



การเพิ่มอายุการใช้งานของดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาท ใหม่ Increasing Die's Life of New One Baht Circulation Coins

วรวิทย์ สงวนพันธ์ และ สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนน รังสิต - นครนายก ตำบล คลองหก อำเภอ ธัญบุรี จังหวัด ปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110
E-mail: goldpurepure@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการใช้งานของดวงตรา(Die ด้านหัวและก้อย) เหรียญ 1 บาท สำเร็จรูปรุ่นใหม่ โดยวิธีการเคลือบผิวแบบ PVD (Physical Vapour Deposition) ชนิดสารเคลือบโครเมียมไนไตรด์ (CrN) เนื่องจากได้มีการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการผลิตเหรียญ 1 บาท จากวัสดุคิวโปรนิเกิล (ทองแดง 75 % และ นิกเกิล 25%) โดยเปลี่ยนมาใช้วัสดุชนิด ไล่เหล็กเคลือบนิกเกิล ทำให้อายุการใช้งานของดวงตราสั้นลง จำนวน เหรียญ 1 บาท ต่อดวงตรา 1 คู่ ลดลงจากประมาณ 400,000 เหรียญ เหลือเพียงประมาณ 40,000 - 50,000 เหรียญ ต่อ ดวงตรา 1 คู่ โดยวัสดุที่ใช้ในการผลิตดวงตราเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน คือ เหล็ก X

ในการดำเนินงานวิจัยได้ใช้วัสดุในการทดลองผลิตดวงตราจำนวน 2 ชนิด คือ เหล็ก X [11] และ เหล็ก Y [12] โดยใช้วิธีการเคลือบผิวแบบ PVD ชนิดสารเคลือบ CrN ที่ความหนา 3 ระดับ คือประมาณ 1.2 และ 3 ไมครอน(μm) ในการทดสอบวัดความหนาของผิวเคลือบ ใช้วิธีการทดสอบด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence ยี่ห้อ Fischer รุ่น XAN มีการใช้ชิ้นงานมาตรฐานในการสอบเทียบ ก่อนการวัดชิ้นงานทดสอบ ได้ทำการผ่าวิเคราะห์ชิ้นงานก่อนการใช้งานด้วยเครื่องตัดผ่าแบบ Wire Cut เพื่อศึกษาการเกาะยึดของผิวเคลือบ CrN โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope; SEM)

จากการทดสอบนำดวงตราไปใช้ในการผลิตเหรียญ 1 บาท รุ่นใหม่ ด้วยเครื่องตีตรา(Press)เหรียญ ยี่ห้อ GRABERNER แรงกดที่ใช้ 40 ตัน ความเร็ว 800 - 850 เหรียญต่อนาที ปรากฏว่า เหล็ก Y ที่ความหนาผิวเคลือบประมาณ 2-2.7 ไมครอน ได้จำนวนเหรียญต่อดวงตรา 1 คู่ 400,000 - 450,000 ต่อดวงตรา 1 คู่ ซึ่งมากที่สุดจากชิ้นงานทดสอบทั้งหมด ในส่วนของ เหล็ก X พบการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าของดวงตราหลังจากตีตราเหรียญได้ประมาณ 50,000 - 60,000 เหรียญ ในทุกความหนาของผิวเคลือบ หลังจากการทดสอบได้ทำการผลิตดวงตราด้วย เหล็ก Y ที่ความหนาผิวเคลือบประมาณ 2-2.7 ไมครอน เพื่อใช้ในการผลิตจริงปรากฏว่าจำนวนเหรียญที่ได้ประมาณ 400,000 - 430,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่ ในจำนวนการทดลองทั้งหมด 6 คู่

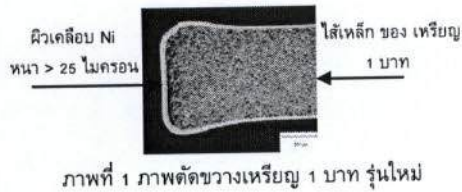
1. บทนำ

เหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชุดปัจจุบันมี 9 ชนิดราคา คือ ชนิดราคา 1, 5, 10, 25 และ 50 สตางค์ 1, 2, 5 และ 10 บาท

การกำหนดรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเหรียญกษาปณ์แต่ละชนิดราคาต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของโลหะ ต้นทุนการผลิต แหล่งแร่ภายในประเทศ จำนวนผู้ผลิตและแหล่งผลิต การใช้กับเครื่องหยอดเหรียญในบางชนิดราคา ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งความสะดวกในการจับจ่ายใช้สอย

โลหะชุบเคลือบไล่เหล็ก (Electroplated Steel) นำมากล่าวไว้โดยเฉพาะโดยไม่กล่าวถึงโลหะชุบเคลือบประเภทอื่น เนื่องจากเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติและต้นทุนเหมาะสมที่จะใช้ผลิตเป็นเหรียญกษาปณ์ของประเทศไทยในขณะนี้ โดยเหรียญชุบเคลือบโลหะหลายชนิดโดยใช้ไล่เหล็ก ได้เริ่มผลิตและนำออกใช้เป็นเหรียญกษาปณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ.1977 ซึ่งในระยะแรกไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควรเนื่องจากมีความแข็งค่อนข้างสูงซึ่งค่าความแข็งเหรียญ 1 บาท ใหม่มีค่าความแข็ง 110 HV30 [13] ทำให้อายุการใช้งานของดวงตราค่อนข้างสั้น ในขณะที่ค่าความแข็งเหรียญ 1 บาท รุ่นเก่า วัสดุคิวโปรนิเกิล มีค่าความแข็ง 80 HV10 [13] แต่ในปัจจุบันเหรียญชุบเคลือบโลหะหลายชนิดโดยใช้ไล่เหล็กได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเทคโนโลยีการชุบเคลือบผิวดวงตราแบบ PVD สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของดวงตราให้สูงขึ้น และเหรียญชุบเคลือบไล่เหล็กสามารถแก้ไขปัญหาต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งคุณสมบัติของโลหะที่ได้ก็ใกล้เคียงกับโลหะที่นำมาใช้เคลือบผิวเหรียญ

ไล่เหล็กชุบนิกเกิล พัฒนามาใช้แทนโลหะสีขาว(คิวโปรนิเกิล) โลหะชนิดนี้มีข้อได้เปรียบในเรื่องของความเงางาม และความทนทานต่อการทำปฏิกิริยาในบรรยากาศปกติ (หมองคล้ำ) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของโลหะนิกเกิลที่อยู่ชั้นนอก อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการผลิตเหรียญประเภทนี้มีหลายประเภททั้งแบบเคลือบชั้นเดียว สองชั้น และสามชั้น ซึ่งการใช้เทคโนโลยีที่ต่างกันทำให้คุณสมบัติของเหรียญที่ได้ต่างกัน เช่น อายุการใช้งาน ค่าสัญญาณทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก ความทนทานต่อการสึกหรบและการยอมรับของประชาชนเมื่อลักษณะทางกายภาพของเหรียญเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากจากการสึกหรบของเหรียญจากการใช้งานตามปกติ เป็นต้น



ภาพที่ 1 ภาพตัดขวางเหยี่ยู 1 บาท รุ่นใหม่

ปัญหาที่พบในปัจจุบันพบว่าการตีตราเหยี่ยูคุณภาพนี้ หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาท พบว่าอายุการใช้งานของดวงตราอายุการใช้งานสั้นลงมากทำให้ผลผลิตจากการตีตราลดลงมากผู้วิจัยจึงเลือกทำการวิจัยเพื่อที่จะเพิ่มอายุการใช้งานของดวงตรา เพิ่มผลผลิตเหยี่ยู 1 บาท สำเร็จรูปให้มากขึ้นเพื่อให้ทันต่อความต้องการของประชาชนภายในประเทศ และยังคงไว้ซึ่งเอกลักษณ์ ความสวยงาม ความถูกต้อง เพื่อคงไว้ซึ่งความภาคภูมิใจของคนในชาติต่อไป

2. การดำเนินการวิจัย

2.1 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์

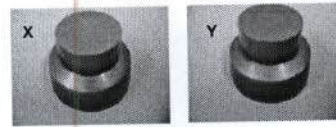
เหล็กที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กชนิดที่เหมาะสมกับงานแม่พิมพ์งานเย็น จำนวน 2 ชนิด นำมาผลิตเป็นดวงตราเหยี่ยู 1 บาท ดังนี้

