

## การสร้างแม่พิมพ์ฉีดด้วยวิธีชุบพอกด้วยไฟฟ้า Injection Mould Making by Electroforming Method

ชาลี ตระการกุล<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

ในการสร้างแม่พิมพ์ฉีด ส่วนที่สำคัญคือการสร้างส่วนเบ้าและส่วนคอร์ให้ได้ขนาด และรูปร่างที่ต้องการ ปัญหาส่วนใหญ่จะเป็นเทคนิคและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปส่วนเบ้าและส่วนคอร์ของแม่พิมพ์ฉีดที่มีรูปร่าง ขนาด ความละเอียดสูง และต้องการลดขั้นตอนในการผลิต การทำผิวสำเร็จในขั้นสุดท้าย ซึ่งกรรมวิธีการชุบพอกด้วยไฟฟ้า-เคมี เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดขั้นตอนในการทำแม่พิมพ์ฉีดลงได้

ในการดำเนินงาน จะเริ่มต้นจากการทำต้นแบบที่เป็นพลาสติกให้เป็นสื่อไฟฟ้า จากนั้นนำไปทำการชุบพอกนิเกิลให้มีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แล้วนำไปเทหล่อเสริมความแข็งแรงด้วยสังกะสีจนได้ความหนาเพียงพอ จากนั้นจึงนำไปปาดผิวออกจนได้ขนาดรูปร่างภายนอกตามที่กำหนด และนำไปยึดประกอบกับแม่พิมพ์ฉีดที่เตรียมไว้

ผลที่ได้จากการนำแม่พิมพ์ฉีดที่สร้างขึ้น ไปทดลองฉีด ปรากฏว่าได้ชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างเหมือนต้นแบบทุกประการ ส่วนผิวที่ต้องการความมันเงา จำเป็นต้องขัดเงาอีกครั้งด้วยครีมเพชร

**คำสำคัญ :** การชุบพอกด้วยไฟฟ้า, แม่พิมพ์ฉีด, ส่วนเบ้า, ส่วนคอร์

### Abstract

The dimensions and profile of the cavity and core are the most importance factor in injection molds making. The problems are arisen when forming cavity and core of injection molds required profile and dimensions with high accuracy and cost reduction to the mold making processes and final surface finish. Electroplating is one of mold making processes and can be reduced the difficulty of mold making process.

In this process, the plastic product is activated to be an electric conductor. Then it is converted to the cavity and core by electroplated process with Nickel chloride and Nickel Sulfamate until it reaches a thickness about 2-3 millimeter. After that it is backed up by Zinc casting method to strengthen the core and cavity. It's then machined to the specified dimensions and the plastic injection mold is constructed.

After bring the mold to try-out on the injection molding machine, the result shows that the dimension and the shape of the molded parts are similar to the master part. But for surface that require mirror image, the core and cavity should be repolished with diamond compound.

**Keywords :** electroforming, injection mould, cavity, core

---

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

## 1. บทนำ

การผลิตสินค้าด้วยกรรมวิธีการฉีด ด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (injection molding machine) เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ประเด็นสำคัญในการผลิตสินค้าที่สำคัญ คือ จะต้องส่งสินค้าให้ทันตามกำหนดเวลา มีคุณภาพสูงและราคาที่สามารถแข่งขันได้ ปัญหาสำคัญของการผลิตคือ การจัดท่าหรือการจัดสร้างแม่พิมพ์ฉีด (injection molds) เพื่อนำไปใช้ในการผลิตสินค้านั้น ส่วนหนึ่งจะได้จากการนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นผลให้ประเทศไทยต้องขาดดุลการค้าปีละหลายหมื่นล้านบาท อีกทั้งยังทำให้ราคาค่าต้นทุนของสินค้าสูงขึ้นด้วย ส่วนอีกทางหนึ่งนั้น จะได้จากผู้ผลิตแม่พิมพ์ภายในประเทศ ปัญหาของผู้ผลิตแม่พิมพ์ส่วนใหญ่ จะมีขีดจำกัดในการเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตแม่พิมพ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คุณภาพและราคาสามารถแข่งขันได้ ถึงแม้ว่าจะมีเครื่องมือกลที่ทันสมัย เช่น เครื่องมือกลที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ได้ก็ตาม ปัญหาสำคัญของการผลิตแม่พิมพ์ที่สรุปได้คือ ระยะเวลาในการผลิตแม่พิมพ์ และคุณภาพของแม่พิมพ์ที่ยังไม่สามารถรับประกันได้ อีกทั้งราคาแม่พิมพ์ที่ยังไม่สามารถแข่งขันได้

