บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การตัด (machining) เป็นวิธีการที่ปฏิบัติกันมานาน แต่ทฤษฎีในเรื่องกระบวนการตัดโลหะยังเป็นที่เข้าใจกันไม่มากนัก การพัฒนาทางด้านทฤษฎีด้านการตัดเป็นไปช้ากว่าพัฒนาการด้านเครื่องจักร ใบมีด และเทคโนโลยีอื่นๆ ดังนั้นการพัฒนาความรู้ทางด้านการตัดโลหะในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่ยังคงเป็นการลองผิดลองถูก อาศัยจากประสบการณ์จากการทำงาน การสังเกต ความชำนาญ และ ทฤษฎีเท่าที่มีอยู่มาประกอบกัน

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการตัดโลหะคือการเลือกค่าของความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และความลึกในการตัด เพื่อต้องการให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุดหรือต้องการให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด หรือบางทีเรียกว่าต้องการให้อัตราการผลิตสูงสุด เพราะว่าหากเราเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีดและ ความลึกในการตัดสูงเกินไปก็จะทำให้ต้องใช้แรงและพลังงานในการตัดสูงอีกทั้งใบมีดจะสึกหรออย่างรวดเร็วหรืออาจเกิดการแตกหัก แต่ในทางกลับกันหากเลือกความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และความลึกในการตัดต่ำเกินไป ก็จะทำให้งานเสร็จช้า อัตราการผลิตต่ำ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยมีค่าสูง การเลือกใช้เกณฑ์ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด หรือเวลาต่อชิ้นต่ำสุด ขึ้นกับแผนกลยุทธ์ของโรงงาน ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับนโยบายและวิธีการบริหารขององค์กรนั้น

ตามปกติการเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อนใบมีด และความลึกในการตัดยังต้องพิจารณาถึงโลหะที่จะทำการตัด และชนิดของใบมีดที่นำมาทำการตัดด้วย ซึ่งในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่จะเลือกค่าต่างๆ เหล่านี้จะใช้ตามที่ได้มีบอกไว้คู่มือ หนังสือตำรา เอกสารงานวิจัย หรือไม่ก็จากอาศัยประสบการณ์ทำงาน ซึ่งค่าที่ใช้เหล่านั้นเป็นค่าที่พอจะใช้งานได้เพียงเท่านั้น ไม่อาจจะยืนยันได้ว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุดหรือให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด

สืบเนื่องจากการตัดวัสดุมีหลากหลายวิธีการ เช่นการกลึง การกัด การไส การเจาะ ดังนั้นในที่นี้จะพัฒนาโปรแกรมเฉพาะการกลึงปอกก่อน เพราะเป็นกรรมวิธีการตัดวัสดุที่มีการใช้กันมากและเป็นกรรมวิธีที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นสำหรับช่วยในการเลือกสภาวะการกลึงปอกโลหะเป็นสิ่งจำเป็น โปรแกรมจะช่วยเลือกความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกของการตัด เพื่อให้การกลึงโลหะต่อชิ้นงาน 1 ชิ้นมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ของเครื่องกลึง เช่นกำลังการผลิตสูงสุด แรงตัดสูงสุดและคมมีดไม่หมดอายุขณะที่กำลังตัดชิ้นงาน โปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้มีการพัฒนาขึ้นในประเทศไทยครั้งแรกจะเป็นโปรแกรมที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ DOS พัฒนาโดยใช้ภาษา Turbo Pascal 4.0 (องุ่น เพ็ชรรัตน์, 2534) ซึ่งใช้งานได้ไม่ค่อยสะดวกในด้านของการติดต่อระหว่างคนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ศุภโชค วิริยโกศล และคณะ, (2538) ได้มีการเปลี่ยนมาพัฒนาโดยใช้ภาษา Foxpro 2.5 และก็ได้เปลี่ยนมาเป็น Microsoft visual foxpro 5.0 โดยมีชื่อว่า โปรแกรม MTCT ในเวลาต่อมาซึ่งได้มีขีดความสามารถในการคิดคำนวณที่สูงขึ้น สามารถคำนวณหาสภาวะในการกลึงที่ทำให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุดเพิ่มขึ้น และโปรแกรมดังกล่าวนี้ได้มีการพัฒนาจนถึงปัจจุบันนี้เป็น MTCT+4 ซึ่งมีขีดความสามารถครอบคลุมวัสดุชิ้นงาน 147 ชนิดใช้ได้กับใบมีด 3 ชนิด คือใบมีด high speed ใบมีด coated carbide และใบมีด cubic boron nitride และ สภาพการหล่อเย็น 2 ระดับ คือ หล่อเย็นด้วยน้ำ และการกลึงแห้งในอากาศ ใช้ครอบคลุมได้ทั้งเครื่องกลึง CNC และเครื่องกลึงธรรมดา ซึ่งจากที่ได้ศึกษาและทดลองใช้โปรแกรม MTCT+4 พบว่าแม้จะสามารถใช้งานได้ แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่อีกมาก ที่ควรพัฒนา เป็นต้นว่า

(1) รูปแบบในการป้อนค่าตัวแปรเข้าสู่โปรแกรมยังไม่ค่อยสะดวกนัก คือต้องป้อนค่าตัวแปรทุกค่าใหม่ทุกครั้งที่มีการคิดแต่ละกรณีที่คำนวณ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเฉพาะบางค่าได้ ทำให้เสียเวลามากในการป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม

(2) ลักษณะในการออกแบบ menu ยังไม่ได้มีการป้องกันการผิดพลาด (fool proof)ในการป้อนค่าตัวแปรซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้อาจหลงลืมป้อนค่าบางค่าได้ และหากผู้ใช้ไม่ได้ป้อนข้อมูลค่าใดโปรแกรมก็ไม่ได้รายงานออกมาเพื่อเป็นการเตือนก่อน ทำให้ผลการคิดคำนวณผิดพลาดได้

(3) โปรแกรมไม่ค่อยดึงดูดในการใช้งาน เนื่องจากมีเฉพาะ menu คำสั่งต่างๆ ซึ่งเข้าใจว่าเป็นผลจากการที่โปรแกรมนี้ใช้ภาษา Foxpro version ต้นๆ ในการพัฒนาซึ่งมีข้อจำกัดในการพัฒนารูปแบบของ user interface

(4) โปรแกรมควรที่จะแสดงผลการคำนวณในรูปของกราฟ หรือแผนภูมิได้ด้วยเพื่อให้ผู้ใช้ได้เห็นถึงลักษณะแนวโน้มของค่าต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้นและติดตามผลการคำนวณได้ทันเหตุการณ์

(5) โปรแกรมใช้เวลานานมากในการคิดคำนวณอย่างละเอียด โดยโปรแกรมก็ไม่ได้รายงานสถานะว่าขณะนั้นกำลังประมวลผลอยู่และ/หรือต้องใช้เวลาอีกนานเท่าไรจึงจะประมวลผลสำเร็จจึงอาจทำให้ผู้ใช้คิดว่าโปรแกรมหยุดทำงานก็เป็นได้

(6) โปรแกรมไม่ได้มีคำเตือน (warning) เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าบางค่าผิดพลาดหรือป้อนค่าที่สูงหรือต่ำเกินไปจากค่าที่เป็นไปได้จริง

(7) ชุดคำสั่งในการสั่งพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ยังไม่ค่อยสมบูรณ์ และลักษณะของรายงานที่พิมพ์ออกมาเป็นข้อความมาก ทำให้อ่านค่าได้ยากและเป็นการสิ้นเปลือง ควรออกแบบการพิมพ์รายงานใหม่ให้พิมพ์ค่าต่างๆ ออกมาในรูปแบบของตารางจะทำให้สามารถอ่านค่าต่างๆ ได้ง่าย

(8) โปรแกรมควรที่จะมีคำสั่งช่วยเหลือ (help) ที่ช่วยให้ผู้ใช้เข้าใจการใช้โปรแกรม

(9) ฐานข้อมูลที่โปรแกรมใช้อ้างอิงในการคิดคำนวณเก่ามากแล้วและมีจำนวนน้อย เช่น สมการอายุใบมีด ตอนนี้มีข้อมูลใหม่ๆ เพิ่มมากขึ้นที่ยังไม่ได้บรรจุไว้ในฐานข้อมูล

จากปัญหาข้างต้นทำให้เกิดแนวคิดว่าควรที่จะพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับช่วยในการเลือกสภาวะการกลึงปอกโลหะให้ใช้เวลาหรือต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุดขึ้นใหม่เพื่อใช้แทนโปรแกรมเดิมโดยพยายาม ออกแบบเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่พบในโปรแกรมเดิม โดยจะเปลี่ยนมาใช้ภาษา Visual basic version 6.0 ในการพัฒนา ซึ่งเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมมาก มีความคล่องตัวในการพัฒนารูปแบบของ user interface และด้านฐานข้อมูล

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตัดวัสดุเป็นกรรมวิธีการผลิตที่สำคัญมาก เพราะเป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้ในการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรกลเป็นจำนวนมาก เป็นกรรมวิธีหลักที่แพร่หลายมาตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบัน และยังใช้ต่อไปในอนาคต เครื่องจักรกลตัดวัสดุ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรกลธรรมดาหรือเครื่องจักรกลทันสมัยที่ควบคุมโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นสิ่งที่มีราคาแพง ดังนั้นการควบคุมเครื่องจักรตัดวัสดุจึงควรควบคุมโดยผู้ที่มีความรู้ เพื่อที่จะสามารถใช้งานเครื่องจักรได้อย่างคุ้มค่า ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการตัดวัสดุ ความรู้รอบ และการมีประสบการณ์ในการตัดวัสดุจะช่วยให้สามารถผลิตได้อย่างรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ ผลิตภัณฑ์มีความแม่นยำสูง มีคุณภาพสูง ใช้งานได้ดี

ในภาวะปัจจุบันสภาวะการทางธุรกิจอุตสาหกรรมมีการแข่งขันสูงมากดังนั้นในกระบวนการผลิต เช่นการตัดวัสดุ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

1.2.1 เป้าหมายเชิงเศรษฐศาสตร์ในการตัดวัสดุ

ศุภโชค วิริยโกศล, (2543) ได้แบ่งเป้าหมายเชิงเศรษฐศาสตร์ในการตัดวัสดุออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) ต้องการให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด (minimum cost per piece)

(2) ต้องการให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด (minimum time per piece) หรือบางที่เรียกว่า ต้องการให้อัตราการผลิตสูงสุด (maximum production rate) คือจำนวนผลิตต่อเวลาสูงสุด

เป้าหมาย 2 แบบนี้มีความแตกต่างกัน และไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน จำเป็นต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว การตั้งเป้าหมายว่าต้องการตัดโลหะให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด เป็นไปตามสมมุติฐานระบบการผลิตในบางโรงงานยังไม่ซับซ้อน การพิจารณาประหยัดค่าใช้จ่ายในการตัดวัสดุ ก็จะมีผลในการลดค่าใช้จ่ายของทั้งโรงงานอย่างเห็นได้ชัด เพราะการประหยัดค่าใช้จ่ายในการตัดวัสดุ ไม่ได้มีผลทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนอื่นๆ ในกรณีของการตั้งเป้าหมายว่าต้องการตัดโลหะให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุดเป็นไปตามสมมุติฐานระบบการผลิตในโรงงานในสมัยปัจจุบันมีความซับซ้อน การพิจารณาประหยัดค่าใช้จ่ายเฉพาะในการตัดวัสดุ อาจจะไม่มีผลในการลดค่าใช้จ่ายของทั้งโรงงาน เพราะการประหยัดค่าใช้จ่ายเฉพาะในการตัดวัสดุอาจจะไปเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนอื่น ดังนั้นแนวทางการประหยัดที่ได้ผลดีกว่าจึงน่าจะเป็นการประหยัดเวลาต่อชิ้นในการตัดเสียก่อน คือให้เครื่องจักรและคนที่ทำงานด้านการตัดวัสดุทำงานที่ได้รับมอบหมายให้เสร็จอย่างรวดเร็วที่สุด แล้วนำเวลา กำลังเครื่องจักร และกำลังคนที่ประหยัดได้ไปใช้การทำงานอย่างอื่น

