การศึกษาประเภทวัสดุและมุมคมตัดดอกสว่านที่ให้อัตรากำไรสูงสุด กรณีศึกษา : อุตสาหกรรมผลิตล้อประตู

Experimental Studies of Drill Material and Angle for the Profit-rate Maximization : A Case Study of Bearing Wheel Manufacturing

จุลศิริ เจริญภัณฑารักษ์[1] และ ประพัฒน์ พึ่งบุญไพศาล[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121
โทร. 0-2564-3001-9 ต่อ 3076
E-mail: jjulsiri@engr.tu.ac.th

[2]สาขาการจัดการงานวิศวกรรม หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม
235 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กทม. 10160
โทร. 0-2457-0068 ต่อ 322
E-mail: pphungbo@celestica.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษากรณีโรงงานผลิตล้อประตูซึ่งต้องมีการเจาะรูแกนล้อเพื่อประกอบเป็นแกนกลางของล้อประตูซึ่งทำด้วยเหล็กตัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาชนิดวัสดุและมุมคมตัดของดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้มีค่า ใช้จ่ายในการเจาะรูต่อชิ้นงานต่ำสุด และ/หรือ อัตรากำไรสูงสุด การศึกษาครั้งนี้ ใช้เครื่องเจาะแบบอัตโนมัติมีอายุการใช้งานมาแล้วกว่า 10 ปี ในการเจาะรูด้วยดอกสว่านสำหรับทดสอบ 3 ชนิด คือ ชนิด HSS แบบธรรมดา ชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ และชนิดคาร์ไบด์ และทดสอบมุมฟรีหรือมุมหลบที่ 5° 8° 12° และ 20° ในการทดสอบนี้มีการทดลองทั้งแบบมีการลับคมหลังสึกหรอเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และแบบไม่ลับคมแต่ใช้วิธีเปลี่ยนดอกสว่านดอกใหม่แทนที่ดอกสว่านเก่าที่สึกหรอ จากการทดลอง สรุปได้ว่า ที่มุมจิก 118 องศา ซึ่งเป็นมุมจิกมาตรฐานที่นิยมใช้กัน ดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา มุมฟรี 12 องศา มีค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นต่ำสุด และอัตรากำไรสูงสุด ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที และอัตราป้อน 0.03 นิ้วต่อรอบ นอกจากนี้ยังพบว่า การลับคมนำกลับมาใช้ใหม่คุ้มค่ากว่าการเปลี่ยนดอกสว่านใหม่แทนหลังสึกหรอ (ไม่ลับคม)

คำสำคัญ ดอกสว่าน อัตรากำไร ค่าใช้จ่ายการเจาะต่อชิ้น

Abstract

This paper aims to investigate the drilling process of bearing wheel shaft in a bearing wheel manufacturing. The purpose is to determine the optimal drill material and angle for minimum drilling cost per unit and/or maximum profit- rate. Ten-year used drilling machines were brought into the experimental studies to test the performance of the three types of drills: HSS , Cobalt-coated HSS and Carbide at the lip relief angles of 5°, 8°, 12° and 20°. The tests cover both failure replacement strategy and drill resharpening strategy for comparison. The experimental results revealed that the HSS drill at the point angle of 118° and the lip relief angle of 12° yielded both minimum unit cost and maximum profit rate at the spindle speed of 1800 rpm. and feed rate of 0.03 in/round. In addition, the comparison of the drilling cost per unit and the profit-rate of both failure replacement strategy and drill resharpening strategy indicate that the failure replacement strategy is superior.

Key words : drill, profit-rate, drilling cost per unit.

1. บทนำ

กระบวนการเจาะรู (Drilling) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการทำงานตัดเฉือน (Cutting) ในปัจจุบัน มีอุตสาหกรรมขนาดเล็กในประเทศไทยเป็นจำนวนมากที่ต้องใช้กระบวนการเจาะรูเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิต และส่วนใหญ่ยังคงใช้เครื่องเจาะรูที่มีอายุการใช้งานมานาน อุตสาหกรรมการผลิตล้อประตูจัดเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กประเภทหนึ่งที่มีการแข่งขันสูงมากในปัจจุบัน ผู้ประกอบกิจการจำเป็นที่จะต้องปรับตัวเพื่อความอยู่รอดของธุรกิจ โดยการพัฒนาและปรับปรุงระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด หรือใช้ทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างสูงสุด

จากข้อมูลต้นทุนการผลิตในโรงงานผลิตล้อประตู ซึ่งเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ขั้นตอนการผลิตที่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงที่สุดคือ แผนกเจาะแกน ซึ่งมีต้นทุนค่าแรงงาน 0.37 บาท/ชิ้น (หรือ 27.79 % ของค่าแรงงานทั้งหมด) และค่าอุปกรณ์ในการเจาะ (ดอกสว่าน) ต่อชิ้นคือ 0.11 บาท/ชิ้น (หรือ 50 % ของใบมีดตัดเฉือนทั้งหมด) โดยเครื่องเจาะที่ใช้ในการปฏิบัติงานเป็นเครื่องเจาะอัตโนมัติที่สามารถป้อนชิ้นงานและปฏิบัติงานได้เอง มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี การศึกษาหาชนิดและมุมของดอกสว่านที่เหมาะสมกับชนิดงานและสภาพเครื่องเจาะที่ใช้งานอยู่จะช่วยลดต้นทุนค่าดอกสว่านรวมถึงค่าแรงงานที่เกี่ยวข้องด้วย

