

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เหล็กหล่อสีเทาในอุตสาหกรรม

เหล็กหล่อสีเทาเป็นหนึ่งในตระกูลเหล็กหล่อซึ่งนิยมใช้กันมากและมีราคาถูก นอกจากนี้ชิ้นงานหล่อยังสามารถออกแบบให้มีลักษณะซับซ้อนได้ โดยที่การหล่อยังคงทำได้ง่าย คุณสมบัติของเหล็กหล่อจะเป็นผลโดยตรงจากการควบคุมอัตราการแข็งตัว (solidification rate) เหล็กหล่อสีเทามีปริมาณคาร์บอน 2-4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและซิลิคอนประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คาร์บอนในเหล็กจะตกผลึกเป็นคาร์บอนอิสระรูปเกล็ดที่เรียกว่า แกรไฟต์แบบเกล็ด (flake type graphite) การตกผลึกจะเกิดขึ้นระหว่างการแข็งตัว (solidification) ของเหล็กหล่อ แกรไฟต์ในเหล็กหล่อยังให้ความสามารถในการแต่งขึ้นรูป (machinability) ดี แม้ในบางครั้งเหล็กนี้จะมีความแข็งสูงกว่าก็ตาม

เหล็กหล่อมักมีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย เฟอร์ไรต์และเหล็กคาร์ไบด์ (Fe_3C) เรียงตัวสลับกันไปเรียกว่าเพอร์ไลต์โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นทั้งเฟอร์ไรต์และเพอร์ไลต์ผสมกัน ถ้ามีเฟอร์ไรต์มากความแข็งแรงก็น้อยกว่าที่มีเพอร์ไลต์มาก

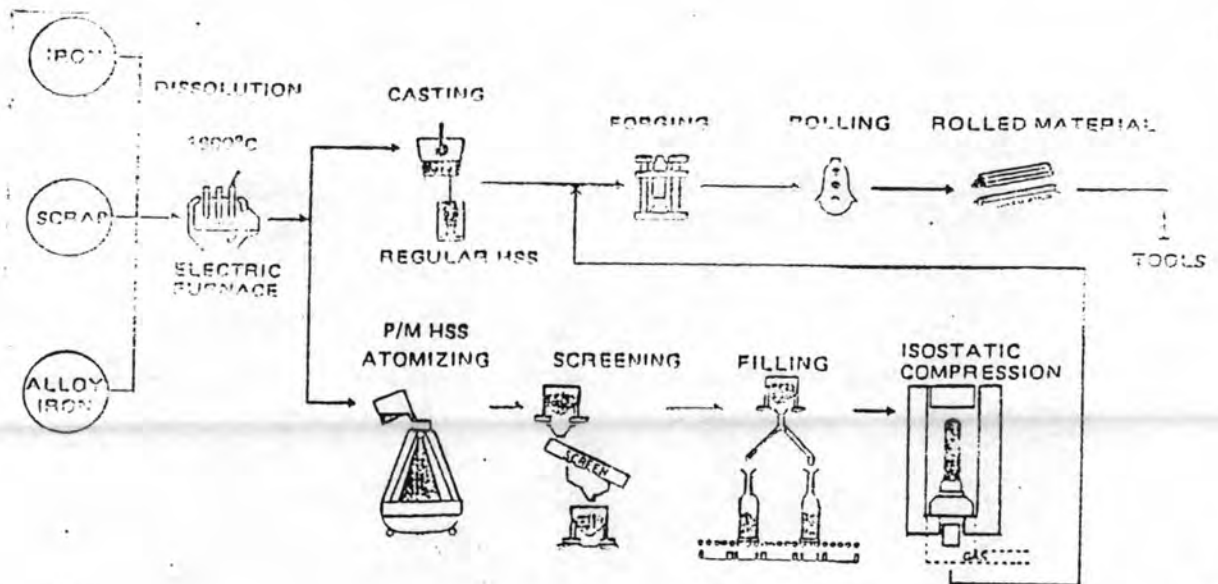
รูปร่างของผลึกแกรไฟต์ ก็เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้คุณสมบัติของเหล็กหล่อสีเทาต่างกัน ตัวอย่างงานหล่อจากเหล็กหล่อสีเทา ได้แก่ ตัวเครื่องยนต์ เบรคดรัม จานเบรค แท่นเครื่องต่างๆ เสื้อสูบ เป็นต้น โดยทั่วไปเหล็กหล่อสีเทาถูกนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือกลต่างๆ เป็นส่วนมากเพราะมีความสามารถในการทนความล้า (fatigue) และสามารถรับแตรมปีไวเบรชัน (damp vibration) ได้มากซึ่งเป็นผลจากการที่มีเกล็ดแกรไฟต์ในเหล็กหล่อสีเทา

มาตรฐานเหล็กหล่อสีเทามีหลายเกรดให้เลือกใช้ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเหล็กหล่อได้แก่ มาตรฐานอังกฤษ (BS1452 ; 1966), มาตรฐานอเมริกา (ASTM A48-60 T), มาตรฐานเยอรมัน (DIN 1691) และ มาตรฐานญี่ปุ่น (JIS) เป็นต้น

ปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางวัสดุวิศวกรรมมาก การนำเหล็กหล่อสีเทาไปใช้งาน ก็มีการผสมธาตุต่างๆลงในเหล็กหล่อและวัตถุประสงค์ในการเพิ่มคุณสมบัติทางด้านความต้านการสึกหรอ การกัดกร่อน เป็นต้น

2.1.2 วิวัฒนาการของวัสดุทำ cutting tools

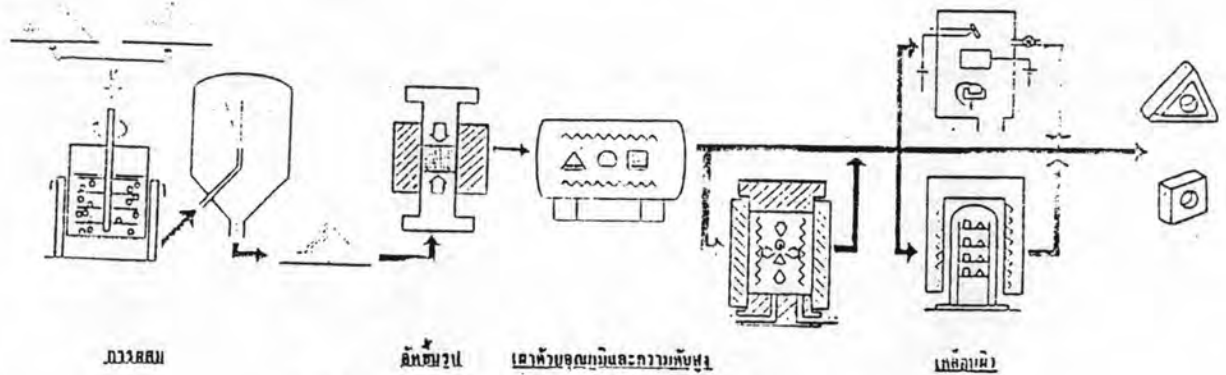
เริ่มจากการนำเอาเหล็กกลุ่มที่มีธาตุผสมสูงซึ่งจะมีกลุ่มทั้งสแตนและโมลิบดีนัมผสมอยู่ค่อนข้างมากธาตุโลหะอื่น ๆ บางตัวจะให้มีความสมบัติดีขึ้นเช่น Co (Cobalt), Cr (Chromium) เป็นต้น และจะมีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.70-1.00% กลุ่มเหล็กกลุ่มนี้จะมีส่วนผสมของเหล็กแตกต่างกันออกไป นั่นคือให้มีความสมบัติที่มีค่าความต้านทานต่อการอ่อนตัวเนื่องจากความร้อนได้ดี ทนต่อการสึกหรอนได้มาก โดยอาจจะทำการชุบแข็งได้ทั้งในน้ำมัน อากาศ น้ำเกลือ ต่อมาได้พบวิธีการที่นำธาตุโลหะผสมบางตัวมาเคลือบ (coated) ที่ผิวของเครื่องมือตัดเพื่อให้สามารถทนการสึกหรอได้ดียิ่งขึ้น ได้แก่ coated high speed steel



รูปที่ 2.1 แสดงกรรมวิธีการผลิตเหล็กความเร็วรอบสูง (high speed steel)

ซีเมนต์คาร์ไบด์ (cemented carbide) ผลิตโดยกรรมวิธีโลหะผง (powder metallurgy) โดยการนำเอาผงโลหะทนไฟ (refractory metal) ผสมกับคาร์บอน แล้วอัดแน่นเป็นก้อนเม็ดมีความแข็งแรงพอสมควรและนำไปอบ (sintering) ที่มีความร้อนสูง ก็จะได้วัสดุที่มีความแข็งแรงมากในรูปของ cemented carbide ผงโลหะที่ใช้เป็น ทั้งสแตน และ คาร์บอน ซึ่งเมื่อผ่านกรรมวิธีก็จะเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นองค์ประกอบหลักและตัวประสานคือโคบอลต์ นอกจากได้มีการเคลือบผิวโดยใช้สารประกอบ เช่น ไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) หรือ อะลูมินา

ออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งจะทำให้มีความสามารถกัดเนื้อโลหะได้มากกว่าเดิมถึง 5 เท่า การเคลือบนี้แต่ละเกรดอาจจะมีการเคลือบชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ การใช้งานจะเหมาะกับโลหะกลุ่มเหล็ก แต่ไม่เหมาะกับโลหะนอกจากกลุ่มเหล็ก เช่น อะลูมิเนียม (Al), ทองแดง (Cu) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงกรรมวิธีกระบวนการผลิต carbide tools