สภาวะที่ทำให้การตัดโลหะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อชิ้นต่ำสุดจะไม่เหมือนกับสภาวะที่ทำให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด เมื่อเป็นเช่นนี้ผู้วางแผนการผลิตจำเป็นต้องเลือกทางใดทางหนึ่งเพียงทางเดียวและไม่สามารถทำให้ได้ทั้งสองกรณีพร้อมกัน สืบเนื่องจากการตัดวัสดุมีหลากหลายวิธีการ เช่นการกลึง การกัด การไส การเจาะ ดังนั้นจะพัฒนาโปรแกรมเฉพาะการกลึงปอกก่อน เพราะเป็นกรรมวิธีการตัดวัสดุที่มีการใช้กันมาก และเป็นกรรมวิธีที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

1.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการตัดวัสดุ

Lee, B.Y., Tarng, Y.S and Lii H.R., (2000) ได้ศึกษาถึงพารามิเตอร์ใช้สำหรับการกลึงเพื่อให้อัตราการผลิตสูงสุด หรือให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด โดยใช้การศึกษาแบบจำลอง polynomial network ซึ่งวิธีการแบบ polynomial network นี้สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง พารามิเตอร์ต่างๆ

ที่เกี่ยวข้องกับการตัดได้ เช่น ความเร็ว อัตราป้อน ความลึกในการตัด ซึ่งจะส่งผลต่อ ประสิทธิภาพในการตัดเช่น ความขรุขระของพื้นผิว แรงที่ใช้ตัด อายุการใช้งานของมีด การหาค่าที่ดีที่สุดของแบบจำลอง polynomial network จะใช้วิธีการของ sequential quadratic programming method ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของ non-linear programming method โดยกำหนดจุดที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับการตัดเป็นสมการ วัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าต้องการหาจุดที่ให้อัตราการผลิตสูงสุด หรือเพื่อต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด โดยมีสมการขอบข่ายคือ ความขรุขระที่ยอมรับ แรงที่ใช้ในการตัด และช่วงที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัด

โดยรายงานนี้ได้นำเสนอตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) แนะนำเกี่ยวกับวิธีการของ polynomial network

(2) นำวิธีการของ polynomial network สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

(3) เลือกวัตถุประสงค์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

(4) การหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยนำวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ ไปประยุกต์กับสมการวัตถุประสงค์ ภายใต้สมการขอบข่าย

วิธีการแบบ polynomial network

polynomial network เป็นวิธีการของ Ivakhnenko ที่ใช้ในการจัดกลุ่มของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนของ polynomial function node ซึ่งจะถูกจัดเป็นกลุ่มในหลายระดับ โดยสมการในรูปทั่วไปสามารถแสดงได้ดังนี้

$$y_0 = w_0 + \sum_{i=1}^{m} w_i x_i + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} w_{ijk} x_i x_j x_k + \ldots \qquad (1\text{-}1)$$

โดย

x_i, x_j, x_k = input

y_0 = output

$w_0, w_{j,}, w_{ij}, w_{ijk}$ = coefficients

โดยการนำ polynomial network มาใช้สำหรับการกลึงสามารถนำมาประยุกต์ได้โดยอาศัยหลักการของ normalizer และ unitizer กล่าวคือ normalizer จะเป็นการแปลงข้อมูลที่ป้อน ไปเป็นข้อมูลแบบมาตรฐาน ส่วน unitizer จะเป็นการแปลงข้อมูลที่ได้จาก network ไปเป็นข้อมูลจริง

$$y_0 = w_0 + w_1 x_1 \tag{1-2}$$

โดย

x_i = input of node

y_1 = output of node

$w_{0,} w_1$ = coefficients of node

การป้อนข้อมูลของ node สำหรับ polynomial equation เรียกว่า single double and triple nodes white node จะเป็นการสรุปรวมน้ำหนักทั้งหมดของสมการต่างๆ รวมถึงค่าคงที่ทั้งหมด เช่น

$$y_1 = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \ldots w_n x_n \tag{1-3}$$

โดย

$x_{1,} x_2, x_3 .. x_n$ = input of node

y_1 = output of node

$w_0, w_1, w_2 \ldots w_n$ = coefficients of white node

synthesis of polynomial networks หมายถึง polynomial network สำหรับควบคุมข้อมูลสำหรับ input และ output หรือเรียกว่า predicted squared error (PSE) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

$$PSE = FSE + KP \tag{1-4}$$

โดย

FSE = ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของ network สำหรับควบคุมข้อมูล

KP = complex penalty of network

โดยที่

$$KP = CPM\,\frac{2\sigma_p^2 K}{N} \tag{1-5}$$

เมื่อ

CPM = complex penalty multiplier

K = number of coefficients in the network

σ_p^2 = prior estimate of the model error variance

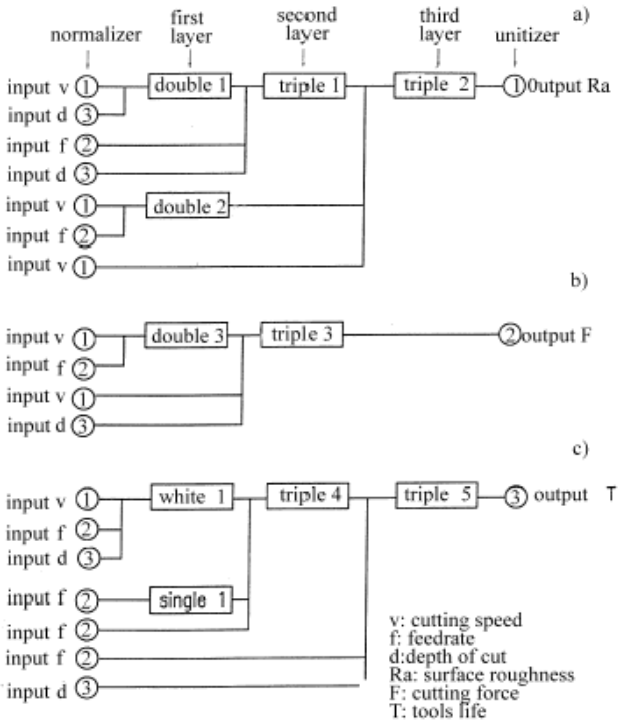
ระบบ network ที่ดีจะต้องทำให้ค่า PSE มีค่าต่ำที่สุด

การทดลองเพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่าง พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการตัด กับประสิทธิภาพในการตัดจะถูกนำมาพิจารณาสำหรับควบคุม polynomial networks ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดลองกลึงเบื้องต้นเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในการตัด

เบื้องต้นจะเป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแบบต่างๆ ที่ใช้ในการตัด เช่น ความเร็วในการตัด (cutting speed) อัตราการป้อน (feed) ความลึกในการตัด (depth of cut) ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตัด คือ ความขรุขระของพื้นผิว (R_a) แรงตัด (cutting force) อายุการใช้งานของใบมีด (tool life)

เมื่อพบรูปแบบความสัมพันธ์ โดยจากการศึกษาจากเอกสารและจากผลการทดลองแล้ว ขั้นต่อไปเป็นการสร้าง polynomial network แบบ 3 ชั้น ดังภาพประกอบ 1.1



ภาพประกอบ 1.1 polynomial network สำหรับการพยากรณ์ประสิทธิภาพในการตัด

(Lee, B.Y., Tarng, Y.S and Lii H.R., 2000:63)

การเลือกวัตถุประสงค์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในส่วนนี้จะเลือกว่าต้องการวัตถุประสงค์ใด

อัตราการผลิตสูงสุด (maximizing production rate) คือเป็นการผลิตให้เร็วที่สุดที่เป็นไปได้ โดยสามารถเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$T_p = T_h + (T_{mr} + T_{mf}) + T_c N_c \qquad (1\text{-}6)$$

โดย

T_p = เวลารวมของการผลิตใน 1 รอบการทำงาน

T_h = เวลาที่ใช้ในการ load และ unload

T_{mr} = เวลาในการตัดแบบหยาบ

T_{mf} = เวลาในการกลึงแบบละเอียด

T_c = เวลาในการเปลี่ยนมีดในแต่ละครั้ง

N_c = จำนวนครั้งในการเปลี่ยนใบมีด

ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด (minimizing production cost) ซึ่งเป็นการผลิตโดยให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ ต่ำสุด เช่นการตัดโดยใช้ความเร็วต่ำ โดยสามารถเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$C_p = C_h T_h + (C_{mr} T_{mr} + C_{mf} T_{mf}) + C_c T_c N_c + (C_{tr} N_{tr} + C_{tf} N_{tf}) \qquad (1\text{-}7)$$

โดย

C_p = ค่าใช้จ่ายรวมของการผลิตใน1 รอบการทำงาน

C_h = ค่าใช้จ่ายในการ load และ unload

C_{mr} = ค่าใช้จ่ายตัดแบบหยาบ

C_{mf} = ค่าใช้จ่ายตัดแบบละเอียด

C_c = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนมีด

C_{tr} = ค่าใช้จ่ายของมีดอย่างหยาบ

C_{tf} = ค่าใช้จ่ายของมีดอย่างละเอียด

N_{tr} = จำนวนฟันของมีดตัดหยาบต่อชิ้น

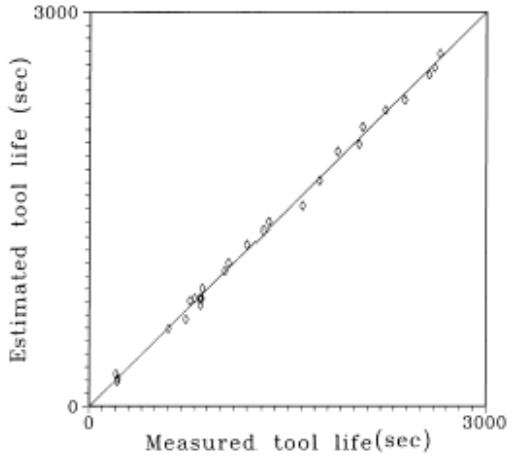
N_{tf} = จำนวนฟันของมีดตัดละเอียดต่อชิ้น

การหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยนำวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ ไปประยุกต์กับสมการวัตถุประสงค์ ภายใต้สมการขอบข่าย

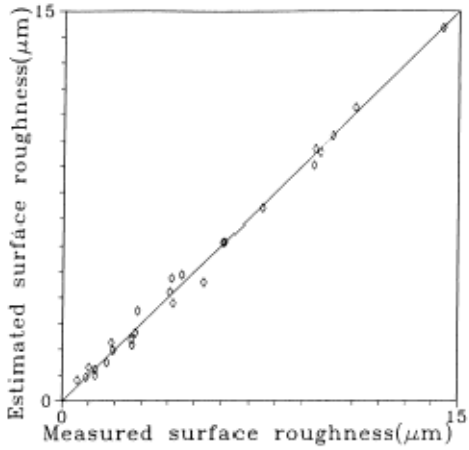
ใช้วิธีการของ sequential quadratic programming method สำหรับแก้ปัญหา เพื่อหาคำตอบตามสมการเป้าหมาย ภายใต้สมการขอบข่าย