ดอกสว่านที่ใช้ในโรงงานแห่งนี้เป็นดอกสว่านแบบมีร่องบิดหรือร่องเลื่อย (Twist drill) ซึ่งมีงานวิชาการหลายชิ้นได้กล่าวถึงการทำงานเจาะรูของดอกสว่านประเภทนี้ ไม่ว่าจะเป็น การสึกหรอของดอกสว่าน (Tool wear) อัตราการคายเศษโลหะ (Material removal rates) และความเที่ยงตรงถูกต้องของรูที่เจาะ [1,2,3]

2. วัตถุประสงค์

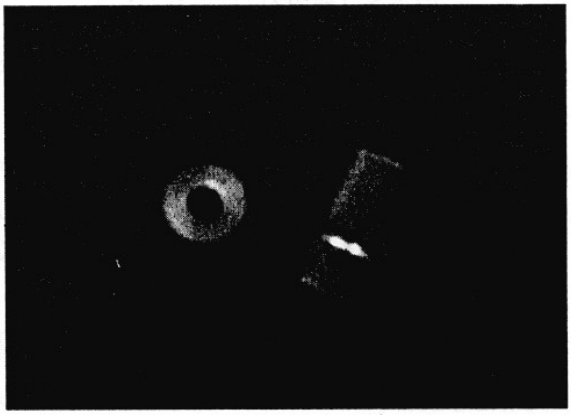
เพื่อศึกษาหาประเภทของวัสดุ และมุมคมตัดของดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้มีอัตรากำไรสูงสุด (Maximum profit rate) และ/หรือ มีค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นต่ำสุด (Minimum drilling cost per unit) โดยจะคำนึงถึงเฉพาะค่าแรงงานและค่าดอกสว่านเท่านั้น ในการศึกษา จะศึกษาครอบคลุมทั้งแบบลับคมหลังสึกหรอเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Drill resharpening strategy) และแบบเปลี่ยนทดแทนใหม่หลังสึกหรอ (Failure replacement strategy)

3. การทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ชิ้นงานสำหรับเจาะรู

ชิ้นงานที่ใช้เจาะรูเป็นเหล็กเพลาขาว ซึ่งเป็นเหล็กเนื้อนิ่ม ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17/ 64 นิ้ว จนทะลุชิ้นงานซึ่งยาว 1 ¼ นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวแกนล้อ ยาว 1 ¼ นิ้ว รูเจาะขนาด 17/ 64 นิ้ว

3.1.2 ดอกสว่าน

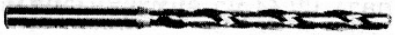
ดอกสว่านที่ใช้ในการทดสอบหาชนิดที่เหมาะสมโดยเครื่องเจาะอัตโนมัติ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้คัดเลือกชนิดดอกสว่านซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในงานประเภทนี้เนื่องจากได้ชิ้นงานเจาะที่มีคุณภาพไม่แตกต่างกันเป็นที่ยอมรับของตลาด ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ ดอกสว่านชนิด HSS (High-Speed Steel หรือ เหล็กรอบสูง) แบบธรรมดา ชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ (Cobalt) และชนิดคาร์ไบด์ (Carbide) โดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17/64 นิ้ว ตามขนาดของรูเจาะที่ต้องการ และใช้มุมจิกที่ 118° เนื่องจากเป็นมุมจิกมาตรฐานที่นิยมใช้กัน โดยเฉพาะกับการเจาะรูเหล็กเนื้อนิ่ม [4] ดังแสดงในรูปที่ 2 รูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ (ชนิดที่เหมาะสมที่สุดจะถูกนำไป ใช้ทดสอบหาขนาดมุมฟรีที่เหมาะสมอีกต่อหนึ่งด้วย)

3.2 วิธีการทดสอบ

การศึกษาครั้งนี้ ใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial experiment) [5] โดยมีปัจจัย (Factors) ได้แก่ ชนิด

HSS ธรรมดา

รูปที่ 2 ดอกสว่านประเภท HSS ธรรมดา



HSS เคลือบโคบอลล์

รูปที่ 3 ดอกสว่านประเภท HSS เคลือบ Cobalt

Carbide

รูปที่ 4 ดอกสว่านประเภท Carbide

ดอกสว่าน ความเร็วรอบในการหมุน (Spindle speed) อัตราป้อน (Feed rate) มุมฟรีหรือมุมหลบ (Lip relief angle) เพื่อทดสอบผลตอบสนอง (Response) ได้แก่ จำนวนชิ้นงานที่เจาะรูได้ในแต่ละช่วงอายุคมดอกสว่านซึ่งจะถือเป็นหน่วยวัดของอายุคมดอกสว่าน (Tool life หรือ Drill life) หรืออัตราการสึกหรอ (Tool wear rate) และตรวจสอบอิทธิพลหรือผลกระทบของปัจจัย ทั้ง อิทธิพลหลัก (Main effect) และอิทธิพลของกิริยาร่วม (Interaction effect) โดยทดลองกับทุกๆ กลุ่มระดับของการใช้ปัจจัยต่างๆ ร่วมกัน (All possible combinations of levels) ในแต่ละครั้งที่ทดสอบตามกลุ่มระดับของปัจจัยนี้ จะใช้ ดอกสว่าน 3 ดอก เพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลหรือจำนวนการทำซ้ำ (Replication) ที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% [6,7]

