การศึกษาพัฒนาเครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง ด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า

A Study and Develop of Welding Pieces to Sterling Silver Jewelry with the Electric Arc System.

จักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง

Jakkrit Yimchang

ประเสริฐ ชุมปัญญา

Presert Chumpanya

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โครงการวิจัย : การศึกษาพัฒนาเครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง
ด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า

ผู้วิจัย : นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง,นายประเสริฐ ชุมปัญญา

บทคัดย่อ

ผลการดำเนินงานกรณีศึกษาการพัฒนาเครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง ด้วยระบบอาร์คไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า 500 แอมแปร์เพื่อเชื่อมซ่อมปิดรูพรุนตัวเรือนเครื่องประดับหลังการหล่อ เป็นไปตามวัตถุประสงค์สได้สามารถแก้ไขปัญหาเชื่อมซ่อมปิดรูพรุนหรือตามดชิ้นส่วนเครื่องประดับได้ เป็นทางเลือกในการซ่อมปิดชิ้นงานอีกหนึ่งทางเลือก จากประสิทธิภาพของอุปกรณ์เชื่อมอาร์คไฟฟ้าสามารถซ่อมแซมได้จริงในระดับหนึ่ง

จากผลการทดลองอุปกรณ์การเชื่อมประสานและซ่อมรูพรุนชิ้นส่วนเครื่องประดับนั้นด้วยกระแสแรงดันไฟฟ้า 500 แอมแปร์ ด้วยการสุ่มชิ้นงานตัวอย่างช่วงเวลาการอาร์ค จำนวน 4 ช่วงเวลา 5 วินาที 10วินาที 15วินาที และ20วินาที ผลการตรวจสอบชิ้นงานการอาร์คเชื่อมปิดรูพรุนหรือตามดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่เวลา 20 วินาที โดยมีชิ้นงานที่สมบูรณ์ 18 จุด สามารถปิดรูพรุนจำลองหรือตามดได้ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของดี 90 เปอร์เซนต์ จากผลการดำเนินงานของเครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนระบบอาร์คไฟฟ้าเพื่อเชื่อมซ่อมปิดรูพรุนหรือตามดชิ้นส่วนเครื่องประดับในการทำงานโดยรวมนั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ : ระบบอาร์คไฟฟ้า,รูพรุน,เงินสเตอร์ริง

Abstract

Case Study Development of Welding Machine for Sterling Silver Jewelry Parts With 500-amp electrical arc system for welding, closing, porous, jewelry after casting. The problem can be solved by welding, closing, porous or by the jewelry. It is an alternative to repairing the work piece. The efficiency of electrical arc welding equipment can be repaired to a certain extent.

Based on the results of the experiments, the welding and repairing porous porcelain parts were rated at 500 amperes by random sampling of 4 time slots, 5 seconds, 10 seconds, 15 seconds and 20 seconds. Examine the most appropriate porous or porous workpiece for 20 seconds, with 18 complete workpieces capable of sealing or milling. A good percentage of 90 percent of the performance of an electrical arc welding machine for welding, sealing, or cutting.

Keywords: electric arc system, pore, sterling silver

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และผู้อานวยการสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมถึง อาจารย์ประจำสาขาวิชา เทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทางานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้ทุนสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สาเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โลหะเงิน	4
2.2 นิยามศัพท์สำคัญ	4
2.3 แนวคิด	5
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.5 ทฤษฎีงานเชื่อม	16
2.6 โลหะเงิน	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานการวิจัย	26
3.1 บทนำ	26
3.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง	27
3.3 สรุปผล	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	33
4.1 ผลการดำเนินงาน	33
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าระดับสี	33
4.3 สรุปผล	37
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	38
5.1 บทนำ	38
5.2 สรุปผล	38
5.3 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	39

