) เข้าด้วยกันและเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุด

2.5.2 เหล็กกล้าสแตนเลสเฟอร์ริติก (Ferritic stainless steels)

มีสมบัติในการเป็นแม่เหล็ก (Magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำและมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญ ตัวอย่างเช่น มีส่วนผสมโครเมียม 12 % และ 18 %

2.5.3 เหล็กกล้าสแตนเลสมาร์เทนซิติก (Martensitic stainless steels)

มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก (Magnetic) ตัวอย่าง ชนิดที่มีส่วนผสมของโครเมียม 12-18% และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง สามารถปรับความแข็งได้โดย การให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) และการอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งได้คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอนและพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด, อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป

2.5.4 เหล็กกล้าสแตนเลสพรีซิปปิเตชันฮาร์ดเดนนิ่ง (Precipitation hardening stainless steels)

เป็นชนิดที่มีส่วนผสมของโครเมียม 17% โดยเพิ่มส่วนผสมของนิกเกิล ทองแดงและไนโอเบียม ชนิดที่มีส่วนผสมของโครเมียมต่ำสุด 17% และมีธาตุอื่นผสมสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งแรงจากการตกผลึก (Precipitation hardening mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 เมกาสกาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน (Heat treatment)

2.5.5 เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steels)

มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ริติกและออสเทนนิติก มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 18-28% และมีนิกเกิลผสม 4.5% ถึง 8% ใช้งานมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์

2.6 เหล็กกล้าสแตนเลสกลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel) [7]

เป็นเหล็กกล้าผสมโครเมียม, นิกเกิล, โมลิบดีนัมและไนโตรเจน ซึ่งนิกเกิลและไนโตรเจนจะทำให้โครงสร้างออสเทนไนต์เสถียร อยู่ในภาวะสมดุลกับโครงสร้างเฟอร์ไรต์ ทำให้โครงสร้างทั้งสองเฟสอยู่รวมกันได้อย่างเหมาะสม สมบัติของเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์จึงผสมผสานกันคือ ได้รับความเหนียวจากโครงสร้างออสเทนไนต์ มีความต้านทานต่อการแตกร้าวภายใต้แรงเค้นจากโครงสร้างเฟอร์ไรต์ ธาตุผสมโมลิบดีนัมทำให้ฟิล์มบาง (passive film) แข็งแรง จึงมีความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือสนิมขุมสูง จากการมีแนวโน้มที่จะเกิดการตกตะกอนโครเมียมคาร์ไบด์ที่รอยต่อขอบเกรนของทั้งสองเฟส จึงลดความเสี่ยงที่จะเกิดการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน ดังนั้น เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์จึงใช้ได้ในพื้นที่แวดล้อมมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ทั้งจากอุณหภูมิและคลอไรด์ที่เหล็กกล้าสแตนเลสทั่วไปมีความเสี่ยงที่จะเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม, แบบได้รอยร้าวและแบบแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้แรงเค้น คำว่าเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์มาจากความหมายของเหล็กกล้าที่โครงสร้างผ่านการปรับปรุงคุณภาพอบเหนียว (annealed structure) ด้วยความร้อนมีโครงสร้างผสมระหว่างออสเทนไนต์และเฟอร์ไรต์เท่ากันขอบเขตที่ยอมรับได้ก็คือโครงสร้างแต่ละอย่างต้องมีผสมอยู่อย่างน้อยที่สุด 30% เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์จะมีข้อดีกว่าเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติก คือ เกร็ดดูเพล็กซ์มีความต้านทานแตกร้าวจากการกัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมคลอไรด์ร่วมกับความเค้น (CI SCC) สูงกว่า มีความต้านทานการกัดกร่อนแบบ pitting และแบบ crevice ได้ดีเยี่ยม มีความแข็งแรงสูงกว่า 2 เท่า และมีส่วนผสมของนิกเกิลน้อยกว่ากว่าเกรดออสเทนนิติก ประมาณครึ่งหนึ่ง ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงราคาเนื่องจากปริมาณนิกเกิลที่ใช้จึงไม่มาก

2.6.1 วิวัฒนาการเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ [7]

