บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีงานผลิต (Production Technology) คือการใช้เครื่องมือกล ทำงานปาดผิวโลหะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โลหะขึ้นรูปจากวัตถุดิบ ในกระบวนการผลิตลักษณะนี้ต้องใช้ความรู้ทางเทคโนโลยี ความชำนาญงาน ความคิดและประสบการณ์ประกอบกัน ขอให้เข้าใจโดยแท้จริงว่างานเทคโนโลยีการผลิตเป็นกระบวนงานผลิตที่ต้องปาดผิวโลหะขึ้นรูปแปรรูปเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเครื่องมือกลที่ใช้งานผลิตต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นตามมาหรือที่เราจะต้องเกี่ยวข้องกับด้วยงานนี้ จะเป็นเครื่องจักรงานผลิตชิ้นส่วนใหญ่โลหะเพื่ออุตสาหกรรมเท่านั้น

กระบวนการผลิต (Manufacturing Process) สเกลของกระบวนงานผลิตโดยส่วนรวมหมายถึงงานผลิตที่แปรรูปขึ้นรูปโลหะ ด้วยกระบวนทั้งงานปาดโลหะและขึ้นทรงโลหะ เหตุที่แยกกระบวนงานไว้ให้ชัดเจนเป็นสองประการ ก็เพื่อให้สามารถแยกกล่าวและศึกษาว่าเป็นงานคนละประเภทให้ชัดเจนมากขึ้น งานขึ้นทรงโลหะมีลักษณะต่างๆ ได้แก่ งานหล่อ, งานรีด, งานตีเหล็ก, งานตอกดอกเจาะ, งานเชื่อม เป็นต้น ให้สังเกตงานต่างๆ ดังกล่าวไม่ต้องใช้เครื่องปาดผิวโลหะแต่อย่างใด

2.1 การกลึง

การกลึง คือ การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงาน(work piece) หมุนรอบตัวเอง โดยมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงมีสองลักษณะใหญ่คือ

1) การกลึงปาดหน้า คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดชิ้นงานไปตามแนวขวาง (across the work)

2) การกลึงปอก คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอกคืออัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work piece) และเมื่อมีกระบวนการในการกลึงปอกเกิดขึ้น ผลที่จะเกิดขึ้นตามมาก็คือ ขนาดของชิ้นงาน (Work piece Dimension) ความละเอียดของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness) เศษกลึง (Chip) การสึกหรอของมีดกลึง (Tool Wear)

2.1.1 อัตราป้อน

อัตราป้อนหมายถึง ระยะทางการเดินป้อนของมีดไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของการหมุนของเพลาของเครื่องหรือการป้อนตัด อาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด (Chips) การป้อนตัด 0.5 มม. หมายถึง มีดตัดเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.5 มม. ตามความยาวของชิ้นงานขณะที่ชิ้นงานหมุน 1 รอบ

1) การกลึงหยาบ ใช้อัตราป้อนที่สูง มีดตัดชิ้นงานได้ปริมาณเศษมากผิวงานออกมาไม่เรียบ

2) การกลึงละเอียด อัตราป้อนที่น้อย ทำให้ผิวงานเรียบ ส่วนมากจะใช้กลึงในขั้นสุดท้ายจะได้ผิวเรียบและขนาดถูกต้องในทางปฏิบัติที่ดีที่สุด

การเลือกใช้ความลึกในการตัดปานกลางขณะทำการป้อนตัดหนักๆและใช้ความเร็วตัดให้ถูกต้อง เมื่อกลึงงานหยาบ ถ้าต้องการให้กลึงงานผิวเรียบในขั้นสุดท้ายให้เพิ่มความเร็วตัดมากขึ้น การป้อนกินลึกน้อยลง พร้อมกับให้อัตราการป้อนตัดละเอียดให้สัมพันธ์กัน ในกรณีที่ใช้ความลึกในการตัดมาก และอัตราการป้อนตัดน้อยๆจะดีกว่าการใช้ความลึกในการตัดเท่ากับอัตราป้อนตัด ถึงแม้ว่าอัตราการไหลของเศษโลหะจะเท่ากัน

2.1.2 ผลกระทบของอัตราป้อนและความลึกในการตัด

อัตราป้อนตัดและความลึกในการตัดมีผลต่อแรงตัดเฉือนและอุณหภูมิในการทำงาน โดยจะเกิดแรงกระทำกับมีดกลึงและเกิดอุณหภูมิในการตัดเฉือนสูงถ้าใช้อัตราป้อนตัดและความลึกในการตัดสูงๆ นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีดกลึงเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าต้องการให้อายุการใช้งานของมีดกลึงสูงขึ้น ก็จะต้องเลือกใช้ความเร็วตัดต่ำๆ การเพิ่มอัตราการป้อนจะส่งผลให้ต้องลดค่าความเร็วตัด มากกว่าการเพิ่มความลึกในการตัด (เพื่ออายุการใช้งานของมีดคงที่) นั่นคือการเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้มีดกลึงสึกหรอได้มากกว่า การเพิ่มความลึกในการตัด ซึ่งในการพิจารณานี้จะต้องพิจารณาถึงแรงที่กระทำบนมีดกลึง ต่อความยาวสันคมตัด สำหรับในกรณีนี้เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัด ความยาวสันคมตัดที่รับแรงกระทำก็ยังคงเท่าเดิม แต่ความหนาของเศษตัดจะเพิ่มขึ้น

2.1.3 ความเร็วตัด

ความเร็วตัด (Cutting speed) คือความเร็วที่คมมีดกลึงตัด หรือปาดผิวโลหะออก เมื่อโลหะหมุนครบ 1 รอบ คมมีดกลึงก็จะตัดโลหะเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงพอดี ความเร็วตัดมีหน่วยเป็น เมตรต่อนาที หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้ คือ

1) วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting tools) ที่ทำมาจากเหล็กรอบสูง (High Speed Steel) สามารถใช้ความเร็วตัดเป็น 2 เท่า ของความเร็วตัดของมีดที่ทำมาจากวัสดุเหล็กคาร์บอน ส่วนวัสดุคมตัดที่มีส่วนผสมพิเศษออกไปสามารถใช้ความเร็วตัดได้กว่าเหล็กรอบสูง

2) ชนิดของวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน โดยทั่ว ๆไปวัสดุงานที่แข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้ากว่าวัสดุที่อ่อนกว่า

3) รูปร่างของคมตัด (Form Cutting Tool) มีผลต่อการทำงานมาก เช่น มีดตัดงานขาดจะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดกลึงปอกผิว

4) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ถ้าป้อนตัดลึกจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่าป้อนตัดตื้น

5) อัตราป้อน (Rate of Feed) ในการป้อนตัดงานหยาบ ความเร็วที่ใช้ในการตัดจะต่ำกว่า การป้อนตัดขั้นสุดท้ายจะใช้ความเร็วรอบสูง

6) การระบายความร้อน (Cutting Lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุบางชนิดอาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสารระบายความร้อนนี้จะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้ร้อนสูงเกินไปขณะทำงาน

7) การจับงานให้มั่นคงแข็งแรง (Rigidity of the Work) ในกรณีงานที่ถูกจับด้วยหัวจับ โผล่ออกมาสั้น ๆ จะใช้ความเร็วได้สูงกว่างานที่ถูกจับโผล่ออกมายาวๆ

8) ความสามารถของสภาพเครื่อง เครื่องที่แข็งแรงมีกำลังสูง สามารถใช้ความเร็วตัดได้สูง อย่างไรก็ตามอย่าใช้สูงจนคมตัดไหม้

2.1.4 กฎทั่วไปในการใช้ความเร็วตัด และอัตราป้อน

1) ถ้า Feed อัตราป้อน (มม./รอบ) เพิ่มSpeedความเร็ว(รอบต่อนาที) ต้องลดลงเมื่อความลึกของการตัดคงที่

2) ถ้า Speed ความเร็ว เพิ่ม Feed อัตราป้อน ต้องลดลง เมื่อความลึกของการตัดคงที่

3) ถ้าความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น Speed ต้องลดลงเมื่อ Feed คงที่

2.1.5 ผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง (Effect of Cutting Speed)

ในการตัดเฉือนชิ้นงาน ถ้าใช้ความเร็วตัดที่ไม่เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขของงานซึ่งได้แก่ วัสดุงาน วัสดุมีด ขนาดของชิ้นงาน ฯลฯ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานเพิ่มขึ้นได้ เช่นถ้า

ใช้ความเร็วตัดสูงเกินไปก็จะทำให้มีดกลึงสึกหรอได้เร็วกว่าปกติ นั่นก็คืออายุการใช้งานของมีดกลึงสั้นลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะต้องลับมีดบ่อยๆ ทำให้เสียเวลาในการทำงาน คือเสียเวลาในการลับมีด และเสียเวลาในการติดตั้งมีดใหม่อีกด้วย ซึ่งเป็นการลดความสามรถ และจำนวนผลิตชิ้นงาน เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำงานโดยใช่เหตุ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอายุการใช้งานของมีดกลึงนั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่ใช้ความเร็วตัดต่ำ ๆ การสึกหรอของมีดจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจากการเสียดสี ระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นความร้อนระหว่างผิวมีดกลึงกับชิ้นงาน และเศษตัดจะเกิดมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอที่บริเวณผิวของมีดกลึงกับชิ้นงานที่เสียดสีกัน ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงสั้น โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัด และอายุการใช้งานของมีดกลึงได้โดยสมการของ Taylor

2.1.6 ความลึกในการตัด

ความลึกในการตัด (Depth of cut) ทำให้เศษโลหะไหลออกมา ทุกครั้งที่ทำการกลึงหยาบ ในการตั้งความลึกในการตัด และอัตราการป้อนตัด จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับได้ของมีดตัด และเครื่องที่จะทนได้หลักเกณฑ์การพิจารณาเลือกใช้ความลึกในการตัดสำหรับงานปกติทั่วไปควรพิจารณาดังนี้

1) ขนาดความโตของชิ้นงานก่อนทำการตัดเฉือน (โตกว่าขนาดงานสำเร็จ) ควรจะโตกว่าประมาณ 3.18 มม.

2) ถ้าคำนวณความเร็วรอบอยู่ในช่วงกลางของค่าสองค่า ให้เลือกใช้ความเร็วรอบในขั้นต่ำ ถ้าหากสภาพของเครื่อง มีดกลึง และชิ้นงานเหมาะสม อาจจะเลือกใช้ความเร็วรอบในขั้นสูงได้ แต่ถ้าความเร็วรอบที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าในช่วงสูง ให้เลือกความเร็วรอบในช่วงสูงได้

3) ความลึกในการกลึงหยาบควรป้อนลึกและหยาบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เหลือไว้ประมาณ 0.76 มม.สำหรับขนาดความโตของชิ้นงาน ก่อนจะกลึงผิวสุดท้าย

4) ในการกลึงเหล็กหล่อ หรือโลหะอื่นๆซึ่งผิวรอบๆชิ้นงานจะเป็นสะเก็ดความลึกในการกลึงครั้งแรก การป้อนมีดกินลึกจะต้องให้คมตัดของมีดกลึงตัดให้ลึกพอ ที่จะให้ส่วนผิวเปลือกแข็งหลุดออกไปให้หมด เพราะผิวเปลือกแข็งนี้จะทำให้มีดสึกหรอเร็ว

2.2 มีดกลึง

มีดกลึง (Cutting Tool) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปร่างต่างๆ ในขบวนการกลึง การดำเนินการผลิตในปัจจุบันนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีเครื่องมือกลเข้าช่วยในกระบวนการต่างๆเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาในด้านของเครื่องมือและวัสดุในการผลิตเครื่องมือขึ้นมาเป็นลำดับ โดยวัสดุที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตใดๆ คือวัสดุที่ใช้ในการตัดปาดชิ้นงานได้ผลถูกต้องในราคาต่ำสุดเท่าที่ทำได้ ซึ่งคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับวัสดุเครื่องมือกลใดๆ ได้แก่ ความสามารถในการต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง ความมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ความต้านทานต่อการขัดสีและความเหนียวแน่นซึ่งเพียงพอที่จะต้านทานต่อการแตกร้าวได้ ชุดเครื่องมือตัดใดๆอาจทำขึ้นได้จากวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดสำหรับวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น ในการกลึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด จำต้องใช้อัตราการตัดของเครื่องมือแตกต่างกันไปตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการ ซึ่งไม่จำเป็นที่เครื่องมือตัดต้องทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน อันอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อทั้งชิ้นงานและตัวเครื่องมือตัดเองวัสดุหลักที่ใช้ในการทำเครื่องมือตัดอาจกล่าวได้ดังนี้

2.2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง

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

2.2.2 เหล็กกล้าความเร็วสูง

เหล็กกล้าความเร็วสูงหรือเหล็กรอบสูง (High Speed Steel : HSS) จะมีส่วนประกอบของโลหะผสมสูง มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถรักษาสภาพของคมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิประมาณ 650 องศา ซึ่งสภาพนี้เป็นคุณสมบัติในด้านความต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงหรือความแข็งขณะร้อนแดง (red hardness) อันเป็นคุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุดในเครื่องมือตัดต่างๆ โดยเหล็กกล้าทำเครื่องมือตัดชนิดแรกที่มีคุณสมบัติดังกล่าถูกพัฒนาขึ้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

โดย Frederick W. Taylor และ M. White ในปี ค.ศ. 1900 ซึ่งทำโดยการเติมทังสะเตน (tungsten) 18% และโครเมี่ยม 5.5% ลงเป็นธาตุผสมในเหล็กกล้า ส่วนผสมนี้สืบทอดมาจนถึงปัจจุบันโดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากธาตุผสมข้างต้นแล้ว ธาตุอื่นที่ใช้กันโดยปกติได้แก่ วานาเดียม โมลิบดินั่มหรือพลวงและคาร์บอน อนึ่งแม้ว่าเหล็กกล้าความเร็วสูงมีส่วนผสมแปรเปลี่ยนไปได้มากแต่อาจจัดกลุ่มออกได้เป็น3กลุ่ม คือ

1) เหล็กกล้าความเร็วสูง 18–4–1 เหล็กกล้าชนิดนี้ประกอบด้วยทังสเตน 18% โครเมี่ยม 4% และวานาเดียม 1% จัดได้ว่าเป็นเหล็กกล้าที่ใช้ทำเครื่องมือได้เอนกประสงค์ที่ดีที่สุดตัวหนึ่ง

2) เหล็กกล้าความเร็วสูงจากพลวง (Molybdenum High – Speed Steel) เหล็กกล้าความเร็วสูงจำนวนมากจะใช้พลวงเป็นธาตุผสมหลัก เนื่องจากหนึ่งส่วนผสมของมันจะใช้แทนทังสเตนได้ถึงสองส่วนเหล็กกล้าความเร็วสูงจากพลวง 6-6-4-2 ประกอบด้วยทังสเตน6% พลวง6% โครเมี่ยม 4% และวานาเดียม 2% มีคุณสมบัติในด้านความเหนียวแน่นและความสามารถในการตัดที่ดีเยี่ยม

3) เหล็กกล้าความเร็วสูงพิเศษ เป็นเหล็กกกล้ารอบสูงที่มีการเติมโคบอลต์ลงไปในช่วง 2%–5% เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง ตัวอย่างในส่วนผสมหนึ่งในเหล็กกล้าชนิดนี้ ได้แก่ ส่วนธาตุผสมที่ประกอบด้วยทังสเตน 20% โครเมี่ยม 4% วานาเดียม 2% และโคบอลต์ 12% ซึ่งจะใช้เฉพาะการตัดขนาดหนักที่จะต้องต้านทานกับแรงดันและอุณหภูมิสูงเนื่องจากราคาของวัสดุนี้จัดว่าสูงมาก

2.2.3 โลหะผสมหล่อนอกกลุ่มเหล็ก (Cast Nonferrous Alloy)

โลหะผสมนอกกลุ่มเหล็กจำนวนมากประกอบด้วยส่วนผสมหลักคือ โครเมี่ยม โคบอลต์ และทังสเตนกับธาตุผสมในปริมาณน้อยกว่าตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปที่มีการสร้างรูปแบบคาร์ไบด์ เช่นแทนทาลัม(Tantalum) พลวงหรือโบรอน (Boron) ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมเป็นพิเศษสำหรับทำเครื่องมือตัด เมื่อหล่อให้เข้ารูปแล้ววัสดุจะมีความแข็งขณะร้อนแดง และสามารถรักษามุมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิ 925 องศา เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าความเร็วสูงมันจะสามารถใช้ได้ที่อัตราเร็วตัดสูงกว่าถึง 2 เท่าที่อัตราการป้อนเดียวกัน อย่างไรก็ตามโลหะผสมนี้จะมีความเปราะมากกว่า ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธีทางความร้อนและทำการตัดปาดได้ด้วยการเจียรนัยเพียงวิธีเดียวเท่านั้น เครื่องมือตัดที่มีรูปร่างซับซ้อนสามารถขึ้นรูปได้โดยการหล่อในแม่แบบเซรามิคส์ หรือโลหะแล้วทำผิวสำเร็จโดยการเจียรนัย คุณสมบัติของชิ้นงานภายหลังการหล่อจะแปรไปตามระดับของการ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 8 ม.ย. 2554
เลขทะเบียน 242237
เลขเรียกหนังสือ