เซอร์เมต (cermet) หรือ ไททาเนียมคาร์ไบด์ (titanium Carbide) เป็นการพัฒนาโดยการนำเอา Ti กับ carbon มาเข้ากระบวนการเป็น titanium carbide โดยมีนิกเกิลและโมลิบดีนัมเป็นตัวประสาน มีคุณสมบัติแข็งมากและมีคุณสมบัติการใช้งานใกล้เคียงเซรามิก ใช้ในงานผิวละเอียดมากพอกับงานเจียรไน cermet เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติผสมระหว่างโลหะกับเซรามิก ลักษณะเด่นของเซอร์เมต (cermet) ได้แก่ ทนการสึกหรอเป็นหลุม (crater wear) ได้ดี มากด้วยคุณสมบัติของไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ทนทานต่อการเกิดหลุมอันเนื่องมาจากความร้อนได้ดี ทำให้สามารถใช้ความเร็วตัดที่สูงกว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์ได้

เซรามิก (ceramic) แบ่งกันออกเป็น 2 ชนิดคือ อะลูมินาบริสุทธิ์ (Al_2O_3) และพวกคอมโพสิต (composite) มีคุณสมบัติแข็งมาก ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นที่ความร้อนสูง ๆ ทนการสึกหรอได้ดี นำความร้อนต่ำแต่เปราะ ในการกลึงเหล็กสามารถปกผิวเหล็กกล้า เหล็กหล่อด้วยความเร็วสูงติดต่อกันได้นาน แต่ต้องระวังในการใช้คือต้องไม่ได้รับความร้อนหรือแรงกระแทกทันทีเพราะว่าจะเกิดการแตกหักได้ง่าย ลักษณะที่ดีของเซรามิกมีได้แก่ เป็นเครื่องมือตัดที่ใช้ความเร็วตัดสูงได้ดีทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีความเที่ยงตรงในการขึ้นรูปโลหะได้ดีเนื่องจากเซรามิกนั้นทนทานต่อการสึกหรอเชิงความร้อนและเชิงกลได้ดี

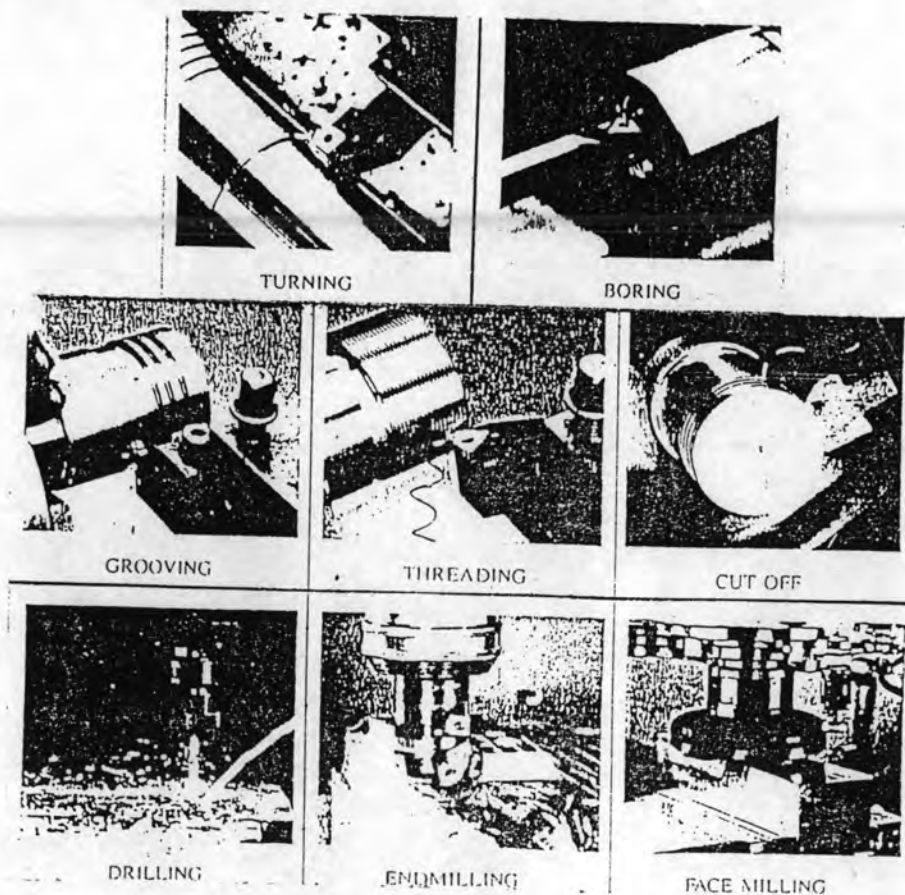
วัสดุพวกแข็งพิเศษ (super hard material) ได้แก่ เพชรเทียม (synthetic diamond) ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งมาก เป็นการสังเคราะห์เพชรเทียมเหมาะจะใช้ปอกวัสดุโลหะ โลหะนอกกลุ่มเหล็ก ไม่เหมาะกับโลหะเหล็กหรือมีความเหนียว และ ความแข็งแรงทางดึง (tensile strength)

สูงเนื่องจาก เครื่องมือตัด(cutting tools)เป็นคาร์บอน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเหล็กในการกลึงและเกิดความร้อนสูงมาก จะทำให้ cutting tools แตกเป็นสะเก็ดได้

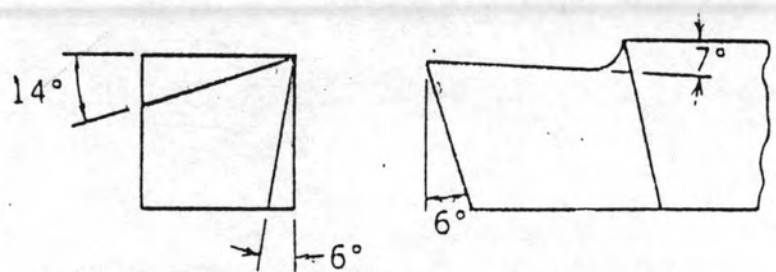
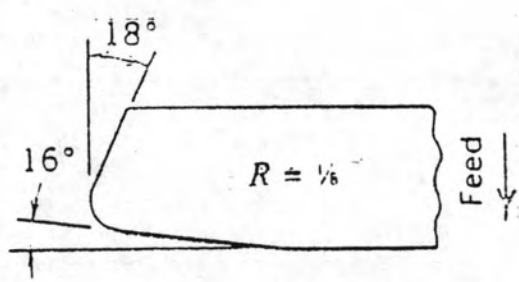
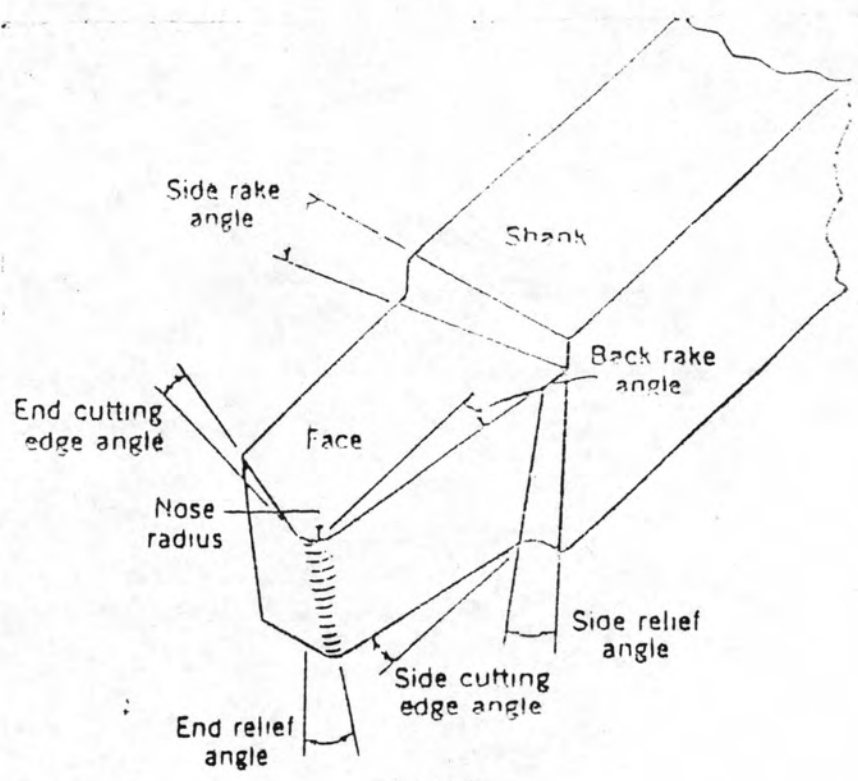
C B N (Cubic Boron Nitride) เป็นวัสดุเม็ดที่เป็น super hard material อีกตัวหนึ่งซึ่งมีเซรามิกเป็นตัวประสาน สามารถใช้งานที่มีความเที่ยงตรงสูง ใช้ตัดเหล็กแข็งได้ดีมาก เช่น เหล็กชุบแข็ง เหล็กหล่อ เหมาะที่จะใช้ในขั้นตอนสุดท้าย finishing และสามารถลดขั้นตอนในการใช้งานใช้เครื่องเจียรโนลงไปได้เนื่องจากมีความแข็งมากทนต่อการสึกหรอได้ดีมาก ทำให้ได้ขนาดและผิวที่ออกมาแน่นและสวยงาม ความเร็วตัดก็สามารถใช้ได้สูงกว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์หลายเท่า