Ralph M. Davison and James D.Redmond (1990) กล่าวถึงวิวัฒนาการเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ว่ามี 2 ยุค ในยุคแรกเรียกว่า First – Generation ผลิตขึ้นในปี ค.ศ.1930 เช่นเกรด 329 (UNS S32900) มีข้อดีจำกัดเฉพาะมีความต้านทานการกัดกร่อนดี เพราะมีส่วนผสมของโครเมียมและโมลิบดีนัมสูง แต่เมื่อไปทำการเชื่อมจะเสียความสมดุลของโครงสร้างออสเทนไนต์และเฟอร์ไรต์ไป มีผลทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนและความเหนียวแน่น (Toughness) ลดลง ขณะที่สมบัติด้านอื่นๆ สามารถแก้ไขได้โดยการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (Post Weld Heat Treatment : PWHT)

เหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ First – Generation จึงนิยมใช้งานหลังกรรมวิธีอบอ่อนเต็มทั้งหรืออบอ่อนสองขั้นตอน (Fully annealed) ไม่ใช้งานเชื่อม

เหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ในยุคที่สอง เรียกว่า Second – Generation ในปี ค.ศ.1970 ได้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการเติมธาตุไนโตรเจนเข้าไปในส่วนผสม การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตใช้เทคโนโลยีเตาสุญญากาศ,เตาแก๊สคลุมกำจัดออกซิเจนและคาร์บอน(Vacuum and Argon Oxygen Decarburization : VOD and AOD Technology) ทำให้สามารถควบคุมปริมาณไนโตรเจนได้เที่ยงตรงมากขึ้น ในระยะแรกการนำไนโตรเจนเข้ามาใช้เป็นส่วนผสม เนื่องจากเป็นธาตุที่ให้โครงสร้างอสเทนไนท์เสริมกับนิเกิลและมีราคาถูก ต่อมาทดลองพบว่าไนโตรเจนยังช่วยเพิ่มความต้านแรงดึงและทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนแบบ pitting และแบบ crevice เพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามธาตุไนโตรเจนจะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างจากอสเทนไนท์เป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์ที่อุณหภูมิสูงและกลับคืนเป็นโครงสร้าง สมดุลอสเทนไนท์และเฟอร์ไรท์ ได้อีกครั้งหลังจากการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในบริเวณผลกระทบร้อน (heat-affected zone :HAZ) หลังการเชื่อม ข้อดีของธาตุไนโตรเจนในประเด็นนี้ก็คือทำให้สามารถนำเหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ไปใช้งานในสภาวะหลังการเชื่อมได้ (as welded) โดยไม่ต้องปรับปรุงคุณภาพความร้อนใดๆ

2.6.2 สมบัติของเหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ [7]

มีข้อดีที่เป็นลักษณะเด่นคือ ความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่ม 300 Series ประมาณ 2 เท่า มีความต้านทานการกัดกร่อนร่วมกับความเค้นในบรรยากาศคลอไรด์ (chloride SCC resistance) และต้านทานการกัดกร่อนแบบจุด (pitting corrosion resistance) สูงกว่ากลุ่ม 300 series เช่นกัน อุณหภูมิการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง -60°C . ถึง 300°C . (-75°F . ถึง 570°F .) นอกจากนี้ยังมีความต้านทานการกัดกร่อนในกรดและสารละลายคลอไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำ (aqueous chloride) เหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ ชนิดรีด (wrought duplex stainless steel) มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงปี ค.ศ.1970 – 1980 โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตจากกรรมวิธีการหล่อ (casting) เกรดที่มีการพัฒนาในช่วงยุคแรกจะมีส่วนผสมหลักของธาตุโครเมียม (Cr) 18%, นิเกิล (Ni) 4% – 6%, และบางครั้งมีการผสมธาตุโมลิบดีนัม (Mo) ส่วนปัจจุบันเกรดที่ใช้ในทางการค้าทั่วไปจะมีส่วนผสมธาตุโครเมียม 22% - 26% , นิเกิล (Ni) 4 – 7%, โมลิบดีนัม (Mo) จากน้อยจนสูงถึง 4.5%, ทองแดง (Cu) 0.7% และทังสเตน (W) เล็กน้อย ไนโตรเจน (N) 0.08% - 0.35% ทำให้เหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ในยุคปัจจุบันเพิ่ม ความต้านทานการกัดกร่อน, ความสามารถในการใช้งาน (workability) และความสามารถรับการเชื่อมได้ (weldability) สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเพิ่มไนโตรเจนเข้าไปจะเป็นการปรับปรุงความต้านทานการกัดกร่อนแบบจุด (pitting corrosion) และความสามารถรับการเชื่อม (weldability) ให้สูงขึ้นมาก

เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ ที่ใช้งานทั่วไปในปัจจุบันแบ่งออกได้ 4 กลุ่ม ส่วนผสมเพิ่มตามค่าความต้านทานการกัดกร่อนคือ