การแก้ไขปัญหานี้จะสามารถทำได้ โดยการเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตแม่พิมพ์ ให้เหมาะสมกับคุณภาพ และปริมาณของชิ้นงานที่ต้องการผลิต ซึ่งจะเป็นผลให้ได้แม่พิมพ์ที่มีคุณภาพเหมาะสม มีราคาแม่พิมพ์ที่ถูก ทำให้สามารถผลิตสินค้าในราคาที่สามารถแข่งขันกับตลาดโลกได้

การสร้างแม่พิมพ์พลาสติกในปัจจุบัน มีการใช้เทคนิควิธีการสร้างต่าง ๆ กันหรือใช้เทคนิคหลาย ๆ วิธีร่วมกันในการสร้างแม่พิมพ์ การพิจารณาเลือกใช้เทคนิคการตัดเฉือนที่มีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของรูปทรงส่วนเบ้า (cavity) หรือส่วนคอร์ (core) และคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการสร้าง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการสร้างแม่พิมพ์ฉีดด้วยวิธีชุบพอกด้วยไฟฟ้า โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างเป็นไฟท์ทิมสสะท้อนแสงเป็นต้นแบบ สำหรับการชุบพอกด้วยนิกเกิล และนำไปประกอบกับชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก และทดลองฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ ENGEL รุ่น ES 200/50 HL ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 30 มิลลิเมตร กับเม็ดพลาสติก PS (polystyrene) ของบริษัท Siam Polystyrene Co.,Ltd.

## 2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการชุบพอกโลหะด้วยไฟฟ้า

กรรมวิธีการชุบพอกโลหะด้วยไฟฟ้า คือ กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนด้วยการชุบพอกผิวโลหะลงบนผิวแม่แบบด้วยไฟฟ้าเคมี โดยอาศัยหลักการของอิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) แล้วแยกเอาแม่แบบออกจากเนื้อโลหะชุบ ชิ้นงานที่ได้จะมีรูปร่างเหมือนกับแม่แบบ

กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) เป็นกฎที่สำคัญสำหรับงานชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้

1. ปริมาณของธาตุ ที่ถูกแยกออกมาจากขั้ว anode หรือ cathode ในขณะที่แยกธาตุด้วยไฟฟ้า จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านน้ำยานั้น กล่าวคือ

$$S = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

เมื่อ  $S$  คือ ความเร็วในการชุบ (กรัมต่อชั่วโมง)

$Q$  คือ น้ำหนักโลหะที่มากเกาะทางทฤษฎี (กรัม)

$T$  คือ ระยะเวลาใช้ชุบ (ชั่วโมง)

$$Q = E \times I \times T \quad (2)$$

เมื่อ  $E$  คือ จำนวนกรัมสมมูล (กรัม/แอมแปร์-ชั่วโมง)

$I$  คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

2. ปริมาณของธาตุต่างชนิดกัน ที่ถูกแยกด้วยปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เท่า ๆ กัน จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับ Equivalent weight ของธาตุนั้น ๆ

$$\text{ดังนั้น} \quad E = \frac{W \times 1000}{26804 \times V} \quad (3)$$

เมื่อ  $W$  คือ น้ำหนักอะตอม (กรัม)

$V$  คือ วาเลน

## 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในกระบวนการชุบพอกโลหะด้วยไฟฟ้าเพื่อสร้างส่วนเบ้าและส่วนคอร์ของแม่พิมพ์ฉีด ยังมีตัวแปรสำคัญที่จะต้องควบคุมในขณะทำการชุบพอกดังนี้