2.1.3 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนทางวิศวกรรม

บทบาทที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนทางวิศวกรรม นั่นก็คือบทบาทในงานด้านแมชชีนนิ่ง (machining or removing excess materials) ได้แก่ การกลึง ไส เจาะ ที่ใช้กันมากที่สุดเรียงลำดับคือ การกลึง (turning) การกัด (milling) และการเจาะ (drilling)



รูปที่ 2.3 แสดงขอบข่ายของงาน machining



Tool Designation 7 14 6 6 18 6 1/8

Back rake 7

Side rake 14

End relief 6

Side relief 6

End cutting edge 18

Side cutting edge 6

Nose radius 1/8

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะและชื่อของส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือตัด

2.1.4 ลักษณะการเกิดเศษโลหะ

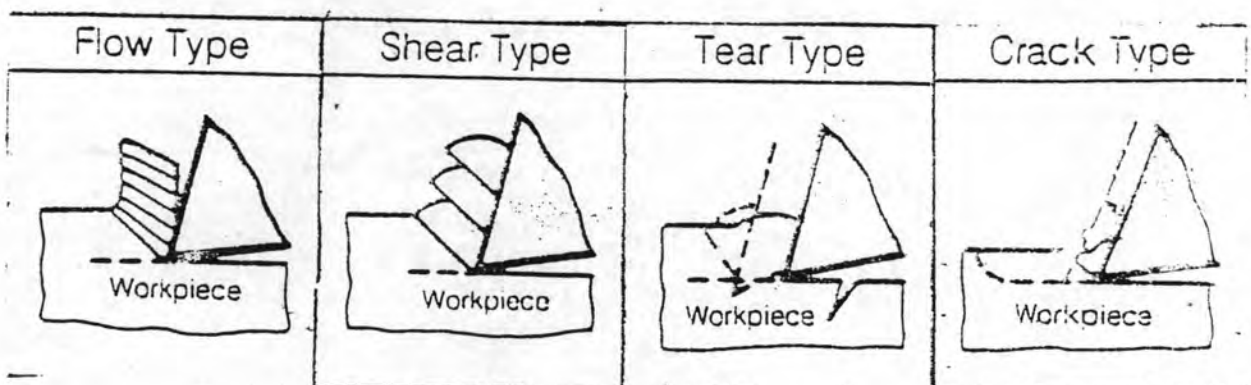
ลักษณะของเศษโลหะจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ถูกตัดและคมตัดตลอดจนเงื่อนไขของการตัด ลักษณะการเกิดโดยทั่วไปมีการเกิดอยู่ 4 แบบดังนี้

1. Flow Type เป็นการตัดโลหะที่มีการไหลของเศษโลหะอย่างต่อเนื่อง บางครั้งอาจจะเข้าไปพันกับชิ้นงานหรือตำจับอาจเกิดความเสียหายขึ้นได้ ลักษณะแบบนี้จะเกิดกับการตัดเหล็กเหนียวและเหล็กกล้าผสมต่ำหรือเหล็กหล่อผสม

2. Shear Type เป็นลักษณะแบบเฉือนซึ่งจะคล้ายกับแบบต่อเนื่อง แต่จะเกิดความแตกต่างกันเมื่อใช้ความเร็วตัดที่ต่ำ เศษโลหะก็จะขาดจากกันอย่างชัดเจนและลักษณะแบบนี้ก็จะเกิดกับวัสดุที่มีความเหนียวต่ำด้วยหรืออาจจะเกิดกับปลายคมตัดที่ทื่อก็จะทำให้เกิดเศษโลหะแบบนี้ได้ง่าย

3. Tear Type ลักษณะร่อนเป็นแผ่น ซึ่งจะเกิดกับการกลึงวัสดุที่นิ่มและมีความเหนียวสูง วัสดุที่ถูกตัดจะอัดติดที่บริเวณคมตัดทำให้เศษโลหะไหลออกมาไม่สะดวกและเกิดเป็นเศษโลหะที่หลุดร่อนเป็นแผ่นหนา การฉีกขาดในลักษณะนี้จะทำผิวงานที่ถูกตัดไม่เรียบและมีรอยแยกจากกันเป็นแนวเล็ก ๆ ลักษณะเช่นนี้เกิดจากการใช้คมมีดที่ทื่อตัดวัสดุที่อ่อนและมีความเหนียวสูงหรือเหล็กหล่อโดยใช้ความเร็วตัดต่ำเกินไป

4. Crack Type เศษที่เกิดลักษณะนี้จะหักออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ ในการตัดวัสดุที่มีความเปราะหรือความต้านทานต่อแรงดึงต่ำและถ้าใช้ความเร็วตัดต่ำ ก็จะทำให้เกิดรอยฉีกเข้าไปในเนื้อชิ้นงาน ผิวที่กลึงก็จะเกิดการขรุขระ



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเกิดของเศษโลหะแบบต่าง ๆ

2.1.5 การสึกหรอของการตัดโลหะ (progressive tool wear)

กลไกการตัดโลหะจะมีการสึกหรออยู่ 3 ลักษณะดังนี้

1. Adhesion wear

เป็นการสึกหรอระหว่างโลหะ 2 ชนิดที่ทำให้เกิดขอบแตกที่บริเวณขีดสีกันระหว่างเศษโลหะกับมีดกลึงซึ่งเป็นกลไกการเสียดทาน โลหะที่อ่อนกว่าจะมีส่วนหนึ่งถูกหลอมจากความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานติดไปกับโลหะที่แข็งกว่านั้นคือ บนมีดกลึง เมื่อการขีดสีดำเนินต่อไป บริเวณบนมีดกลึงจะถูกขีดให้หลุดออกโดยที่รอบฉีกจะกินลิกรอบฉีกเกิดขึ้นได้ ผิวหน้าเดิมของโลหะที่แข็งกว่าและจะทำให้โลหะที่แข็งกว่าสึกหรอหลุดไป

2. Abrasion wear

เป็นการสึกหรอที่เกิดจากส่วนหนึ่งของเศษชิพ (chip) เคลื่อนผ่านหน้ามีดกลึง และขีดส่วนของมีดกลึงซึ่งเป็นกลไกทางกลศาสตร์

3. Diffusion Wear

เป็นการสึกหรอที่เกิดจากการแพร่ของอะตอมที่บริเวณผิวหน้าของโลหะอันหนึ่งไปสัมผัสติดกับโลหะอีกอันหนึ่ง การแพร่นี้ผสมกับสภาพของโลหะผสมของผิวหน้าทั้งสองด้านขีดสีกันซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ควบคุมขนาดและลักษณะของชิ้นส่วนที่กร่อนไป อัตราการแพร่จะเพิ่มตามการเพิ่มของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นด้วย

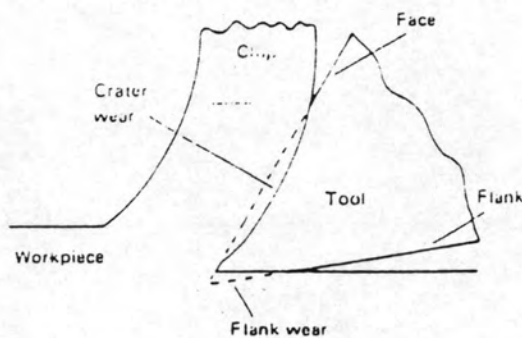
2.1.6 ลักษณะการสึกหรอของมีดกลึง

1. Crater Wear

เป็นการสึกหรอที่เกิดบนหน้ามีดกลึง การกัดกร่อนจะเป็นไปทางลึกมากกว่าด้านกว้าง เป็นผลจากเศษชิพที่ถูกกลึงตัดออกผ่านบนบริเวณแนวหน้ามีด

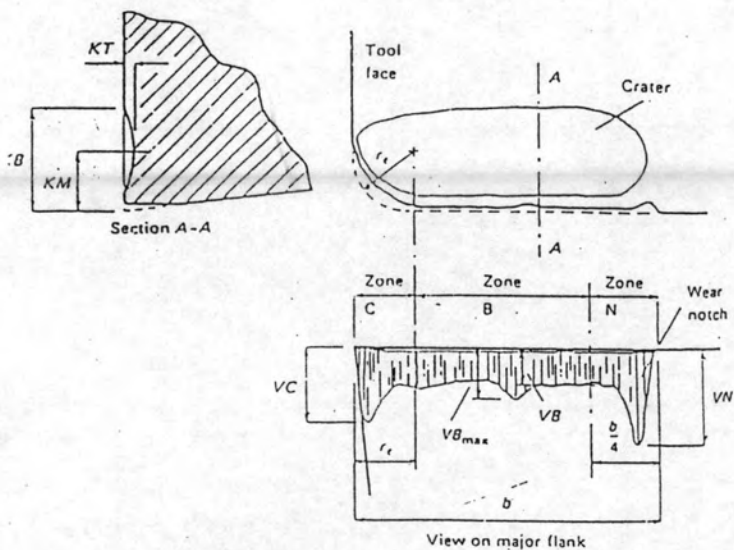
2. Flank Wear

เป็นการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างผิวหน้าชิ้นงานที่ใหม่อยู่เสมอที่สัมผัสบนด้านข้างของมีดกลึง (tool flank)