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 ตารางความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ 23
4.1 ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 5 วินาที 33
4.2 ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 10 วินาที 34
4.3 ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 15 วินาที 35
4.4 ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 20 วินาที 36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 การเชื่อมประสานและแนวประสาน:ภาพจาก SIAM STANLESS 4
รูปที่ 2.2 การผสมปูนหล่อ 6
รูปที่ 2.3 การอบเบ้าปูนหล่อ 7
รูปที่ 2.4 การจัดเรียงเบ้าปูนหล่อเข้าสู่เตาอบ 8
รูปที่ 2.5 แสดงอุณหภูมิที่ใช้การทำงานของเครื่องอบ 8
รูปที่ 2.6 แสดงอุณหภูมิมาตรฐานกระบอกหล่อ 10
รูปที่ 2.7 การติดต้นเทียนหล่อ 11
รูปที่ 2.8 วัสดุประสานงานเชื่อมภาพจาก: ที่มาครูบุญชู แพงบุตรดี 16
รูปที่ 2.9 การเชื่อมพาสมาภาพจาก : ที่มาSIAM PRODUCT 17
รูปที่ 2.10 บริเวณที่เกิดการเชื่อมภาพจาก : บริษัท TM 17
รูปที่ 2.11 การแสดงหน้าที่ของลวดเชื่อมภาพจาก : COATED ELECTRODE 18
รูปที่ 2.12 ความหนาและชนิดรอยต่อภาพจาก : GAS-WELDING 19
รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ในงานเชื่อมภาพจาก : GSTAR CAD 20
รูปที่ 2.14 การอาร์คบริเวณจุดส่วนปลายโลหะ 20
รูปที่ 2.15 กระแสไฟที่ถูกถ่ายออกมาทางปลายโลหะ 21
รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการทำโครงการ 26
รูปที่ 3.2 วงจรไฟฟ้าเครื่องเชื่อมประสานด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า 27
รูปที่ 3.3 เครื่องเชื่อมประสานด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า 28
รูปที่ 3.4 ต้นแบบ WAX และแบบปูน 28
รูปที่ 3.5 หลอมโลหะและการหล่อต้นแบบ 29
รูปที่ 3.6 ชิ้นงานทดลอง 29
รูปที่ 3.7 การดำเนินการเชื่อมประสานด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า500แอมแปร์ 30
รูปที่ 3.8 ลักษณะชิ้นงานทดสอบเชื่อมปิดรูพรุน 31
รูปที่ 3.9 การสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมที่แรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ร่วมกับน้ำประสาน 31
รูปที่ 3.10 ลักษณะการสุ่มตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมอาร์คด้วยน้ำประสานด้วยกล้องจุลทรรศน์ 33
รูปที่ 4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมที่มีชิ้นงานสมบรูณ์ 37

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่ถือว่ามีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศมากที่สุดสาขาหนึ่ง มูลค่าการส่งออกในแต่ละปีมีมูลค่าประมาณสามแสนล้านบาท และก่อให้เกิดการจ้างงานในตำแหน่งงานต่างๆ มากมาย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ทักษะฝีมือ ความประณีตในการผลิตค่อนข้างสูงและต้องใช้แรงงานในการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งเครื่องจักรไม่สามารถทดแทนได้ การประกอบการของอุตสาหกรรมสาขานี้ มีทั้งผู้ประกอบการ ที่ดำเนินการผลิตขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs.) รวมถึงผู้ประกอบการระดับครัวเรือน สำหรับในส่วนของผู้ประกอบการ SMEs. นั้น มีผู้ประกอบการอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ

ได้มีการประชุมร่วมกับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ได้ข้อสรุปว่าปัญหาสำคัญ (Major Problem) เกี่ยวกับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ได้แก่

1. ปัญหาด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ทั้งในรูปของโลหะมีค่าบริสุทธิ์ โลหะเจือสำเร็จรูปหรือที่เรียกว่าอัลลอยสำหรับผสมกับโลหะมีค่า และโลหะเจือที่ใช้สำหรับการผลิตเครื่องประดับเทียม (อาทิเช่น ทองคำเจือ เงินเจือ แพลทินัมเจือ ทองเหลือง โลหะสีขาว ดีบุก และตะกั่ว เป็นต้น) การศึกษาวิจัยและพัฒนาด้านวัตถุดิบนี้ควรที่จะมีการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตอัลลอยขึ้นมาใช้เองภายในประเทศและทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเริ่มทำการศึกษาวิจัยอิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของโลหะมีค่า (สมบัติทางกล ความต้านทานการหมอง การปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนและสมบัติทางด้านการหล่อขึ้นรูป)

