การศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ชนิดราคา 1 บาท

STUDY ON EFFECT OF COATINGS ON ONE-BATH COIN STAMPING DIE

พุฒิธร เขตเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ชนิดราคา 1 บาท

พุฒิธร เขตเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ชนิดราคา 1 บาท Study on Effect of Coatings on One-Baht Coin Stamping Dies
ชื่อ – นามสกุล	นายพุฒิธร เขตเจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, D.Ing.
ปีการศึกษา	2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วารุณี เปรมานนท์, Ph.D.)

..... กรรมการ
(อาจารย์ปรกช สิริสุวัณณ์, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, D.Ing.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 15 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ชนิดราคา 1 บาท
ชื่อ – นามสกุล	นายพุฒิธร เขตเจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการผลิตเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท มีปริมาณการผลิตที่มากกว่าชนิดราคาอื่น ๆ ซึ่งเป็นไปตามตามความต้องการของระบบเศรษฐกิจ ความเสียหายของแม่พิมพ์เกิดจากการสึกหรอของผิวเคลือบฟิล์มแข็งด้วยกระบวนการแบบ Physical Vapor Deposition (PVD) มากกว่าสาเหตุอื่น ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวที่ส่งผลต่อการเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์ ซึ่งผลของการศึกษาจะสามารถนำไปใช้เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ให้ยาวนานขึ้น

การยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ใช้วิธีการชุบแบบ PVD สารเคลือบผิวชนิดไทเทเนียมไนไตร (TiN) และไทเทเนียม คาร์บอนไนไตร (TiCN) ที่ความหนาประมาณ 3 ไมครอน (μm) บนวัสดุทำแม่พิมพ์เหล็กกล้างานเย็น ชนิดไมโครคลีน (MICROCLEAN) และกระบวนการเตรียมพื้นผิวแม่พิมพ์ด้วยการขัดผงขัดเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 ไมครอน และ 6 ไมครอน หลังการเคลือบผิว PVD นำแม่พิมพ์เข้าสู่กระบวนการผลิตเหรียญ 1 บาท ใช้เหรียญตัวเปล่าโลหะไส้เหล็กเคลือบนิกเกิล ตีตราด้วยเครื่องที่แรงกด 350 กิโลนิวตัน ที่ความเร็ว 800 เหรียญต่อนาที จากนั้นวัดความหนาของผิวเคลือบที่สึกหรอไประหว่างการใช้งาน ความแข็งของผิวเคลือบแม่พิมพ์ ลักษณะทางกายภาพและการยึดเกาะของผิวเคลือบแม่พิมพ์

ผลการทดสอบพบว่าแม่พิมพ์ที่ชุบเคลือบผิวด้วย TiN และใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอนขัดแม่พิมพ์หลังการเคลือบผิว PVD เมื่อนำไปผลิตเหรียญกษาปณ์จะได้เหรียญจำนวน 1.4 ล้านเหรียญต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ มีอายุการใช้งานของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 1.4 เท่า จากการทดลองพบว่าสารเคลือบ TiCN มีค่าความแข็งของผิวเคลือบสูงกว่า TiN แต่จะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะต่ำทำให้ต้านทานการสึกหรอได้ไม่ดี เห็นได้จากความหนาของผิวเคลือบ TiCN ลดลงมากกว่า TiN เมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ในจำนวนเหรียญสำเร็จที่เท่ากัน

คำสำคัญ : แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ การชุบ PVD ไทเทเนียมคาร์บอนไนไตร (TiCN) ไทเทเนียมไนไตร (TiN) ผงขัดเพชร

Thesis Title	Study on Effect of Coatings on One-Baht Coin Stamping Dies
Name-Surname	Mr. Puthitorn Katejaroen
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sirichai Torsakul, D.Ing.
Academic Year	2017

ABSTRACT

According to the need of the economic system, the manufacturing of one-baht coins was larger than other types of coins. The coin die damages were usually caused by the wearing out of the Physical Vapor Deposition (PVD) film coating. To extend the lifetime of coin dies, this research aimed to study the effect of different coatings on one-baht coin stamping dies.

In order to extend the lifetime of one-baht coin stamping dies, 3 μm Titanium Nitride (TiN) and 3 μm Titanium Carbon Nitride (TiCN) were used as coating substances on MICROCLEAN cold work die steel. After the coating, a 3 μm diamond compound and a 6 μm diamond compound were used in a pre-treatment process. Then, nickel plated steel blank coins were stamped in the dies with the striking pressure of 350 kilonewton/meter^2 at the speed of 800 coins per minute. Lastly, the thickness of the worn coatings, the coating hardness, the physical characteristics of the coating and the adhesion strength of the coating were studied.

The study revealed that a pair of stamping dies coated with 3 μm TiN that were polished with a 3 μm diamond compound could produce 1.4 million coins. The coin die lifetime was 1.4 times longer. Moreover, the TiCN coating hardness was greater than that of the TiN coating. However, the adhesion strength of the TiCN coating was so low that its wear resistance rate was also low. It was found that, at the same amount of usage, the TiCN coating thickness was lower than that of the TiN coating.

Keywords: coin stamping die, PVD process, Titanium Carbon Nitride (TiCN), Titanium Nitride (TiN), diamond compound

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยะ ประณีตพลกรัง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ปรกช สิริสุวัณณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล (วุฒิวิศวกร อุตสาหการ วอ.187) ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนผู้วิจัยสามารถนำเอาความรู้และหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณผู้อำนวยการสำนักกษาปณ์ กรมธนารักษ์ กระทรวงการคลัง ผู้อำนวยการส่วนต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการทดลองและให้ความร่วมมือในการดำเนินกิจกรรมการวิจัยจนได้รับความสมบูรณ์ของงาน ซึ่งมีส่วนช่วยให้คำแนะนำช่วยเหลือในเรื่องการเรียนและเรื่องอื่นๆ ตลอดระยะเวลาที่ได้มาทำการศึกษา ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตั้งแต่ต้นจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณแม่สมบูรณ์ คุณพ่อสุจินต์ เขตเจริญ รวมถึงญาติพี่น้องที่ผู้วิจัยรักและเคารพ ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น อบรมเลี้ยงดู เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด พร้อมทั้งสนับสนุนเรื่องการศึกษามาเป็นอย่างดี ชี้แนวทางการดำเนินชีวิตและการทำงาน จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายพุฒิธร เขตเจริญ

9 พฤษภาคม 2561

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....(4)
กิตติกรรมประกาศ.....(5)
สารบัญ.....(6)
สารบัญตาราง.....(7)
สารบัญรูป.....(8)

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....12
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงานวิจัย.....14
1.3 ขอบเขตของการทำโครงงานวิจัย.....14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....15
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 ลักษณะของเหรียญชนิดราคา 1 บาท.....16
2.2 การชุบแข็ง.....27
2.3 การอบอ่อน.....27
2.4 การชุบเคลือบผิวแบบไอกายภาพ.....32
2.5 การเคลือบผิวด้วยไอเคมี.....37
2.6 สารเคลือบไทเทเนียมคาร์โบไนไตร.....37
2.7 สารเคลือบไทเทเนียมไนไตร.....38
2.8 ความหยาบผิว.....38
2.9 ประเภทของการควบคุมคุณภาพ.....41
2.10 ขั้นตอนการผลิตดวงตรา.....42
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย....49

3.2 ศึกษาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง....60

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง....51

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง....56

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การสึกหรอผิวเคลือบแม่พิมพ์....62

4.2 คุณภาพของผิวเคลือบแม่พิมพ์....66

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง....70

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ....71

บรรณานุกรม....72

ภาคผนวก....74

ก. รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนแบบใหม่....75

ข. แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบ....77

ค. Scale ของวิกเกอร์ส

Minimum thickness of the test piece in relation to the test force and to the hardness (HV 0.2 to HV 100)....86

ง. ค่ามาตรฐานผิวเคลือบ PVD....88

จ. การเผยแพร่งานวิจัย....89

ประวัติผู้เขียน....100

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความหยาบของพื้นผิว (Ra).....38
3.1 ตัวอย่างใบบันทึกค่าความความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นซ์.....54
3.2 ตัวอย่างใบบันทึกค่าความหยาบ (Ra).....43
4.1 เปรียบเทียบความหนาผิวเคลือบเฉลี่ยกับอายุการใช้งานแม่พิมพ์ (ด้านหัว).....61
4.2 เปรียบเทียบความหนาผิวเคลือบเฉลี่ยกับอายุการใช้งานแม่พิมพ์ (ด้านก้อย).....64
4.3 เปรียบเทียบความหยาบ (Ra).....64
4.4 ความแข็งเฉลี่ยของผิวเคลือบ PVD.....64

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ภาพตัดขวางเหรียญตัวเปล่าชนิดราคา 1 บาท.....16

2.2 กรรมวิธีเคลือบผิวโดยไฟฟ้า (Electroplating Process).....17

2.3 แนวการลากผ่านวัดโค้งกระทะ (Curvature) และความสูงลวดลายแม่พิมพ์ด้านก้อย.....22

2.4 โค้งกระทะ (Curvature) และความสูงลวดลายแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท ด้านหัว...22

2.5 โค้งกระทะ (Curvature) และความสูงลวดลายแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท ด้านก้อย.22

2.6 ลักษณะการไหลของเนื้อโลหะบนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญแบบไม่มีท้องกระทะ.....23

2.7 ลักษณะการไหลของเนื้อโลหะบนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญแบบท้องกระทะพอดี.....23

2.8 ลักษณะการไหลของเนื้อโลหะบนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญแบบท้องกระทะสูง.....23

2.9 แสดงคุณสมบัติของเหล็ก K-490.....24

2.10 แสดงกราฟการทดสอบแรงกระแทกของเหล็ก K-490.....24

2.11 แผนภาพ TTT ไดอะแกรมของเหล็กเกรด K-490.....24

2.12 (Fe-C) Phase Diagram.....27

2.13 ช่วงอุณหภูมิในการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์.....28

2.14 ช่วงอุณหภูมิในการการอบคลายความเค้น หรือการอบใต้ภาวะวิกฤต.....28

2.15 อุณหภูมิการอบเพื่อความอ่อนตัวสูงต่ำกว่าเส้น A_{C1}.....30

2.16 อุณหภูมิการอบเพื่อความอ่อนตัวสูงต่ำและสูงกว่าเส้น A_{C1}.....30

2.17 แสดงช่วงการชุบแข็ง และการอบคืนไฟ.....31

2.18 TTT Diagram.....32

2.19 แสดงชั้นเคลือบผิวในรูปแบบต่าง ๆ.....33

2.20 แสดงคุณสมบัติของผิวเคลือบ.....34

2.21 แสดงคุณลักษณะของผิวเคลือบแต่ละชนิด.....34

2.22 PVD ARC Technology.....35

2.23 PVD Sputter technology.....35

2.24 การทำงานของ PVD ARC and Sputter.....36

2.25 เครื่อง PVD ARC and Sputter.....36

2.26 ตารางเปรียบเทียบกระบวนการเคลือบผิวแบบ PVD และ แบบ CVD.....37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.27 ลักษณะของความหยาบผิว....38
2.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับเส้นอ้างอิง....40
2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวสูงสุดกับความหยาบผิวต่ำสุด....40
2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหยาบผิวสูงสุดกับเฉลี่ยความหยาบผิวต่ำสุด....41
2.31 กระบวนการผลิตดวงตรา....42
2.32 ขั้นตอนการย่อลาย....43
2.33 แม่ถอน....43
2.34 หุ่นแหลม....44
2.35 เครื่องถอนดวงตรา(แม่พิมพ์)....44
2.36 แสดงลักษณะการกดของเครื่องถอนดวงตรา....45
2.37 ภาพหุ่นแหลมหลังผ่านการกดแล้ว....45
2.38 หุ่นแหลมหลังผ่านการกด....46
3.1 แผนภาพการดำเนินการวิจัย....50
3.2 ชิ้นงานทดลอง....51
3.3 เตาชุบแข็งแบบสุญญากาศ....51
3.4 การขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าดวงตรา....52
3.5 กระบวนการล้างระบบอุลตร้าโซนิค....52
3.6 การชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD....53
3.7 ผงขัดผงเพชร (Diamond Compound)....53
3.8 ตรวจสอบคุณภาพแม่พิมพ์....54
3.9 แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท (ดวงตรา)....54
3.10 ภาพแสดงการตีตราเหรียญสำเร็จและการคัดแยกตัวเสีย....55
3.11 บันทึกการติดตามการใช้งานดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียน....55
3.12 เครื่องวัดความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นซ์....56
3.13 ตำแหน่งอ้างอิงการวัดความหนาผิวเคลือบ จำนวน 10 จุด....57
3.14 เครื่องวัดความหยาบผิว....58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.15 ระดับค่าการยึดเกาะมาตรฐานแบ่งเป็น 6 ระดับ ความเสียหาย.....59
3.16 เครื่องทดสอบการความแข็งของชั้นผิวเคลือบและชิ้นงานทดสอบ.....59
3.17 แม่พิมพ์ผ่าเพื่อถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM).....60
3.18 ความเสียหายของแม่พิมพ์ (ดวงตรา).....61
4.1 การสึกหรอของผิวเคลือบ (ด้านก้อย).....63
4.2 การสึกหรอของผิวเคลือบ (ด้านหัว).....63
4.3 เปรียบเทียบความหนาของผิวเคลือบกับจำนวนเหรียญสำเร็จรูป (ด้านหัว).....64
4.4 เปรียบเทียบความหนาของผิวเคลือบกับจำนวนเหรียญสำเร็จรูป (ด้านก้อย).....64
4.5 จำนวนเหรียญสำเร็จรูปต่อแม่พิมพ์ 1 คู่.....65
4.6 ระดับค่าการเกาะยึดแบ่งเป็น 6 ระดับ ความเสียหาย.....65
4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงหลังทดสอบการเกาะยึด.....65
4.8 เปรียบเทียบความหยาบ (Ra).....67
4.9 ความแข็งเฉลี่ยของผิวเคลือบ PVD.....68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ระบบเศรษฐกิจตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันจำเป็นต้องมีสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนสินค้าและบริการ ซึ่งธนบัตรและเหรียญกษาปณ์ได้ถูกใช้เป็นสื่อกลางในระบบเศรษฐกิจทั่วโลก ที่มีรูปแบบและมาตรฐานเป็นไปตามข้อกำหนด ไม่ซ้ำซ้อนกันกับประเทศอื่นๆ ซึ่งมาตรฐานสากลระบุว่า จำนวนชนิดราคาของและเหรียญกษาปณ์รวมกันแล้ว ไม่ควรเกิน 13 ชนิดราคา ปัจจุบันประเทศไทยมีเหรียญกษาปณ์หมุนเวียน 9 ชนิดราคา คือ ชนิดราคาในหน่วยสตางค์ ได้แก่ 1, 5, 10, 25 และ 50 ชนิดราคาในหน่วยบาท 1, 2, 5 และ 10 ซึ่งจำนวนของชนิดราคาเหรียญกษาปณ์ไม่ควรมีเกิน 8 ชนิดราคา แต่เหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1, 5 และ 10 สตางค์ ในปัจจุบันไม่ได้นำไปใช้หมุนเวียนในระบบเศรษฐกิจ แต่ผลิตเพื่อจัดทำเป็นแผงเหรียญให้ครบทุกชนิดราคาและใช้ในระบบบัญชีของส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจเท่านั้น ดังนั้นเหรียญกษาปณ์ที่ใช้หมุนเวียนในระบบเศรษฐกิจปัจจุบันจึงมีเพียง 6 ชนิดราคา ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานสากล คุณลักษณะของเหรียญกษาปณ์ต้องสามารถทนทานต่อการสึกหรอ การกัดกร่อนได้ดี มีอายุการใช้งานนาน มีความเงางาม มีเอกลักษณ์ วัฒนธรรมที่บ่งบอกถึงความเจริญก้าวหน้าของประเทศ และมีคุณสมบัติสอดคล้องกับกระบวนการผลิตที่มีอยู่

ปริมาณการผลิตของเหรียญกษาปณ์ทั้ง 6 ชนิดราคา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 เป็นต้นมาเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท เป็นชนิดราคาที่ผลิตมากกว่าชนิดราคาอื่น ๆ ซึ่งผลิตตามปริมาณความต้องการของระบบเศรษฐกิจ และราคาโลหะที่ใช้ทำเหรียญโลหะตัวเปล่ามีแนวโน้มสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของโรงกษาปณ์เพิ่มสูงขึ้นด้วย การผลิตเหรียญกษาปณ์เป็นการผลิตแบบไม่มุ่งแสวงหากำไร ต้องควบคุมมูลค่าโลหะทำเหรียญตัวเปล่าไม่ให้มีมูลค่าเกินกว่าราคาหน้าเหรียญ เพื่อป้องกันการปลอมแปลง และนำโลหะไปใช้ในด้านอื่นๆ แต่เมื่อรวมค่าดำเนินงานแล้วมูลค่ารวมต่อราคาหน้าเหรียญต้องไม่ขาดทุน เพื่อลดต้นทุนการผลิตในด้านวัตถุดิบ จึงได้เปลี่ยนวัตถุดิบตัวเปล่าเป็นวัสดุที่มี

ไส้เหล็กเคลือบด้วยนิกเกิล แต่ปัญหาของการใช้วัตถุดิบไส้เหล็กชุบเคลือบผิวด้วยนิกเกิลพบว่ามีความแข็งเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบเดิมที่เป็นวัสดุคิวโปรนิกเกิล (ทองแดงร้อยละ75 นิกเกิลร้อยละ25) ส่งผลให้อายุการใช้งานแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแบบเดิม เนื่องจากความแข็งของวัตถุดิบตัวเปล่าที่มีไส้เหล็กเคลือบผิวด้วยนิกเกิล ส่งผลให้จำนวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์เพิ่มขึ้นจากยอดการผลิตจำนวนเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูป เมื่อเทียบกับจำนวนยอดการผลิตที่ใช้วัตถุดิบแบบเดิม ส่งผลให้ต้นทุนด้านการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อลดต้นทุนโรงกษาปณ์ได้ปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท [1] อย่างต่อเนื่องเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์นี้ โรงกษาปณ์ได้ทำการวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งได้ผลนำมาซึ่งการเปลี่ยนเหล็กวัสดุแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท [2] ทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า จำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ได้ประมาณ 300,000 – 400,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่ ต่อมาได้ทำการปรับปรุงเพื่อการกำหนดปัจจัยในการชุบเคลือบผิว PVD บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ [3] ทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า จำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ได้ประมาณ 1,000,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่ ปัจจุบันสาเหตุการเสียหายของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ที่ทำให้หมดอายุการใช้งานเกิดจากสาเหตุผิวเคลือบ ลอก เป็นฝ้า เป็นคราบ เป็นปริมาณการเสียหายที่มากกว่าสาเหตุอื่น แต่ถ้าหากสารเคลือบผิวของแม่พิมพ์ยึดเกาะกับเหล็กวัสดุทำแม่พิมพ์ได้ดีแล้ว จะส่งผลให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ให้สูงขึ้นได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวและการเตรียมพื้นผิวแม่พิมพ์ก่อนการเคลือบผิว PVD ที่ส่งผลให้เกิดผิวเคลือบ ลอก เป็นฝ้า เป็นคราบ โดยการเปลี่ยนวัสดุทำแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ใช้เหล็กกล้างานเย็นชนิดไมโครคลีน (Microclean) ที่มีการตอบสนองในการอบชุบที่ดีกว่าเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นทั่วไป และกระบวนการเตรียมพื้นผิวแม่พิมพ์ด้วยการขัดผงขัดเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 μm ก่อนการเคลือบผิว PVD เพื่อศึกษาการยึดเกาะของสารเคลือบแม่พิมพ์ และหลังจากเคลือบแล้วได้ขัดด้วยผงขัดเพชรความละเอียด 3 และ 6 μm เพื่อลดสาเหตุการเสียหายของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท จากผิวเคลือบ ลอก เป็นฝ้า เป็นคราบ ผู้วิจัยจึงเลือกทำการวิจัยนี้เพื่อที่จะเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ให้สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 วัสดุทำแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ใช้เหล็กกล้างานเย็น ยี่ห้อ Bohler เกรด K - 490

1.3.2 การเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ด้วยวิธี PVD

1.3.2.1 เคลือบผิวด้วย TiN (ไทเทเนียม-ไนไตร) ความหนา 3 μm.

1.3.2.2 เคลือบผิวด้วย TiCN (ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตร) ความหนา 3 μm.

1.3.3 การขัดผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ หลังเคลือบผิวด้วยวิธี PVD

1.3.3.1 ยาขัดผงเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 μm.

1.3.3.2 ยาขัดผงเพชร (Diamond Compound) ขนาด 6 μm.

1.3.4 เหรียญที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหรียญตัวเปล่าชนิดราคา 1 บาท โลหะไส้เหล็กเคลือบนิกเกิลหนา 25 ± 5 μm

1.3.5 เครื่องปั๊มเหรียญกษาปณ์ใช้ความเร็วในการผลิต 800 เหรียญต่อนาที

1.3.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.3.6.1 ความหยาบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์หลังการเคลือบผิว PVD

1.3.6.2 ความหนาผิวเคลือบแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์

1) ก่อนการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์

2) ระหว่างการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์ (ทุกๆ 300,000 เหรียญ)

3) หลังการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์ (หมดอายุการใช้งาน)

1.3.6.3 ความแข็งของผิวเคลือบแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ด้วยเครื่องวัดความแข็ง Micro Hardness ด้วยวิธี Rockwell C Indentation (VDI 3198)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เลือกใช้สารเคลือบผิว ให้เหมาะสมกับวัสดุทำแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์สำหรับเหล็กกล้างานเย็น

1.4.2 เลือกใช้ขนาดของผงขัด ผงเพชร ในการเตรียมพื้นผิวแม่พิมพ์หลังการเคลือบผิว PVD ที่มีผลต่ออายุการใช้งานแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท

1.4.3 สามารถนำผลสรุปจากงานวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางพัฒนา ปรับปรุงสำหรับการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคาอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.4 เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมแม่พิมพ์โดยเป็นแนวทางเพื่อนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องไปประยุกต์ใช้ต่อไป

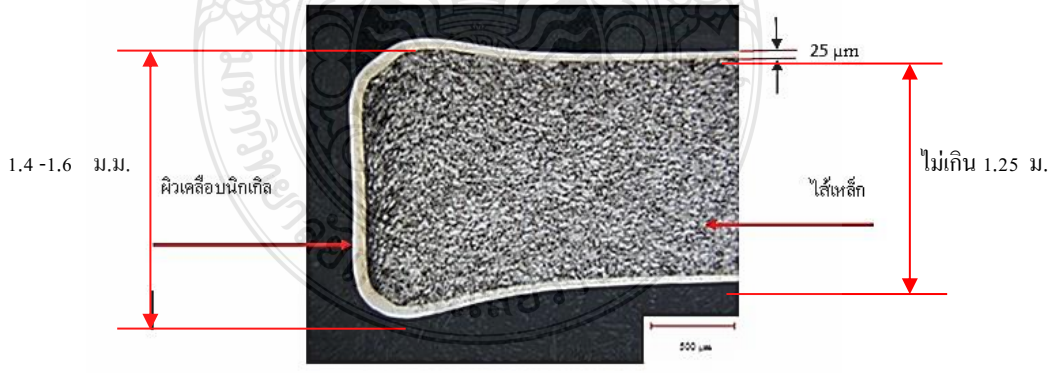
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณลักษณะของเหรียญชนิดราคา 1 บาท

การกำหนดรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเหรียญกษาปณ์ในแต่ละชนิดราคาจำเป็นต้องพิจารณาจากลักษณะกระบวนการผลิตที่ขึ้นรูปแบบงานเย็นและเครื่องจักรที่ใช้ปั๊มเหรียญที่มีอัตราการผลิตที่มีความเร็วในการปั๊มเหรียญสูง ต้นทุนการผลิต คุณสมบัติของโลหะ จำนวนผู้ผลิตและแหล่งผลิต การใช้กับเครื่องหยอดเหรียญในบางชนิดราคา ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมละความสะดวกในการจับจ่ายใช้สอยปัจจุบันเหรียญชนิดราคา 1 บาท ได้เปลี่ยนมาใช้วัสดุชนิดไส้เหล็กเคลือบผิวด้วยนิกเกิล ซึ่งเดิมใช้วัสดุชนิดทองแดงผสมนิกเกิลทำให้เหรียญมีต้นทุนสูงมากกว่าราคาหน้าเหรียญ ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ต้องเปลี่ยนมาใช้วัสดุที่มีราคาถูกลง แต่ยังคงความสวยงาม มีคุณค่า สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี รายละเอียดและคุณลักษณะเฉพาะของเหรียญชนิดราคา 1 บาท

1) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 19.75 – 19.85 มิลลิเมตร
2) น้ำหนัก 3.4 กรัม
3) ฟันเฟืองรอบเหรียญจำนวน 130 ฟันเฟือง



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางเหรียญกษาปณ์ตัวเปล่าชนิดราคา 1 บาท

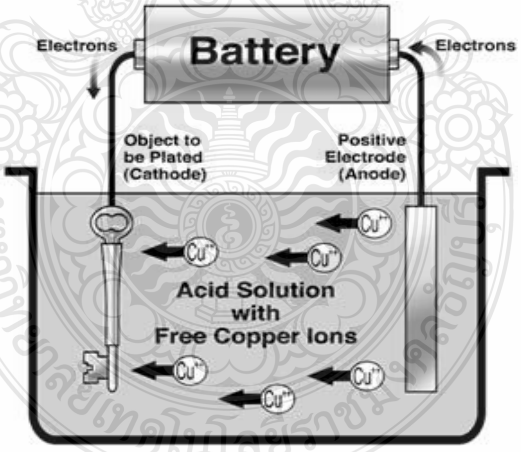
4) ความแข็ง 110 HV (30)

5) วัสดุเป็นไส้เหล็กเคลือบนิกเกิลด้วยกระบวนเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electro Plating) ส่วนผสมทางเคมีบริเวณโลหะไส้เหล็ก C 0.10 %, Mn 0.50 %, P 0.04 %, S 0.05 % , Fe Bal. (Mild Steel) ส่วนผสมทางเคมีของผิวเคลือบนิกเกิล Ni 99.44% หนาไม่น้อย กว่า 25 μm

6) คุณสมบัติเพิ่มความต้านทานการเสื่อมสภาพของผิวอันเนื่องมาจากการใช้งานและอีกทั้งยังสามารถเพิ่มความสวยงามแก่ชิ้นงาน ในกระบวนการเคลือบผิวโลหะนิกเกิลเป็นโลหะที่มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากสมบัติเด่นเฉพาะตัว เช่น มีความต้านต่อการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) และการกัดกร่อน (Corrosion) สูง มีความเหนียว (Ductility) และอ่อนตัวสูงสามารถขึ้นรูปเย็นได้ง่าย น้ำหนักเบา ราคาถูก

2.1.1 การเคลือบผิวนิกเกิลเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท [1]

กรรมวิธีการเคลือบด้วยไฟฟ้า (Electroplating Process) เป็นวิธีการเคลือบผิวโลหะที่นิยมกันแพร่หลาย การเคลือบผิวด้วยวิธีนี้สามารถควบคุมความหนาบางของโลหะที่เคลือบได้ดีกว่า และผิวที่เคลือบก็สม่ำเสมอดี ทั้งยังสามารถบิดงอได้ดีพอสมควรโดยไม่ แตกร้าวอีกด้วย โลหะที่นำมาเคลือบเป็นทองแดง นิกเกิล โครเมียม แคดเมียม ทองคำ เงิน ดีบุก สังกะสีและอื่นๆ ก่อนเคลือบผิวด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า การเคลือบผิวโดยวิธีไฟฟ้าเคมี



รูปที่ 2.2 กรรมวิธีเคลือบผิวโดยไฟฟ้า (Electroplating Process) [4]

ชิ้นงานที่จะนำโลหะอื่นมาเคลือบจะเป็นคาโทด (Cathode) ส่วนตัวโลหะที่จะเคลือบจะเป็นอาโนด (Anode) ซึ่งจะละลายลงไปใน อิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte) มีเกลือของโลหะนั้นๆ ละลายอยู่ในขณะที่โลหะบางส่วนจะเคลือบผิวคาโทด ดังนั้นความเข้มข้นของโลหะใน อิเล็กโตรไลต์ จึงคงที่