รูปที่ 2.6 แสดงการสึกหรอที่เกิดบนมีดกลึง

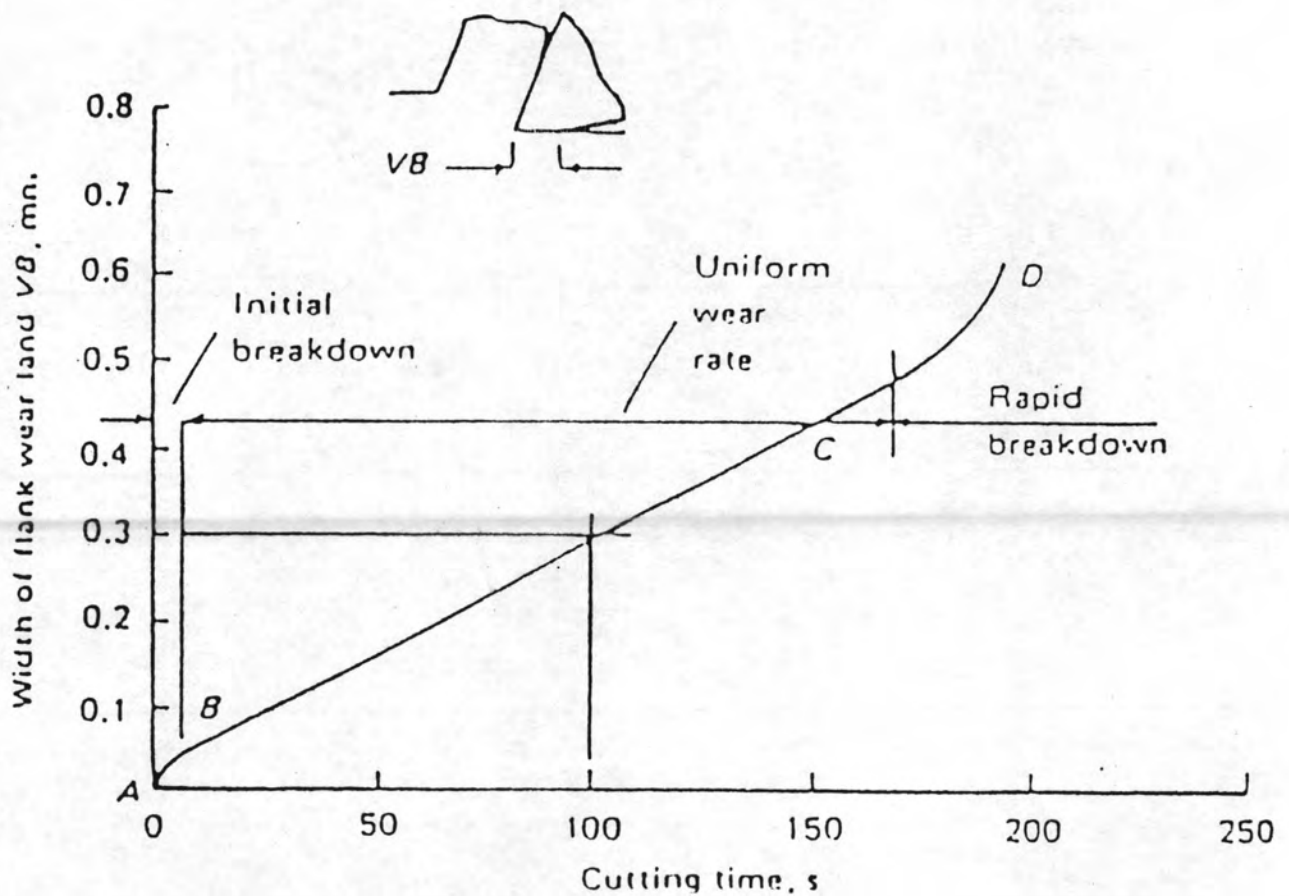
ความกว้างของ flank wear land จะขนานทิศทางการตัด (resultant cutting direction) ซึ่งจะสามารถวัดเป็นระยะความกว้างของการสึกหรอได้ด้วย กล้องจุลทรรศน์ไมโครสโคป (Toolmaker's Microscope)



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบ crater wear และ flank wear

2.1.7 การเสื่อมสภาพของใบมีดกลึง (cutting tools)

ลักษณะของการเสื่อมสภาพมีอยู่หลายแบบ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำเป็น cutting tools วัสดุชิ้นงาน ความเร็วในการตัด อัตราป้อน ฯลฯ ซึ่งอาจเกิดจากการกระแทกของคมมีด การร้าวของมีดกลึงเนื่องจากการกระแทก การสึกกร่อนบนตัว cutting tools ที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ติดกับคมมีดด้านหลังคมมีดกลึงที่เรียกว่า wear land และบริเวณที่อยู่บน rake face เรียกว่า crater wear



รูปที่ 2.8 แสดงการดำเนินไปของการสึกหรอ flank wear กับเวลาของมีดกลึงคาร์ไบด์ ที่ความเร็วตัด 1 m/s

เมื่อศึกษาถึงขนาดของ wear land จากรูปที่ 2.8 อธิบายการเกิดขึ้นของ flank wear Land ซึ่งจะไม่วางที่ตลอดไปและเส้นกราฟของการเกิด flank wear จะแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 A-B เป็นช่วงที่มีอัตราการเกิดการสึกเร็วมากคือเป็นช่วงการสึกหรือเริ่มต้น (initial breakdown) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและเกิด plastic deformation ทำให้ความเสียหายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

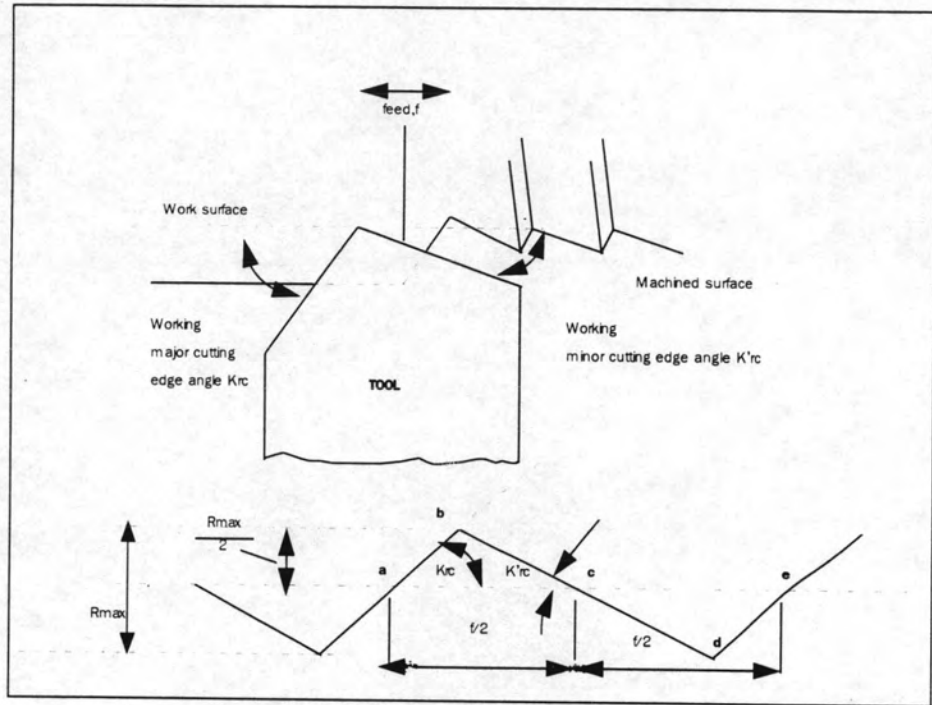
ช่วงที่ 2 B-C เป็นช่วงที่มีอัตราการสึกคงที่ (uniform rate) แต่อัตราการสึกหรอน้อยกว่าช่วงแรกและช่วงนี้เป็นการสึกหรอทางกลและเป็นการสึกหรอที่ไม่ไวต่ออุณหภูมิ

ช่วงที่ 3 C-D เป็นช่วงที่เกิดการสึกหรออย่างรวดเร็วมาก (rapid breakdown) อาจก่อให้เกิดการแตกหักถ้ายังคงดำเนินการตัดต่อไป ซึ่งจุด C นี้เรียกว่า critical point ของ flank wear หรือ critical flank

ส่วนการสึกหรอแบบ crater wear ซึ่งทำให้เกิดหลุม (crater) โดยที่ขนาดของ crater ก็อาจนำไปใช้ในการกำหนดว่าใบมีดหมดอายุหรือยัง ทั้งนี้เพราะเมื่อ crater ใหญ่ขึ้น มีดก็จะมี ความแข็งแรงน้อยลง จนกระทั่งอาจหักลงได้ แต่การวัด crater อาจทำได้ยากและรูปร่างของ crater wear ไม่น่าสนใจจึงเป็นการยากที่จะบ่งบอกลักษณะสภาพอายุการใช้งานของมีด กิ่ง

2.1.8 ความเรียบผิว (surface roughness)

ทางทฤษฎีความเรียบผิวสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบทางตัวเลขซึ่งจะสามารถกำหนดขนาดของความเรียบโดยตัวบ่งชี้ที่นิยมใช้คือ Ra (Arithmetical Mean Value)