3.2.1 การหาชนิดของดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด

ทำการทดสอบจำนวนชิ้นงานที่เจาะรูได้ในแต่ละอายุคมดอกสว่านด้วยปัจจัย 3 อย่าง คือ

ก) ดอกสว่านที่มุมจิก 118° และมุมฟรี 8° จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ชนิด HSS แบบธรรมดา ชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ และชนิดคาร์ไบด์

ข) ความเร็วรอบ 4 ระดับ ได้แก่ 500 rpm. (รอบต่อนาที) 1000 rpm. 1200 rpm. และ 1800 rpm.

ค) อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 0.01 นิ้วต่อรอบ 0.02 นิ้วต่อรอบ และ 0.03 นิ้วต่อรอบ

รวมจำนวนการทดลอง 36 ครั้ง (= 3 × 4 × 3 ครั้ง)

3.2.2 การหามุมฟรีของดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด

ทำการทดสอบดอกสว่านชนิดที่คัดเลือกจากการทดลองตามหัวข้อ 3.2.1 (ชนิดที่เหมาะสมที่สุด) ที่มุมจิก (Point angle) 118° ด้วยปัจจัย 3 อย่าง คือ

ก) มุมฟรี 4 ระดับ ได้แก่ 5° 8° 12° และ 20°

ข) ความเร็วรอบ 4 ระดับ ได้แก่ 500 rpm. 1000 rpm. 1200 rpm. และ 1800 rpm.

ค) อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 0.01 นิ้วต่อรอบ 0.02 นิ้วต่อรอบ และ 0.03 นิ้วต่อรอบ

รวมจำนวนการทดลอง 48 ครั้ง (= 4 × 4 × 3 ครั้ง)

3.2.3 การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

1) จำนวนชิ้นงาน (แกนล้อตัน) ที่เจาะรูได้ต่ออายุคมดอกสว่าน หรือต่อการลับคมดอกสว่าน 1 ครั้ง

2) จำนวนครั้งในการลับคมดอกสว่านแต่ละดอกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

3) ความยาวดอกสว่านที่ลดลงไปในการลับคมดอกสว่านแต่ละครั้ง (ความยาวดอกสว่านใหม่เท่ากับ 60.8 มิลลิเมตร)

4) เวลาการทำงานขั้นตอนต่างๆ ได้แก่

- เวลาที่หัวดอกสว่านเคลื่อนลงจนถึงชิ้นงานและเจาะชิ้นงาน (นาที)
- เวลาในการปรับตั้งเครื่อง ใส่และถอดชิ้นงาน (นาที)
- เวลาที่หัวดอกสว่านยกตัวออกจากชิ้นงาน (นาที)
- เวลาเจาะชิ้นงาน (นาที)

- เวลาเปลี่ยนดอกสว่าน (นาที)
- เวลาลับดอกสว่าน (นาทีต่อครั้ง)

ในการเก็บข้อมูลนั้น ได้เก็บข้อมูลจากเครื่องเจาะอัตโนมัติจำนวน 10 เครื่อง และพนักงานปฏิบัติงานที่มีสุขภาพแข็งแรง โดยเป็นพนักงานเจาะชิ้นงาน จำนวน 5 คน (2 คน ต่อ 1 เครื่อง) ซึ่งมีประสบการณ์ด้านนี้อย่างน้อย 2 ปี และพนักงานลับดอกสว่าน จำนวน 2 คน มีประสบการณ์ด้านนี้อย่างน้อย 5 ปี และระยะเวลาเก็บข้อมูลอยู่ในช่วงเวลาปฏิบัติงานปกติ ระหว่าง 8.00 – 17.00 น.

3.2.4 การหมดอายุคมดอกสว่านและการลับคม

ขณะใช้งานดอกสว่าน จะเกิดการสึกหรอตามตำแหน่งต่างๆของดอกสว่าน เช่น การสึกหรอด้านที่สัมผัสงาน (Flank wear หรือ Land wear) การสึกหรอที่ผิวคายเศษและสันคมตัด (Crater wear) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นรอยแตกบิ่น เป็นต้น การตรวจสอบการสึกหรอดังกล่าว สามารถสังเกตุสิ่งผิดปกติในขณะทำการเจาะได้ [2] ดังนี้

1) ผิวของชิ้นงานที่เจาะจะเริ่มมีลักษณะขรุขระไม่เรียบ
2) ขนาดรูเจาะเริ่มไม่ได้ขนาดตามต้องการ
3) เศษชี้เหล็กที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นเส้นเล็กลง ไม่ค่อยไหลออก ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของการสึกหรอที่ผิวคายเศษและสันคมตัด และความร้อนที่เพิ่มขึ้น
4) เกิดเสียงดังซึ่งเป็นผลมาจากการต้องใช้แรงตัดเพิ่มขึ้นเนื่องจากดอกสว่านสึกหรอ

เศษชี้เหล็กขณะเริ่มแรกเจาะชิ้นงาน

รูปที่ 5 เศษชี้เหล็กขณะเริ่มแรกเจาะชิ้นงาน

นอกจากนี้ สามารถสังเกตุคมดอกสว่านด้านที่สัมผัสงานจะมีการสึกหรอเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 0.4 มม. หรือ 0.015 นิ้ว สำหรับดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา [8]