2. ปัญหาด้านวัสดุเชื่อมประสาน เนื่องจากในขบวนการผลิตเครื่องประดับจะต้องมีการเชื่อมประสานเพื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องประดับเข้าด้วยกันไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการเชื่อมกระเปาะสำหรับฝังพลอยเข้ากับตัวเรือนของจี้ ต่างหู หรือแม้แต่ก้านแหวน และนอกจากนี้ยังรวมถึงการเชื่อมประสานเพื่อตกแต่งผิวชิ้นงานสำเร็จโดยการเชื่อมปิดรอยตำหนิหรือตามด และหรือรอยตำหนิจากการหดตัวของชิ้นงานจากขบวนการหล่อขึ้นรูป ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมประสานเหล่านี้จะต้องมีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าวัสดุที่ใช้เป็นตัวเรือนเครื่องประดับ แต่จะต้องมีปริมาณส่วนผสมของโลหะมีค่าผสมอยู่ตามปริมาณที่กำหนด ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้สำหรับการแบ่งชนิดของโลหะมีค่าเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ และนอกจากนี้สีของวัสดุเชื่อมประสานจะต้องมีสีใกล้เคียงกับวัสดุตัวเรือนให้มากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงความแตกต่างระหว่างสีของวัสดุตัวเรือนและวัสดุเชื่อมประสาน

3. ปัญหาด้านการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ เนื่องจากการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคนิคการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ยังมีผลงานการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ค่อนข้างน้อย

ไม่สามารถทำการศึกษาวิจัยได้ครอบคลุมสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นกับผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้ประกอบการที่เป็น SMEs. เช่น อัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซ LPG และออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อที่ทำการหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผา (Torch หรือ Burner) แบบสัมผัสบรรยากาศเปิดปกติ ตัวแปรของอุณหภูมิน้ำโลหะและแบบหล่อที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของบรรยากาศที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ และอิทธิพลของขนาดทางเดินน้ำโลหะที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ เป็นต้น

4. ปัญหาด้านการขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับด้วยวิธีการทางกล กล่าวคือ การขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับด้วยวิธีการทางกลนั้น เป็นเทคนิคการขึ้นรูปที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างรวดเร็วและผลิตได้ในปริมาณมากๆ ในลักษณะของ Mass Product ช่วยให้สามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง แต่สภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมเกิดจากขาดแคลนบุคลากร และองค์ความรู้ทางด้านการขึ้นรูปโลหะมีค่าด้วยวิธีการทางกล เช่น การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป องค์ความรู้ทางด้านพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโลหะมีค่าในระหว่างที่ดำเนินการผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการทางกล องค์ความรู้ทางด้านปัจจัยหรือสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป (เช่น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป ค่า Clearance ของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป สารหล่อลื่นที่ให้ประสิทธิภาพการหล่อลื่นสูงสุดสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการทางกล)

5. ปัญหาทางด้านวิกฤติเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นตลอดช่วงระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมาและต่อเนื่องจนถึงทุกวันนี้ และราคาของโลหะมีค่าต่างๆ ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ส่งผลให้พฤติกรรมการบริโภคสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจสินค้าเครื่องประดับที่มีราคาถูก แต่ยังคงต้องการเครื่องประดับที่ผลิตจากโลหะมีค่าต่างๆ เช่นเดิมโดยมีการลดปริมาณส่วนผสมของโลหะมีค่าลง และนอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคบางกลุ่มหันมาให้ความสนใจเครื่องประดับที่ผลิตจากสเตนเลสและทองเหลืองมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ผลิตมีความต้องการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตและวัสดุที่ใช้ในการผลิตเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของผู้บริโภค

จากปัญหาของภาคอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับในปัจจุบันการผลิตเครื่องประดับมีหลากหลายรูปแบบในกระบวนการผลิต กระบวนการหล่อ การขึ้นรูป การตกแต่ง ในกระบวนการผลิตชิ้นงานที่ละเอียดซับซ้อนมีส่วนทำให้บางครั้งเกิดพบข้อบกพร่องในการผลิตอยู่อย่างต่อเนื่อง การหล่อเครื่องประดับ เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องประดับเป็นอย่างมาก สามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวนมาก ๆ ได้ กระบวนการหล่อที่ไม่สมบูรณ์ยังส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดอยู่บ่อยครั้ง เช่นหล่อไม่สมบูรณ์ หล่อไม่เต็มอันเนื่องมาจากเกิดจากการไหลของน้ำโลหะไม่มีประสิทธิภาพรวมถึงเกิดเป็นรูพรุนหรือเรียกว่าตามด นับเป็นปัญหาจากการหล่อเป็นอันดับต้นๆ ซึ่งในปัจจุบันทางบริษัทใช้เครื่องเชื่อมเลเซอร์ ประโยชน์สำหรับการพัฒนาการเรียนการสอนในรูปแบบของการบูรณาการเรียนการสอนร่วมกับการวิจัยในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ โลหะวิทยาโลหะมีค่า งานหล่อขึ้นรูปและกระบวนการผลิตเครื่องประดับที่ทางมหาวิทยาลัยได้มีการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ซึ่งดำเนินการมากว่า 20 ปี ให้สามารถพัฒนาไปสู่ความเป็นศูนย์วิจัยที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางทางด้านเทคโนโลยีวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ เพื่อเป็นศูนย์กลาง