Lee, B.Y. and Tarng, Y.S.,(2000)ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลการกลึง ไว้ในฐานข้อมูลแล้ว นำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณ โดยใช้ polynomial network ซึ่งวิธีการแบบ polynomial network นี้สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตัดได้ เช่น ความเร็ว อัตราป้อน ความลึกในการตัด ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตัด เช่น ความขรุขระของพื้นผิว แรงที่ใช้ตัด อายุการใช้งานของมีด ซึ่งวิธีการของ polynomial network ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น

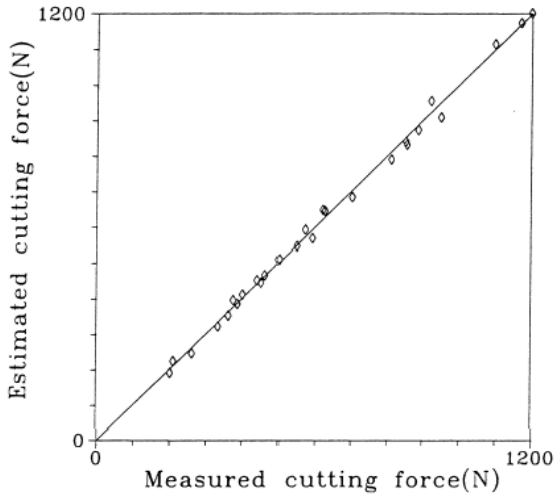
จากการทดลองของ Lee และ Tarns พบว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง มีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ได้ทดลองจริง ดังแสดงในภาพประกอบ 1.2 1.3 และ 1.4



ภาพประกอบ 1.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของอายุคมมีด (Lee, B.Y., Tarng, Y.S and Lii H.R., 2000:4)



ภาพประกอบ 1.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของความขรุขระของพื้นผิว (Lee, B.Y., Tarng, Y.S and Lii H.R., 2000:5)



ภาพประกอบ 1.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของแรงในการตัด (Lee, B.Y., Tarng, Y.S and Lii H.R., 2000:5)

วิธีการของ Lee และ Tarng นี้จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงก็ต่อเมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลมากเพียงพอ เช่น ข้อมูลแต่ละคู่สำหรับใบมีดกับโลหะที่นำมาตัด สภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่ใช้ตัด รวมทั้งช่วงความเร็ว อัตราการป้อน และความลึกในการตัดจะต้องครอบคลุมอย่างเพียงพอ ไม่อย่างนั้นก็จะทำให้ผลการคำนวณคลาดเคลื่อนไป

Choudhury, S.K., Kuman Eswar and Ghosh A., (1999) ได้ศึกษาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับการตัดในสภาวะต่างๆ เพื่อให้มีจำนวนการทดลองน้อยที่สุด โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาสภาวะที่ดีที่สุดของสมการอายุคมมีด โดยได้พัฒนาแบบจำลองต่อเนื่องจากสมการของ Taylor ซึ่งประกอบไปด้วยสมการ Exponent n และค่าคงที่ C ซึ่งต้องการให้ใช้จำนวนการทดลองน้อยที่สุดในการทดลองใช้ระบบ online monitoring of tools wear ผลจากการทดลองจะเห็นได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เพิ่มมากขึ้นในการตัดกับ การสึกหรอของใบมีด ในที่นี้ให้ความสนใจกับการสึกหรอแบบ flank wear (h_f)

โดยจากการศึกษาจะได้ แบบจำลองใหม่ ดังนี้

$$\left[\frac{h_f^*}{\left[\frac{5}{4}\left(\frac{Z_0}{H}\right)\frac{1}{b\psi}\right]^{0.8} A^{0.6}}\right]^{1/((p/2)+1)} = V_c T^{(1/(p/2)+1)} \qquad (1\text{-}8)$$

โดย

T = อายุการใช้งานของใบมีด (tool life)

V_c = ความเร็วในการตัด

Z_0 = ค่าคงที่ สำหรับสำหรับวัสดุใบมีดและชิ้นงานคู่หนึ่งๆ

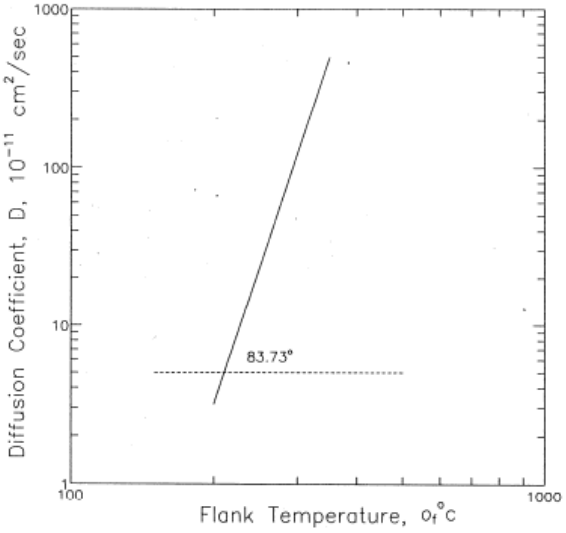
b = ความกว้างของรอยตัด

H = ความแข็งของใบมีด

ψ = ปัจจัยที่แปรตามลักษณะเรขาคณิตของใบมีด

A = อัตราการเพิ่มของแรงตั้งฉากกับผิวชิ้นงานกับขนาดของรอยสึกบนผิวหลังมีด

จากสมการ ค่า p ได้มาจากไดอะแกรม ดังแสดงในภาพประกอบ 1.5



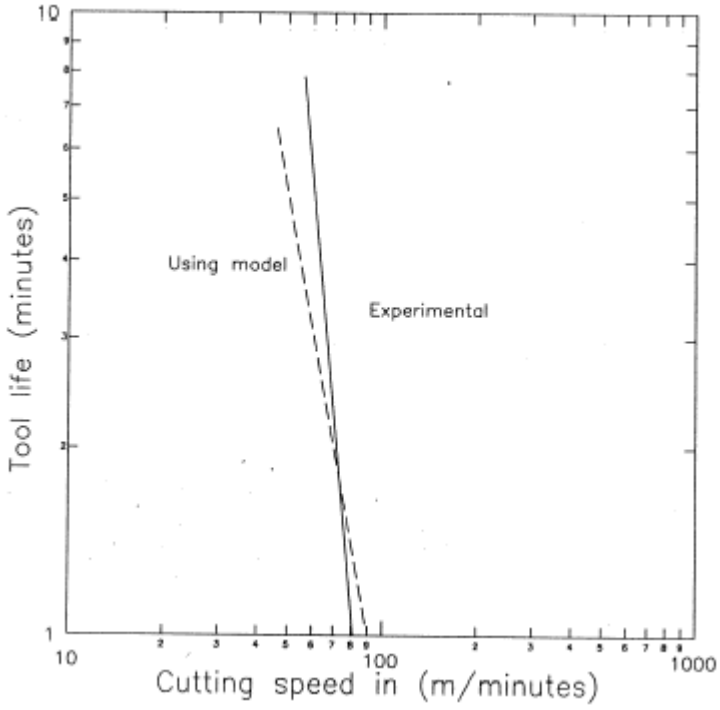
ภาพประกอบ 1.5 กราฟความสัมพันธ์ diffusion of carbon with flank temperature for 0.3 % carbon steels (Choudhury, S.K., Kuman Eswar and Ghosh A., 1999:123)

ซึ่งจากสมการด้านบน สามารถเขียนใหม่ได้คือ

$$V_c T^n = C \tag{1-9}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากสมการด้านบนจะเหมือนกับสมการของ Taylor's tool life equation

ผลจากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณโดยใช้ แบบจำลองในตอนต้นกับการทดลองจริงของ Choudhury และคณะ พบว่าค่าที่ได้ออกมามีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 1.6



ภาพประกอบ 1.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุคมมีดกับความเร็วในการตัด เปรียบเทียบระหว่างการใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลจากการทดลองจริง (Choudhury, S.K., Kuman Eswar and Ghosh A., 1999:126)

จากแบบจำลองใหม่ดังกล่าวสามารถใช้ได้ดีกับงานที่มีการเปลี่ยนชนิดของใบมีดกับชนิดของชิ้นงานบ่อย แต่ยังไม่สามารถใช้ได้กว้างขวางเนื่องจากค่า p ในสมการดังกล่าวยังมีข้อมูลจากการทดลองน้อย สำหรับคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิด แต่ละค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอน อีกทั้งแบบจำลองดังกล่าวไม่ได้สนใจเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรสำคัญบางตัวในการตัด เช่น ความลึกในการตัด อัตราการป้อน

Choudhury, S.K. and Appa Rao, I.V.K., (1999) ได้ศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้สมการอายุคมมีดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งวิธีการใหม่นี้สามารถใช้เพื่อปรับปรุง สมการอายุคมมีดให้มีค่าสูงขึ้นโดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดและอัตราการป้อนควบคู่กันไป ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า เมื่อตัดที่ความเร็วต่ำ ฝอยที่เกิดขึ้นจะมีน้อยและสัมผัสกับผิวหน้ามีดเป็นเวลาสั้นๆ จะทำให้อุณหภูมิที่หน้ามีดต่ำ ดังนั้นจึงควรที่จะเพิ่มอัตราการป้อนขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ฝอยสัมผัสกับหน้ามีดยาวนานขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ความร้อนมีการกระจายที่ดีขึ้น ลดการเกิด flank wear และ crater wear ทำให้อายุคมมีดยาวนานขึ้นอีกทั้งมีความเป็นไปได้ที่ขณะกำลังตัดที่ความเร็วสูงใกล้กับค่าที่ดีที่สุดนั้นให้ลดความเร็วตัดลงเล็กน้อย เพื่อให้อายุคมมีดมีค่าสูงขึ้น เพราะความเร็วในการตัดมีอิทธิพลต่ออายุคมมีดสูงแต่ให้เพิ่มอัตราการป้อนแทน ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

Iakovou,Eleftherios, Chi, M. Ip and Koulamas Chritos, (1996) ได้ศึกษาและเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการหาความเร็วตัดที่เหมาะสมที่สุดและการเปลี่ยนใบมีดสำหรับนโนบายทางเศษฐศาสตร์ในการตัดคือการทำให้ค่าใช้จ่ายต่อชิ้นต่ำสุด โดยวิธีการแก้ปัญหา optimal cutting speed and tool replacement จะใช้เทคนิค Markovian and non-Markovian tools failure processes และใช้วิธีการ one-dimensional search ในการหาคำตอบ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

สมมุติว่าอายุคมมีดเป็นการกระจายแบบ gamma (Erlang) order r นั้นคือ

$$f(x)=\frac{\lambda}{(r-1)!}(\lambda x)^{r-1}e^{-\lambda x}, x\geq 0 \qquad (1\text{-}10)$$

เมื่อ

$$h(y)=\frac{c_m t_c + c_t + p\left[1-e^{-y}\sum_{j=0}^{r-1}(y^j/j!)\right]}{\sum_{i=0}^{r-1}\left[1-e^{-y}\sum_{j=0}^{i}(y^i/j!)\right]} \tag{1-11}$$