รูปที่ 2.9 แสดงความเรียบผิวทางอุดมคติในลักษณะของมีดกลึงที่เป็นมุมคม

$$Ra = \frac{(\text{area } abc) + (\text{area } cde)}{f} \tag{2.1}$$

โดยที่ f คือ อัตราป้อน

และเนื่องจากพื้นที่ abc และ cde มีพื้นที่เท่ากัน

$$Ra = \frac{2(\text{area } abc)}{f} = \frac{R_{max}}{4} \tag{2.2}$$

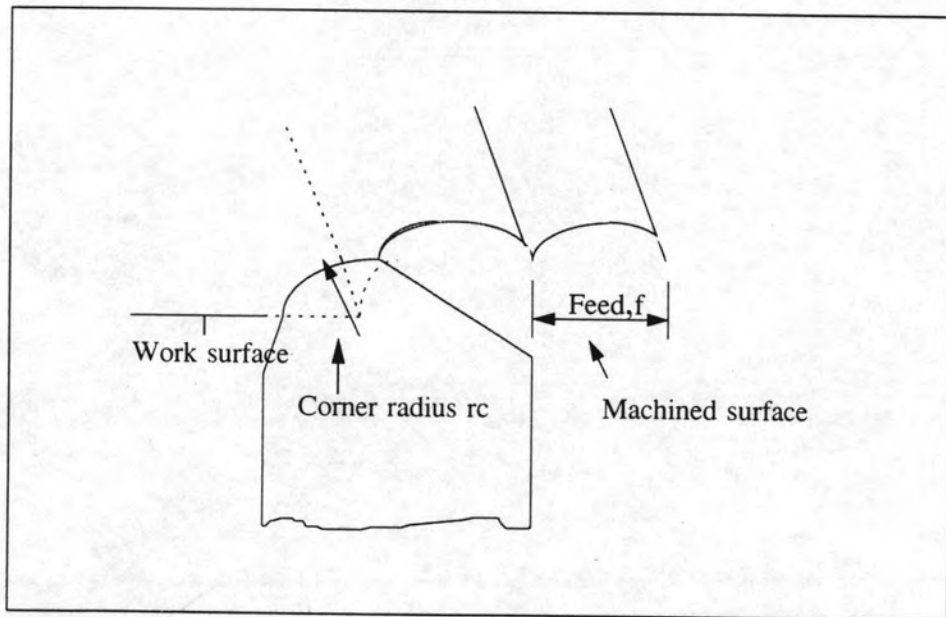
ดังนั้นจะได้ว่า

$$Ra = \frac{f}{\cot Krc + \cot K'rc} \tag{2.3}$$

โดยที่ K_{rc} และ K'_{rc} คือ มุม Major Cutting edge และ Minor Cutting edge ตามลำดับ

เมื่อแทนค่า R_{max} ใน R_a จะได้ดังนี้

$$R_a = \frac{f}{4 (\cot K_{rc} + \cot K'_{rc})} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.10 แสดงความเรียบผิวทางอุดมคติในลักษณะมีดกลึงที่เป็นมุมโค้ง

ซึ่งจะได้เป็นสมการดังนี้

$$R_a = \frac{0.032f^2}{rc} \quad (2.5)$$

โดยที่ rc คือ รัศมีของมุมมีดกลึงหน่วยเป็นมิลลิเมตร

2.1.9 การบ่งบอกอายุการใช้งานของมีดกลึง (tool life criterion)

อายุการใช้งานของมีดกลึง(tool life) มีความสำคัญยิ่งต่อต้นทุนการผลิต การวัดอายุการใช้งานของมีดกลึงจะเริ่มนับอายุตั้งแต่เวลาที่ มีดกลึงเริ่มเปลี่ยนใหม่ ๆ จนกระทั่งถึงเวลาที่

มีดกลึงเสื่อมสภาพจนไม่สามารถตัดโลหะได้ตามต้องการ แต่ในทางปฏิบัติทั่วไปของงานกลึงแต่ละชนิดต้องคำนึงถึงคุณภาพของงานด้วย ได้แก่ ความเรียบผิวจากการกลึง การควบคุมขนาดตามความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (economics tolerance) ตามข้อกำหนด รวมทั้งการลดเวลาในการผลิตให้ได้มากที่สุดด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เกิด economics แก่ผู้ผลิตนั้น ๆ ให้มากที่สุด การบ่งบอกอายุการใช้งานของมีดกลึงสามารถกล่าวได้เป็น 2 ประเภทใหญ่คือ

1. การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุของมีดกลึงโดยยึดถือมีดกลึงเป็นหลัก ได้แก่ คมมีด (cutting edge) การกระเทาะหรือร้าว ขนาดของรอยสึก (flank wear land) ขนาดของหลุม (crater) บน rake face ปริมาณหรือน้ำหนักของเนื้อสารที่สึกออกจากมีดกลึง โดยปกตินิยมใช้ขนาดของรอยสึก flank wear land เป็นตัววัดอายุการใช้งานของมีดกลึง เนื่องจากวัดง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ ในการบ่งบอกสภาพอายุการใช้งานของมีดกลึง ตัวอย่างจาก ISO standard แนะนำว่า สำหรับ high speed steel or ceramic tool ทั่วไป

- เกิดการแตกหัก
- $V_B = 0.3 \text{ mm.}$
- $V_{B \text{ MAX}} = 0.6 \text{ mm.}$
สำหรับ sintered carbide tool ทั่วไป
- $V_B = 0.3 \text{ mm.}$
- $V_{B \text{ MAX}} = 0.6 \text{ mm.}$

2. การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุของมีดกลึง โดยยึดถือชิ้นงานเป็นหลัก ได้แก่ ความเรียบของผิวชิ้นงานมีค่าสูงมากเกินไป ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีขนาดเกินความต้องการแรงหรือกำลังในการตัดมีค่าสูงเกินไป

2.1.10 การควบคุม performance ในการตัดโลหะ

เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีความสามารถในการตัดโลหะสูงจึงควรที่จะสามารถทำนายลักษณะการทำงาน (Performance) ของเครื่องจักรกลและมีดกลึงตลอดจนชิ้นงานระหว่างการตัดโลหะพอสมควร การที่จะทดลองลองผิด ลองถูก บางครั้งอาจจะเป็นอันตรายและเสียเวลาโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงการตัดโลหะซึ่งเริ่มจากการจำแนกสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตัดโลหะออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ performance parameters ได้แก่ ค่าต่างๆ ที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพหรือความสามารถในการผลิตว่าดีหรือไม่ดีอย่างไร กลุ่มที่สองคือ cutting condition variables ซึ่งเป็นสภาพต่างๆ ในการตัด โลหะที่สามารถควบคุมได้ เช่น รูปร่างลักษณะของมีด ความเร็วในการตัด (cutting speed) ความ

ลึกในการตัด (depth of cut) ชนิดของน้ำหล่อเย็น (type of coolant) เป็นต้น ดังนั้นเมื่อเราทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง parameter ทั้งสองกลุ่มก็สามารถเลือก cutting variables ที่เหมาะสมแก่งานที่ทำอยู่ได้

ตารางที่ 2.1 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการตัดโลหะ

Performance Parameters	Cutting Variables
1) แรงในการตัด (Cutting Force)	1) คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชิ้นงาน
2) พื้นผิวสำเร็จรูป ซึ่งเกี่ยวข้องกับ 2.1) ความแม่นยำ (Accuracy) ที่ สามารถทำได้ 2.2) ขนาดความผิดพลาดที่ยอมรับได้	2) คุณสมบัติของวัสดุที่เป็น Cutting Tools 3) ลักษณะทางเรขาคณิตของ Cutting Tools
3) อายุการใช้งานของ Cutting Tools	4) ความเร็วในการตัด
4) อุณหภูมิของ Cutting Tools และชิ้น งาน	5) ความเร็วในการป้อน
5) ค่าดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ 5.1) อัตราการผลิตต่อหน่วยเวลา 5.2) ต้นทุนการผลิตต่อชิ้น 5.3) อัตรากำไรต่อหน่วยเวลา	6) ความลึกของรอยตัด 7) น้ำมันหล่อเย็นและอัตราการฉีด 8) สภาพของเครื่องจักรกล

2.1.11 เศรษฐศาสตร์ในงานด้านแมชชีนนิ่ง (economic of metal cutting)

สิ่งสำคัญของงานผลิตก็คือ ต้นทุนการผลิต (production costs) และอัตราการผลิต (production rate) แม้ว่าในทางปฏิบัติการที่มีอัตราการผลิตสูง ได้ผลของต้นทุนการผลิตต่ำ แต่การพิจารณาควรแยก เพราะการกำหนดให้เงื่อนไข (conditions) เพื่อผลของอัตราการผลิตสูงสุดอาจจะไม่ให้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดก็ได้

ดังนั้น การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและอัตราการผลิตจะซับซ้อนจะขึ้นอยู่กับกรณีนั้น ๆ อย่างไรก็ตามก็มีหลักแนวทางการพิจารณาเงื่อนไขการกลึงที่เหมาะสมที่สุด (optimum cutting condition) โดยการเริ่มพิจารณาจากตัวแปรที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ อัตราป้อน (feed) ความเร็วของการตัด (cutting Speed) ดังนี้

1. อัตราป้อน (feed) การพิจารณาโดยอ้างอิงถึงผลที่ต้องการหรือสภาวะของผลที่ต้องการโดยแบ่งได้เป็นกรณีดังนี้

- กรณีของการกลึงตัดแบบหยาบ เป้าหมายสำคัญในกรณีก็คือใช้เวลาการตัดน้อยที่สุดโดยไม่ต้องคำนึงถึงผลของสภาพของผิวชิ้นงานว่าเป็นอย่างไร แต่จะคำนึงถึงความสามารถในรับแรงการกลึงของมีดกลึงว่าได้มากน้อยแค่ไหน ดังนั้นการเลือก feed ควรเลือกให้มากที่สุดที่เป็นไปได้

- กรณีของการกลึงตัดแบบละเอียด เป้าหมายสำคัญในกรณีนี้นอกเหนือจากการที่ต้องการเวลาน้อยที่สุดในการกลึงยังต้องคำนึงถึงความเรียบร้อยของผิวงานที่กลึงแล้วให้ได้ตามแบบที่กำหนดนั้น ๆ เป็นสำคัญ

2. ความเร็วตัด (cutting speed) มีบทบาทสำคัญมากในกรณีของการพิจารณาหาจุดที่เหมาะสมที่สุด (optimum Point) ซึ่งมีหลักพิจารณาคือ