เมื่อดอกสว่านหมดอายุคมเจาะแล้ว ถ้าต้องการนำกลับมาใช้ใหม่ จะสามารถลับคมนำกลับมาใช้ใหม่ได้จนกระทั่งดอกสว่านเหลือความยาวน้อยลงจนไม่สามารถใช้เจาะชิ้นงานได้อีก ในการลับแต่ละครั้งความยาวของดอกสว่านจะลดลง แต่มุมเกลียว (Helix angle) และมุมคายเศษวัสดุ (Rake angle) จะไม่เปลี่ยนแปลงไป การลับดอกสว่าน จะต้องระมัดระวังไม่ให้มุมฟรีและมุมจิกเปลี่ยนแปลงไป [3]

เศษชี้เหล็กขณะใกล้หมดอายุคมเจาะ

รูปที่ 6 เศษชี้เหล็กขณะใกล้หมดอายุคมเจาะ

ในการศึกษานี้ ได้ตั้งข้อสมมุติ (Assumption) ไว้ว่า หลังจากเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ หรือหลังจากลับคมเสร็จและนำกลับมาใช้เจาะชิ้นงานอีก กระบวนการเจาะรูจะดำเนินต่อไปนับจากเวลาที่หยุดเนื่องจากการสึกหรอ

สำหรับจำนวนของเสีย (Defects) ที่เกิดขึ้นมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิต เนื่องจากพนักงานประจำเครื่องเจาะมีหน้าที่คอยตรวจสอบการสึกหรอของดอกสว่านตลอดเวลา เมื่อสังเกตุพบสิ่งผิดปกติตามที่กล่าวแล้วข้างต้น ก็จะทำการเปลี่ยนดอกสว่านก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่องานเจาะขึ้น

4. วิธีวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษานี้ มีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS v. 10.0 วิเคราะห์ผลการทดสอบต่างๆ จากข้อมูล ค่าของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ต้องมีการคำนวน ดังต่อไปนี้

4.1 การหาชนิดดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด

4.1.1 กรณีลับคมดอกสว่านนำกลับมาใช้ใหม่

ในการทดสอบแต่ละครั้งของกลุ่มระดับปัจจัยต่างๆ นั้น สามารถคำนวนค่าอายุคมดอกสว่านแต่ละชนิดจากค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานที่เจาะได้ต่ออายุการใช้งานดอกสว่านหนึ่งช่วงอายุ นั่นคือ

$$\bar{X}_{ijk} = \left(\sum_{l=1}^{N_{ijk}} X_{ijkl} \right) / N_{ijk} \qquad (1)$$

$$\bar{X}_i = \left(\sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{c} \sum_{l=1}^{N_{ijk}} X_{ijkl} \right) / \left(\sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{c} N_{ijk} \right) \quad (2)$$

$$N_{ijk} = \sum_{m=1}^{r} (n_{ijkm} + 1) \quad (3)$$

$$\bar{N}_i = \left(\sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{c} N_{ijk} \right) / (b \times c \times r) \quad (4)$$

$$\bar{Y}_i = \bar{X}_i \times \bar{N}_i \quad (5)$$

โดยที่

$\bar{X}_{ijk}$ = ค่าเฉลี่ยอายุคมดอกสว่านชนิดที่ i ความเร็วรอบที่ j และอัตราป้อนที่ k (ชิ้น/ช่วงอายุคมดอกสว่าน)

X_{ijkl} = จำนวนชิ้นงานที่เจาะได้ในช่วงอายุคมดอกสว่านชนิดที่ i ความเร็วรอบที่ j และอัตราป้อนที่ k (ชิ้น/ช่วงอายุคมดอกสว่าน)

N_{ijk} = จำนวนช่วงอายุรวมทั้งหมดที่ใช้งานดอกสว่านทั้ง 3 ดอก สำหรับดอกสว่านชนิดที่ i ความเร็วรอบที่ j และอัตราป้อนที่ k

$\bar{X}_i$ = อายุคมดอกสว่านชนิดที่ i (ชิ้น/ช่วงอายุคมดอกสว่าน)

n_{ijkm} = จำนวนครั้งที่ลับคมดอกสว่านดอกที่ m สำหรับดอกสว่านชนิดที่ i ความเร็วรอบที่ j และอัตราป้อนที่ k

$\bar{N}_i$ = ค่าเฉลี่ยจำนวนช่วงอายุต่อดอกของดอกสว่านชนิดที่ i

$\bar{Y}_i$ = จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่เจาะได้ต่อดอกสำหรับดอกสว่านชนิดที่ i

i = ดัชนีชนิดดอกสว่าน = 1, 2, ..., a

j = ดัชนีความเร็วรอบในการหมุน = 1, 2, ..., b

k = ดัชนีอัตราป้อน = 1, 2, ..., c

l = ดัชนีช่วงอายุดอกสว่าน = 1, 2, ..., N_{ijk}

m = ดัชนีดอกสว่าน = 1, 2, ..., r

ในการทดลองนี้ a = 3, b = 4, c = 3, และ r = 3

4.1.2 กรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทน

$$\bar{X}_{1i} = \left(\sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{c} \bar{X}_{1ijk} \right) / (b \times c) \quad (6)$$

$$\bar{X}_{1ijk} = \left(\sum_{m=1}^{r} X_{1ijkm} \right) / (r) \quad (7)$$

$$\bar{Y}_{1i} = \bar{X}_{1i} \quad (8)$$

โดยที่

$\bar{X}_{1i}$ = อายุคมดอกสว่านชนิดที่ i (ไม่ลับคมมาใช้ใหม่)