- เหล็ก X ส่วนผสมทางเคมี C 0.97% , Si 1% , Mn 0.34% , P 0.19% , S 0.08% , Cr 7.88% , Mo 1.90% , V 0.41%
- เหล็ก Y ส่วนผสมทางเคมี C 0.50% , Si 0.20% , Mn 0.25% , Cr 4.50% , Mo 3.0% , V 0.55%
- เตาอบชุบโลหะแบบสูญญากาศยี่ห้อ SCHMETZ
- เครื่องเคลือบผิว PVD ยี่ห้อ Sulzer รุ่น Mataplas ionon
- เครื่องทดสอบความแข็งมาโครฮาร์ดเน็ต
- เครื่องวัดความหนาผิวเคลือบโดยวิธีการเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ยี่ห้อ Fischer รุ่น XAN
- เครื่องตัดแบบ Wire Cut ยี่ห้อ CHARMILLES

2.2 ดำเนินการทดลอง

- นำเหล็กขึ้นทดสอบ ที่ผ่านกระบวนการผลิตพร้อมทำการอบชุบด้วยเตาอบชุบแบบสูญญากาศดังนี้
- เหล็ก X จำนวน 9 ชิ้น อุณหภูมิชุบแข็งที่ 1,040 °C เวลาอบแช่ 30 นาที ชุบแข็งในน้ำมัน อบคืนไฟ (Tempering) ที่ 3 ระดับ อุณหภูมิ จำนวน 3 ชิ้น ต่อ อุณหภูมิ
 - (1) 500°C สองครั้ง ละคร 2 ชั่วโมง
 - (2) 530°C สองครั้ง ละคร 2 ชั่วโมง (ตามมาตรฐานผู้ผลิต) [11]
 - (3) 580°C สองครั้ง ละคร 2 ชั่วโมง [2] [11]
- เหล็ก Y จำนวน 9 ชิ้น อุณหภูมิชุบแข็ง 1050°C เวลาอบแช่ 30 นาที ชุบแข็งด้วยก๊าซไนโตรเจน อบคืนไฟ (Tempering) ที่ 3 ระดับ ที่ 3 อุณหภูมิ จำนวน 3 ชิ้น ต่อ อุณหภูมิ
 - (1) 500°C สองครั้ง ละคร 2 ชั่วโมง

- (2) 530°C 2 ชั่วโมง รอบแรก รอบที่สอง 550°C 2 ชั่วโมง (ตามมาตรฐานผู้ผลิต) [12]
- (3) 580°C สองครั้ง ละคร 2 ชั่วโมง [2] [12]



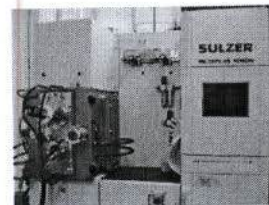
ภาพที่ 2 ชิ้นทดสอบ เหล็ก X และ Y

- ทดสอบความแข็งมาโครฮาร์ดเน็ต หน่วยการวัดแบบ HRC ชนิดหัวกดแบบเพชรน้ำหนักที่ใช้ในการกด 1471 N ได้ค่าความแข็งดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าความแข็งหลังจากอบคืนไฟของวัสดุแม่พิมพ์ (Substrate Material)

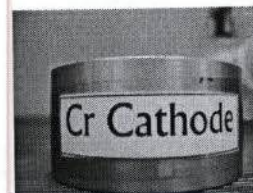
ชนิดเหล็ก	อุณหภูมิอบคืนไฟ °C / จำนวนครั้ง / ครั้งละ (ชั่วโมง)	จำนวนจุดที่วัด	ค่าความแข็งเฉลี่ย (HRC)
X	500 / 2 / 2	3	58
X	530 / 2 / 2	3	57.8
X	580 / 2 / 2	3	56
Y	500 / 2 / 2	3	58
Y	530 / 2 / 2	3	57.8
Y	580 / 2 / 2	3	56

- นำชิ้นทดสอบเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD ชนิดสารเคลือบ CrN รายละเอียดดังนี้
- (1) เครื่องเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD ภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่อง PVD