- เวลาที่ใช้ในการผลิต (total machine time)

$$NbTm \quad (2.6)$$

- เวลาที่ไม่เกิดผลผลิต (nonproductive time)

$$NbTl \quad (2.7)$$

- เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนมีด (total time involved in changing worn tool)

$$NtTct \quad (2.8)$$

ดังนั้น ต้นทุนของเครื่องจักรและคนงานจะเท่ากับ

$$M (NbTl + NbTm + NtTct) \quad (2.9)$$

โดยที่ M คือ อัตราค่าใช้งานเครื่องจักรและคนงานรวมค่าเสียหาย (total machine and operator rate including overheads)

Nb คือ จำนวนของชิ้นงานใน 1 batch ที่จะทำการกลึง (batch size)

Tm คือ เวลาที่ใช้ในการกลึง (machine time)

Tl คือ เวลาที่ใช้ในการนำงานเข้าและนำงานออก (load and unload time)

Nt คือ จำนวนมุมของมีดกลึง (number of tools corner used)

Tct คือ เวลาในการเปลี่ยนมีดกลึง (tool changing time)

ดังนั้น ต้นทุนของการผลิตเฉลี่ย (Cpr) ของแต่ละชิ้นงานจะสามารถเขียนดังนี้ (โดยรวมต้นทุนของมีดกลึงที่ใช้ด้วยซึ่งเท่ากับ $NtCt$)

จะได้ว่า

$$C_{pr} = M T l + \frac{M t_m}{(N b)} + \frac{(M)(N t)(T c t)}{(N b)} + (N t)(C t) \quad (2.10)$$

โดยที่ Ct คือต้นทุนของมีดกลึง 1 หน่วย

จากทฤษฎีของ Taylor's tool life relation

จากสมการ

$$\frac{V}{V_r} = \left(\frac{T_r}{T} \right)^n \quad (2.11)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วตัด (cutting speed)

T คือ อายุการใช้งานของมีดกลึง (tool life)

n คือ ค่าคงที่

T_r คือ ค่าอายุการใช้งานของมีดกลึงที่วัดได้ที่ความเร็วตัด V_r

ค่า T_r จะขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงานที่ถูกกลึง และวัสดุที่ใช้ทำมีดกลึง และ อัตราการป้อน (feed) ซึ่งได้จากการทดลองหรือจากแผนภาพที่มีการจัดทำไว้ ส่วนค่า n จะขึ้นอยู่กับวัสดุมีดกลึง ได้แก่

High speed	n ประมาณ 0.125
Carbide	n ประมาณ 0.25 ถึง 0.3
Ceramics	n ประมาณ 0.5 ถึง 0.7

จากสมการที่ (2.11) จะได้อายุการใช้งานของมีดกลึงดังสมการที่ (2.12)

$$T = T_r \left(\frac{V_r}{V} \right)^{1/n} \quad (2.12)$$

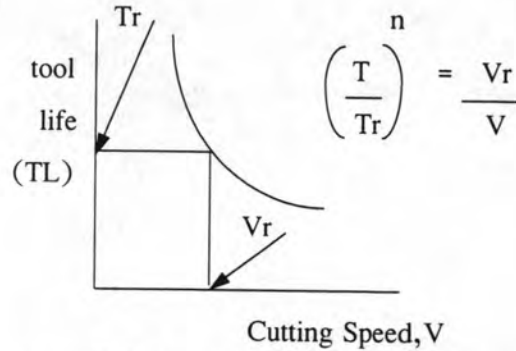
และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้ทั่วไป ดังนี้

$$V T^n = C \quad (2.13)$$

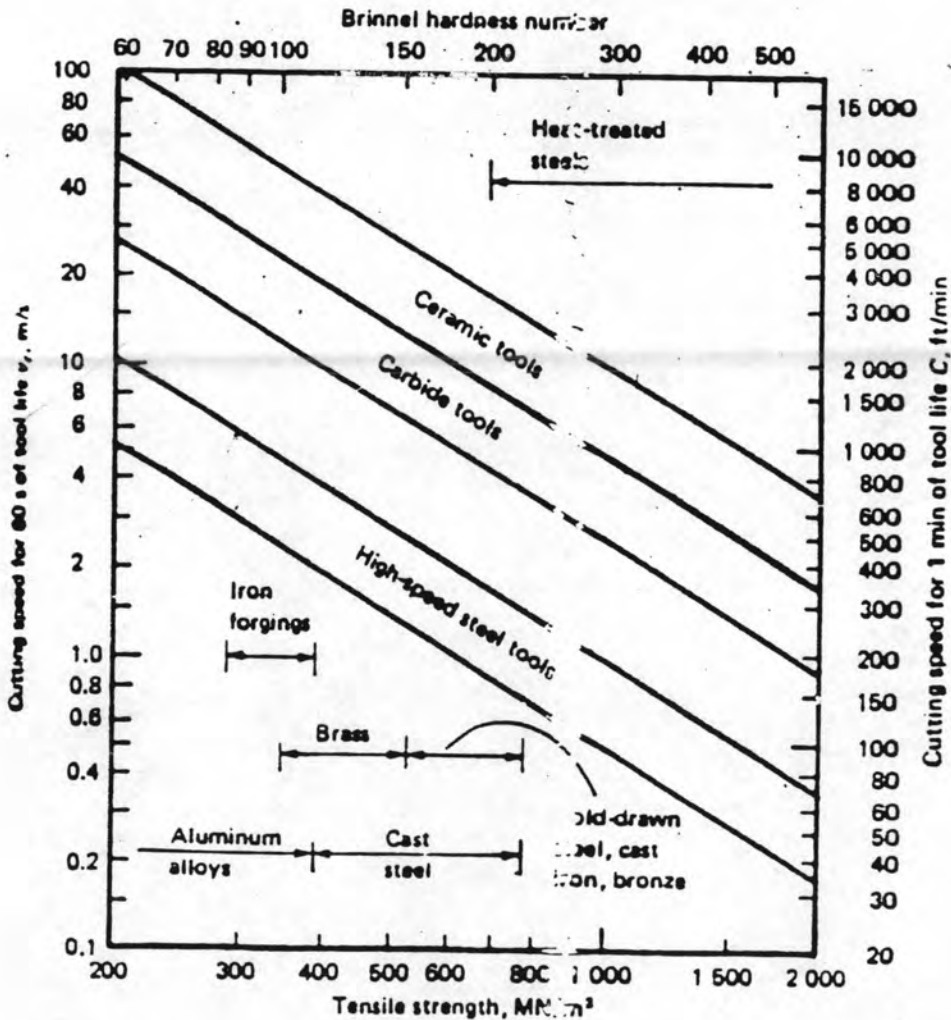
ในหน่วย SI เมื่อ V คือความเร็วตัด มีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที

T คืออายุการใช้งานของมีดกลึง มีหน่วยเป็น นาที

C คือค่าคงที่ มีหน่วยเป็นเมตรที่ความเร็วตัด ณ. จุดอายุใช้งาน 1 นาที



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง tool life และ cutting speed ของ Taylor ที่ n มีค่าคงที่



รูปที่ 2.12 แสดงแผนภาพการประมาณค่าของความเร็วตัดที่อายุใช้งานของมีดกลึง (Tr) เท่ากับ 60 วินาที

เมื่อให้ N_t เป็นจำนวนมุมของมีดกลึงที่ใช้ในการกลึงชิ้นงานชุดนั้น ๆ ซึ่งจะเท่ากับ $N_b T_m / T$ และจากสมการ (2.12) นำค่า T มาแทนค่าจะได้สมการดังนี้

$$\frac{N_t}{N_b} = \frac{T_m}{T} = \frac{T_m}{T_r} \left(\frac{V}{V_r} \right)^{1/n} \quad (2.14)$$

จาก

$$T_m = \frac{L_w}{f N_w} \quad (2.15)$$

โดยที่

$$N_w = \frac{1000 V}{\pi D_w} \quad (2.16)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} T_m &= (L_w)(\pi D_w)(1/1000 f V) \\ &= \frac{K}{V} \end{aligned} \quad (2.17)$$

โดยที่

K คือ ค่าคงที่สำหรับการกลึงงานนั้น ๆ หรือ ระยะทางที่มีดกลึงตัด (m)

V คือ ความเร็วตัดที่ใช้ (m/min)

L_w คือ ความยาวของชิ้นงานที่มีดกลึงตัด (mm)

D_w คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน (mm)