$\bar{X}_{1ijk}$ = ค่าเฉลี่ยอายุคมดอกสว่านชนิดที่ i ความเร็วรอบที่ j และอัตราป้อนที่ k (ชิ้น/ช่วงอายุคมดอกสว่าน)

X_{1ijkm} = จำนวนชิ้นงานที่เจาะได้ในช่วงอายุคมดอกสว่านช่วงแรก สำหรับดอกสว่านชนิดที่ i ความเร็วรอบที่ j และอัตราป้อนที่ k (ชิ้น/ช่วงอายุคมดอกสว่าน)

$\bar{Y}_{1i}$ = จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่เจาะได้ต่อดอกสำหรับดอกสว่านชนิดที่ i (กรณีไม่ลับคมมาใช้ใหม่)

i = ดัชนีชนิดดอกสว่าน = 1, 2, ..., a

j = ดัชนีความเร็วรอบในการหมุน = 1, 2, ..., b

k = ดัชนีอัตราป้อน = 1, 2, ..., c

l = ดัชนีช่วงอายุดอกสว่าน = 1, 2, ..., N_{ijk}

m = ดัชนีดอกสว่าน = 1, 2, ..., r

ในการทดลองนี้ a = 3, b = 4, c = 3, และ r = 3

4.2 การหามุมฟรีของดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด

ในการวิเคราะห์หามุมฟรีที่เหมาะสมที่สุดนั้น ใช้ปัจจัย 3 อย่าง ในการทดลองได้แก่ มุมฟรี 4 ระดับ ความเร็วรอบ 4 ระดับ และอัตราป้อน 3 ระดับ ดังนั้น การหาค่าอายุคมดอกสว่าน และค่าอื่นๆ สามารถหาได้ในทำนองเดียวกันกับการหาค่าต่างๆ ในการวิเคราะห์หาชนิดดอกสว่านในหัวข้อที่ 4.1 โดยอาศัยสมการที่ (1) – (8) และปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยให้ตรงตามการทดลองในแต่ละครั้งเท่านั้น

4.3 การหาค่าใช้จ่ายและอัตรากำไร

จากค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงานขั้นตอนต่างๆที่เก็บรวบรวมได้ในการทดลองนั้น สามารถนำมาหาเวลาที่ใช้ใน

การผลิตต่อชิ้นได้ และยังสามารถพัฒนาไปสู่การหาค่าใช้จ่ายในการเจาะรูต่อชิ้น (Drilling cost per unit) และอัตรากำไร (Profit-rate) [9] ได้ดังนี้

4.3.1 กรณีลับคมดอกสว่านกลับมาใช้ใหม่

$$T_p = T_a + T_c + T_t + (T_d / \bar{X}) \quad (9)$$

$$C = C_t/(\bar{X} \times N) + (T \times C_o)/\bar{X} + (T_d \times C_o)/\bar{X} + C_o \times T_p \quad (10)$$

$$N = \sum_{m=1}^{r} (n_m + 1)/r \quad (11)$$

4.3.2 กรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทน

$$T_p = T_a + T_c + T_t + (T_d / \bar{X}_1) \quad (12)$$

$$C = C_t / \bar{X}_1 + C_o \times T_p \quad (13)$$

$$P = (S - C)/T_p \quad (14)$$

โดยที่

C = ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)

C_t = ต้นทุนของดอกสว่านต่อดอก (บาท/ดอก)

$\bar{X}$ = จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่ผลิตได้ของช่วงอายุคมตัด (ชิ้น)

$\bar{X}_1$ = จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่ผลิตได้ของช่วงอายุคมตัดครั้งแรก (ชิ้น)

n_m = จำนวนการลับดอกสว่านดอกที่ m เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (ครั้ง)

T = ระยะเวลาเฉลี่ยที่พนักงานใช้ในการลับดอกสว่านต่อครั้ง (นาที)

C_o = ค่าแรงของพนักงาน (บาท/นาที)

T_p = เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้น (นาที)

T_a = เวลาเฉลี่ยที่หัวดอกสว่านเคลื่อนลงจนถึงชิ้นงานและเจาะชิ้นงาน (นาที/ชิ้น)

T_c = เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่อง ใส่ และถอดชิ้นงาน (นาที/ชิ้นงาน)

T_t = เวลาเฉลี่ยที่หัวดอกสว่านยกตัวออกจากชิ้นงาน (นาที/ชิ้นงาน)

T_d = เวลาเฉลี่ยในการเปลี่ยนดอกสว่าน (นาที)

T_c = เวลาเฉลี่ยในการเจาะชิ้นงานต่อชิ้น (นาที/ชิ้นงาน)

N = ค่าเฉลี่ยจำนวนช่วงอายุการใช้งานดอกสว่านต่อดอก

S = ราคาขายต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)

P = อัตรากำไร (บาท/นาที)

