บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหาในการตัดโลหะ

การตัดโลหะ เป็นวิธีการที่ปฏิบัติกันมานานกว่าสามพันปี คือตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณ [1] แต่ทฤษฎีในเรื่องกระบวนการตัดโลหะยังเป็นที่เข้าใจกันไม่มากนัก ดังนั้น การพัฒนาและความเจริญทางด้านกระบวนการตัดโลหะในปัจจุบันนี้ ส่วนใหญ่มาจากวิธีการลองผิดลองถูก (Trial-and-Error Method) รวมกับการสังเกตุและความชำนาญ อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา วิธีการต่าง ๆ ค่อย ๆเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ มีการนำเอาการวิจัยและการทดลองมาใช้ศึกษากระบวนการตัดโลหะมากขึ้น รวมทั้งได้มีการนำเอาหลักการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิคส์มาใช้ศึกษากระบวนการตัดโลหะ ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยเหล่านั้น เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการตัดโลหะเป็นอย่างมาก

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการตัดโลหะ คือการเลือกค่าของความเร็วในการตัด (Cutting Speed) อัตราการป้อนใบมีด (Feed) และความลึกของรอยตัด (Depth of Cut) เพื่อให้บังเกิดผลต่าง ๆ ตามความต้องการ เช่น ทำให้อัตราการผลิตสูงสุด หรือต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุด เพราะถ้าหากเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีดและความลึกของรอยตัดที่สูงเกินไปจะทำให้ใช้แรงและพลังงานในการตัดมาก อีกทั้งใบมีดจะแตกหักหรือสึกหรออย่างรวดเร็ว แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากเลือกความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และความลึกของรอยตัดที่ต่ำเกินไปแล้ว จะทำให้งานเสร็จช้า อัตราการผลิตต่ำ และต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจะมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็นมาก

ตามปกติเป็นที่เข้าใจกันว่าควรจะเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีดและความลึกของรอยตัด ตามที่บอกไว้ในหนังสือคู่มือ (Handbook) ต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามค่าเหล่านั้นเป็นค่าที่พอจะใช้งานได้เท่านั้น และไม่มีข้อประกันว่า ค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และความลึกของรอยตัดที่เลือกใช้ตามหนังสือคู่มือจะทำให้ต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนต่อหน่วยต่ำสุด หรือทำให้เวลาในการผลิตต่อหน่วยต่ำสุด

สำหรับการทดลองและการวิจัย เพื่อหาสมการของแรงในการตัดและสมการอายุการใช้งานของใบมีด เมื่อใช้วัสดุชิ้นงาน (Work Material) กับวัสดุใบมีด (Tool Material) ชนิดต่าง ๆ กันนั้น ได้มีผู้สนใจทำการศึกษาไว้บ้างแล้ว การทดลองเหล่านี้มักจะมีความยากลำบาก อีกทั้งสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายมาก เช่น อาจจะต้องใช้เวลาทำการทดลองค้นคว้าหลายเดือนเพื่อที่จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์เพียงสมการเดียว ผลจากการทดลองเหล่านี้จึงมีคุณค่าและมีประโยชน์มากในการนำไปใช้งานจริง แต่อย่างไรก็ตาม สมการต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองและการวิจัยยังอยู่กระจัดกระจายไม่สะดวกแก่การหยิบยกนำมาใช้งาน ดังนั้น การรวบรวมสมการต่าง ๆเหล่านี้ไว้ในแผ่นข้อมูล (Package) อันเดียวกัน พร้อมกับมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และความลึกของรอยตัดที่เหมาะสม และจัดทำเป็นตารางหรือคู่มือให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการค้นหา เพื่อนำไปใช้งานมากยิ่งขึ้น เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีผู้ใดรวบรวมผลการวิจัยและสมการเหล่านี้ไว้เลย

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ จะทำการค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรควบคุมได้ที่มีต่อแรงตัด อายุใบมีดและอัตราการผลิต โดยตัวแปรที่สนใจคือ ค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด ความลึกของรอยตัดโดยจะจำกัดขอบเขตของการศึกษาเฉพาะปอกผิวโลหะ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ใช้กันมาก และมักจะต้องการให้อัตราการผลิตสูงสุดโดยจะครอบคลุมกรณีของใบมีดที่ทำจากวัสดุที่ใช้กันมากหลายชนิด เช่น High Speed Steel,Carbides และ Ceramics และจะทำการทดลองหาข้อมูลบางอย่างเท่าที่จำเป็นเพื่อนำมาใช้ประกอบกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ข้อมูลที่ได้มาทั้งจากเอกสารและจากการทดลองนั้น จะนำมาทำการจัดระบบข้อมูลและนำเอาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ระหว่างตัวแปรอิสระ 5 ตัว คือ ค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด ความลึกของรอยตัด วัสดุชิ้นงานและวัสดุใบมีด กับตัวแปรตามคือ แรงตัด อายุใบมีด และอัตราการผลิต สร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ซึ่งจะได้โปรแกรมที่สามารถนำไปใช้ประกอบการเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีดและความลึกของรอยตัด เพื่อให้อัตราการผลิตสูงสุด

1.3 วัตถุประสงค์

เป็นโครงการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการรวบรวมข้อมูล และทฤษฎีเกี่ยวกับการกลึงปอกผิวชิ้นงานรูปทรงกระบอก ทำการทดลอง จัดระบบข้อมูล และสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด IBM-PC Compatible ขนาด 16 บิท ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ชนิดที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในขณะนี้ ทั้งนี้เพื่อที่ผลงานจากวิทยานิพนธ์สามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง

โปรแกรมสำเร็จรูปที่สร้างขึ้น สามารถใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. เลือกตัวแปรควบคุมได้ในการตัด เช่น ความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และความลึกของรอยตัด ที่เหมาะสมสำหรับการกลึงแต่ละครั้ง โดยอาศัยเกณฑ์ที่ให้อัตราการผลิตสูงสุด (Maximum Production Rate)
2. พยากรณ์แรงที่ใช้ในการตัด อายุการใช้งานของใบมีด และอัตราการผลิต

1.4 ลักษณะพื้นฐานของการตัดโลหะและการกลึงโลหะ

การตัดโลหะ (Metal Cutting หรือ Machining) หมายถึง กรรมวิธีการขจัดเอาเนื้อโลหะบางส่วนออกจากชิ้นงานโดยอาศัยใบมีด เพื่อให้ชิ้นงาน (Workpiece) มีขนาดรูปร่างตามต้องการ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วๆ ไปว่า ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรนั้น การตัดโลหะเป็นกรรมวิธีที่ใช้กันมากและกรรมวิธีการตัดโลหะยังแบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น การกลึง (Turning) การกัด (Milling) และการเจาะ (Drilling) การตัดโลหะมีข้อดีที่ว่าใช้ได้กับงานหลายแบบหลายชนิด หลายรูปร่างลักษณะ ส่วนข้อเสียก็มีอยู่บ้างที่ว่าฝอยโลหะมักจะนำไปใช้ทำประโยชน์ไม่ได้ นอกจากจะต้องนำไปหลอมใหม่ แต่ส่วนมากแล้วจำเป็นจะต้องกำจัดฝอยโลหะทิ้งไป