และ

$$\lambda^* = \frac{nc_m}{(1-n)h(y^*)} \tag{1-12}$$

ค่าความเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่สุดหาได้จาก

$$v^* = c\left[\frac{nc_m}{r(1-n)h(y^*)}\right]^n \tag{1-13}$$

เวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนใบมีด คือ

$$t^* = y^*/\lambda^* \tag{1-14}$$

โดย

c_m	: ค่าใช้จ่ายจากการใช้งานเครื่องจักรต่อหน่วยเวลา
c_t	: ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับใบมีด
t_c	: เวลาในการเปลี่ยนใบมีด
k	: ค่าคงที่ของเครื่องจักร
v	: ความเร็วในการตัด
$t_m = k/v$	: เวลาในการตัดต่อชิ้น
T	: อายุคมมีด
$f(x)$	: การแจกแจงของอายุคมมีด
$F(x)$	: การแจกแจงแบบสะสมของอายุคมมีด
$E(x)$	: ค่าคาดหมายของตัวแปรสุ่ม

t^* : ระยะเวลาในการเปลี่ยนใบมีดตามแผน

$\tilde{T}$: ระยะเวลาในการเปลี่ยนใบมีดจริง

p : ค่าความเสียหายกรณีที่เกิดใบมีดแตกหัก

c : ค่าคงที่ในสมการอายุคมมีดของเทเลอร์

n : เลขยกกำลังในสมการอายุคมมีดของเทเลอร์

t_m : เวลาในการตัดต่อชิ้น

MC : ค่าใช้จ่ายรวมในการตัดต่อชิ้น

ศุภโชค วิริยโกศล, พิจิตร พิศสุวรรณ, องุ่น สังขพงศ์ และ ชอุ่ม มลิลา, (2538) ได้กล่าวถึงความสำคัญของการศึกษาแรงและกำลังในการกลึงเหล็กกล้าไว้ว่า แรงในการกลึงมีความสำคัญ เพราะชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องกลึงสามารถรับแรงได้จำกัดหากแรงที่กระทำชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งมากไปก็จะส่งผลต่อการทำงาน เช่น คมมีดอาจจะแตกหักเสียหายได้

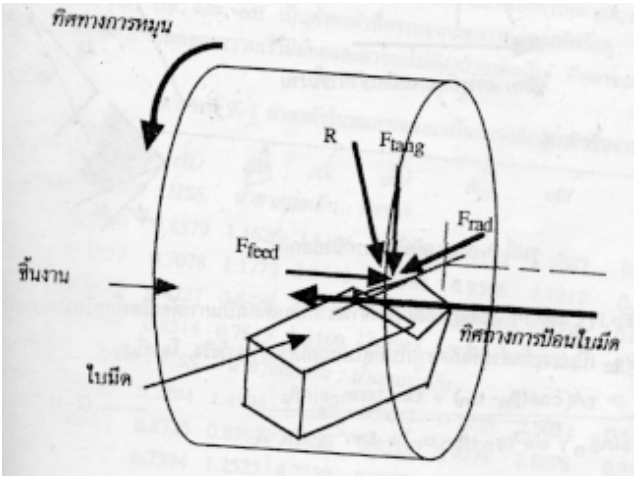
พบว่าแรงและกำลังในการกลึงเหล็กกล้าอาจจะแปรเปลี่ยนไปตามตัวแปร 2 ประเภท คือ

(1) ตัวแปรเชิงเรขาคณิต (geometrical variable) ซึ่งได้แก่ มุมต่างๆ ของใบมีด

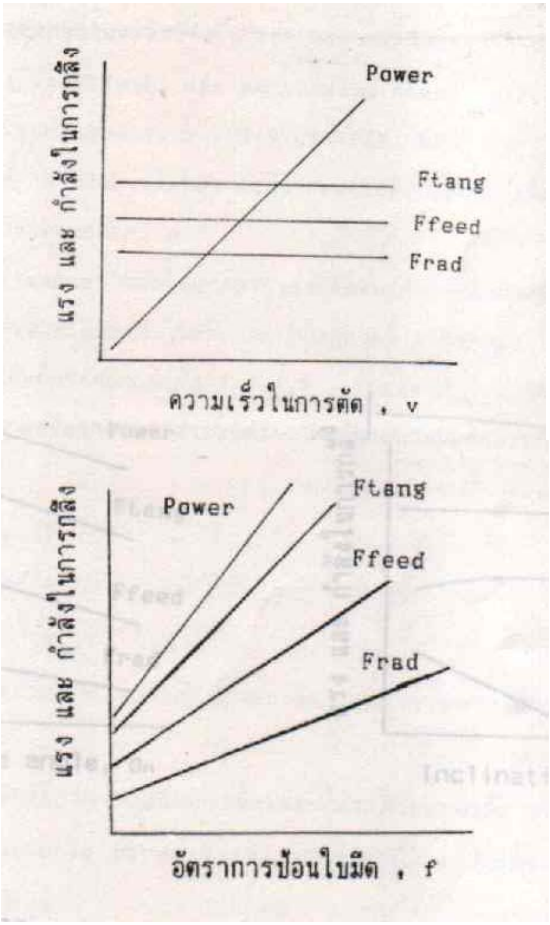
(2) ตัวแปรสภาวะการตัด ซึ่งได้แก่ ความเร็วในการตัด (cutting speed) อัตราการป้อนมีด (feed rate) ความลึกในการตัด (depth of cut) และสภาวะการหล่อเย็น (cutting fluid) นอกจากนี้วัสดุใบมีด และวัสดุชิ้นงานก็เป็นตัวแปรสภาวะการตัดที่มีผลต่อแรงและกำลังในการกลึง

แม้ว่าเป็นที่ยอมรับว่าตัวแปรเชิงคณิตศาสตร์ของใบมีด เช่นมุมมีด มีผลต่อแรงและกำลังในการกลึง แต่ในทางปฏิบัติค่าของมุมมีดแปรเปลี่ยนไปไม่มากนัก เมื่อเทียบกับการแปรเปลี่ยนของค่าตัวแปรประเภทสภาวะการตัด

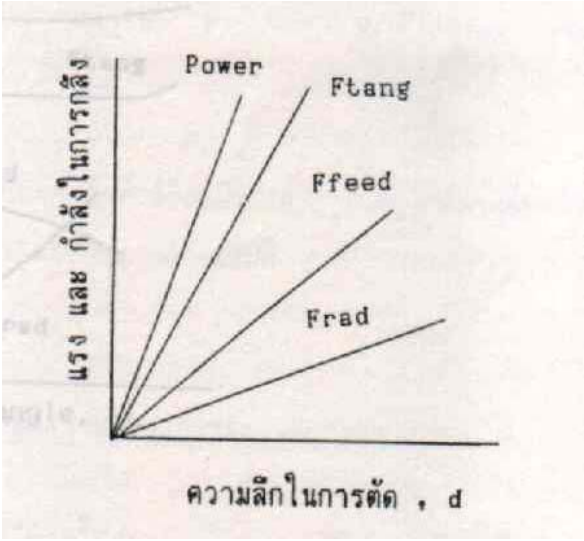
ศุภโชค วิริยโกศล, (2543) ศึกษางานกลึงปอกผิวทรงกระบอก พบว่าแรงที่กระทำบนคมมีดนิยมจำแนกออกเป็น 3 แรงย่อยในทิศทางตั้งฉากกัน คือแรงในทิศเส้นสัมผัสกับเส้นรอบวงของพื้นที่หน้าตัด (tangential force, Ftang) แรงในทิศทางของอัตราการป้อนชิ้นงานเข้าหาคมมีด (feed force, Ffeed) แรงในทิศทางของเส้นรัศมี (radial force, Frad) ดังแสดงในภาพประกอบ 1.17 การเปลี่ยนแปลงของแรงและกำลังในการกลึงจะแปรตามสภาวะการตัด ดังแสดงในภาพประกอบ 1.18



ภาพประกอบ 1.17 แรงตัดในการกลึงผิวทรงกระบอก (ศุภโชค วิริยโกศล, 2543:171)



ภาพประกอบ 1.18 การเปลี่ยนแปลงของแรงและกำลังในการกลึงตามสภาวะการตัด
(ศุภโชค วิริยโกศล, พิจิตร พิศสุวรรณ, องุ่น สังขพงศ์ และ ชอุ่ม มลิลา, 2538:12)



ภาพประกอบ 1.18 การเปลี่ยนแปลงของแรงและกำลังในการกลึงตามสภาวะการตัด (ต่อ)
(ศุภโชค วิริยโกศล, พิจิตร พิศสุวรรณ, องุ่น สังขพงศ์ และ ชอุ่ม มลิลา, 2538:12)

สมการของแรงตัดที่ได้จากการทดลองมีมากมายหลายลักษณะ แต่รูปแบบที่รู้จักดีคือรูปแบบของสมการเอกซ์โปเนนเชียล นั้นคือ

$$F_{\tan g} = 10^{e0t} v^{evt} f^{eft} d^{edt} \quad (1\text{-}15)$$

$$F_{rad} = 10^{e0r} v^{evr} f^{efr} d^{edr} \quad (1\text{-}16)$$

$$F_{feed} = 10^{e0f} v^{evf} f^{eff} d^{edf} \quad (1\text{-}17)$$

เมื่อ v เป็นความเร็วของการตัด (m/min) f เป็นอัตราการป้อน (mm/rev) d เป็นความลึกของการตัด (mm) $e0t$ $e0r$ $e0f$ evt evr evf efr eff edt edr และ edf เป็นค่าคงที่ ที่ได้จากการทดลองตัดวัสดุ ได้มีการพบเป็นจำนวนมากที่อิทธิพลของความเร็วมีน้อยมากและไม่ต้องนำมาคิดได้ ดังนั้นสามารถ กำหนด evt evr และ evf มีค่าเท่ากับศูนย์ โดย แรง $F_{\tan g}$ F_{rad} F_{feed} มีหน่วยเป็น N

ชิ้นงาน : เหล็กกล้า AISI 1045
ใบมีด : เหล็กกล้าไฮสปีด (HSS)
สารหล่อเย็น : อากาศ

ตาราง 1.1 ตัวอย่างค่าคงที่ จากการทดลองสำหรับคำนวณแรงในการตัด

เหล็กกล้า	$e0t$	eft	edt	$e0r$	efr	edr	$e0f$	eff	edf
1020	3.1776	0.8579	1.1626	3.1346	0.9406	0.5178	2.7087	0.7043	1.4619
1045	3.1277	0.7078	1.1773	3.3442	0.7983	0.9556	2.7217	0.5540	1.4587
4140	3.2772	0.8227	0.8477	3.4170	0.8626	0.9964	2.9008	0.6415	0.5450
4337	3.2859	0.8514	0.7813	3.4169	0.8784	0.2341	2.8088	0.6368	0.7883

ที่มา : ศุภโชค วิริยโกศล, 2543 :173-174

จากการวิเคราะห์ทางสถิติในกรณีของชิ้นงานเหล็กกล้า ใบมีดคาร์ไบด์ และเหล็กกล้าไฮสปีด ได้พบว่าสมการรูปแบบนี้เข้ากันได้กับข้อมูลของแรงในการตัด และการศึกษาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ยังพบอีกว่าสมการแบบนี้ใช้ได้ดีกับใบมีด ซีบีเอ็น ใบมีดเพชร และครอบคลุมวัสดุชิ้นงานชนิดอื่น เช่น อลูมิเนียม ทองเหลือ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่ารูปแบบของสมการกลึงผิวทรงกระบอกของชิ้นงานจากที่ได้แสดงในตอนต้น เป็นรูปแบบที่เหมาะสมโดยที่ค่า *evt evr evf* ทุกค่ามีค่าเท่ากับศูนย์

สืบเนื่องจากการหาสมการอายุการใช้งานของคมมีดโดยการทดลองแต่ละสมการ ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูงมาก ศุภโชค และคณะกล่าวว่า สามารถนำสมการที่มีอยู่ไปใช้กับชิ้นงานอื่นได้โดยอาศัยวิธีการเทียบเคียงกับข้อมูลที่มีอยู่แล้วอย่างเหมาะสมและมีเหตุผลทางวิชาการยอมรับ คือใช้แนวคิดเรื่อง ความง่ายในการตัดดังจะได้หยิบยกมาพิจารณาต่อไป