หล่อเย็นที่เนื้อวัสดุได้รับในระหว่างการหล่อ ซึ่งส่วนผสมของเนื้อวัสดุเหล่านี้จะอยู่ในช่วงของทังสเตน 12%–25% โคลอบต์ 40%–50% และโครเมี่ยม 15%–35% ร่วมกับธาตุที่ทำให้เกิดการก่อตัวของคาร์ไบด์ เช่น คาร์บอนในช่วง 1% –4% โดยสมบัติที่ได้จากส่วนผสมเหล่านี้คือ มีความต้านทานต่อการเกิดแอ่งและความต้านทานต่อการกระแทก ส่วนในด้านของประสิทธิภาพในการตัดนั้นจะอยู่ระหว่างเหล็กกล้าความเร็วสูงและเหล็กกล้าคาร์ไบด์

2.2.4 คาร์ไบด์ (Carbide)

มีดเล็บคาร์ไบด์ (Carbide cutting tool) ทำขึ้นได้โดยการทางโลหะผงเท่านั้นโดยผงโลหะของทังสเตนคาร์ไบด์และโคบอลต์จะถูกอัดให้มีรูปร่างตามต้องการแล้วนำเข้าสู่กระบวนการกึ่งยึดเหนี่ยวในเตาซึ่งมีบรรยากาศของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1550 องศา จากนั้นจึงทำผิวสำเร็จโดยการเจียรนัย เครื่องมือคาร์ไบด์นี้มีส่วนผสมของทังสเตนคาร์ไบด์ประมาณ 94 % และโคบอลต์ 6 % เหมาะสมกับการตัดปาดเหล็กหล่อและวัสดุอื่น ๆ จำนวนมากยกเว้นเหล็กกล้า เนื่องจากเศษตัดจะยึดติดหรือเชื่อมตัวเข้ากับผิวหน้าคาร์ไบด์และผังตัวลงในเครื่องมือตัดอย่างเร็ว อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องนี้อาจแก้ไขได้โดยการเติมไททาเนียมและแทนทาลัมคาร์ไบด์ เข้าผสมพร้องกันกับเพิ่มปริมาณของโคบอลต์ ซึ่งในเครื่องมือตัดของคาร์ไบด์ที่เหมาะแก่การปฏิบัติสำหรับเหล็กล้าจะประกอบไปด้วย ทังสเตนคาร์ไบด์ 82% ไททาเนี่ยมคาร์ไบด์ 10% และโคบอลต์ 8% ส่วนผสมนี้จะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเป็นผลให้มีแนวโน้มการสึกหรอที่ด้านบนหรือความเป็นแอ่งลดน้อยลง เนื่องจากการแปรเปลี่ยนส่วนประกอบจะทำให้คาร์ไบด์มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไป โดยคาร์ไบด์ระดับคุณภาพต่างๆสามารถหาซื้อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติการทั่วไป

คาร์ไบด์จะสามารถคงตัวไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1200 องศา ดังนั้นความแข็งขณะร้อนแดงของวัสดุนี้จึงมีเหนือว่าวัสดุโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุจากการสังเคราะห์ที่แข็งที่สุดเท่าที่ผลิตขึ้นได้และยังมีความแข็งแรงทางด้านแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามมันมีข้อเสียในด้านที่มีความเปราะสูง มีความต้านทานต่อการกระทบกระแทกต่ำและต้องการฐานรองรับอย่างมั่นคงแข็งแรงเพื่อป้องกันการแตกร้าว ทั้งยังทำการเจียรนัยได้อย่างลำบากเฉพาะกับล้อขัดซิลิกอนคาร์ไบด์หรือเพชรเท่านั้นโดยจะต้องรักษามุมห่าง (Clearance Angle) ไว้ให้ต่ำที่สุด เครื่องมือตัดคาร์ไบด์จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็ว 2 – 3 เท่า ของเครื่องมือตัดจากโลหะผสมหล่อแต่ในอัตราการป้อนที่น้อยกว่ามาก ในแง่เศรษฐกิจแล้วจึงควรนำเครื่องมือคาร์ไบด์มาใช้ให้มากที่สุด โดยเครื่องจักรสำหรับเครื่องมือคาร์ไบด์จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง มีกำลังพอเพียงและมีช่วงของการป้อนและอัตราเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับวัสดุต่าง ๆ

ทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีความละเอียดของเกรนสูง (Micro grain carbide) จะมีความแข็งและความแข็งแรงสูงเป็นอย่างยิ่ง ใช้งานในที่ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตัดคาร์ไบลด์ปกติเนื่องจากอัตราเร็วตัดที่ใช้มีค่าต่ำจนเกินไปและในกรณีซึ่งเครื่องมือตัดโดยทั่วไปไม่สามารถท่านต่อการสึกหรอได้ รวมทั้งปฏิบัติการขึ้นรูปหรือการตัดขาดเครื่องมือคาร์ไบด์อาจเคลือบด้วยชั้นตัวประสาน (Bonded Layer) ที่ขนาดความหนา 0.05-0.08 ม.ม. ของไททาเนี่ยมคาร์ไบด์ อลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide) หรือไทนาเนี่ยมไนไตรด์ (Titanium Nitride) เพื่อลดความร้อนจากการวิ่งผ่านของเศษตัดบนเครื่องมือและการแพร่ซึมหรือการยึดติดของเศษตัดรวมทั้งป้องกันการเกิดแอ่งจากการสึกหรอโดยเครื่องมือที่เคลือบด้วยอลูมินัมออกไซด์จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็วใกล้เคียงกัน 2 เท่าของอัตราเร็วที่ได้จากการเคลือบด้วยสารอื่น อย่างไรก็ดีเครื่องมือตัดที่มีการเคลือบนี้ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีสะเก็ดมากหรือมีทรายเจือปนอยู่

2.2.5 เพชร

เพชร (Diamond) ใช้เป็นเครื่องมือตัดคมเดี่ยวสำหรับการตัดขนาดเบาะที่อัตราเร็วสูง ซึ่งต้องมีการรองรับอย่างมั่นคงแข็งแรงเนื่องจากวัสดุเพชรมีความแข็งและเปราะสูงมากเป็นพิเศษ รูปแบบของการใช้งานคือ ใช้ในการตัดปาดวัสดุที่มีความแข็งจนยากต่อการปฏิบัติการด้วยเครื่องมืออื่น ๆ ทั้งยังต้องการความแม่นยำและผิวสำเร็จที่ดีเยี่ยมหรือใช้ในการตัดขนาดเบาที่ความเร็วสูงสำหรับวัสดุอ่อนกว่า เช่น การตัดปาดพลาสติก ยางแข็ง คาร์บอนอัดและอลูมินัมที่อัตราเร็วตัด 5-25 เมตรต่อวินาที รวมทั้งสามารถใช้ในการตบแต่งล้อหินเจียรนัย แม่แบบดึงลวดขนาดเล็ก การเจียรนัยและการขัดถูจำเพาะอย่าง

2.2.6 เซรามิค

เซรามิค (Ceramic) เป็นส่วนผสมของผงอลูมินัมออกไซด์และสารตัวเติมจำพวก ไททาเนียม แมกนีเซียม หรือโครเมี่ยมออกไซด์ (Chromium Oxide) รวมตัวประสานที่นำผ่านเข้าขบวนการทำมีดเล็ก (Cutting Tool Insert) ตัวมีดเล็บที่ได้อาจยึดเข้ากับฐานมีดได้ทั้งโดยการใช้ตัวบีบจับ (Clamp) หรือการใช้อีพอกซีเรซิ่น (Epoxy Resin) โดยสมบัติของมีดเล็บคือมีความแข็งแรงในด้านการรับแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่งแต่ค่อนข้างเปราะ ดังนั้นมีดเล็บจึงต้องมีค่ามุมคายเป็นลบในช่วง 5-7 องศา เพื่อความแข็งแรงเช่นเดียวกับฐานการรองรับซึ่งต้องทำอย่างแน่นหนาเครื่องมือตัดซิลิกอนไนไตรด์ (Silicon Nitride) ซึ่งมีชื่อรหัสเป็น S-8 จะใช้ในการตัดปาดเหล็กหล่อวัสดุจาก

เซรามิคชนิดนี้มีอายุการใช้งานถึง 1,500 ชิ้นงานเหล็กหล่อในขณะที่เครื่องมือทังสเตนคาร์ไบด์เคลือบผิวมีอายุงานเพียง 250 ชิ้นงาน

2.3 น้ำมันหล่อเย็น

หน้าที่ของน้ำมันหล่อเย็น ในขบวนการตัดวัสดุไม่ว่าจะเป็นโลหะเช่น เหล็กคาร์บอนต่ำเหล็กไร้สนิม หรือโลหะ เช่น เซรามิค แก้ว เป็นต้น จุดประสงค์ที่สำคัญคือ ชิ้นงานที่ถูกต้องทั้งขนาดและความเรียบของชิ้นงานนั้น ชนิดของเครื่องจักร ชนิดของชิ้นงาน ความเร็วในการตัดชนิดของคมเครื่องมือ จนกระทั่งน้ำมันหล่อมันหล่อเย็นที่ใช้ล้วนแต่มีผลกระทบ และมีหน้าที่แตกต่างกันไปการระบายความร้อนและการหล่อลื่น คือหัวใจของหน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งจะสำคัญมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและชิ้นงานนั้นๆ หน้าที่ของน้ำมันหล่อเย็นมีดังนี้

1) ระบายความร้อนชิ้นงาน
2) มีประสิทธิภาพการหล่อลื่นสูง
3) ชะพาเศษโลหะออกจากชิ้นงาน
4) ทนต่อแรงเสียดทาน
5) ต้านทานกานเสื่อมสภาพ
6) ต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ
7) ป้องกันการเกิดสนิม
8) รวมตัวกับน้ำได้
9) ไม่เกิดฟองระหว่างใช้งาน
10) มีประสิทธิภาพในแทรกซึม
11) สามารถล้างออกได้
12) ไม่ติดไฟ หรือทำให้ไฟติด
13) ไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุอื่น
14) ไม่มีกลิ่นหรือกลิ่นน้อย
15) ไม่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
16) สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
17) ไม่ระคายเคืองผิวหนัง

2.3.1 ประเภทของน้ำมันหล่อเย็นงานแปรรูปโลหะ

น้ำมันหล่อเย็นงานแปรรูปโลหะ จำแนกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดน้ำมันล้วน (ไม่ผสมน้ำ) และชนิดผสมน้ำแต่ละชนิดใช้ประโยชน์ต่างกัน ดังต่อไปนี้

1) น้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันล้วน (Neat Cutting Oils) น้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันล้วน คือน้ำมันหล่อเย็นสำหรับงานแปรรูปโลหะที่ผสมสำเร็จ สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องละลายน้ำหรือทำให้เจือจางมีส่วนประกอบสำคัญดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญของน้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันล้วน

1.สารหล่อลื่น (Boundary Lubricant)	กรดและไขมันช่วยในการลดแรงเสียดทานบนผิวโลหะในรูปของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น
2.สารรับแรงกด (EP Additive)	สารคลอไรด์และสรกำมันมะถัน ในรูปของสารประกอบต่างๆ ช่วยในการสร้างฟิล์มเคมีขึ้นที่ผิวของโลหะ โดยพันธ์กับอุณหภูมิที่สูงขึ้นในบริเวณของการสัมผัส
3.สารต้านทานการสึกหล่อ (Anti-wear Additive)	ฟอสเฟตเอสเตอร์หรือสารประกอบของมัน เป็นส่วนเพิ่มประสิทธิภาพของสารกับแรงกด
4.สารต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจน (Anti-oxidants)	สารต้านทานการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน ช่วยป้องกันการเกิดเมือกเหนียว (Sludge) การเปลี่ยน แปลงความหนืด และการเกิดสภาพความเป็นกรดของน้ำมัน
5.สารต้านทานการกัดกร่อน (Anti-Additive)	สารซัลโฟเนตต่าง ๆ ใช้เพื่อป้องกันสนิมของชิ้นงานและเครื่องจักร
6.สารต้านทานการกัดกร่อน (Anti-corrosion Additive)	เพื่อเพิ่มสารเกาะติดของโมเลกุล ซึ่งจะช่วยลดละอองน้ำมัน
7.สารละลายน้ำ(Washable Agents)	เพื่อคุณสมบัติการล้างออกด้วยน้ำให้กับน้ำมันล้วนได้ถ้าต้องการ

น้ำมันหล่อเย็นชนิดน้ำมันล้วน บางครั้งแบ่งตามปฏิกิริยาต่อโลหะอ่อนที่มีส่วนผสมของทองแดงเป็น 2 ประเภท คือ ชนิดที่ทำปฏิกิริยากับโลหะทองแดงทำให้ทองแดงเปลี่ยนสี (Active) และชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยาต่อโลหะทองแดง

2) น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ (Emulsifiable หรือ Water Soluble Oil) น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ ประกอบด้วยน้ำแร่ ตั้งแต่ 0.95% และสารตัวทำลาย (Emulsifier) และเซอร์แฟคแตนส์ (Surfactant) เพื่อที่ทำให้อนุภาคของน้ำมันสามารถที่จะลอยตัวอยู่ในน้ำได้ เมื่อทั้งหมดผสมในน้ำ สารตัวทำละลายเป็นตัวแปรที่กำหนดชนิดและคุณสมบัติของน้ำมันหล่อเย็นนั้นๆ หน้าที่หลักคือการลดแรงดึงผิวของอนุภาคน้ำมันเมื่อลอยตัวในน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดฟิล์มน้ำมันอย่างมีเสถียรภาพ โดยไม่ทำให้เกิดการแยกหรือรวมตัวของน้ำมันออกเป็นอนุภาคอิสระมีส่วนประกอบด้วยตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของน้ำมันหล่อเย็นชนิดหล่อเย็น

1.สารหล่อลื่น (Lubricity Additives)	เพื่อหล่อลื่นและลดความร้อน บริเวณตัดเฉือนชิ้นงาน
2.สารต้านทานการสึกหรอ (Anti-Wear-Additive)	เพื่อลดการหลอมตัวของผิวสัมผัส
3.สารต้านทานการสัมผัส (EP Additive)	เพื่อลดความร้อนและการหลอมตัว โดยการสร้างฟิล์มเคลือบผิวของโลหะขึ้น
4.สารต้านทานการสึกกร่อน (Corrosion Inhibitors)	เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของชิ้นงานและเครื่องจักร รวมทั้งชิ้นส่วนทองแดงทองเหลือง
5.สารตัวทำละลาย (Emulsifiers)	เพื่อทำให้อนุภาคของน้ำมันลอยตัวอยู่ในน้ำอย่างมีเสถียรภาพ
6.สารตัวทานการตึงผิว (Surface Active Agent)	เพิ่มประสิทธิภาพการแทรกซึม และทำให้สารทั้งหมดสามารถรวมตัวเข้ากันได้ดี
7.สารต้านทานการเกิดฟอง (Anti-foam)	สารลดการเกิดฟองอากาศ
8.สารต้านทานแบคทีเรีย (Bacteriostare)	เพื่อลดการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา
9.สารแต่งกลิ่น (Deodorant)	แต่งกลิ่น ไม่ให้กลิ่นเหม็น

2.3.2 การเก็บรักษาน้ำมันหล่อเย็น

วิธีเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ดีที่สุดคือ เก็บไว้ในโรงเก็บที่สามารถป้องกันแดดและฝน โดยโรงเก็บจะต้องมีที่ระบายอากาศที่ดี ไม่ร้อนอบอ้าวจนเกินไปซึ่งสาเหตุทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพ

2.3.3 อันตรายจากน้ำมันหล่อเย็นสัมผัสผิวหนังหรือร่างกาย

โดยปกติผิวหนังของมนุษย์จะมีไขมันตามธรรมชาติเคลือบอยู่ เพื่อเป็นเกราะป้องกันเชื่อโรคมิให้เข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้โดยง่าย ผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตเลียมมีอำนาจในการละลาย ชะล้างไขมันธรรมชาติออกจากผิวหนัง เมื่อสัมผัสหรือล้างด้วยน้ำมันปิโตเลียม จะทำให้ผิวหนังมีความต้านทานการแพ้น้อยลง น้ำมันปิโตเลียมเบา เช่น น้ำมันเบนซินและน้ำมันก๊าดมีอำนาจการละลายการชะล้างที่รุนแรงกว่าแต่น้ำมันปิโตเลียมหนักปานกลาง เช่น น้ำมันโซ่ล่าและน้ำมันขี้โล้ ตลอดจนน้ำมันปิโตเลียมหนัก เช่นน้ำมันเตา สารเพิ่มคุณภาพที่เป็นอันตรายต่อผิวหนังได้เช่นกัน ดังนั้นเมื่อผิวหนังสัมผัสน้ำมันปิโตเลียมอาจมีอาการต่างๆ ได้ เช่น ระคายเคือง เป็นผื่นแดง ผิวหนังแตก หรือเป็นมะเร็งผิวหนัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการสัมผัส ชนิดของน้ำมันที่สัมผัสและสภาพของผิวหนังว่าไวต่อการแพ้เพียงไร

2.3.4 ข้อแนะนำสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

1) เครื่องจักรกลต่างๆ ควรมีอุปกรณ์ป้องกันติดตั้งไว้ เพื่อป้องกันมิให้มีน้ำมันกระเซ็นสัมผัสกับช่างที่ปฏิบัติงานอยู่ หากยังมีการกระเซ็นหรือมีหมอกน้ำมันเกิดขึ้น ควรมีอุปกรณ์ป้องกันสำหรับพนักงานเช่น แว่นตา ที่สวมปิดจมูก แลผ้ายางกันเปื้อน

2) ควรมีที่สำหรับให้พนักงานได้ล้างทำความสะอาดร่างกายได้สะดวก พร้อมทั้งสบู่สำหรับชำระล้าง ไม่ควรใช้ผงซักฟอก

3) หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับน้ำมันปิโตรเลียมบ่อยๆ หรือ นานๆ หากไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ให้ทาครีมป้องกัน (Barrier Cream) ก่อนลงมือปฏิบัติงาน และล้างด้วยสบู่ทันทีเมื่อเสร็จงาน