### 3.1 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เป็นเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) สามารถปรับปริมาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์) ให้มากหรือน้อยได้ตามต้องการ

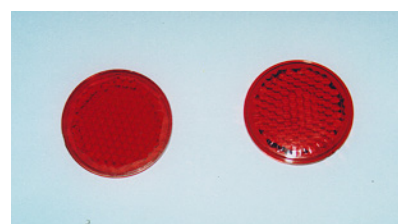
3.1.2 ถังชุบ ที่ใช้ในการทดลอง จะใช้ถัง PVC ขนาด 25x30x25 เซนติเมตร ซึ่งจะมีที่สำหรับแขวนราวเหล็ก และใส่ฮีตเตอร์

3.1.3 อุปกรณ์ให้ความร้อน สำหรับควบคุมอุณหภูมิในขณะทำการชุบ สามารถปรับให้อุณหภูมิสูงหรือต่ำได้ ตามความเหมาะสม ของน้ำยาชุบชนิดต่าง ๆ

3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด สำหรับใช้ในการชั่งสารเคมีที่ใช้ในการชุบ

3.1.5 นิเกิลแผ่น ซึ่งใช้ในการทำการทดลอง และไม่จำเป็นต้องใช้ตะกั่วดีเตเนียม

3.1.6 ชิ้นงานต้นแบบ ในการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างฝาดรอบไฟท์ทิมสสะท้อนแสงเป็นต้นแบบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานต้นแบบ

### 3.2 การดำเนินการวิจัย

**3.2.1 การเตรียมชิ้นงาน** ก่อนทำการชุบ (pretreatment) จะต้องเตรียมผิวพลาสติกให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะเปลี่ยนเป็นสื่อไฟฟ้า โดยการล้างไขมัน, น้ำมันและสิ่งสกปรกอื่นๆ ออกให้หมดด้วยสารละลายพวกเกลือโซเดียม

**3.2.2 การกระตุ้นผิว** เป็นการทำให้พลาสติกให้เป็นสื่อไฟฟ้า (electroless plating) โดยการเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะเพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นสื่อไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในการทดลองนี้จะใช้สารเคมีทำผิวแม่แบบพลาสติกให้เป็นสื่อไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2 การทำผิวเซินซิไตซิงส์

**1 เซินซิไตซิงส์ (sensitizing)** เป็นขั้นตอนสร้างชั้นดีบุกบนผิวของพลาสติก หรือที่เรียกว่าเกิด Organo-tin Compound เป็นชั้นอยู่บนผิวพลาสติก เพื่อเป็นตัวเชื่อมระหว่างพลาสติกกับโลหะ น้ำยาเซินซิไตซิงส์ที่ใช้เป็นส่วนผสมของสแตนเนสคลอไรด์ กับกรดเกลือ ดังนี้

- สแตนเนสคลอไรด์ Stannous Chloride, ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 10 g/l
- กรดเกลือเข้มข้น Hydrochloric Acid, ( $\text{HCl}$  38%) 15 cc/l
- น้ำยาล้างเครื่องแก้ว Teepole (wetting agent) 10 cc/l

วิธีการผสมน้ำยา Sensitizing

- 1) นำสแตนเนสคลอไรด์ ตักใส่บีกเกอร์ 60 g เพื่อชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 g
- 2) ตวงกรดเกลือเข้มข้น โดยใช้เข็มดูดน้ำยาปริมาณ 15 cc
- 3) ตวงน้ำยาเครื่องแก้ว ลงในหลอดวัดปริมาณเท่ากับ 10 cc
- 4) นำน้ำกลั่นตวงใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ปริมาณ 700 cc แล้วนำน้ำยาที่เตรียมไว้ในข้อ 1), 2) และ 3) เทลงในบีกเกอร์ใส่น้ำกลั่น แล้วกวนให้เข้ากัน
- 5) เติมน้ำกลั่นจนถึงระดับ 1 ลิตร