สำหรับการศึกษาวิจัยพัฒนาองค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีจากการศึกษาวิจัยทางด้านวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับเผยแพร่สู่ภาคการผลิต ที่สามารถรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมสาขานี้ของประเทศ สอดคล้องกับนโยบายต่างๆ ของรัฐบาลที่ต้องการส่งเสริมให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตและการค้าสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับแห่งหนึ่งของโลก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเชื่อมประสานตัวเรือนเครื่องประดับและพัฒนาสร้างเครื่องเชื่อมประสานเครื่องประดับเงินด้วยการเชื่อมระบบอาร์คไฟฟ้าเพื่อทดแทนเครื่องเชื่อมแบบเลเซอร์

2. เพื่อศึกษาแนวทางการเชื่อมประสานปิดรูพรุนและตามดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานตัวเรือนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาสร้างเครื่องเชื่อมประสานเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิงระบบอาร์คไฟฟ้า

2. ศึกษาวิเคราะห์พารามิเตอร์กระแสที่เหมาะสมต่อการเชื่อมประสานปิดรูพรุนและตามดโดยพิจารณาจากการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถซ่อมเครื่องประดับเงินที่มีปัญหารูพรุนหรือตามดได้

2. สามารถเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเครื่องประดับ

3. ได้ชุดอุปกรณ์ต้นแบบการพัฒนาการเชื่อมประสานและซ่อมรูพรุนหรือตามดชิ้นส่วนเครื่องประดับด้วยอุปกรณ์เชื่อมวงจรไฟฟ้าระบบอาร์ค

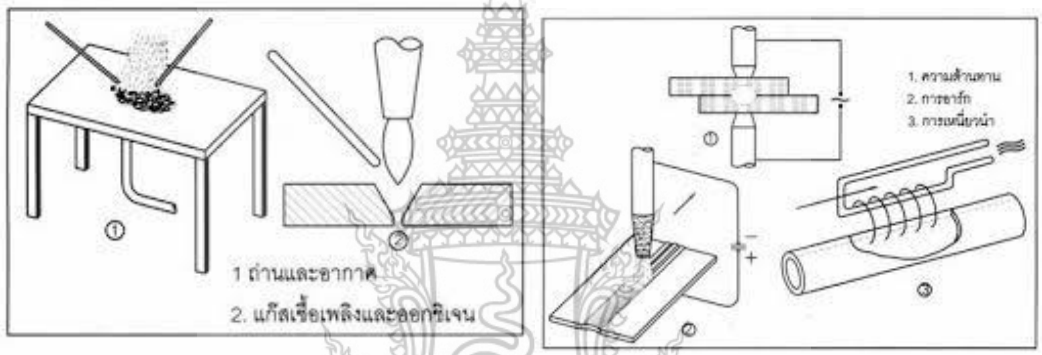
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ

2.1 บทนำ

การศึกษากระบวนการแก้ปัญหารูพรุนจากการหล่อทั่วไปใช้กระบวนการใช้การซ่อมด้วยเครื่องเลเซอร์จึงมีแนวทางการแก้ปัญหาโดยการพัฒนาการเชื่อมประสานและซ่อมรูพรุนหรือตามดโดยการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องด้านหลักการเชื่อมประสานรูปแบบต่างๆและวงจรไฟฟ้าเพื่อนำมาเป็นองค์ประกอบหลักในการพัฒนาอุปกรณ์เชื่อมประสานรูพรุนหรือตามดชิ้นส่วนเครื่องประดับด้วยอุปกรณ์เชื่อมวงจรไฟฟ้าระบบอาร์ค ดังนี้ภาพที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเชื่อมประสานและแนวประสาน:ภาพจาก SIAM STANLESS