4) ไม่ควรล้างมือด้วยน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด หรือน้ำมันโซ่ล่า ควรใช้สบู่ในการชำระล้าง

5) ระวังเสื้อผ้า ถุงมือ ถุงเท้า และรองเท้า มิให้ให้เปียกน้ำมัน และเมื่อเปียกต้องเปลี่ยนทันที ไม่ควรใส่เสื้อผ้า ถุงมือ ถุงเท้า และรองเท้า ที่เปียกน้ำมัน

6) ผ้าเช็ดมือที่ขึ้นด้วยน้ำมันไม่ควรเก็บไวในกระเป๋า

7) หลีกเลี่ยงการสูดดมไอน้ำมัน

8) หลีกเลี่ยงการดูดน้ำมันด้วยสายยางโดยใช้ปากดูด

2.3.5 การเลือกใช้น้ำมันหล่อเย็น

การเลือกใช้น้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสมกับงาน มีหลักเกณฑ์ตามตารางด้านล่าง โดยที่ลักษณะการทำงาน เช่น ลักษณะงาน และชนิดของวัสดุงานเป็นตัวแปรที่สำคัญ ตารางเลือกน้ำมัน

หล่อเย็นทั้งชนิดผสมน้ำและชนิดน้ำมันล้วน จะช่วยให้สามารถเลือกน้ำมันหล่อเย็นได้เหมาะสมง่ายขึ้น มีหลักเกณฑ์การเลือกซื้อน้ำมันหล่อเย็น ดังนี้

1) การใช้งาน, ลักษณะงาน, ความเร็ว, อัตราการป้อน, ความสึกหรอ และวิธีใช้น้ำมันหล่อเย็น

2) ชนิดและขนาดชิ้นงาน

3) ชนิดวัสดุคมมีดและมุมคมมีด

4) ชนิดเครื่องจักรและความเหมาะสมของเครื่องจักรการต้อการของผู้ใช้งาน

5) ความปลอดภัย

6) สิ่งแวดล้อม

7) ต้นทุน

2.3.6 การใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำและชนิดน้ำมันล้วน

ส่วนมากจะนิยมใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ และผู้ใช้มักไม่ให้ความสำคัญเท่าที่ควร ทั้ง ๆ ที่การใช้น้ำที่ไม่ได้คุณภาพจะทำให้เกิดผลเสียอย่างมาก และทำให้น้ำมันชนิดผสมน้ำใช้ไม่ได้คุณภาพอย่างที่ควรจะเป็นด้วย การใช้น้ำมันที่มีการปนเปื้อนของครอไรด์หรือกำมะถัน จะทำให้คุณสมบัติการป้องกันสนิมลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง การใช้น้ำ DI (Deionizer water) จะทำให้น้ำมันผสมน้ำ สามารถละลายในน้ำและมีการอยู่ตัวในน้ำได้ดี แต่อาจทำให้เกิดฟองได้ง่าย โดยเฉพาะการใช้งานที่มีแรงฉีดน้ำมันสูง น้ำที่มีความกระด้างสูงจะทำให้เกิดคราบสบู่ลอยบนผิวหน้า (Scum) และการแยกชั้นของน้ำมันออกจากน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมคุณภาพให้เหมาะสม และการเติมสารบางชนิด เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้เหาะสมอาจเป็นสิ่งที่จำเป็นตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติเหมาะสมของน้ำผสมน้ำมันหล่อเย็น

- ลักษณะทางกายภาพของน้ำ	ใสไม่มีกลิ่น
- รสของน้ำ	จืด ไม่มีรส
- ค่าความเร็วกรด ด่าง	6 – 7.5
- ค่าความกระด้าง	0 – 350 mg/
- ปริมาณ	< 30 ppm
- การปนเปื้อนผงซักฟอก	ไม่มี
- ปริมาณแบคทีเรีย หรือเชื้อรา	< 100 ml

การล้างเปลี่ยนน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ การล้างเปลี่ยนน้ำมันหล่อเย็น เป็นขั้นตอนที่มีการให้ความสนใจน้อยที่สุด และไม่ว่าจะล้างเปลี่ยนด้วยสาเหตุใดก็ตาม เช่น เปลี่ยนล้างเพราะการเกิดการเหม็นเน่า หรือล้างเพื่อเปลี่ยนการบำรุงรักษาเครื่องในขณะที่น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ยังอยู่ในสภาพดี การล้างเปลี่ยนที่ถูกต้อง คือ การทำความสะอาดให้ปราศจากสิ่งเจือปนเพื่อให้น้ำมันหล่อเย็นที่จะเติมลงไปสามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ โดยทั่วไปการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันที่มันเก่าออกแล้วเติมน้ำมันลงไป จะไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียและเชื้อราออกไปจากระบบน้ำมันหล่อเย็นได้ แต่ยังทำให้อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็นที่ผสมใหม่สั้นลงด้วย ดังนั้น การเปลี่ยนที่ถูกวิธีเป็นสิ่งที่ควรทำให้คุ้มค่าและเวลาที่เสียไป มากกว่าการเปลี่ยนถ่ายเพียงอย่างเดียว

2.3.7 ขั้นตอนการล้างเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น

1) ตรวจสภาพน้ำมันหล่อเย็น การเจือปนของแบคทีเรีย กลิ่น สี และสภาพการเจือปนของสารอื่นๆ

2) เติมน้ำยาล้างเครื่องประมาณ 2% ลงในน้ำมันหล่อเย็นที่กำลังทำงาน และใช้งานหรือเดินระบบให้หมุนเวียนให้ทั่วอย่างน้อย 6 ชั่วโมง (ดูคำแนะนำการใช้งานของน้ำยาล้างเครื่องประกอบ)

3) ถ่ายน้ำมันหล่อเย็นทิ้ง และทำความสะอาดเครื่องด้วยผ้าหรือแปรง

4) เติมน้ำมันหล่อเย็นผสมเพื่อการใช้งานด้วยอัตราส่วนที่ถูกต้อง

2.3.8 การผสมน้ำมันหล่อเย็น

1) กำหนดอัตราส่วนที่ต้องการใช้งาน

2) กำหนดปริมาณของน้ำสะอาดทั้งหมดที่ต้องการใช้แล้วเติมลงในเครื่อง

3) คำนวณปริมาณของน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำที่ต้องใช้

4) ค่อยๆ เทน้ำมันหล่อเย็นลงในน้ำอย่างช้าๆ และสังเกตว่า น้ำมันหล่อเย็นรวมตัวกับน้ำได้อย่างสมบูรณ์

5) ตรวจอัตราส่วนผสมด้วยกล้องรีแฟลก โดมิเตอร์ทุกครั้งหลังจากผสมเข้ากันดีแล้ว และควรตรวจอย่างสม่ำเสมอ

2.3.9 การดูและปัญหาในขณะใช้งานน้ำมันหล่อเย็น

1) น้ำมันปนเปื้อน (Tramp Oil) คือน้ำมันอื่น ๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่น้ำที่ไม่ใช่น้ำที่ปะปนเข้าไปในระบบน้ำมันหล่อเย็น อาจโดยการรั่วของระบบน้ำมันหล่อลื่น หรือโดยการชะล้างคราบ

น้ำมันต่าง ๆ ใน เครื่องหรือชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันติดอยู่ของน้ำมันหล่อเย็น หรืออื่น ๆ ที่ทำใหม่เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อเย็น ผลกระทบจากน้ำมันปนเปื้อน

2) อัตราส่วนการรวมตัวของน้ำมันผสมกับน้ำไม่ถูกต้อง

3) แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี

4) ระบบการไหลของน้ำมันหล่อเย็นติดขัน

5) เกิดสนิมที่เครื่องจักร และอาจเกิดที่ชิ้นงาน

6) มีกลิ่นเหม็น เนื่องจากแบคทีเรีย

7) คุณภาพความเรียบของชิ้นงานลดลง

8) สูญเสียประสิทธิภาพการผลิต เนื่องจากต้องหยุดเครื่องเพื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน

9) ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

แบคทีเรียและเชื้อรา น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ มีโอกาสที่จะพบกับเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราอยู่ตลอดเวลา มีเชื้อเหล่านี้อยู่ในโลกมากมายหลายชนิดแต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ที่พบน้ำมันหล่อต่อมนุษย์โดยกว้าง ๆ สามารถแบ่งแบคทีเรียได้ 2 ชนิด คือแบคทีเรียได้ 2 ชนิด คือ แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการเพิ่มจำนวน และที่ไม่ต้องใช้ออกเจนซิเจน ซึ่งแบคทีเรียชนิดหลังจะใช้ในโตรเจน หรือกำมะถัน และเป็นตัวการที่ทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นขึ้นโดยเฉพาะเมื่อระบบมีออกซิเจนอย่างน้อย นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถมีชีวิตอยู่ในน้ำมัน โดยเฉพาะในสภาพที่เป็นคราบลดน้ำมันลอยบนน้ำและเป็นชนิดที่ตายอยากมาก

2.3.10 ข้อควรจำ

เมื่อน้ำมันมีโอกาสสัมผัสกับร่างกายและเกิดอาการระคายเคือง ให้รีบล้างด้วยสบู่ไม่ควรล้างด้วยผงซักฟอก ซึ่งมีความเป็นด่างสูงเพราะจะยิ่งชะล้างไขมันธรรมชาติออกไปอีก อาจชโลมด้วยยาน้ำคาลาไมน์เพื่อลดอาการรุนแรง อาจต้องผายปอดหรือให้ออกซิเจน ถ้าไม่ดีขึ้นให้ไปพบแพทย์ทันที

2.3.11 ผลกระทบแบททีเรียและเชื้อรา

1) ตัวทำลายเมื่อเปลี่ยนประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันกับน้ำ

2) สีของน้ำมันกับน้ำเปลี่ยน

3) ค่าความเป็นกรด ด่างลดลง

4) ประสิทธิภาพของการป้องกันสนิมลดลง

5) เกิดกลิ่นเน่าเหม็น

6) เกิดการอุดตันของระบบฉีดน้ำมันหล่อเย็น

7) อาจเกิดผลกระทบต้านความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน

8) ประสิทธิภาพการหล่อลื่นและการรับแรงกดลดลง

9) ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

10) ประสิทธิภาพการผลิตลดลงต่ำ

2.3.12 วิธีการควบคุมแบททีเรียและเชื้อรา

1) ใช้น้ำสะอาดและอุปกรณ์ที่สะอาดเมื่อใต้องการผสมน้ำมันหล่อเย็น

2) กำจัดเศษโลหะ น้ำมันลอยหน้า และคราบสกปรกต่างๆ อยู่สม่ำเสมอ

3) อย่านำสิ่งสกปรกที่เน่าเสียได้ปะปนลงในระบบทุกครั้ง

4) ใช้น้ำมันหล่อเย็นที่มีการควบคุมแบททีเรียและเชื้อรา

5) ควันและการเกิดความร้อนสูง การเกิดความร้อนสูง หรือควันในขณะใช้งานน้ำมันหล่อเย็น อาจเกิดจากการปาดเฉือนชิ้นงานเกินกำลังของคมเครื่องมือหรือของเครื่อง(Overloading)

6) น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ไม่เหมาะสม

7) อัตราการไหลของน้ำมันหล่อเย็นไม่เพียงพอ

8) ระดับน้ำมันหล่อเย็นต่ำเกินไป

9) ความดันน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไป

10) ฟองน้ำมันหล่อเย็น การเกิดฟองในน้ำมันหล่อเย็น อาจเกิดขึ้นได้ทั้งน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำและชนิดน้ำมันล้วน ซึ่งมีสาเหตุจาก

11) มีฟองอากาศภายในปั๊ม เนื่องจากระดับน้ำมันหล่อเย็นในระบบต่ำเกินกำหนด หรือเกิดการปั่นน้ำมันหล่อเย็นภายในปั๊ม

12) แรงฉีดของน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไป

13) อัตราส่วนผสมน้ำมันหล่อเย็นกับน้ำมากเกินไป

14) น้ำที่ใช้ผสมเป็นน้ำอ่อนมาก

15) การดูแลรักษาน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำขณะใช้งานการดูแลรักษาน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำขณะใช้งาน มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพที่ผู้ใช้ได้รับ การดูแลรักษาน้ำมันหล่อเย็นดังที่แนะนำดังตารางที่ 2.4 จะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรและคมเครื่องมีด ตลอดจึงมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดีขึ้น เกิดของเสียน้อย ช่วยลดต้นทุนในการผลิตทั้งหมดลง

ตารางที่ 2.4 ข้อแนะนำการตรวจสภาพน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสม

สิ่งที่ตรวจจับ	ความถี่ที่ตรวจจับ	ระดับที่ควบคุม	ระดับที่ควรเปลี่ยนถ่าย
ลักษณะทางกายภาพ	ทุกวัน	เปรียบเทียบกับน้ำมันผสมใหม่	การเปลี่ยนสภาพอย่างมาก
กลิ่น	ทุกวัน	เปรียบเทียบกับน้ำมันผสมใหม่	มีกลิ่นเน่าเหม็นกลิ่นไขเน่า
การอยู่ตัวของน้ำมันหล่อเย็น	ทุกสัปดาห์	ไม่มีการแยกตัวหรือคราบจางๆ	มีการแยกตัวของน้ำมันอย่างมาก
อัตราส่วน	ทุกวัน	ช่วง +/- 10% จากค่าที่กำหนด	มีการเปลี่ยนสภาพอย่างผิดปกติ
PH	สัปดาห์ละ 2 ครั้ง	8.5 ถึง 9.5	ต่ำกว่า 7.5
ปริมาณแบททีเรียและเชื้อรา	เดือนละครั้งหรือตามความจำเป็น	สูงสุดไม่เกิน 10	มากกว่า 10
น้ำมันอื่นเจือปน	ทุกวัน	คราบบางๆ หรือไม่มี	ค่อนข้างมาก

หมายเหตุ

1) ลักษณะกายภาพ การตรวจที่ง่ายที่สุดคือ การตรวจโดยการสังเกตลักษณะของน้ำมันหล่อเย็น เช่น คราบน้ำมันลอยหน้า ลักษณะของคราบสบู่ ตะกรันซึ่งผู้ปฏิบัติงานที่เครื่องควรที่จะจดบันทึกลักษณะของน้ำมันหล่อเย็นและแหล่งที่มาของปัญหานั้นๆ ไว้

2) กลิ่น การตรวจกลิ่นเป็นวิธีแสดงถึงระดับของปริมาณแบททีเรียได้เป็นอย่างดี ควรบันทึกและแก้ไขทันที

3) ลักษณะการอยู่ตัว การตรวจการอยู่ตัวของน้ำมันหล่อเย็น ทำได้ง่าย ๆ โดยการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานและสังเกตลักษณะที่เป็นคราบที่ผิว และลักษณะความเข้มข้นจาง ๆ ที่ด้านล่างของตัวอย่างที่เก็บ ซึ่งจะแสดงระดับการอยู่ตัวของน้ำมันหล่อเย็น

2.3.13 การดูแลรักษาน้ำมันหล่อเย็น ชนิดน้ำมันล้วนขณะใช้งาน

1) สังเกตลักษณะทางกายภาพ เช่น กลิ่น และการไหลของน้ำมันหล่อเย็นทุก ๆ วัน ควรสังเกตและจดบันทึกลักษณะของสารหล่อเย็นที่งานจะมีการลดปริมาณลง เนื่องจากการติดไปกับเศษโลหะและชิ้นงาน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการเติมน้ำมันใหม่เพิ่มลงไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการเติมน้ำมันใหม่เข้าไปในระบบจะมีส่วนช่วยให้น้ำมันมีคุณสมบัติที่เหมาะมอยู่ได้เป็นระยะเวลานาน

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันที่ต้องเติมเพิ่ม อุณหภูมิของน้ำมันในอ่าง อุณหภูมิของน้ำมันในขณะตกกลึงสภาพความสกปรกของชิ้นงานประสิทธิภาพของการกรองน้ำและความละเอียดของชิ้นงานที่ต้องการทั้งหมดนี้ล้วนมีผลอย่างมาก และปัจจัยการกำหนดการดูแลรักษาน้ำมัน

2) หมั่นกำจัดเศษโลหะและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ออกจากระบบน้ำมันหล่อเย็น โดยทั่วไปทุกๆ สัปดาห์ควรตรวจระบบการกรองน้ำมันหล่อเย็น และทำความสะอาดทันทีที่เห็นว่าระบบกรองน้ำมันหล่อเย็นสกปรก

3) หมั่นตรวจระบบทำความเย็น และ ระบบดูดละอองน้ำมัน โดยทั่วไปทุก ๆ เดือนควรจัดให้มีการตรวจระบบทำความเย็นของน้ำมัน (ถ้ามี)และระบบดูดละอองน้ำ(ถ้ามี) เพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันหล่อเย็นไม่สูงมากจนเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อเย็น

4) หากพบสิ่งปกติหรือไม่แน่ใจว่าน้ำมันหล่อเย็นอยู่ในสภาพที่เหมาะสม อาจส่งตัวอย่างของน้ำมันเพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติ ซึ่งสามารถทราบรายละเอียดได้ โดยติดต่อแผนกเทคนิคน้ำมันหล่อลื่นของบริษัทผู้ผลิตน้ำมันนั้น

5) ปริมาณน้ำมันหล่อเย็นในระบบ ปริมาณน้ำมันหล่อเย็นทั้งหมดในระบบมีผลต่อประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อเย็น ดังนี้

6) ในการใช้งาน น้ำมันหล่อเย็นจะมีการสูญเสียไปเนื่องจากการกระเด็นออกจากระบบและการเกิดละอองจากการติดไปกับชิ้นงานและเศษโลหะ