การกลึงคือ การตัดโลหะโดยใช้เครื่องกลึง ซึ่งเป็นเครื่องมือกลที่ใช้ในการปาดผิวของชิ้นงานให้มีพื้นที่ภาคตัดเป็นวงกลม ในขณะทำการกลึงชิ้นงานจะต้องถูกจับตรึงอยู่บนเครื่อง และหมุนแกนใดแกนหนึ่ง การปาดผิวถูกบังคับโดยการเคลื่อนที่ของใบมีด ถ้าใบมีดเคลื่อนที่ขนานกับแกนหมุน เรียกว่า การกลึงปอกผิว (Turning) ถ้าใบมีดเคลื่อนที่ตั้งฉากกับแกนหมุน เรียกว่า การกลึงปาดหน้า (Facing)

ส่วนประกอบที่สำคัญในการตัดโลหะมี 5 ประการด้วยกันคือ

1. เครื่องจักรตัดโลหะ (Machine Tools) ซึ่งอาจจะเป็น เครื่องกลึง (Lathe) เครื่องกัด (Milling Machine) เครื่องเจาะ (Drilling Machine) หรือเครื่องไส (Planing Machine) เป็นต้น

2. ใบมีด (Cutting Tools) ซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น ใบมีดกลึง (Lathe Tools) ใบมีดกัด (Milling Cutter) สว่าน (Drill) ใบมีดไส (Planing Tool) เป็นต้น

3. ชิ้นงาน (Workpiece) ได้แก่ชิ้นโลหะที่จะนำมาตัดให้เป็นรูปร่าง และขนาดตามที่ต้องการ

4. ฝอยโลหะ (Chip) คือ เศษโลหะที่ถูกตัดออกมาจากชิ้นงาน โดยปกติแล้วฝอยโลหะจะไม่มีคุณค่าประโยชน์อย่างใดอีก นอกจากจะนำไปหลอมเป็นแท่งโลหะเพื่อนำมาใช้งานใหม่

5. ช่างคุมเครื่องและระบบควบคุม คือ ผู้รับผิดชอบโดยตรง ในการควบคุมให้เครื่องทำงานให้ถูกต้องตามความต้องการ ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในระบบควบคุม แต่ก็ต้องอาศัยคนในการควบคุมอยู่ แต่มักจะเปลี่ยนให้คนควบคุมเครื่องจักรผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ แทนที่จะคุมเครื่องจักรกลโดยตรง

ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญทั้ง 5 อย่างนี้ จะต้องสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันอย่างเหมาะสม จึงจะทำให้การตัดโลหะดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วๆ ไปว่าลักษณะของการตัดโลหะที่ดีมีประสิทธิภาพนั้น ควรเป็นดังนี้คือ

1. ใช้แรงในการตัดต่อพื้นที่หน้าตัดของรอยตัดน้อยนั่นคือ ในการตัดที่มีขนาดรอยตัดค่าหนึ่งนั้น ค่าของแรงตัดควรจะน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2. ให้พลังงานต่อปริมาตรของโลหะที่ถูกตัดออกต่ำสุด นั่นคือในการเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสม จะทำให้ใช้พลังงานในการตัดต่ำสุด และเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานต่ำสุดด้วย

3. ใบมีดมีอายุใช้งานทนทาน ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจับมีดบ่อย ๆ หรือซื้อใบมีดใหม่มาใช้บ่อยๆ

4. พื้นผิวของชิ้นงานราบเรียบ ไม่ขรุขระ

5. ไม่มีอันตรายเกิดขึ้นต่อช่างคุมเครื่อง ซึ่งอันตรายดังกล่าวได้แก่ฝอยโลหะ

(Chip) ร้อน ๆ บาดและไหม้ตามผิวหนัง ใบมีดหรือชิ้นงานแตกหักกระเด็นมาถูกร่างกาย เป็นต้น

1.5 ตัวแปรที่ควบคุมได้ในการกลึงโลหะ

เพื่อให้การกลึงโลหะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเป็นการใช้ประโยชน์เครื่องจักรและวัตถุดิบให้เป็นประโยชน์มากที่สุดนั้น วิศวกรและช่างควรจะสามารถทำนายลักษณะการทำงานของเครื่องจักร และใบมีด ตลอดจนชิ้นงานระหว่างการตัดโลหะได้พอสมควร ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานแบบลองผิดลองถูกนั้น นอกจากจะเสียเวลาโดยเปล่าประโยชน์แล้ว บางครั้งอาจจะเป็นอันตรายอีกด้วย สำหรับตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการตัดโลหะ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม[2] โดยตัวแปรกลุ่มแรก เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่ค่าต่าง ๆ ที่บ่งบอกคุณภาพหรือความสามารถในการผลิต เช่น แรงในการตัด อายุการใช้งานของใบมีด ความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จรูป อุณหภูมิของใบมีดและชิ้นงาน เป็นต้น ส่วนตัวแปรอีกกลุ่มคือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) หรือเรียกว่าตัวแปรในการตัดโลหะ (Cutting Variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ ได้แก่สภาพต่าง ๆ ในการตัดโลหะ เช่น คุณสมบัติของสารที่เป็นชิ้นงาน คุณสมบัติของสารที่เป็นใบมีด รูปร่างลักษณะของใบมีด ความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด ความลึกของรอยตัด ชนิดของน้ำยาหล่อเย็น และอัตราการฉีด เป็นต้น

สำหรับในโครงการวิจัยนี้ จะทำการเลือกตัวแปรที่ควบคุมได้เพียงบางตัวแปรเท่านั้น คือ ชนิดของสารที่เป็นชิ้นงาน ชนิดของสารที่เป็นใบมีด ความเร็วในการตัด อัตราการป้อนมีดและความลึกของรอยตัด เพื่อให้ได้คุณภาพในการผลิตตามที่คาดไว้ ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะกำหนดให้เป็นตัวคงที่

1.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

การผลิตชิ้นส่วนใดๆจากเครื่องกลึงนั้น นอกจากผู้ผลิตจะต้องเลือกเครื่องกลึง (Machine Tool) ใบมีด (Tool) และวัสดุชิ้นงาน (Work Material)ที่มีประสิทธิภาพ

และมีคุณสมบัติสอดคล้องกันแล้ว ที่สำคัญที่สุดคือต้องคำนึงถึงสภาวะการตัด (Cutting Condition) เป็นต้นว่า ความเร็วตัด อัตราการป้อนมีด ความลึกในการตัด การใช้น้ำยาหล่อเย็น และการใช้ใบมีดที่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะว่า การเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมจะช่วยให้การผลิตบรรลุถึงวัตถุประสงค์ข้อใดข้อหนึ่งได้ดังนี้

1. ผลิตให้ต้นทุนการผลิตต่ำสุด (Minimum Cost Criterion)
2. ผลิตให้อัตราการผลิตสูงที่สุด (Maximum Production Rate Criterion)
3. ผลิตให้ได้อัตรากำไรต่อหน่วยเวลามีค่าสูงสุด (Maximum Profit Rate Criterion)
4. เพื่อให้สามารถตัดชิ้นงานได้ โดยการเลือกสภาวะการตัดตามแนวทางที่เสนอไว้ในคู่มือ โดยไม่ได้ระบุว่าเป็นการตัดเพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำสุด อัตราการผลิตสูงสุด หรือกำไรต่อหน่วยเวลามีค่าสูงสุด