2.2 นิยามศัพท์สำคัญ

1) รูพรุน หมายถึง รูเล็ก ๆที่น้ำซึมออกได้อย่างรูรั่วตามก้นหม้อ ไม่เรียบ มีรูพรุน

2) เชื่อมประสาน หมายถึง การเชื่อต่อโลหะ 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยการนำไฟฟ้าที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจนกระทั่งโลหะที่หลอมนั้นไหลไปเชื่อมโลหะทั้ง 2

3) กระแสไฟ หมายถึง การเกิดขึ้นจากการไหลของอิเล็กตรอนผ่านวัสดุชนิดหนึ่งนั่นคือการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ถ้าอยู่ในสนามไฟฟ้า

2.3 แนวคิด

จากทฤษฎีระบบวงจรไฟฟ้าทำให้เกิดการอาร์คในการซ่อมแซมมาประยุกต์ใช้ในการซ่อมแซมเครื่องประดับให้ประสบผลสำเร็จและได้ประสิทธิภาพในการซ่อมแซมเครื่องประดับสูงสุดจึงได้มีการศึกษาทฤษฎีสำคัญต่างๆ ในกระบวนการเชื่อม TIG ทำให้สามารถทราบถึงหลักการทำงานของเครื่องเชื่อม TIG เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการประกอบวัสดุอุปกรณ์ วิธีการใช้งานอีกทั้งยังทราบว่าเครื่องเชื่อม TIG สามารถใช้งานกับโลหะมีค่าได้ด้วย ผู้ศึกษาจึงนำหลักการเชื่อม TIG มาใช้ทดแทนการซ่อมแซมเครื่องประดับด้วยเครื่องเชื่อมเลเซอร์ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและยังส่งผลให้ระบบการผลิตดำเนินการไปได้อย่างรวดเร็วทำให้บริษัทขนาดเล็กสามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมอัญมณีได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ด้านคณะผู้จัดทำได้มีการศึกษางานวิจัยของนาย นิพนธ์ บัวแก้ว ที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมเลเซอร์ที่มีต่อกำลังเลเซอร์,ขนาดของรอยเชื่อม,ความลึกของรอยเชื่อม,แรงฉีกของรอยเชื่อมและความแข็งแรงของรอบเชื่อมโดยแปรเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าระยะเวลาในการเชื่อมโดยที่ปัจจัยอื่นๆ เช่น ระยะรวมแสงขนาดของสายไฟ แรงกดของอุปกรณ์จับยึด ที่ถูกกำหนดไว้ในงานวิจัยพบว่า

- ระยะเวลาของการเชื่อมเพิ่มขึ้นมีผลต่อการทนต่อแรงฉีดขาดและความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงขึ้น
- ระยะความลึกของรอยเชื่อมแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม คู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมคงที่
- ขนาดของรอยเชื่อมแปรผันตาระยะเวลาของการเชื่อม ขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่ใช้คงที่เช่นกัน
- กำลังของเลเซอร์แปรผันตามระยะเวลาและแรงดันโดยระยะเวลาของการเชื่อมมีอิทธิพลสูงกว่า

2.4.1 การทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ

หลังจากการเตรียมต้นเทียนเสร็จเรียบร้อยขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำแม่พิมพ์ปูนหล่อซึ่งเป็นแม่พิมพ์สุดท้ายที่จะนำไปหล่อโลหะเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษหากเกิดเหตุผิดพลาดขึ้นจะไม่สามารถแก้ไขได้ที่สำคัญผู้ปฏิบัติอาจไม่ทราบว่าอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นซึ่งเป็นการสูญเสียแรงงานค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิตทั้งนี้เนื่องจากเทปูนหล่อแบบหุ้มต้นเทียนแล้วผู้ปฏิบัติไม่อาจทราบว่าแม่พิมพ์นั้นมีสภาพเป็นอย่างไรเช่นตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากต้นเทียนหรือตัวแบบเทียนอาจถูกปูนหล่อซึ่งมีน้ำหนักมากบีบให้เสียรูปทรงดังนั้นการหล่อเครื่องประดับจึงต้องการความประณีต ความสวยงามและลวดลายละเอียดของพื้นผิว แม่พิมพ์ปูนหล่อจะต้องถ่ายทอดลักษณะพิเศษดังกล่าวจากต้นแบบไปสู่ชิ้นงานหล่อด้วยเหตุนี้การหล่อเครื่องประดับจึงมีผู้ผลิตวัสดุอุปกรณ์ของขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ปูนขึ้นมาใช้เฉพาะสำหรับการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับปูนหล่อเป็นปูนชนิดที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในการทำแม่พิมพ์โดยเฉพาะมีลักษณะพิเศษ คือทนความร้อนสูง ผิวละเอียด มีความแข็งแรงมากแต่สามารถทุบทำลายได้ง่ายซึ่งเป็นลักษณะของแม่พิมพ์ที่ดีในปัจจุบันมีผู้ผลิตจำนวนมากได้ผลิตปูนหล่อแบบออกจำหน่าย มีข้อดีข้อเสียในการใช้งานแตกต่างกันไป