7) ในกรณีใช้งาน จะต้องมีการเติมน้ำมันหล่อเย็นเพิ่มเข้าไปในระบบ และระดับของน้ำมันหล่อเย็นไม่ควรต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในเครื่อง เนื่องจากทำให้ระบายความร้อนต่ำลง อาจทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นทำให้เกิดควันฟองอากาศและประสิทธิภาพลดลงได้

2.4 คุณภาพผิวงาน

การขึ้นรูปโดยการตัดเฉือน เพื่อให้ได้รูปแบบชิ้นงานตามที่ต้องการ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยและผลที่จะเกิดขึ้นกับงานที่สำเร็จ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นหลังการตัดเฉือนอย่างหนึ่งคือคุณภาพผิวงาน โดยปกติของการผลิตทั่วๆ ไปมักจะต้องการงานที่มีคุณภาพผิวที่ดีเนื่องจากชิ้นงานที่มีคุณภาพผิวงานที่ดี จะมีผลต่อความสวยงามเมื่อมีการประกอบชิ้นส่วน และต่อความเสียดทานเมื่อต้องการมีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน ลักษณะทั่วไปของผิวงานที่ผ่านการแปรรูปและผ่านการตัดเฉือน รวมทั้งองค์ระกอบหลัก ๆ ของสภาพผิวงาน ได้แก่

1) ผิวงาน (Surface) หมายถึงขอบเขตหรือบริเวณ ที่แยกออกจากส่วนเนื้อวัสดุงาน รูปร่างและลักษณะผิวงาน ระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายจำกัดความ (Descriptive Specifications)

2) รูปทรงผิว (Profile) หมายถึงเส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงาน ตลอดภาคหน้าตัดที่ถูกนำมาพิจารณา

3) ความหยาบของผิว (Roughness) หมายถึงความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือนอันเนื่องมาจากคมตัดของมีดและจากอัตราป้อน

4) คลื่นของผิวงาน (Waviness) หมายถึงความผิดปกติของผิวงาน ที่มีระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิว เกิดขึ้นจากการโก่งตัวของทั้งชิ้นงาน และการหลวมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการตัดเฉือน

5) ฟลอ (Flaw) หมายถึงความผิดปกติของผิวงาน ที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่นรอยขีดข่วน รอยแตกรูพรุน เป็นต้น

6) เลย์ (Lay) หมายถึงแนวทิศทางของรอยสัน ส่วนยอดความหยาบของผิวที่ตรวจสอบ

2.4.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อความเรียบผิวงาน

คุณภาพผิวงานที่จะทำการตัดเฉือน สามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้ผิวงานที่ได้ มีลักษณะอย่างไร จึงจะเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1) ความแข็งแรงของเครื่องจักรและความเที่ยงตรงของจุดวัสดุรองลื่น (Bearing)

2) คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการตัดเฉือนเป็นผิวสำเร็จของวัสดุงาน

3) ชนิด ประเภท และลักษณะของวัสดุมีด

4) การเลือกใช้วัสดุน้ำมันตัดเฉือน

5) ลักษณะของการเกิดเศษ

6) มุมมีดที่ใช้

7) ตัวแปรที่ใช้ในการตัดเฉือน ได้แก่ อัตราป้อน ความลึกรอยตัด และความเร็วตัด

2.4.2 ลักษณะของการเกิดเป็นคลื่น (Waviness) ของงาน

โดยปกติความผิดปกติของผิวงานดังกล่าว จะเกิดจากการสั่นสะเทือนระหว่างทำการตัดเฉือนซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆดังนี้

1) การสั่นสะเทือนจากภายนอกเครื่องจักร

2) จากการเหวี่ยงหนีศูนย์ของชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักร

3) ความบกพร่องจากระบบการทำงานของเครื่องจักร

4) เกิดจากการสั่นสะเทือนภายในของวัสดุเอง

2.5 การเกิดเศษโลหะจากการกลึงงานทั่วไป

1) การเกิดของเศษโลหะ เป็นผลมาจากการเฉือนของชิ้นงานบนระนาบเฉือน แต่เศษโลหะที่เกิดขึ้นอาจเป็นเส้นยาวหรืออาจจะเป็นท่อนสั้น ๆ โดยการเกิดของเศษโลหะเส้นยาว จะทำให้เกิดแรงตัดที่สม่ำเสมอ เม็ดมีดและชิ้นงานสั่น สะเทือนน้อย ซึ่งน่าจะเป็นสิ่งที่ดี แต่โลหะยาวกำจัดยาก และอาจจะเป็นอันตรายเพราะอาจจะบาดช่างคุมเครื่อง หรือ พันรอบชิ้นงาน ทำให้เป็นอุปสรรคในการทำงาน

2) การเกิดเศษโลหะท่อนสั้นๆ นั้นทำให้เกิดแรงตัดที่ไม่สม่ำเสมอ คือสูงๆ ต่ำๆ เม็ดมีดและชิ้นงานสั่นสะเทือนมาก แต่เศษโลหะกำจัดง่ายและไม่เป็นอันตราย การควบคุมให้เศษโลหะมีลักษณะตามความต้องการ บางครั้งก็มีคำจำเป็น โดยอาจจะเลือกใช้เม็ดมีดที่มีลักษณะที่ช่วยหักเศษให้เป็นท่อนสั้น ๆ และอาจจะต้องใช้อุปกรณ์ป้องกัน (Guard) สำหรับป้องกันเศษไม่ให้ออกมาจากบริเวณที่จำกัดไว้ จะได้ไม่ทำอันตรายหรือรบกวนการทำงาน

2.5.1 กระบวนการตัดโลหะ มี 3 กระบวนการเกิดขึ้นพร้อมกันคือ

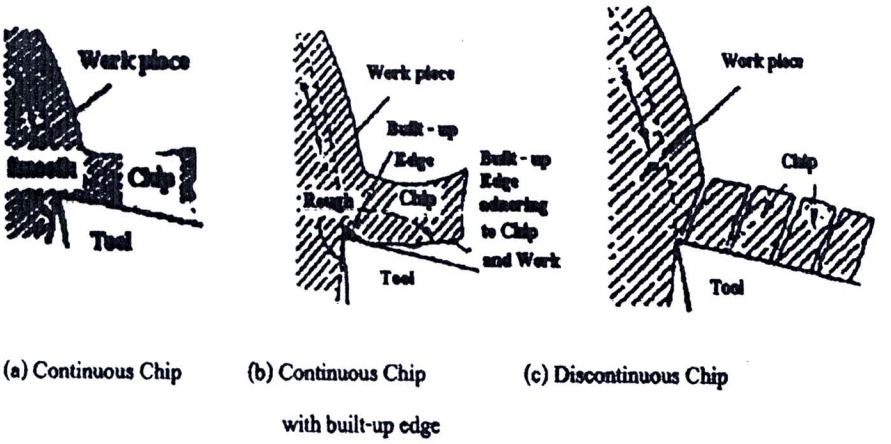
1) กระบวนการตัดเฉือน (Shearing Process) เกิดบริเวณแคบ ๆ ต่อเนื่องตั้งแต่คมมีดไปจนถึง Unmachined Work Surface บริเวณนี้อาจแสดงได้โดยแผ่นบางๆ ที่เรียกว่า Shear Plane (ระนาบเฉือน) หรือ Thin Shear Zone

2) กระบวนการความฝืด (Friction Process) เกิดในบริเวณผิวสัมผัสของเศษโลหะและ Rake Face บางที่เรียกว่าSecondary Shear Process

3) กระบวนการที่เข้าใจกันว่าเป็นการขัดสีระหว่างพื้นผิวของ Machined Work Surface กับ Clearance Face ซึ่งเกิดจากมีดตัดไม่อาจจะคมโดยสมบรูณ์ที่เรียกว่า Effect

2.5.2 ชนิดของเศษโลหะเกิดขึ้นแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ

1) เศษโลหะต่อเนื่อง (Continuous Chips)รูปที่ที่ 2.14 (a)เกิดขึ้นในกรณีที่วัสดุชิ้นงานเป็นวัสดุเหนียว เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ อลูมิเนียมผสมและ Stainless ลักษณะของเศษโลหะจะเป็นเส้นยาว เคลื่อนที่สัมผัสกับผิวคลายเศษโลหะเป็นระยะทางเล็กน้อย จากนั้นก็จะเคลื่อนที่พ้นผิวคายเศษโลหะออกไป การแปรรูปของเศษโลหะเกิดขึ้นในสองบริเวณ คือ เขตการแปรรูปจากวัสดุชิ้นงานกลายเป็นเศษโลหะเกิดขึ้นเพราะการเฉือนบริเวณที่สองเกิดการแปรรูปโดยความดันระหว่างผิวคายเศษโลหะกับเศษโลหะ ส่วนที่สัมผัสกับผิวคลายเศษโลหะ เรียกว่า เขตการแปรรูปรอง (Secondary Deformation Zone)

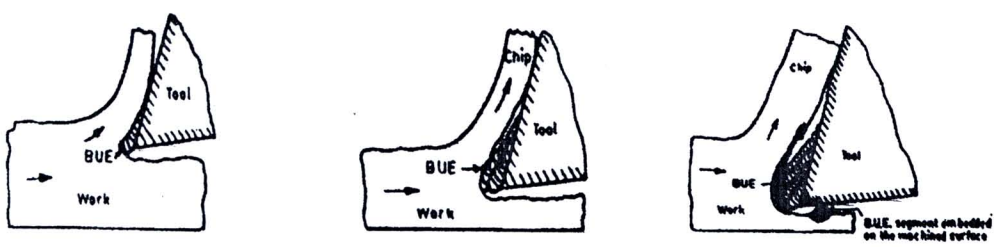


(a) Continuous Chip (b) Continuous Chip with built-up edge (c) Discontinuous Chip

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของเศษต่างๆ

2) เศษโลหะต่อเนื่องจากที่มีการเยิ้มติดที่คมตัด (Continuous Chips with built-up Edge) จากรูปที่ 2.14 (b) เนื่องจากขณะเกิดการตัดบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเศษโลหะและเครื่องมือตัดมีอุณหภูมิสูงประกอบกับความดันขนาดมหาศาลในบริเวณนั้น ทำให้มีเนื้อบางส่วนของเศษโลหะเยิ้มติดอยู่ที่บริเวณคมตัดและผิวคายเศษโลหะ มีผลให้ความเสียดทานในบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น รูปที่ 14 (a) เมื่อส่วนนี้พอกตัวเพิ่มสูงขึ้นจนถึงขนาดที่เรียกว่า ขนาดวิกฤต (Critical Size) รูปที่ 14 (c) ชิ้นส่วนนี้ก็จะหลุดออกมาซึ่งบางส่วนจะติดไปกับเศษโลหะและบางส่วนจะฝังตัวบนผิวสำเร็จ ซึ่งจะทำให้คุณภาพของผิวสำเร็จเลวลง

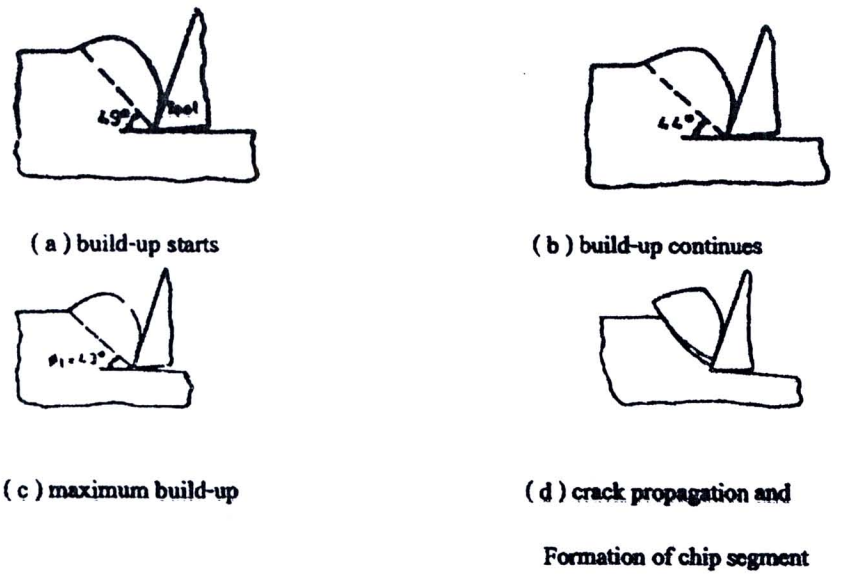
การเยิ้มติดที่คมตัดจะเกิดเป็นวัฏจักรคือ เกิดขึ้นแล้วหลุดออกไปแล้วก็เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งเพิ่มอัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัด เนื่องจากส่วนที่หลุดออกไปนี้จะมีเนื้อของเครื่องมือตัดติดออกไปด้วยการเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้น มีผลให้ส่วนที่เยิ้มติดอ่อนตัวลง จึงทำให้ขนาดวิกฤติเล็กลงด้วย ซึ่งเมื่อเพิ่มความเร็วตัดขึ้นสูงเพียงพอ จะไม่พบส่วนที่เยิ้มติดนี้



(a) BUE reduced in size after breaking up (b) Growth of BUE (c) BUE grown to a critical size

รูปที่ 2.2 แสดงการเยิ้มติดที่คมตัด

3) เศษโลหะไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Chip) เศษโลหะชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่อวัสดุชิ้นงานเป็น วัสดุเปราะ เช่น เหล็กหล่อ ทองเหลืองที่มีส่วนผสมของสังกะสีอยู่มาก กลไกของการเกิดเศษโลหะชนิดนี้จะแตกต่างจากกลไกที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุชิ้นงานเป็นวัสดุเหนียว เนื่องจากวัสดุเปราะมีคุณสมบัติไม่สามารถรับความแค้นเฉือนที่บริเวณเขตการแปรรูปหลัก จึงเกิดการแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆดังแสดงในรูป 2.16 (a), (b), (c), และ(d)



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดเศษโลหะไม่ต่อเนื่อง

เนื่องจากช่วงเวลาที่เศษโลหะสัมผัสกับเครื่องมือตัด เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจึงติดไปกับเศษโลหะเสียเป็นส่วนมาก อุณหภูมิของเครื่องมือตัดจึงจะอ่อนตัวลง ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสูงขึ้นได้

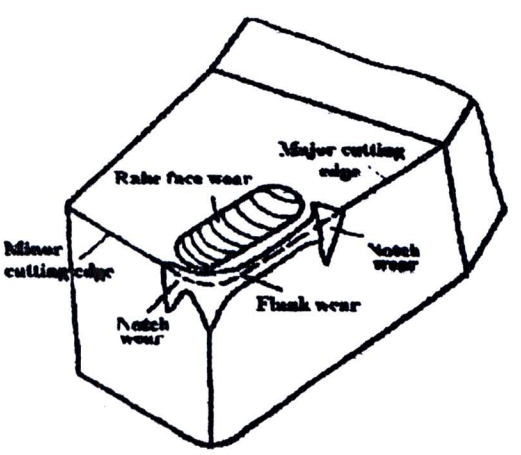
2.6 การสึกหรอของเครื่องมือตัด

การสึกหรอของเครื่องมือตัด หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของเครื่องมือตัด จากรูปร่างก่อนการใช้งานและหลังการใช้งาน ซึ่งเป็นผลมาจากวัสดุทำเครื่องมือตัดเกิดความเสียหายอย่างค่อยเป็นค่อยไป ขณะใช้งานมีสาเหตุหลายอย่างที่ทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัด ซึ่งความเข้าใจโดยทั่วไปการสึกหรอของเครื่องมือตัดเกิดจากการเสียดสี โดยอนุภาคที่มีความแข็งของชิ้นงานที่เกิดการถูไถบนผิวหน้าของเครื่องมือตัด การสึกหรอมักจะเกิดโดยเกิดการกระจายของโลหะผสมระหว่างการทับถมและความอ่อนตัวของเครื่องมือตัดต่ำกว่าการหลอมละลายบ่อยครั้งการทับถม

เหล่านี้จะมีการโต้ตอบอีกครั้งจากเศษโดยการหลอมเหลวหรือเกิดการแตกหักออกจากแรงของการชนของเศษที่หลุดออกมา

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างองค์ประกอบในการทำงานโดยการใช้สารหล่อเย็นในบางครั้งอาจจะเร่งอัตราของการสึกหรอของเครื่องมือตัด การเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) ของโลหะที่มีความร้อนใกล้คมมีด จะมีการกระจายทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัดอีกด้วย โดยเฉพาะการใช้ความเร็วตัดที่สูงเกินไปร่วมกับอุณหภูมิในการตัดเฉือนที่สูง การแตกหักของคมตัดเป็นสาเหตุให้เกิดการรับภาระในการตัดเฉือนที่มากเกินไป หรือเกิดการกระแทกอย่างกะทันหัน หรือการออกแบบเครื่องมือตัดที่ไม่เหมาะสมตามมาตรฐานสวมจะต้องแก้ไขให้ถูกต้อง

ปรากฏการณ์ในการเกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัด เนื่องจากความเค้นที่สูงที่เกิดจากการสัมผัสระหว่างผิวคลาย (Rake Face) กับเศษของวัสดุงาน เป็นสาเหตุในการเกิดการเสียดสีรุนแรงที่ผิวคายเนื่องจากความเสียดทานระหว่างผิวหลบด้านข้าง (Flank) กับผิวที่ถูกตัดเฉือน ดังนั้นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดอาจจัดอันดับการสึกหรอของเครื่องมือตัดได้คือบริเวณผิวคาย (Rake Face) และผิวหลบด้านข้าง (Flank Face) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปรากฏการณ์ในการเกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัด

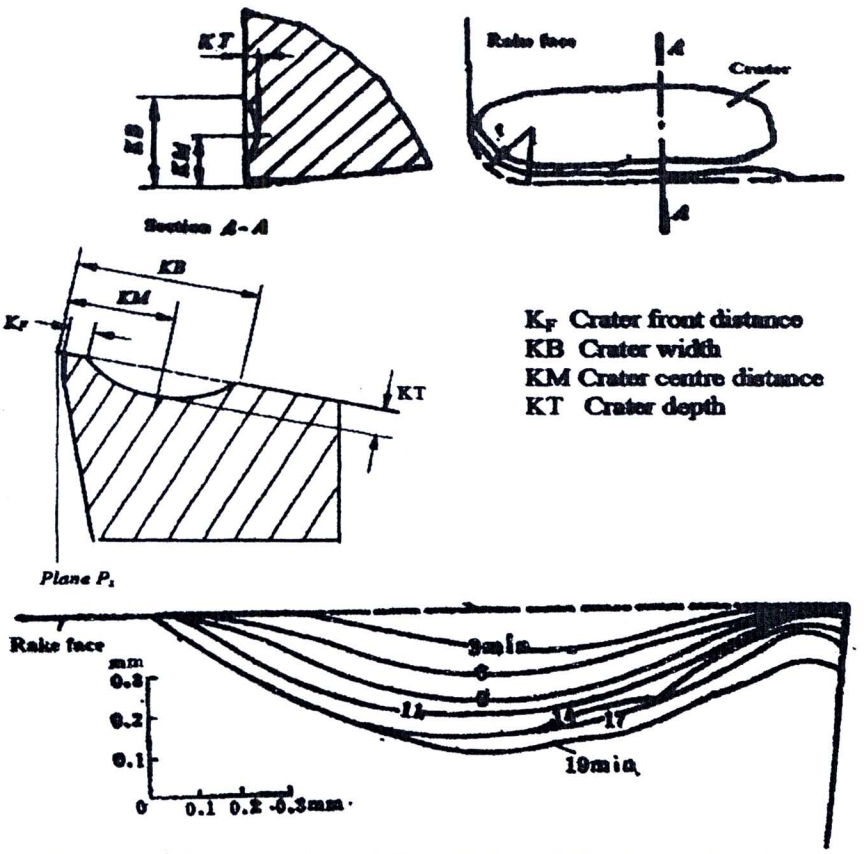
2.6.1 การสึกหรอผิวหลบด้านข้าง

การสึกหรอผิวหลบด้านข้าง (Flank Wear) การสึกหรอลักษณะนี้จะเกิดที่ผิวหลบด้านข้างของเครื่องมือตัดด้านล่างของคมตัด ซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดเวลาของการตัดเฉือนและไม่สามารถหลีกลี่ยงได้ซึ่งไม่ควรจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหรือมีขนาดของบริเวณของการสึกหรอที่มากเกินไป ขนาดของการสึกหรอผิวหลบด้านข้างนี้สามารถวัดได้จากระยะระหว่างขอบบนสุดของคมตัดและขอบ

ด้านล่างในการสึกหรอ ในทางปฏิบัติ โดยปกติจะใช้วิธีการสังเกตโดยประมาณแทนการวัดที่ต้องการความเที่ยงตรง ถึงแม้ว่าการสึกหรอผิวหลบด้านข้างจะไม่สนใจการสึกหนอโดยการวัดจากการสูญเสียขนาดของส่วนดังกล่าว เครื่องมือวัดที่ดีที่สุดของการสึกหรอของเครื่องมือตัด อย่างไรก็ตามยังถือว่าการสึกหรอประเภทนี้เป็นตัววัดที่ดีที่สุด เมื่อบริเวณการสึกหรอมีขนาดมากขึ้นเรื่อย ๆ จะเกิดการถูของผิวที่เกิดการสึกหรอกับผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเช่นกัน จำเป็นจะต้องทำการเปลี่ยนหรือลับคมตัดใหม่ เนื่องจากมีสภาวะที่หลากหลายจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะกำหนดขนาดบริเวณของการสึกหรอประเภทนี้ให้มีค่าแน่นอนที่จะชี้ได้ว่าจะทำการเปลี่ยนหรือลับเครื่องมือตัดเมื่อใด ถึงแม้ว่าจะมี ข้อยกเว้นมากมาย ในการทำงานในลักษณะผิวที่มีความหยาบ โดยใช้เครื่องมือตัดที่เป็นเหล็กรอบสูง (High Speed Steel)ควรจะต้องนำไปลับใหม่เมื่อความกว้างของการสึกหรอประเภทนี้ถึงระยะ 0.005 นิ้ว ถึง 0.010 นิ้ว การลับเครื่องมือตัดสำหรับผิวละเอียดอยู่ระหว่าง 0.030 นิ้ว ถึง 0.060 นิ้ว ส่วนเครื่องมือตัดที่เป็นซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbides) 0.005 นิ้ว ถึง 0.010นิ้ว นิ้วสำหรับผิวละเอียดและ 0.020 นิ้ว ถึง 0.040 นิ้วสำหรับผิวหยาบ การสึกหรอบริเวณผิวหลบด้านข้างนี้สามารถวัดได้โดย ขนาดเฉลี่ยและขนาดสูงสุดของบริเวณที่เกิดการสึกหรอ (V_B และ V_{Bmax})

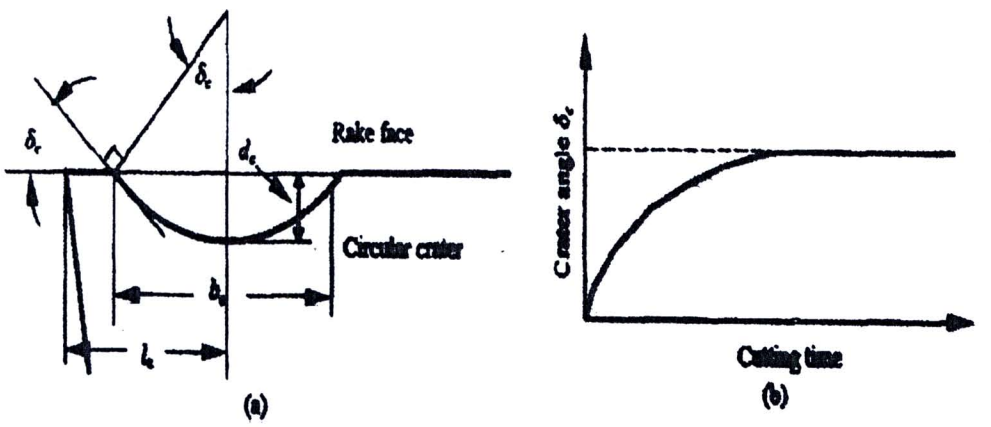
2.6.2 การสึกหรอแบบแอ่งบริเวณผิวคาย

การสึกหรอแบบแอ่งบริเวณผิวคาย (Crater Wear) เกิดการไหลของเศษงานบนผิวคาย มีการเสียดสีที่รุนแรงมีแรงเศษทานระหว่างเศษงานกับผิวคาย จะเกิดการสึกหรอซึ่งโดยปกติจะเกิดเป็นแนวขนานกับคมตัดหลัก (Major Cutting Edge) การสึกหรอแบบแอ่งนี้จะทำให้มุมคายที่ใช้ในการทำงานเพิ่ม เป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงของคมตัดลดลง คัวแปร (Parameters) ที่ใช้วัดค่าการสึกหรอแบบแอ่งนี้ดูได้จากรูปที่ 2.5 แผนภาพความลึกของแอ่ง KT ปกติส่วนมากแล้วจะเป็นตัวแปรในการประเมินค่าการสึกหรอของผิวคายและรูปที่ 2.6 เป็นรูปทรงเลขาคณิตอย่างง่าย



Change of the crater depth KT and width KB with cutting time

รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงความลึกของแอ่ง KT และความกว้าง KB ต่อเวลา



รูปที่ 2.6 (a) รูปทรงเรขาคณิตอย่างง่ายของแอ่ง (b) มุมในการเจริญเติบโตของแอ่ง

2.6.3 การสึกหรอแบบแอ่งบนผิวหน้า

สามารถเกิดจากการเสียคสีและกลไกการกระจายในการขูดถลอกการเกิดของแอ่งนี้เป็นเป็นการขูดถลอกจากผิวหน้าของเศษงานซึ่งมีสภาพเป็นอนุภาคที่มีความแข็งทำหน้าที่คล้ายการเจียรนัย หรือส่วนที่ร้อนที่สุดที่มีการกระจายระหว่างเศษตัดกับผิวของเครื่องมือตัดความแข็งและความแข็งที่ประกอบด้วยความร้อนและค่าความคืงดูดที่น้อยที่สุดระหว่างวัสดุจะมีแนวโน้มที่ลดลงในการเกิดการสึกหรอแบบแอ่งนี้ ขนาดของแอ่งที่มากเกินไปนี้จะเปลี่ยนรูปทรงของคมตัดและทำให้การตัดเฉือนมีประสิทธิรูปที่แย่งลงด้วย รวมทั้งการเปลี่ยนทิศทางของแรงในการตัดเฉือนซึ่งทำให้คมตัดอ่อนตัวลง

แอ่งที่มีความลึกบางครั้งจะมีรูปแบบบนผิวหน้าของเครื่องมือตัดซึ่งง่ายต่อการจดจำรูปแบบของแอ่งที่มีระยะที่สั้นหลังค้นข้างของคมตัดที่ถูกยกขึ้นเล็กน้อยระหว่างคมตัดกับของของแอ่งดังกล่าว ซึ่งผิวส่วนนี้อาจปกคลุมด้วยเศษที่หลอมละลายและในเวลาอื่นๆ อาจจะไม่เกิดสภาวะเช่นนี้ บ่อยครั้งที่บริเวณก้นของแอ่งนี้จะถูกปกคลุมด้วยวัสดุงานที่เกิดการหลอมละลาย ภายใต้สภาวะเช่นนี้ บ่อยครั้งที่บริเวณก้นของแอ่งนี้จะถูกปกคลุมด้วยวัสดุงานที่เกิดการหลอมละลายภายใต้สภาวะการปฏิบัติปกติแอ่งจะขยายออกจนกระทั่งเกิดการแตกหักบริเวณคมตัดโดยปกติเหตุการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นบนปลายของคมตัดหลังปลายเครื่องมือตัด เมื่อเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ขึ้นการสึกหรอบริเวณผิวหลบด้านข้างจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะเกิดความเสียหายต่อเรื่องมือตัดในเวลาอันสั้น บางครั้งการสึกหรอแบบแอ่งนี้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงและมีการเพิ่มขนาดของแอ่งอย่างช้าๆ อ่างไรก็ตามถ้าอัตราของการขยายตัวของแอ่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว จะนำไปสู่อายุการใช้งานที่สั้นของเครื่องมือตัด จำเป็นต้องมีการใช้การวัดขนาดของแอ่งเพื่อการแก้ในขั้นต่อไป

2.6.4 การพอกหน้ามีด

การพอกหน้ามีด (Cutting Edge Chipping) เพียงชื่อก็สมารถสื่อให้เห็น ถึงลักษณะที่เกิดขึ้นกับคมตัด รวมถึงการเคลื่อนย้ายอนุภาคซึ่งแยกกันค่อนข้างมากของวัตถุเครื่องมือ เป็นสาเหตุที่ทำให้คมตัดไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ในบางครั้งการแตกหักของเศษจาการตัดเฉือนของคมตัดเฉือนของคมตัดที่มีอัตราการเร่งของการสึกหรอของเครื่องมือตัด แต่ไม่ใช่สาเหตุใหญ่ในการทำให้เกิดความเสียหายในทันทีทันใด การพอกหน้ามีดสามารถสังเกตเห็นได้โดยการเกิดเศษตัดทีทับถมกันบริเวณของการสึกหรอแสดงว่าเกิดการพอกหน้ามีดของเศษและถ้าขอบของการสึกหรอนี้มีรอยขรุขระปรากฏอยู่ก็จะปรากฏอู่จะแสดงว่ามีปรากฏอยู่ก็จะแสดงว่ามีปริมาณของเศษจำนวนมากที่ปกคลุมอยู่ เคยสถานที่ที่ใช้ บ่อยครั้งที่เกิดความว่างเปล่าหรือร่องบริเวณคมตัดซึ่งเป็นผลมาจากการเติมเศษงานที่หลอมละลายติดกันกับคมเครื่องมือตัด การเกิดเหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

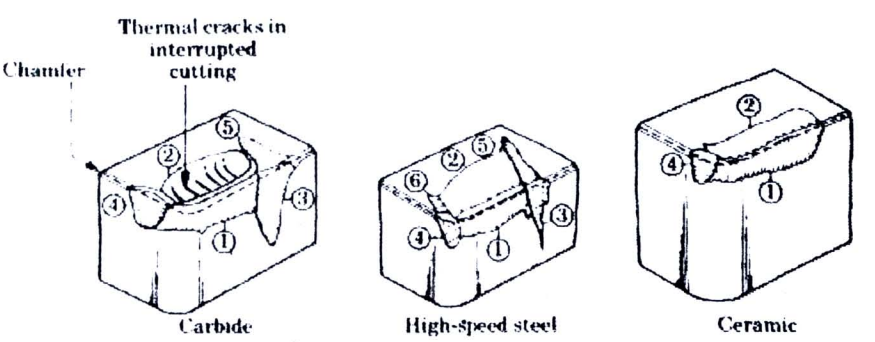
เมื่อเกิดบริเวณผิวหน้าของเครื่องมือตัด ในลักษณะนี้ความเสียหายที่คมตัดควรจะมีการรักษา อย่างไรก็ตามโดยปกติความกว้างบริเวณของการสึกหรอใต้ผิวการเคลื่อนที่ของเศษจะเพิ่มขึ้นตลอด และจะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสั้นลง

2.6.5 การเปลี่ยนรูปร่างจากการหลอมละลาย

การเปลี่ยนรูปร่างจากการหลอมละลาย (Plastic Deformation) เกิดขึ้นเพราะผลของอุณหภูมิสูงและความกดดันที่สูงบนคมตัด การใช้ความเร็วตัดและอัตราป้อนที่สูงสำหรับวัสดุงานที่มีความแข็งเป็นสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว การเปลี่ยนรูปร่างจากการหลอมละลาย (Plastic Deformation) มักจะเกิดกับเครื่องมือตัดที่เป็นคาร์ไบด์ (Carbide)เมื่ออยู่ในสภาวะการทำงานที่หนัก โดยใช้ความเร็วตัดที่ต่ำๆ และใช้อัตราป้อนที่อยู่ในระดับสูง คมตัดส่วนมากจะเริ่มมีความร้อนที่สะสมขึ้นเรื่อยๆ และมีความกดดันที่ปลายเครื่องมือตัด ด้วยเหตุนี้ผิวหน้าด้านล่างของเครื่องมือตัดในพื้นที่ของปลายคมตัด จะลดลง และเพิ่มความกว้างของบริเวณของการสึกหรอซึ่งทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสั้นลงด้วย

2.7 อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด

ไม่ว่าจะเป็นกรณีที่คมตัดมีความแข็งแรงลดลง เนื่องจากอุณหภูมิและความเครียดที่เกิดมาจากการเสียรูปร่างแบบพลาสติกของเครื่องมือตัด หรือการแตกหักของคมตัดจากแรงที่มากระทำ มีขนาดใหญ่ หรือชิ้นงานมีความแข็งมาก ก็จะทำ ให้คมตัดเกิดความเสียหายได้



1) การสึกหรอด้านข้าง (Flank wear or wear land)
2) การสึกหรอแบบหลุม (Crater wear)
3) การสึกหรอที่เส้นความลึกตัด (Primary groove)

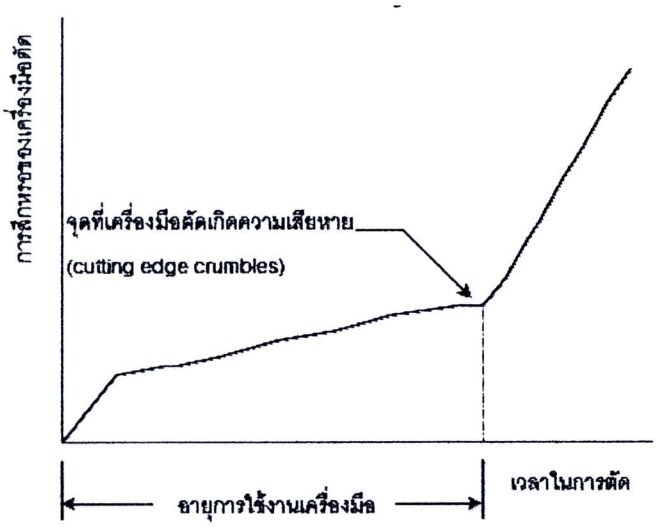
4) การสึกหรอจากปฏิกิริยาเคมี (Secondary groove or depth-of-cut line oxidation wear)

5) รอยบากด้านนอก (Outer metal chip notch)

6) รอยบากด้านใน (Inner chip notch)

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการสึกหรอของเครื่องมือตัด

เช่นเดียวกัน ถ้าพิจารณาขนาดของแรงที่ใช้ในการตัดออกมาในรูปความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการตัด จะเห็นว่าแรงที่ใช้ในการตัดที่เกิดขึ้นหลังจากที่คมตัดเกิดการเสียหายจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากทำ ให้สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเครื่องมือตัดนั้นไม่สามารถใช้การได้อีกต่อไป ในรูปที่ 2.8 แสดงกรณีที่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสึกหรอกับอายุการใช้งานมีดกลึง