แต่อย่างไรก็ตาม วัตถุประสงค์ที่มีการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ที่ค่อนข้างจะละเอียดและเป็นที่สนใจกันโดยทั่วไปมีสองกรณีคือ การผลิตให้ต้นทุนการผลิตต่ำสุด และการผลิตให้อัตราการผลิตสูงสุด ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

1.6.1 การเลือกสภาวะการกลึงโลหะเพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำสุด (กรณีการกลึงปอกครั้งเดียวหรือ Single-Pass Turning)

ในการกลึงโลหะเพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดนั้น สิ่งแรกที่จะพิจารณาคือการวิเคราะห์ว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตหนึ่งชิ้นมีอะไรบ้าง ซึ่งเมื่อทราบแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุของค่าใช้จ่ายเหล่านั้นแล้ว ก็จะสามารถปรับปรุงแก้ไขค่าใช้จ่ายเหล่านั้นให้ต่ำลงได้ สมการของค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้น เขียนได้ดังนี้

$$C = x_1T_L + x_2T_c + x_3T_d\,(T_{mc}/T) + y(T_{mc}/T) \quad \ldots\ldots\ldots(1\text{-}1)$$

x_1T_L : ค่าใช้จ่ายที่เสียไปเพราะเวลาล่วงไปโดยไร้ประโยชน์ต่อ 1 หน่วยสินค้า

: (The non productive cost per component)

x_1 : เป็นอัตราค่าใช้จ่ายจากเวลาที่เสียไปโดยไม่เกี่ยวข้องกับการผลิต

T_L : เป็นเวลาที่เสียไปเนื่องจากใส่ชิ้นงานเข้า และถอดชิ้นงานออกจากหัวจับ (Chuck) รวมถึงงานอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิต

: (Nonproductive Time)

x_2T_c : ค่าใช้จ่ายที่เสียไปในการกลึงจริงๆโดยไม่รวมค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับใบมีด

: (The Cost of Machining Time)

x_2 : เป็นอัตราค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับเวลาที่เสียไปในการกลึง (เช่น ค่าไฟ ค่าแรงงาน) โดยไม่รวมค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับใบมีด

T_c : เวลาที่ใบมีดเคลื่อนที่ผ่านความยาวของชิ้นงาน 1 รอบ โดยจะตัดชิ้นงานหรือไม่ก็ตาม

$x_3T_d(T_{mc}/T)$: ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการเปลี่ยนใบมีดกลึงในการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้น

: (The tool-changing time cost)

x_3 : อัตราค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเวลาที่เสียไปในการเปลี่ยนใบมีดกลึง

T_d : เวลาที่ใช้ในการสับเปลี่ยนใบมีด 1 ใบ ต่อการผลิต 1 ชิ้น

T_{mc} : เวลาที่ใบมีดตัดโลหะจริงๆในการผลิต 1 ชิ้น

T : อายุการใช้งานของใบมีด

$y(T_{mc}/T)$: ต้นทุนของใบมีดในการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้น

: (The tool-cost per component)

y : อัตราค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับใบมีดเช่น ค่าอุปกรณ์จับใบมีด ราคาใบมีด

T_{mc}/T : จำนวนใบมีดที่ใช้ในการผลิต 1 ชิ้น

เนื่องจาก x_1, x_2, x_3 เป็นอัตราค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการสูญเสียเวลา ในการผลิตชิ้นงานชิ้นเดียวกัน ดังนั้นจึงถือว่า $x_1 = x_2 = x_3 = x$

ดังนั้นสมการ (1-1) จึงเขียนใหม่ ได้ดังนี้

$$C = xT_L + xT_c + xT_d\ (T_{ac}/T) + y(T_{ac}/T) \qquad ....(1.2)$$

โดยที่ค่า x, T_L, T_d และ y ได้มาจากข้อมูลค่าใช้จ่าย และเวลามาตรฐานของโรงงานที่เคยบันทึกไว้ และถ้ากำหนดให้ความลึกของรอยตัดเป็นค่าคงที่แล้ว ตัวแปรในการตัดก็จะเป็นความเร็วในการตัดและอัตราการป้อนใบมีด ผู้ผลิตต้องตัดสินใจเลือกค่าอัตราการป้อนใบมีด และความเร็วในการตัดที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ต้นทุนการผลิตต่ำสุดโดยที่ในที่นี้ จะกำหนดให้เวลาในการกลึง (T_c, Machine Time) มีค่าเท่ากับเวลาที่ใบมีดตัดชิ้นงานจริงๆ (T_{ac}, Actual Cutting Time) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$T_c = L/(fN) = L/(\lambda vf) \simeq T_{ac} \qquad .....(1-3)$$

เมื่อ L : ระยะบนชิ้นงานที่ใบมีดจะทำการกลึง (mm)

N : ความเร็วรอบต่อนาที (rev/min)

D : เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน (mm)

λ : 1000 /πD

v : ความเร็วในการตัด(m/min)

f : อัตราการป้อนใบมีด(mm/rev)

ส่วนสมการอายุการใช้งานของใบมีด ในกรณีการกลึงคือ

$$T = K/(v^{1/n} f^{1/n_1} d^{1/n_2})$$
$$= A/(v^{1/n} f^{1/n_1})$$
$$= B^{(1/n)}/v^{(1/n)} \qquad .....(1-4)$$

เมื่อ T : Tool Life(minute)

v : Cutting Speed (m/min)

f : Feed (mm/rev)

d : Depth of Cut (mm)

k : Constant

$1/n, 1/n_1, 1/n_2$ เป็น Exponent of The Speed, Feed และ Depth of Cut ตามลำดับ

โดยที่ $A = K\, d^{-1/n_2}$

$$B = (K/f^{1/n_1} d^{1/n_2})^n$$

จากการแทนค่าสมการ(1-3) และ(1-4)ลงในสมการ(1-2)ทำให้ได้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยในพจน์ของ ความเร็วในการตัด และ อัตราการป้อนใบมีด ดังนี้

$$C = xT_L + xL/(\lambda v f) + xT_d(L/\lambda A)v^{(1/n)-1} f^{(1/n_1)-1} + (yL/\lambda A)v^{(1/n)-1} f^{(1/n_1-1)} \quad \text{.....(1-5)}$$

และสภาวะการตัดสำหรับจุดประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำสุด คือ

$$\partial C / \partial v = 0 \quad \text{และ} \quad \partial C / \partial f = 0$$

นั่นคือ จากสมการ (1-5) จะได้ว่า

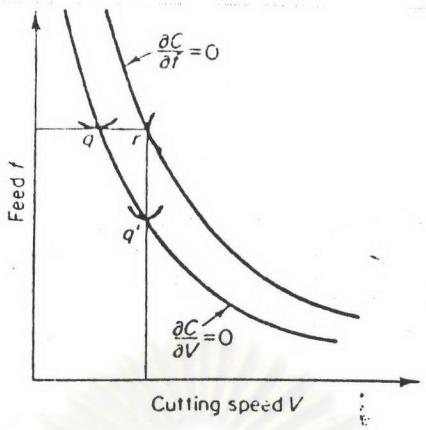
เมื่อ $\partial C / \partial v = 0$ แล้ว

$$1 = [(1/n)-1][(v^{1/n} f^{1/n_1})/A][(xT_d+y)/x] \quad \text{....(1.6)}$$

และ $\partial C / \partial f = 0$ แล้ว

$$1 = [(1/n_1)-1][(v^{1/n} f^{1/n_1})/A][(xT_d+y)/x] \quad \text{....(1.7)}$$

จะเห็นว่า เมื่อแทนค่าอัตราการป้อนใบมีด (Feed) ค่าใดค่าหนึ่งลงในสมการ (1-6) และ (1-7) แล้วจะได้ค่าความเร็วในการตัด (Cutting Speed) สองค่าไม่เท่ากัน และเนื่องจาก $1/n_1 < 1/n$ ดังนั้น ที่ค่าอัตราการป้อนใบมีด (Feed) เดียวกัน สมการ(1-6) จะให้ค่าความเร็วในการตัด (Cutting Speed) ต่ำกว่าสมการ (1-7) ซึ่งความแตกต่างของสองสมการนี้แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 1-1 สำหรับแกนค่าใช้จ่ายจะตั้งฉากกับระนาบ Feed-Speed