รูปที่ 3 การทำผิวแอคติเวตติ้ง

**2 แอคติเวตติ้ง (activating)** เป็นกรรมวิธีที่เร่งผิวให้ไวต่อปฏิกิริยาทางเคมี สำหรับให้โลหะชุบมาเกาะบนผิวพลาสติก โดยการฉีดน้ำยาสูตร A และสูตร B เคลือบผิวชิ้นงานพร้อมๆ กัน สูตรผสมน้ำยามีดังนี้

**น้ำยาสูตร A** Silver Nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) 24g/l  
Ammonium Hydroxide ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )

การผสมน้ำยาสูตร A

- 1) เทน้ำกลั่นใส่ลงในบีกเกอร์ 1 ลิตร ปริมาณ 700 cc
- 2) เติม Silver Nitrate ลงในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำกลั่นในปริมาณ 24 g และกวนให้เข้ากัน
- 3) เติมสารอามโมเนียมไฮดรอกไซด์ ลงไปในบีกเกอร์ ครึ่งละ 5 หยด แล้วกวน สังเกตตะกอนสีขุ่นจะเริ่มจางลง ให้เติมน้ำให้ใกล้เคียง 1 ลิตร แล้วหยดน้ำยาจนกว่าสีขุ่นจะจางลง

**น้ำยาสูตร B** Formaldehyde (40%) 7.5 cc/l  
Triethanolamine 99% ( $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}$ ) 6.6 cc/l

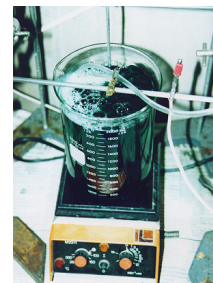
การผสมน้ำยาสูตร B

- 1) เตรียมน้ำกลั่นใส่บีกเกอร์ 1 ลิตร ปริมาณ 700 cc
- 2) เตรียม Formadehyde โดยเทไว้ในบีกเกอร์ 60 cc ปริมาณ 7.5 cc/l
- 3) เตรียม Triethanolamine ปริมาณ 6.6 cc/l
- 4) เทสารเคมีในข้อ 1) 2) และ 3) ลงในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำกลั่นไว้ และทำการกวนน้ำยาให้เข้ากัน



รูปที่ 4 ผิวที่ได้หลังจากการฉีดแอคติเวตติ้ง

### 3.2.3 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 5 การชุบเคลือบผิวนิเกิลด้วยไฟฟ้า

**1. น้ำยาชุบ** ในการวิจัยนี้เลือกใช้น้ำยาชุบบางชนิด เพราะในการชุบจะเกิดความเค็ม และความเครียดภายในต่ำ มีอัตราการพอกเร็ว และความสามารถในการชุบได้ดีกว่า สภาวะของการชุบด้วยน้ำยาชุบนิกเกิลบางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะการทำงานสำหรับน้ำยาชุบนิกเกิลแบบซัลเฟม

|                                            |                            |
|--------------------------------------------|----------------------------|
| ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า<br>สูงสุดที่ 25°C | 15 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร |
| ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า<br>สูงสุดที่ 70°C | 32 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร |
| พี.เอช (pH)                                | 3.0 - 5.0                  |
| อุณหภูมิที่ชุบ                             | 25-70° C                   |

การชุบนิกเกิลเงา และสภาวะการทำงาน



รูปที่ 6 ผิวที่ได้จากการชุบ Woods Nickel Strike

สูตรผสมน้ำยาชุบนิกเกิล Woods Nickel Strike นิกเกิลคลอไรด์  
(ผสม 1 ลิตร)

|                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| Nickel Chloride          | 300 g/l                   |
| Boric Acid               | 30 g/l                    |
| Anti-pit                 | 10 c.c/l                  |
| Hydrochloric Acid        | as need                   |
| <u>สภาวะการทำงาน</u>     |                           |
| อุณหภูมิ                 | 46-60° C                  |
| pH                       | 1.5-4.0                   |
| ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า | 25-100 A/ ft <sup>2</sup> |
| การกวนน้ำยา              | 20-30 นาที                |
| Sulfamate Sulfamate      |                           |
| Nickel sulfamate         | 450 g/l                   |
| Boric Acid               | 38 g/l                    |
| Anti-pit                 | 10 c.c/l                  |
| Sulfuric Acid            | as needs / pH residing    |