อยู่เสมอ ในกรณีที่อาโนด เป็นตัวนำ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม ตะกั่วหรือแท่งคาร์บอนโลหะที่ไปเคลือบผิวอาจอยู่ในลักษณะเกลือที่ละลายอยู่ในอิเล็กโตรไลต์ การควบคุมการเคลือบผิวโลหะให้ได้ผลดีคือโลหะที่เคลือบติดแน่นและสม่ำเสมอจะต้องควบคุมโดยเข้มงวดทั้งความต่างศักย์ไฟฟ้า ความเข้มของกระแสไฟฟ้า ณ ผิว คาโทด โดยมีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์ต่อตารางเมตรสัดส่วนของพื้นที่อาโนดต่อพื้นที่คาโทด เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวรวมทั้งองค์ประกอบและอุณหภูมิของอิเล็กโตรไลต์ ความหนาของโลหะที่เคลือบโดยทั่วไปจะมีความหนาดังนี้คือ

1) เคลือบนิกเกิลจะหนาประมาณ 0.0075 – 0.05000 มิลลิเมตร (7.5 – 50 μm)
2) เคลือบโครเมียมจะหนาประมาณ 0.00025 – 0.00125 มิลลิเมตร(0.25 – 1.25 μm)
3) เคลือบทองแดงจะหนาประมาณ 0.0075 – 0.02500 มิลลิเมตร (7.5 – 25 μm)
4) เคลือบแคดเมียมจะหนาประมาณ 0.005 – 0.01250 มิลลิเมตร (5 – 12.5 μm)
5) เคลือบเงินจะหนาประมาณ 0.0075 – 0.03000 มิลลิเมตร (7.5 – 30 μm)

2.1.2 โลหะนิกเกิล (Nickel)

นิกเกิลเป็นธาตุที่มีปริมาณมากบริเวณใจกลางของโลก เหตุที่เชื่อเช่นนี้มาจากผลของการวิเคราะห์พบปริมาณนิกเกิลสูงจากสะเก็ดดาว (Meteorites) ที่ตกมายังโลก และสะเก็ดดาวที่ของนิกเกิลจำนวนน้อย มีไม่กี่แห่งในโลกที่พบแหล่งแร่นิกเกิลที่มีปริมาณสูงในเชิงพาณิชย์ประเทศที่พบแหล่งแร่นิกเกิลที่สำคัญได้แก่ประเทศคานาดา และแถบภาคกลางของประเทศรัสเซีย แร่นิกเกิลที่พบจะอยู่ในรูปของซัลไฟด์ซึ่งจะปนอยู่กับแร่ทองแดง โคบอลต์ และแร่โลหะที่อยู่ในกลุ่มของแพลทินัม (แพลเลเดียม, ออสเนียม เป็นต้น) แร่นิกเกิลที่พบจะมีนิกเกิลอยู่ระหว่าง 0.8-5.5% ที่เหลือเป็นทองแดง โคบอลต์ และเหล็กอีกเล็กน้อย ประเทศไทยยังไม่ปรากฏพบแร่นิกเกิลที่ใด มีเพียงข่าวที่ไม่เป็นทางมีการพบแร่นิกเกิลที่จังหวัดน่านบนภูเขาบริเวณชายแดนไทย-ลาว

2.1.3 คุณสมบัติของโลหะนิกเกิลและโลหะนิกเกิลผสม [9]

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความต้านทานต่อการเกิดออกซเดชันและการกัดกร่อนสูง เป็นโลหะที่มีสีขาวสวยงาม มีความเหนียวและอ่อนตัวสูงสามารถขึ้นรูปเย็นได้โดยง่าย นอกจากนี่นิกเกิลสามรถละลายกับโลหะอื่นได้ง่ายและให้สารละลายของแข็งที่มีความเหนียว ประมาณ 60% ของนิกเกิลที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกลไร้สนิมและเหล็กกล้าผสม ส่วนที่เหลือจะใช้ทำโลหะนิกเกิลผสมที่ใช้ในงานพิเศษที่ทนการกัดกร่อนสูงๆ และใช้เคลือบผิวเหล็ก (Electroplating) โดยอาศัยคุณสมบัติทนการกัดกร่อนและให้สารละลายของแข็งได้ง่าย เมื่อพิจารณาด้านสมบัติเชิงกลจะพบว่ามีคุณสมบัติเทียบเท่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่เหนือกว่าตรงที่สามารถรักษาความเหนียวได้ดีในช่วง

อุณหภูมิต่ำ คุณสมบัติตัวนำไฟฟ้าของนิกเกิลจะสูงไม่เท่าทองแดงและอลูมิเนียม แต่สูงพอที่จะใช้ได้ ในบ้างกรณีที่ขั้วสายหรือเทอร์มินอลในงานอิเล็กทรอนิกส์ บรรยากาศใช้งานถ้ามีแก๊สของกำมะถันอยู่ด้วยจะมีส่วนทำให้นิกเกิลขาดความต้านทานที่ดี และบางที่อาจจะเปราะแตกง่าย ส่วนใหญ่ไม่ใช้นิกเกิลในสภาพโลหะบริสุทธิ์ เพราะนิกเกิลมีราคาสูงเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่นๆ จะใช้ในลักษณะโลหะผสม และกรณีที่มีความจำเป็นเพื่ออาศัยคุณสมบัติพิเศษของนิกเกิลเท่านั้น

1) คุณสมบัติทางฟิสิกส์

น้ำหนักอะตอม	58.69
โครงสร้างระบบผลึก	face centered cubic (a = 3.516°A)
ความหนาแน่น (25°C)	8.89 g/cm^3
อุณหภูมิหลอมเหลว	1435-1445°C
จุดเดือดกลายเป็นไอ	2730°C
ความร้อนจำเพาะ (27°-100°C)	0.130 cal/g°C
ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย	73.8 cal/g
สัมประสิทธิ์การขยาย (27°-100°C)	13 × 10^{-6}/°C
ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (20°C)	9.5 microhm.cm
สัมประสิทธิ์ตัวนำความร้อน (27°-100°C)	0.145 cal.cm/cm^2.s. °C

2) คุณสมบัติเชิงกล

ความแข็งแรงหรือต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)	47 kg/mm^2
พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)	15 kg/mm^2
อัตราการยืดตัว (Percent Elongation)	40%
ความแข็ง (Hardness)	110 HB.
โมดูลัสของการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	21000 kg/mm^2

2.1.4 โลหะโครเมียม (Chromium) [9]

โครเมียมที่ผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งจะอยู่ในรูปของเฟอร์โรโครม ซึ่งใช้ในการผลิตเหล็กกล้าผสม และเหล็กกล้าไร้สนิมโดยเน้นที่คุณสมบัติความสามารถในการชุบแข็ง และความต้านทานต่อการกัดกร่อนของเหล็ก ส่วนที่เหลือจะใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวเหล็ก (Chrome Plating) และอุตสาหกรรมผลิตโลหะทนความร้อน ทนการกัดกร่อน โดยผสมร่วมกับนิกเกิล โมลิบดีนัม ทองแดง และอื่นๆ เช่น โลหะผสม Nichome, Inconel และโลหะผสมในกลุ่ม Hastelly แร่โครเมียมที่สำคัญในเชิงพาณิชย์ได้แก่ แร่ Chromite หรือ Chromite iron ($FeO.Cr_2O_3$) เป็นแร่ที่มี

น้ำหนักสีดำน้ำตาล ซึ่งประกอบด้วยโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ประมาณ 33-35% ส่วนใหญ่แร่ที่พบมักจะอยู่ร่วมกับซิลิคอนออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ แหล่งแร่ที่สำคัญของโลกได้แก่ สหรัฐคิวบา กรีซ ตุรกี และอาฟริกา ประเทศไทย พบแหล่งแร่โครไมต์บริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์ที่เป็นแหล่งสำคัญของประเทศในเชิงพาณิชย์ แต่ก็เป็นแหล่งแร่ขนาดเล็ก อีกแหล่งที่สำคัญรองลงมาได้แก่แหล่งแร่ที่จังหวัดนราธิวาส

แร่โครไมต์จัดเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตวัสดุทนไฟ (Refractory) อุตสาหกรรมเคมีผลิตสารประกอบ เช่น โครเมต และโครมอลัม อุตสาหกรรมผลิตเฟอร์โรโครม และอุตสาหกรรมผลิตโลหะโครเมียม เป็นต้น

โครเมียมในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะไม่ใช้ในสภาพโลหะบริสุทธิ์ เช่น ในอุตสาหกรรมเหล็กจะใช้ในรูปของเฟอร์โรโครม และในอุตสาหกรรมผลิตโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็กยังคงใช้ผสมโดยมีเหล็กเจือปน ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวก็ไม่ใช่โลหะโครเมียมบริสุทธิ์ เอกสารอ้างอิงส่วนใหญ่กล่าวถึงการถลุงเพื่อให้ได้โลหะโครเมียมบริสุทธิ์บ้าง แต่จะเป็นโลหะโครเมียมบริสุทธิ์เพียง 99.5%

2.1.5 โลหะวิทยาของโครเมียมและโครเมียมผสม [9]

โครเมียมเป็นโลหะที่มีความแข็งแรงและความแข็งอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าโลหะนอกกลุ่มเหล็กทั่วไป แต่ไม่มีความเหนียวที่อุณหภูมิปกติ นอกจากนี้คุณสมบัติโดยเฉพาะเชิงกลจะเปลี่ยนแปลงได้มากขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ การผลิตและลักษณะการขึ้นรูป การใช้งานโลหะโครเมียมในสภาพบริสุทธิ์จะใช้เคลือบผิวโลหะอื่นโดยเฉพาะเหล็ก (Electroplating) จะกระทำสองลักษณะ คือ เพื่อความสวยงาม (Silver white) ป้องกันสนิมเคลือบบางมากและจะต้องเคลือบรองพื้นด้วยทองแดงหรือนิกเกิลก่อน อีกลักษณะหนึ่งเคลือบในลักษณะเพิ่มความแข็งให้กับชิ้นโลหะเพื่อเสริมความต้านทานต่อการสึกหรอที่เรียกว่า Hard chrome หรือ Hard plating จะเคลือบหนาและผิวโครเมียมมีแรงเชื่อมประสานกับผิวของชิ้นโลหะ ซึ่งใช้มากในงานเคลือบผิวแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความคงทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อน ส่วนการใช้งานโลหะโครเมียมที่มีปริมาณสูงคือใช้ในลักษณะเป็นโลหะผสมในเหล็กกล้าผสมและเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) นอกจากนี้ใช้ผลิตโลหะผสมอื่น เช่น โลหะโครเมล อินโคเนิลแอสเตลลอย และอื่น

1) คุณสมบัติทางฟิสิกส์

น้ำหนักอะตอม	52
ระบบโครงสร้าง	Body- Centered Cubic

	a_0 = 2.8844 – 2.8848 A°
ความหนาแน่น (20°C),g/ cm^3	7.19
อุณหภูมิหลอมเหลว	1875°C
อุณหภูมิเดือดกลายเป็นไอ	2199°C
ความร้อนจำเพาะ (25°)	0.123 cal/g°C
ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย	3.2 – 3.5 kcal/mole
สัมประสิทธิ์การขยายตัว (20°)	6.2 $\times 10^{-6}$
ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (20°C)	12.9 microhm/cm.

2) คุณสมบัติเชิงกล

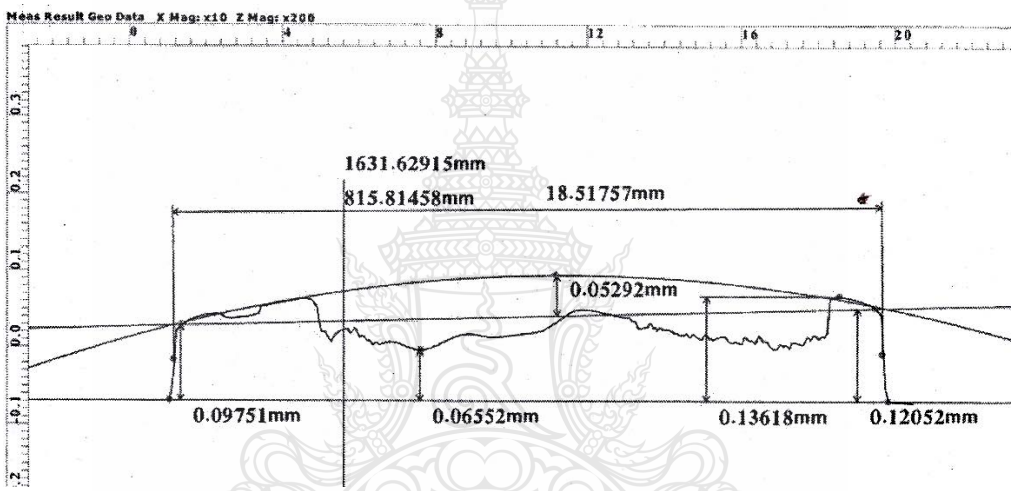
เนื่องจากการผลิตโลหะโครเมียมมีหลายขบวนการ ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของโลหะโครเมียมแตกต่างกันมาก จากเอกสารอ้างอิงได้กล่าวถึงคุณสมบัติเชิงกลของโครเมียมไว้พอสังเขป คือโครเมียมโดยกรรมวิธีแยกด้วยกระแสไฟฟ้า มีค่าความต้านทานแรงดึง 83 Mpa อัตราการยืดตัว (Elongation) และ Reduction of Area 0% โมดูลัสการยืดหยุ่น 0.248 GPa ที่อุณหภูมิ 20°C

โลหะโครเมียมผลิตโดยกรรมวิธีใช้ Lodide หรือ Lodide Chromium ในสภาพตีอัดขึ้นรูปเป็นแท่งที่อุณภูมิห้อง มีความต้านทานแรงดึง 413 MPa, จุดคลาก (0.2%) 362 MPa อัตราการยืดตัว 44% และ Reduction of Area 78% ภายหลังเมื่ออบความร้อนให้เกิดการตกผลึกใหม่ (Recrystallized) ความต้านทานแรงดึงลดลงเหลือ 282 MPa ไม่สามารถยืดตัวได้ (% Elongation และ Reduction of area 0%)

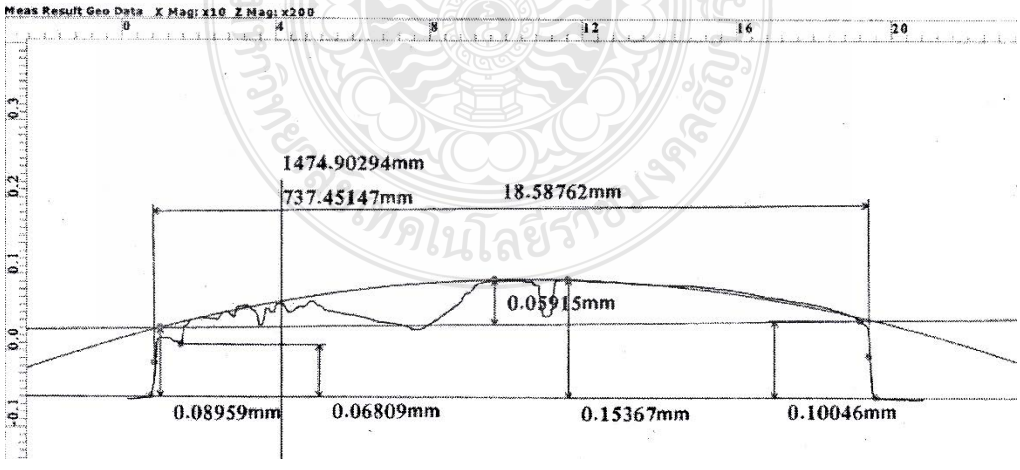
2.1.6 ความสูงลวดลายและท้องกระทะของแม่พิมพ์เหรียญชนิดราคา 1 บาท

เหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาท เป็นโลหะไส้เหล็กชุบนิกเกิล (Nickel Plated Steel) ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างจากเหรียญกษาปณ์ชนิดราคาอื่นที่สำนักกษาปณ์ได้เคยผลิตมาก่อน โดยมีค่าความแข็งของผิวสูงขึ้นจากเดิมเป็น 110 HV (30) ทำให้การปั๊มขึ้นรูปต้องใช้แรงกด (Pressure) สูงขึ้น จึงส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญและคุณภาพของเหรียญสำเร็จ ปัญหาด้านคุณภาพความคมชัดของลวดลาย ความสวยงามและความสมบูรณ์ของลวดลาย ในการกำหนดค่าความสูงของลวดลาย (Relief) แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท สูงสุดไม่เกิน 0.07 มิลลิเมตร และค่าท้องกระทะ (Curvature) ไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.3 - 2.5

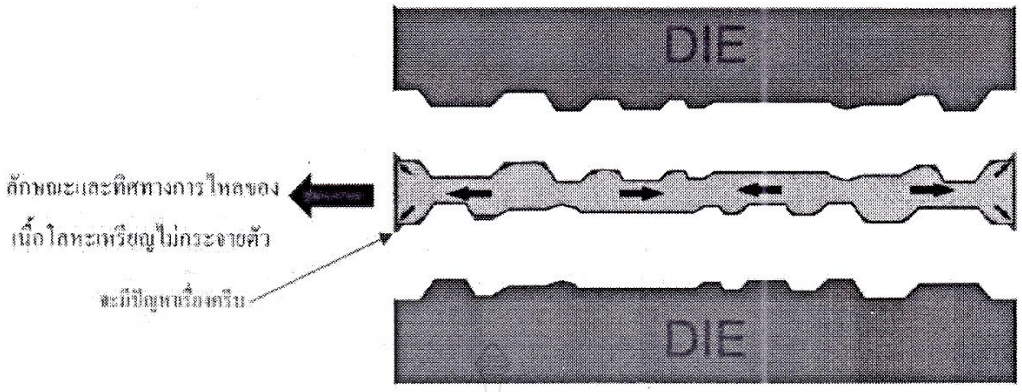
รูปที่ 2.3 แนวการลากผ่านวัดโค้งกระทะ (Curvature) และความสูงลวดลายแม่พิมพ์ด้านก้อย



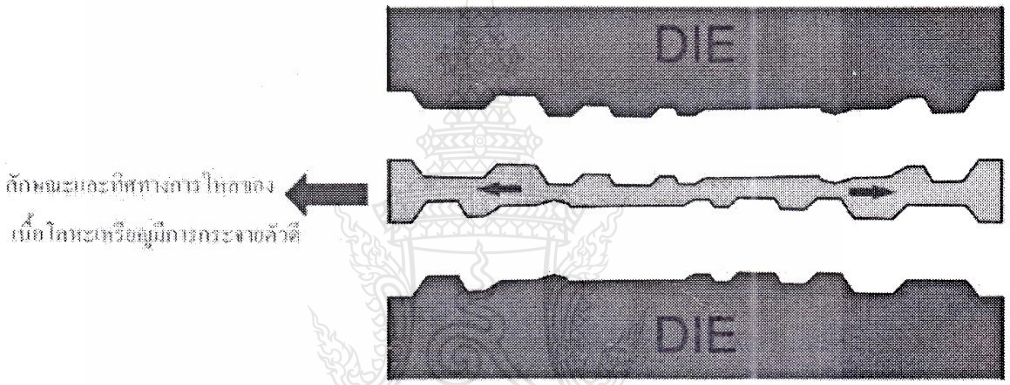
รูปที่ 2.4 โค้งกระทะ (Curvature) และความสูงลวดลายแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท ด้านหัว



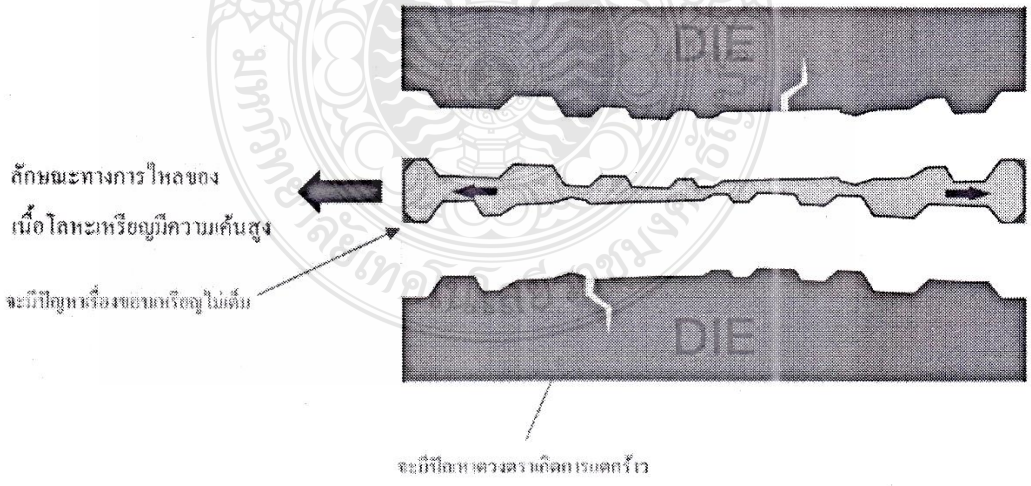
รูปที่ 2.5 โค้งกระทะ (Curvature) และความสูงลวดลายแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท ด้านก้อย



รูปที่ 2.6 ลักษณะการไหลของเนื้อโลหะบนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญแบบไม่มีท้องกระทะ



รูปที่ 2.7 ลักษณะการไหลของเนื้อโลหะบนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญแบบท้องกระทะพอดี



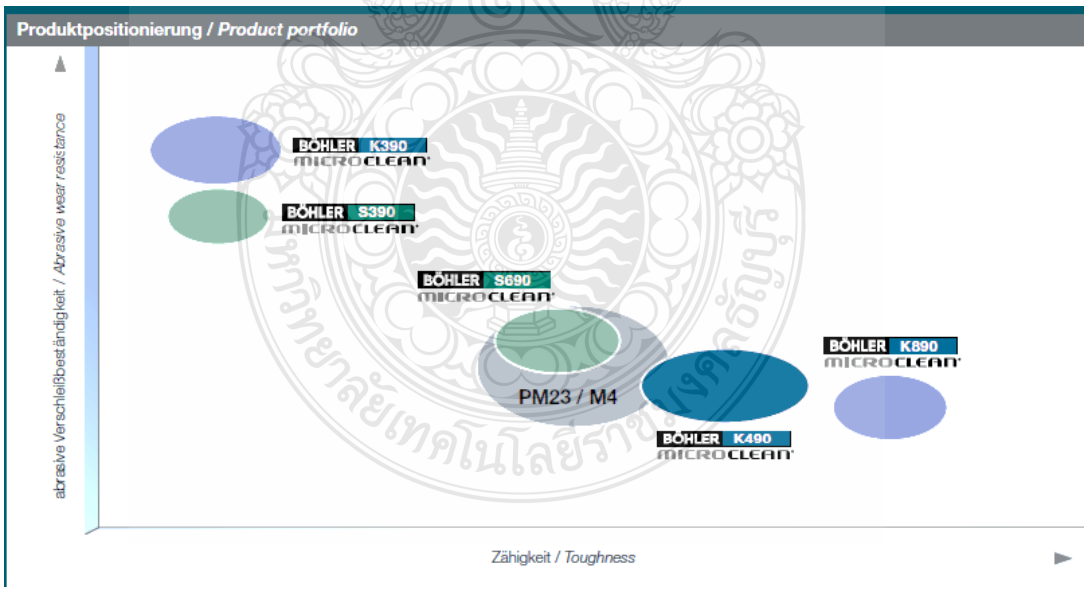
รูปที่ 2.8 ลักษณะการไหลของเนื้อโลหะบนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญแบบท้องกระทะสูง

2.1.7 คุณลักษณะท้องกระทะของแม่พิมพ์เหรียญชนิดราคา 1 บาท

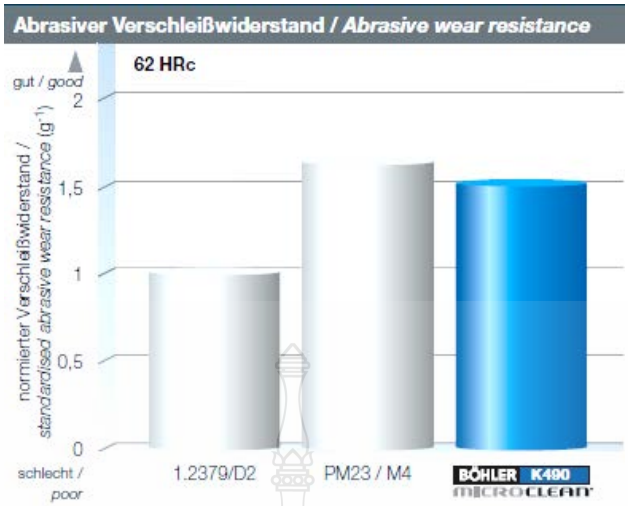
การปั๊มเหรียญกษาปณ์สำเร็จ มีความจำเป็นต้องปรับท้องกระทะของแม่พิมพ์ ให้มีความเหมาะสมเพราะเป็นปัจจัยช่วยให้การไหล (Flow) ของเนื้อโลหะมีความสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.4 กรณีไม่มีท้องกระทะเนื้อของโลหะจะไหลไปทุกทิศทุกทางทำให้แรงต้านหรือมีปริมาณเนื้อโลหะไม่เพียงพอในการขึ้นรูปบางจุดแต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้ลวดลายบริเวณขอบเหรียญขึ้นไม่สมบูรณ์หรือต้องใช้แรงกดสูงมากกว่าที่ควรจะเป็น ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ จึงจำเป็นต้องหาความเหมาะสมในการกำหนดท้องกระทะ ของเหรียญแต่ละชนิดราคาเพื่อให้เกิดจุดที่สมดุลในการไหลของเนื้อโลหะและเป็นไปตามทิศทางที่กำหนด ดังรูปที่ 2.5

2.1.8 การเลือกวัสดุที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์เหรียญชนิดราคา 1 บาท

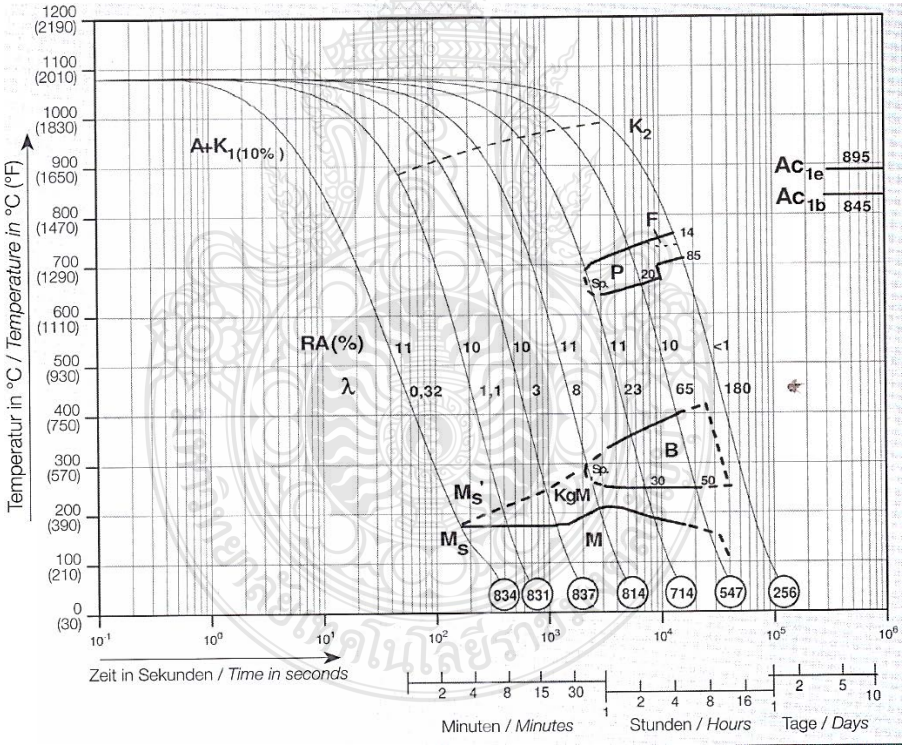
ในกระบวนการผลิตของสำนักกษาปณ์ พิจารณาจากลักษณะกระบวนการผลิตซึ่งเป็นแบบงานเย็นและเครื่องจักรที่ใช้ปั๊มเหรียญที่มีอัตราการผลิต 800 เหรียญต่อนาที ซึ่งมีความเร็วในการปั๊มเหรียญสูง คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์จึงต้องมีความแข็งและความเหนียวที่เหมาะสม เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์มีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยกรรมวิธี Physical Vapor Deposition (PVD) จะเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์สูงขึ้น



รูปที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติของเหล็ก K-490



รูปที่ 2.10 แสดงกราฟการทดสอบแรงกระแทกของเหล็ก K-490



รูปที่ 2.11 แผนภาพ TTT ไดอะแกรมของเหล็กเกรด K-490

คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เป็นแม่พิมพ์หากตอบสนองในการอบชุบและการเคลือบผิวที่ดีแล้วจะส่งผลการเพิ่มอายุ การใช้งานของแม่พิมพ์สูงขึ้น วัสดุที่สำนักกษาปณ์ใช้ผลิต