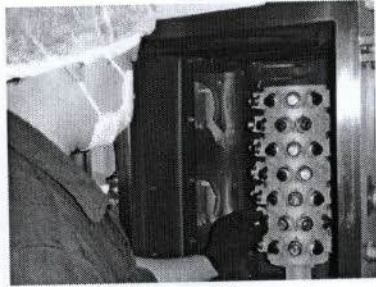
- (2) คาโทดชนิด Cr ภาพที่ 4



ภาพที่ 4 คาโทดโครเมียม (Cr)

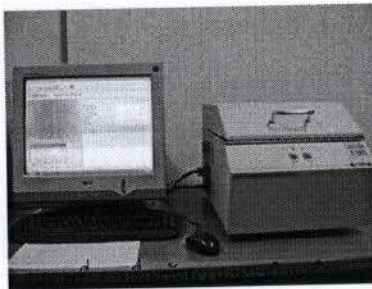
(3) ค่าพารามิเตอร์ต่างที่ใช้ในการเคลือบผิวรายละเอียด
ดังนี้ ภาพที่ 5

- เวลาที่ใช้ในกระบวนการเคลือบผิวประมาณ 5 - 6 ชั่วโมง
- อุณหภูมิที่ใช้เคลือบผิวประมาณ 400-450 °C
- ปริมาณของก๊าซที่ใช้ อาร์กอน 300 ลบ.ซม ต่อ นาที ในโตรเจน 500 ลบ.ซม ต่อ นาที
- บรรจุชิ้นงานใส่แท่นวางชิ้นงาน ภาพที่ 5



ภาพที่ 5 บรรจุชิ้นงาน

- หลังจากกระบวนการชุบเคลือบผิวแบบPVD แล้วนำชิ้นทดสอบวัดความหนาของผิวเคลือบCr ด้วยเครื่องวัดความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 เครื่องวัดความหนาผิวเคลือบ

- ในการวัดความหนาผิวเคลือบได้ทำการสอบเทียบด้วยชิ้นผิวเคลือบCr หนา 2.18 ไมครอนมาตรฐานจากบริษัทผู้ผลิต ดังภาพที่ 7

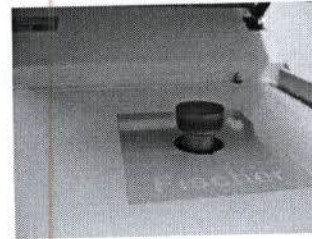


ภาพที่ 7 ชิ้นงานผิวเคลือบมาตรฐาน

- ทำการวัดความหนาผิวเคลือบ CrN ของชิ้นทดสอบได้ความหนาผิวเคลือบ 3 ระดับความหนา ของชิ้นทดสอบของเหล็กทั้งสองชนิดดังแสดงในตารางที่ 2 [10]

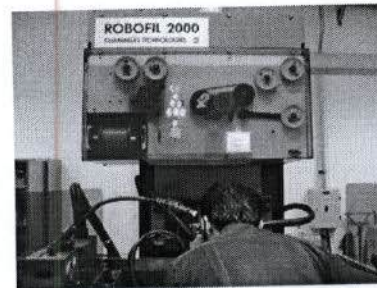
ตารางที่ 2 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบ

ชนิดเหล็ก	ระดับความหนา ที่ 1 (μm)	ระดับความหนา ที่ 2 (μm)	ระดับความหนาที่ 3 (μm)
	ค่าที่วัดได้ (μm)	ค่าที่วัดได้ (μm)	ค่าที่วัดได้ (μm)
X	1.2 - 1.3	1.8 - 1.88	2.5 - 2.7
Y	1.2 - 1.3	1.8 - 1.88	2.5 - 2.7

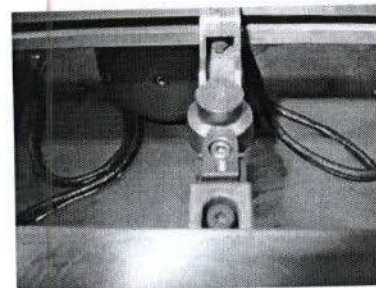


ภาพที่ 8 นำชิ้นทดสอบวัดความหนาผิวเคลือบ

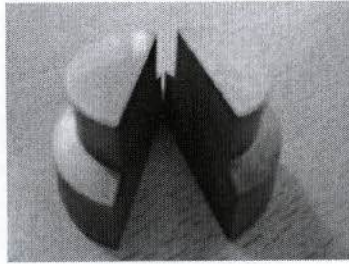
- หลังจากวัดความหนาของผิวเคลือบนำชิ้นทดสอบที่ยังไม่ผ่านการใช้งานตัดผ่าด้วยเครื่องตัดแบบ Wire Cut ยี่ห้อ CHARMILLES ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เครื่องตัดแบบ Wire Cut