รูปที่ 1- 1 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดกับอัตราการป้อนใบมีด กรณีต้องการต้นทุนการผลิตต่ำสุด และไม่มีข้อจำกัดอื่นใด

เนื่องจากค่าอัตราการป้อนใบมีด (Feed) หนึ่งค่าให้ค่าความเร็วในการตัด (Cutting Speed) ถึงสองค่า ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการสำหรับเลือกค่าความเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Cutting Speed, V_{opt}) นั่นคือ ถ้าพิจารณาสมการ (1-5) (1-6) และ (1-7) จะเห็นว่าเพราะ $1/n_t < 1/n$ จึงทำให้ต้นทุนที่จุด q ต่ำ กว่าต้นทุนที่จุด r และต้นทุนที่จุด r ต่ำกว่าต้นทุนที่จุด q' หรือ ต้นทุนที่จุด $q<r<q'$ แสดงว่า ต้นทุนจะลดลงขณะที่อัตราการป้อนใบมีด(Feed)เพิ่มขึ้น จึงน่าจะสรุปได้ว่า สภาวะการกลึงโลหะเพื่อให้ได้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำสุดนั้น ได้มาจากการแทนค่าอัตราการป้อนใบมีด(Feed)สูงสุดที่เครื่องจักรกลมีอยู่ลงในสมการ (1-6) เพื่อคำนวณหาค่า V_{opt} อย่างไรก็ตาม สมการที่ (1-6) อาจจะเขียนอยู่ในรูป

$$A/(v^{1/n}f^{1/n}1) = [(1/n)-1][(xT_d+y)/x] = T_{vm} \qquad ....(1-8)$$

เมื่อ T_{vm} คืออายุใบมีดในกรณีที่ต้องการต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุด สมการนี้แสดงให้เห็นว่าอายุใบมีด ขึ้นอยู่กับ Tool Speed Exponent (n หรือ 1/n) รวมทั้งอัตราส่วนของต้นทุนใบมีด(Tool Costs)ต่อ ค่าแรงงานกับค่าโสหุ้ย(Overhead Cost)

และชี้ให้เห็นว่าเมื่อค่า n สูงขึ้น ค่า T_{vm} จะลดลงและ V_{max} จะมีค่าสูงขึ้นด้วย จากสมการ (1-8) อาจจะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$V = A^n / (T_{vm}^n f^{n'/n_1}) \qquad \text{.....(1-9)}$$

เมื่อ f คือ ค่า Feed สูงสุดที่เป็นไปได้

การวิเคราะห์ที่ผ่านมาแสดงวิธีการหาค่าอัตราการป้อนใบมีด (Feed) และค่าความเร็วในการตัด (Cutting Speed) เมื่อไม่คำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ แต่ในทางปฏิบัติจำเป็น ต้องคำนึงถึงข้อจำกัด (Restrictions) ดังนี้

1. ข้อจำกัดเรื่องอัตราการป้อนสูงสุด (Maximum Feed) ของเครื่องกลึง นั่นคือจะต้องเลือกค่าอัตราการป้อนใบมีด (Feed) ก่อน (ไม่ให้เกินค่าสูงสุดของเครื่อง) แล้วจึงคำนวณหาค่าความเร็วในการตัด (Cutting Speed) จากสมการ (1-6)

2. ข้อจำกัดในเรื่องความเร็วสูงสุด (Maximum Cutting Speed) ของเครื่องกลึง กรณีนี้ ค่าความเร็วในการตัด และอัตราการป้อนใบมีดได้มาด้วยวิธีเดียวกันกับข้อ 1. แต่ความเร็วที่ได้มานั้นต้องนำมาเปรียบเทียบกับความเร็วสูงสุดของเครื่อง ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณต่ำกว่าค่าสูงสุดของเครื่องก็ใช้ค่านั้นได้ ไม่เช่นนั้นต้องใช้ค่าความเร็วสูงสุดที่เครื่องจักรกลมีอยู่เท่านั้น(แต่ที่พบโดยทั่วไป ค่าที่คำนวณได้มักจะต่ำกว่าเสมอ)

3. ข้อจำกัดในเรื่องกำลังสูงสุด (Maximum Power) ของเครื่อง ซึ่งกำลังในการตัดแสดงได้ดังสมการ

$$P = WVf^{\alpha}d^{\beta} \qquad \text{.....(1-10)}$$

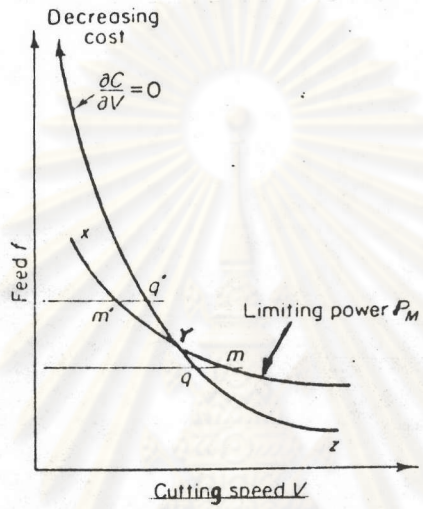
เมื่อ P : กำลังในการตัด(Cutting Power)

W, α, β : เป็นค่าคงที่สำหรับวัสดุชิ้นงาน และวัสดุใบมีดคู่หนึ่ง

นั่นคือ ถ้าค่าความเร็วในการตัดกับอัตราการป้อนใบมีดที่ได้มาจากข้อ 1. และข้อ 2. นั้น เมื่อนำมาแทนค่าในสมการ(1-10) แล้วให้ค่า P ที่สูงกว่ากำลังการตัดสูงสุดของเครื่องจักรแล้วจะ ต้องลดค่าความเร็วในการตัด หรืออัตราการป้อนใบมีดตัวใดตัวหนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งผลที่ตามมาคือจะไม่ได้ต้นทุนการผลิตต่ำสุดเช่นเดิมแล้ว ดังนั้นเพื่อที่จะให้ต้นทุนการผลิตเปลี่ยนไปน้อยที่สุด ก็ควรจะเปลี่ยนค่าความเร็วในการตัด หรือ อัตราการป้อนใบมีดให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรืออีกทางเลือกคือ ใช้กำลังสูงสุดของเครื่องกลึงเลย และกำลังสูงสุด (P) จากสมการ (1-10) นั้น ถ้านำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเร็วและอัตราการป้อนใบมีดในกรณี $\partial C/\partial V = 0$ จะได้ดังรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และข้อจำกัดเรื่องกำลังสูงสุดของเครื่อง