แม่พิมพ์เหรียญ 1 บาท (ไส้เหล็กเคลือบนิกเกิล) ใช้เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น ยี่ห้อ Bohler เกรด K-490 ซึ่งมีเนื้อโลหะหลังการอบชุบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มีส่วนผสมทางเคมี C 1.4, Cr 6.4, Mo 1.5, V 3.7 และ W 3.5 เหล็ก K-490 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Homogeneous Tool Steel) ชนิดไมโครคลีน (Microclean) ที่มีการตอบสนองในการอบชุบที่ดีกว่าเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นทั่วไปชนิด ALSI D2 ดังรูปที่ 2.9 และมีความแข็งหลังการอบคืนไฟเท่ากับ 58 – 64 HRC ดังรูปที่ 2.10

2.1.9 สมบัติของธาตุเมื่อผสมในเหล็กกล้า [5]

1) คาร์บอน (Carbon : C) คาร์บอนมีอิทธิพลต่อจุดหลอมเหลวของเหล็ก คือจะทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลงจึงทำให้เหล็กหลอมได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เหล็กแข็งขึ้นสามารถชุบแข็ง

2) (Chromium : Cr) โครเมียม เพิ่มความแข็งแรง ต้านทานการเป็นสนิมและคงทนต่อการกัดกร่อน

3) (Molybdenum : Mo) โมลิบดีนัม เพิ่มความแข็ง ทนความร้อนสูง คงความแข็งที่อุณหภูมิสูง และต้านทานการสึกหรอ

4) (Vanadium : V) วาเนเดียม เพิ่มความเหนียว ความแข็งและคงความแข็งที่อุณหภูมิสูง

5) (Tungsten : W) ทังสเตน คงความแข็งที่อุณหภูมิสูง เพิ่มความแข็งแรงและคงทนต่อการกัดกร่อน

2.1.20 วัตถุประสงค์ในการนำธาตุต่าง ๆ มาผสมในเหล็ก

1) สามารถทนต่อแรงกระแทกได้สูง

2) รักษาความแข็งของผิวให้ทนต่อการสึกหรอหรือการตัด

3) เพิ่มความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

4) เพิ่มสมบัติทางเชิงกลในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำ

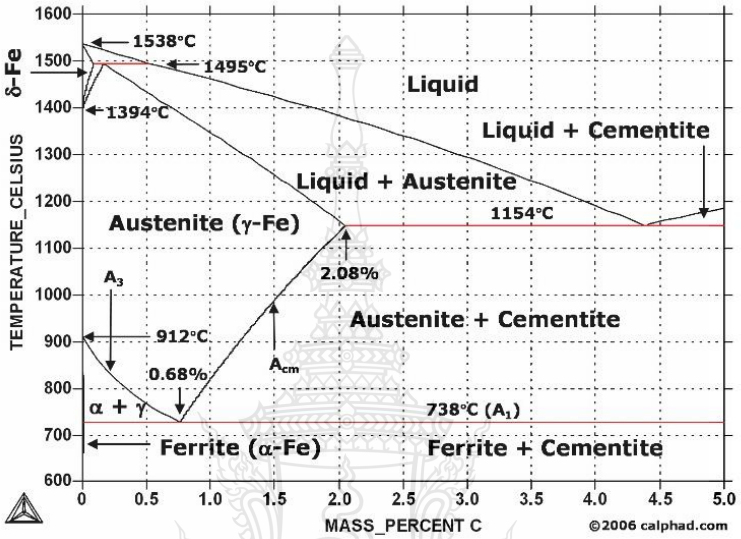
5) เพิ่มความแข็งแรงในการับภาระ (Load)

6) รักษาความสามารถในการแปรรูปบนเครื่องจักรได้ดี

7) เพิ่มสมบัติทางเชิงกล ตลอดจนการควบคุมองค์ประกอบซึ่งมีผลต่อความสามารถ ในการชุบแข็งและเพิ่มความเหนียว

2.2 การชุบแข็ง (Hardening) [5]

กรรมวิธีการชุบแข็งเหล็กกล้ากระทำเพื่อให้เหล็กกล้ามีความแข็ง ทนต่อการเสียดสีและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น กรรมวิธีการชุบแข็งเหล็กกล้านี้กระทำได้โดยการเผาเหล็กให้ร้อนจนกระทั่งมีความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตสิ้นสุดประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วเผาแช่ไว้ระยะเวลาหนึ่ง



รูปที่ 2.12 (Fe-C) Phase Diagram

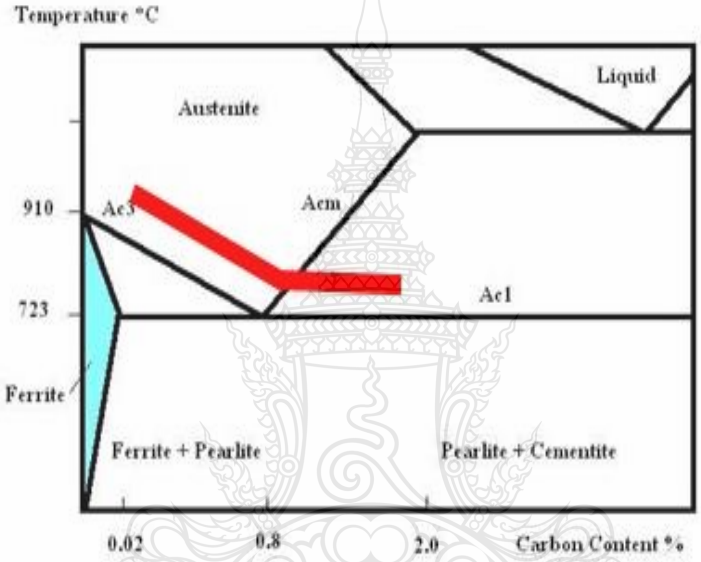
เพื่อให้เหล็กกล้านั้นได้รับความร้อนโดยทั่วถึงตลอดทั้งชิ้นและให้เหล็กกล้าเปลี่ยนโครงสร้างเป็นออสเตไรต์โดยสมบูรณ์ แล้วจึงทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในสารจุ่มชุบในการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในสารจุ่มชุบเราเรียกว่า การจุ่มชุบ (Quenching) เพื่อให้เหล็กมีโครงสร้างภายในเป็นโครงสร้างที่แข็ง (Hardness) เช่นโครงสร้างแบบมาร์เทนไซท์

2.3 การอบอ่อน (Annealing) [5]

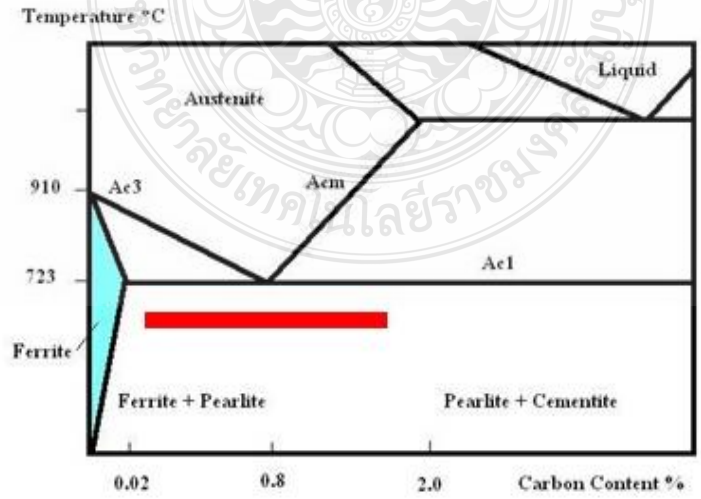
เป็นการให้ความร้อนและอบแช่โลหะที่ระดับอุณหภูมิเหมาะสมอุณหภูมิหนึ่งแล้วควบคุมการลดอุณหภูมิด้วยอัตราที่เหมาะสม มีความมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงสมบัติของเหล็กที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มา เช่น การขึ้นรูปร้อน (Forging and Hot Rolling Process) การขึ้นรูปเย็น (Cold Rolling Process) หรือผ่านการหล่อ (Casting Process)

2.3.1 การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ (Full Annealing)

การอบอ่อนจะอบเหล็กให้มีอุณหภูมิเหนือเส้น A_{C3} ประมาณ 30-50 องศาเซลเซียส ในกรณีของเหล็กไฮโปยูเท็คตอยด์ (Hypo-Eutectoid) และเหนือเส้น A_{C1} ในกรณีของเหล็กไฮเปอร์ยูเท็คตอยด์ (Hyper-Eutectoid) อัตราการให้ความร้อนประมาณ 30-200 องศาเซลเซียส ต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานมีรูปร่างแท่งตันจะอบที่อัตราสูง และควรใช้ที่อัตราอบที่ต่ำเมื่อแผ่นเหล็กมีความหนาที่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 2.13 ช่วงอุณหภูมิในการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.14 ช่วงอุณหภูมิในการการอบคลายความเค้น หรือการอบใต้ภาวะวิกฤต

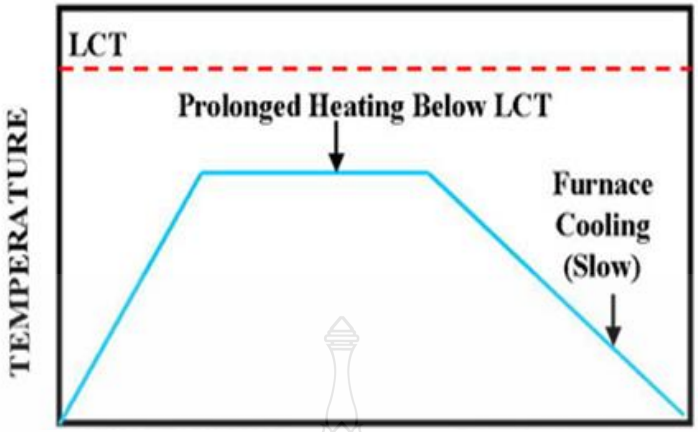
เมื่ออบจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วควรทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้ประมาณ 30-60 นาที ต่อความหนาเฉลี่ย 25 มิลลิเมตร หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นช้าๆ ในอัตรา 150 - 200 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง (ในทางปฏิบัติปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กจะไปเป็นในลักษณะใกล้เคียงสภาวะสมดุล โครงสร้างที่เป็นอยู่ก่อนอบอ่อนซึ่งอาจจะเป็นมาร์เทนไซต์ (Martensite) เบนไนต์ (Beinite) หรือซอร์ไบต์ (Sorbite) เหล็กกล้าจะเปลี่ยนเป็นเพิร์ลไลต์ (Pearlite) กับ เฟอร์ไรต์ (Ferrite) สำหรับเหล็กไฮโปยูเท็คตอยด์ จะเป็นเพิร์ลไลต์ (Pearlite) สำหรับเหล็กไฮเปอร์ยูเท็คตอยด์ ส่วนเหล็กยูเท็คตอยด์ (Eutectoid) เป็นโครงสร้างเพิร์ลไลต์ (Pearlite) 100 เปอร์เซ็น

2.3.2 การอบคลายความเค้น หรือการอบใต้ภาวะวิกฤต (Stress-Relief Annealing or Subcritical Annealing)

การอบอ่อนเพื่อมุ่งทำลายความเครียดภายในเหล็กหลังจากการขึ้นรูปเย็น เช่นเหล็กที่ผ่านการรีดหรือการดึง จะทำให้กลุ่มก้อนของอะตอมของเหล็กอยู่ในสภาพบิดเบี้ยวทำให้เหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้น ความสูญเสียความเหนียว ไม่เหมาะนำไปใช้งานหรือไม่เหมาะสำหรับการขึ้นรูปครั้งต่อไป จะต้องทำการอบอ่อนภายในเสียก่อน โดยอบที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A_{C1} (500- 650 องศา-เซลเซียส) ใช้เวลาประมาน 1-2 ชั่วโมง กลุ่มอะตอมที่ไม่สมดุลย์จะค่อยๆกลับคืนสภาพปกติหรือรวมตัวเกรนใหม่ที่ปราศจากความเครียด โดยที่โครงสร้างส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนแปลง เพราะอุณหภูมิไม่สูงจนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเดิมจนเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) ภายหลังเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 550-650 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นในอากาศ

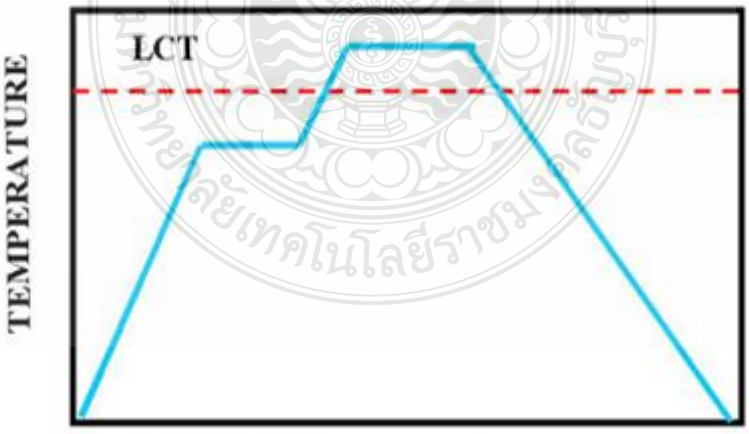
2.3.3 การอบเพื่อความอ่อนตัวสูง (Spheroidizing Annealing)

วิธีที่ใช้กับ เหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปซึ่งโครงสร้างของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.8 เปอร์เซ็นต์ เป็นเพิร์ลไลต์ และเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปโครงสร้างประกอบด้วยเพิรล์ไลต์ โปรยูเท็คตอยด์ซีเมนไทต์ (Pro-eutectoid Cementite) ตามขอบเกรน ลักษณะโครงสร้างเช่นนี้เหล็กจะมีความเหนียวลดลง อีกคุณสมบัติทางด้านการกลึงหรือไสจะไม่ดีทำให้ผิวเรียบยากเพราะปลายมีดกลึงตัดผ่านเนื้อเหล็กที่อ่อนและแข็งสลับกันเนื้อเหล็กจะไม่เรียบ การแก้ไขต้องทำให้โปรยูเท็คตอยด์ซีเมนไทต์ ไม่ต่อเนื่องและยูเท็คตอยด์ซีเมนไทต์ (Eutectoid Cementite) ในเพิรล์ไลต์ ให้มีลักษณะกลมๆ เล็กๆ (Spherical) ไม่เป็นแถบบางๆ (Plate) ได้โดยนำเหล็กไปอบที่อุณหภูมิเหนือเส้น A_{C1} เล็กน้อย สำหรับเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์ หรือถ้าเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.8 เปอร์เซ็นต์ จะอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า A_{C1} เล็กน้อยแล้วปล่อยไปให้สูงกว่า A_{C1} ทำสลับกันไปประมาณ 10 -15 ชั่วโมง



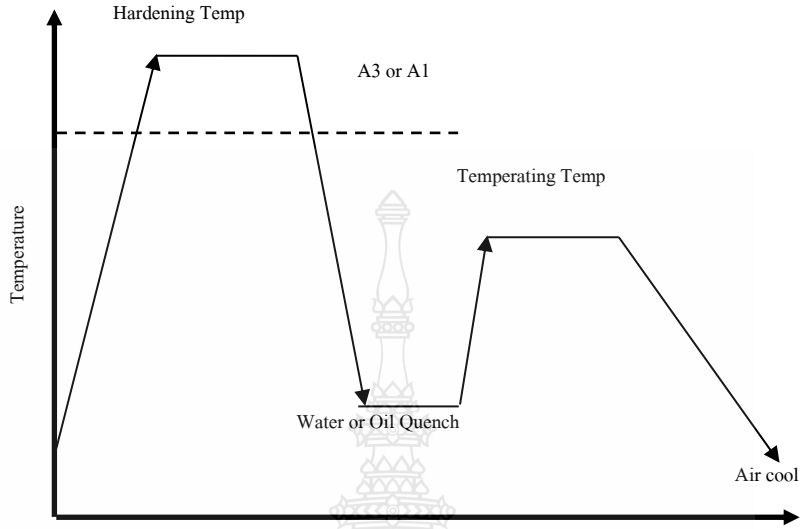
รูปที่ 2.15 อุณหภูมิการอบเพื่อความอ่อนตัวสูงต่ำกว่าเส้น A_{C1}

จากนั้นปล่อยให้เย็นในอากาศ ในขณะที่เหล็กอยู่เหนือเส้น A_{C1} ซีเมนไทต์(Cementite) ในเพิร์ลไลต์ จะขาด เสถียรภาพเกิดการขาดเป็นช่วงๆและเมื่ออุณหภูมิต่ำลงกว่า A_{C1} ซีเมนไทต์ จะแตกตัวเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) จะไปรวมตัวกับซีเมนไทต์ ที่เหลืออยู่ไม่ให้เกิดแถบบางๆ ถ้าเหล็กถูกอบอยู่ในช่วงนี้ระยะนานจะค่อยๆปรับตัวเป็นฟอร์มที่สเถียรภาพมากที่สุดคือ ค่อยๆ เปลี่ยนเป็นเม็ดกลมทำให้เหล็กอ่อนตัวและความเหนียว การกลึงและไสจะทำให้เนื้อผิวเรียบ มีดกลึงจะไม่มีโอกาสตัดผ่านซีเมนไทต์เม็ดกลม โดยที่จะหลุดออกหรือไม่ก็เบนหลบไปทำให้มีดกลึงตัดผ่านเฉพาะเนื้อ



รูปที่ 2.16 อุณหภูมิการอบเพื่อความอ่อนตัวสูงต่ำและสูงกว่าเส้น A_{C1}

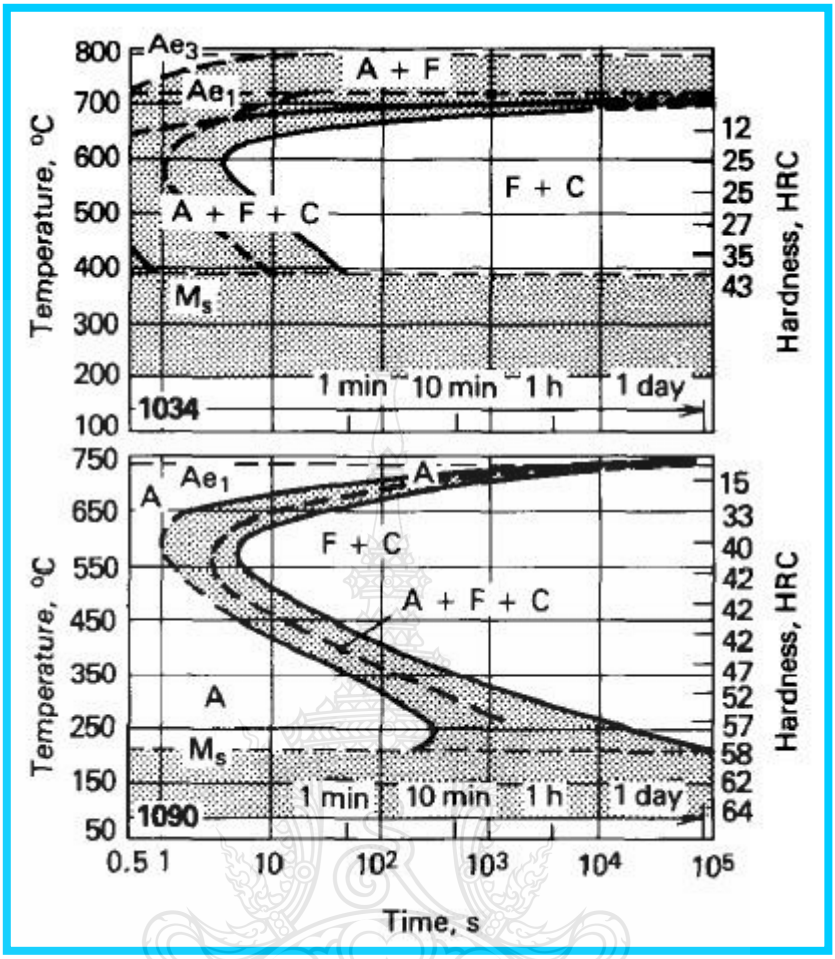
2.3.4 การอบคืนไฟ (Tempering) [5]



รูปที่ 2.17 แสดงช่วงการชุบแข็ง และการอบคืนไฟ

เหล็กผ่านการชุบแข็ง (Hardening) มาแล้วจะเกิดความเครียด (Strain) ขึ้นภายใน มีความแข็งเพิ่มขึ้นและมีออสเตนไนท์ตกค้างอยู่ทำให้เหล็กขาดสมบัติทางด้าน ความเหนียว (Ductility) ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน ถ้าเกิดมีการกระแทกชิ้นเหล็กอาจจะแตกร้าวได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติใหม่โดยการอบคืนไฟซึ่งมีวิธีการดังนี้

นำเหล็กที่ผ่านการชุบมาแล้วเผาภายในเตาที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 200 - 400 องศาเซลเซียส (เหล็กกล้าคาร์บอน) ทิ้งไว้ประมาณ 1 - 3 ชั่วโมงแล้วเอาออกปล่อยให้เย็นในอากาศธรรมดา เหล็กจะมีสมบัติด้านความเหนียว (Ductility) ดีขึ้น แต่ความแข็งจะลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ มาร์เทนไซต์จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยอะตอมคาร์บอนจะเคลื่อนไหวออกจากมาร์เทนไซต์มารวมกันเป็นเฟอร์ไรต์และซีเมนไทต์บางส่วน เพราะมาร์เทนไซต์ไม่ใช่โครงสร้างของเหล็กที่สมดุลย์ที่อุณหภูมิบรรยากาศ เมื่อเหล็กได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อกลับไปเป็นโครงสร้างที่สมดุลย์ คือเหล็กเฟอร์ไรท์ กับซีเมนต์ไทต์ที่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูงไม่เกิน 400 องศา-เซลเซียส เพื่อไม่ต้องการให้มาร์เทนไซต์คืนตัวหมด เพราะยังต้องการความแข็งของเหล็กอยู่ ถ้าเผาให้อุณหภูมิสูงเกิน 400 องศาเซลเซียส ความแข็งจะถูกทำลายหมดโดยทั่วไปการชุบแข็ง และการคืนไฟจะต้องกระทำติดต่อกันทันทีเพื่อให้ได้เหล็กแข็งและทนแรงกระแทกได้ดีด้วย



รูปที่ 2.18 TTT Diagram

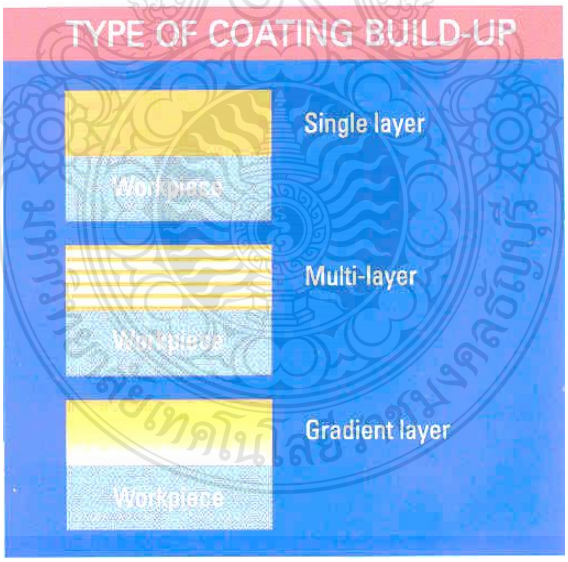
2.4 การชุบเคลือบผิวแบบไอกายภาพ Physical Vapour Deposition (PVD) [6]

การเคลือบผิวแข็ง (Hard Coating) ชิ้นงาน โดยวิธีอาร์คไฟฟ้าด้วยการใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำแต่กระแสสูง ที่บริเวณผิวของวัสดุที่เคลือบ (Target) เกิดการหลอมละลายที่ผิวหน้าของวัสดุที่เคลือบกลายเป็นไอระเหย เรียกว่า พลาสม่า (Plasma) เป็นประจุบวกอยู่ในรูปของอิออนเมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจน (N_2) หรือมิเทน (C_2H_2) ขึ้นอยู่กับกระบวนการ เนื่องจากชิ้นงานเป็นขั้วลบไอระเหยเป็นประจุบวกจึงวิ่งเข้าหาผิวชิ้นงานที่ต้องการเคลือบ กระบวนการเคลือบผิวแข็งจะกระทำอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงไม่ปนเปื้อนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ผิวเคลือบจึงมีความสมบูรณ์ และวัสดุที่เคลือบผิวชิ้นงานมีความหนาตั้งแต่ 1 ถึง 10 μm ทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานเมื่อนำไปใช้งานมีความทนทานและอายุการใช้งานนานขึ้น

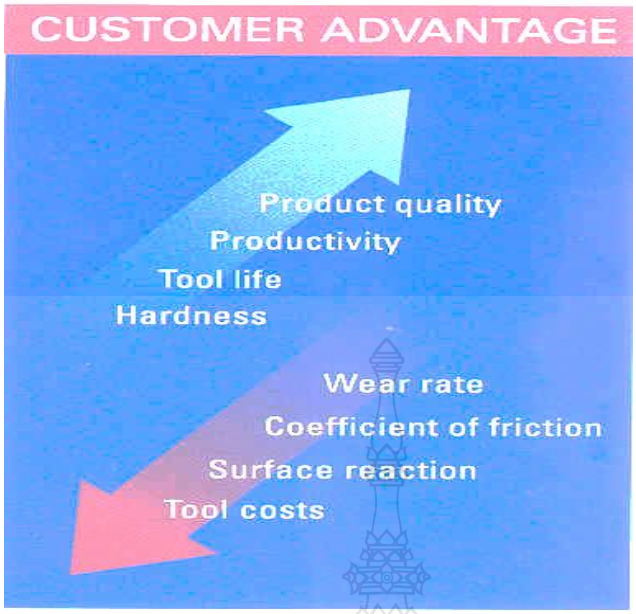
เป็นเทคนิคสำคัญอันหนึ่งสำหรับวิทยาการสมัยใหม่หลายแขนง เช่น วัสดุศาสตร์ Nanotechnology วิศวกรรมผิววัสดุ (Surface Engineering) การชุบ PVD นั้น มีอยู่หลายระบบ โดยปกติจะทำการชุบในเตาสุญญากาศ กระบวนการชุบมักจะเกี่ยวข้องกับสุญญากาศสูง (High Vacuum) สามารถสร้างฟิล์มบาง (Thin Film) ได้หลายชนิดสำหรับงานแตกต่างกันไปในปัจจุบัน ได้มีการนำเครื่อง PVD ระบบต่างๆ มาทำการชุบงาน ด้านการประดับตกแต่ง อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์ และการชุบผิวแข็งให้แก่เครื่องมือตัดเจาะขึ้นรูป รวมถึงอุตสาหกรรมในการผลิตเหรียญในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรป โดยใช้ในการเคลือบผิวดวงตราเพื่อยืดอายุการใช้งานของดวงตรา

2.4.1 ประโยชน์ของการชุบเคลือบ และรูปแบบการเคลือบผิวแบบ PVD [7]

การชุบเคลือบผิวแบบ PVD มีประโยชน์กับอุตสาหกรรมที่หลากหลายรวมถึงในอุตสาหกรรมการผลิตเหรียญ สามารถป้องกันการสึกหรอ มีความแข็งสูงถึงประมาณ 2500 HV – 3500 HV ที่ความหนา 1-5 μm มีความต้านทานต่อสารเคมีสูง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ผิวเรียบ การนำความร้อนต่ำ มีการยึดเกาะของแต่ละชั้นดีเยี่ยมแม้จะใช้อุณหภูมิในการเคลือบต่ำทั่วไปไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.19 แสดงชั้นเคลือบผิวในรูปแบบต่าง ๆ [7]



รูปที่ 2.20 แสดงคุณสมบัติของผิวเคลือบ [7]

SELECTED COATING PROPERTIES

Coating material	TiN	TiCN	CrN	ZrN	AlTiN	W–C:H
Hardness HK (1N)	2500 ±400	2900 ±400	2300 ±300	2400 ±400	3000 ±400	900 to 1400
Temperature resistance °C	550 ±50	450 ±50	650 ±50	600 ±50	800 ±50	350 ±50
Electr. resistance µΩ cm	60 ±20	8 ±20	640	30 ±10	4000–7000	– –
Thermal conductivity $(Ws^{0,5})/m^2K$	8800 ±1000	8100 ±1400	8100 ±2600		7000 ±400	7600 ±1000
Coefficient of friction (100Cr6)	0.65–0.70	0,40–0.50	0.50–0.60	0.50–0.60	0.55–0.65	0.15–0.30
Layer thickness (µm)	2–4	2–4	3–8	2–4	2–4	1–5
Colour	gold-yellow	red-brown/grey	silver	light gold	anthracite	anthracite/blue-grey
Ductility	good	satisfactory	very good	good	satisfactory	–