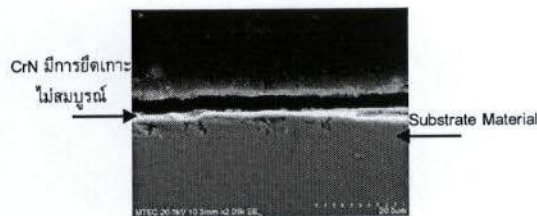


ภาพที่ 10 ผ่าชิ้นทดสอบด้วยเครื่อง Wire Cut



ภาพที่ 11 ชิ้นทดสอบหลังการผ่าด้วยเครื่อง Wire Cut

- หลังจากให้นำชิ้นทดสอบที่สำเร็จแล้วพร้อมทำการทดลองแต่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาทำการผ่าด้วยเครื่องตัด Wire Cut แล้วให้นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด(SEM) เพื่อดูการยึดเกาะระหว่างชิ้นงานทดสอบกับสารเคลือบชนิด CrN



ภาพที่ 12 ชิ้นทดสอบเหล็ก X

จากภาพที่ 12 ในการถ่ายภาพใช้กำลังไฟฟ้าขนาด 24kV ขนาดเลนส์ 10.3 mm x2.00k จะเห็นได้ว่าการยึดเกาะของสารเคลือบกับชิ้นงานทดสอบชนิดเหล็ก X (Substrate Material) มีการยึดเกาะที่ไม่สมบูรณ์พบจุด บกพร่องรอยแตกร้าวระหว่างสารเคลือบกับชิ้นงานทดสอบเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำอายุการใช้งานของดวงตรา (Die) ของเหรียญ 1 บาท รุ่นใหม่ สิ้นลงมากเมื่อนำมาใช้ผลิตเหรียญ 1 บาท รุ่นใหม่ ชนิดใส่เหล็กเคลือบนิเกิลมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 40,000 – 50,000 เหรียญต่อดวงตรา 1 คู่ (หัว – ก้อย)



ภาพที่ 13 ชิ้นทดสอบเหล็ก Y

จากภาพที่ 13 การถ่ายภาพใช้กำลังไฟฟ้าขนาด 24 kV ขนาดเลนส์ 10.3 mm x2.00k จะเห็นได้ว่าการยึดเกาะของสารเคลือบกับชิ้นงานทดสอบชนิดเหล็ก Y (Substrate Material) มีการยึดเกาะที่ดีไม่พบรอยแตกร้าวหรือรอยแยกระหว่างสารเคลือบกับชิ้นงานทดสอบซึ่งสอดคล้องกับการทดลองใช้งานอายุการใช้งาน

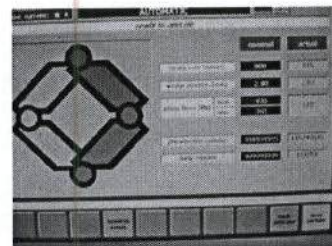
ของดวงตรา(Die) มีอายุการใช้งานที่ต่ำกว่าเหล็ก X มากเมื่อนำมาใช้ผลิตเหรียญ 1 บาท รุ่นใหม่ ชนิดใส่เหล็กเคลือบนิเกิลมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 400,000 – 450,000 เหรียญต่อดวงตรา 1 คู่ (หัว – ก้อย) กระบวนการเคลือบผิว PVD ทั้ง X และ Y ทำตามขั้นตอนเหมือนกันทุกประการ

3. สรุปผลการวิจัย

หลังจากที่ได้ดำเนินการทดลองผลิตดวงตราเหรียญ 1 บาท แล้วได้นำดวงตราที่มีผลผลิตพร้อมใช้งาน นำไปทดลองตีตราด้วยเครื่องตีตราเหรียญหมุนเวียนขนาดแรงกด 40 ตัน ความเร็วในการตีตรา 800 – 850 เหรียญ ต่อ นาที ดังภาพ