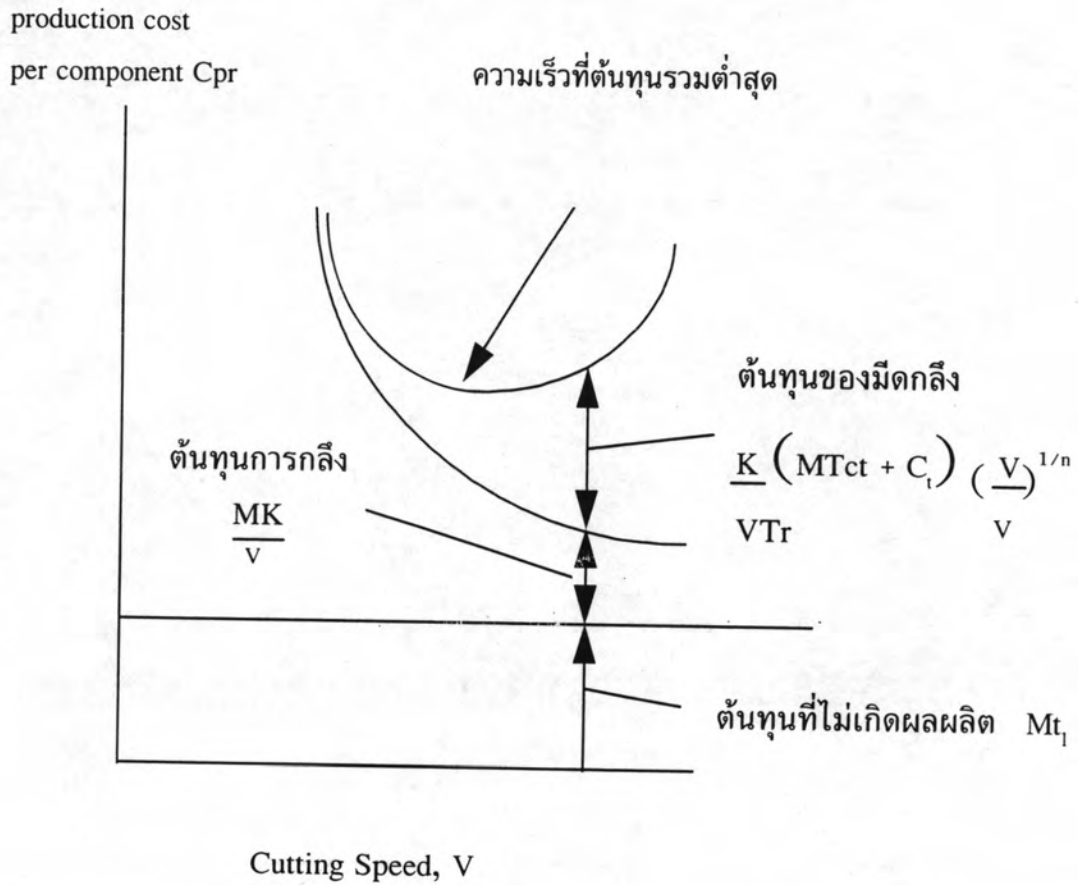
N_w คือ ความเร็วรอบของชิ้นงาน (rev/min)

f คือ อัตราป้อนตัด (mm/rev)

π คือ ค่าคงที่ 3.142

จากสมการ (2.17) เมื่อแทนค่าในสมการ (2.10) จะได้รูปที่สมการดังนี้

$$C_{pr} = M T_l + \frac{M K}{V} + \frac{K}{V_r^{1/n} T_r} (M T_{ct} + C_t) V^{(1-n)/n} \quad (2.18)$$

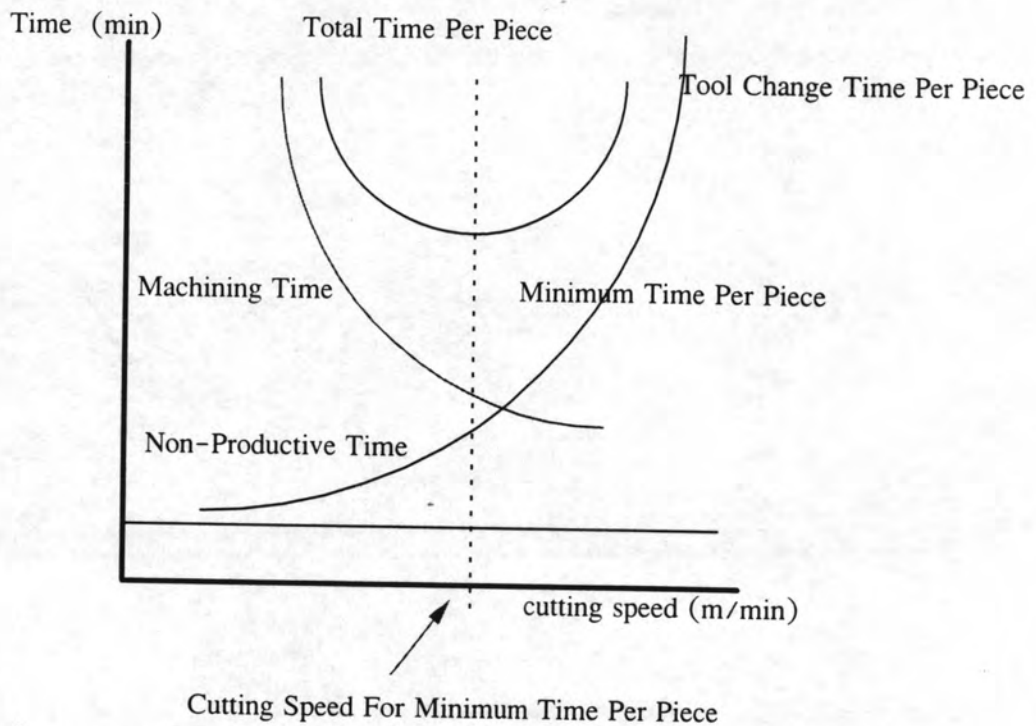


รูปที่ 2.13 แสดงตัวแปรที่มีผลต่อต้นทุนการผลิตรวม

จากสมการ (2.18) และ รูปที่ 2.13 สามารถหาความเร็วตัดที่จุดต้นทุนที่ต่ำสุดด้วยการ differentiated ด้วย V และ $C_{pr} = 0$ จะได้ความเร็วตัดที่ต้นทุนรวมต่ำสุด (V_c) ดังสมการที่ (2.19)

$$V_c = V_r \left(\frac{(n)}{(1-n)} \frac{(MTr)}{MTct+Ct} \right)^n \quad (2.19)$$

จากสมการจะพบว่า จุดที่เหมาะสมที่สุดที่มีต้นทุนรวมต่ำสุดจะไม่มีจำนวนของ batch size และเวลาที่เป็น nonproductive เข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.14 แสดงผลของความเร็วดัดที่มีต่อเวลาในการผลิตเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน

อย่างไรก็ตาม ต้องพิจารณาถึงการใช้เวลาการผลิตให้น้อยที่สุดด้วย จากรูปที่ 2.14 สามารถเขียนเป็นสมการแสดง เวลาการผลิตรวมต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (T_{pr}) ดังนี้

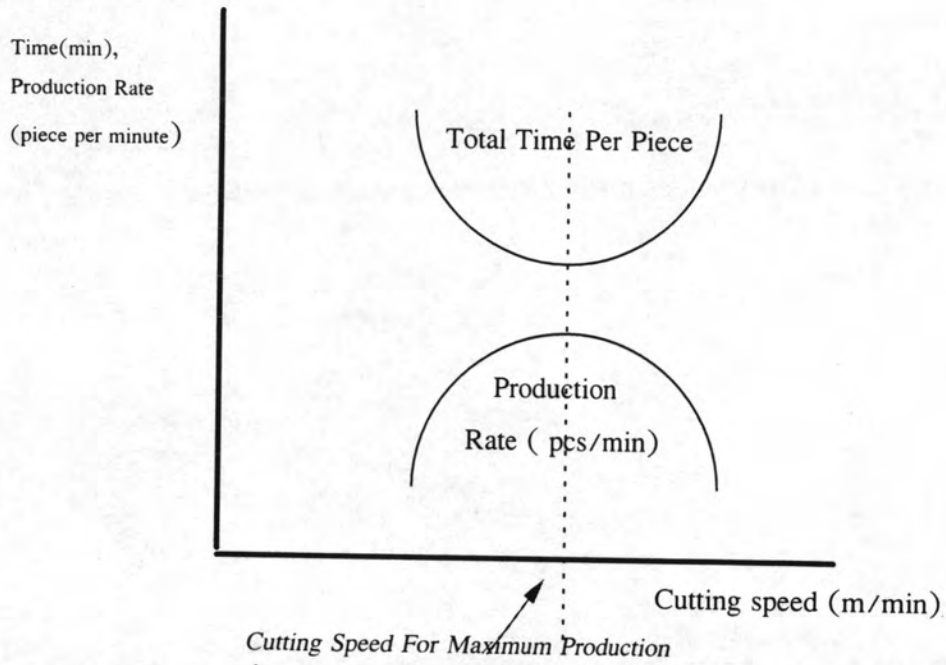
$$T_{pr} = T_l + T_m + \left(\frac{N_t}{N_b} \right) T_{ct} \quad (2.20)$$

จากสมการ (2.14) และ (2.17) แทนลงในสมการ (2.20) และทำการ differentiated เพื่อได้ค่าความเร็วดัดที่ใช้เวลาน้อยที่สุด (V_p) ดังนี้

$$V_p = V_r \left(\frac{(n) T_r}{1 - n T_{ct}} \right)^n \quad (2.21)$$

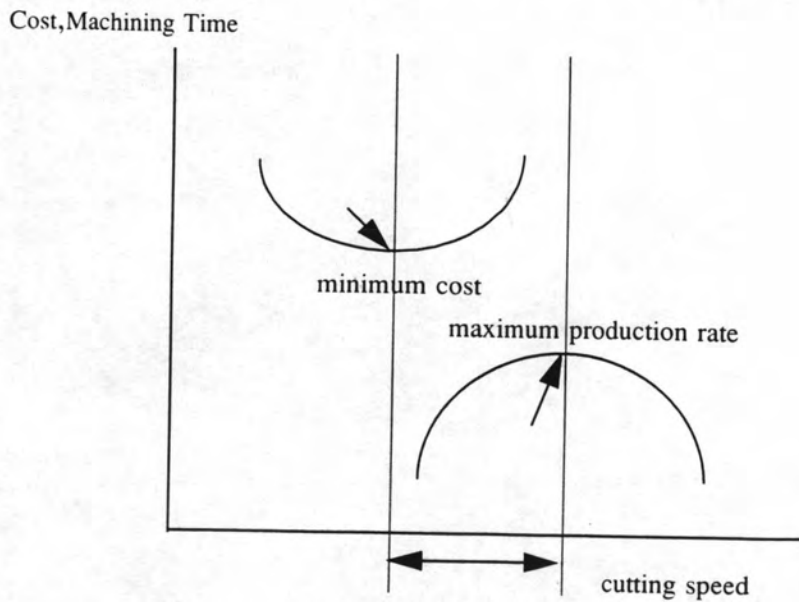
โดยที่ V_c คือ ความเร็วดัดที่ต้นทุนรวมต่ำสุด