จากรูปจะเห็นได้ว่าการสึกหรอเกิดที่เกิดขึ้นในช่วงแรก (Initial Breakdown) จะรวดเร็วมากทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และการเสียรูปแบบพลาสติก ช่วงที่สอง (Uniform Wear Rate) อัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะช้าลงและมีลักษณะคงที่ทั้งนี้เพราะการสึกหรอในช่วงนี้ส่วนใหญ่จะเป็นผลจากการสึกหรอทางกล และในช่วงสุดท้าย (Rapid Breakdown) การสึกหรอจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดการแตกหักของเครื่องมือตัดขึ้น โดยทั่วไปแล้วอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดกำหนดได้จากหลักเกณฑ์ที่สำคัญๆ ดังต่อไปนี้

1) เครื่องมือตัดเกิดการแตกหักหรือเสียหาย

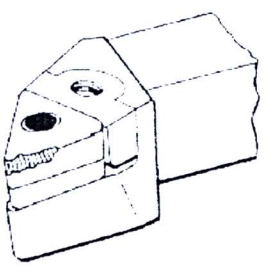
2) ขนาดของบริเวณที่เกิดการสึกหรอด้านข้าง (Flank Wear) ใหญ่เกินไป ดังรูปที่ 2.9

3) ขนาดของบริเวณที่เกิดการสึกหรอแบบหลุม (Crater Wear) กว้างหรือลึกเกินไป ดังรูปที่ 2.10

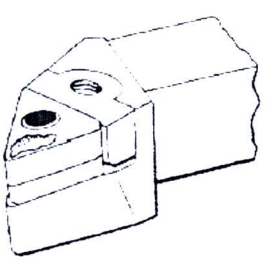
4) การสูญเสียความเที่ยงตรงของขนาดชิ้นงาน ทำ ให้ชิ้นงานมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้

5) คุณภาพผิวของชิ้นงานไม่ได้ตามความต้องการ ชิ้นงานมีความเรียบผิวลดลง

6) แรงที่ต้องใช้ในการตัดโลหะมีค่าสูงเกินไป



รูปที่ 2.9 แสดงการสึกหรอที่เกิดตรงด้านข้างมีดกลึง



รูปที่ 2.10 แสดงการสึกหรอที่เกิดตรงด้านบนมีดกลึง

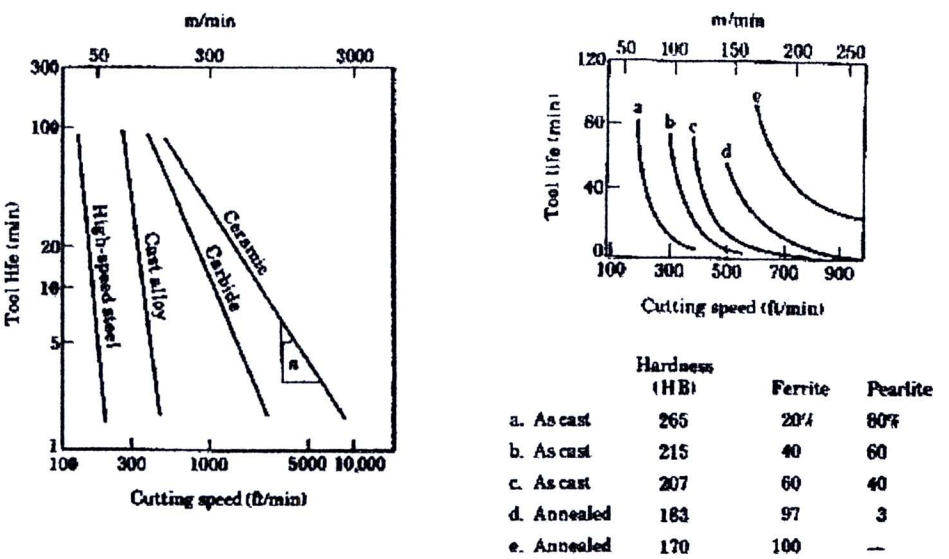
2.8 สมการอายุการใช้งานเครื่องมือตัด

ในปี ค.ศ. 1906 Frederick W. Taylor ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดกับอายุการใช้งานเครื่องมือตัดไว้ดังนี้

$$V \times T^n = C$$

เมื่อ V คือ ความเร็วตัด มีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที (หรือฟุตต่อนาที)
T คือ อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด มีหน่วยเป็นนาที
n และ C คือ ค่าคงที่ของสมการอายุการใช้งาน

สมการดังกล่าวนี้ ได้รับการยอมรับและนำ ไปใช้ในการอ้างอิง โดยเรียกกันว่า สมการอายุการใช้งานเครื่องมือตัดของเทเลอร์ ค่าคงที่ในสมการนี้ขึ้นกับลักษณะเฉพาะของกระบวนการตัด สามารถหาได้จากการทดลองวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัด อย่างไรก็ตามก่อนที่จะทำ การทดลองจะต้องมีการเลือกใช้หลักเกณฑ์ที่พิจาณาอายุเครื่องมือตัดก่อน เพื่อที่จะนำ มากำหนดขอบเขตของหลักเกณฑ์ดังกล่าวมาหาอายุการใช้งานเครื่องมือตัด ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานเครื่องมือและความเร็วตัดแสดงในรูปที่ 2.11



	Hardness (HB)	Ferrite	Pearlite
a. As cast	265	20%	80%
b. As cast	215	40	60
c. As cast	207	60	40
d. Annealed	183	97	3
e. Annealed	170	100	—

รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานกับค่าความเร็วตัด

ต่อมาเทเลอร์ได้ค้นพบความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนและความลึกตัดที่มีผลต่ออายุการใช้งานเครื่องมือตัดจึงทำ ให้สมการอายุการใช้งานเครื่องมือตัดเปลี่ยนเป็น

$$V_a \times f_b \times d_c \times T = K$$

เมื่อ f คือ อัตราป้อน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อรอบ (หรือนิ้วต่อรอบ)

d คือ ความลึกตัด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (หรือนิ้ว)

a b c และ K คือ ค่าคงที่ของสมการอายุการใช้งาน

2.9 อัตราการผลิต

ในการที่จะกลึงชิ้นงานออกมาแต่ละครั้งนั้น เวลาทั้งหมดที่ใช้ไปต่อหนึ่งชิ้นงานจะประกอบไปด้วยเวลาย่อยๆ สามส่วนด้วยกัน ได้แก่

1) เวลาที่ใช้ในการกลึงชิ้นงาน คือเวลาทั้งหมดที่มีดกลึงได้ทำการกลึงตัดชิ้นงานหนึ่งชิ้น

2) เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนมีดกลึง คือเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเปลี่ยนมีดกลึงต่อหนึ่งชิ้นงาน

3) เวลาที่ไม่เกี่ยวกับการกลึง คือเวลาที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากเวลาข้างต้น เป็นเวลาของกิจกรรมที่จำ เป็นในการกลึงชิ้นงานแต่ละครั้ง แต่ไม่ก่อให้เกิดการผลิต เช่น เวลาที่ใช้ในการหยิบชิ้น

4) งานเข้าออกเครื่องกลึง เวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องกลึงโดยนำ เวลาเหล่านี้คิดเฉลี่ยต่อหนึ่งชิ้นงาน

$$T_T = T_m + T_{cp} + t_n$$

เมื่อ T_T คือ เวลารวมที่ใช้ในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น มีหน่วยเป็นนาที

Tm คือ เวลาที่ใช้ในการกลึงชิ้นงาน

T_{cp} คือ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนมีดกลึง

t_n คือ เวลาที่ใช้หยิบชิ้นงานเข้า-ออก และเวลาที่ไม่เกี่ยวข้องกับการกลึง

โดยที่

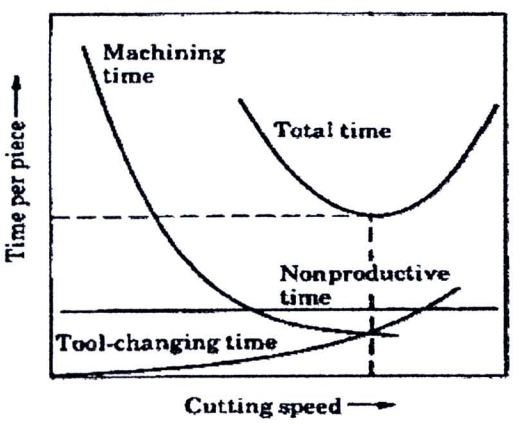
$$T_m = \frac{\pi DL}{1000 fV}$$

และ

$$T_{cp} = T_m \times \frac{1}{T} \times t_c$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (หรือนิ้ว)
L คือ ระยะในการกลึงตัดชิ้นงาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (หรือนิ้ว)
tc คือ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนมีดกลึงต่อครั้ง มีหน่วยเป็นนาที

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลารวมที่ใช้ในการกลึงและความเร็วในการตัด สามารถแสดงด้วยกราฟ ในรูปที่ 2.11 เริ่มต้นความเร็วตัดที่ต่ำมาก ๆ เวลาที่ใช้ก็สูงขึ้นมากตามไปด้วย เพราะใช้เวลาในการกลึงนาน ต่อมาเมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ก็จะลดลงอย่างชัดเจนไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่มีเวลารวมที่ต่ำสุด และ เมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้นเกินกว่าที่จุดนี้เวลาที่ต้องใช้จะเริ่มเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเกิดการสึกหรอเพิ่มขึ้นกับมีดกลึงนั่นเอง ทำ ให้เกิดเวลาสูญเปล่าในการปฏิบัติงาน เนื่องจากต้องเปลี่ยนมีดกลึงบ่อยขึ้น ทำ ให้เวลาที่เครื่องจักรไม่ได้ทำ งานเพิ่มขึ้นด้วย จนในที่สุดความเร็วในการตัดที่สูงมากถึงจุดหนึ่ง จะทำให้เครื่องมือตัดเสียหายทันทีที่เกิดการสัมผัสกับชิ้นงานทำให้ไม่สามารถปฏิบัติงานได้อีก



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกลึงชิ้นงานกับความเร็วตัด

พิจารณากราฟพบว่าถ้าเครื่องจักรไม่ได้ปฏิบัติการที่ค่าความเร็วตัดที่ทำให้เวลาที่ใช้ในการกลึงต่ำสุดแล้ว จะต้องมีความเร็วตัดสองค่าที่ให้เวลารวมที่ใช้เท่ากันเสมอ ในการปฏิบัติงานควรที่จะเลือกใช้ความเร็วตัดที่ต่ำกว่าแทนที่จะใช้ความเร็วตัดที่สูงกว่า ทั้งนี้เพราะที่ความเร็วต่ำจะใช้เวลาใน

การผลิตยาวนานกว่า ส่วนที่ความเร็วสูงจะใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่า แต่จะมีเวลาที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนเครื่องมือ ดังนั้นจึงเกิดค่าใช้จ่ายขึ้นในส่วนของเครื่องมือตัดมากกว่า

ส่วนกลับของเวลาที่ใช้ในการผลิตนี้ ก็คือค่าอัตราการผลิตนั่นเอง เนื่องจากการพิจารณาข้อมูลในรูปของอัตราการผลิตจะทำ ให้เข้าใจได้ง่ายกว่าการพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการผลิต ดังนั้นจึงนิยมเปลี่ยนค่าของเวลาที่ใช้ไปต่อชิ้นงานหนึ่งชิ้นเป็นอัตราการผลิต ดังนี้

$$P_r = \frac{1}{T_T}$$

หรือ

$$P_r = \frac{1}{T_m + T_{cp} + t_n}$$

เมื่อ Pr คือ อัตราการผลิต มีหน่วยเป็นจำนวนชิ้นงานต่อนาที

2.10 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ทฤษฎีทางสถิติ การหาค่าเฉลี่ยของความเรียบผิวและค่าการสึกหรอของมีดกลึง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ

จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X}{N}$$

เมื่อ

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

$\sum_{i=1}^{n} X$ = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N = จำนวนของข้อมูล

2.10.1 การวัดการกระจายของข้อมูล (Measure of Variability)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) สัญลักษณ์ s คือการกระจายของข้อมูล

สูตร คำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่ไม่แจกแจงความถี่

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

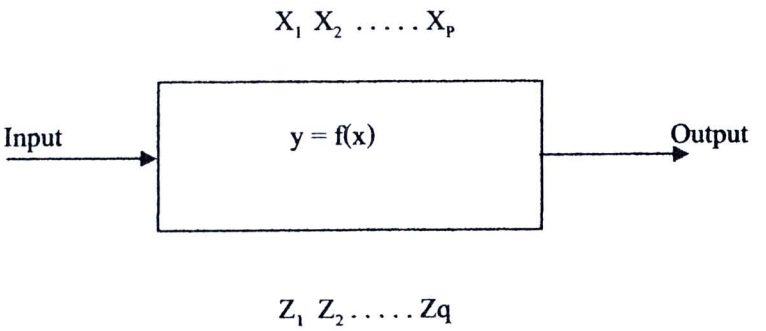
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}X^2 - \left(\sum X\right)^2}{n(n-1)}}$$

สูตร คำนวณจากประชากร

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\mu)^2}{N}}$$

2.11 หลักการออกแบบการทดลอง

การทดลองถูกสร้างขึ้นโดยผู้ทดลอง ซึ่งมาจากหลายสาขาอาชีพที่ต้องการค้นหาคำตอบจากกระบวนการหรือระบบที่ผู้ทดลองมีความสนใจ การทดลองในที่นี้อาจหมายถึงการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่คาดหมายว่าเมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนเข้าของกระบวนการหรือระบบ จะเป็นผลให้ตัวแปรตอบสนองมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในงานทางด้านวิศวกรรม การทดลองมีบทบาทสำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตของกระบวนการและการปรับปรุงกระบวนการผลิต บางกรณีอาจต้องการพัฒนากระบวนการที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง จากแหล่งภายนอกกระบวนการจะมีผลกระทบไม่มากต่อกระบวนการ (Robust Design)



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ

เมื่อ

y คือ ตัวแปรตามหรือผลิตภัณฑ์

X, Z คือ ตัวแปรอิสระหรือปัจจัย

จากสูตร

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \in_{i\varphi}$$

เมื่อ

μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

$\in$ คือ ความคลาดเคลื่อน

โดยทั่วไป การทดลองถูกใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ (Process or System) รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ ส่วนใหญ่จะสามารถมองเห็นภาพของกระบวนการเป็นการรวมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่น ๆ และเมื่อมีสิ่งป้อนเข้า (Input) สู่กระบวนการจะถูกเปลี่ยนรูปออกมาได้เป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งคำหรือมากกว่าหนึ่งคำ

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่ากระบวนการหรือระบบยังประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ X1 , X2 ,...,XP และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ Z1 , Z2 ,...,Zq

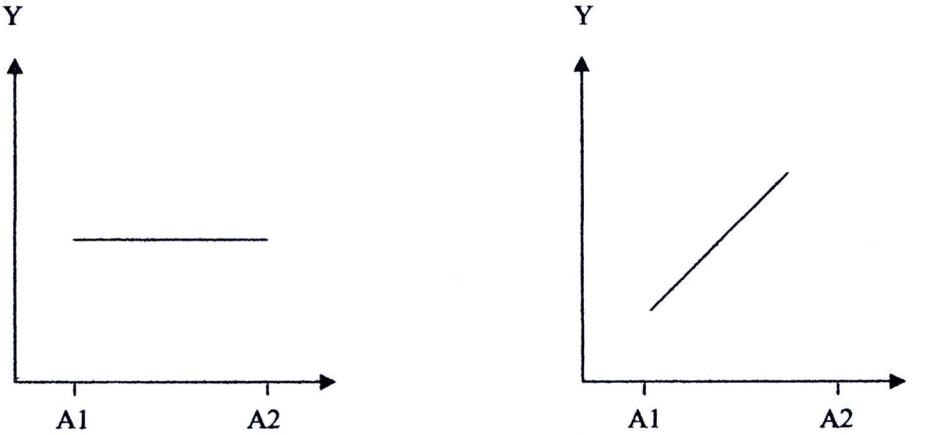
2.11.1 ปัจจัยในกระบวนการผลิต

ปัจจัยในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่าง ๆ ที่คิดว่ามีผลต่อค่าตอบสนองที่สนใจ

2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอหรือต้นทุนในการควบคุมสูงมากหรือมีความรู้ไม่เพียงพอ ฯลฯ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมาก ผู้ทำการทดลองควรพยายามกำจัดปัจจัยลักษณะนี้เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ให้ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับแล้วทำการทดลอง จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ให้ y เป็นความยาวของเหล็กปลายสั้นที่มีรูกลวง A เป็นความเร็วในการหล่อเหล็กแท่ง ซึ่งจะสรุปผลเมื่อได้กราฟ แสดงดังรูปที่ 2.8



ปัจจัย A ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ปัจจัย A มีผลต่อผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.14 แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผลและอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1) หาตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y มากที่สุด
2) กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ
3) กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

4) กำหนดค่า x ที่ทำให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) Z1 , Z2 ,...,Zq มีผลน้อยมาก

คำจำกัดความ มีดังต่อไปนี้

7) อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีตัวแปรตาม

8) ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

9) ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่ง ๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง

10) ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดจากผลกระทบเล็ก ๆ น้อย ๆ และไม่สามารถควบคุมได้

2.11.2 หลักในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการวางแผนของการทดลองซึ่งข้อมูลในการทดลองนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ จนได้ข้อสรุปของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อทำความเข้าใจในข้อมูล และหาผลสรุปออกมานั่นเอง หลักในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1) การทำซ้ำ (Replication) คือการทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออกไป การทำซ้ำมีความสำคัญ 2 ประการ คือ เพื่อการประมาณค่าความผิดพลาดของการทดลอง และเพื่อการประมาณค่าเฉลี่ยนั้นให้มีความมั่นใจมากขึ้น

2) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือการให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวให้เท่ากันเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับข้อมูลทุกระดับในการทดลองให้เท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีดังนี้

2.1) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

2.2) การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

2.3) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

3) การบล็อก (Blocking) คือการจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การบล็อกส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับวัสดุที่

ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีความสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องแยกเอาผลของวัสดุที่แตกต่างกันออกไปจะสนใจผลการทดลองที่เกิดขึ้นในแต่ละบล็อกเท่านั้น

2.11.3 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งจำเป็น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจวิธีการในการเก็บข้อมูลตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา

1) การนิยามปัญหา เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) การเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับของปัจจัย เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้ายคือระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Levels), แบบสุ่ม (Random Levels) หรือแบบผสม (Mixed Levels)

2.1) แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2.2) แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

2.3) แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทำการทดลองต้องมั่นใจว่าเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่ทำการศึกษา ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวัดจะใช้เป็นตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพียงค่าเดียว แต่ก็มีบางการทดลองที่ทำการวัดค่าตัวแปรตอบสนองหลายค่า การวัดค่าจะต้องมีความแม่นยำรวมทั้งความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วย

4) การเลือกแบบการทดลอง จะต้องพิจารณาถึงขนาดของข้อมูลหรือจำนวนที่ใช้ในการทำซ้ำ (Replicate) ความเหมาะสมของลำดับในการทดลอง ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่จำเป็น ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

5) การดำเนินการทดลอง เมื่อทำการทดลองต้องทำการตรวจสอบการทดลองอย่างระมัดระวังว่ามีการดำเนินการตามที่วางไว้ ข้อควรระวังในการทำการทดลองคือความถูกต้องของ

กระบวนการเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความผิดพลาด (Error) น้อยที่สุด เพราะความผิดพลาดในขั้นตอนนี้มักจะทำให้การทดลองล้มเหลวได้

6) การวิเคราะห์ข้อมูล หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลจากการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลอาจใช้ซอฟต์แวร์ (Software) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งปัจจุบันมีซอฟต์แวร์อยู่หลายประเภทที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ วิธีการถูกนำมาใช้อย่างได้ผลคือกราฟอย่างง่ายโดยช่วยในการวิเคราะห์และตีความข้อมูลจากการทดลอง การตรวจสอบความเพียงพอของโมเดล (Model Adequacy Checking) เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลอง จึงจำไว้ว่าวิธีการทางสถิติไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลได้แน่นอน เพียงแต่เป็นเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นโดยระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีการใช้หลักการทางสถิติช่วยให้การตัดสินใจเป็นนามธรรมมากขึ้น

7) สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อข้อมูลถูกวิเคราะห์ จะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะจากการทดลอง เมื่อสรุปผลแล้ว ควรมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

2.11.4 การใช้หลักการทางสถิติในการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการทดลองนั้น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ผู้ทำการทดลอง ต้องมีความรู้เกี่ยวกับงานในสาขาที่จะทำการทดลอง โดยใช้ความรู้ที่ไม่ใช่วิธีการทางสถิติในการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น

2) ผู้ทำการทดลอง ควรเลือกการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ที่ง่ายและไม่ซับซ้อน

3) ผู้ทำการทดลอง ควรเข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างนัยสำคัญในทางปฏิบัติและนัยสำคัญทางสถิติ เพราะว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดลอง ซึ่งเรียกว่าความแตกต่างทางด้านสถิตินั้นไม่สามารถประกันได้ว่า จะมีความแตกต่างมากเพียงพอที่จะใช้ในทางปฏิบัติ และจะต้องคำนึงถึงต้นทุนว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่

4) ผู้ทำการทดลอง ควรทำการทดลองซ้ำๆ หลายครั้งเพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลที่ได้ถูกต้อง

2.11.5 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

1) ความหมายของสมมติฐานทางสถิติ (กัลยา วานิชย์บัญชา) สมมติฐาน คือ ความเชื่อของบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือของกลุ่มบุคคลใดๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าสมมติฐานเป็นสิ่งที่บุคคลหรือองค์กรคาดว่าจะเกิดขึ้น ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดนั้นอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้

2) ชนิดของสมมติฐาน (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, จันทนา จันทโร) สมมติฐานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.1) สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_0

2.2) สมมติฐานอื่นๆ (Alternative Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_1

สมมติฐานหลักที่ตั้งขึ้น เพื่อทดสอบว่าจะยอมรับหรือไม่ว่าเป็นจริง การปฏิเสธไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก ก็คือการยอมรับสมมติฐานอื่นๆ ว่าเป็นจริง

2.11.6 ประเภทของสมมติฐานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1) สมมติฐานเดี่ยว (Simple Hypothesis) คือ สมมติฐานประเภทที่กำหนดค่าเฉพาะของพารามิเตอร์เจาะจงลงไปว่ามีค่าเท่ากับเท่าใด

2) สมมติฐานรวม (Composite Hypothesis) คือ สมมติฐานประเภทที่มีค่าพารามิเตอร์หลายๆค่า

สมมติฐานหลักและสมมติฐานอื่นๆ อาจเป็นสมมติฐานประเภทสมมติฐานเดี่ยวหรือสมมติฐานรวมก็ได้ แสดงตามตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1

$$H_0 : \mu = 72$$
$$H_1 : \mu = 75$$

ในตัวอย่างนี้ สมมติฐานหลักคือค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 72 ซึ่งเป็นค่าเฉพาะเจาะจง เพราะฉะนั้นสมมติฐานหลักจึงเป็นสมมติฐานเดี่ยว การทดสอบกระทำเพื่อพิสูจน์ว่า μ มีค่าเท่ากับ 72 หรือไม่ ส่วนสมมติฐานอื่นๆ เป็นเช่นเดียวกับสมมติฐานหลัก คือเป็นประเภทสมมติฐานเดี่ยว

ตัวอย่างที่ 2

$$H_0 : \mu >= 72$$
$$H_1 : \mu < 72$$

ในตัวอย่างนี้ ทั้งสมมติฐานหลักและสมมติฐานอื่นๆ เป็นประเภทสมมติฐานรวม กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยที่จะทดสอบในสมมติฐานหลักนั้นมีค่าใดๆ ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 72 ส่วนค่าเฉลี่ยในสมมติฐานอื่นๆ มีค่าใดๆ ก็ได้ที่น้อยกว่า 72

ตัวอย่างที่ 3

$$H_0 : \mu = 72$$
$$H_1 : \mu = 72$$

ในตัวอย่างนี้ สมมติฐานหลักเป็นประเภทสมมติฐานเดี่ยว ส่วนสมมติฐานอื่นๆ เป็นประเภทสมมติฐานรวม

3) ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

3.1) ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) หรือเรียกโดยทั่วไปว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) ใช้สัญลักษณ์ α เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานอื่นๆ โดยที่สมมติฐานหลักเป็นจริง

3.2) ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) ใช้สัญลักษณ์ β เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธสมมติฐานอื่นๆ โดยที่สมมติฐานอื่นๆ เป็นจริงในการทดสอบแต่ละครั้ง ผู้ทดสอบย่อมต้องการให้มีความผิดพลาดทั้งสองประเภท (α และ β) น้อยที่สุด แต่เมื่อค่าของ α ลดลง ค่าของ β จะเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน เมื่อค่าของ α เพิ่มขึ้น ค่าของ β จะลดลง ดังนั้นเมื่อต้องการลดค่าความผิดพลาดทั้งสองประเภทให้ลดลงได้พร้อมๆกัน ทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มากขึ้น

4) การตั้งสมมติฐานในการออกแบบการทดลอง (ปารเมศ ชุติมา) การตั้งสมมติฐานในการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

4.1) การออกแบบการทดลองแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effects Model) จะทำการตรวจสอบว่าปัจจัยต่างๆ มีผลกระทบต่อกระบวนการหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

H_0 : ปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการ

H_1 : ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการ

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ μ เมื่อ μ คือค่าเฉลี่ยของปัจจัย

$$H_0 : \mu 1 = \mu 2 = \ldots = \mu\alpha$$
$$H_1 : \mu i \neq \mu\phi \text{ ; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ (i,j)}$$

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ τ เมื่อ τ คือค่าเฉลี่ยของปัจจัย

$$H_0 : \tau 1 = \tau 2 = \ldots = \tau\alpha = 0$$
$$H_1 : \tau i \neq 0 \text{ ; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า i}$$

4.2) การออกแบบการทดลองแบบผลกระทบแบบสุ่ม (Random Effects Model) จะทำการตรวจสอบว่า ความแปรปรวน ($\sigma^2\tau$) จะมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ เพราะไม่สามารถหาค่าของอิทธิพล (Effect) ของระดับของปัจจัยที่เกิดขึ้นแน่นอน สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

$$H_0 : \sigma^2\tau = 0$$
$$H_1 : \sigma^2\tau > 0$$

4.3) การออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixed Effects Model) เมื่อปัจจัยในการทดลองมีลักษณะเป็นแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Levels) และแบบสุ่ม (Random Levels) รวมกันอยู่ จะต้องใช้การทั้งสมมติฐานของ 2 กรณีที่กล่าวข้างต้น โดยแยกตามลักษณะรูปแบบของปัจจัยนั้น ๆ

2.8.6 ชนิดของแผนการออกแบบการทดลอง

แผนการออกแบบการทดลองสามารถแบ่งออกได้ ดังต่อไปนี้

1) แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design) จะต้องเก็บข้อมูลโดยระดับของปัจจัยหรือทรีทเม้นต์ (Treatment) เพื่อทดสอบว่าระดับของปัจจัยต่างๆ มีผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ โดยแผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

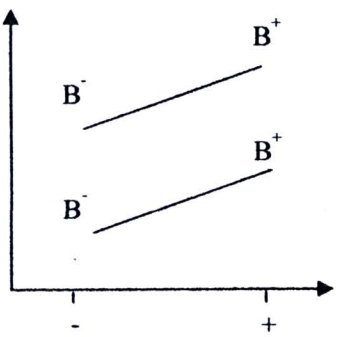
1.1) การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว แต่จะทำการเปรียบเทียบระหว่างระดับของปัจจัย มีปัจจัยที่

ควบคุมไม่ได้ มีผลกระทบน้อย และไม่มีปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) โดยการทดลองจะใช้หลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

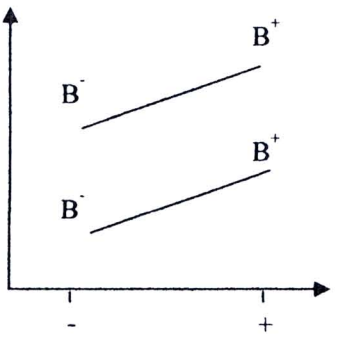
1.2) การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในบล็อก (Completely Randomized Block Design) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียวและมีปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) ที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง และต้องทำการกำจัดปัจจัยรบกวนดังกล่าวทิ้ง บางครั้งปัจจัยรบกวนนั้นไม่ทราบและไม่สามารถควบคุมได้ จึงใช้วิธีการบล็อก (Blocking) ในการกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออกได้

2) แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ จึงเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ในการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ตัวอย่างเช่น กรณี 3 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย 3 ระดับ ปัจจัย B ประกอบด้วย 3 ระดับ และปัจจัย C ประกอบด้วย 3 ระดับ ในการทดลองทำซ้ำ (Replicate) 2 ครั้ง จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 3x3x3x2 = 54 การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล จึงกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) และหากผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ ซึ่งเรียกว่าการมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องแนวคิดดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 และ 2.16



รูปที่ 2.15 แสดงการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย



รูปที่ 2.16 แสดงการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ จะประมาณได้ว่าขนานกัน ซึ่งลักษณะของกราฟเช่นนี้จะบ่งบอกถึงการไม่มีอันตรกิริยาซึ่งกันและกันของปัจจัยทั้งสอง ในทำนองเดียวกันจากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ ไม่ขนานกัน และสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน บ่อยครั้งที่กราฟลักษณะเช่นนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงถึงการมีนัยสำคัญ (Significant) ของอันตรกิริยา อย่างไรก็ตามกราฟเช่นนี้ไม่ควรนำมาใช้แทนเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลในทางสถิติ เพราะว่าการตีความจากกราฟค่อนข้างที่จะขึ้นกับความคิดเห็นส่วนบุคคล ซึ่งอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดหรือวิเคราะห์ผิดพลาดได้รูปแบบของแผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลยังแบ่งย่อยในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัวอีกดังต่อไปนี้

1) การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design) เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ –1 หรือ (-) และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นจะช่วยในการทดลองที่เจาะลึกต่อไป

2) การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k (3^k Factorial Design) เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ –1 หรือ (-) ระดับกลาง ใช้สัญลักษณ์ 0 หรือ (0) และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) การทดลองแบบนี้เหมาะสมเมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง

3) การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการทดลองที่ใช้ในกรณีเมื่อการทดลองมีหลายปัจจัย ทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเม้นต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกไปโดยอาศัยหลักการของการคอนฟาวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นลดลง

4) แผนการออกแบบการทดลองอื่นๆ มีดังต่อไปนี้

4.1) แผนการออกแบบการทดลองลาตินสแควร์ (Latin Square Design)

4.2) แผนการออกแบบการทดลองเนสเต็ด (Nested Design)

4.3) แผนการออกแบบการทดลองสปิทพล็อท(Split-Plot Design)

4.4) แผนการออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

4.5) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

2.8.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

คือเทคนิคที่ใช้ในการจัดสรรความแปรปรวนหรือความแปรผัน(Variance) ที่เกิดขึ้นในข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ ตามแหล่งที่คาดว่าทำให้เกิดความแปรผัน ความแปรผันที่เกิดขึ้นในข้อมูลเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

ความแปรผันทั้งหมด = ความแปรผันเนื่องจากปัจจัย + ความแปรผันโดยธรรมชาติของข้อมูล

สมการดังกล่าวได้จากข้อคิดที่ว่า ความแตกต่างกันของข้อมูลนั้นไม่น่าจะมาจากสาเหตุของความแปรผันโดยธรรมชาติ หรือที่เรียกว่าความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) ของข้อมูลแต่เพียงอย่างเดียว แต่น่าจะมาจากปัจจัย (Factor) หนึ่งปัจจัยใดหรือหลายๆปัจจัยทำให้เกิดความแปรผัน ดังนั้นความแปรผันทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับข้อมูลจึงเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยและธรรมชาติของข้อมูล

ปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อความแปรผันของข้อมูลถือได้ว่าเป็นตัวแปรอิสระซึ่งมีผลต่อตัวแปรตาม โดยเป็นข้อมูลที่วัดผลหรือเก็บรวบรวมมา ตัวแปรอิสระดังกล่าวมักจะไม่ได้มีแค่ค่าเดียวแต่จะมีหลาย ๆ ค่าซึ่งเรียกว่าระดับ (Level) ของปัจจัย ถ้าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อตัวแปรตามจริงๆ แต่ละระดับก็จะมีผลต่อตัวแปรตามไม่เหมือนกัน การวิเคราะห์จึงทำโดยการทำการทดลอง (Treatment) กำหนดค่าตัวแปรอิสระที่ระดับต่างๆ เพื่อหาตัวแปรตามที่เกิดขึ้นจากการทดลองนั้นๆ แล้วนำไปวิเคราะห์ดูว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของการทดลองนั้นมีนัยสำคัญหรือไม่เมื่อเทียบกับความแปรผันโดยธรรมชาติของตัวแปรตาม และเพื่อที่จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์มีความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง จึงมักจะต้องทำการทวนซ้ำ (Replicated) ให้ได้จำนวนข้อมูลที่แต่ละการทดลองมากพอ

การเลือกระดับของปัจจัยถ้าเป็นการเจาะจง รูปแบบของการทดลองจะถูกเรียกว่าแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) ผลที่ได้จากการทดสอบจะสรุปได้เฉพาะอิทธิพลของปัจจัยที่

ระดับที่นำมาทดสอบ แต่ถ้าเลือกระดับของปัจจัยเป็นการเลือกแบบสุ่มรูปแบบของการทดสอบจะเป็นแบบสุ่ม (Random Effect Model) ผลที่ได้จากการทดสอบจะสรุปอิทธิพลโดยรวม (in General) ของปัจจัยจาก

ความแปรผันทั้งหมด = ความแปรผันเนื่องจากปัจจัย + ความแปรผันโดยธรรมชาติของข้อมูล

หรือเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$SS_T = SS_{Tr} + SS_E$$

โดยที่

SS_T คือ ผลบวกกำลังสองทั้งหมด
SS_{Tr} คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัย
SS_E คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม

การวัดความแปรผันจากข้อมูลในการทดลองนั้น จะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรผัน (Variance) ที่ดีที่สุดคือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง (Mean Square : MS) โดยที่ค่า MS สามารถคำนวณได้จาก

$$MS = \frac{SS}{DF}$$

เมื่อ

SS คือ ผลบวกกำลังสอง (Sum of Square)
DF คือ ขั้นของความอิสระ

2.8.8 สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่ใช้นำมาเปรียบเทียบค่าความแปรผันคือ

$$F = \frac{MS_{Tr}}{MS_E}$$

เมื่อ

MS_{Tr} คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของปัจจัย

MS_E คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เปรียบเทียบค่าสถิติสำหรับทดสอบ F กับค่า F_α, V_1, V_2

ถ้า $F \geq F_\alpha, V_1, V_2$ ปฏิเสธ H_0

ถ้า $F < F_\alpha, V_1, V_2$ ยอมรับ H_1

เมื่อ α คือระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)