รูปที่ 2.21 แสดงคุณลักษณะของผิวเคลือบแต่ละชนิด [7]

รูปแบบการเคลือบผิวบนชิ้นงาน (Type of Coating Build-up) มีดังนี้

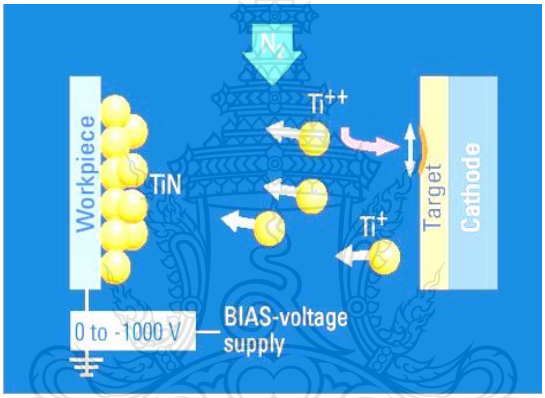
1) ผิวเคลือบชั้นเดียว (Single Layer)

2) ผิวเคลือบหลายชั้น (Multi Layer) (แต่ละชั้น เคลือบด้วยวัสดุต่างชนิดสลับกัน)

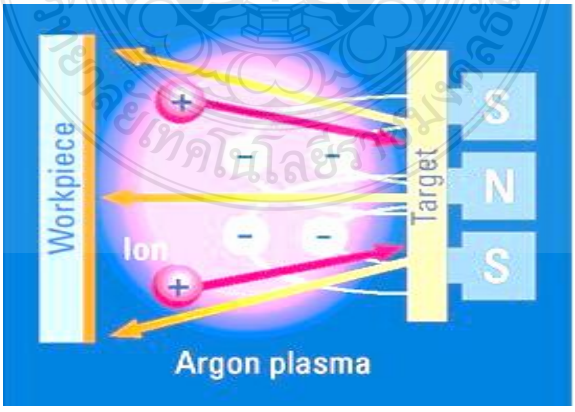
3) ผิวเคลือบผสม (Gradient Layer) (ผิวเคลือบชั้นเดียวแต่วัสดุเคลือบถูกผสมรวมด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น อะลูมิเนียมติเตเนียม AlTi)

2.4.2 เทคโนโลยี PVD แบบ ARC

มีการยึดเกาะของสารเคลือบกับพื้นผิวดี เนื่องจากใช้ประจุไฟฟ้าสูงพื้นผิวจะถูกทำลายลึกทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดีกว่า ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 PVD ARC Technology [16]



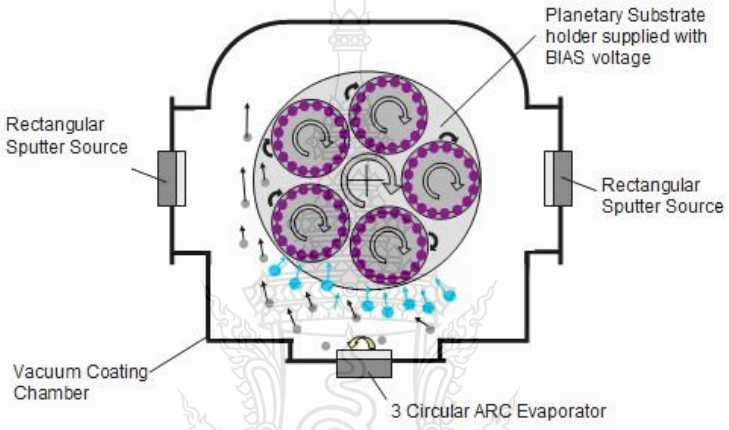
รูปที่ 2.23 PVD Sputter technology [7]

2.4.3 เทคโนโลยี PVD แบบ Sputter [7]

มีพื้นผิวหลังการเคลือบเรียบและสะอาดมีการเกิดเป็นประจุไฟฟ้าต่ำทำให้การยึดเกาะลดลงดังรูปที่ 2.23

2.4.4 เทคโนโลยี PVD แบบ ARC and Sputter [7]

เป็นระบบเดียวที่นำเทคโนโลยีทั้งหมดมารวมไว้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงเป็นชนิดที่ใช้งานอยู่ที่สำนักกษาปณ์ กรมธนารักษ์



รูปที่ 2.24 การทำงานของ PVD ARC and Sputter [7]

รูปที่ 2.25 เครื่อง PVD ARC and Sputter [7]

2.5 การเคลือบผิวด้วยไอเคมี Chemical Vapor Deposition (CVD)

เป็นกรรมวิธีสร้างชั้นฟิล์มที่มีความหนา 4-8 μm ภายในเตาที่อุณหภูมิ 800-1000 องศาเซลเซียส สามารถทำการเคลือบฟิล์ม TiC (ไทเทเนียมคาร์ไบด์) Ti (C,N) (ไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์) TiN (ไทเทเนียมไนไตรด์)

Process / Characteristics	PVD (BALINIT®)	CVD
Coating Temperature [°C]	< 500	1020
Coating thickness [µm]	1 - 4	10-20
Coating roughness R_z [µm]	like substrate	> 2
Internal stress [GPa]	1 - 4 (compressive)	< 1 (tensile)
Coating adhesion	ion etching, metallic bonding	diffusion
Coating structure	fine grain	coarse grain
Influence on the substrate	insignificant	TRS reduction up to 30%
Mechanical stability of cutting edges	like substrate	brittle (eta-phase)
Cutting edge shape after coating	sharp	rounded
Heat Treatment	before coating	after coating
Distortion	no distortion with correct heat treatment	distortion through thermal load and subsequent heat treatment
Post Treatment	generally not necessary	intensive polishing necessary

รูปที่ 2.26 ตารางเปรียบเทียบกระบวนการเคลือบผิวแบบPVD และ แบบCVD [8]

ทั้งแบบชั้นเดียวและหลายชั้นบนผิวโค้งให้มีความละเอียดสม่ำเสมอ มีแรงยึดเกาะสูงได้ การเคลือบผิวแบบ CVD มีข้อดีได้แก่ เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ แต่ความแข็งแรงจะมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัลลอยที่มีเกรนละเอียดถึงละเอียดปานกลาง ค่าความแข็งแรงจะลดลงมากกว่าอัลลอยที่มีเกรนหยาบ การเคลือบผิวแบบซีวีดีนี้สามารถนำไปใช้ในการเคลือบผิวแบบหลายชั้นได้ (Multilayer Coating) เนื่องจากสารเคลือบขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่ปล่อยเข้าไป [8]

2.6 สารเคลือบไทเทเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN)

การชุบเคลือบผิวที่เกี่ยวข้องกับโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนในกระบวนการชุบเคลือบผิวของ TiCN โดยผลลัพธ์คือ ชิ้นงานจะถูกเคลือบให้มีคุณสมบัติที่ดี ด้านความแข็งและการต้านทานการสึกหรอที่เหนือกว่าการชุบเคลือบผิว TiN และดีกับเหล็กที่ใช้ในงานแปรรูปวัสดุ งานปั๊มและเหล็กขึ้นรูปคาร์บอนสูง เหล็กเครื่องมือและวัสดุที่กัดกร่อนอื่นๆ การเคลือบผิว TiCN สามารถกำหนดให้มีสีที่หลากหลาย (สีเทาฟ้าจนถึงสีเทาชมพู) ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของไทเทเนียม (Ti) และไนโตรเจน แต่ส่วนมากผิวเคลือบจะออกสีเทาฟ้าจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องประดับตกแต่งได้ คุณสมบัติ

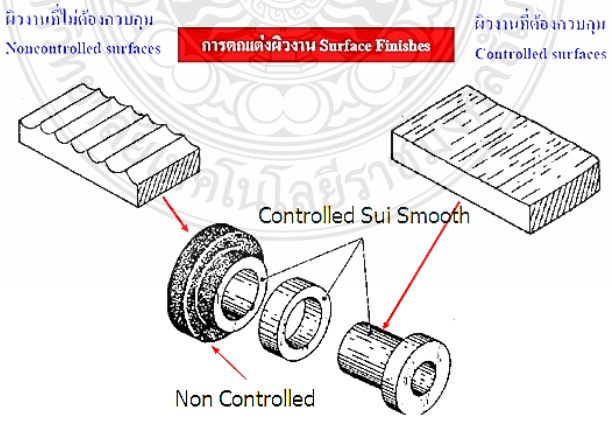
เด่นของผิวเคลือบ TiCN จะมีความแข็งและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่าผิวเคลือบ TiN แต่ไม่สามารถทดแทนการประยุกต์ใช้ของผิวเคลือบ TiN ได้ ทั้งหมด โดยปกติจะนำไปใช้สำหรับงานตัดงานกดอัด และงานที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอที่ทำงานในอุณหภูมิปานกลาง

2.7 สารเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN)

เป็นการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการสึกหรอเหมาะสำหรับการประยุกต์วัสดุที่หลากหลายเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการตัด เพิ่มอายุการใช้งาน และเพิ่มความเร็วที่มากขึ้น มีคุณสมบัติด้านสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในเรื่องอัตราการไหลของโลหะได้ดี ป้องกันการสะสมของเศษวัสดุที่บริเวณขอบของวัตสดุได้ดี ช่วยลดแรงและอุณหภูมิในการตัดเฉือน ปัจจุบันการชุบเคลือบผิว PVD ด้วย TiN ได้มีการพัฒนาและถูกประยุกต์ใช้ในลักษณะของสารเคลือบที่หลากหลายขึ้น TiAlN, TiCN, TiC เป็นต้น การชุบเคลือบผิว TiN มีวัตถุประสงค์ใช้ในงานขึ้นรูปโลหะ (โลหะผสม สเตนเลส เหล็กหล่อ และ โลหะผสมอะลูมิเนียม) สำหรับปกป้องการสึกหรอของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ตัด แม่พิมพ์ที่ใช้ในงานปั๊มโลหะและเครื่องมือขึ้นรูป ปัจจุบันยังถูกนำมาใช้ในงานชิ้นส่วนเครื่องประดับที่ใช้แทนการชุบทองเนื่องจากมีลักษณะสีที่ใกล้เคียงกัน

2.8 ความหยาบผิว (Surface Roughness) [10]

ความหมายในภาษาอังกฤษ หมายถึงขนาดความขรุขระของผิว หากมีความขรุขระมากแสดงว่ามีความหยาบมาก หากมีความขรุขระน้อยก็แสดงว่ามีความหยาบน้อย ความขรุขระหรือความหยาบจะใช้กับผิวของวัสดุแต่บางที่อาจใช้คำว่าความเรียบ (Flat)



รูปที่ 2.27 ลักษณะของความหยาบผิว

ซึ่งเป็นคำที่อาจทำให้สับสน เพราะความเรียบมักใช้กับแผ่นสเตนเลสแผ่นเรียบหมายถึงแผ่นไม่ค่อยเป็นคลื่น (wave) ความหยาบผิวจึงจัดเป็นสมบัติทางโลหะวิทยาอย่างหนึ่ง ในการวัดความหยาบผิวจะใช้เครื่องวัดความหยาบผิว ซึ่งปัจจุบันมีหลายแบบให้เลือก แบ่งตามการวัดค่าความหยาบผิวตามเนื้อของวัสดุ จากรูปที่ 2.27 แสดงให้เห็นว่าในการประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกันเป็นปัจจัยหลัก ที่ต้องให้คำนึงถึงผิวของชิ้นงาน หรือวัสดุเป็นสิ่งสำคัญในการสวมหรือประกอบเพราะถ้าผิวของชิ้นงานไม่ได้มีการควบคุมแล้วนั้น อาจจะเกิดปัญหาขึ้นได้

2.8.1 ความหลากหลายของดัชนีแสดงค่าความหยาบของผิว [10]

การกำหนดคำนิยามและการระบุพารามิเตอร์แสดงความหยาบของพื้นผิว (สำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ไว้ ได้แก่ ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต

(Ra) ความหยาบสูงสุด

(Ry) ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด

(Rz) ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างช่วงเส้นกราฟไม่สม่ำเสมอ

(Sm) ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างยอดเส้นกราฟ

(S) อัตราส่วนความยาวในช่วงเส้นกราฟ

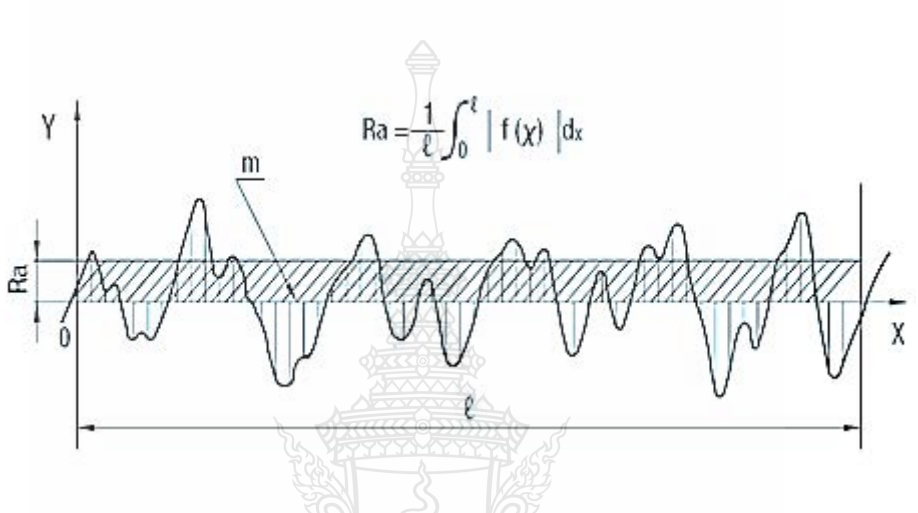
(tp) ความหยาบของพื้นผิวเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของพื้นที่ที่ได้รับการสุ่มเลือก

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความหยาบของพื้นผิว (Ra) และสัญลักษณ์แบบเดิม

Arithmetic Average Roughness Ra			Maximum Height Ry	Ten-spot Average Roughness Rz	Reference Length of Ry(Rz) ℓ(mm)	Conventional Finish Symbol
Standard Series	Cut-off Value c(mm)	Graphical Representation of Surface Texture	Standard Series			
0.012 a 0.025 a 0.05 a 0.1 a 0.2 a	0.08 0.25 0.8	0.012 ~ 0.2	0.05 s 0.1 s 0.2 s 0.4 s 0.8 s	0.05 z 0.1 z 0.2 z 0.4 z 0.8 z	0.08 0.25	
0.4 a 0.8 a 1.6 a		0.4 ~ 1.6	1.6 s 3.2 s 6.3 s	1.6 z 3.2 z 6.3 z	0.8	
3.2 a 6.3 a	2.5	3.2 ~ 6.3	12.5 s 25 s	12.5 z 25 z	2.5	
12.5 a 25 a	8	12.5 ~ 25	50 s 100 s	50 z 100 z	8	
50 a 100 a	–	50 ~ 100	200 s 400 s	200 z 400 z	–	~

2.8.2 ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (Ra) [10]

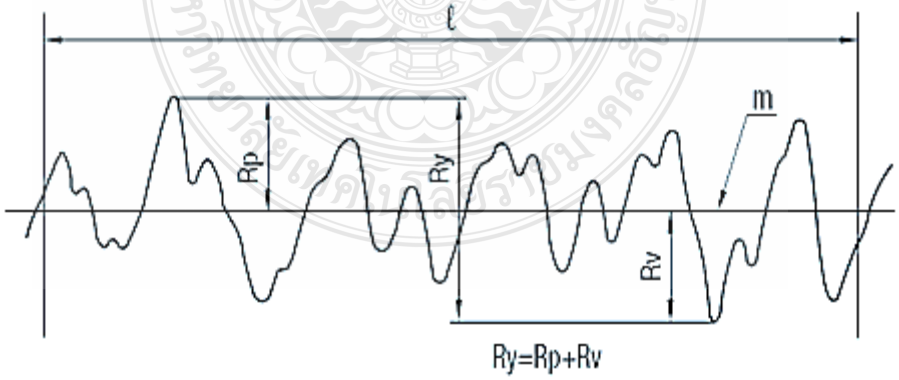
ค่าเฉลี่ยนี้วัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิง ระยะค่าเฉลี่ยนี้จะอยู่บนกราฟตามแนวแกน x ของเส้นอ้างอิง และแนวแกน y จะเป็นขนาดความหยาบผิว ค่า Ra จะหาได้จากสมการที่แสดงบนรูปมีหน่วยเป็นไมครอน (μm) เมื่อ y = (X)



รูปที่ 2.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับเส้นอ้างอิง

2.8.3 ค่าความหยาบสูงสุด (Ry) [10]

ค่าความหยาบสูงสุดนี้วัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิงเป็นระยะที่เกิดจากกราฟสูงสุดและต่ำสุด มีหน่วยเป็นไมครอน (μm)

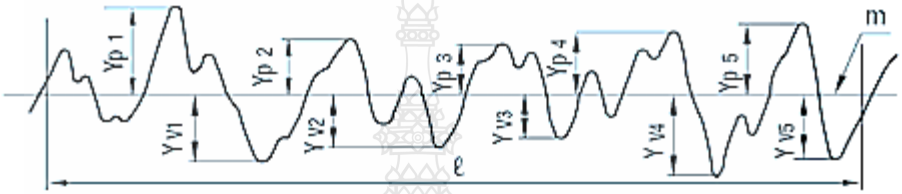


รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวสูงสุดกับความหยาบผิวต่ำสุด

หมายเหตุ : การหาค่า Ry ควรเลือกบริเวณที่มีกราฟความหยาบที่ปกติไม่ควรวัดบริเวณที่มีค่ากราฟสูงหรือต่ำผิดปกติ

2.8.4 ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด (Rz)

ค่าเฉลี่ยนี้วัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิง โดยคำนวณจากความสูงของยอดกราฟ 5 จุดบน และค่าความสูงของยอดกราฟ 5 จุดล่างมารวมกันและหาค่าเฉลี่ยมีหน่วยเป็นไมครอน (μm) วิธีคำนวณดูได้จากสูตรใต้รูปที่ 2.30



$$Rz = \frac{|Yp1 + Yp2 + Yp3 + Yp4 + Yp5| + |Yv1 + Yv2 + Yv3 + Yv4 + Yv5|}{5}$$

Yp1, Yp2, Yp3, Yp4, Yp5 : ยอดกราฟสูงสุด 5 จุด ในช่วงสุ่มเลือก

Yv1, Yv2, Yv3, Yv4, Yv5 : จุดต่ำสุด 5 จุด ในช่วงสุ่มเลือก

รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหยาบผิวสูงสุดกับค่าเฉลี่ยความหยาบผิวต่ำสุด

2.9 ประเภทของการควบคุมคุณภาพ

เพื่อการยอมรับ สามารถจำแนกเป็น 4 ประเภท คือ

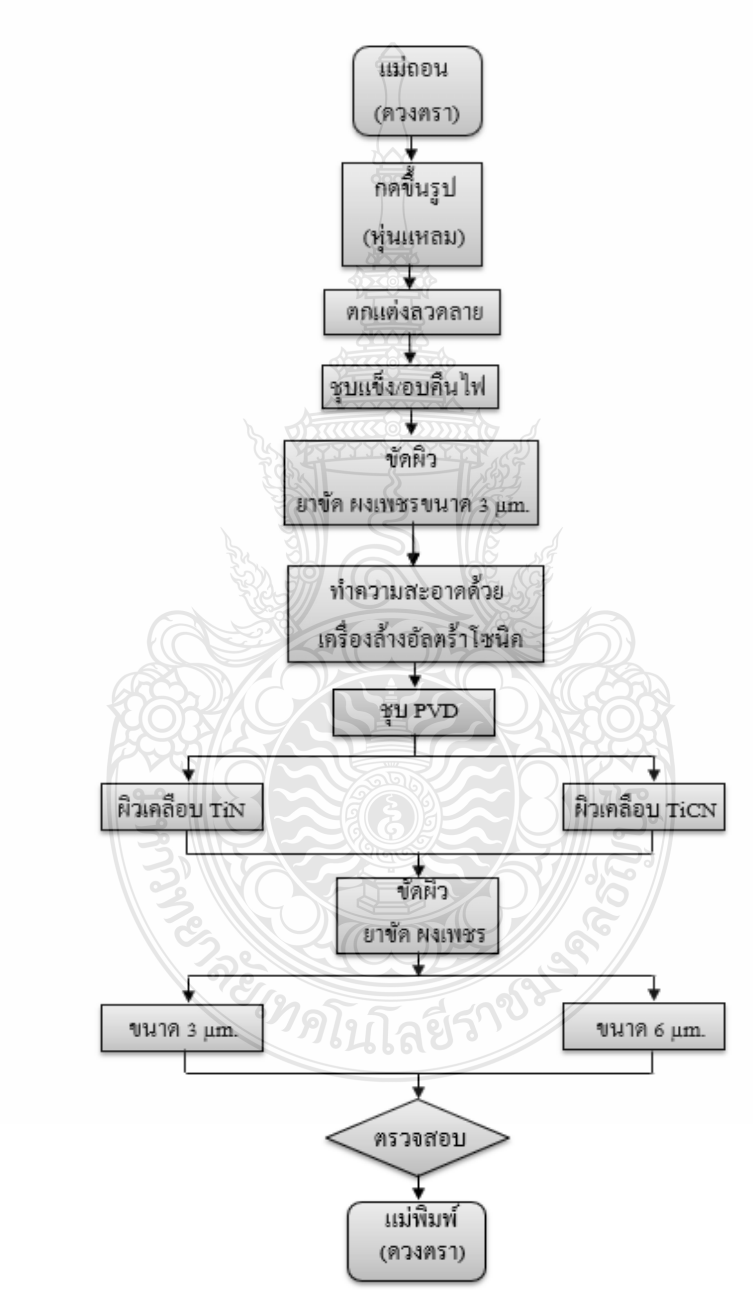
1. การตรวจสอบแบบ 100 % หมายถึง การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทีละหน่วยทุกหน่วย

2. การตรวจสอบเป็นครั้งคราว (Spot – Check Inspection) หมายถึง การตรวจสอบแบบเลือกตามใจชอบโดยมิได้วางอยู่บนเกณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การตรวจสอบงานชิ้นแรก (First-Item Inspection) การตรวจสอบงานชิ้นสุดท้าย (End-Item Inspection) และการตรวจสอบลาดตระเวน (Patrol Inspection) เป็นต้น

3. การให้คำรับรอง (Certification) หมายถึง การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับเป็นผู้ออกแบบ ใบประกาศนียบัตรรับรองคุณภาพให้ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังมีสถาบันดังกล่าวไม่มากนัก และโดยส่วนใหญ่จะเป็นสถาบันภาคราชการ และเชื่อว่าในอนาคตจะมีสถาบันภาคเอกชนที่ทำธุรกิจด้านนี้เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนความต้องการที่มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มมากขึ้น

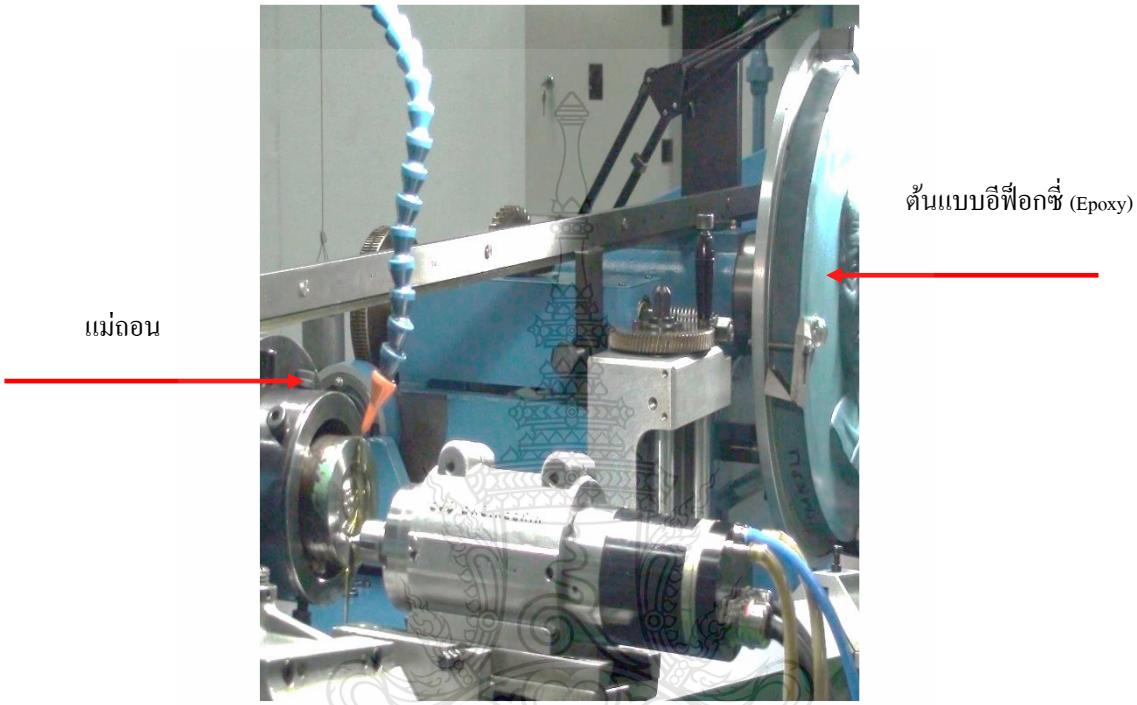
4. การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance Sampling) หมายถึง การตรวจสอบสิ่งตัวอย่าง (Sample) ที่เลือกขึ้นมาจากงานทั้งหมดโดยวิธีการทางสถิติด้วยกฎของความน่าจะเป็น (Probability) และอาศัยคุณลักษณะของสิ่งตัวอย่างที่ตรวจสอบได้ในการอธิบายคุณลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจ

2.10 ขั้นตอนการผลิตดวงตรา



รูปที่ 2.31 กระบวนการผลิตดวงตรา

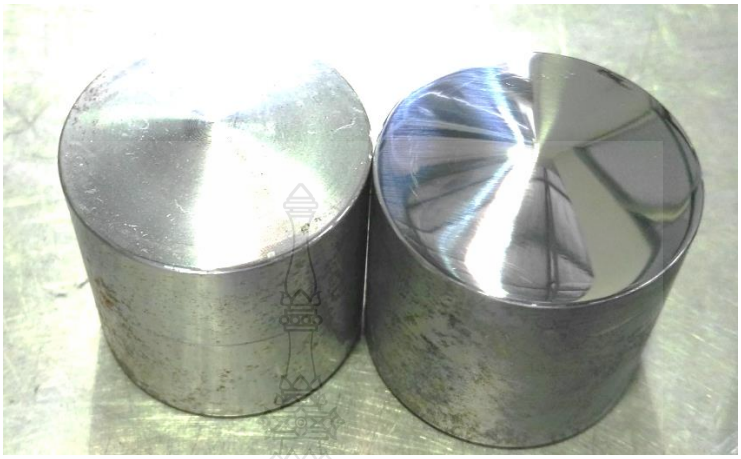
จากแผนภาพขั้นตอนกระบวนการผลิตดวงตรา (แม่พิมพ์) ผู้ทำการวิจัยต้องให้ความหมายของคำต่างๆ ที่ใช้เรียกในกระบวนการผลิตดวงตรา เพื่อจะได้เป็นที่เข้าใจถูกต้องตรงกัน พร้อมทั้งภาพประกอบเพื่อการสื่อสารให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้เกิดความเข้าใจง่ายยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.32 ขั้นตอนการย่อลาย

รูปที่ 2.33 แม่ถอน

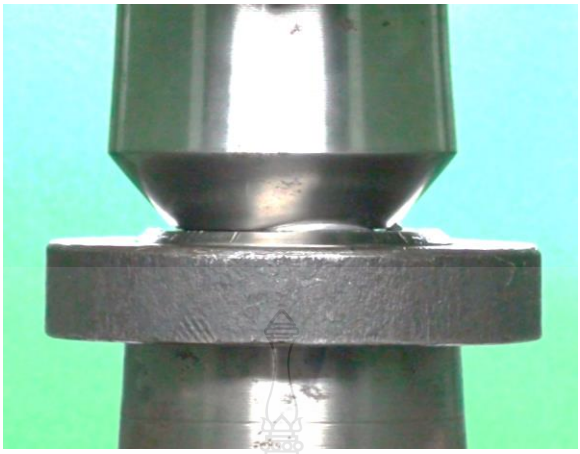
แม่ถอน (Master Die) เป็นต้นแบบที่เกิดจากการผลิตด้วยเครื่องจักรเครื่องมือกลที่เรียกว่าเครื่องย่อลาย คือการนำต้นแบบที่ทำจากอีฟ็อกซี่ (Epoxy) ทำการลอกลายลงบนวัสดุที่ทำแม่ถอน



รูปที่ 2.34 หุ่นแหลม

หุ่นแหลมคือส่วนที่ใช้ผลิตดวงตรา(Die) โดยนำวัสดุที่ใช้ผลิตดวงตรานำมากลึงขึ้นรูปให้ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการ ขนาดโดยทั่วไป ∅ 31 ม.ม. มุม 80° สูง 30 ม.ม.