ต้นทุนต่อหน่วยตามเส้นกราฟกำลังสูงสุด(P_m)ได้มาจากการแทนค่าสมการ(1-10) (Limiting Power Equation) ลงในสมการ (1-5) จะได้

$$Cp = xT_L+[(xL)/\lambda][Wd^{\beta}/Pm]^{1/\alpha}V^{(1/\alpha)-1}$$
$$+[xT_d+y][L/\lambda A][P_m/Wd^{\beta}]^{(1/\alpha)\{(1/n_1)-1\}}V^{\{(1/n)-1\}-(1/\alpha)\{(1/n_1)-1\}}$$

.....(1-11)

จากสมการ (1-11) จะเห็นว่าการผลิตโดยใช้กำลังสูงสุดของเครื่องจักรนั้นต้นทุนต่อหน่วยจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อความเร็ว (Cutting Speed) ลดลงอย่างไรก็ตาม จะแยกพิจารณา เป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่หนึ่ง ถ้า $n/n_1<\alpha<1$ แล้ว กรณีนี้ขั้นแรก จะเลือกค่าอัตราการป้อนใบมีด

(Feed)ก่อน (การเลือกค่าอัตราการป้อนมีด ให้พยายามเลือกค่าสูงแต่ไม่เกินค่าสูงสุดของเครื่อง) แล้วนำค่าอัตราการป้อนใบมีดนั้นมาเทียบหาค่าความเร็วจากกราฟ x-y ในรูปที่ 1-2 (ถ้ากำลังของเครื่องเป็นตัวร่วมกำหนดค่า V_{max} ด้วย) และถ้าค่าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดของเครื่องต่ำกว่าจุด y ก็จะหาค่าความเร็วจากกราฟ $\partial C/\partial V = 0$ (คือส่วนของ y-z) สรุปกรณีนี้คือเลือกใช้ค่าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดที่เครื่องกลึงมีอยู่ แล้วคำนวณหาความเร็ว (Cutting Speed) จากสมการ 1-6 และ 1-10 แต่เลือกใช้ค่าความเร็วที่ต่ำกว่าเท่านั้น

กรณีที่สอง ถ้า $(n/n_1)<\alpha>1$ แล้ว ต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุดจะอยู่บนเส้นกราฟกำลังสูงสุด (Limiting Power) เท่านั้นความจริงเหล่านี้สามารถทดสอบได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้คือ พิจารณาค่าอัตราการป้อนใบมีดสองค่า (ทั้งด้านบนและล่างของจุดตัด y ในรูปที่ 1-2)ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่า Cost y<Cost q และCost q<Cost m ดังนั้น Cost y<q<m นั่นคือ ค่าใช้จ่ายสำหรับอัตราการป้อนใบมีดที่ต่ำกว่าจุด y จะมีค่าลดลงตามกราฟกำลัง (Power Curve) จนถึงจุด y และสำหรับค่าอัตราการป้อนใบมีดที่สูงกว่าจุด y จะพบว่า Cost q'< Cost y และ Cost q'น้อยกว่า Cost m' ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่ m' อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ y และค่าที่ต่ำสุดอาจจะตกอยู่ในช่วง x-y ของเส้นกราฟกำลัง ซึ่งตำแหน่งของจุดค่าใช้จ่ายต่ำสุดอาจหาได้โดยการดิฟเฟอเรนติเอทสมการที่ 1-11 ($\partial Cp/\partial V$) แล้วให้เท่ากับศูนย์ คือ

$$V=\{[([1/n_1]-1)-\alpha([1/n]-1))/(1-\alpha)][(xT_d+y)/x] * [P_m/(Wd^{\beta})]^{1/(\alpha n_1)} 1/A\}^{(1/\alpha n_1)-(1/n)} \quad .....(1-12)$$

แล้วค่าอัตราการป้อนใบมีดหาได้จากการแทนค่า V จากสมการ 1-12 ลงในสมการ 1-10 จะได้

$$f=(P_m^{1/\alpha})/W^{1/\alpha} d^{\beta/\alpha}\{[((1/n_1)-1)-\alpha((1/n)-1)/(1-\alpha)]\}^{(n-\alpha n_1)/\alpha^2 n_1 n} *1/\{[xT_d+y/x][P_m/Wd^{\beta}]^{1/(\alpha n_1)} 1/A\}^{(n-\alpha n_1)/\alpha^2 n_1 n} \quad .....(1-13)$$

ถ้าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดของเครื่องกลึงมีค่าสูงกว่า อัตราการป้อนใบมีดที่

ได้จากสมการ 1-13 ก็จะใช้ค่าอัตราการป้อนใบมีดและค่าความเร็วในการตัดที่คำนวณได้จากสมการ 1-13 และ 1-12 แต่ถ้าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดของเครื่องมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการ 1-13 ก็จะเลือกใช้ค่าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดของเครื่อง และจะเลือกค่าความเร็วที่ต่ำสุดจากค่าความเร็ว สองค่าที่ได้จากสมการ 1-6 และ 1-10 อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัตินั้น $n/n_t<\alpha<1$ เป็นกรณีที่พบมากที่สุด

4. ข้อจำกัดในเรื่องแรงสูงสุด (Maximum Force Restriction) เป็นข้อจำกัดที่มีไว้เพื่อที่จะลดการบิดเบี้ยวของใบมีด ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดของชิ้นงานผิดพลาดไปด้วย และแรงในการตัดแสดงได้โดยสมการของแรง ซึ่งArmaregoและBrown[11] เสนอไว้ว่า

$$F=Ef^{\alpha}d^{\beta} \qquad \text{.....(1-14)}$$

นั่นคือต้องมีการคำนวณแรงตัดในการกลึง โดยอาจจะใช้วิธีการคำนวณตามที่ Armarego และคณะ [13,14] เสนอเอาไว้ แล้วตรวจสอบว่า ค่าแรงตัดในการกลึงไม่เกินค่าของ F ในสมการที่ 1-14 เพราะถ้าแรงตัดสูงกว่าค่า F จะเกิดความไม่ปลอดภัย เช่น ใบมีดแตกหัก มือจับมีดบิดเบี้ยว แตกหัก ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ต้องการจะให้เกิดมีขึ้น

หรือใช้วิธีเลือกค่าความลึกของรอยตัด (Depth of Cut) ก่อน แล้วจึงใช้สมการที่ (1-14) คำนวณหาค่าอัตราการป้อนใบมีด(ซึ่งแนะนำให้แทนค่า F ด้วยค่าแรงสูงสุดที่เครื่องจักรยอมรับได้) แล้วนำค่าอัตราการป้อนใบมีดนี้ไปแทนค่าในสมการ 1-6 เพื่อหาค่าความเร็วในการตัด

5. ข้อจำกัดทางสภาพความขรุขระของพื้นผิว (Surface Finish restriction) ข้อจำกัดนี้อาจทำให้ได้ค่าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุด หรืออัตราการป้อนใบมีดสูงสุดที่ความเร็วในการตัดต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องมาจากรูปทรงเรขาคณิตของใบมีด (Tool Geometry)และรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงาน (Process Geometry) เพราะเป็นที่ทราบกันว่าอัตราการป้อนใบมีดทำให้เกิดรอยบนผิวชิ้นงาน ดังนั้นจะได้ว่า

$$h=f^2/8R \qquad \text{.....(1-15)}$$

เมื่อ h : ความสูงจากยอดคลื่นถึงก้นร่องคลื่นบนผิวชิ้นงาน (The peak to

valley height) หน่วยเป็น มม.