สภาวะการทำงาน

|                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| อุณหภูมิ                 | 38-60° C                   |
| pH                       | 3.5-4.5                    |
| ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า | 25-100 A / ft <sup>2</sup> |
| การกวนน้ำยา              | 20-30 นาที                 |

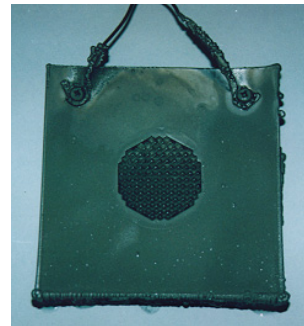
1. เติมน้ำกลั่น 700 cc เติมนิกเกิล 1 ลิตร
2. ชั่ง Boric Acid 30 g ใส่ในบีกเกอร์น้ำกลั่น
3. ตวง Anti-pit ให้ได้ 10 cc ใส่ในบีกเกอร์น้ำกลั่น

4. ทำการกวนจนน้ำยาเข้ากัน แล้วทำการวัดค่า pH ตรวจสอบว่าอยู่ในระดับควบคุมหรือไม่

5. เติมน้ำ Hydrochloric Acid เมื่อค่า pH ไม่ได้ตามต้องการ (ใช้กระดาษลิตมัสตรวจสอบ) โดยหยดสารเคมีครั้งละ 5 หยดจนได้ค่า pH ตามต้องการ

การผสมนิกเกิล ซัลเฟม (อัตราส่วนผสม 1 ลิตร)

1. เติมน้ำกลั่นใส่ลงในบีกเกอร์ 1 ลิตร ปริมาณ 700 cc
2. ชั่งนิกเกิลซัลเฟม ปริมาตร 450 g
3. ชั่ง Boric Acid ให้ได้ 38 g
4. ตวงน้ำยาตามลงในหลอดวัดปริมาณ 10 cm<sup>3</sup>
5. นำสารเคมีในข้อ 2,3 และ 4 เติมนิกเกิลที่บรรจุน้ำกลั่น แล้วทำการกวนน้ำยาให้เข้ากัน จากนั้นใช้กระดาษลิตมัส ตรวจสอบค่า pH ถ้าไม่ได้ตามต้องการให้ทำการเติมน้ำยา Sulfuric Acid ครั้งละ 5 cc จนได้ค่า pH ตามต้องการ



รูปที่ 7 ผิวที่ได้จากการชุบ Sulfamate

2 การกรองน้ำยา ควรกรองน้ำยาตลอดเวลาที่มีการชุบ และทำความสะอาดน้ำยาเป็นครั้งคราว โดยใช้ activated carbon เติมน้ำยาไปลงในน้ำยาแล้วกรองออก โดยทั่วไปแล้วนิยมน้ำยาที่มีความเข้มข้นมาก นิกเกิลคลอไรด์จะให้ผลดีสำหรับการชุบนิกเกิลเงา เช่นเดียวกับคลอไรด์ที่ใช้เติมลงไปเพื่อช่วยในการละลายของ Anodic Dissolution (การละลายขั้วบวก) ควรมีการทดสอบค่า pH เป็นประจำทุกวันที่มีการชุบ เพราะน้ำยาชุบจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามปกติจะใช้ระหว่าง 3-5 A/dm<sup>2</sup> การผสมน้ำยาชุบ ถึงน้ำยาชุบนิกเกิลควรเป็นถึงเหล็กบูยงแข็งหรือพีวีซี ก่อนอื่นต้องล้างถังด้วยกรดเจือจางร้อนๆ ก่อนแล้วล้างด้วยน้ำเย็นให้สะอาด เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 2/3 ของความจุที่ต้องการ อุ่นน้ำกลั่นให้ร้อนถึง 60°C เพราะสารเคมีจะละลายได้ดีที่อุณหภูมินี้ แล้วเติมกรดบอริกลงไปทีละน้อย ทำการกวนให้ละลายจนทั่ว แล้วเติมนิกเกิล และ NiCl<sub>2</sub> ลงไปอย่างช้าๆ กวนให้ละลายจนหมดแล้วจึงเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดที่กำหนดไว้ ก่อนที่จะเติมน้ำยาเงาลงไปควรทำความสะอาดน้ำยาให้สะอาดเสียก่อนคือ