รูปที่ 2.35 เครื่องถอนดวงตรา (แม่พิมพ์)



รูปที่ 2.36 แสดงลักษณะการกดของเครื่องถอนดวงตรา

รูปที่ 2.36 แสดงลักษณะการกดระหว่างแม่ถอนกับหุ่นแหลม ในกระบวนการผลิตจริงจะมีกระบอกสวมปิดเพื่อบังคับการกดให้เป็นไปในทิศทางที่ต้องการ แต่เพื่อจะได้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้ทำการกดโดยไม่ใช้กระบอกเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น

รูปที่ 2.37 ภาพหุ่นแหลมหลังผ่านการกดแล้ว

รูปที่ 2.38 หุ่นแหลมหลังผ่านการกดแล้วนำมากลึงให้ได้รูปทรงเพื่อประกอบเข้ากับเครื่องปั๊มเหรียญ

หลังจากที่ได้ดวงตราสำเร็จรูปแล้วนำไปเข้ากระบวนการชุบแข็งด้วยเตาสุญญากาศทำการอบคืนไฟและชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD ทำการทดสอบ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[11] การ เคลือบแบบ เทคโนโลยี CVD ได้รับการศึกษามาเป็นเวลานานและได้มีการพัฒนารูปทรงที่เหมาะสม สำหรับการเคลือบเครื่องมือสำหรับประเภทนี้ ในขณะเดียวกันไม่สามารถกล่าวเกี่ยวกับการเคลือบ แบบ PVD เนื่องจากกระบวนการเคลือบแบบ PVD ได้ถูกนำมาใช้โดยทั่วไปใน rotational tools ใน กระบวนการต่างๆ เช่น ยังคงต้องการพัฒนาต่อไป เมื่อเทคโนโลยี CVD จะใช้ในเครื่องมือที่มีขอบโค้งมน แต่การเคลือบแบบ PVD เน้นไปที3ขอบที3มีความคมมาก เน้นแรงอัดสูง รูปทรงเครื่องมือที่ ออกแบบมาสำหรับการเคลือบแบบ CVD จึงไม่เพียงพอสำหรับเทคโนโลยีการเคลือบแบบ PVD วิธีการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือที3 เคลือบแบบ PVD การเคลือบด้วยสาร ทั้งสี่ประเภทถูกนำ มาทำการทดสอบ : AlTiSiN (nACo®), AlCrSiN (nACRo®), AlTiN และ TiAlCrN. สรุป ว่า การเคลือบที่ดีที่สุด เป็นสารเคลือบ nACo® และ AlTiN เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ปัจจัยหลายประการที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของเครื่องมือใช้แรงตัดน้อย ส่วนที่ขรุขระมีค่า Ra ต่ำกว่า 2 เมตร แม้ในขั้นตอนสุดท้ายของการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบการเคลือบ ทั้งสองชนิด การเคลือบ nACo ดีกว่า เคลือบ AlTiN เนื่องจากมี

โครงสร้าง nano-crystalline ซึ่ง ช่วยในการกระจายความร้อนไดอ้ย่างรวดเร็ว การก่อตัวของชั้นป้องกัน ที่ ติดขัด การยึดเกาะของสแตนเลส และลดการนำความร้อน

[2] ได้ศึกษาเรื่องการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์เหรียญชนิดราคา 1 บาท โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวัสดุระหว่างเหล็ก X กับเหล็ก Y ใช้วิธีการเคลือบผิวแบบ PVD ชนิดสารเคลือบ CrN ผลการทดสอบแม่พิมพ์ไปใช้ในการปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท (โลหะไส้เหล็กชุบนิกเกิล) ปรากฏว่าเหล็ก Y มีความหนาผิวเคลือบประมาณ 2.7 ไมครอน ได้จำนวนเหรียญ 400,000-450,000 เหรียญต่อคู่ ซึ่งมากที่สุดจากชิ้นงานทดสอบทั้งหมด

[3] ทำการปรับปรุงเพื่อการกำหนดปัจจัยในการชุบเคลือบผิว PVD ชนิดสารเคลือบ TiN และ TiCN ความหนาผิวเคลือบประมาณ 2 และ 3 ไมครอน อุณหภูมิชุบเคลือบผิวประมาณ 250 และ 500°C บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ปรากฏว่าสารเคลือบผิว TiN ความหนา 2.87-2.98 ไมครอน อุณหภูมิชุบเคลือบผิว 428°C ทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า จำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ได้ประมาณ 1,000,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่

[12] ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งมาประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ปรากฏว่าฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบผิวสึกหรอมากที่สุด ฟิล์มที่เคลือบผิวด้วยวิธี CVD ชนิดสารเคลือบ TiCN และ ฟิล์มที่เคลือบผิวด้วยวิธี PVD ชนิดสารเคลือบ TiCN สึกหรอรองลงมา การเคลือบผิวฟิล์มสามารถยืดอายุการใช้งานของชิ้นงานเจาะรูได้ประมาณ 2.7 เท่า

[13] ได้ศึกษาการเปลี่ยนรูปลักษณะทางกลของผิวเคลือบ TiN ที่ระดับความหนาต่างกัน โดยมีระดับความหนาประมาณ 0.7, 2.0, 3.7 และ 4.0 ไมครอน จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับความหนาผิวเคลือบมีผลต่อลักษณะรอยแตกของ Columnar และรอยเฉือนของผิวเคลือบ ผิวเคลือบ TiN ที่บางทำให้เกิดรอยแตกเฉือนตามยาวขอบเกรน Columnar ผิวเคลือบ TiN ที่หนาขึ้นจะมีรอยแตกจำนวนมากตามยาวขอบเกรน มีลักษณะรอยแตกที่ขาดเป็นส่วน ๆ เป็นไปตามสัดส่วนของความหนาผิวเคลือบ แต่แนวขอบเกรน Columnar มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นชี้ให้เห็นได้ว่าโครงสร้างของ Columnar หรือระดับความหนาของผิวเคลือบ TiN มีอิทธิพลที่สำคัญในการเปลี่ยนรูปลักษณะทางกลของผิวเคลือบ

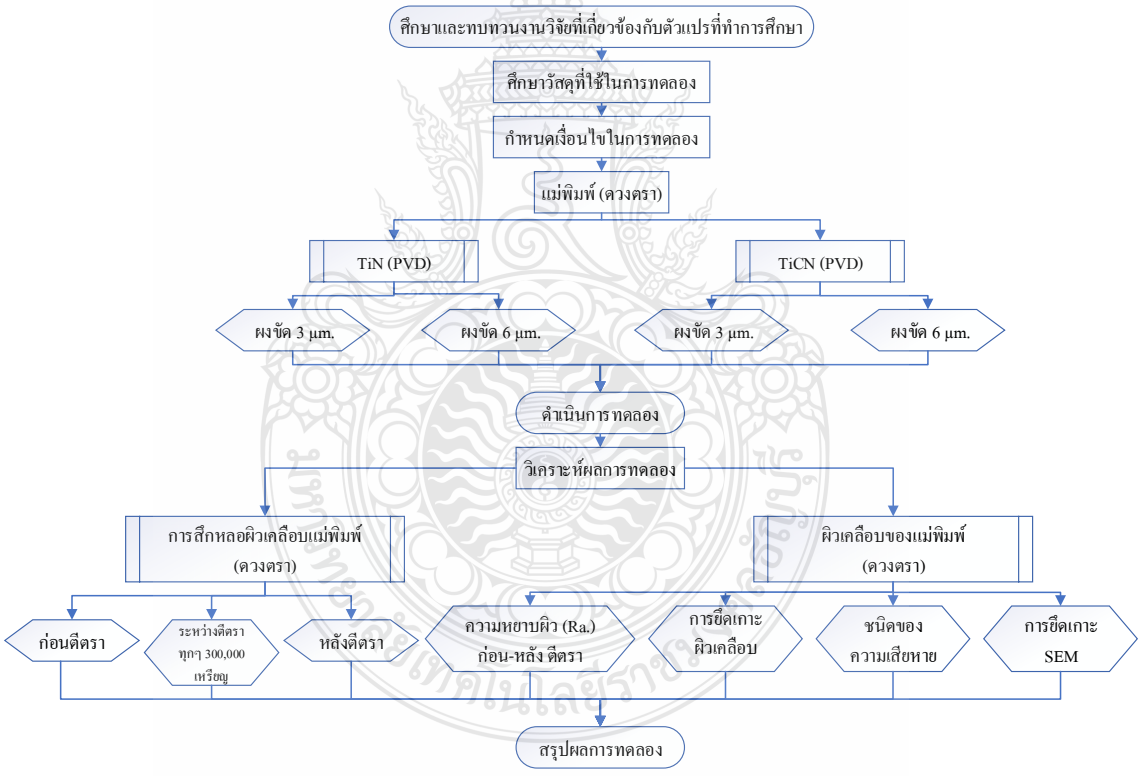
[14] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอในแม่พิมพ์ตัด ภาพผิว โดยทำการศึกษาความเสียดทานและการสึกหรอโดยวิธีหมุนบอลบนแผ่นจาน (Ball-on-Disk) ด้วย เครื่องไตรบอมิเตอร์ร่วมกับการทำงานปั๊มตัดโลหะโดยใช้แม่พิมพ์ตัดในการยืนยันถึงประสิทธิภาพของฟิล์มแข็ง เคลือบผิวแม่พิมพ์และการปรับสภาพผิวเพื่อสามารถใช้เป็นแนวทางช่วยในการตัดสินใจในการเลือกใช้ชนิดของฟิล์ม แข็งเคลือบผิว โดยวัสดุที่ใช้ทำพันช์และบอลเป็นเหล็กเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 ตามมาตรฐาน JIS ทำการชุบ แข็งทีค่าความแข็ง 60±1 HRC. จากนั้นจึงนำไปเคลือบผิวและปรับสภาพผิวได้แก่ TiC-CVD (Chemical Vapour Deposition), TiCN-CVD, TiCN-PVD (Physical Vapour Deposition), VC-TD (Thermal Diffusion) และไม่เคลือบผิว ชิ้นงานทีใช้ในการทดลองการตัดและแผ่นจาน เป็นเหล็กแผ่นรีดเย็น SPCC ตามมาตรฐาน JIS หนา 2 มิลลิเมตร จาก การทดลอง พบว่าการเคลือบผิวหรือปรับสภาพผิวช่วยลดการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิความเสียดทานได้ ทั้งจาก การทดลองโดยวิธีหมุนบอลบนแผ่นจาน (Ball-on-Disk) ด้วยเครื่องไตรบอมิเตอร์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการปั๊มตัด แม่พิมพ์ทีเคลือบผิวด้วย TiCN-CVD มีแนวโน้มการลดอัตราการสึกหรอได้มากกว่าผิวเคลือบตัวอื่นๆ ซึงพบว่าเกิดจาก ความแข็งแรงในการเกาะยึดของฟิล์ม TiCN บนวัสดุทำแม่พิมพ์มีค่าสูงกว่าตัวอื่น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิว ที่มีผลกระทบต่ออัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท โดยศึกษาการเตรียมพื้นผิวแม่พิมพ์ก่อนการเคลือบผิว PVD และการยึดเกาะของสารเคลือบแม่พิมพ์



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินการวิจัยอิทธิพลของสารเคลือบผิว PVD ด้วย TiN กับ TiCN ที่มีระดับ การเคลือบพื้นผิวแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของขอบเขตงานวิจัยนี้จำเป็นต้องศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลในการวิจัย และทำการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลงานวิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1

3.2 ศึกษาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 การพิจารณาวัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เหรียญ 1 บาท (ไส้เหล็กเคลือบนิกเกิล)

ในกระบวนการผลิตของสำนักกษาปณ์ พิจารณาจากลักษณะกระบวนการผลิตซึ่งเป็นแบบงานเย็นและเครื่องจักรที่ใช้ปั๊มเหรียญที่มีอัตราการผลิต 800 เหรียญต่อนาที ซึ่งมีความเร็วในการปั๊มเหรียญสูง คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์จึงต้องมีความแข็งและความเหนียวที่เหมาะสม เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์มีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยกรรมวิธี Physical Vapor Deposition (PVD) จะเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์สูงขึ้น คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เป็นแม่พิมพ์หากตอบสนองในการอบชุบและการเคลือบผิวที่ดีแล้วจะส่งผลการเพิ่มอายุ การใช้งานของแม่พิมพ์สูงขึ้น วัสดุที่สำนักกษาปณ์ใช้ผลิตแม่พิมพ์เหรียญ 1 บาท (ไส้เหล็กเคลือบนิกเกิล) ใช้เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น ยี่ห้อ Bohler เกรด K-490 ซึ่งมีเนื้อโลหะหลังการอบชุบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ส่วนผสมทางเคมี C 1.4, Cr 6.4, Mo 1.5, V 3.7 และ W 3.5 เนื่องจากเหล็ก K-490 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Homogeneous Tool Steel) ชนิดไมโครคลีน (Microclean) ที่มีการตอบสนองในการอบชุบที่ดีกว่าเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นทั่วไปชนิด ALSI D2 เท่ากับ 58 – 64 HRC อย่างไรก็ดีผู้วิจัยมิได้พิจารณาเหล็ก K-490 เพียงชนิดเดียวแต่ยังมีเหล็กที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในปัจจุบันของสำนักกษาปณ์ แต่ด้วยข้อจำกัดในการสั่งซื้อของสำนักกษาปณ์ที่ต้องเป็นไปตามระเบียบพัสดุ เหล็กที่ใช้ในการทดลองจึงได้นำเหล็ก K-490 มาดำเนินงานวิจัย

3.2.2 การพิจารณากำหนดชนิดและความหนาของสารเคลือบ

การพิจารณาชนิดของสารเคลือบที่ใช้เคลือบผิวแม่พิมพ์เหรียญ 1 บาท (ไส้เหล็กเคลือบนิกเกิล) ด้วยวิธีการแบบ PVD ผู้วิจัยพิจารณาใช้สารเคลือบชนิดไทเทเนี่ยมไนไตร (TiN) และไทเทเนี่ยมคาร์โบไนไตร (TiCN) เนื่องจากได้มีผลการทดลองของสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด มีอายุการใช้งานเฉลี่ยสูงสุดของแม่พิมพ์ใกล้เคียงกัน โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเหรียญสำเร็จ จากการทดลองที่ผ่านมา สารเคลือบทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะการยึดเกาะกับชิ้นงาน (Substrate Material) ที่ดีใกล้เคียงกัน คุณภาพผิวสารเคลือบ TiN จะมีหลุม (Droplet) เกิดขึ้นกระจายอยู่ทั่วไป ส่วน TiCN จะมีปริมาณการเกิดหลุมน้อยกว่า TiN

ความหนาผิวเคลือบที่ใช้ในการทดลอง ของสารเคลือบผิวทั้ง 2 ชนิด ประมาณ 3 μm จากผลการทดลองที่ได้ทดลองที่แล้วมา โดยพิจารณาถึงความสูงของลวดลายของเหรียญ 1 บาท (ไส้

เหล็กเคลือบนิกเกิล) ในการเคลือบผิวถ้าความหนาผิวเคลือบหนาเกินไปอาจจะส่งผลให้ลวดลายไม่ชัดเจน บางเกินไปผิวเคลือบอาจเกิดการหลุดร่อนเร็ว อีกทั้งยังต้องพิจารณาในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการชุบเคลือบผิวซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดความหนาเพื่อให้ได้ความหนาใกล้เคียง

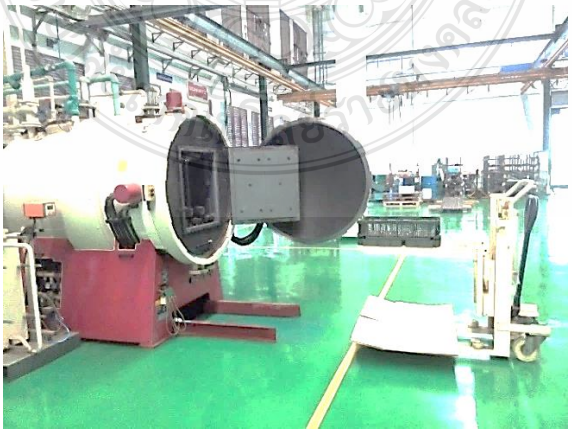
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

นำเหล็กชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 3.2 ที่ผ่านกระบวนการผลิตพร้อมทำการอบชุบด้วยเตาอบชุบแบบสุญญากาศดังนี้

รูปที่ 3.2 ชิ้นงานทดลอง

3.3.1 ชุบแข็งและอบคืนไฟ (Hardening and Tempering)

การชุบแข็งและอบคืนไฟด้วยเตาอบชุบแบบสุญญากาศ (Vacuum Furnace) อุณหภูมิชุบแข็ง 1,050 °C เวลาอบแช่ (Soaking) 30 นาที ชุบแข็งปกคลุมด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ที่แรงดัน 6 bar และอบคืนไฟ (Tempering) ที่ 2 ระดับอุณหภูมิ

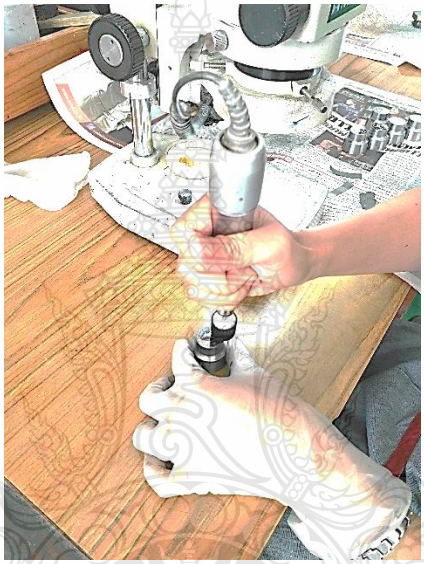


รูปที่ 3.3 เตาชุบแข็งแบบสุญญากาศ (Vacuum Furnace)

รอบแรกที่อุณหภูมิ 570 °C เป็นเวลา 90 นาที รอบที่สองอุณหภูมิ 570 °C เป็นเวลา 90 นาที (ตามมาตรฐานผู้ผลิต) ดังรูปที่ 3.3 หลังกระบวนการชุบแข็งและอบคืนไฟแล้ว ตรวจสอบความแข็งของชิ้นงานด้วยเครื่องวัดความแข็ง Microhardness ให้ได้ความแข็งตรงตามมาตราฐานผู้ผลิต

3.3.2 ขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าดวงตรา (ก่อนเคลือบผิว PVD)

การขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าดวงตรา โดยใช้ล้อผ้าสักหลาดพร้อมยาขัดผงเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 ไมครอน เพื่อเตรียมพื้นผิวก่อนการชุบเคลือบผิวด้วยวิธี PVD



รูปที่ 3.4 การขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าดวงตรา

3.3.3 กระบวนการล้างระบบอุลตร้าโซนิค

กระบวนการล้างระบบอัลตร้าโซนิคโดยนำแม่พิมพ์ (ดวงตรา) มาทำความสะอาดด้วยการล้างน้ำยาอาซิโตน แล้วเข้าสู่กระบวนการล้างระบบอัลตร้าโซนิค โดยล้างในถังน้ำยาเคมีระบบอัลตร้าโซนิค 2 ขั้นตอน ขั้นตอนละ 4 นาที ที่อุณหภูมิน้ำยาล้าง 60 °C ต่อมาล้างในน้ำสะอาด Reverse Osmosis (RO) 3 ขั้นตอน ขั้นตอนละ 1 นาที เป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน (N_2) อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาประมาณ 15 นาที

รูปที่ 3.5 กระบวนการล้างระบบอุลตร้าโซนิค

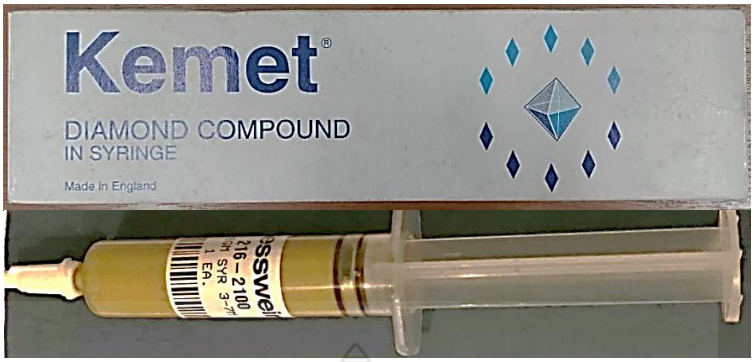
3.3.5 กระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD

การชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD ยี่ห้อ SUZER METAPLAS IONON รุ่น MZR 303 ดังรูปที่ 3.5 ชนิดสารเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) และไทเทเนียมคาร์โบรไนไตร (TiCN) ที่ความหนาผิวเคลือบประมาณ 3 μm อุณหภูมิประมาณ 400 °C (ตามมาตรฐานผู้ผลิต)

รูปที่ 3.6 การชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD

3.3.6 ขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าดวงตรา (หลังเคลือบผิว PVD)

การขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าดวงตรา โดยใช้ล้อผ้าสักหลาดพร้อมยาขัดผงเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 และ 6 ไมครอน



รูปที่ 3.7 ผงขัดผงเพชร (Diamond Compound)

3.3.7 ตรวจสอบแม่พิมพ์ (ดวงตรา)

ตรวจสอบคุณภาพแม่พิมพ์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อให้ได้ตามมาตรฐานการผลิต

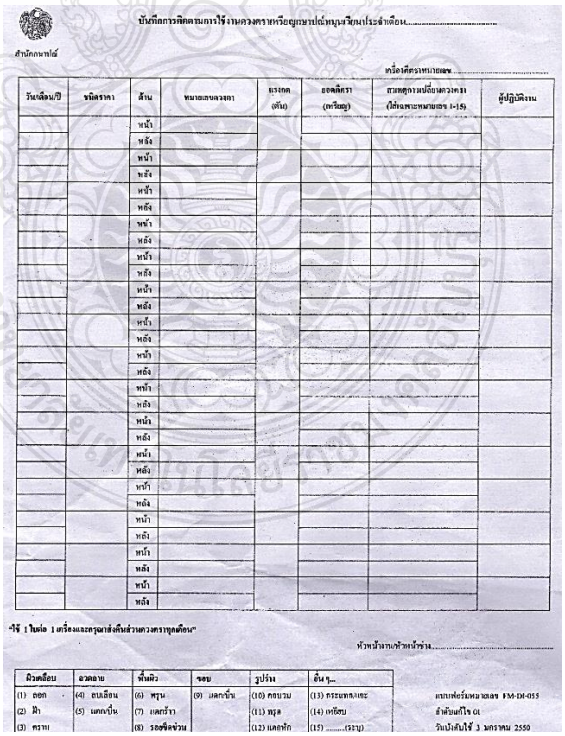
รูปที่ 3.8 ตรวจสอบคุณภาพแม่พิมพ์

รูปที่ 3.9 แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท (ดวงตราด้านหัวและก้อย)

3.3.8 นำแม่พิมพ์ (ดวงตรา) ปั๊มเหรียญสำเร็จ

นำแม่พิมพ์ไปสู่กระบวนการผลิตเหรียญสำเร็จ โดยใช้เครื่องปั๊มเหรียญ ยี่ห้อ Grabener ที่ความเร็ว 800 เหรียญต่อนาที แรงกดประมาณ 350 kN. ดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 ภาพแสดงการตีตราเหรียญสำเร็จและการคัดแยกตัวเสีย



บันทึกการติดตามการใช้งานดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนประจำเดือน.....

สำนักกษาปณ์

เครื่องตีตราหมายเลข.....

วันเดือน/ปี	ชนิดราคา	ลักษณะ	หมายเลขลวดลาย	แรงกด (ตัน)	ยอดผลิตรา (เหรียญ)	สาเหตุการเปลี่ยนดวงตรา (ใส่หมายเหตุเมื่อ 1-15)	ผู้ปฏิบัติงาน
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					
		หน้า					
		หลัง					

"ใช้ 1 ใบต่อ 1 เครื่องและครบส่งคืนช่วงดวงตราชุดต้อน"

หัวหน้างาน/หัวหน้าช่าง.....

ผิวต้อน	อวดลาย	พื้นผิว	ขอบ	รูปร่าง	อื่น ๆ...
(1) ลอก	(4) ยกเลิกลาย	(6) พรุน	(9) เลยขีบ	(10) กลมรวม	(13) กระแทกแตะ
(2) ฝ้า	(5) แตกบิ่น	(7) แตกร้าว		(11) พูด	(14) เหรียบ
(3) ตรา		(8) รอยขีดข่วน		(12) แตกหัก	(15) .....(ระบุ)

แบบฟอร์มหมายเลข FM-DI-055
สำหรับแก้ไข 01
วันบังคับใช้ 3 มกราคม 2550

รูปที่ 3.11 บันทึกการติดตามการใช้งานดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียน

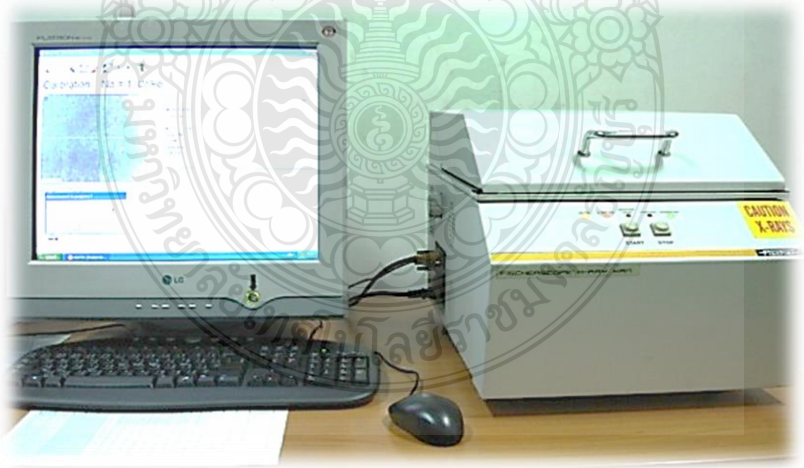
ในกระบวนการผลิตเหรียญสำเร็จ (Pressing and Forming) ใช้เหรียญตัวเปล่าชนิดราคา 1 บาท ตีตราด้านหัว – ก้อย พร้อมกับขึ้นขอบเฟือง และทำการตรวจสอบทุกๆ 5 นาที (ประมาณ 4,000 เหรียญ) แล้วคัดเหรียญตรวจสอบว่าเหรียญสำเร็จเสียหรือไม่ จะใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญทำการตัดสินใจคัดแยกเหรียญชำรุด และทำการเปลี่ยนแม่พิมพ์ และบันทึกการติดตามการใช้งานดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียน โดยบันทึกจำนวนเหรียญสำเร็จที่ตีตราได้ต่อดวงตรา 1 คู่ สาเหตุของดวงตราเสียหายหรือหมดอายุการใช้งาน ดังรูปที่ 3.11

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.1 การสึกหรอผิวเคลือบแม่พิมพ์ (ดวงตรา)

หลังจากกระบวนการชุบเคลือบผิวแบบ PVD แล้วนำชิ้นทดสอบวัดความหนาของผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นซ์ ตามจุดอ้างอิง จำนวน 10 จุด ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 มีรายละเอียดการวัดดังนี้

1) ก่อนการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์
2) ระหว่างการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์ (ทุกๆ 300,000 เหรียญ)
3) หลังการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์ (หมดอายุการใช้งาน)



รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นซ์

รูปที่ 3.13 ตำแหน่งอ้างอิงการวัดความหนาผิวเคลือบ จำนวน 10 จุด

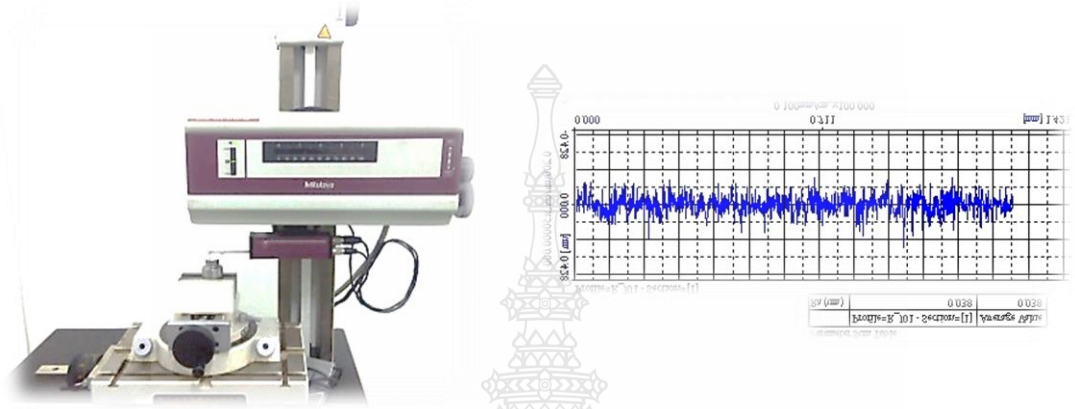
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างใบบันทึกค่าความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นซ์