ในงานวิจัยนี้

C_o = 0.60 บาท/นาที

C_t = 60 บาท/ดอก 600 บาท/ดอก และ 850 บาท/ดอก สำหรับดอกสว่านชนิด HSS ธรรมดา ชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ และชนิดคาร์ไบด์ ตามลำดับ

S = 3.00 บาท/ชิ้น

5. ผลการทดสอบและวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการทดลองเพื่อทดสอบหาชนิดและมุมฟรีที่เหมาะสมที่สุด [6] สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

5.1 ผลการหาชนิดดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด

5.1.1 กรณีลับคมดอกสว่านเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลอง ได้ผลดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยจำนวนช่วงอายุคมดอกสว่านต่อดอก ($\bar{N}_i$) ที่มากที่สุดคือ 13.4 ช่วงอายุ ซึ่งได้จากดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา รองลงมาคือชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ และ ชนิดคาร์ไบด์ โดยมีค่าเฉลี่ย 10.5 และ 10.4 ช่วงอายุ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

2) อายุคมดอกสว่านเฉลี่ย ($\bar{X}_i$) ที่มากที่สุดคือ คือ 541.24 ชิ้น/ช่วงอายุ ซึ่งได้จากดอกสว่านชนิดคาร์ไบด์ รองลงมาคือชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ และ ชนิด HSS แบบธรรมดา โดยมีค่าเฉลี่ย 524.58 และ 423.29 ชิ้น/ช่วงอายุ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยจำนวนช่วงอายุคมดอกสว่านต่อดอกและอายุคมดอกสว่านเฉลี่ยของดอกสว่านแต่ละชนิด กรณีลับคมดอกสว่าน

ชนิดดอกสว่าน	ค่าเฉลี่ยจำนวนช่วงอายุคมดอกสว่านต่อดอก (ช่วงอายุ/ดอก)	อายุคมดอกสว่านเฉลี่ย (ชิ้น/ช่วงอายุ)
HSS ธรรมดา	13.4	423.29
HSS เคลือบโคบอลท์	10.5	524.58
คาร์ไบด์	10.4	541.24

3) ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้น (C) ของดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา อยู่ระหว่าง 0.07 – 0.11 บาท/ชิ้น ส่วนของชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ อยู่ระหว่าง 0.13 – 0.28 บาท/ชิ้น และ ของชนิดคาร์ไบด์ อยู่ระหว่าง 0.16 – 0.35 บาท/ชิ้น ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นต่ำที่สุดจึงได้จากดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา ดังแสดงในตารางที่ 2

4) อัตรากำไร (P) ของดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา อยู่ระหว่าง 0.55 – 0.60 บาท/นาที (ค่าเฉลี่ย = 0.59 บาท/นาที) ส่วนของชนิด HSS เคลือบโคบอลท์อยู่ระหว่าง 0.52 – 0.58 บาท/นาที (ค่าเฉลี่ย = 0.57 บาท/นาที) และของชนิดคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 0.51 – 0.58 (ค่าเฉลี่ย = 0.57 บาท/นาที) ดังนั้น ดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา จึงให้อัตรากำไรสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นและอัตรากำไรของดอกสว่านแต่ละชนิด กรณีลับคมดอกสว่าน

ชนิดดอกสว่าน	ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)	อัตรากำไร (บาท/นาที)
HSS ธรรมดา	0.07 – 0.11	0.55 – 0.60
HSS เคลือบโคบอลท์	0.13 – 0.28	0.52 – 0.58
คาร์ไบด์	0.16 – 0.35	0.51 – 0.58

5) จำนวนชิ้นงานที่เจาะได้ต่อดอก ($\bar{Y}_i$) ของดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา = 13.4 × 423.29 = 5672.1 ชิ้น/ดอก ส่วนของชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ = 10.5 × 524.58 = 5508.1 ชิ้น/ดอก และของชนิดคาร์ไบด์ = 10.4 × 541.24 = 5628.9 ชิ้น/ดอก ดังนั้น ดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา จึงสามารถใช้เจาะรูได้ปริมาณชิ้นงานต่อดอกมากที่สุด

5.1.2 กรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทน (ไม่ลับคม)

จากการทดลอง ได้ผลดังนี้

1) อายุคมดอกสว่านเฉลี่ย ($\bar{X}_{ii}$) ที่มากที่สุดคือ คือ 567.5 ชิ้น/ดอก(ช่วงอายุ) ซึ่งได้จากดอกสว่านชนิดคาร์ไบด์ รองลงมาคือชนิด HSS เคลือบโคบอลท์และชนิด HSS แบบธรรมดา โดยมีค่าเฉลี่ย 543.87 และ 461.69 ชิ้น/ดอก ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อายุคมดอกสว่านเฉลี่ยของดอกสว่านแต่ละชนิด กรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทน (ไม่ลับคม)

ชนิดดอกสว่าน	อายุคมดอกสว่านเฉลี่ย (ชิ้น/ช่วงอายุ)
HSS ธรรมดา	461.69
HSS เคลือบโคบอลท์	543.87
คาร์ไบด์	567.50

2) ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้น (C) ของดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา อยู่ระหว่าง 0.14 – 0.43 บาท/ชิ้น (ค่าเฉลี่ย = 0.22 บาท/ชิ้น) ส่วนของชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ อยู่ระหว่าง 0.88 – 3.75 บาท/ชิ้น (ค่าเฉลี่ย = 1.33 บาท/ชิ้น) และ ของชนิดคาร์ไบด์ อยู่ระหว่าง 1.18 – 5.00 บาท/ชิ้น (ค่าเฉลี่ย = 1.82 บาท/ชิ้น) ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นต่ำที่สุดจึงได้จากดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา (เช่นเดียวกับกรณีลับคมฯ) ดังแสดงในตารางที่ 4

3) อัตรากำไร (P) ของดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา อยู่ระหว่าง 0.49 – 0.58 บาท/นาที ส่วนของชนิด HSS เคลือบโคบอลท์อยู่ระหว่าง -0.14 – 0.43 บาท/นาที และของชนิดคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง -0.39 – 0.37 บาท/นาที ดังนั้น ดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา จึงให้อัตรากำไรสูงสุด (เช่นเดียวกับกรณีลับคมฯ) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นและอัตรากำไรของดอกสว่านแต่ละชนิด กรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทน (ไม่ลับคม)

ชนิดดอกสว่าน	ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)	อัตรากำไร (บาท/นาที)
HSS ธรรมดา	0.14 – 0.43	0.49 – 0.58
HSS เคลือบโคบอลท์	0.88 – 3.75	-0.14 – 0.43
คาร์ไบด์	1.18 – 5.00	-0.39 – 0.37

5.1.3 ผลการทดสอบอิทธิพลหลักและอิทธิพลกิริยาร่วม

ผลการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main effect) และอิทธิพลของกิริยาร่วม (Interaction effects) ที่ความเชื่อมั่น 95% และความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% พบว่าผลที่ได้ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 กรณี ไม่ว่าจะเป็นแบบลับคมฯและไม่ลับคมฯ ดังนี้

1) อิทธิพลหลักของทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ชนิด ความเร็วรอบ และอัตราป้อน มีความสำคัญต่ออายุคมดอกสว่าน
2) อิทธิพลของกิริยาร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยทุกรูปแบบ และระหว่าง 3 ปัจจัยทุกรูปแบบ มีความสำคัญต่ออายุคมดอกสว่านเช่นเดียวกัน

5.1.4 สรุปผลการหาชนิดดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด

ผลการทดลองทั้งกรณีลับคมดอกสว่านและกรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทน แสดงให้เห็นตรงกันว่า ถึงแม้ดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดาจะมีอายุคมดอกสว่านน้อยที่สุด แต่กลับมีต้นทุนค่าใช้จ่ายการเจาะต่อชิ้นต่ำที่สุด รวมทั้งให้อัตรากำไรสูงที่สุดด้วย ทั้งนี้ เนื่องมาจากต้นทุนราคาดอกสว่านชนิดนี้ต่ำกว่าชนิดอื่นที่นำมาเปรียบเทียบมาก นั่นคือ 60 บาท/ดอก ในขณะที่ ชนิด HSS เคลือบโคบอลท์ และชนิดคาร์ไบด์ มีราคา 600 บาท/ดอก และ 850 บาท/ดอก ดังนั้น ในกรณีนี้ ดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดาจึงเป็นชนิดดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนั้น กรณีลับคมดอกสว่านกลับมาใช้ใหม่ พบว่าดอกสว่านชนิดนี้สามารถลับคมกลับมาใช้ใหม่ได้ในจำนวนครั้งมากกว่าอีก 2 ชนิด มีผลให้ได้จำนวนชิ้นงานที่เจาะรูต่อดอกมากกว่าอีก 2 ชนิด และยังส่งผลให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นงานและอัตรากำไรดีกว่าของในกรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ด้วย

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา เป็นดอกสว่านชนิดที่เหมาะสมที่สุด และการใช้งานแบบมีการลับคมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ จะให้ผลที่คุ้มค่ากว่าการเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทนหลังสึกหรอ

จากผลสรุปที่ได้ข้างต้น จึงได้เลือกดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา มุมจิก 118° มาทดลองหามุมฟรีที่ดีที่สุดต่อไป โดยทดสอบที่มุมฟรี 5° 8° 12° และ 20° ที่ความเร็วรอบ 500 rpm. 1000 rpm. 1200 rpm. และ 1800 rpm. และอัตราป้อน 0.01 นิ้วต่อรอบ 0.02 นิ้วต่อรอบ และ 0.03 นิ้วต่อรอบ

5.2 การหามุมฟรีที่เหมาะสมที่สุด

5.2.1 กรณีลับคมดอกสว่านกลับมาใช้ใหม่

ผลการทดลองพบว่า มุมฟรีที่ 12° มีค่าใช้จ่ายในการเจาะรูต่อชิ้นต่ำสุดคือ 0.07 บาท/ชิ้น และให้อัตรากำไรสูงที่สุดคือ 0.60 บาท/นาที ที่ความเร็วรอบ 1800 rpm. และอัตราป้อน 0.03 นิ้ว/รอบ

5.2.2 กรณีเปลี่ยนดอกสว่านใหม่

ผลการทดลองพบว่าสอดคล้องกับผลการทดลองกรณีลับคมฯข้างต้น โดยที่มุมฟรี 12° ได้ค่าใช้จ่ายในการเจาะรูต่อชิ้นต่ำสุดคือ 0.14 บาท/ชิ้น และให้อัตรากำไรสูงที่สุดคือ 0.58 บาท/นาที ที่ความเร็วรอบ 1800 rpm. และอัตราป้อน 0.03 นิ้ว/รอบ เช่นเดียวกัน