R : รัศมีปลายใบมีด (The tool radius) หน่วยเป็น มม.

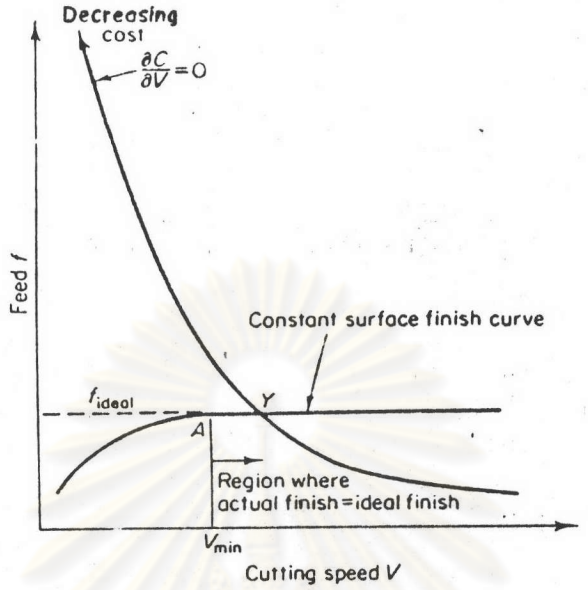
f : อัตราการป้อนใบมีด (Feed) หน่วยเป็น มม.

ดังนั้นสำหรับสภาพความขรุขระของพื้นผิวที่ต้องการ และจากลักษณะรูปทรงเรขาคณิตของใบมีดที่ให้มา จะพบว่ามีค่าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดอยู่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นสภาวะการตัดสำหรับข้อจำกัดนี้แล้วค่าความเร็วในการตัดก็จะได้จากสมการ (1-6)

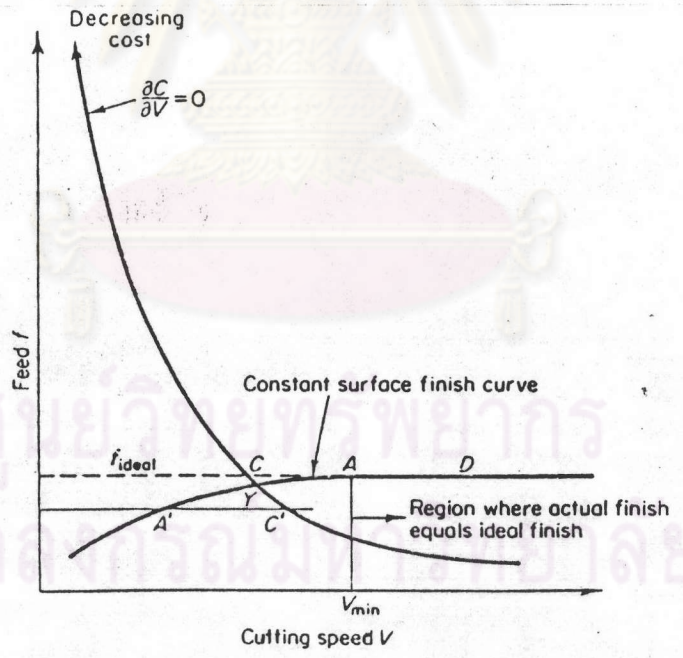
ข้อจำกัดทางสภาพความขรุขระของพื้นผิวขึ้นอยู่กับค่าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุด และค่าความเร็วในการตัดต่ำสุด เป็นที่ทราบกันว่า อัตราการป้อนใบมีดทำให้เกิดรอยบนชิ้นงาน ส่วนสภาพความขรุขระของพื้นผิวในทางจิตนาการนั้น คำนวณได้จากรอยบนชิ้นงานที่เกิดจากอัตราการป้อนใบมีด (ซึ่งไม่ได้เกิดทุกๆ ค่าของความเร็ว)แต่อย่างไรก็ตาม สภาพความขรุขระของพื้นผิวทางทฤษฎี และทางจินตนาการจะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อค่าความเร็วในการตัดสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ ข้อจำกัดทางสภาพความขรุขระของพื้นผิวสามารถแสดงได้ในเทอมของอัตราการป้อนใบมีดสูงสุด หรือค่าอัตราการป้อนใบมีดในจินตนาการ (ซึ่งก็จะให้สภาพความขรุขระของพื้นผิวในทางจินตนาการ, The ideal surface finish) และในเทอมของค่าความเร็วในการตัดต่ำสุด นั่นคือไม่ว่า ต้องการสภาพความขรุขระของพื้นผิวเท่าไหร่ ค่าอัตราการป้อนใบมีด และค่าความเร็วในการตัดจะสัมพันธ์กันเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 1-3 จะเห็นว่าเมื่อค่าความเร็วในการตัดลดลงจนมีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุด (Minimum Cutting Speed, V_{min}) แล้ว ค่าอัตราการป้อนใบมีดจะลดลงด้วย พิจารณาจากรูปจะเห็นว่าถ้าเส้น $\partial C/\partial V = 0$ (สมการที่ 1-6) ตัดเส้นความขรุขระของพื้นผิวสูงกว่าค่าความเร็วในการตัดต่ำสุด (V_{min}) แล้วต้นทุนที่จุด Y จะน้อยกว่าที่ A และสภาวะการตัดที่เลือกมานั้นจะสอดคล้องกับจุด Y และค่าความเร็วจากสมการ 1-6 สำหรับรูปที่ 1-3 นั้น จะเห็นว่าเส้นกราฟตัดกัน ซึ่งการตัดกันลักษณะนี้ควรจะตรวจค่าต้นทุนต่ำสุดบนเส้นกราฟความขรุขระของพื้นผิว ซึ่งต้องอาศัยสมการที่มีข้อจำกัดทางสภาพความขรุขระของพื้นผิว และกำลังสูงสุดของเครื่อง นอกจากนี้ จากรูปที่ 1-3(b) จะเห็นว่า ต้นทุนที่จุด $Y<C'<A'$ ขณะที่ต้นทุนที่จุด $A<D$ และจะเห็นว่า ต้นทุนที่จุด $C<Y$ และ $C<A$ ส่วนค่าใช้จ่ายที่ Y ไม่จำเป็นต้องน้อยกว่าที่ A และต้นทุนต่อหน่วยอาจจะอยู่ระหว่าง A กับ Y ดังนั้นพื้นที่ที่จะพิจารณา(Operating Region)ควรอยู่ระหว่าง A และ Y ถ้าให้ช่วง A-Y น้อยแล้วเงื่อนไขการตัดอาจจะได้ที่จุด A (นั่นคือ f_{ideal} และ V_{min}) ไม่เช่นนั้น ก็จะพิจารณา