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (µm.)										ความหนา (µm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1												
	2												
	3												
300,000	1												
	2												
	3												
600,000	1												
	2												
	3												
900,000	1												
	2												
	3												

3.4.2 ลักษณะผิวเคลือบแม่พิมพ์ (ดวงตรา)

3.4.2.1 ความหยาบผิว

เป็นการวัดลากสัมผัสบนผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Contour and Surface Roughness รุ่น CS 3000 ยี่ห้อ Mitutoyo ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดความหยาบผิว

มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร (μm) ทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN ISO 4287 และ 3274 มีรายละเอียดการวัดดังนี้

1) หลังการเคลือบผิว PVD

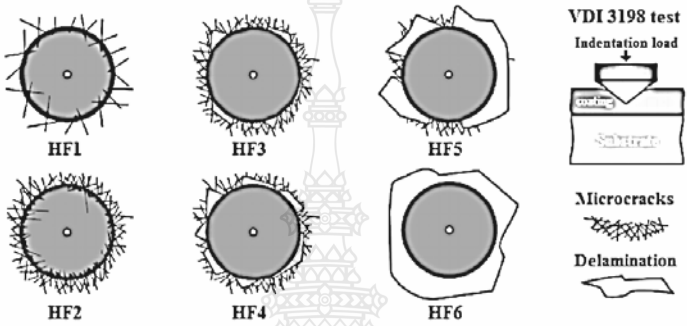
2) หลังการขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าดวงตราตรา ด้วยผงขัดผงเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 และ 6 ไมครอน

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างใบบันทึกค่าความหยาบผิว (Ra)

สารเคลือบผิว /ขนาดผงขัดเพชร(ไมครอน)	หลังเคลือบผิว (ไมโครเมตร)	หลังขัดเคลือบผิว (ไมโครเมตร)
TiN 3		
TiCN 3		
TiN 6		
TiCN 6		

3.4.2.2 การยึดเกาะของผิวเคลือบ

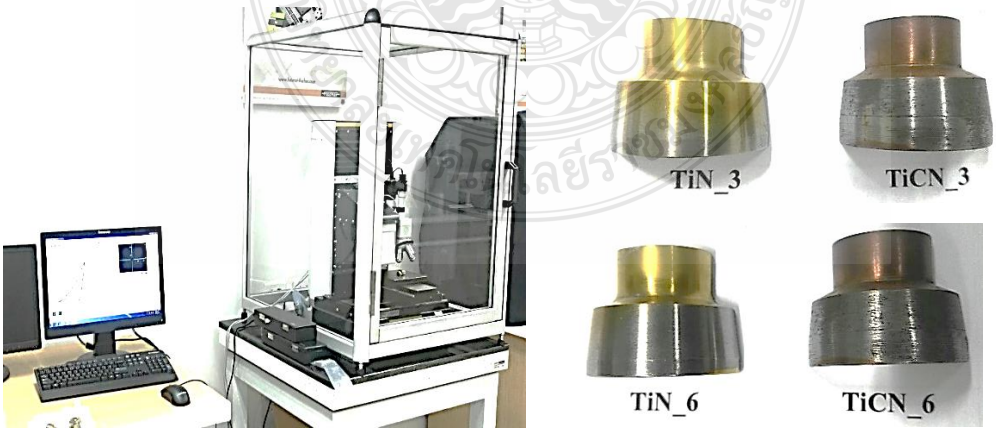
ทดสอบการเกาะยึดผิวเคลือบโดย Rockwell C Indentation (VDI 3198) เครื่อง Rockwell C Indentation รุ่น 600 MRD ยี่ห้อWilson Wolpert ใช้วิธีการวัดโดยการกดหัวเพชรทรงกรวยมีมุมยอด 120 องศา กดลงบนชิ้นงานผิวเคลือบด้วยแรงกด 150 กิโลกรัมฟอร์ช (Kgf.) แล้วนำชิ้นงานดูภาพผ่านกล้องจุลทรรศน์ แล้วเปรียบเทียบกับรูปความเสียหายทั้ง 6 ระดับ ของการยึดเกาะผิวเคลือบ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ระดับค่าการยึดเกาะมาตรฐานแบ่งเป็น 6 ระดับ ความเสียหาย

3.4.2.3 ความแข็งของชั้นผิวเคลือบแม่พิมพ์ (ดวงตรา)

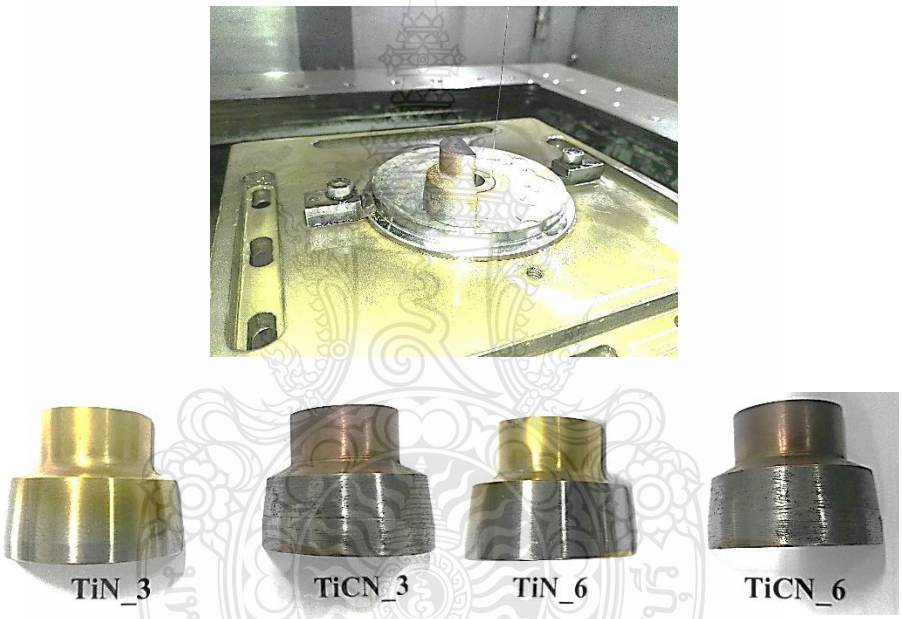
ทดสอบด้วยเครื่อง Instrument รุ่น HM2000 ยี่ห้อ Fischer โดยการวัดความแข็งของชั้นผิวเคลือบ ที่ความหนา 1 ใน 10 ส่วน ของชั้นความหนา ด้วยแรงกด 20 mN. กดแช่ไว้เป็นเวลา 10 วินาที ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดจำนวน 3 จุด



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบการความแข็งของชั้นผิวเคลือบและชิ้นงานทดสอบ

3.4.2.4 ลักษณะของชั้นผิวเคลือบแม่พิมพ์ (ดวงตรา)

นำแม่พิมพ์เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope:SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410 โดยที่ชิ้นงานที่จะทดสอบจะต้องผ่าในลักษณะตัดขวาง ด้วยเครื่อง EMD Wire Cut ดังรูปที่ 3.17 เพื่อดูลักษณะการยึดเกาะระหว่างชิ้นงานทดสอบกับสารเคลือบและลักษณะทางกายภาพของผิวเคลือบ TiN และ TiCN ในลักษณะภาพตัดขวาง



รูปที่ 3.17 แม่พิมพ์ผ่าเพื่อถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.4.2.5 ลักษณะทางกายภาพความเสียหายของแม่พิมพ์ (ดวงตรา)

เป็นการตรวจสอบความเสียหายของแม่พิมพ์ หลังจากการตีตราจนหมดอายุการใช้งาน ว่ามีการเสียหายแบบไหนตามท้ายบันทึกการติดตามการใช้งานดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียน ดังรูปที่ 3.11 ลักษณะความเสียหายของดวงตราเสียหายในลักษณะใด เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง

รูปที่ 3.18 ความเสียหายของแม่พิมพ์ (ดวงตรา)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

กระบวนการทดลองของงานวิจัยฉบับนี้ ได้ศึกษาอิทธิพลของการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ที่ส่งผลต่อคุณภาพของเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูป โดยการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ สารเคลือบผิวชนิดไทเทเนียมไนไตร (TiN) และไทเทเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN) ผงขัดเพชรขนาด 3 μm และ 6 μm นำแม่พิมพ์ไปสู่กระบวนการผลิตเหรียญกษาปณ์ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บผลการทดลอง ก่อนนำแม่พิมพ์ไปผลิตเหรียญ ระหว่างการผลิตเหรียญและหลังการผลิตเหรียญ (แม่พิมพ์หมดอายุการใช้งาน) ลักษณะการสึกหรอผิวเคลือบแม่พิมพ์ และคุณภาพของผิวเคลือบแม่พิมพ์ โดยกำหนดส่วนของการเก็บข้อมูลจากการทดลอง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง สำหรับการวิเคราะห์ผลการวิจัยโดยสามารถแยกการทดลองได้ดังนี้

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

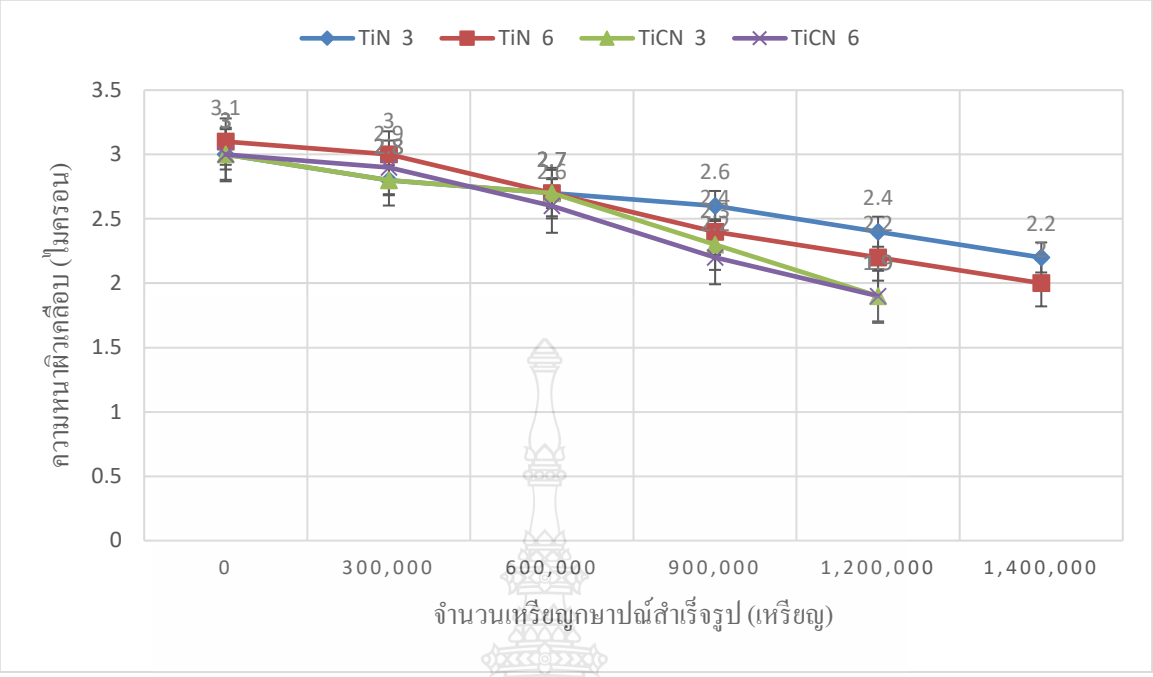
4.1 การสึกหรอผิวเคลือบแม่พิมพ์

4.1.1 การวิเคราะห์ความหนาผิวเคลือบ

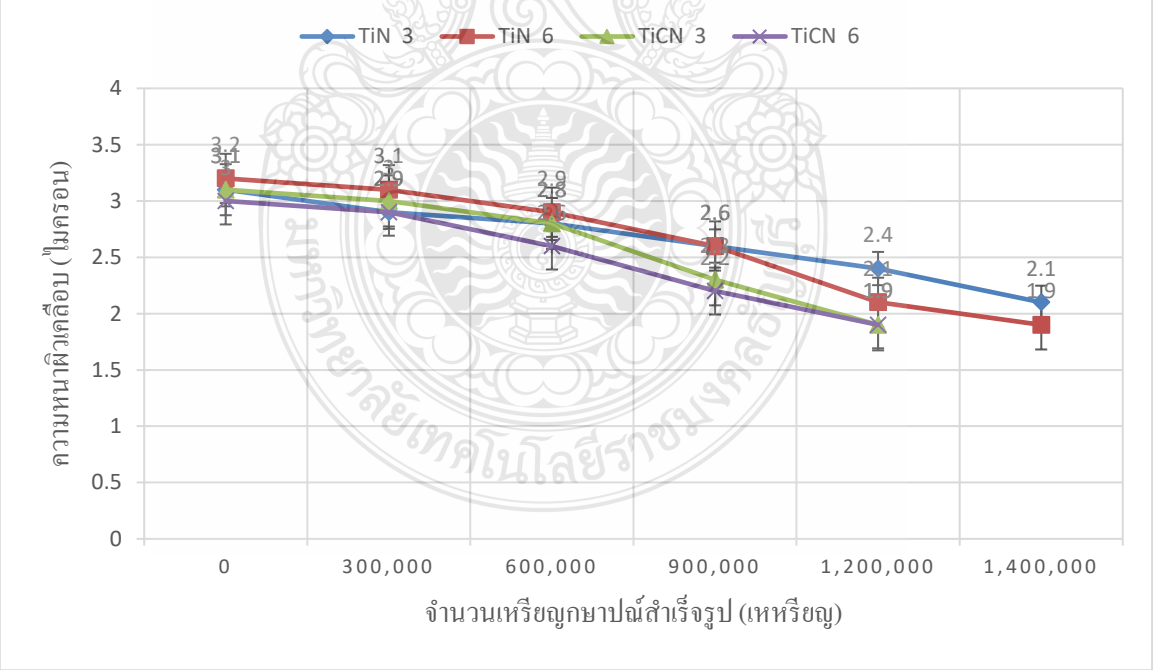
นำแม่พิมพ์วัดความหนาของผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นซ์ โดยกำหนดจุดวัดอ้างอิง จำนวน 10 จุด มีรายละเอียดการวัดดังนี้

1) ก่อนการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์
2) ระหว่างการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์ (ทุกๆ 300,000 เหรียญ)
3) หลังการปั๊มขึ้นรูปเหรียญกษาปณ์ (หมดอายุการใช้งาน)

ความหนาของผิวเคลือบที่ลดลงเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์แล้ว พบว่าสารเคลือบผิว TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 μm ขัดหลังจากการเคลือบผิวด้วยวิธี PVD จำนวนเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูปที่ผลิตได้ 1.41 ล้านเหรียญ มีความหนาของผิวเคลือบลดลงน้อยที่สุด รองลงมาคือสารเคลือบผิว TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 μm จำนวนเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูปที่ผลิตได้ 1.20 ล้านเหรียญ ถัดมาคือสารเคลือบผิว TiCN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 μm จำนวนเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูปที่ผลิต

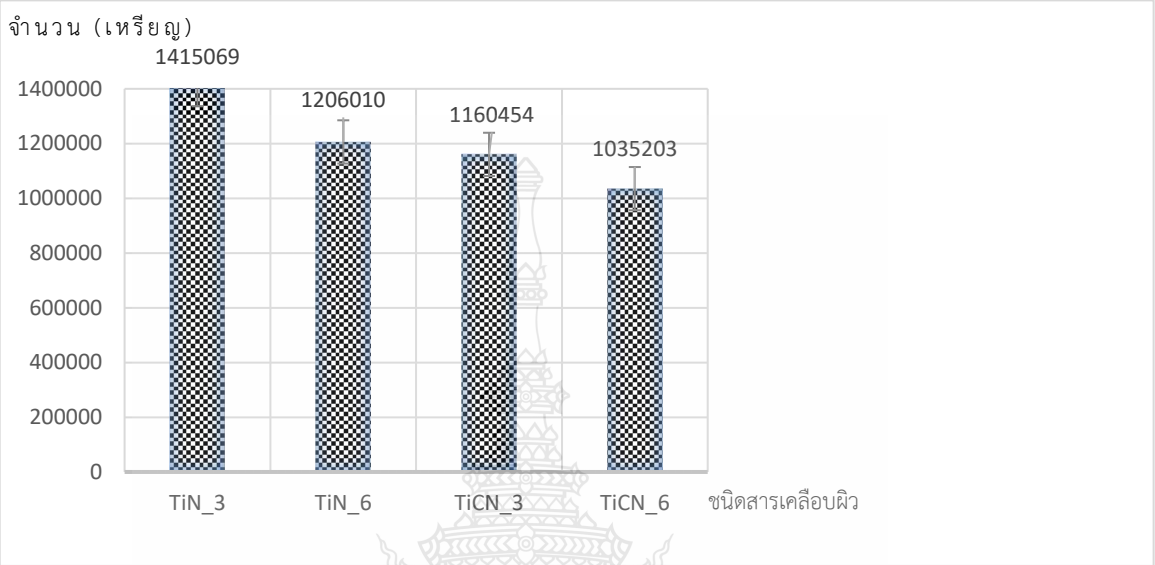


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความหนาของผิวเคลือบกับจำนวนเหรียญสำเร็จรูป (ด้านหัว)



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความหนาของผิวเคลือบกับจำนวนเหรียญสำเร็จรูป (ด้านก้อย)

ได้ 1.16 ล้านเหรียญ และสารเคลือบผิว TiCN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 µm จำนวนเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูปที่ผลิตได้ 1.03 ล้านเหรียญ ตามลำดับ ทั้งด้านหัวและด้านก้อย ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.3 จำนวนเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูปต่อแม่พิมพ์ 1 คู่

4.1.1 การวิเคราะห์ความเสียหายผิวเคลือบ

รูปที่ 4.4 ความเสียหายของผิวเคลือบ TiN ขนาดผงขัดเพชร 3 ไมครอน

รูปที่ 4.5 ความเสียหายของผิวเคลือบ TiN ขนาดผงขัดเพชร 6 ไมครอน

รูปที่ 4.6 ความเสียหายของผิวเคลือบ TiCN ขนาดผงขัดเพชร 3 ไมครอน

รูปที่ 4.7 ความเสียหายของผิวเคลือบ TiCN ขนาดผงขัดเพชร 6 ไมครอน

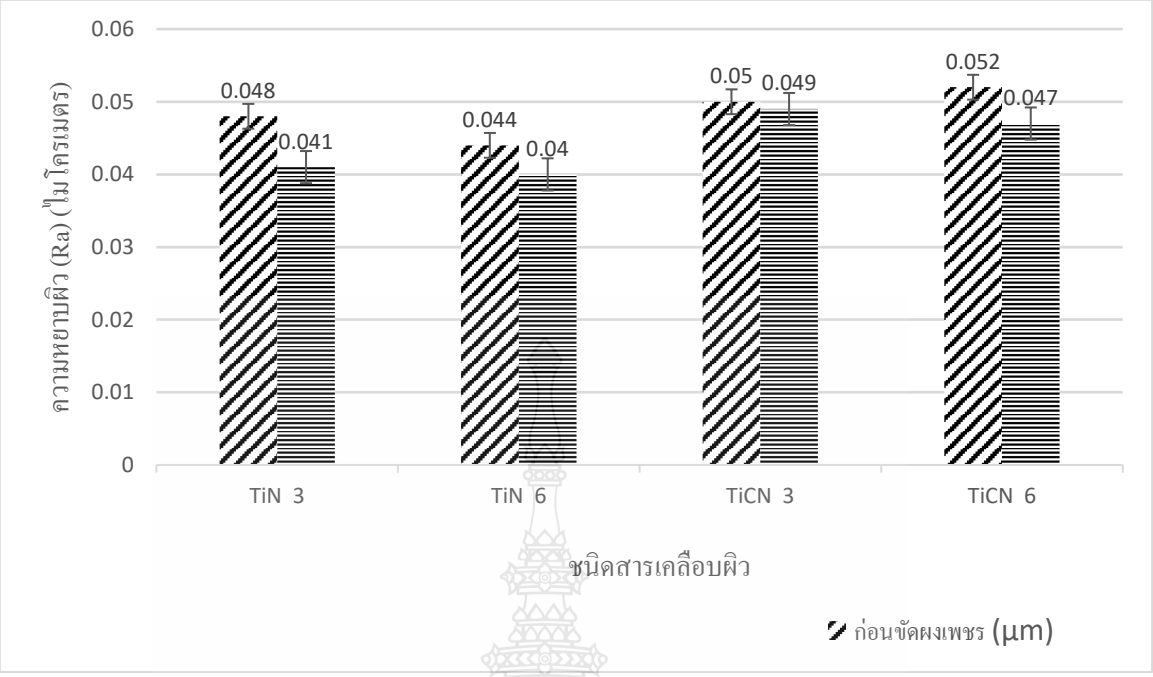
จากรูปที่ 4.4 - 4.7 แสดงการสึกหรอของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญที่มีอิทธิพลส่งผลต่อคุณภาพของเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูป พบว่าสารเคลือบผิว TiCN ใช้ผงขัดผงเพชรขนาด 6 ไมครอน เมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ได้ประมาณ 1 ล้านเหรียญ แม่พิมพ์เกิดการสึกหรอเร็วกว่า สารเคลือบผิว TiCN ขนาดผงขัดผงเพชร 6 ไมครอน ขนาดผงขัดผงเพชร 6 ไมครอน และ

TiN ขนาดผงขัดผงเพชร 3 ไมครอน ตามลำดับเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ที่ความหนาของผิวเคลือบจากค่าเริ่มต้นถึงค่าที่แม่พิมพ์เสียหายที่ ผิวเคลือบ ทำให้เกิดรอยที่เหรียญสำเร็จ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 สารเคลือบ TiCN มีอัตราการสึกหรอจากระดับความหนาของผิวเคลือบ PVD มากกว่าสารเคลือบผิวชนิด TiN ผิวเคลือบของแม่พิมพ์มีความหนาของผิวเคลือบต่างจากตำแหน่งอื่นที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเหรียญสำเร็จ ซึ่งเกิดจากแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญรับแรงกระทำซ้ำๆ กัน จากการตีตราเหรียญสำเร็จทำให้เกิดการสึกหรอแบบล้าตัว (Fatigue Wear) เกิดความเค้นสะสมภายในแม่พิมพ์ ทำให้ผิวสัมผัสสึกหรอ เป็นสาเหตุที่ทำให้ผิวที่เคลือบอยู่หลุดร่อนออกซึ่งเกิดจากการสึกหรอแบบการเกาะติด (Adhesive Wear) คือผลเนื่องจาก กระบวนการเกาะติดของโลหะซึ่งจะทำให้โลหะเกิดการยึดติดกัน จะเกิดขึ้นเมื่อมีโลหะ 2 ชิ้นเสียดสีกัน โดยพื้นผิวที่สัมผัสกันมีขนาดเล็กมาก จะทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเท่ากับหรือเกินจุดคราก (Yield Point) ของวัสดุ ถึงแม้ว่าแรงกระทำจะไม่สูงมากก็ตาม และจะทำให้เกิดแรงเกาะกันทางโมเลกุลขึ้นมี ผลทำให้อนุภาคของวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าถูกดึงหลุดออกมาหรือเนื้อโลหะยึดติดกันได้และ เนื่องจากการปั๊มกลับไปกลับมาส่งผลให้เกิดการสึกหรอแบบ Crater Wear คือผลที่เกิดต่อเนื่องจาก การเกิดการสึกหรอแบบยึดติดหรือเกาะติดและการสึกหรอแบบการขัดข่วนมาก่อน

4.2 คุณภาพของผิวเคลือบแม่พิมพ์

4.2.1 ความหยาบผิวเคลือบ

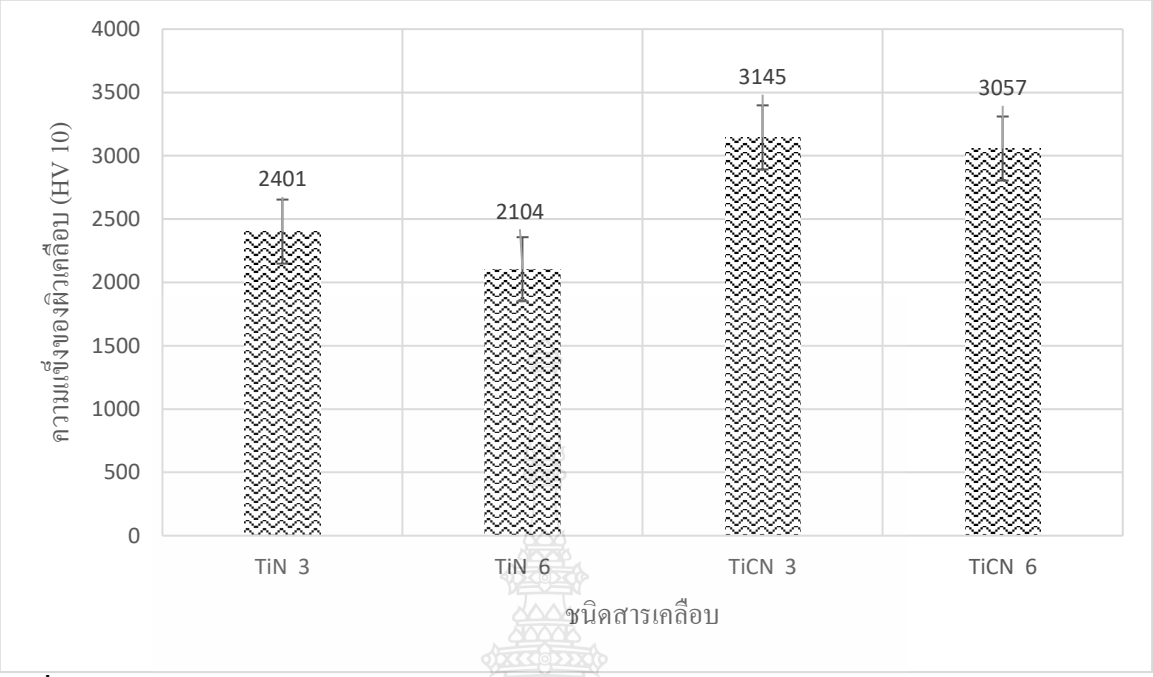
การวัดความหยาบผิวเคลือบใช้การวัดระบบ Contour and Surface Roughness เป็นการวัดลากสัมผัสบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบ มีหน่วยการวัดเป็นไมโครเมตร (μm) ทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN ISO 4287 และ3274 พบว่าสารเคลือบผิว TiCN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 μm มีค่าความหยาบหลังการเคลือบผิวและหลังการขัดด้วยผงขัดผงเพชรต่างกัน 0.001 μm เป็นสารเคลือบผิว TiCN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 μm มีค่าความหยาบหลังการเคลือบผิวและหลังการขัดด้วยผงขัดผงเพชรต่างกัน 0.005 μm สารเคลือบผิว TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 μm มีค่าความหยาบหลังการเคลือบผิวและหลังการขัดด้วยผงขัดผงเพชรต่างกัน 0.007 μm และสารเคลือบผิว TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 μm มีค่าความหยาบหลังการเคลือบผิวและหลังการขัดด้วยผงขัดผงเพชรต่างกัน 0.004 μm ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบความหยาบ (Ra)

4.2.3 ความแข็งของผิวเคลือบ

ความแข็งของผิวเคลือบจากวิธี PVD ที่ความหนาประมาณ 3 µm วัดด้วยเครื่องวัดความแข็งผิวสารเคลือบ กำหนดภาระแรงกดที่ 20 mN ที่ผิวเคลือบ กดค้างไว้เป็นเวลา 10 วินาที ทำการวัด 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย ค่าความแข็งมีหน่วยวัดเป็น Hardness Vickers (HV) การทดสอบใช้ตามมาตรฐาน ISO 14577 พบว่า สารเคลือบผิว TiCN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน มีค่าความแข็งผิวเคลือบ 3,145 HV มากที่สุดรองลงมาเป็นสารเคลือบ TiCN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 µm ค่าความแข็งผิวเคลือบ 3,057 HV สารเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 µm ค่าความแข็งผิวเคลือบ 2,401 HV และสารเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 µm ค่าความแข็งผิวเคลือบ 2,104 HV ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5

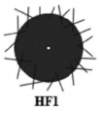
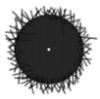
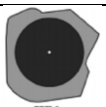
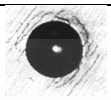
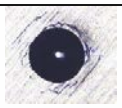