Fe – 23Cr – 4Ni – 0.1N นิยมเรียกว่า alloy 2304

Fe – 22Cr – 5.5Ni – 3Mo – 0.15N นิยมเรียกว่า alloy 2205

Fe – 25Cr – 5Ni – 2.5Mo – 0.17N – Cu นิยมเรียกว่า alloy 2505

Fe – 25Cr – 7Ni – 3.5Mo – 0.25N – W – Cu นิยมเรียกว่า alloy 2507

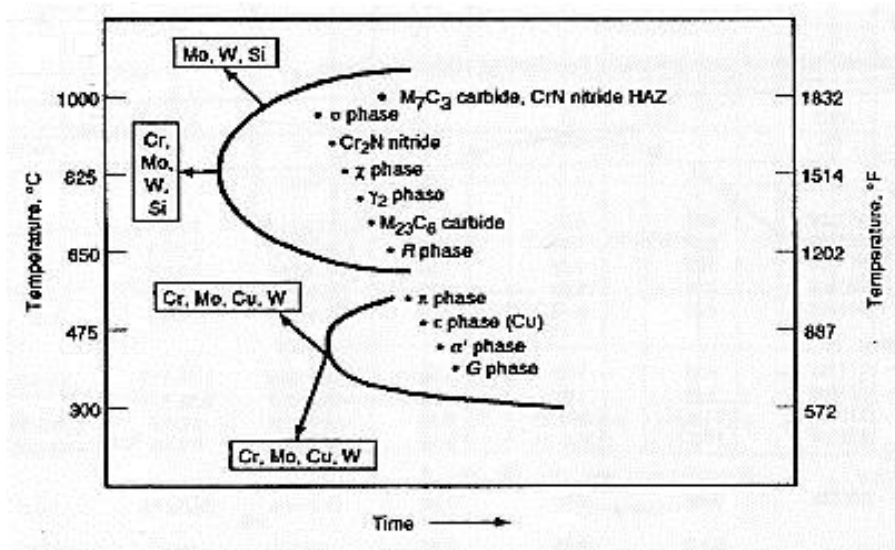
ส่วนผสมกลุ่มสุดท้ายนิยมเรียกว่า ซุปเปอร์ดูเพล็กซ์ (Super duplex) ค่าสมมูลต้านทานการกัดกร่อนแบบจุดต่ำสุด (minimum pitting resistance equivalent) ที่ 40 จะใช้เป็นค่ากำหนดเกรด Super duplex

สมบัติทางกลของของเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ มีค่าความเค้นที่จุดครากสูง (high yielded strength) สามารถใช้ผลิตวัสดุผนังบาง ใช้ในการทำภาชนะบรรจุทนแรงดันและมีความสามารถรับแรงได้สูง (load-bearing capacity) ที่สำคัญสามารถลดน้ำหนักและลดการเชื่อมลงได้มาก ชนิด Fe – 22Cr – 5.5Ni – 3Mo – 0.15N มีค่าความแข็งแรงที่จุดครากตัว (yielded strength) สูงเป็น 2 เท่าของเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติกและสูงกว่าเหล็กกล้าสแตนเลสเฟอร์ริติก ค่าความแข็งของเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์จะเปลี่ยนแปลงตามกรรมวิธีการผลิต และจะมีความแข็งมากขึ้นถ้าผลิตด้วยกรรมวิธีไม่ใช้ความร้อน (cold working) ซึ่งโดยทั่วไปค่าความแข็งโดยเฉลี่ยจะอยู่ประมาณ 260 HV 10 (25 HRC)

เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ที่ไม่ได้เชื่อมจะมีความเหนียวแน่น (toughness) ที่อุณหภูมิ -100°ซ. (150°ฟ.) ดีมากแต่ถ้าเป็นงานเชื่อม เนื้อเชื่อม (weld metal) และบริเวณผลกระทบร้อน (heat affected zone : HAZ) ค่าความเหนียวแน่น (toughness) จะลดลงและบ่อยครั้งจะเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน ส่วนของเนื้อโลหะงานก็จะเปลี่ยนสมบัติจากเหนียวเป็นเปราะ (ductile-to-brittle) เล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้จะไม่ปรากฏชัดในเหล็กกล้าอื่นที่มีโครงสร้างผลึก bcc เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ที่ทำการเชื่อมไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานที่มีความเย็นจัด (cryogenic) การที่เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์มีค่าความแข็งแรงที่จุดครากตัว (yielded strength) สูง ดังนั้นจึงขึ้นรูปเย็น (cold working) ได้ยากกว่าเกรดออสเทนนิติก การแตกเปราะที่อุณหภูมิสูง (high-temperature embrittlement) จะเกิดขึ้นกับเกรดดูเพล็กซ์ได้ง่ายกว่าเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติก ในกระบวนการขึ้นรูปเดียวกัน เช่น การ forging การขึ้นรูปร้อน (hot-working process)