017464

ค่าตัวเลขในช่วง A-Y



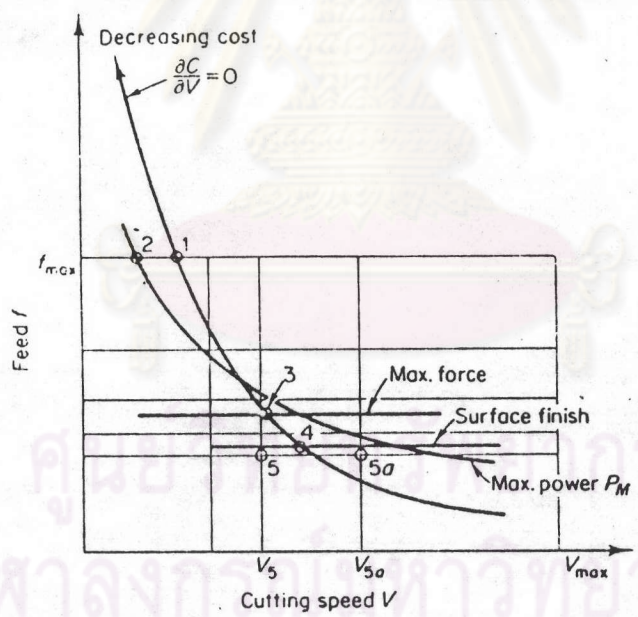
(a)



(b)

รูปที่ 1-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัด และอัตราการป้อนใบมีด ในกรณีที่ต้องการให้ต้นทุนการผลิตต่ำสุด และมีข้อจำกัดทางสภาพความขรุขระของพื้นผิว

6. ข้อจำกัดเรื่องช่วงของอัตราการป้อนและช่วงของความเร็วของเครื่องกลิง (Machine-tool feed and speed steps) ยกเว้นเครื่องกลิงที่เปลี่ยนค่าความเร็วและค่าอัตราการป้อนใบมีดโดยไม่จำกัด ในกรณีนี้สภาวะการตัดได้มาจากการเลือกค่าอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดที่เครื่องยอมได้แล้วคำนวณหาค่าความเร็วจากสมการที่ 1-6 แล้วเลือกใช้ค่าความเร็วของเครื่องจากผลการคำนวณ ซึ่งถ้าค่าไม่ตรงกันให้พิจารณาค่าที่ให้ต้นทุนต่ำกว่า รูปที่ 1-4 แสดงให้เห็นว่าข้อจำกัดหลาย ๆ อย่างจะมีอิทธิพลต่อการเลือกสภาวะการตัดครั้งสุดท้าย



รูปที่ 1-4 การเลือกสภาวะการตัดที่ให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุดเมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยต่ำสุดที่ยอมได้สมมุติให้เท่ากับ 1 ในกรณีที่คำนึงถึงข้อจำกัดเรื่องอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดเท่านั้น แต่จุด1จะดีที่สุดสำหรับข้อจำกัดข้อ 1 และ 2 ถ้ามีข้อจำกัดเรื่องกำลังมาเกี่ยวข้องด้วยแล้วสภาวะการตัดจะเลื่อนไปที่จุด 2 และถ้ามีข้อจำกัดเรื่องแรงด้วยแล้วสภาวะการตัดจะเลื่อนมาที่จุด 3 และถ้าเพิ่มข้อจำกัดทางสภาพความขรุขระของพื้นผิวสภาวะการตัดจะเลื่อนมาที่จุด 4 แต่ถ้าเครื่องกลึงไม่สามารถใช้สภาวะการตัดที่จุด 4 ได้ ก็ต้องลดอัตราการป้อนใบมีดลงมา 1 ช่วงแล้วนำค่าอัตราการป้อนใบมีดจากเครื่องไปคำนวณหาค่าความเร็วและเลือกค่าความเร็วที่ให้ต้นทุนต่ำกว่าอีกครั้ง รูปที่ 1-4 แสดงให้เห็นว่าความเร็ว V5a เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทุกๆทางเลือก ในทางปฏิบัตินั้นสภาวะการตัดเพื่อให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุดมักจะถูกเลือกอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่ได้นำข้อจำกัดต่างๆมาใช้ แต่สำหรับการกลึงครั้งสุดท้ายนั้น ข้อจำกัดเรื่องสภาพความขรุขระของพื้นผิวจะสำคัญที่สุด ดังนั้น จุดที่ 4 จะถูกพิจารณาเป็นอันดับแรกและเลือกจุดที่ 1,2,3 อย่างง่าย ๆ ในกรณีของการกลึงหยาบ มักจะไม่นิยมพิจารณาความขรุขระของผิวเพราะไม่มีความจำเป็นจะต้องทำให้ผิวเรียบ เนื่องจากจะต้องมีการกลึงละเอียดหรือการเจียระไนติดตามมาอยู่แล้ว ดังนั้นในการกลึงหยาบนั้น จะต้องพิจารณาที่จุด 1 และ 2 อย่างละเอียด ดังนั้น เมื่อได้สภาวะการตัดแล้วก็สามารถหาค่าต้นทุนต่อหน่วยได้ โดยการแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 1-5

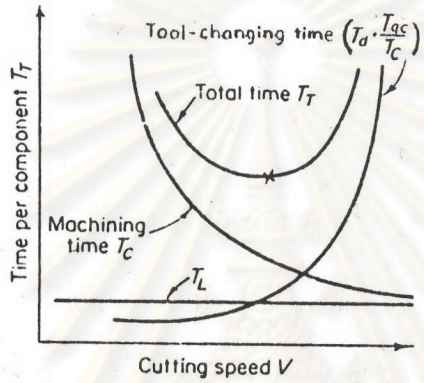
ในโครงการวิจัยนี้ จะเน้นการศึกษาการกลึงหยาบ และเน้นการหาสภาวะการผลิตที่ทำให้อัตราการผลิตสูงสุด ดังนั้น จึงจะไม่นำข้อจำกัดอันเนื่องจากความขรุขระเข้ามาพิจารณาเพราะการนำเอาความขรุขระเข้ามาพิจารณานั้น จะต้องเกี่ยวข้องกับการคำนวณที่ยุ่งยากและซับซ้อนแต่ไม่มีผลต่อกรณีของการกลึงหยาบมากนัก

1.6.2 การเลือกสภาวะการกลึงโลหะเพื่อให้อัตราการผลิตสูงสุด (กรณีการกลึงปอกครั้งเดียว หรือ Single-Pass Turning)

สำหรับอัตราการผลิตสูงสุดหรือเวลาการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดในกรณี Single-pass turning นั้นหาได้จากสมการ

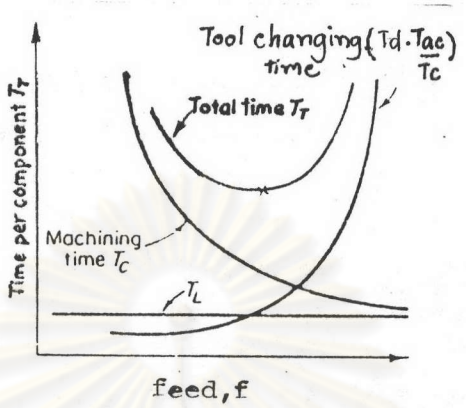
$$T_t = T_L + T_c + T_d(T_{dc}/T) \qquad \text{.....(1-16)}$$

นั่นคือ สภาวะการตัดและอายุใบมีดมีผลโดยตรงต่ออัตราการผลิต จะเห็นว่าถ้า T_L และ T_d มีค่าลดลงจะทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้น (เวลาการผลิตต่อหน่วยลดลง) แต่ถ้าความเร็วในการตัด (Cutting Speed) หรืออัตราการป้อนใบมีด(Feed) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ T_c ลดลง และจะเพิ่มเวลาในการถอดเปลี่ยนใบมีดในการตัดชิ้นงานหนึ่งชิ้น ดังนั้นเวลาในการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้นแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 1-5(a) และ 1-5(b)