รูปที่ 4.9 ความแข็งเฉลี่ยของผิวเคลือบ PVD

4.2.4 การทดสอบการเกาะยึดของผิวเคลือบ

ทดสอบตามมาตรฐาน VDI 3198 ด้วยเครื่อง Rockwell C Indentation การวัดจะใช้วิธีการกดหัวเพชรโคนทรงกรวย มีมุมยอด 120 องศา แรงกด 150 กิโลกรัม-ฟอร์ซ เปรียบเทียบความเสียหายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยมีตารางกำหนดค่าการเกาะยึดแบ่งเป็น 6 ระดับ (HF1 ระดับดีสุด รองลงมา HF2 จนถึง HF6 ต่ำสุด) ความเสียหาย จากการตรวจสอบพบว่าบริเวณรอยกดไม่แตกกร่อนออกของผิวเคลือบ การเกาะยึดของผิวเคลือบอยู่ในระดับ HF 1 ทั้ง 4 ชิ้นงาน ผิวเคลือบที่ได้มีการเกาะยึดกับชิ้นงานรองรับที่ดี ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเกาะยึดของผิวเคลือบทดสอบตามวิธีมาตรฐาน VDI 3198

ชนิดสาร/ ขนาดผงขัด	บริเวณ รอยกด	ระดับค่าการเกาะยึดมาตรฐาน					
		 HF1	 HF2	HF3	HF4	HF5	 HF6
TiN 3		/	--	--	--	--	--
TiN 6		/	--	--	--	--	--
TiCN 3		/	--	--	--	--	--
TiCN 6		/	--	--	--	--	--

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ด้วยกระบวนการชุบเคลือบผิว PVD บนวัสดุแม่พิมพ์เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นยี่ห้อ Bohler เกรด K-490 โดยศึกษาการมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานและการสึกหรอของผิวเคลือบ โดยการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ สารเคลือบผิวชนิดไทเทเนียมไนไตร (TiN) และไทเทเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN) ผงขัดเพชรขนาด 3 และ 6 ไมครอน จากผลการทดลองพบว่า สารผิวเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน เมื่อนำไปผลิตเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ได้จำนวน 1.4 ล้านเหรียญต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ เป็นปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นสารผิวเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 ไมครอน ผิวเคลือบของแม่พิมพ์มีความหนาของผิวเคลือบต่างจากตำแหน่งอื่นที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเหรียญสำเร็จ ซึ่งเกิดจากแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญรับแรงกระทำซ้ำๆ กัน จากการตีตราเหรียญสำเร็จทำให้เกิดการสึกหรอแบบล้าตัว (Fatigue Wear) เกิดความเค้นสะสมภายในแม่พิมพ์ ทำให้ผิวสัมผัสสึกหรอ เป็นสาเหตุที่ทำให้ผิวที่เคลือบอยู่หลุดร่อนออกซึ่งเกิดจากการสึกหรอแบบการเกาะติด (Adhesive Wear) คือผลเนื่องจาก กระบวนการเกาะติดของโลหะซึ่งจะทำให้โลหะเกิดการยึดติดกัน จะเกิดขึ้นเมื่อมีโลหะ 2 ชิ้นเสียดสีกัน โดยพื้นผิวที่สัมผัสกันมีขนาดเล็กมาก จะทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเท่ากับหรือเกินจุดคราก (Yield Point) ของวัสดุ ถึงแม้ว่าแรงกระทำจะไม่สูงมากก็ตาม และจะทำให้เกิดแรงเกาะกันทางโมเลกุลขึ้นมี ผลทำให้อนุภาคของวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าถูกดึงหลุดออกมาหรือเนื้อโลหะยึดติดกันได้และ เนื่องจากการปั๊มกลับไปกลับมาส่งผลให้เกิดการสึกหรอแบบ Crater Wear คือผลที่เกิดต่อเนื่องจาก การเกิดการสึกหรอแบบยึดติดหรือเกาะติดและการสึกหรอแบบการขีดข่วนมาก่อน

เมื่อพิจารณาผลจากการทดลอง พบว่าสารเคลือบ TiCN มีค่าความแข็งของผิวเคลือบที่ค่อนข้างสูงแต่จะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะต่ำ ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอจึงไม่ดี ซึ่งความหนาของผิวเคลือบเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์แล้ว จะมีแนวโน้มลดลงมากกว่า

สารเคลือบ TiN ในจำนวนเหรียญสำเร็จที่เท่ากัน การเตรียมพื้นผิวด้วยการขัดผงเพชรที่มีขนาดต่างกัน หลังการเคลือบผิว พบว่าสารเคลือบผิว TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน มีความเรียบผิวที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นสารเคลือบ TiCN ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน ไมครอน เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่าค่าความหยาบผิวที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างของความเรียบผิวต่างกันเล็กน้อย

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้วยวัสดุเคลือบผิวอื่น ๆ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และช่วยลดต้นทุนในการผลิตแม่พิมพ์

5.2.2 ควรศึกษาการลดต้นทุนในการผลิตควรพิจารณาวัสดุแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ที่มีราคาต่อหน่วยต่ำกว่า มาเป็นแนวทางเลือกในการผลิต

บรรณานุกรม

[1] สุกัญญา ชูช่วย และคณะ. “เทคนิคการผลิตเหรียญกษาปณ์สำเร็จรูป โลหะชุบเคลือบไส้เหล็ก โรงกษาปณ์ฟินแลนด์”. **รายงานการฝึกอบรม.** กรมธนารักษ์ 2552.

[2] วรวิทย์ สงวนพันธ์. **การเพิ่มอายุการใช้งานของดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาท ใหม่.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.

[3] ธีระยุทธ วงศ์สมานมณี. **การกำหนดปัจจัยในการชุบเคลือบผิว PVD บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท เพื่อลดต้นทุนการผลิต.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.

[4] นภฉัตร ธารีลาภ. ยอดหญิง หมวกงาม. ชูชาติ นิติปัญญาวงศ์ และนันทน์ ถาวรรังกูร การชุบเคลือบผิววัสดุผสมนิกเกิลอะลูมิน่า ด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันการสึกหรอ 2000 http://anchan.lib.ku.ac.th/kukr/handle/003/16260.

[5] รศ.มนัส สถิรจินดา. **วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก** กรุงเทพมหานคร:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2537.

[6] Donald M. Mattox Society of Vacuum Coaters Albuquerque, New Mexico **HANDBOOK OF PHYSICAL VAPOR DEPOSITION (PVD) PROCESSING,** Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control 1998 by Noyes Publications.

[7] Sulzer Metaplas World Money Fair February/1st, 2007.

[8] http://www.fujilloy.co.th/index.php/product/coating/cvd-coatng/.

[9] รศ.มนัส สถิรจินดา โลหะนอกกลุ่มเหล็ก ปี 2538, พิมพ์ครั้งที่ 2 .

[10] https://th.misumi-.com/maker/misumi/mech/campaign/email20120206/surface_roughness.html.

[11] A.I. Fernández-Abia. **Machinability of Cobalt-based and Cobalt Chromium Molybdenum Alloys - A Review**, 2017.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[12] ปกรณ์ ชุมรุม. **การยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์เจาะรูในการผลิตคลิปรัดแหนบสปริง.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553.

[13] L. W. Ma, J. m. Caimey. M. J. Hoffman, P. R. Munroe. Effect of coating thickness on the deformation mechanisms in PVD TiN- coated steel. **Surface & Coating Technology 204**, pp. 1764-1773.2010.

[14] ปกรณ์ ชุมรุม. (2559). **การประยุกต์ใช้การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอในแม่พิมพ์ตัด.** *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*. 12 (1), 1-15.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนแบบใหม่

รายละเอียดคุณลักษณะของเหรียญตัวเปล่าเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชุดใหม่

ชนิดราคา	ส่วนผสม (ร้อยละ)	ความหนาของโลหะส่วนที่เคลือบด้านละ (ไมครอน)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	ความกลม (มม.)	น้ำหนัก (กรัม)		ความหนา (มม.)		ความเรียบ (มม.)	ความแข็ง
					1 เหรียญ	100 เหรียญ	ตัว	ขอบ		
10	วงนอก: Cu75Ni25 วงใน: Cu92Ni2Al6	-	25.60 ± 0.05 18.15 ± 0.10	Max. 0.04	8.50 ±0.20	850 ±8.50	-	2.20±0.10	Max. 2.53	70 - 100 HV10
5	Cu75Ni25/Cu	5%ของหนาตัว	23.63±0.05	Max. 0.04	6.00 ±0.17	600.0 ±6.00	Max. 1.55	1.85±0.15	Max. 2.20	70 - 95 HV10
2	Cu92Ni2Al6	-	21.40±0.05	Max. 0.04	4.00±0.15	400.0±4.00	Max. 1.40	1.70±0.10	Max. 1.98	70 - 95 HV10
1	Ni/Fe	25 ± 5	19.80±0.05	Max. 0.04	3.00 ±0.12	300.0±4.50	Max. 1.25	1.50±0.10	Max. 1.76	Max.110 HV30
0.50	Cu/Fe	25 ± 5	17.80±0.05	Max. 0.04	2.40±0.10	240.0±3.60	Max. 1.24	1.49±0.10	Max. 1.75	Max.110 HV30
0.25	Cu/Fe	25 ± 5	15.80±0.05	Max. 0.04	1.90±0.08	190.00±2.85	Max. 1.24	1.49±0.10	Max. 1.75	Max.110 HV30
0.10	Al	-	17.30 ± 0.03	Max. 0.04	0.80±0.08	80.0±2.00	Max. 1.27	1.45±0.05	Max. 1.60	70 – 85 HV10
0.05	Al	-	16.30 ± 0.03	Max. 0.04	0.60±0.06	60.0±1.50	Max. 1.20	1.35±0.05	Max. 1.50	70 – 85 HV10
0.01	Al	-	14.80 ± 0.03	Max. 0.04	0.50±0.05	50.00±1.25	Max. 1.15	1.25±0.05	Max. 1.40	70 – 85 HV10

ภาคผนวก ข

แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบ

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) ขนาดผงขัดผงเพชร 3 μm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านหัว

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (μm.)										ความหนา (μm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	2.8	2.7	2.9	3.0	2.7	3.0	2.9	2.9	2.8	3.0	2.9	3.0
	2	3.0	3.1	2.9	3.0	2.9	3.1	2.9	3.0	2.9	3.1	3.0	
	3	3.1	2.9	3.0	3.0	2.9	3.0	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0	
300,000	1	2.8	2.7	2.8	3.0	2.6	2.9	2.8	2.9	2.8	3.0	2.8	2.8
	2	3.0	3.1	2.8	2.9	2.9	3.0	2.9	3.0	2.8	3.0	2.9	
	3	3.0	2.9	3.0	2.9	2.8	2.9	2.7	2.6	2.7	2.8	2.8	
600,000	1	2.7	2.6	2.7	2.9	2.5	2.8	2.7	2.8	2.7	2.9	2.7	2.7
	2	2.9	3.0	2.7	2.7	2.8	2.9	2.7	2.9	2.7	2.8	2.8	
	3	2.8	2.7	2.8	2.8	2.6	2.8	2.5	2.5	2.5	2.7	2.7	
900,000	1	2.6	2.5	2.6	2.7	2.4	2.7	2.5	2.7	2.5	2.8	2.6	2.6
	2	2.7	2.8	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.6	2.7	2.7	
	3	2.6	2.5	2.7	2.7	2.4	2.6	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	
1,200,000	1	2.4	2.3	2.4	2.5	2.3	2.5	2.3	2.5	2.3	2.5	2.4	2.4
	2	2.5	2.6	2.5	2.4	2.5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.5	2.5	
	3	2.3	2.2	2.5	2.5	2.2	2.4	2.1	2.2	2.1	2.3	2.3	
1,383,953	1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.0	2.3	2.0	2.4	2.1	2.3	2.2	2.2
1,421,570	2	2.3	2.3	2.2	2.1	2.2	2.3	2.0	2.3	2.0	2.3	2.2	
1,401,871	3	2.0	2.0	2.3	2.2	2.0	2.1	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0	

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) ขนาดผงขัดผงเพชร 3 μm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านก้อย

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (μm.)										ความหนา (μm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	3.0	2.9	2.9	3.0	2.9	3.0	2.8	3.1	2.9	2.9	2.9	3.1
	2	3.3	3.0	3.1	3.2	3.0	3.0	3.1	3.2	2.9	3.0	3.1	
	3	3.3	3.1	3.0	3.2	2.9	3.1	2.9	2.9	3.1	3.1	3.1	
300,000	1	3.0	2.9	2.8	3.0	2.9	2.9	2.8	3.1	2.9	2.9	2.9	2.9
	2	3.3	3.0	3.0	3.2	3.0	2.9	3.0	3.1	2.8	2.9	2.9	
	3	3.2	3.0	2.9	3.1	2.9	2.9	2.8	2.8	3.0	3.0	3.0	
600,000	1	2.9	2.8	2.8	2.9	2.7	2.8	2.7	2.9	2.8	2.7	2.8	2.9
	2	3.0	2.8	2.9	3.1	2.9	2.8	2.8	3.0	2.7	2.7	2.9	
	3	3.0	2.8	2.7	2.9	2.7	2.6	2.7	2.7	2.8	2.5	3.1	
900,000	1	2.7	2.5	2.5	2.7	2.6	2.4	2.4	2.5	2.6	2.4	2.5	2.6
	2	2.7	2.6	2.6	2.8	2.7	2.6	2.6	2.8	2.5	2.5	2.6	
	3	2.8	2.7	2.6	2.7	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.4	2.6	
1,200,000	1	2.4	2.3	2.4	2.5	2.5	2.2	2.1	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4
	2	2.5	2.4	2.3	2.6	2.5	2.4	2.4	2.6	2.4	2.4	2.5	
	3	2.5	2.5	2.4	2.5	2.2	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4	
1,383,953	1	2.2	2.1	2.0	2.2	2.3	2.0	1.9	2.2	2.1	2.0	2.1	2.1
1,421,570	2	2.3	2.2	1.8	2.3	2.3	2.3	2.2	2.3	2.1	2.2	2.2	
1,401,871	3	2.2	2.3	2.2	2.3	1.9	1.8	2.2	2.1	2.1	2.0	2.1	

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) ขนาดผงขัดผงเพชร 6 μm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านหัว

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (μm.)										ความหนา (μm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	3.3	3.3	3.2	3.3	3.1	3.2	3.1	3.0	3.0	3.1	3.2	3.1
	2	3.2	3.0	3.1	3.1	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2	3.1	
	3	3.0	3.1	3.0	3.2	3.0	3.2	3.0	3.1	2.9	3.1	3.1	
300,000	1	3.3	3.3	3.2	3.2	3.0	3.2	3.0	3.0	2.9	3.0	3.1	3.0
	2	3.2	3.0	3.1	3.1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	3.1	3.0	
	3	2.9	3.0	3.0	3.1	2.9	3.1	2.9	2.9	2.8	3.0	3.0	
600,000	1	3.2	3.1	3.1	3.1	2.8	3.1	2.9	2.8	2.8	2.9	3.0	2.7
	2	2.9	2.7	2.7	2.9	2.6	2.7	2.7	2.7	2.5	2.9	2.7	
	3	2.6	2.7	2.8	2.8	2.6	2.8	2.6	2.7	2.5	2.7	2.7	
900,000	1	2.8	2.7	2.7	2.8	2.5	2.8	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.4
	2	2.6	2.4	2.5	2.6	2.3	2.4	2.4	2.4	2.2	2.6	2.4	
	3	2.3	2.4	2.6	2.5	2.3	2.5	2.3	2.4	2.1	2.4	2.4	
1,200,000	1	2.4	2.5	2.3	2.5	2.2	2.4	2.2	2.2	2.2	2.1	2.3	2.2
	2	2.3	2.2	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.2	1.9	2.2	2.2	
	3	2.0	2.1	2.3	2.3	1.9	2.1	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1	
1,371,103	1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.1	2.1	2.0	2.1	2.0	1.9	2.1	2.0
1,309,752	2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	1.8	2.0	2.0	
1,290,911	3	1.8	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	2.0	1.9	

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) ขนาดผงขัดผงเพชร 6 μm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านก้อย

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (μm.)										ความหนา (μm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.1	3.1	3.2	3.0	3.1	3.1	3.2
	2	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.0	3.0	3.2	3.0	3.0	3.2	
	3	3.0	3.0	3.0	3.1	3.0	2.9	3.0	3.1	3.2	3.1	3.0	
300,000	1	3.2	3.2	3.1	3.1	3.2	3.0	3.0	3.1	2.9	3.0	3.1	3.1
	2	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	2.9	2.8	3.2	2.8	2.9	3.1	
	3	3.0	3.0	3.0	3.1	3.0	2.8	2.9	3.1	3.1	3.0	3.0	
600,000	1	3.0	3.1	3.0	3.0	3.0	2.8	2.9	2.9	2.8	2.8	2.9	2.9
	2	3.2	3.1	3.0	3.1	3.1	2.8	2.7	3.1	2.7	2.7	3.0	
	3	2.8	2.9	2.8	3.0	2.8	2.7	2.7	3.0	3.0	2.9	2.9	
900,000	1	2.6	2.7	2.6	2.7	2.6	25	2.5	2.5	2.4	2.5	2.6	2.6
	2	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.5	2.4	2.7	2.3	2.2	2.6	
	3	2.6	2.5	2.4	2.6	2.5	2.2	2.3	2.8	2.2	2.5	2.5	
1,200,000	1	2.3	2.2	2.2	2.4	2.2	2.3	2.1	2.0	2.0	2.1	2.2	2.1
	2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.1	2.0	2.2	1.9	1.8	2.1	
	3	2.3	2.0	1.9	2.1	2.1	1.8	1.9	2.3	1.9	2.0	2.0	
1,371,103	1	2.2	2.0	2.0	2.2	2.0	2.1	2.0	1.9	1.8	1.9	2.0	1.9
1,309,752	2	2.1	1.9	2.0	2.1	2.2	2.0	1.9	2.0	1.7	1.7	1.9	
1,290,911	3	2.1	1.9	1.8	2.0	1.9	1.7	1.8	2.0	1.8	1.9	1.8	

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiCN) ขนาดผงขัดผงเพชร 3 μm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านหัว

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (μm.)										ความหนา (μm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	2.9	3.0	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
	2	3.0	3.1	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	2.9	2.8	3.0	3.0	
	3	3.3	3.2	3.3	3.2	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0	3.2	3.1	
300,000	1	2.8	2.9	3.2	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9	2.8
	2	2.8	3.0	2.9	2.8	2.6	2.8	3.0	2.8	2.7	3.0	2.8	
	3	3.2	3.1	3.2	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	3.1	3.0	
600,000	1	2.5	2.5	3.0	2.5	2.6	2.6	2.8	2.7	2.8	2.7	2.7	2.7
	2	2.4	2.6	2.6	2.7	2.3	2.4	2.7	2.6	2.4	2.8	2.6	
	3	2.7	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.8	2.7	2.6	2.8	2.7	
900,000	1	2.3	2.0	2.7	2.1	2.2	2.2	2.4	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3
	2	2.0	2.3	2.2	2.3	2.0	2.0	2.3	2.3	2.1	2.5	2.2	
	3	2.2	2.4	2.2	2.4	2.3	2.2	2.3	2.3	2.2	2.4	2.3	
1,125,015	1	2.0	1.8	2.2	1.9	1.8	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	1.9
1,187,347	2	1.9	2.0	1.8	2.0	1.8	1.8	1.8	19.	1.8	1.9	1.9	
1,203,580	3	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiCN) ขนาดผงขัดผงเพชร 3 μm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านก้อย

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (μm.)										ความหนา (μm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	3.4	3.3	3.4	3.3	3.3	3.0	3.2	3.3	3.0	3.0	3.2	3.1
	2	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	
	3	3.0	3.1	3.2	3.3	3.0	3.0	3.1	3.2	3.1	3.0	3.1	
300,000	1	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	2.9	3.1	3.1	2.9	2.9	3.1	3.0
	2	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	2.8	2.8	3.0	2.5	3.0	3.0	
	3	3.0	3.1	3.1	3.2	2.9	2.9	3.0	3.2	3.0	2.9	3.0	
600,000	1	2.8	3.0	3.0	3.0	2.8	2.4	2.8	2.8	2.6	2.5	2.8	2.8
	2	2.9	3.0	2.9	2.8	2.9	2.3	2.5	2.7	2.3	2.7	2.8	
	3	2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.4	2.6	2.8	2.6	2.6	2.7	
900,000	1	2.4	2.6	2.5	2.5	2.3	2.3	2.5	2.4	2.2	2.2	2.4	2.3
	2	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.2	2.4	2.0	2.3	2.3	
	3	2.2	2.3	2.5	2.5	2.2	2.2	2.2	2.4	2.1	2.2	2.1	
1,125,015	1	2.0	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0	1.9
1,187,347	2	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	2.0	1.8	1.9	1.7	1.8	1.9	
1,203,580	3	1.9	1.9	2.0	2.2	1.8	1.8	2.0	1.9	1.8	1.8	1.9	

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiCN) ขนาดผงขัดผงเพชร 6 μm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านหัว

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (μm.)										ความหนา (μm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	3.0	2.7	2.8	2.8	3.0	2.8	3.0
	2	2.9	3.0	2.9	2.9	2.8	3.0	3.1	3.1	3.0	2.9	3.0	
	3	3.1	3.1	3.0	2.9	3.1	3.0	3.1	3.0	2.9	2.9	3.0	
300,000	1	2.6	2.7	2.8	2.7	2.8	3.0	2.7	2.7	2.8	3.0	2.8	2.9
	2	2.8	3.0	2.8	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	2.9	2.8	2.9	
	3	3.1	3.0	3.0	2.7	3.0	2.8	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	
600,000	1	2.3	2.4	2.5	2.4	2.5	2.6	2.5	2.4	2.5	2.8	2.5	2.6
	2	2.5	2.6	2.4	2.5	2.4	2.6	2.7	2.7	2.6	2.5	2.6	
	3	2.7	2.7	2.6	2.4	2.7	2.5	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	
900,000	1	1.9	2.0	2.1	2.0	2.1	2.2	2.2	2.0	2.1	2.4	2.1	2.2
	2	2.1	2.1	2.0	2.2	2.0	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	
	3	2.3	2.2	2.2	2.0	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.2	
1,154,271	1	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.7	1.8	2.0	1.8	1.9
1,017,23	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	
1,035,203	3	2.0	1.9	1.9	1.8	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	2.0	1.9	

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiCN) ขนาดผงขัดผงเพชร 6 µm. แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้านก้อย

จำนวนเหรียญสำเร็จ (เหรียญ)	ชิ้นงานที่	ระดับความหนาจุดที่ (µm.)										ความหนา (µm.)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม
0	1	3.1	3.1	3.0	3.1	2.9	2.8	3.0	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0
	2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.2	3.0	3.1	3.2	3.0	3.0	3.1	
	3	2.7	2.8	2.7	2.9	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	
300,000	1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8	2.8	3.0	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9
	2	3.1	3.0	3.0	3.0	3.1	2.9	3.0	3.1	2.9	2.9	3.0	
	3	2.6	2.7	2.6	2.8	3.0	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.7	
600,000	1	2.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.8	2.8	2.7	2.6	2.7	2.6
	2	2.7	2.7	2.9	2.7	2.7	2.6	2.7	2.9	2.6	2.7	2.7	
	3	2.3	2.5	2.4	2.5	2.7	2.4	2.5	2.7	2.5	2.4	2.5	
900,000	1	2.4	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2	2.4	2.5	2.3	2.2	2.3	2.2
	2	2.2	2.3	2.5	2.4	2.3	2.2	2.3	2.6	2.3	2.2	2.3	
	3	1.9	2.2	2.0	2.2	2.2	2.0	2.1	2.4	2.1	2.0	2.1	
1,154,271	1	2.0	2.1	2.0	1.9	1.8	1.9	2.0	2.1	1.9	1.8	2.0	2.0
1,017,23	2	1.8	1.9	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	2.2	2.0	2.0	2.0	
1,035,203	3	1.8	2.0	1.8	2.1	2.0	1.9	2.0	2.2	1.9	1.8	2.0	

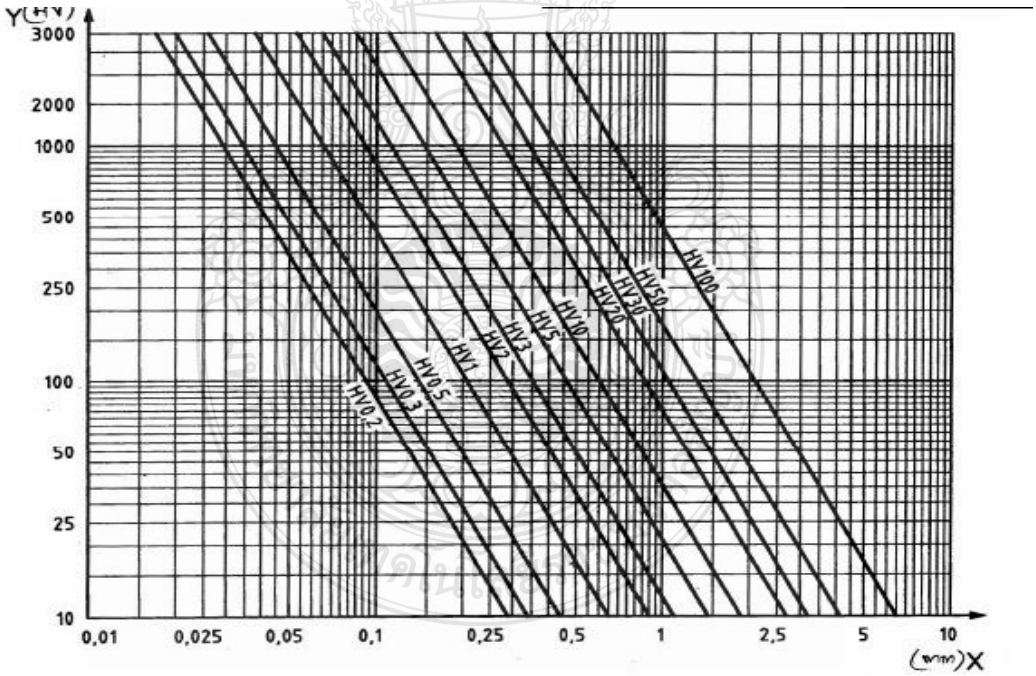
ภาคผนวก ค

Scale ของวิกเกอร์ส และ Minimum thickness of the test piece in relation to the test force and to the hardness (HV 0.2 to HV 100)

Hardness test [a]		Low - force hardness test		Microhardness test	
Hardness symbol	Nominal value of the test force F N	Hardness symbol	Nominal value of the test force F N	Hardness symbol	Nominal value of the test force F N
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,098 07
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,147
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,196 1
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,245 2
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,490 3
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,980 7

[a] Nominal tes t forces greater than 980,7 N may be applied.

รูปที่ ค.1 Scale ของวิกเกอร์ส



ปที่ ค.2 Minimum thickness of the test piece in relation to the test force and to the hardness (HV 0.2 to HV 100)

Coating Material	Color	Thickness (um)	Hardness (HV)	Max. Service Temperature (°C)	Coefficient of Friction	Application
TiN (Titanium Nitride)	Gold	2 to 6	2000-2300 (3000)	600	0.4	General applications are for: 1) cutting 2) forming, 3) injection plastic molding;
CrN (Chrome Nitride)	Silver Grey	2 to 10	1700-2100 (2500)	700	0.2	Standard for 1) molds & dies; 2) machine parts; 3) low deposition temperature possible.
TiCN (Titanium-Carbon-Nitride)	Grey	2 to 6	3200	450	0.3	TiCN with low COF, for: 1) milling & tapping; 2) punching & forming, metal stamping etc.
TiAlN (Aluminum--Titanium--Nitride)	Dark Purple	2 to 4	2400-2800	900	0.4-0.5	For HSS tools for cuttings like: drilling, milling, turning etc.
AlTiN	Bluish Black	1 to 3	3200-3800	900	0.5	High performance coating: 1) high heat resistance; 2) for dry & hight speed machining; 3) hard machining.
CrAlN (Aluminum-Chrominum-Nitride)	Grey	2 to 3	3000	1000	0.3	Thickness coating possible, for high speed machining
DLC (Diamond-Like-Carbon)	Blackish	1-6	2500	300	0.06-0.1	1)High hardness & heat resistance; 2) Extremly low friction coefficient 3) Outstanding for HSS cutting in materials 4) High wear and corrosion resistance.