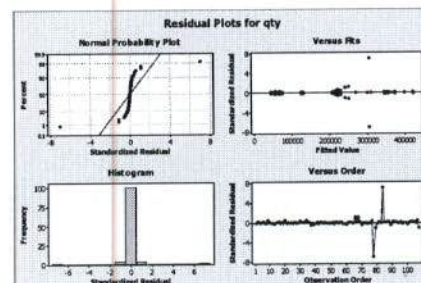
ภาพที่ 14 เครื่องตีตรา



ภาพที่ 15 แสดงค่าต่างๆของเครื่องตีตรา

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการวิจัยได้มีการนำเอาโปรแกรม Minitab15 เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลและสรุปปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในการวิจัย ด้วยวิธีการทางสถิติแบบ DOE Factorial ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พิจารณาจากค่า P-Value ถ้า Term ใดมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีผลต่อค่า Y (qty) อย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

(1) วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นจากกราฟ Residual Plots for qty



ภาพที่ 16 Residual Plots for qty



- Normal Probability Plot - ข้อมูลอยู่ใกล้เส้น แสดงว่าค่า y มีการแจกแจงแบบปกติ

- Histogram - กราฟมีลักษณะทรงระฆังคว่ำ แสดงว่าค่า y มีการแจกแจงแบบปกติ

- Versus Fits - ข้อมูลกระจายตัวแบบสุ่ม แสดงว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มเท่ากัน

- Versus Order - ค่าความคาดเคลื่อนเป็นแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่เป็น Pattern ชัดเจน แสดงว่าค่าความแปรปรวนมีค่าคงที่ จากผลทั้ง 4 ข้อข้างต้น แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วย Multilevel Factorial Design ต่อไป

(2) การวิเคราะห์ผลด้วย Multilevel Factorial Design

พิจารณาว่า Term ที่มีค่า P-value ที่ระดับน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อค่า qty อย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 17

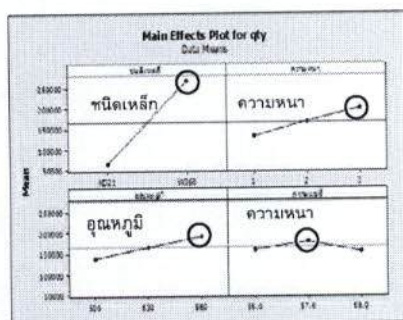
Source	F	P
ชนิดเหล็ก	439.49	0.000
ความหนา	15.70	0.000
อุณหภูมิ	10.76	0.000
ความแข็ง	2.65	0.080
ชนิดเหล็ก*ความหนา	7.13	0.002
ชนิดเหล็ก*อุณหภูมิ	2.46	0.095
ชนิดเหล็ก*ความแข็ง	0.82	0.446
ความหนา*อุณหภูมิ	3.87	0.008
ความหนา*ความแข็ง	2.03	0.103
อุณหภูมิ*ความแข็ง	3.06	0.024
ชนิดเหล็ก*ความหนา*อุณหภูมิ	3.82	0.009
ชนิดเหล็ก*ความหนา*ความแข็ง	2.91	0.029
ชนิดเหล็ก*อุณหภูมิ*ความแข็ง	2.50	0.053
ความหนา*อุณหภูมิ*ความแข็ง	2.60	0.048
ชนิดเหล็ก*ความหนา*อุณหภูมิ*ความแข็ง	2.81	0.011
Error		
Total		

S = 50074.5 R-Sq = 92.16% R-Sq(adj) = 84.46%

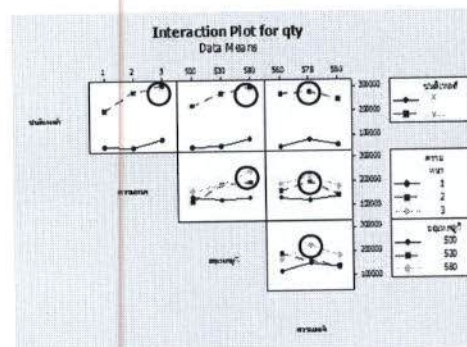
ภาพที่ 17 แสดงค่า P-Value

พิจารณา Term ที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ปัจจัยที่มีผลคือ ชนิดเหล็ก, ความหนา, อุณหภูมิ, ชนิดเหล็กกับความหนา, ความหนา*อุณหภูมิ, อุณหภูมิกับความแข็ง, ชนิดเหล็กกับความหนา*อุณหภูมิ, ชนิดเหล็กกับความหนา*ความแข็ง, ความหนา*อุณหภูมิ*ความแข็ง, ชนิดเหล็กกับความหนา*อุณหภูมิ*ความแข็ง มีผลต่อค่า qty อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