1.2.3 อายุการใช้งานของคมมีด

Choudhury, I.A. and El-baradie M.A., (1998) ได้ศึกษาถึงลำดับที่หนึ่งและลำดับที่สองกับแบบจำลองของอายุการใช้งานของมีดที่ใช้ในการกลึงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสมการของอายุคมมีดที่ได้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของ ความเร็วที่ใช้ในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด โดยใช้กลวิธีทางสถิติ คือ response surface และ factorial design

ในการทดลอง ใช้เครื่อง Colchester M1600 centre lathe with CNMA 12 04 04 grade H13A ใบมีดที่ใช้จะเป็น uncoated tungsten carbide inserts ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะเป็น high strength steel

EN24T diameter – 76.2 mm, length-250 mm, 290 BHN ทุกการทดลองจะกระทำในสภาพอากาศปกติ และทุกครั้งที่เริ่มการทดลองใหม่จะใช้มุมมีดใหม่ทุกครั้ง อัตราการหยุดเครื่องเพื่อดูการสึกหรอของใบมีดจะใช้เวลาเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 0.5-5 นาที การวัดความสึกหรอจะใช้เกณฑ์ของการสึกหรอของ flank wear เป็นหลัก โดยจะยุติการทดลองเมื่อค่าเฉลี่ยของ flank wear มีขนาดมากกว่า 0.30 mm โดยเครื่องที่ใช้วัด flank wear จะใช้ เครื่อง Mitutyo TM300 Toolmaker's microscope

ผลจากการทดลอง ปรากฏว่าได้สมการอายุคมมีดดังต่อไปนี้

$$T = 4564 v^{-1.7903} f^{-0.4883} d^{-0.1924} \tag{1-18}$$

เมื่อ

T = อายุการใช้งานของคมมีด (min)

v = ความเร็วในการตัด $(m/\min)$

f = อัตราการป้อน (mm/rev)

d = ความลึกในการตัด (mm)

จะเห็นได้ว่า อายุการใช้งานของใบมีดจะลดลงหากมีการเพิ่ม ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด โดยอิทธิพลของความเร็วในการตัดมีผลต่ออายุการใช้งานของอายุคมมีดสูงสุด รองลงมาคือ อัตราการป้อน และความลึกในการตัด

Choudhury, I.A. and El-Baradie, M.A., (1999) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติความง่ายในการตัด (machinability) กับชิ้นงาน nickel base super alloy (inconel 718) กับใบมีด coated and uncoated carbine inserts โดยใช้วิธีการกลึงในอากาศปกติ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว inconel 718 เป็นวัสดุที่ตัดยาก มีการนำความร้อนต่ำ มีความแข็งสูง มีความแข็งแรงสูง และทนอุณหภูมิสูง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้ tool life surface roughness และ cutting force โดยใช้วิธีการทางสถิติคือ factorial design of experiment and response surface โดยในการทดลองจะใช้ first-order predictive models ครอบคลุมความเร็วระหว่าง 10-33 m/min และ second-order models ครอบคลุมความเร็วระหว่าง 7-45 m/min ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

machinability เฉพาะในที่นี้หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระในการตัด เช่น ค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกในการตัด กับค่าตัวแปรตามที่ตอบสนอง เช่น อายุคมมีด

ความขรุขระของพื้นผิว และแรงในการตัด โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ และใบมีดที่นำมาตัด

โดยชิ้นงานที่นำมาทดสอบ เป็น inconel 718 ยาว 1 m และเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 mm โดยคุณลักษณะของวัสดุแสดงในตาราง 1.2 และตาราง 1.3

ตาราง 1.2 ส่วนประกอบทางเคมีของ inconel 718 wt%

AMS 5663G	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe	Mo	Bi
1	0.034	0.07	0.08	0.01	0.0017	18.43	BAL	2.98	(0.25 ppm
2	0.036	0.08	0.03	0.001	(0.001	17.20	BAL	2.98	(0.00003
	Ni	Al	Ti	Co	Cu	B	Pb	Cb/Nb+Ta	Se
1	52.67	0.56	1.01	0.11	0.04	0.0041	(0.5 ppm	5.10	(3 ppm
2	51.17	0.65	1.03	0.11	0.02	0.0045	0.0001	5.241	0.0001

ที่มา : Choudhury, I.A. and El-Baradie, M.A., 1999 :33

ตาราง 1.3 คุณสมบัติของ inconel 718 wt%

AMS 5663G	Yield 0.2%PS (MPa)	Tensile stress (MPa)	Reduction of area (%)	Elongation (%)	Condition	Hardness (HB)
1	1248	1419	49	20	Room temperature	415
	1027	1140	48	19	649°C	
2	1176	1422	43	22	Room temperature	444
	951	1154	44	26	649°C	

ที่มา : Choudhury, I.A. and El-Baradie, M.A., 1999 :33

โดย inconel 718 Code ที่ใช้เป็น AMS 5663G โดยซื้อจาก Devtec (Ireland) Co. และได้ผ่านการทำ heat treated อย่างสมบูรณ์มาแล้ว

ส่วนใบมีดที่ใช้จะเป็น cemented tungsten carbide ทั้งชนิดเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว ใบมีดนี้สั่งซื้อจาก Sandvik Co. โดยใบมีด uncoated carbide มี code ดังนี้ CNMA 12 04 04 grade H13A

และเคลือบผิวหนา $10\mu m$ ใบมีด coated carbide มี code ดังนี้ GC3015 12 04 04 grade H13A approach angle $K_r = 95^\circ$, rake angle $= -6^\circ$ angle of inclination $= -6^\circ$

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า อายุการใช้งานของใบมีด (T) แปรตามความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด ดังต่อไปนี้

$$T_{uncoated} = 383.5v^{-2.0985} f^{-1.6952} d^{-1.003} \quad (1\text{-}19)$$

$$T_{coated} = 85.2v^{-1.801} f^{-1.885} d^{-0.647} \quad (1\text{-}20)$$

เมื่อ

$v =$ ความเร็วในการตัด (m/min)

$f =$ อัตราการป้อน (mm/rev)

$d =$ ความลึกในการตัด (mm)

จากสมการอายุการใช้งานของใบมีด กรณีของ uncoated carbide จะเห็นได้ว่า ความเร็วในการตัดมีอิทธิพลมากที่สุด รองลงมาจะเป็น อัตราการป้อน และความลึกในการตัดตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกับสมการของอายุการใช้งานของคมมีด กรณีของ coated carbide ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราการป้อนมีอิทธิพลมากที่สุด รองลงมาจะเป็นความเร็ว และความลึกในการตัดตามลำดับ

อิทธิพลของความลึกในการตัดจะมีผลกับ uncoated carbide มากกว่า coated carbide

ความขรุขระของพื้นผิว (Ra) หน่วยเป็น mm จะแปรเปลี่ยนตามความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดดังต่อไปนี้

$$Ra_{uncoated} = 47.8v^{-0.193} f^{1.3596} d^{0.0704} \quad (1\text{-}21)$$

$$Ra_{coated} = 42.35v^{-0.091} f^{1.2598} d^{-0.204} \quad (1\text{-}22)$$

จากสมการของความขรุขระของพื้นผิวจะเห็นได้ว่าอัตราการป้อน มีอิทธิพลกับ ความขรุขระของพื้นผิวมากที่สุด

แรงในการตัด (F) หน่วยเป็น N จะแปรเปลี่ยนตามความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดดังต่อไปนี้

$$F = 5938v^{-0.1294} f^{0.801} d^{0.948} \tag{1-23}$$

จากสมการของแรงในการตัดจะเห็นได้ว่าแรงตัดจะลดลงเมื่อเพิ่มค่าความเร็วในการตัด แต่หากเพิ่มอัตราการป้อน หรือความลึกในการตัดจะกลับทำให้แรงตัดเพิ่มมากขึ้น

Angoon Sungkhapong, (2000) ได้ทดลองหาสมการของ อายุคมมีด เซรามิก เกรด Al_2O CBN เซรามิก เกรด Si_3N_4 โดยเกณฑ์วัดคือ flank ware 0.3 mm หรือคมมีดแตกหัก ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบคือ cast iron G2 (class 40)

โดย $v =$ cutting speed, fpm

$f =$ feed rate, ipr

$d =$ depth of cut , inch

โดยได้ทำการทดลองที่

ระดับความเร็ว 3 ระดับคือ 514 388 และ 276 fpm

อัตราการป้อน 2 ระดับคือ 0.0065 0.004 ipr

ระดับความลึก 3 ระดับคือ 0.125 0.09 และ 0.063 inch

สมการอายุคมมีดที่ได้คือ

$$T_L = \left(10^{2.62+0.510\times T_1+0.181\times T_2}\right) v^{-1.24-0.310\times T_1} f^{-0.283-0.426\times T_1} d^{-0.965} \tag{1-24}$$

เมื่อ $T_L =$ สมการอายุคมมีด (min)

แทนค่า $T_1 = 1, T_2 = 0$ ถ้า ใบมีดเป็น Al_2O

แทนค่า $T_1 = 0, T_2 = 1$ ถ้า ใบมีดเป็น CBN

แทนค่า $T_1 = 0, T_2 = 0$ ถ้า ใบมีดเป็น Si_3N_4

หมายเหตุ จากสมการข้างต้นยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ต้องแทนค่าต่างๆ ให้เรียบร้อยก่อน รวมทั้งต้องแปลงหน่วยให้อยู่ในหน่วยเมตริก

โดย $v =$ cutting speed , จาก fpm เป็น m/min

$f =$ feed rate, จาก ipr เป็น mm/rev

$d =$ depth of cut , จาก inch เป็น mm

แทนค่าเพื่อหาสมการอายุคมมีดของแต่ละใบมีด

แทนค่า $T_1 = 1, T_2 = 0$ ถ้า ใบมีดเป็น Al_2O

$$T_L = 10^{2.62+0.510\times(1)+0.181\times(0)} v^{-1.24-0.310\times(1)} f^{-0.283-0.426\times(1)} d^{-0.965} \quad (1\text{-}25)$$

$$T_L = 10^{3.13} v^{-1.55} f^{-0.709} d^{-0.965} \quad (1\text{-}26)$$

ปรับเป็นหน่วยเมตริกให้นำค่าคงที่ต่างๆ คูณเข้าไปดังนี้

$$T_L = 0.3048 \times v(foot/\min) 25.4 \times f(inch/rev) 25.4 \times d(inch)$$

$$T_L = 10^{3.13} (0.3048)^{-1.55} v^{-1.55} (25.4)^{-0.709} f^{-0.709} (25.4)^{-0.965} d^{-0.965}$$

$$T_L = 1348.963 \times (6.306) v^{-1.55} (0.1) f^{-0.709} (0.044) d^{-0.965}$$

$$T_L = 37.852 \times v^{-1.55} f^{-0.709} d^{-0.965} \quad (1\text{-}27)$$

แทนค่า $T_1 = 0, T_2 = 1$ ถ้า ใบมีดเป็น CBN

$$T_L = 10^{2.62+0.510\times(0)+0.181\times(1)} v^{-1.24-0.310\times(0)} f^{-0.283-0.426\times(0)} d^{-0.965}$$

$$T_L = 10^{2.801} v^{-1.24} f^{-0.283} d^{-0.965} \quad (1\text{-}28)$$

ปรับเป็นหน่วยเมตริกให้นำค่าคงที่ต่างๆ คูณเข้าไปดังนี้

$$T_L = 0.3048 \times v(foot/\min) 25.4 \times f(inch/rev) 25.4 \times d(inch)$$

$$T_L = 10^{2.801} (0.3048)^{-1.24} v^{-1.24} (25.4)^{-0.283} f^{-0.283} (25.4)^{-0.965} d^{-0.965}$$