รูปที่ ง.1 ค่ามาตรฐานผิวเคลือบ PVD

ภาคผนวก จ

การเผยแพร่งานวิจัย

ที่ ศธ ๐๕๖๕.๑๑/ว ๐๓๖๘

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
๙ ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์
เขตบางเขน กรุงเทพฯ ๑๐๒๒๐

๑๙ เมษายน ๒๕๖๑

เรื่อง ตอบรับบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ ๑๔

เรียน นายพุฒิธร เขตเจริญ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เพื่อนำเสนอและเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ ๑๔ ในวันเสาร์ที่ ๕ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๑ ณ ห้องประชุมกิจจาทร ๑ ชั้น ๔ อาคารปิยมหาราช มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บัดนี้ คณะกรรมการกลั่นกรองบทความวิจัยได้พิจารณาบทความของท่านแล้ว โดยบทความของท่าน **“ผ่านการประเมิน”** และได้รับการพิจารณาให้เข้าร่วมนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการดังกล่าว บัณฑิตวิทยาลัยจะนำบทความฉบับสมบูรณ์ของท่านลงตีพิมพ์ใน**การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ ๑๔** ในลำดับต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และขอขอบคุณอย่างยิ่ง มา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.สถาพร ปกป้อง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
19 เม.ย. 61 เวลา 14:53:15 Non-PKI Server Sign
Signature Code : OAA5A-EIARQ-A1ADE-ARABC

ฝ่ายวิชาการและวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. ๐๒ ๕๔๔-๘๐๓๒
โทรสาร ๐๒ ๕๒๒-๖๖๐๓
อีเมล์ : grad@pnru.ac.th

ขอเชิญเข้าร่วมการประชุมวิชาการ
เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

GRC2018
Graduate Research Conference

ครั้งที่ 14

วันเสาร์ที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2561

ณ ห้องประชุม 1 สมเด็จพระมหาวีรวงศ์ ชั้น 2
อาคารเรียนรวมและศูนย์วัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผลงานที่นำเสนอ

กลุ่มที่ 1 บริหารธุรกิจ
กลุ่มที่ 2 ศึกษาศาสตร์/ครุศาสตร์
กลุ่มที่ 3 มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
กลุ่มที่ 4 วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์

กำหนดการ

25 ธ.ค. 2560	ลงทะเบียนพร้อมทั้งส่งบทคัดย่อและบทความวิจัยออนไลน์ ได้ที่ http://grad.pnru.ac.th/ หรือทางไปรษณีย์ EMS มาที่ ฝ่ายวิชาการและวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
10 มี.ค. 2561	ปิดรับการส่งบทความวิจัย และวันสุดท้ายของการชำระเงินค่าลงทะเบียนฯ
18 มี.ค. 2561	สิ้นสุดส่งบทความวิจัยฉบับแก้ไขตามคำแนะนำ/ข้อเสนอแนะผู้ทรงคุณวุฒิ
5 พ.ค. 2561	นำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายและโปสเตอร์

วิธีการชำระค่าลงทะเบียน

- ผู้ส่งบทความวิจัยชำระเงินค่าลงทะเบียน 2,500 บาท / บทความ ภายใน วันที่ 10 มีนาคม 2561 สามารถชำระได้โดยโอนเงินค่าลงทะเบียนผ่านบัญชีธนาคารชื่อบัญชี "โครงการเฉพาะกิจโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร" ธนาคารทหารไทย สาขารามอินทรา กม.4 ประเภทออมทรัพย์ เลขที่บัญชี 136-2-48700-9 พร้อมส่งสำเนาการโอนเงินมาที่ โทรสาร 0-2522-6603 หรือ Mail : grad@pnru.ac.th
- ผู้เข้าฟังการเสนอผลงาน สำหรับบุคคลภายนอก 1,000.- บาท
- นักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครสามารถลงทะเบียน ในเวลาที่กำหนดและไม่เสียค่าใช้จ่าย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 แจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220 โทร. 02-544-8032, 02-544-8529
Phranakhon Rajabhat University 9 Changwattana Road, Bangkhen Bangkok,Thailand 10220 Tel. 02-544-8032, 02-544-8529

การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท

Study of Influence Parameters on Coated Stamping Die of the One-Bath Coin

พุฒิธร เขตเจริญ[1] และ ศิริชัย ต่อสกุล[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ด้วยกระบวนการชุบเคลือบผิว PVD (Physical Vapor Deposition) ประกอบด้วยปัจจัยหลัก ได้แก่ ชนิดของสารเคลือบผิวชนิดไทเทเนียมไนไตร (TiN) และไทเทเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN) ผงขัดเพชร (Diamond Compound) ระดับความหนา 3 ไมครอน และ 6 ไมครอน วิธีการตรวจสอบโดยการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน ความแข็งและความหนาของผิวเคลือบ ผลการทดลองปรากฏว่ากระบวนการชุบเคลือบผิว PVD โดยใช้สารเคลือบผิว TiN ที่ระดับความหนา 3 ไมครอน ด้วยผงขัดเพชร 3 ไมครอน บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ทำให้อายุการใช้งานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นกว่า 1,400,000 เหรียญต่อคู่ หรือ 1.4 เท่าจากอายุการใช้งานเดิม

คำสำคัญ : แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ การชุบ PVD ไทเทเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN) ไทเทเนียมไนไตร (TiN) ยาขัดผงเพชร

Abstract

The objective of this research is to study of influence parameters on coated stamping die of the one-bath coin by using PVD (Physical Vapor Deposition) coating method. Composing of main factors which are coating types Titanium Nitride (TiN) and Titanium Carbo Nitride (TiCN), diamond compound (Diamond Compound) thickness 3 micron and 6 micron. Checking method by measuring the surface roughness of the workpiece. Hardness and thickness of the coating. The results show that the PVD coating process which use TiN with thickness 3 micron on 1 Baht's coin die reveals that the die life has been increasing to more than 1,400,000 coins per die or 1.4 time of die life in the past

Keywords : Coining Die, PVD coating, Titanium Carbo Nitride (TiCN), Titanium Nitride (TiN), Diamond Compound

[1] นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ความเป็นมาและปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีเหรียญกษาปณ์หมุนเวียน 9 ชนิดราคา คือ ในหน่วยสตางค์ ได้แก่ 1, 5, 10, 25 และ 50 ในหน่วยบาท 1, 2, 5 และ 10 ซึ่งจำนวนของชนิดราคาเหรียญกษาปณ์ไม่ควรมีเกิน 8 ชนิดราคา แต่ชนิดราคา 1, 5 และ 10 สตางค์ ในปัจจุบันไม่ได้นำไปใช้หมุนเวียนในระบบเศรษฐกิจ แต่ผลิตเพื่อจัดทำเป็นแผงเหรียญให้ครบทุกชนิดราคาและใช้ในระบบบัญชีของส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจเท่านั้น ดังนั้นเหรียญกษาปณ์ที่ใช้หมุนเวียนในระบบเศรษฐกิจปัจจุบันจึงมีเพียง 6 ชนิดราคา ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานสากลไม่ควรเกิน 13 ชนิดราคา และคุณลักษณะของเหรียญกษาปณ์ต้องสามารถทนทานต่อการสึกหรอการกัดกร่อนได้ดี มีอายุการใช้งานนาน มีความเงางาม มีเอกลักษณ์ วัฒนธรรมที่บ่งบอกถึงความเจริญก้าวหน้าของประเทศ และมีคุณสมบัติสอดคล้องกับกระบวนการผลิตที่มีอยู่

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 เป็นต้นมาเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท เป็นชนิดราคาที่ผลิตมากกว่าชนิดราคาอื่น ๆ และราคาโลหะที่ใช้ทำเหรียญโลหะตัวเปล่ามีแนวโน้มสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นด้วย การผลิตเหรียญกษาปณ์เป็นการผลิตแบบไม่มุ่งแสวงหากำไร ต้องควบคุมมูลค่าโลหะทำเหรียญตัวเปล่าไม่ให้มีมูลค่าเกินกว่าราคาหน้าเหรียญเพื่อป้องกันการปลอมแปลง และนำโลหะไปใช้ในด้านอื่น ๆ แต่เมื่อรวมค่าดำเนินงานแล้วมูลค่ารวมต่อราคาหน้าเหรียญต้องไม่ขาดทุน เพื่อลดต้นทุนการผลิตในด้านวัตถุดิบ จึงได้เปลี่ยนวัตถุดิบตัวเปล่าเป็นวัสดุที่มีไส้เหล็กเคลือบด้วยนิกเกิล แต่ปัญหาของการใช้วัตถุดิบไส้เหล็กชุบเคลือบผิวด้วยนิกเกิลพบว่ามีความแข็งเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบเดิมที่เป็นวัสดุคิวโปรนิกเกิล (ทองแดงร้อยละ75 นิกเกิลร้อยละ25) ส่งผลให้อายุการใช้งานแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแบบเดิม เนื่องจากความแข็งของวัตถุดิบตัวเปล่าที่มีไส้เหล็กเคลือบผิวด้วยนิกเกิล ส่งผลให้ต้นทุนด้านการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อลดต้นทุนโรงกษาปณ์ได้ปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ได้ทำการวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ผลนำมาซึ่งการเปลี่ยนเหล็กวัสดุแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า จำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ได้ประมาณ 300,000 – 400,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่ ต่อมาได้ทำการปรับปรุงเพื่อการกำหนดปัจจัยในการชุบเคลือบผิว PVD บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า จำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ได้ประมาณ 1,000,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่ ปัจจุบันสาเหตุการเสียหายของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ที่ทำให้หมดอายุการใช้งานเกิดจากสาเหตุผิวเคลือบ ลอก เป็นฝ้า เป็นคราบ เป็นปริมาณการเสียหายที่มากกว่าสาเหตุอื่น แต่ถ้าหากสารเคลือบผิวของแม่พิมพ์ยึดเกาะกับเหล็กวัสดุทำแม่พิมพ์ได้ดีแล้ว จะส่งผลให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ให้สูงขึ้นได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ที่ส่งผลให้เกิดผิวเคลือบ ลอก เป็นฝ้า เป็นคราบ โดยการเปลี่ยนวัสดุทำแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ใช้เหล็กกล้างานเย็น ชนิดไมโครคลีน (Microclean) ที่มีการตอบสนองในการอบชุบที่ดีกว่าเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นทั่วไป และกระบวนการเตรียมพื้นผิวแม่พิมพ์ด้วยการขัดผงขัดเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 ไมครอน ก่อนการเคลือบผิว PVD เพื่อศึกษาการเกาะยึดของสารเคลือบแม่พิมพ์ และหลังจากเคลือบแล้วได้ขัดด้วยผงขัดเพชรความละเอียด 3 และ 6 ไมครอน เพื่อลดสาเหตุการเสียหายของแม่พิมพ์จากผิวเคลือบ ลอก เป็นฝ้า เป็นคราบ และเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

วรวิทย์ สงวนพันธ์ (2554) ได้ศึกษาเรื่องการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์เหรียญชนิดราคา 1 บาท โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวัสดุระหว่างเหล็ก X กับเหล็ก Y ใช้วิธีการเคลือบผิวแบบ PVD ชนิดสารเคลือบ CrN ผลการทดสอบแม่พิมพ์ไปใช้ในการปั๊มเหรียญชนิดราคา 1 บาท (โลหะไส้เหล็กชุบนิกเกิล) ปรากฏว่าเหล็ก Y มีความหนาผิวเคลือบประมาณ 2.7 ไมครอน ได้จำนวนเหรียญ 400,000-450,000 เหรียญต่อคู่ ซึ่งมากที่สุดจากชิ้นงานทดสอบทั้งหมด

ธีระยุทธ วงศ์สมานมณี (2555) ทำการปรับปรุงเพื่อการกำหนดปัจจัยในการชุบเคลือบผิว PVD ชนิดสารเคลือบ TiN และ TiCN ความหนาผิวเคลือบประมาณ 2 และ 3 ไมครอน อุณหภูมิชุบเคลือบผิวประมาณ 250 และ 500^{o}C บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ปรากฏว่าสารเคลือบผิว TiN ความหนา 2.87-2.98 ไมครอน อุณหภูมิชุบเคลือบผิว 428^{o}C ทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า จำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ได้ประมาณ 1,000,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่

ปกรณ์ ชุมรุม (2552) ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งมาประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ปรากฏว่าพันธ์ที่ไม่ได้เคลือบผิวสึกหรอมากที่สุด พันธ์ที่เคลือบผิวด้วยวิธี CVD ชนิดสารเคลือบ TiCN และ พันธ์ที่เคลือบผิวด้วยวิธี PVD ชนิดสารเคลือบ TiCN สึกหรอรองลงมา การเคลือบผิวพันธ์สามารถยืดอายุการใช้งานของพันธ์เจาะรูได้ประมาณ 2.7 เท่า

L.W. Ma และคณะ (2010) ได้ศึกษาการเปลี่ยนรูปลักษณะทางกลของผิวเคลือบ TiN ที่ระดับความหนาต่างกัน โดยมีระดับความหนาประมาณ 0.7, 2.0, 3.7 และ 4.0 ไมครอน จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับความหนาผิวเคลือบมีผลต่อลักษณะรอยแตกของ Columnar และรอยเฉือนของผิวเคลือบ ผิวเคลือบ TiN ที่บางทำให้เกิดรอยแตกเฉือนตามยาวขอบเกรน Columnar ผิวเคลือบ TiN ที่หนาขึ้นจะมีรอยแตกจำนวนมากตามยาวขอบเกรน มีลักษณะรอยแตกที่ขาดเป็นส่วน ๆ เป็นไปตามสัดส่วนของความหนาผิวเคลือบ แต่แนวขอบเกรน Columnar มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นชี้ให้เห็นได้ว่าโครงสร้างของ Columnar หรือระดับความหนาของผิวเคลือบ TiN มีอิทธิพลที่สำคัญในการเปลี่ยนรูปลักษณะทางกลของผิวเคลือบ

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ 1 บาท ของสำนักกษาปณ์ พิจารณาจากลักษณะการขึ้นรูปแบบงานเย็นและเครื่องจักรที่ใช้ปั๊มเหรียญที่มีอัตราการผลิต 800 เหรียญต่อนาที ซึ่งมีความเร็วในการปั๊มเหรียญสูง คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์จึงต้องมีความแข็ง ความเหนียวที่เหมาะสมและตอบสนองการอบชุบ การเคลือบผิวด้วยวิธีการแบบ PVD ที่ดีแล้ว ส่งผลให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์สูงขึ้น วัสดุแม่พิมพ์ใช้วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นยี่ห้อ Bohler เกรด K-490 ซึ่งมีเนื้อโลหะหลังการอบชุบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) (Bohler., 1988.) มีคุณสมบัติของธาตุผสมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ธาตุผสมของเหล็ก K-490

ชนิดเหล็ก	ธาตุผสม						
	คาร์บอน (C) %	ซิลิคอล (Si) %	แมงกานิส (Mn) %	โครเมียม (Cr) %	โมลิบดีนัม (Mo) %	วาเนเดียม (V) %	ทังสเตน (W) %
K490	1.40	-	-	6.40	1.50	3.70	3.50

การพิจารณาความหนาผิวเคลือบของแม่พิมพ์ด้วยวิธีการแบบ PVD ที่มีความหนาประมาณ 3 ไมครอน (L.W. Ma และคณะ, 2010) โดยพิจารณาถึงความสูงของลวดลายของเหรียญ 1 บาท ถ้าความหนาผิวเคลือบหนาเกินไปอาจจะส่งผลให้ลวดลายไม่ชัดเจน บางเกินไปผิวเคลือบอาจเกิดการหลุดร่อนเร็ว (วรวิทย์ สงวนพันธ์, 2554) ชนิดของสารเคลือบไทเทเนี่ยมไนไตร (TiN) และไทเทเนี่ยมคาร์โบไนไตร (TiCN) ซึ่งสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด มีอายุการใช้งานเฉลี่ยสูงสุดของแม่พิมพ์ใกล้เคียงกันและมีลักษณะการยึดเกาะระหว่างผิวเคลือบกับชิ้นงาน (Substrate Material) ที่ดีใกล้เคียงกัน โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเหรียญสำเร็จ (ธีระยุทธ วงศ์สมานมณี, 2555)

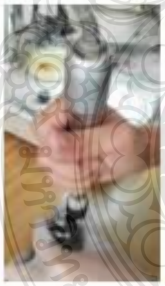
การดำเนินการทดลอง

1. นำเหล็กชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการผลิตพร้อมทำการอบชุบด้วยเตาอบชุบแบบสุญญากาศ อุณหภูมิชุบแข็ง 1,050°C เวลาอบแช่ (Soaking) 30 นาที ชุบแข็งด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ที่แรงดัน 6 บาร์ และอบคืนไฟ (Tempering) ที่ระดับอุณหภูมิ รอบแรกที่อุณหภูมิ 570°C เป็นเวลา 90 นาที รอบที่สองอุณหภูมิ 570°C เป็นเวลา 90 นาที (ตามมาตรฐานผู้ผลิต)

2. การวัดความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็ง ยี่ห้อ Instron Wolpert รุ่น DIA Testor 7551 หลังการอบชุบแข็งเป็นการวัดก่อนการเคลือบผิว PVD ค่าความแข็งเฉลี่ยประมาณ 60 HRc (Bohler., 1988.)

3. ขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าตวงตรา (แม่พิมพ์) โดยใช้ล้อผ้าสักหลาดพร้อมยาขัดผงเพชร (Diamond Compound) ขนาด 3 และ 6 ไมครอน

4. วัดความหยาบผิว (ก่อนเคลือบผิวด้วยวิธี PVD) ด้วยเครื่อง Contour and Surface Roughness เป็นการวัดลากสัมผัสบนผิวชิ้นงาน มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN ISO 4287 และ 3274



ภาพที่ 1 ขัดตกแต่ง (Polishing) ผิวหน้าตวงตรา

ภาพที่ 2 วัดความหยาบผิว

ภาพที่ 3 กระบวนการล้างระบบอุลตร้าโซนิค

ภาพที่ 4 การชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD

กระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD

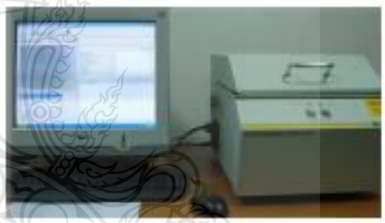
1. นำชิ้นงานทดสอบมาทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำยาอาซิโตน ด้วยกระบวนการล้างระบบอุลตร้าโซนิค โดยล้างในถังน้ำยาเคมีระบบอุลตร้าโซนิค 2 ขั้นตอน ขั้นตอนละ 4 นาที ที่อุณหภูมิน้ำยาล้าง 60°C ต่อมาล้างในน้ำสะอาด Reverse Osmosis (RO) 3 ขั้นตอน ขั้นตอนละ 1 นาที เป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน (N_2) อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลาประมาณ 15 นาที

2. ชุบเคลือบผิวด้วยวิธีการ PVD ด้วยเครื่อง ยี่ห้อ SUZER METAPLAS IONON รุ่น MZR 303 ชนิดสารเคลือบไทเทเนียมไนไตร (TiN) และไทเทเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN) ความหนาผิวเคลือบประมาณ 3 ไมครอน อุณหภูมิประมาณ 400°C

3. ปัดเงาผิวหน้าชิ้นงานหลังการชุบเคลือบผิว ด้วยล้อแปรงพลาสติกเคลือบด้วยสารขัด Aluminum Oxide เพื่อขจัดคราบสกปรก

4. วัดความหยาบผิวเคลือบ (หลังชุบเคลือบผิว) แล้วทดสอบความแข็งของผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Miccro hardness) โดยทำการวัดค่า 5 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 6507-1 กำหนดแรงกดที่ 0.4903 N (HV 0.05)

ภาพที่ 5 การทดสอบความแข็งของผิวเคลือบ

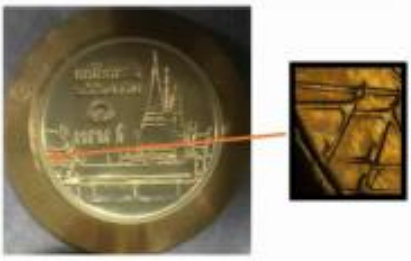


ภาพที่ 6 การวัดความหนาของผิวเคลือบ

5. หลังจากกระบวนการชุบเคลือบผิวแบบ PVD แล้วนำชิ้นทดสอบวัดความหนาของผิวเคลือบก่อนนำแม่พิมพ์ไปตีตราเหรียญกษาปณ์ ด้วยเครื่องวัดความหนาผิวเคลือบแบบเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นซ์

6. นำแม่พิมพ์ทดลองไปสู่กระบวนการผลิตเหรียญสำเร็จ โดยใช้เครื่องปั๊มเหรียญ ยี่ห้อ GRABANER ที่ความเร็ว 800 เหรียญต่อนาที แรงกด 350 กิโลนิวตัน ใช้เหรียญตัวเปล่าชนิดราคา 1 บาท ตีตราด้านหัว–ก้อย พร้อมกับขึ้นขอบเฟืองในครั้งเดียว การตรวจสอบคุณภาพเหรียญสำเร็จทุก ๆ 5 นาที หรือประมาณ 4,000 เหรียญ โดยจะสุ่มหยิบเหรียญที่ถูกกักอยู่บนรางก่อนปล่อยลงถังบรรจุและมีฝ่ายตรวจสอบคุณภาพชักสุ่มตัวอย่างเหรียญสำเร็จที่อยู่ในถังเก็บ

ภาพที่ 7 การผลิตเหรียญสำเร็จ



ภาพที่ 8 ความหนาของผิวเคลือบหมดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมพื้นผิวด้วยผงขัดเพชรที่มีขนาดต่างกันก่อนและหลังการเคลือบผิว มีค่าความเรียบผิว Ra ที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2 พบว่าสารเคลือบผิว TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน มีความเรียบผิวที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของค่าความเรียบผิว พบว่าค่าความหยาบผิวที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพียงเล็กน้อย ในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างของความเรียบผิวต่างกันเล็กน้อยคืออยู่ระหว่าง 0.0001-0.0008 ไมโครเมตร

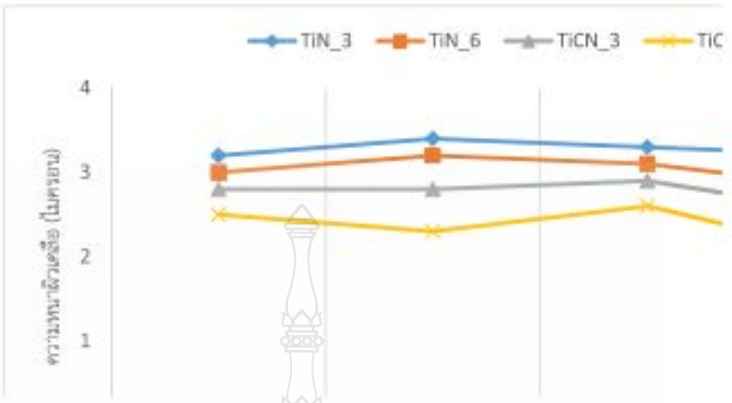
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความหยาบ (Ra) พื้นผิวก่อนเคลือบและหลังเคลือบ PVD ตามขนาดการขัดผงเพชร

สารเคลือบผิวและขนาดผงขัดเพชร (ไมครอน)	ก่อนเคลือบผิว (ไมโครเมตร)	หลังเคลือบผิว (ไมโครเมตร)
TiN 3	0.038	0.041
TiCN 3	0.040	0.046
TiN 6	0.043	0.049
TiCN 6	0.045	0.047

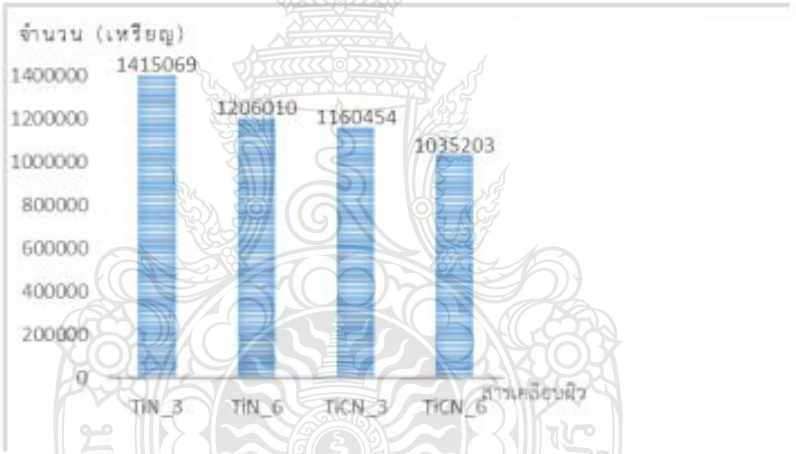
ตารางที่ 3 ความแข็งของผิวเคลือบ PVD

สารเคลือบผิวและขนาดผงขัดเพชร (ไมครอน)	ความแข็งของผิวเคลือบ (HV)
TiN 3	2641
TiCN 3	3145
TiN 6	2447
TiCN 6	3057

ความแข็งของผิวสารเคลือบ TiCN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน มีค่าความแข็งมากที่สุด ดังตารางที่ 3 เมื่อนำไปผลิตเหรียญสำเร็จชนิดราคา 1 บาท สารเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน ได้จำนวน 1.4 ล้านเหรียญต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ เป็นปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นสารเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 ไมครอน ดังภาพที่ 10 พบว่าสารเคลือบ TiCN มีค่าความแข็งของผิวเคลือบที่ค่อนข้างสูงแต่จะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะต่ำ ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอจึงไม่ดี จะเห็นได้จากความหนาของผิวเคลือบเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ จะลดลงมากกว่าสารเคลือบ TiN ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบความหนาของผิวเคลือบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์สำเร็จ



ภาพที่ 10 จำนวนเหรียญสำเร็จรูปต่อแม่พิมพ์ 1 คู่

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ด้วยกระบวนการชุบเคลือบผิว PVD บนวัสดุแม่พิมพ์เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นยี่ห้อ Bohler เกรด K-490 โดยศึกษาการมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานและการสึกหรอของผิวเคลือบ โดยการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ สารเคลือบผิวชนิดไทเทเนียมไนไตร (TiN) และไทเทเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN) ผงขัดเพชรขนาด 3 และ 6 ไมครอน จากผลการทดลองพบว่า สารผิวเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน เมื่อนำไปผลิตเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาท ได้จำนวน 1.4 ล้านเหรียญต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ เป็นปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นสารผิวเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 6 ไมครอน และเมื่อพิจารณาผลจากการทดลอง พบว่าสารเคลือบ TiCN มีค่าความแข็งของผิวเคลือบที่ค่อนข้างสูงแต่จะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะต่ำ ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอจึงไม่ดี (L.W. Ma และคณะ, 2010) ซึ่งความหนาของผิวเคลือบเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์แล้ว จะมีแนวโน้มลดลงมากกว่าสารเคลือบ TiN ในจำนวนเหรียญสำเร็จที่เท่ากัน การเตรียมพื้นผิวด้วยการขัดผงเพชรที่มีขนาดต่างกันก่อน

และหลังการเคลือบผิว พบว่าสารเคลือบผิว TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน มีความเรียบผิวที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นสารเคลือบ TiCN ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน ไมครอน เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่าค่าความหยาบผิวที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (ปกรณ์ ชุมรุม, 2552) ในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างของความเรียบผิวต่างกันเล็กน้อย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ด้วยวัสดุเคลือบผิวอื่น ๆ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และช่วยลดต้นทุนในการผลิตแม่พิมพ์

2. ควรศึกษาการลดต้นทุนในการผลิตควรพิจารณาวัสดุแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ที่มีราคาต่อหน่วยต่ำกว่ามาเป็นแนวทางเลือกในการผลิต

เอกสารอ้างอิง

ธีระยุทธ วงศ์สมานมณี. (2555). **การกำหนดปัจจัยการชุบเคลือบผิว PVD บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาท เพื่อลดต้นทุนการผลิต.** (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

ปกรณ์ ชุมรุม. (2559). **การประยุกต์ใช้การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอในแม่พิมพ์ตัด.** วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 12 (1), 1-15.

วรวิทย์ สงวนพันธ์. (2554). **การเพิ่มอายุการใช้งานของดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาทใหม่.** (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

Bohler, (2014). **Introducing K490.** https://www.bohler-edelstahl.com/media/productdb/downloads/K490DE.pdf

L.W. Ma, J.M. Cairney and M.J. Haffman, "P.R. Munroe, Effect of coating thickness on the deformation mechanisms in PVD TiN-coated steel," **Surface & Coatings Technology 204,** 2010, pp. 1764-1773.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพุฒิธร เขตเจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	13 กุมภาพันธ์ 2515
ที่อยู่	13/1 ม.2 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร เมื่อ พ.ศ. 2555
ประวัติการทำงาน	นายช่างไฟฟ้า ระดับชำนาญงาน สำนักกษาปณ์ กรมธนารักษ์ กระทรวงการคลัง พ.ศ.2537 – ปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	0927-4719-51