V_p คือ ความเร็วตัดที่ใช้เวลาผลิตน้อยที่สุด หรือ อัตราการผลิตสูงสุด



รูปที่ 2.15 แสดงผลของเวลาการผลิตเฉลี่ยต่ออัตราการผลิต

จากรูปที่ 2.15 การผลิตที่ใช้เวลาต่อชิ้นน้อยที่สุดก็มีความหมายถึงการผลิตนั้นมีอัตราการผลิตสูงสุด



รูปที่ 2.16 แสดงช่วงความเร็วตัดในการกลึงงานที่เหมาะสม (optimum range)

จากรูปที่ 2.16 อธิบายถึงช่วงของความเร็วตัดที่จะหาจุดที่เหมาะสมที่สุด การพิจารณาอาจจะพิจารณาทางต้นทุนเป็นอันดับแรกและอัตราการผลิตเป็นอันดับรองหรืออัตราการผลิตเป็นอันดับแรกและต้นทุนการผลิตเป็นอันดับรอง ซึ่งการเลือกความเร็วตัดจะอยู่ในช่วงที่เรียกว่า Optimum Range ระหว่าง V_c และ V_p

สำหรับการวิเคราะห์ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดอายุใช้งานของมีดกลึงที่ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (T_c) และที่ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด (T_p) ด้วยการแทนค่า V_c จากสมการ (2.19) และ V_p จากสมการ (2.21) ใน Taylor's tool life equation สมการ (2.12) จะได้ T_c และ T_p ด้วยสมการ (2.22) และ (2.23) ตามลำดับดังนี้

$$T_c = \frac{1-n}{n} \left(T_{ct} + \frac{C_t}{M} \right) \quad (2.22)$$

$$T_p = \frac{1-n}{n} (T_{ct}) \quad (2.23)$$

ในการเลือกจุดระหว่าง V_c และ V_p จะคำนึงถึงจุดที่ให้ผลประโยชน์สูงสุด ซึ่งแทนได้ในรูปของผลกำไร นั่นคือการเลือกจุดความเร็วตัดที่ให้อัตรากำไรสูงสุด

โดยให้ S เป็นจำนวนเงินที่ได้รับจากการขายชิ้นส่วน
 $S - C_{pr}$ เป็นกำไรที่ได้จากการขายชิ้นส่วน
 และให้ Pr เป็นอัตรากำไร

$$\text{ดังนั้น} \quad Pr = \frac{S - C_{pr}}{T_{pr}} \quad (2.24)$$

โดยที่ T_{pr} เป็นเวลารวมที่ใช้ในการผลิตต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน แทนค่าด้วยสมการ (2.18) และ (2.20) ลงในสมการ (2.24) จะได้ว่า

$$Pr = \frac{S - MTl - MKV^{-1} - KV_r^{-1/n} Tr^{-1} (MT_{ct} + C_t) V^{(1-n)/n}}{Tl + KV^{-1} + KV_r^{(1-n)} Tr^{-1} T_{ct} V^{(1-n)/n}} \quad (2.25)$$

เครื่อง Milling เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพของเศษโลหะที่หลุดออกที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะให้อายุการใช้งานของ tool ยาวนาน จากผลการทดลองจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่าง cutting rate และ tool life ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

บรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง (1994) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปร 3 ตัวแปร คือ ส่วนโค้งของปลายมีด ความลึกในการกลึงชิ้นงาน และอัตราป้อนที่มีผลต่อความเรียบผิว โดยการนำหลักการของ design and analysis of experiments เป็นพื้นฐานในการวิจัย และในการศึกษาถึงส่วนโค้งปลายมีดพบว่าไม่มีผลต่ออัตราการหลุดออกของเศษโลหะ และความลึกในการกินชิ้นงานไม่มีผลต่อความเรียบผิว แต่สามารถควบคุมอัตราการหลุดออกของเศษโลหะให้ได้ตามความเรียบผิวที่ต้องการได้โดยการเลือกใช้อัตราป้อนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความเรียบผิวที่ต้องการ

สุนันท์ พูลบุญ และ สาโรจน์ เจนเขา (1985) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสึกหรอของมีดกลึง HSS ทั้ง 8 บริษัทที่สภาวะใช้และไม่ใช้สารหล่อเย็น. ความเร็วตัดต่างๆ โดยวัดขนาดของ flank wear และถ่ายภาพบันทึกไว้ จากผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อใช้สารหล่อเย็นมีดตัดทั้ง 8 บริษัท ที่ความเร็วต่างๆ พบว่ามีการสึกหรอใกล้เคียงกัน ในช่วงความเร็วตัดไม่เกิน 30 เมตรต่อนาที การสึกหรอในกรณีที่ใช้สารหล่อเย็นต่ำกว่าที่ไม่ใช้สารหล่อเย็นเพียงเล็กน้อย แต่ที่ความเร็วตัดตั้งแต่ 35 เมตรต่อนาที การสึกหรอกรณีที่ใช้สารหล่อเย็นสูงกว่าในกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อเย็นมากและที่ความเร็วตัด 45 เมตรต่อนาทีจะเป็นความเร็วตัดที่เหมาะสมของมีดทุกบริษัทในกรณีที่ใช้สารหล่อเย็น

ปรีชา บริการหัตถกิจ และ พิชัย พิชัยกมล (1984) ทำการศึกษาถึงอายุการใช้งานของมีดกลึง HSS โดยให้มีดกลึง HSS แต่ละบริษัทที่ทำการผลิตประมาณ 8 บริษัท ซึ่งมีดตัดนี้ลับมุมตามมาตรฐาน American Lathe Tool Specification และทำการกลึงชิ้นงานบนเครื่องกลึง Harrison M 500 ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ปรากฏว่า อายุการใช้งานของมีดกลึง HSS ที่มีราคาแพงกว่ามีแนวโน้มสูงกว่ามีดกลึง HSS ที่ราคาต่ำ

นิธิ บูรณจรรย์ และ พงศ์ธร เหาปัดย์ (1984) ได้ทำการศึกษาถึงแรงตัดสูงสุดที่มีดกลึง HSS สามารถรับแรงได้โดยให้มีดกลึง HSS แต่ละบริษัท ที่ทำการผลิตประมาณ 9 บริษัท รับแรงกดบนหน้า rake ซึ่งมีดตัดทำได้ลับมุมตามมาตรฐาน American Lathe Tool Specification จนกระทั่งมีดกลึงแตกหักเพื่อหาค่าแรงตัดสูงสุดของมีดกลึงแต่ละบริษัทซึ่งผลการทดลองที่ได้ปรากฏว่า มีดกลึง HSS ที่มีความแข็งสูงมีแนวโน้มที่จะรับแรงตดน้อยกว่ามีดกลึง HSS ที่มีความแข็งต่ำ

วิศรุจ เหมศาสตร์ และ บัณฑิต อรุโณทัย (1982) ได้ทำการวิจัยถึงวิธีการวัดอุณหภูมิในขณะตัดโลหะ โดยอาศัยหลักการเกิดไฟฟ้าความร้อนของเทอร์โมคัปเปิ้ล ในการวิจัยนี้ ใช้มีดตัดและโลหะงานเป็นโลหะต่างชนิดกัน 2 ชนิด โดยในการตัดโลหะผิวสัมผัสของมีดตัดและโลหะงานที่เป็นจุดต่อร้อนทำให้เกิดโวลต์เตจของไฟฟ้าความร้อนขึ้น ในการเปลี่ยนค่าโวลต์เตจของไฟฟ้าความร้อนกับอุณหภูมิที่จุดต่อร้อนของมีดตัดและโลหะงาน โดยการสร้างอุปกรณ์มาทำการคาลิเบรทโดยใช้ไมลด์สตีลและทองเหลืองเป็นโลหะงานและมีดตัดเป็นHSSเพื่อให้ได้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ผลการทดลองวิธีวัดอุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัยนี้สามารถวัดอุณหภูมิในขณะตัดโลหะได้โดยอุณหภูมิที่วัดได้เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดบนคมตัดในขณะตัดโลหะ

ไสว สุขวิทยาวงศ์ (1991) ได้ทำการวิจัยศึกษาภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุดกับชิ้นงานเป็นเหล็กAISI 1045โดยการศึกษาถึงความสึกหรอและอายุการใช้งานของมีดตัด เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการตัดต่อชิ้นงานและหลังจากนั้นได้ทำการพิจารณาภาวะการตัดที่ดีกว่าด้วยวิธีการของ optimum gradient method จนกระทั่งสามารถกำหนดสภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการตัดต่ำที่สุด จากการทดลองโดยใช้มีดตัดคาร์ไบด์ แสดงให้เห็นว่า สภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุด คือความเร็วในการตัด172เมตรต่อนาทีและอัตราการป้อนตัด 0.5146 มิลลิเมตรต่อรอบและมีดตัดคาร์ไบด์โค้ต สภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุดคือ ความเร็วในการตัด 185 เมตรต่อนาทีและอัตราการป้อนตัด 0.4994 มิลลิเมตร/รอบ