1. ตรวจสอบค่า pH ถ้าค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ให้เติมนิกเกิลไฮดรอกไซด์ลงไปจนได้ค่า pH 4.5 มากกว่าเล็กน้อย

2. เติมน้ำโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ละลายน้ำไอโซตราส่วน 0.125 กรัม/ลิตร เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำยาหรือจะใช้  $H_2O_2$  แทนในอัตราส่วน 3 cc/l

3. นำตัวล่อ (ข้าวบวก) ลงแขวนในถัง เว้นระยะห่างพอสมควรแล้วแขวนเหล็กแผ่นลูกฟูกเป็นข้าวลบ ปลอ่ยกระแสไฟฟ้า 20 A/ft<sup>2</sup> (2A/dm<sup>2</sup>) ประมาณ 2-3 นาที เพื่อชุบเหล็กแผ่นด้วยนิเกิลแล้วลดกระแสไฟฟ้าลงเหลือ 2 A/ft<sup>2</sup> ปลอ่ยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงพร้อมทั้งกวนตลอดเวลา สารเจือปนต่าง ๆ เช่น ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว จะติดอยู่ตามซอก ของแผ่นลูกฟูกเห็นเป็นสีดำ ๆ

4. กรองน้ำยาผ่านผงถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำยาโดยใช้ผงถ่าน 10 กรัมต่อน้ำยา 100 ลิตร และใช้สารช่วยในการกรองเท่ากับจำนวนถ่านที่ใช้

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดหาชิ้นงานที่จะนำมาชุบ (พลาสติกขนาด 100x100x20 mm)
2. นำมาขัดกับเรซินที่เรียบและราบด้วยกาว
3. นำชิ้นงานที่เตรียมเสร็จมาล้างทำความสะอาดคราบไขมันต่าง ๆ
4. นำชิ้นงานที่ล้างเสร็จ มาฉีดด้วยน้ำยา Sensitizing เพื่อเป็นการทำผิวพลาสติกให้ไวต่อปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดชั้นของดีบุกชั้นที่ผิวพลาสติก
5. นำชิ้นงานที่ได้ไปล้างด้วยน้ำสะอาด
6. นำชิ้นงานที่ได้ มาฉีดเคลือบด้วยน้ำยา activating เพื่อเตรียมผิวให้โลหะมาเกาะบนพลาสติก โดยการนำน้ำยาที่เตรียมไว้ทั้งสองสูตรมาทำการฉีดพร้อม ๆ กัน ไปที่ชิ้นงานจนชิ้นงานเกิดฟิล์ม เป็นสีขาวอมเหลือง
7. ล้างชิ้นงานที่ฉีดเสร็จแล้วด้วยน้ำสะอาด
8. นำชิ้นงานมาชุบนิกเกิลคลอไรด์ เพื่อรองพื้นใช้เวลา 10-15 นาที กระแส 1 A
9. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำสะอาด
10. นำชิ้นงานที่ได้มาชุบนิกเกิลซัลฟาเมต ที่กระแส 1 แอมแปร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงเพิ่มกระแสเป็น 4 แอมแปร์ เวลา 120 ชั่วโมง
11. นำชิ้นงานมาล้างด้วยน้ำสะอาด
12. เตรียมบล็อกที่จะใช้หล่อ
13. นำสังกะสีมาหลอมในเบ้าหลอม
14. เทลงแบบ
15. ถอดออกจากแบบ
16. นำชิ้นงานที่ได้ไปตกแต่งให้ได้ขนาด

### 3.4 การเสริมความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน

วิธีเพิ่มความแข็งแรงให้กับส่วนเท้าและส่วนคอร์ที่ผ่านกระบวนการชุบพอกด้วยไฟฟ้า-เคมีมานั้น มีอยู่ด้วยกัน 5 วิธี คือ