$$T_L = 632.412 \times (4.363) v^{-1.55} (0.4) f^{-0.709} (0.044) d^{-0.965}$$

$$T_L = 48.707 \times v^{-1.55} f^{-0.709} d^{-0.965} \quad (1\text{-}29)$$

แทนค่า $T_1 = 0, T_2 = 0$ ถ้า ใบมีดเป็น Si_3N_4

$$T_L = 10^{2.62+0.510\times(0)+0.181\times(0)} v^{-1.24-0.310\times(0)} f^{-0.283-0.426\times(0)} d^{-0.965}$$

$$T_L = 10^{2.62} v^{-1.24} f^{-0.283} d^{-0.965} \quad (1\text{-}30)$$

ปรับเป็นหน่วยเมตริกให้นำค่าคงที่ต่างๆ คูณเข้าไปดังนี้

$$T_L = 0.3048 \times v(foot/\min) 25.4 \times f(inch/rev) 25.4 \times d(inch)$$

$$T_L = 10^{2.62} (0.3048)^{-1.24} v^{-1.24} (25.4)^{-0.283} f^{-0.283} (25.4)^{-0.965} d^{-0.965}$$

$$T_L = 416.869 \times (4.363) v^{-1.55} (0.4) f^{-0.709} (0.044) d^{-0.965}$$

$$T_L = 32.106 \times v^{-1.55} f^{-0.709} d^{-0.965} \quad (1\text{-}31)$$

ศุภโชค วิริยโกศล, พิจิตร พิศสุวรรณ, องุ่น สังขพงศ์ และ ชอุ่ม มลิลา, (2538) ได้ทดลองวัดความสึกหรอและอายุการใช้งานของคมมีดคาร์ไบด์และ ใบมีดเหล็กกล้า high speed steel กับวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้า คาร์บอนสตีล AISI 1045 สภาวะการหล่อเย็นจะครอบคลุม 2 ประเภท คือ การกลึงแห้งโดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น คือระบายความร้อนโดยอากาศ และน้ำยาหล่อเย็นประเภท water-based

emulsion (WBE) หรือ water-miscible fluid (WMF) ซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำมันและสารอื่นๆ 1 ส่วน ต่อน้ำ 40 ส่วนโดยปริมาณ ฉีดด้วยอัตราความเร็วปกติคือประมาณ 0.185 ลิตร/นาที

กรณีของมีดคาร์ไบด์ ความเร็วในการตัด v ที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ คือ 156 180 204 228 และ 253 m/min อัตราการป้อนคงที่ค่าปานกลางคือ $f = 0.1778mm/rev, (0.007in/rev)$ โดยใช้ความลึกของรอยตัด $d = 1.143mm, (0.045in)$ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าปกติในเกณฑ์ปานกลาง

ผลการทดลองของสมการอายุคมมีดของใบมีดคาร์ไบด์ CM3
ชิ้นงาน AISI 1045 $f = 0.1778mm/rev$ $d = 1.143mm$

เมื่อ สารหล่อเย็น: อากาศ

เกณฑ์วัดอายุ: $VB = 0.30mm$

$$T = 10^{15.6560} v^{-6.1827} \quad (1\text{-}32)$$

เมื่อ สารหล่อเย็น: อากาศ

เกณฑ์วัดอายุ: $KT = 0.11mm$

$$T = 10^{11.9388} v^{-4.4491} \quad (1\text{-}33)$$

เมื่อ สารหล่อเย็น: WMF

เกณฑ์วัดอายุ: $VB = 0.30mm$

กรณีนี้ไม่นำข้อมูลที่ความเร็วต่ำ $v = 156$ และ $180m/\min$ มาพิจารณา เนื่องจากที่ความเร็วต่ำค่า VB จะเพิ่มเร็วผิดปกติเนื่องจากคมมีดกระเทาะ

$$T = 10^{13.9051} v^{-5.2457} \quad (1\text{-}34)$$

เมื่อ สารหล่อเย็น: WMF

เกณฑ์วัดอายุ: $KT = 0.11mm$

$$T = 10^{5.8181} v^{-1.7317} \quad (1\text{-}35)$$

กรณีของมีด HSS ความเร็วในการตัด v ที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ โดยไม่ใช้น้ำยาหล่อเย็น คือ 46 61 96 76 และ 91 m/min เมื่อใช้น้ำยาหล่อเย็น WMF จะใช้ความเร็วตัด 5 ระดับคือ 53 61 69 76 และ 91 m/min อัตราการป้อนคงที่ค่าปานกลางคือ $f = 0.1778mm/rev, (0.007in/rev)$ และความลึกของรอยตัด $d = 1.143mm, (0.045in)$ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าปกติในเกณฑ์ปานกลาง

ผลการทดลองของสมการ อายุคมมีดของใบมีด HSS
ชิ้นงาน AISI 1045 $f = 0.1778mm/rev$ $d = 1.143mm$

เมื่อ สารหล่อเย็น: อากาศ

เกณฑ์วัดอายุ: total failure

$$T = 10^{20.9165} v^{-10.8373} \tag{1-36}$$

เมื่อ สารหล่อเย็น: WMF

เกณฑ์วัดอายุ: total failure

$$T = 10^{19.3846} v^{-9.7202} \tag{1-37}$$

1.2.4 ความง่ายในการตัด (machinability)

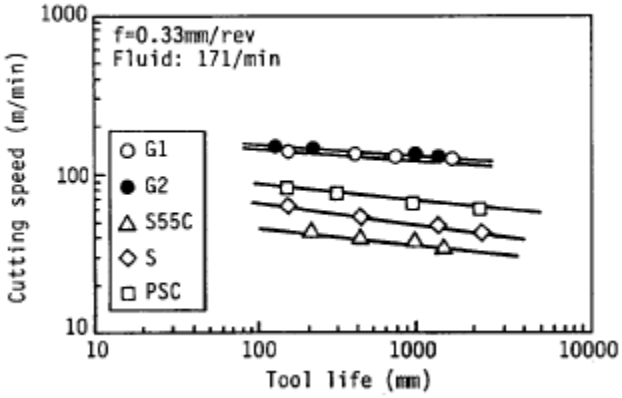
Katayama, S. and Toda, M., (1996) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติความง่ายในการตัด (machinability) กับ medium carbon graphitic steel ซึ่งประกอบไปด้วย เฟอร์ไรต์แบบเฟสเดี่ยว และอนุภาคขนาดเล็กของ กราไฟต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 μm T = อายุการใช้งานของคมมีด (min) โดยในการทดลองจะใช้รหัสแทนชนิดของโลหะที่นำมาทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุส่วนประสมต่างๆ ดังตาราง 1.4

ตาราง 1.4 ส่วนประกอบทางเคมีของโลหะที่นำมาทดสอบ

code	C	Si	Mn	P	S	Al	T.B	Ca	Pb	HV
G1	0.55	1.20	0.49	0.012	0.011	0.025	0.0025	-	-	115
G2	0.55	0.13	0.50	0.014	0.012	0.023	0.0023	-	-	118
S55C	0.54	0.25	0.78	0.012	0.017	0.031	-	-	-	188
S	0.54	0.21	0.75	0.024	0.055	0.026	-	-	-	190
PSC	0.41	0.22	1.58	0.025	0.057	0.025	-	0.0011	0.2	196

ที่มา : Katayama S. and Toda, M., 1996 :359

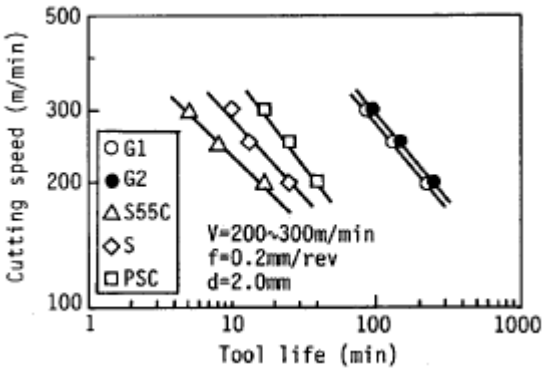
ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า ชิ้นงานดังกล่าวเมื่อทดสอบการเจาะโดยใช้ high speed steel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 *mm* ยาว 130 *mm* และมุม 118° ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบ 1.19 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอายุการใช้งานของดอกสว่าน เจาะชิ้นงานที่มีส่วนประกอบของ กราไฟต์มีผลส่งให้ดอกสว่านมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าดอกสว่านเจาะชิ้นงานที่ไม่มีส่วนประกอบของ กราไฟต์ อีกทั้งขนาดของอนุภาคของกราไฟต์ที่แตกต่างกัน ไม่ได้มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของดอกสว่าน G1 and G2



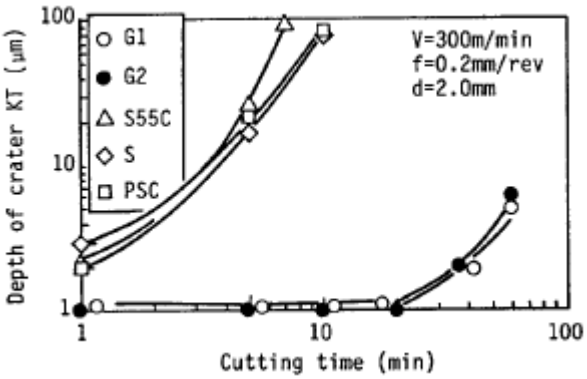
ภาพประกอบ 1.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วในการตัดกับอายุของดอกสว่าน

(Katayama S. and Toda, M., 1996 :360)

เมื่อนำไปทดสอบโดยการกลึงโดยใช้ cemented carbide insert with $Al_2O_3 - TiCN - Tic$ โดยมีลักษณะ -6,6,6,6,15,15,0.8 ดังแสดงในภาพประกอบ 1.20 และ 1.21

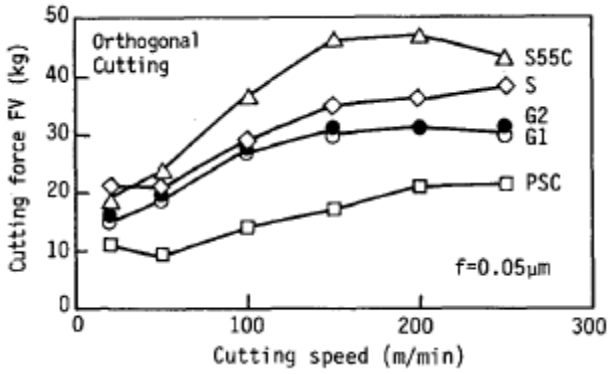


ภาพประกอบ 1.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วในการตัดกับอายุการใช้งานของใบมีดในการกลึง โดยกำหนดเกณฑ์การสึกหรอ $VB = 200\mu m$ (Katayama S. and Toda, M., 1996 :360)



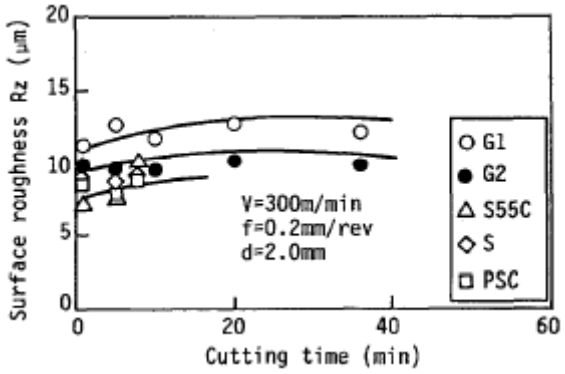
ภาพประกอบ 1.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วในการตัดกับความลึกในการกลึง โดยกำหนดเกณฑ์การสึกหรอ $VB = 300\mu m$ (Katayama S. and Toda, M., 1996 :360)

ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าผลการทดลองคล้ายคลึงกับการเจาะในตอนต้น ภาพประกอบ 1.22 และ 1.23 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ใช้ในการตัดกับแรงและความขรุขระของผิวชิ้นงาน



ภาพประกอบ 1.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วในการตัดกับแรงที่ใช้ในการตัด

(Katayama S. and Toda, M., 1996 :361)



ภาพประกอบ 1.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วในการตัดกับความขรุขระของผิวชิ้นงาน

(Katayama S. and Toda, M., 1996 :361)

ศุภโชค วิริยโกศล, (2543) ได้กำหนดแนวทางมาตรฐานอย่างหนึ่งที่ใช้สำหรับการคำนวณเทียบเคียง โดยอาศัยค่าความง่ายในการตัด (machinability rating, MR) โดยจะกำหนดค่า MR ของสารชิ้นงานต่างๆ เอาไว้ โดยอาศัยข้อมูลและประสบการณ์ในการตัดโลหะ โดยมีแนวคิดว่าจะกำหนดให้เหล็กกล้าชนิดหนึ่งที่ตัดง่ายมากคือ Free machining steel AISI 1112 มีค่า MR=1.00 ส่วนสารอื่น ที่ตัดง่ายกว่า AISI 1112 ก็จะมีค่า MR สูงกว่า 1.00 สารใดที่ตัดยากกว่าก็จะมี MR ต่ำกว่า 1.00 การที่จะบอกว่าสารใดตัดง่ายเพียงใดให้ดูที่ความเร็วในการตัด v เป็นหลัก โดยดูที่ความเร็วที่ทำให้ คมมีดมีอายุการใช้งานค่าหนึ่งๆ เช่น 60 นาที อาจจะใช้ 30 นาที หรืออื่นๆ ก็ได้ แต่ต้องระบุให้ชัดเจน แล้วคำนวณ MR ของสารนั้นจากอัตราส่วนของ v ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมุติว่า B เป็นสารชิ้นงานหนึ่งที่ยังไม่ทราบค่า MR_B เมื่อใช้ใบมีดชนิดหนึ่งตัดโดยใช้สารหล่อเย็นชนิดหนึ่ง ถ้าตัดที่ความเร็ว $v_B = 80 \ \ m/\min$ คมมีดจะมีอายุการใช้งาน 60 นาที ในขณะที่ A เป็นสารชิ้นงานอีกชนิดหนึ่งที่ทราบค่า $MR_A = 0.90$ เมื่อตัดโดยใช้ใบมีดและน้ำยาหล่อเย็นชนิดเดียวกัน ถ้าใช้ความเร็ว $v_A = 100 \ \ m/\min$ คมมีดจะหมดอายุการใช้งาน 60 นาที

การคำนวณ MR_B คำนวณโดยเทียบอัตราส่วนดังนี้

$$\frac{MR_B}{MR_A} = \frac{v_B}{v_A} \tag{1-38}$$

ดังนั้น $MR_B = \frac{80}{100} \times 0.90 = 0.72$

การเทียบหาสมการของอายุใบมีดในสภาวะใกล้เคียงกัน
เมื่อใช้ส่วนผสม A ของ สารใบมีด : สารชิ้นงาน :วัสดุหล่อเย็น ชุดหนึ่งตัดชิ้นงานจะได้สมการดังนี้

$$T_A = K_A v_A^{evA} \tag{1-39}$$

เมื่อใช้อีกส่วนผสมหนึ่ง คือ B จะพบว่า

$$T_B = K_B v_B^{evB} \tag{1-40}$$

เมื่อ $T =$ อายุการใช้งานของคมมีด (min)

$v =$ ความเร็วในการตัด (m/min)

evA evB K_A และ K_B เป็นค่าคงที่

เมื่อพิจารณาถึงแนวคิดของความง่ายในการตัด (machinability) ซึ่งกล่าวว่า อัตราส่วนระหว่าง machinability rating ของสารชิ้นงาน 2 ชนิด จะเป็นสัดส่วนของความเร็วในการตัดเมื่อทำให้อายุการใช้งานของคมมีดมีค่าเท่ากัน ดังนั้น เมื่อ $T_A = T_B$ ก็จะได้ว่า

$$\frac{v_B}{v_A} = \frac{MR_B}{MR_A}$$

เมื่อ MR_A และ MR_B เป็นค่า machinability rating ของสารชิ้นงาน A และ B ดังนั้นจากสมการ tool life เมื่อ $T_A = T_B$ ก็จะได้ว่า

$$K_A V_A^{evA} = K_B V_B^{evB}$$

$$\frac{K_B}{K_A} = \frac{V_A^{evA}}{V_B^{evB}} \tag{1-41}$$

ในกรณีที่ส่วนผสม A และ B ของ สารใบมีด : สารชิ้นงาน :วัสดุหล่อเย็น มีความใกล้เคียงกันคือมีความแตกต่างกันไม่มากนัก เช่น ใบมีดเป็นสารในเกรดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน วัสดุชิ้นงานเป็นสารที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน น้ำยาหล่อเย็นเป็นประเภทเดียวกัน เราอาจจะประมาณได้ว่า

$$evA = evB = ev$$

จะได้ว่า

$$\frac{K_B}{K_A} = \left(\frac{V}{V}\right)^{ev} = \left(\frac{MR_A}{MR_B}\right)^{ev}$$

$$K_B = \left(\frac{MR_A}{MR_B}\right)^{ev} \times K_A$$

$$K_B = K_{adj} \times K_A \quad , \; K_{adj} = \left(\frac{MR_A}{MR_B}\right)^{ev} \tag{1-42}$$

เมื่อ K_{adj} เรียกว่า “tool life adjustment factor”

โดยจากสมการข้างต้นถ้าเราทราบค่า K_A MR_A evA และ MR_B เราสามารถคำนวณหา K_B ได้ แต่ทั้งนี้ สารใบมีด : สารชิ้นงาน :วัสดุหล่อเย็น ต้องมีความใกล้เคียงกัน

ตัวอย่างค่า K_{adj} ที่ได้จากการคำนวณ สำหรับใบมีด คาร์ไบด์ ดังตาราง 1.5

สภาวะอ้างอิง กำหนดชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 ใบมีดเป็นมีด คาร์ไบด์ เกรด CM3 การหล่อเย็นจะใช้อากาศ กำหนดค่า $MR_A = 0.50$ $evA = -4.4491$ และ $K_A = 8.6856 \times 10^{11}$
สภาวะที่พิจารณา กำหนดชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ใบมีดเป็นมีด คาร์ไบด์ เกรด CM3

ตาราง 1.5 ค่า K_{adj} จากการคำนวณ

ชิ้นงาน	MR_B	K_{adj}
H13	0.45	0.626
4337	0.50	1.000
1020	0.65	3.213
4140	0.55	1.528
1018	0.63	2.796
1045	0.50	1.000
304	0.40	0.370
4142	0.55	1.528

ที่มา : ศุภโชค วิริยโกศล, 2538 :76

จากผลการคำนวณค่า K_{adj} ที่อยู่ในช่วง 0.370-3.213 นับว่าสมเหตุผล เพราะไม่ต่างจากค่า 1.00 ซึ่งเป็นกรณีอ้างอิงเมื่อชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า AISI 1045

1.2.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการตัดวัสดุ

ในการคำนวณหาสภาวะการกลึงโลหะที่ทำให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด หรือค่าใช้จ่ายต่อชิ้นต่ำสุด มีความซับซ้อนดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นสำหรับช่วยในการเลือกสภาวะการกลึงโลหะ

องุ่น เพ็ชรรัตน์, (2534) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการเลือกตัวแปรควบคุมได้ที่เหมาะสมที่สุดในการกลึงอย่างหยาบ เพื่อให้ได้อัตราการผลิตสูงสุดโปรแกรมนี้ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ DOS ซึ่งพัฒนาโดยใช้ภาษา Turbo Pascal 4.0 โดยตัวแปรที่นำมาใช้ควบคุมได้แก่ความเร็วในการตัด (cutting speed) และอัตราการป้อนใบมีด (feed) ส่วนวิธีการทำงานของโปรแกรม สามารถเลือกการทำงานได้ 2 กรณี คือ

(1) ผู้ใช้โปรแกรมกำหนดค่าความเร็วในการตัดแล้วโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ค่าอัตราการป้อนที่เหมาะสมที่สุด หรือ

(2) ผู้ใช้โปรแกรมกำหนดค่าอัตราการป้อนมีดแล้วโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ค่าความเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่สุด

ศุภโชค วิริยโกศล และคณะ, (2543) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการเลือกสภาวะการกลึงเหล็กกล้าโดยใช้เวลากลึงต่อชิ้นต่ำสุด ซึ่งพัฒนาโดยใช้ภาษา Foxpro 2.5 ซึ่งมีการโต้ตอบระหว่างคนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ง่ายขึ้น การใช้งานมีความสะดวกมากขึ้น

ชัยฤทธิ์ เสรีจำเริญโรจน์ และ ณัฏพงศ์ กลิ่นพิกุล, (2540) ได้พัฒนาโปรแกรมต่อเนื่องจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการเลือกสภาวะการกลึงเหล็กกล้าโดยใช้เวลากลึงต่อชิ้นต่ำสุดที่ ศุภโชค วิริยโกศล ได้เริ่มพัฒนาไว้ โดยใช้ภาษา Foxpro 2.5 ซึ่งได้เขียนฐานข้อมูลเก็บค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณเลือกสภาวะการกลึง ซึ่งเดิมโปรแกรมมีความยาวมาก การเขียนฐานข้อมูลเก็บค่าตัวแปรต่างๆ นี้ทำให้โปรแกรมมีขนาดสั้นลง และมีการนำมุมมีดมาพิจารณาในการคำนวณค่าแรงและกำลังในการกลึงชิ้นงานเพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยโปรแกรมดังกล่าวครอบคลุมเหล็กกล้า AISI 8 ชนิด ซึ่งวัสดุชิ้นงานจะต้องไม่ผ่านการชุบแข็งได้แก่

(1) H12 (tool steel)

(2) 4337 (low alloy steel)

(3) 1020 (carbon steel)

(4) 4140 (low alloy steel)

(5) 1018 (carbon steel)

(6) 1045 (carbon steel)

(7) 304 (stainless steel)

(8) 4142 (low alloy steel)

ใบมีด 2 ชนิดได้แก่

(1) ใบมีด insert carbide ชนิด cm3

(2) ใบมีด high speed steel ชนิด commercial grade

วัสดุหล่อเย็น 2 ชนิด คือ

(1) อากาศ หมายถึง การกลึงในอากาศโดยไม่มีการฉีดน้ำหล่อเย็น

(2) การหล่อเย็นด้วยน้ำเป็นฐาน (water miscible fluid)