(3) วิเคราะห์หาค่าของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม (Optimize) ที่ทำให้ค่า qty ดีหรือสูงที่สุด



ภาพที่ 18 กราฟ Main Effect Plot for qty



ภาพที่ 19 กราฟ Interaction Plot for qty

สรุปจากการภาพ

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ทำให้ทราบว่าต้องกำหนดให้ ชนิดเหล็กเป็น Y ความหนาเท่ากับ 3 mm อุณหภูมิคือนไฟ (Tempering) เท่ากับ 580 °C ความแข็งเท่ากับ 57.8 HRC ทำให้ค่า qty ดีหรือสูงที่สุด

จากการวิจัยนี้พบว่าชนิดของเหล็กที่นำมาใช้ในการผลิตดวงตรา(Die)มีผลต่อจำนวนเหรียญที่ผลิตได้เป็นอย่างมาก จะเห็นได้ว่าเหล็ก Y เมื่อนำมาใช้ในการผลิตดวงตราควรควบคุมอุณหภูมิในการอบคิ่นไฟอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ 530 – 580 °C เพื่อให้ได้ความแข็งเฉลี่ยที่ 57.8 HRC และความหนาของผิวเคลือบ CrN เฉลี่ยที่ 2 – 3 μm จะทำให้จำนวนเหรียญที่ผลิตได้มีปริมาณสูงที่สุด

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วราณี เปรมานนท์ ที่คอยให้คำปรึกษา เป็นอย่างดี รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้อย่างเต็มที่ตลอดมา ขอขอบพระคุณคุณเลิศชัย เจ้าหน้าที่ MTEC ที่เอื้อเฟื้อการถ่ายภาพ SEM และที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการสำนักงานปณและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้ด้วยดีมาตลอด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] นกฉัตร ชารีลาภ. ยอดหญิง หมวกงาม. ชูชาติ นิติปัญญาวงศ์ และนันท์ ภารังกูร การชุบเคลือบผิววัสดุผสมนิกเกิล – อะลูมินา ด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันการสึกหรอ
- [2] รศ.มนัส สติระจินดา วิศวกรรมกรรมการรอบชุบเหล็ก วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
- [3] การอบชุบเหล็กกล้าด้วยความร้อน สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- [4] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (ประมวลด้วย Minitab)
- [5] Arnold H. Deutchman, Ph.D. and Robert J. Partyka, M.S. Comparison of the Properties of PVD and IBED



Hardcoats (TiN and Cr₂N)

- [6] C. Martini n, L.Ceschini A comparative study of the tribological behaviour of PVD coatings on the Ti-6Al-4V alloy
- [7] R. Bayon a, A. Igartua a, X. Fernandez a, R. Martinez b, R. J. Rodriguez b, J. A. Garcia b, A. de Frutos c, M. A. Arenas c, J. de Damborenea c Corrosion-wear behaviour of PVD Cr/CrN multilayer coatings for gear applications
- [8] Z.G. Zhang, O. Rapaud, N. Allain, D. Mercs, M. Baraket, C. Dong, C. Coddet Microstructures and tribological properties of CrN/ZrN nanoscale multilayer coatings
- [9] R. Piotrkowski, A. Gallego, E. Castro, M.T. Garcia-Hernandez, J.E. Ruzzante Ti and Cr nitride coating/steel adherence assessed by acoustic emission wavelet analysis
- [10] N. Carvalho, B.J. Kooi and Jeff Th. De Hosson Characterization of PVD Multilayer Coating
- [11] PHH Special Steel SDN BHD KD21 Nippon Koshuha Steel
- [12] Bohler W360 ISO Bloc
- [13] ISO 6507 http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue/tc/catalogue_detail.htm?csnumber=37746