1. การใช้โลหะอัลลอยส์หล่อทับหลังโลหะชุบพอก ซึ่งเหมาะสมกับชิ้นส่วนที่มีผนังบาง และรูปร่างซับซ้อน อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของโลหะอัลลอยส์ไม่ควรเกิน 268 °C เพราะอาจทำให้ชิ้นส่วนโค้งงอได้

2. การพ่นพอกโลหะ วัสดุที่ใช้ในงานนี้ก็คือ อะลูมิเนียม ซิลิโคน ทองแดง โดยการใช้ความร้อนจากก๊าซเชื้อเพลิง/ออกซิเจน การเชื่อมด้วยพลาสมา

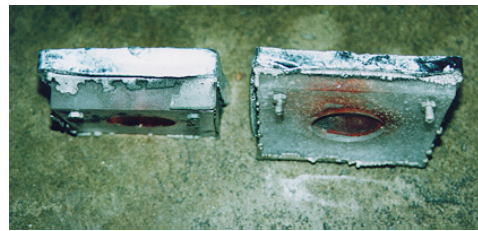
3. การชุบทองแดงเพิ่มความหนา ด้วยกรรมวิธีชุบพอกด้วยทองแดงกรด และใช้กระแสชุบบางพัลส์ อัตราการชุบ 100  $\mu\text{m/hr}$  แต่วิธีนี้อาจเสียเวลานาน

4. ใช้ไอพอกซีเรซิน วิธีนี้อาจใช้ไฟเบอร์กลาสเสริมแรงหรือไม่ก็ได้ แต่ต้องยอมรับข้อหนึ่งว่า เมื่อเรซินเกิดการแข็งตัว จะเกิดการบิดงอเล็กน้อย และทำให้ชิ้นงานอยู่ภายใต้ความเครียด ซึ่งทำให้งานสูญเสียความแม่นยำ

5. สปาร์ค อีริค สติล เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการชุบชิ้นงานด้วยทองแดงบาง ๆ แล้วใช้แทนอลิเกิลโคโรตเพื่อกัดชิ้นงานเหล็กให้เป็นผิวตามที่ต้องการ สิ่งที่สำคัญมากสำหรับวิธีนี้คือ ชิ้นงานที่ได้ต้องไม่มีรอยแห้ว ดังนั้นภายหลังจากการชุบต้องเอารอยบุ๋มจากการชุบออกให้หมด

ในการวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้วิธีการเสริมความแข็งแรงส่วนเท้าและส่วนคอร์โดยการเทหล่อด้วยโลหะสังกะสี ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เตรียมวัสดุที่จะทำการหล่อ คือ สังกะสีและชิ้นงานทั้ง 4 ชิ้น
2. หลอมละลายสังกะสีในเตาหลอม
3. ทำเบ้าสำหรับเทน้ำโลหะ
4. ถอดกระสวน (โฟม) ออกจากหีบหล่อ
5. ประกอบหีบหล่อบน-ล่างเข้าด้วยกัน
6. เทน้ำโลหะ (สังกะสี) ลงในเบ้า ปลอ่ยให้เย็นตัว แล้วแกะออกจากหีบหล่อ



รูปที่ 8 ชิ้นงานที่หล่อเสร็จ

### 4. ผลการทดลอง

1. การชุบพอกชิ้นงานขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบที่เป็นทับทิมไฟพลาสติก เพื่อทำเป็นอินเลิร์ตส่วนเท้าและส่วนคอร์ของแม่พิมพ์ฉีดด้วยนิกเกิล พบว่าการเกาะยึดของนิกเกิลจะทำได้ดีเมื่อมีการเตรียมผิวให้หยาบเล็กน้อย โดยการขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ละเอียด ชิ้นแรกจะชุบด้วยน้ำยานิกเกิลคลอไรด์ ที่กระแสไม่เกิน 1 แอมแปร์ เป็นเวลา 15-20 นาที ต่อจากนั้นจึงชุบด้วยน้ำยาชุบนิกเกิลซัลฟาเมต ด้วยกระแส 1 แอมแปร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเพิ่มกระแสเป็น 4 แอมแปร์ เวลาในการชุบ 120 ชั่วโมง จะให้ความหนาของนิกเกิลประมาณ 1 มิลลิเมตร