ข้อจำกัดในการคิดคำนวณต่างๆ ของเครื่องกลึงจะอ้างอิงจากเครื่องกลึงที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ลลิดา ศรีกุลทรัพย์ และ เสาวณี อุปถัมภ์, (2542) ได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการเลือกสภาวะการกลึงปอกชิ้นงานโลหะ โดยให้ใช้เวลาต่อชิ้นหรือต้นทุนต่อชิ้นน้อยที่สุด ชื่อ MTCT+4 โดยใช้ภาษา Visual Foxpro ของบริษัท Microsoft ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวนี้ได้พัฒนาต่อจากเดิมที่ ศุภโชค และคณะ ได้เริ่มไว้ โดยโปรแกรมนี้สามารถหาต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุดได้ และได้ทำการปรับปรุงให้ครอบคลุมประเภทของวัสดุชิ้นงาน 147 ชิ้นโดยครอบคลุมเหล็กหล่อ 13ชนิด เหล็กกล้า 11 ชนิด อะลูมิเนียมอัลลอย 12 ชนิด คอปเปอร์อัลลอย 30 ชนิด โลหะอัลลอยอื่นๆ 71 ชนิด และอโลหะ 10 ชนิด ใช้ได้กับใบมีด 3 ชนิด คือ ใบมีด high speed steel ใบมีด coated carbide และใบมีด cubic boron nitride และมีสภาวะการหล่อเย็น 2 ระดับคือ การหล่อเย็นด้วยน้ำเป็นฐาน (water miscible fluid) และการกลึงในอากาศโดยไม่มีการฉีดน้ำหล่อเย็น

ศุภโชค วิริยโกศล, (2543) ได้พิมพ์หนังสือตำราด้านการตัดวัสดุเป็นภาษาไทย โดยรวบรวมข้อมูลด้านการตัดวัสดุจากหนังสือตำรา และเอกสารงานวิจัยภาษาต่างประเทศ เป็นจำนวนมาก แต่หนังสือดังกล่าวยังมิได้เผยแพร่ในวงกว้าง และข้อมูลที่มีคุณค่าจำนวนมากก็ยังไม่ได้นำมาใช้เป็นฐานข้อมูลในโปรแกรม MTCT+4

Institute of Advanced Manufacturing Sciences,Inc.,(2000)ได้จัดทำ website http://www.cutdata.com/ ซึ่งเป็นแหล่งค้นข้อมูลเกี่ยวกับการตัดโลหะ โดยได้พัฒนาโปรแกรมออกเป็น

2 version คือ version demo ซึ่งพัฒนาโดยใช้ภาษา Java ซึ่งให้ทดลองใช้ได้ โดยให้ผู้ใช้เข้าไปที่ website http://www.cutdata.com แล้วทดลองใช้โปรแกรมนั้นๆ ผ่านทาง internet และอีก version เป็นโปรแกรมเพื่อเหตุผลเชิงธุรกิจ สามารถนำมาใช้บนระบบปฏิบัติการ windows บนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ โดยลักษณะการทำงานของโปรแกรมดังกล่าวจะเป็นการให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับการตัดโลหะลงไป จากนั้นโปรแกรมจะค้นหาข้อมูลในฐานข้อมูลที่สัมพันธ์กับข้อกำหนดที่ผู้ใช้ป้อน นำมาคำนวณ แล้วแสดงผลการคำนวณโดยฐานข้อมูลที่โปรแกรมใช้อ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับ tool life จะนำมาจาก Machining Data Handbook ซึ่งเป็นที่นิยม โดยฐานข้อมูล ของโปรแกรมนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Metcut Research and/or The Institute of Advanced Manufacturing Sciences, Inc. ฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วและอัตราการป้อนมากกว่า 100,000 กรณี และค่าความเร็วและอัตราป้อนเหล่านี้จะทำให้ใบมีด HSS and brazed carbide มี tool life อยู่ประมาณ 1-2 ชั่วโมง ใบมีด carbide มี tool life อยู่ประมาณ 30- 60 นาที ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นสภาวะที่สอดคล้องในการใช้งานจริง

วิธีการใช้งานโปรแกรมจะเริ่มจากให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลตามลำดับดังต่อไปนี้

(1) The user selects for time or cost optimization.

(2) The type of operation (e.g. drilling, turning, ...)

(3) Tool material (e.g. HSS, Carbide, ...)

(4) The user specifies work piece diameter,length of cut and maximum depth of cut.

(5) The user specifies cutting fluid.

หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะคำนวณและรายงานสรุปผลการคำนวณออกมา เช่น ค่าความเร็วและอัตราการป้อนที่แนะนำ กำลังตัดของเครื่องจักรและเวลาที่ใช้ในการตัด

Maropoulos, P.G. and Alamin, B., (1996) ได้ศึกษาถึงวิธีการในการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดการเพื่อพยากรณ์อายุการใช้งานของใบมีดสำหรับงานกลึงและงานเจาะ โดยประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการพยากรณ์แบบ multiple regression ในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวกับอายุคมมีดจะใช้ extended Taylor tool life equation โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ จะสามารถแนะนำ ความเร็ว อัตราการป้อน และความลึก ที่เหมาะสมในการตัด รวมทั้งคำนวณอายุการใช้งานของใบมีดชนิดนั้นๆ โดยในฐานข้อมูลจะประกอบไปด้วยสมการอายุของใบมีด 17 ประเภทวัสดุ และหากต้องการพยากรณ์ข้อมูลของวัสดุที่อยู่นอกเหนือจากฐานข้อมูลที่มีก็สามารถทำได้โดยอ้างอิงจาก ค่าความง่ายในการตัด

(machinability) ที่อยู่ในกลุ่มวัสดุประเภทเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อาจจะส่งผลให้ค่าที่พยากรณ์คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการพยากรณ์จะใช้สมการดังต่อไปนี้

$$T = \frac{C}{v^{1/\alpha} s^{1/\beta}} \tag{1-43}$$

โดย

v = ความเร็วในการตัด $(m/\min)$

s = อัตราการป้อน (mm/rev)

T = อายุการใช้งานของคมมีด (min)

โดยที่ ค่า $C, 1/\alpha, 1/\beta$ จะได้จากชนิดของวัสดุ และสภาวะในการตัด

ซึ่งเทคนิคนี้จะสามารถใช้งานได้ดีก็ต่อเมื่อผู้ใช้จะต้องมีฐานข้อมูลเกี่ยวกับสมการอายุของคมมีดแต่ละสภาวะการใช้งานเป็นจำนวนมาก อีกทั้งเมื่อได้จัดทำโปรแกรมดังกล่าวเสร็จเรียบร้อย ก็นำค่าพยากรณ์ที่ได้จากโปรแกรมไปทดลองกับการใช้ทำงานจริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรแกรมดังกล่าวสามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจในเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสม อีกทั้งช่วยในการวางแผนในการผลิต เช่น สามารถทราบได้ว่าควรที่จะหยุดเครื่องเพื่อเปลี่ยนใบมีดเมื่อไร ทราบจำนวนใบมีดที่ต้องการใช้โดยประมาณในการผลิต

Ribeiro, M.V. and Coppini, N.L., (1999) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำระบบฐานข้อมูลมาใช้ในการเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการตัดและเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การผลิตที่สูงสุดในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมนี้จะส่งผลต่อเนื่องให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ ลดลงอีกด้วย ซึ่งในการออกแบบฐานข้อมูลจะประกอบไปด้วยพาราเตอร์หลายตัวที่จะต้องนำมาพิจารณาซึ่งจะส่งผลต่อการตัดสินใจทางเศษฐศาสตร์ เช่น

ชนิดของเครื่องมือ: อายุการใช้งานของเครื่องมือ

ชนิดของชิ้นงาน: ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน ความแข็ง และส่วนประกอบทางเคมี

ลักษณะของเครื่องจักร: ข้อกำหนดของเครื่องจักร เช่น ความเร็ว อัตราการป้อน และความลึกตัด

กระบวนการผลิต ข้อกำหนดทางการผลิต :จำนวนที่ต้องผลิต เวลาที่ใช้ผลิตและความขรุขระของผิว รวมถึงนโยบายที่ใช้ในการตัดสินใจ เช่น ต้องการผลิตให้เวลาในการผลิตต่ำสุดหรือต้องการผลิตให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำสุด

ในการใช้งานฐานข้อมูลจะเริ่มจากผู้ใช้ป้อนค่าเข้าสู่โปรแกรมโดยจะป้อนข้อมูล ดังต่อไปนี้ ข้อกำหนดในการแปรรูป คุณสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน ลักษณะของเครื่องมือที่ต้องการใช้ เกณฑ์ในการตัดสินใจ หลังจากนั้นโปรแกรมจะเข้าไปค้นหาข้อมูลที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในตอนต้น แล้วรายงานข้อมูลที่ต้องการให้ทราบ รวมทั้งนำข้อกำหนดของเครื่องมือชนิดนั้นๆ มาใช้สำหรับการคำนวณต่อไป เช่น ความเร็ว อัตราการป้อน ความลึกในการตัด อุณหภูมิสูงสุดที่รับได้ รวมทั้งความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ ต่อจากนั้นจะรายงานผลสรุปการคำนวณจากสภาวะดังกล่าว เช่น อาจพบว่าเครื่องมือที่เหมาะสมกับสภาวะดังกล่าว 3 อุปกรณ์ ซึ่งโปรแกรมก็จะคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต้องใช้ของแต่ละอุปกรณ์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกันสำหรับเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดมาใช้

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับช่วยในการเลือกสภาวะการกลึงปอกโลหะให้ใช้เวลาหรือต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

1.3.2 เพื่อประหยัดเวลาในการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงปอกโลหะจากรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากซับซ้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ

1.4.3 ได้มีโปรแกรมใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับใช้ในการเลือกสภาวะการกลึงปอกโลหะให้ใช้เวลาหรือต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

1.4.4 เพื่อใช้โปรแกรมประกอบการสอนในระดับปริญญาตรี - โท อีกทั้งสามารถเผยแพร่ไปยังสถาบันการศึกษาต่างๆ รวมถึงผู้ประกอบการได้

1.4.5 เป็นการนำฐานข้อมูลและความรู้ที่มีอยู่แล้วในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มาพัฒนาไปสู่ระดับที่เผยแพร่ได้

1.4.6 เป็นการส่งเสริมให้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์คุณภาพดีและใช้งานได้จริงขึ้นมาใช้เองในประเทศไทย

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีเศรษฐศาสตร์ของการกลึงปอกโลหะ และรวบรวมสมการอายุคมมีด

1.5.2 เรียนรู้การทำงานของโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่แล้ว

1.5.3 ศึกษาการโปรแกรมภาษา Visual basic 6.0

1.5.4 เขียนโปรแกรมที่ใช้ในการเลือกสภาวะการกลึงโลหะ

1.5.5 ทดสอบการใช้โปรแกรม ปรับปรุงแก้ไข

1.5.6 นำผลการคำนวณที่ได้ไปทดลองปฏิบัติในสภาวะการทำงานจริง

1.5.7 สรุปผลการศึกษา

1.6 ขอบเขตงานวิจัย

1.6.3 เขียนโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเลือกสภาวะการกลึงโลหะให้ใช้เวลาหรือต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุดโดยโปรแกรมภาษา Visual basic 6.0

1.6.4 การแสดงผลจะแสดงเป็นกราฟและผลลัพธ์ตัวเลข ทั้งทางหน้าจอและทางเครื่องพิมพ์

1.6.5 ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วตั้งแต่ 100 MHz มีหน่วยความจำอย่างน้อย 16 MB สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows 95 Windows 98 หรือ Windows NT 4.0 และติดตั้งโปรแกรม Internet Explorer version 5.0 หรือสูงกว่า

1.6.6 โปรแกรมมีขีดความสามารถครอบคลุมวัสดุชิ้นงาน 75 ชนิด ใบมีด 6 ชนิด คือใบมีด high speed ใบมีด coated carbide ใบมีด uncoated carbide ใบมีด cermet ใบมีด ceramics และใบมีด cubic boron nitride (CBN) โดยมีสภาพการหล่อเย็น 2 ระดับคือ การกลึงแห้งในอากาศ และการกลึงโดยใช้น้ำผสมน้ำมัน ใช้ครอบคลุมได้ทั้งเครื่องกลึง CNC และเครื่องกลึงธรรมดา