รูปที่ 1-5(a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นกับความเร็วในการตัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1-5 (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น กับอัตราการป้อนใบมีด

จากการแทนค่าสมการ (1-3) และ (1-4) ลงในสมการที่ (1-16) จะได้ว่า

$$T_t = T_L + L/(\lambda v f) + [T_d L/(\lambda A)]V^{(1/n)-1} f^{(1/n_1)-1} \quad .....(1-17)$$

ตั้งสมมุติฐานว่าค่า T_L และ T_d มีค่าต่ำสุดแล้ว ดังนั้น สภาวะการตัดเพื่อให้อัตราการผลิตสูงสุดคือ $\partial T/\partial V = 0$ และ $\partial T/\partial F = 0$ นั่นคือ

$$\partial T_t/\partial v = [(Lv^{-2}f^{-1})/\lambda][\{(1/n)-1\}\{(v^{1/n}f^{1/n_1})/A\}*T_d - 1] = 0$$

นั่นคือ

$$[(1/n)-1][(V^{1/n}f^{1/n_1})/A]T_d = 1 \quad .....(1-18)$$

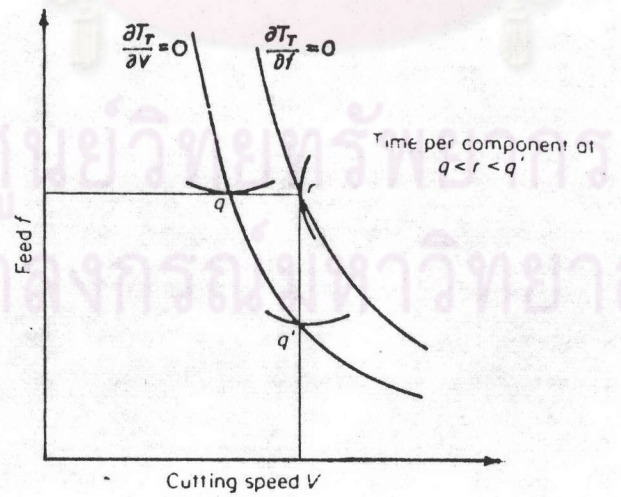
และ

$$\partial T_t / \partial f = (LV^{-1}f^{-2})/\lambda[(1/n_t - 1)\{(V^{1/n}f^{1/n_1})/A\}Td - 1] = 0$$

นั่นคือ

$$\{(1/n_t - 1)(V^{1/n}f^{1/n_1})/A\}T_d = 1 \qquad \text{.....(1-19)}$$

เราจะไม่สามารถแก้สมการ (1-18) และ(1-19)โดยพร้อมกันได้ นั่นคือเวลาในการผลิตหนึ่งหน่วยจะไม่มีเพียงค่าเดียว(ค่าที่ได้จากสมการที่ 1-18 และสมการที่ 1-19 จะมีค่าไม่เท่ากัน) ทั้งนี้เนื่องจากว่า $1/n_t < 1/n$ ดังแสดงในรูปที่ 1-6 จะเห็นว่าเวลาการผลิตต่อหน่วยลดลงในขณะที่อัตราการป้อนใบมีดสูงขึ้น และอัตราการผลิตสูงสุดหาได้โดยการเลือกอัตราการป้อนใบมีดสูงสุดที่ยอมได้ แล้วคำนวณหาค่าความเร็วในการตัดจากสมการที่ 1-19 สำหรับการเลือกสภาวะการตัดเพื่อให้ได้อัตราการผลิตสูงสุดเมื่อคำนึงข้อจำกัดต่าง ๆ นั้นให้พิจารณาเช่นเดียวกับกฎเกณฑ์การผลิตให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีนี้จะใช้สมการที่ 1-18 แทนสมการที่ 1-6 (เส้นกราฟ $\partial c/\partial v = 0$ เขียนแทนด้วยเส้น $\partial T_t / \partial v = 0$ ในรูปที่ 1-6)



รูปที่ 1-6 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดกับอัตราการป้อนใบมีด กรณีต้องการอัตราการผลิตสูงสุด และไม่มีข้อจำกัดอื่นใด

สมการที่ 1-18 นั้น ตามปกติจะเขียนอยู่ในรูป

$$A/(v^{1/n}f^{1/n_1}) = [(1/n)-1]T_{vb} = T_{vb} \quad \text{.....(1-20)}$$

เมื่อ T_{vb} คืออายุใบมีดสำหรับอัตราการผลิตสูงสุด โดยค่าความเร็วในการตัดแปรเปลี่ยนได้ และอายุใบมีด T_{vb} จะถูกกำหนดค่าขึ้นเป็นอันดับแรก แล้วจึงเลือกค่าอัตราการป้อนใบมีดและคำนวณหาค่าความเร็วในการตัด ในที่สุดจะได้ค่าอัตราการผลิตจากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 1-17

กล่าวโดยย่อแล้ว ในการเลือกสภาวะการตัดโลหะนั้น มีเกณฑ์สำคัญสามเกณฑ์ที่อาจจะเลือกใช้ได้คือ เกณฑ์ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด เกณฑ์อัตราการผลิตสูงสุด และเกณฑ์ตามข้อเสนอในเอกสารหรือหนังสือคู่มือวิศวกรรม โดยจะต้องเลือกใช้เกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งเพียงเกณฑ์เดียวเพราะแต่ละเกณฑ์จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน

เกณฑ์ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด อาจจะมีข้อดีในแง่ที่ว่า สามารถทำให้ต้นทุนต่อหน่วยในการกลึงต่ำสุดได้ แต่มีจุดอ่อนคือเป็นการพิจารณาเฉพาะกระบวนการกลึงกระบวนการเดียว ทั้งที่ในปัจจุบันนี้เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่า ระบบการผลิตในโรงงานจะมีกระบวนการต่าง ๆ เกิดขึ้นต่อเนื่องกันอย่างมากมาย และการกลึงเป็นเพียงกระบวนการหนึ่งในหลายๆ กระบวนการ และในทางปฏิบัติผู้วางแผนการผลิตอาจจะไม่สนใจที่จะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยในการกลึงต่ำสุด แต่อาจจะต้องการรู้ว่าจะเลือกสภาวะการกลึงโลหะอย่างไร จึงจะทำให้เวลาต่อหน่วยต่ำสุด (ซึ่งก็คืออัตราการผลิตสูงสุด) โดยการประหยัดเวลาในการกลึงนี้จะมีผลในการประหยัดเวลาของกระบวนการผลิตทั้งหมดตลอดทั้งสายงาน เมื่อพิจารณาว่าโรงงานประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ แล้ว จะเห็นว่าเกณฑ์อัตราการผลิตสูงสุด อาจจะสอดคล้องกับความเป็นจริงในโรงงานมากกว่าเกณฑ์ต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุด

เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ จะได้ยึดเกณฑ์อัตราการผลิตสูงสุดเป็นหลักในการพิจารณา ส่วนเกณฑ์การเลือกสภาวะการตัดตามเอกสารและหนังสือคู่มือนั้นเป็นเกณฑ์ที่ยังมีผู้นิยมใช้มาก จึงอาจจะนำมาพิจารณาด้วย แต่ก็มีไว้เพียงเพื่อจะเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเกณฑ์อัตราการผลิตสูงสุดเท่านั้น