โลหะชนิดผสมสูง (high alloy) ตัวอย่างเช่น เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ที่มีพื้นโครงสร้างเป็นเฟอร์ริติก (ferritic matrix) จะมีความไวต่อการแตกเปราะ (susceptible embrittlement) ทำให้สูญเสียสมบัติเชิงกลโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเหนียวแน่น (toughness) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สาเหตุเกิดจากการตกผลึกของสารประกอบโลหะ (precipitation of intermetallic phase) หลักได้แก่ σ -phase, χ -phase, η -phase (Laves phase) ด้วยเหตุผลดังกล่าว จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ที่ไม่ได้เชื่อมที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่า 280°C. (535°F) เกิดขึ้นกับโครงสร้างเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ในงานเชื่อมที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่า 250°C. (480°F)

เหล็กกล้าผสมสูงมากกว่า alloy 2205 ตัวอย่างเช่น Fe – 25Cr – 5Ni – 2.5Mo – 0.17N – Cu, Fe – 25Cr – 7Ni – 3.5Mo – 0.25N – W – Cu มีโอกาสที่จะเกิดอันตรายที่จะเกิดการตกผลึกของสารประกอบดังกล่าว



รูปที่ 2.11 แสดงไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงเวลา – อุณหภูมิ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการตกผลึกของธาตุผสมในเหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ [7]

2.6.3 การนำไปใช้งาน (Applications)

เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์ใช้มากในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี, น้ำมันและแก๊ส, อุตสาหกรรมกระดาษ, เชื้อกระดาษและระบบควบคุมมลภาวะในงานอุตสาหกรรม งานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่ประกอบด้วยน้ำ สิ่งแวดล้อมที่ประกอบด้วยคลอไรด์ ใช้แทนเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติกที่ต้องต้านทานการกัดกร่อนในคลอไรด์ร่วมกับความเค้น (chloride SCC) หรืองานที่ต้องทนต่อการกัดกร่อนแบบจุด (pitting) ระหว่างการใช้งาน เกรดที่มีส่วนผสมสูงที่เรียกว่า Super duplex stainless steel จะต้านทานการกัดกร่อนในงานที่ใช้ผสมออกซิเจนหรือคลอไรด์ในน้ำทะเล แต่จะไม่ทนแช่อยู่ในน้ำ

ทะเลโดยตรงเพราะจะเกิดการกัดกร่อนแบบจุด เหล็กกล้าสแตนเลสดูเพล็กซ์หลายเกรดเหมาะสำหรับใช้ในงานส่งของเปียก, ทำถังบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพราะต้านทานการกัดกร่อนทั่วไปได้ดี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

O.E.E.K.omar, [8] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบ พบว่า ระยะความลึกและความเร็วตัดส่งผลต่อความเรียบผิว โดยการป้อนความลึกมากขึ้นจะเกิดเศษที่มีความหนามากจึงส่งผลให้เกิดแรงต้านระหว่างเครื่องมือตัดกับชิ้นงานมากขึ้นด้วยทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของดอกกัดทำให้ความเรียบผิวที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าระยะป้อนลึกที่น้อย

มานพ วรศรี [9] ได้ศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความแข็งแรงของงานกัดเหล็กกล้าเครื่องมือ พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอัตราป้อน และระยะความลึกส่งผลโดยตรงต่อความเรียบผิว

P.koshy,R.C.Dewes ,D.K. [10] ได้ศึกษา กลไกการสึกหรอของมีดกัด Insert พบว่า การสึกหรอของมีดกัดจะเกิดขึ้นที่ Flank wear เกิดจากการขัดสีและการแตกหัก ในระยะทาง 10 และ 35 เมตร ดอกกัดจะสึกหรอที่ 0.3 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ยจะสึกหรอที่ปริมาณตัดเศษออก 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร

TSANN-RONG LIN [11] ได้ศึกษาการเกิดเศษและการสึกหรอในกระบวนการกัด พบว่า ในการกัดด้วยระยะความลึกต่ำจะเป็นการสึกหรอของคมตัดด้านหน้า ในการกัดด้วยระยะความลึกสูงขึ้นจะเป็นการสึกหรอที่มุมคมตัดด้านข้าง