V_1 คือ ขั้นของความอิสระของปัจจัย

V_2 คือ ขั้นของความอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม

2.8.9 รูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างรูปแบบเชิงเส้นขึ้นด้วย ซึ่งลักษณะรูปแบบเชิงเส้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการออกแบบการทดลอง จะแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มี 3 ปัจจัย รูปแบบเชิงเส้นคือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau\iota + \beta\phi + \gamma\kappa + (\tau\beta)\iota\phi + (\tau\gamma)\iota\kappa + (\beta\gamma)\phi\kappa + (\tau\beta\gamma)\iota\phi\kappa + \varepsilon\iota\phi\kappa\lambda$$

โดยที่

$i = 1, 2, 3, ..., a$ (ระดับของปัจจัย A)

$j = 1, 2, 3, ..., b$ (ระดับของปัจจัย B)

$k = 1, 2, 3, ..., c$ (ระดับของปัจจัย C)

$l = 1, 2, 3, ..., n$ (จำนวนซ้ำ)

เมื่อ

Y_{ijkl} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม

μ คือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าคงที่

$\tau\imath$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย A

$\beta\phi$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย B

$\gamma\kappa$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย C

$(\tau\beta)\imath\phi$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย A และ B

$(\tau\gamma)\imath\kappa$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย A และ C

$(\beta\gamma)\phi\kappa$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย B และ C

$(\tau\beta\gamma)\imath\phi\kappa$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย A,B และ C

$\varepsilon\imath\phi\kappa\lambda$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม

โดยข้อมูลจะถูกนำมาคำนวณและใส่ไว้ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of Variation	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
A	SS_A	$a-1$	$\frac{SS_A}{DF}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	$b-1$	$\frac{SS_B}{DF}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
C	SS_C	$c-1$	$\frac{SS_C}{DF}$	$\frac{MS_C}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	$\frac{SS_{AB}}{DF}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	$(a-1)(c-1)$	$\frac{SS_{AC}}{DF}$	$\frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	SS_{BC}	$(b-1)(c-1)$	$\frac{SS_{BC}}{DF}$	$\frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	SS_{ABC}	$(a-1)(b-1)(c-1)$	$\frac{SS_{ABC}}{DF}$	$\frac{MS_{ABC}}{MS_E}$

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แสดงการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Error	SS_E	$abc(n-1)$	$\frac{SS_E}{DF}$	
Total	SS_T	$abcn-1$		

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abcn}$$

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_{i=1}^{a} Y_{i...}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abcn}$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_{j=1}^{b} Y_{j...}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abcn}$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{c} Y_{k...}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abcn}$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} Y_{ij...}^2 - \frac{Y_{...}^2 - SS_A - SS_B}{abcn}$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} Y_{ik...}^2 - \frac{Y_{...}^2 - SS_A - SS_C}{abcn}$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} Y_{jk...}^2 - \frac{Y_{...}^2 - SS_B - SS_C}{abcn}$$

$$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{...}^2 - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}}{abcn}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{ABC}$$

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง จะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการกระจายแบบเอฟ (F - Distribution) โดยกำหนดค่า α ก่อน หากค่า $F < F_{\alpha},V_1,V_2$ ยอมรับ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น (1-α)% แต่ถ้าหาก $F \geq F_{\alpha},V_1,V_2$ ปฏิเสธ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น (1-α)%

2.8.10 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติหรือไม่ โดยอาศัยข้อสมมติฐานที่สำคัญซึ่งอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองดังต่อไปนี้

สมการเชิงเส้นตรง : $Y_{ij} = \mu + \tau\imath + \varepsilon\imath\phi$

โดยที่

Y_{ij} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม

μ คือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าคงที่

$\tau\imath$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย

$\varepsilon\imath\phi$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่มหรือความผิดพลาดแบบสุ่ม

โดยความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และ σ^2 มีค่าคงตัวแต่ไม่ทราบค่า ซึ่งเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้

$$Y_{ij} - NID\ (0,\ \sigma^2)$$

ถ้าสมมติฐานเหล่านี้เป็นจริง กระบวนการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ก็จะเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการไม่มีความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของระดับที่ถูกต้อง

ในทางปฏิบัติ สมมติฐานมักจะไม่เป็นเช่นนี้ ซึ่งจะเชื่อถือผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ก็ต่อเมื่อสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานว่าเป็นจริงเสียก่อน โดยสามารถตรวจสอบสมมติฐานขั้นต้นและความถูกต้องของแบบจำลองได้โดยการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) สำหรับค่าสังเกต j ของระดับที่ i ส่วนตกค้างจะมีค่าเป็น

$$e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$$

โดยที่ $\hat{Y}_{ij}$ คือค่าประมาณของค่าสังเกต Y_{ij} ซึ่งหาได้จาก

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{ij} &= \hat{\mu}+\hat{\tau}i \\ &= \bar{Y}...+\left(\bar{Y}_i-\bar{Y}...\right) \\ &= \bar{Y}_i\end{aligned}$$

จากสมการ ค่าประมาณของค่าสังเกตใด ๆ ในระดับที่ i ก็คือค่าเฉลี่ยของระดับนั้น ๆ ดังนั้นการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ประเภท คือ

2.8.11 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยนำค่าส่วนตกค้าง (Residual) ไปทดสอบ ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

1) การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2-Goodness of Fit Test)
2) การทดสอบแบบโคลโกโมรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov Test)
3) การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP)

2.8.12 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ ทดสอบโดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล แล้วดูลักษณะของข้อมูลว่ามีการกระจายเป็นอิสระหรือมีลักษณะเป็นรูปแบบใดๆ

2.8.13 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทดสอบโดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (fitted Value) ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะกระจายอยู่ทั่วไป ไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นใด และทดสอบโดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัย ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แต่ถ้ารูปที่พล็อตขึ้นมานี้มีลักษณะเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่มีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล

2.8.14 การทดสอบพารามิเตอร์ของสองประชากร

การทดสอบพารามิเตอร์ของสองประชากร (Test of Two Parameters) เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของสองประชากร โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์

กับค่าความน่าจะเป็นของการยอมรับสมมติฐานหลักสมมติฐานสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ของสองประชากร มีดังต่อไปนี้

กรณีการทดสอบสองด้าน

$$H_0 \ : \ \mu\xi = \mu\psi$$
$$H_1 \ : \ \mu\xi = \mu\psi$$

กรณีการทดสอบด้านเดียว

1) $H_0 \ : \ \mu\xi = \mu\psi$ หรือ $\mu\xi \leq \mu\psi$
$H_1 \ : \ \mu\xi > \mu\psi$

2) $H_0 \ : \ \mu\xi = \mu\psi$ หรือ $\mu\xi \geq \mu\psi$
$H_1 \ : \ \mu\xi < \mu\psi$

การทดสอบพารามิเตอร์ของสองประชากร สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1) การทดสอบสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยของสองประชากรซึ่งมีการแจกแจงของความน่าจะเป็นแบบปกติที่มีค่าเท่ากัน โดยที่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองประชากร (Test of the hypothesis that the means of two normal distributions are equal when both standard deviations are known.)

2) ในการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของสองประชากรมีค่าเท่ากันหรือไม่ โดยทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองประชากร สถิติสำหรับการทดสอบก็คือ U ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$U = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\left(\frac{\sigma_x^2}{n_x} + \frac{\sigma_y^2}{n_y} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

โดยที่ X คือค่าเฉลี่ยของค่าของตัวแปรแบบสุ่มที่มาจากประชากรแรก ซึ่งมี σ_x^2 เป็นค่าความแปรปรวน โดยมีจำนวนประชากร n_x

Y คือ ค่าเฉลี่ยของค่าของตัวแปรแบบสุ่ม ที่มาจากประชากรที่สอง ซึ่งมี σ_y^2 เป็นค่าความแปรปรวน โดยมีจำนวนประชากร n_y

1) การทดสอบสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยของสองประชากรซึ่งมีการแจกแจงของความน่าจะเป็นแบบปกติที่มีค่าเท่ากัน โดยที่ไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองประชากรแต่ทราบว่าเท่ากัน (Test of the hypothesis that the means of two normal distributions are equal, assuming that the standard deviations are unknown but equal.)

2) ในการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของสองประชากรมีค่าเท่ากันหรือไม่ โดยไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองประชากรแต่ทราบว่าเท่ากัน สถิติสำหรับการทดสอบก็คือ t ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

3) เมื่อทราบแบบจำลองการถดถอยแล้ว จะต้องตรวจสอบขนาดของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (The Coefficient of Determination : R-Square)

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) แสดงโดยใช้ค่าสัดส่วนของความแปนปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในตัวแปรตาม ดังนั้น R-Square จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

1) ถ้า R-Square มีค่าเข้าใกล้ 0 เช่น R-Square = 0.1 แสดงว่า 10% ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ส่วนอีก 90% ที่เหลือควรจะเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ

2) ถ้า R-Square มีค่าเข้าใกล้ 1 เช่น R-Square = 0.9 แสดงว่า 90% ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ส่วนอีก 10% ที่เหลือควรจะเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ

3) ถ้า R-Square มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

4) ถ้า R-Square มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

2.8.15 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง เป็นเครื่องมือสำคัญในระบบงานของด้านวิศวกรรม สำหรับการเพิ่มสมรรถนะของกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการ ซึ่งมักจะทำให้เกิดการพัฒนาในกระบวนการใหม่ การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการ สามารถพิจารณาในรูปแบบต่อไปนี้

1) การเพิ่มผลผลิตของกระบวนการ

2) การลดความผันแปรของกระบวนการ และกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการ

3) การลดเวลาที่ต้องใช้ในการพัฒนา

4) การลดต้นทุนโดยรวมของกระบวนการวิธีการออกแบบการทดลอง มีบทบาทอย่างมากในการออกแบบทางวิศวกรรม ทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ออกมา การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการออกแบบทางวิศวกรรม จะรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

4.1) การประเมินและเปรียบเทียบของพื้นฐานการออกแบบ

4.2) การประเมินทางเลือกของวัสดุ

4.3) เลือกพารามิเตอร์ของการออกแบบที่เมื่อพารามิเตอร์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงจะไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์

4.4) หาพารามิเตอร์ในการออกแบบที่มีผลต่อสมรรถภาพของผลิตภัณฑ์

การใช้การออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ สามารถส่งผลต่อผลิตภัณฑ์คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายกว่า มีความน่าเชื่อถือ มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่สั้นกว่า

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกลึงปอก ได้มีผู้ทำการวิจัยไว้มากมาย ดังเช่น ชัยพฤกษ์ อาภาเวท และคณะได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการตั้งมีดลึกและอัตราการป้อนที่มีผลต่อแรงตัดเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้า St. 37 โดยในงานวิจัยนี้ใช้เหล็กกล้าแบบ St.37 กับมีดเล็บแบบ Carbide Tip K10 $\chi = 45^{o}$ $r = 12^{\circ}$ $\alpha = 8^{o}$ และทำการตั้งมีดกลึงให้มีค่าอัตราการตั้งมีดลึกต่างกัน 5 ค่า ได้แก่ 0.3,0.5, 0.8, 1.0 และ 1.2 ม.ม. โดยกำหนดค่าอัตราป้อนที่ 0.04, 0.07,0.1, 0.16, 0.2 และ 0.28 ม.ม. ต่อรอบ จากนั้นทำการกลึงและบันทึกค่า จากการศึกษาพบว่าแรงการตัดเฉือนจะแปรผันตรงกับอัตราการป้อนตัด และอัตราการกินลึก เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงร่วมกับลักษณะของเศษโลหะจากการกลึง พบว่าแรงเฉือนตัดในทิศทางต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่ำจะเป็นจุด

ที่ได้เศษตัดที่ดี โดยไม่มีรอยไหม้ เนื่องจากความร้อน ในขณะที่ บรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง (2547) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ 3 ตัวแปร อันได้แก่ ส่วนโค้งปลายมีด ความลึกในการกินชิ้นงาน และอัตราการเดินมีดต่อรอบ ที่มีผลต่อความเรียบผิวโดยนำหลักการของ Design and Analysis of Experiments เป็นพื้นฐานในการวิจัย มาช่วยในการวิเคราะห์เบื้องต้น เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบผิว พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวคือ ส่วนโค้งปลายมีดและอัตราการเดินมีดต่อรอบ โดยมีความสัมพันธ์กันตามสมการของความเรียบผิว ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยหลักการของ Design and Analysis of Experiments พบว่าส่วนโค้งปลายมีดไม่มีผลต่ออัตราการหลุดออกของเศษโลหะ เนื่องจากความลึกในการกินชิ้นงานไม่มีผลต่อความเรียบผิว แต่สามารถควบคุมอัตราการหลุดออกของเศษโลหะให้ได้ความเรียบผิวที่ต้องการได้ โดยการเลือกใช้อัตราการเดินมีดต่อรอบที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความเรียบที่ต้องการ ในขณะที่ ปัญญา วินทะไชย, (2548) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักในการกลึงเหล็กหล่อด้วยมีดคาร์ไบด์และเซรามิค ที่มีผลต่อความขรุขระของพื้นผิว(Surface Roughness) และความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน (Dimensional Error) ในการวิจัยได้ใช้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กหล่อสีเทา(Gray Cast Iron) ชนิด FC 30 ตามมาตรฐาน JIS G5501 โดยใช้ใบมีด 2 ชนิด คือ ใบมีดคาร์ไบด์(Carbide Tools) และใบมีดเซรามิค(Ceramic Tools) ที่สภาวะเงื่อนไขในการตัดต่างๆ โดยใช้ความเร็วตัด(Cutting Speed) ที่ 250, 400 และ 550 เมตรต่อวินาที อัตราป้อน(Feed rate) เท่ากับ 0.02, 0.06 และ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด(Depth of Cut) เท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร และใช้วิธีการทดลองแบบ Factorial Design จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม MINITAB พบว่าในการกลึงด้วยใบมีดเซรามิค ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานคือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการป้อน รวมทั้งอิทธิผลร่วม (Interaction) ของทุกปัจจัย โดยที่สภาวะการตัดที่ดีที่สุดคือ ที่ความเร็วตัด 550 เมตรต่อนาที อัตราป้อนที่ 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการป้อน 0.2 มิลลิเมตร และในการกลึงด้วยใบมีดคาร์ไบด์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานคือ ความเร็วตัด อัตราป้อนและอิทธิผลร่วม (Interaction) ของทุกปัจจัย โดยที่สภาวะการตัดที่ดีที่สุดคือ ที่ความเร็วตัด 400 เมตรต่อนาที อัตราป้อนที่ 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการป้อน 0.1 มิลลิเมตร และสภาวะการตัดที่ดีที่สุดจากการทดลองนี้พบว่า ใบมีดเซรามิคให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่น้อยกว่าใบมีดคาร์ไบด์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ในขณะที่ Lee, B.Y.,Tarng, Y.S and Lii H.R.,(2000) ได้ศึกษาถึงพารามิเตอร์ใช้สำหรับการกลึงเพื่อให้อัตราการผลิตสูงสุด หรือให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด โดยใช้การศึกษาแบบจำลอง Polynomial Network ซึ่งวิธีการแบบ Polynomial Network นี้สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการตัดได้ เช่น

ความเร็ว อัตราป้อน ความลึกในการตัด ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตัด เช่น ความขุรขระของพื้นผิว แรงที่ใช้ตัด อายุการใช้งานของมีด การหาค่าที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Polynomial Network จะใช้วิธีการของ Sequential Quadratic Programming Method ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของ Non-Linear Programming Method โดยกำหนดจุดที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับการตัดเป็นสมการ วัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าต้องการหาจุดที่ให้อัตราการผลิตสูงสุด หรือเพื่อหาต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด โดยมีสมการขอบข่ายคือ ความขรุขระที่ยอมรับ แรงที่ใช้ในการตัด และช่วงที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัด ในขณะที่ 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 จากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เพิ่มมากขึ้นในการตัดกับการสึกหรอของใบมีด ในขณะที่ Choudhury, S.K. and Appa Rao, I.V.K., (1999) ได้ศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้สมการอายุคมมีดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งวิธีการใหม่นี้สามารถใช้เพื่อปรับปรุงสมการอายุคมมีดให้มีค่าสูงขึ้น โดยศึกษาวิธีถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดและอัตราการป้อนควบคู่กันไป ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า เมื่อตัดที่ความเร็วต่ำ ฝอยที่เกิดขึ้นจะมีน้อยและสัมผัสกับหน้ามีดยาวนานขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ความร้อนมีการกระจายที่ดีขึ้น ลดการเกิด Flank Wear และ Cratet Wear ทำให้อายุคมมีดยาวนานขึ้นอีกทั้งมีความเป็นไปได้ที่ขณะกำลังตัดที่ความเร็วสูงใกล้กับค่าที่ดีที่สุดนั้นให้ลดความเร็วตัดลงเล็กน้อย เพื่อให้อายุคมมีดมีค่าสูงขึ้น เพราะความเร็วในการตัดมีอิทธิพลต่ออายุคมมีดสูงแต่ให้เพิ่มอัตราการป้อนแทน ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันกันมากนัก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะพบว่าการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีทางสถิตินั้น ได้ถูกนำมาใช้ในทดลองเพื่อการคัดเลือกปัจจัยและหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัย ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถยืนยันผลที่ได้ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสิ่งที่ต้องการทำการทดลองในเชิงสถิติ และให้มีความเชื่อมั่น มีความเที่ยงตรง และแม่นยำ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการทำงาน หรือพัฒนากระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการทำงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้ในการคัดกรองปัจจัยและหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวงานกลึงปอกเหล็กกล้า St 37 เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการทำงานที่เกี่ยวกับการผลิตชิ้นส่วนต่อไป