ดังนั้น จึงสามารถสรุปผลการทดสอบทั้ง 2 กรณีได้ตรงกันว่า มุมฟรีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับดอกสว่านชนิด HSS แบบธรรมดา ที่มุมจิก 118° คือ 12° ที่ความเร็วรอบ 1800 rpm. และอัตราป้อน 0.03 นิ้ว/รอบ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการเจาะรูต่อชิ้นต่ำที่สุด และให้อัตรากำไรสูงที่สุดด้วย

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เพื่อหาชนิดและมุมฟรีของดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุดโดยการทดลองทดสอบการใช้งานจริงดอกสว่านในการเจาะรูแกนล้อในโรงงานผลิตล้อประตูด้วยเครื่องเจาะรูอัตโนมัติที่มีอายุการใช้งานมาแล้วกว่า 10 ปี โดยวัดความเหมาะสมจากค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นงาน และ/หรืออัตรากำไรที่ดีที่สุดเป็นเกณฑ์ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1) ชนิดดอกสว่านที่เหมาะสมที่สุดคือ HSS แบบธรรมดา เนื่องจากมีราคาถูกกว่าซึ่งมีส่วนสำคัญทำให้คุ้มค่ากว่าในแง่ของค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชิ้นและอัตรากำไร
2) มุมจิกที่เหมาะสมที่สุดคือ 118 องศา ซึ่งเป็นมุมจิกมาตรฐานที่นิยมใช้กันในท้องตลาดทั่วไป
3) มุมฟรีที่เหมาะสมที่สุดคือ 12 องศา ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบ/นาที และอัตราป้อน 0.03 นิ้ว/รอบ (เป็นสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการปฏิบัติจริงตามสภาพเครื่องเจาะรุ่นเก่า)

4) การใช้กลยุทธ์ลับคมดอกสว่านเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ ให้ผลที่คุ้มค่ากว่าการเปลี่ยนดอกสว่านใหม่ทดแทน ในเงื่อนไขค่าแรงในการลับคมที่ 0.60 บาท/นาที และราคาขายชิ้นงานที่ 3.00 บาท/ชิ้น

5) ความแปรปรวน (Variation) ที่เกิดขึ้น มีสาเหตุประการหนึ่งมาจากสภาพเครื่องเจาะรูอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีอายุการใช้งานมานานกว่า 10 ปี สมรรถนะในการปฏิบัติงานจึงขึ้นอยู่กับการบำรุงรักษาเป็นสำคัญ

6) สาเหตุความแปรปรวนอีกประการหนึ่ง เกิดขึ้นได้จากการลับดอกสว่านซึ่งขึ้นอยู่กับทักษะ ฝีมือและความละเอียดประณีตของพนักงานลับคมเป็นสำคัญ ทั้งนี้เพื่อให้ได้คมดอกสว่านที่เหมือนสภาพใหม่และมุมดอกสว่านที่ถูกต้อง การนำเครื่องลับคมดอกสว่านมาใช้จะช่วยทำให้สะดวกขึ้น ลดความผิดพลาดคลาดเคลื่อนและลดเวลาในการลับคมลงได้มาก

7) ค่าใช้จ่ายในการเจาะรูต่อชิ้นและอัตรากำไร พิจารณาเฉพาะค่าแรงที่เกี่ยวข้องกับประเด็นวินิจฉัยและค่าดอกสว่านเท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมค่าใช้จ่ายอื่นๆอีกหลายรายการ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าวัตถุดิบ และค่าโสหุ้ยต่างๆ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] E.J.A. Armarego, R.H. Brown, The Machining of metals, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1969.

[2] D.H. Nelson and G. Schneider, Jr., Applied Manufacturing Process Planning: With Emphasis on Metal Forming and Machining, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.

[3] ไฮน์ริช เกร์ลิงก์ "ทฤษฎีงานเครื่องมือกล" แปลและเรียบเรียงโดย ศจ.บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2518

[4] E.P. Degarmo, J.T. Black and R.A. Kohser, Materials and Processes in Manufacturing, Prentice-Hall International, Upper Saddle River, NJ, 1997.

[5] R.E. Walpole, R.H. Myers, S.L. Myers and K. Ye, Probability & Statistics for Engineers and Scientists, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.

[6] ประพัฒน์ พึ่งบุญไพศาล "การหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการจัดการอุปกรณ์ตัดเจาะและสภาวะการทำงานของเครื่องจักรกล-กรณีศึกษาเครื่องเจาะแกนอัตโนมัติในอุตสาหกรรมผลิตล้อประตู" วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม 2547

[7] B.W. Niebel and A. Freivalds, Methods, Standards, and Work Design, McGraw-Hill, New York, NY, 2002.

[8] S. Kalpakjian, Manufacturing Processes for Engineering Materials, Addison Wesley, Menlo Park, CA, 1984.

[9] D. Shabtay and M. Kaspi, Optimization of the Machining Economics Problem Under the Failure Replacement Strategy, International Journal of Production Economics, Vol. 80, pp. 213-230, 2002.