2. ในการทดลองฉีดชิ้นงานด้วยพลาสติกชนิดโพลีสไตรีน ด้วยเงื่อนไข อุณหภูมิในการฉีดที่ 220 องศาเซลเซียส แรงดันแม่พิมพ์ 20 ตัน อุณหภูมิแม่พิมพ์ 50 องศา เวลาในการฉีด 5 วินาทีต่อชิ้น ชิ้นงานที่ได้มีขนาดและคุณภาพผิวเหมือนกับต้นแบบจริงทุกประการ

3. การตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน จากการตรวจสอบภายนอกด้วยสายตา ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะและรูปร่างเหมือนชิ้นงานต้นแบบทุกประการ แต่จากการตรวจวัดขนาด พบว่า ขนาดชิ้นงานที่ได้มีขนาดเล็กกว่าชิ้นงานต้นแบบประมาณเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับคุณสมบัติการหดตัวของพลาสติก

## 5. สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จากการทดลองชุบพอกชิ้นรูปส่วนคอร์ของแม่พิมพ์ฉีดโฟทัมที่มีสีท่อนแสง และนำแม่พิมพ์ฉีดไปทดลองฉีดกับเครื่องฉีด ENGEL โดยใช้พลาสติกชนิด PS ผลการทดลองได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัยทุกประการ

จากการวิจัยพอจะสรุปได้ว่า การสร้างแม่พิมพ์ฉีดโดยเฉพาะส่วนและส่วนคอร์ด้วยวิธีชุบพอกด้วยไฟฟ้า นั้น จะเหมาะสำหรับงานสร้างแม่พิมพ์ฉีดที่มีชิ้นงานต้นแบบอยู่แล้ว ซึ่งจะสามารถลดขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์โดยวิธีการตัดเฉือนขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลที่มีราคาแพงได้ และในระหว่างการชุบพอก เมื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้ว ไม่จำเป็นต้องใช้ช่างควบคุมตลอดเวลาที่มีการชุบพอก ทำให้ช่างสามารถไปจัดเตรียมหรือทำงานอื่นต่อไปได้

การชุบพอกชิ้นรูปส่วนเบ้าและส่วนคอร์ด้วยนิกเกิล ทำให้ได้ส่วนเบ้าและส่วนคอร์ที่แข็งแรง มีขนาดและรูปร่างตามต้นแบบทุกประการ และมีต้นทุนการผลิตที่น้อยกว่า ได้ผิวชุบที่มีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนได้ดี ส่งผลให้อายุของแม่พิมพ์ยาวนานขึ้น

การวิจัยในครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาในเบื้องต้นเท่านั้นและทดลองศึกษาจากตัวอย่างชิ้นงานแบบเดียว เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์และกระบวนการชุบพอกที่มีข้อมูลมากพอที่จะนำไปใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ในภาคอุตสาหกรรม จึงควรมีการวิจัยกับตัวอย่างชิ้นงานหลายๆ แบบและใช้น้ำยาชุบต่างๆ กันต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2537 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณในการให้ความสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างสูง และขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือที่ให้การสนับสนุนและอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่และเครื่องมือเครื่องจักรในการทำวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาลี ตระกูลกุล. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร : เอช-เอน การพิมพ์, 2533.
- [2] บรรเลง ศรีนิล. เทคโนโลยีพลาสติก. 7. กรุงเทพมหานคร : บริษัทดวงกมลสมัย จำกัด, 2534.
- [3] พิษิต เลี่ยมพิพัฒน์. ชุบทอง. กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์.
- [4] อนันต์ ทองมอญ. ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ภาพพิมพ์.
- [5] อนันต์ ทองมอญ. ชุบโครเมียม-ชุบทอง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ภาพพิมพ์.
- [6] Blum, W. and Hoga Boom, G.B. Electroplating and Electroforming. New York: McGraw-Hill Book Company, 1949.
- [7] Lowenheim, F.A. Electroplating. America: McGraw-Hill Book Company, 1978.
- [8] Peter Spiro. Electroforming. Great Britain: Robert Draper Ltd., 1968.