1) สูตรการหาอัตราส่วนของปูนหล่อ

ปริมาตรของกระบอกหล่อ (V)×1.2+(20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมดปริมาตร (CC)=1.2CC/ กรัม 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด = การเผื่อสำหรับความสูญเสียของส่วนผสมที่เกิดจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนและส่วนที่ติดกับภาชนะ

2) สูตรการหาอัตราส่วนผสมของน้ำ

ปริมาณน้ำ = 37 - 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปูนหล่อ

หมายเหตุ ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับประเภทของปูนหล่อ

3) ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแบบ

- คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อแบบตามสูตร และหาอัตราส่วนน้ำตาม
- เทน้ำสะอาดลงในชามอ่างยางสำหรับผสมค่อยๆ เทปูนลงในน้ำสะอาดและใช้ปลายพลาสติกคนผสมให้ทั่วกัน ข้อควรระวังคือ ห้ามเทน้ำลงในปูนขณะผสม เนื่องจากปูนหล่อมีลักษณะเป็นผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อเทน้ำลงไปบริเวณหนึ่งของปูนหล่อแบบ ปูนจะซึมซับน้ำไว้อย่างรวดเร็ว

ทำให้ส่วนอื่นๆ ของปูนที่ไม่ได้รับน้ำจะทำการผสมได้ยาก และส่วนผสมมักจะเสียหา เนื่องจากน้ำไม่สามารถกระจายไปผสมกับปูนทั้งหมด

- นำส่วนผสมเข้ากวนในเครื่องผสมปูนหล่อใช้เวลา 1 - 1.30 นาที
- นำส่วนผสมเข้าเครื่องดูดอากาศออกจากภายในเนื้อปูนหล่อ พร้อมทั้งมีการสั่นใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 นาที
- นำส่วนผสมเทลงในกระบอกที่มีต้นเทียนติดตั้งอยู่ภายในและประกอบกับฐานยางเรียบร้อยแล้วเทส่วนผสมของปูนลงในกระบอกโดยเทลงทางด้านข้างของกระบอก หากเทลงตรงกลางบนต้นเทียนโดยตรง ปูนหล่ออาจทำให้ต้นเทียนเสียหายได้
- กระบอกที่เทปูนหล่อแล้วเข้าเครื่องดูดอากาศใช้เวลาประมาณ 3 ถึง 5 นาที
- เติมส่วนผสมของปูนหล่อให้เต็ม เนื่องจากดูดอากาศออกจากเนื้อปูนทำให้ส่วนผสมของปูนหล่อบางส่วนกระเด็นออกจากกระบอกหล่อ จึงต้องเติมให้เต็ม
- เมื่อมีการเทปูนหล่อแบบลงในกระบอกเรียบร้อยแล้วให้นำกระบอกหล่อไปตั้งผึ่งไว้ในที่ร่มเมื่อปูนหล่อเริ่มแห้งให้ตกแต่งปูนหล่อแบบให้เรียบร้อยเสมอขอบกระบอกหล่อ ในการผสมปูนหล่อแบบตามขั้นตอนดังกล่าวมีความสำคัญมากต้องรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาประมาณ 10-20 นาที เพราะปูนหล่อแบบจะแห้งและแข็งตัวเร็วการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อจะกระทำได้ยากดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 การผสมปูนหล่อ

4) ข้อควรระวังในการผสมปูนหล่อ

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมปูนหล่อ ควรเลือกอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่ไม่มีเศษหรือเสี้ยนที่จะหลุดเข้าไปผสมกับส่วนผสมของปูน
- การลัดหรือการข้ามขั้นตอน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่องานหล่อได้ เช่น การดูดฟองอากาศน้อยเกิดไป เป็นต้น
- ในขณะดูดอากาศออกจะต้องมีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา เพื่อให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ลึกๆ ถูกกระตุ้นให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของส่วนผสมและถูกดูดออกไป

5) การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อเป็นขั้นตอนที่อาจเรียกว่าเป็นการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการหล่อโลหะเพื่อปรับอุณหภูมิของเนื้อปูนหล่อให้เหมาะสมกับน้ำโลหะดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 การอบเบ้าปูนหล่อ

ในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ ความผิดพลาดในการควบคุมอุณหภูมิจะก่อให้เกิดรูพรุน ขึ้นบนชิ้นงานได้ง่าย หรือเกิดผลอื่นๆ ทำให้การหล่อไม่สำเร็จเช่น ถ้าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไปน้ำโลหะที่ฉีดเข้าสู่โพรงแบบจะแข็งตัวก่อนที่จะแทรกไปตามรายละเอียดของแบบทำให้การหล่อไม่สมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าหล่อไม่เต็ม ขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปอยู่ในสภาพของเหลวนานกว่าปกติจะส่งผลให้เกิดรูพรุนขึ้นบนผิวชิ้นงานได้

6) จุดประสงค์ในการอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

- เพื่อกำจัดตัวแบบเทียนและส่วนของเทียนทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายในพร้อมทางดินน้ำโลหะ

- เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในขณะทำการหล่อโลหะการอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อเพื่อขจัดกำจัดเทียนนี้มักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียนซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 เทียนประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายและไหลออกทางปากแม่พิมพ์ปูนหล่อซึ่งเกิดจากส่วนโค้งนูนของฐานยางเมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไปแหล่งกำเนิดความร้อน ความร้อนที่ใช้ในการอบมาจากขดลวดไฟฟ้าภายในเครื่องความร้อนนี้นำมาใช้ในการอบสูงสุดถึงประมาณ 1200 องศาเซลเซียส

2.3.1 ความสมดุลของอุณหภูมิ

1) ชิ้นงานบางเป็นชิ้นงานที่มีโพรงแคบและเล็กช่องทางน้ำโลหะจะแทรกเข้าไปได้เต็มโพรงแบบ ดังนั้นน้ำโลหะจะต้องมีลักษณะหลอมเหลวและต้องเย็นตัวช้าเพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่น้ำโลหะแทรกตัวเข้าไปในที่แคบๆ ได้ทั่วถึงน้ำโลหะจึงต้องมีอุณหภูมิสูงดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย

2) ชิ้นงานหนาเป็นชิ้นงานที่มีโพรงแบบโตกว่าน้ำโลหะจะแทรกตัวเข้าไปได้เร็วอุณหภูมิของน้ำโลหะจึงมีอุณหภูมิต่ำได้การเตรียมแม่พิมพ์จึงสามารถใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและบางกว่า

3) อุณหภูมิหล่อของโลหะแต่ละชนิดข้างต้นเป็นอุณหภูมิโดยประมาณเนื่องจากโลหะผสมแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต

4) ในการอบเผาแม่พิมพ์ควรคงที่อุณหภูมิหล่อไว้อย่างน้อย ½ ชั่วโมงก่อนทำการหล่อเพื่อให้สัดส่วนต่างๆของแม่พิมพ์มีความร้อนใกล้เคียงกันมากที่สุด

5) อุณหภูมิของแม่พิมพ์จะขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์และรายละเอียดของแบบว่ามีขนาดและรายละเอียดซับซ้อนเพียงใดโดยชิ้นงานจะต้องการอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นงานใหญ่

6) ในการหล่อโลหะถ้าพบว่าน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบไม่ทั่วถึงโดยเฉพาะในส่วนที่มีความละเอียดมากๆให้เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อนการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโลหะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง

7) ในการอบเผาแม่พิมพ์ไม่มีเครื่องมืออุปกรณ์ควบคุมที่ดีพอให้สังเกตที่บริเวณปากทาง เข้า – ออก ของน้ำโลหะแม่พิมพ์ ถ้าบริเวณนั้นมีจุดสีน้ำตาลเข้มและมีเปลวไฟพุ่งออกมาจากภายในโพรงแบบแสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้ไม่หมดแต่ถ้าบริเวณปากทางเข้าและออกของน้ำโลหะของแม่พิมพ์มีสีขาวนวลแสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์

8) แก๊สหรือควันที่ระเหยออกมาในขณะอบเผาแม่พิมพ์เป็นแก๊สพิษควรหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงการสูดดม

2.3.2 การใช้เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

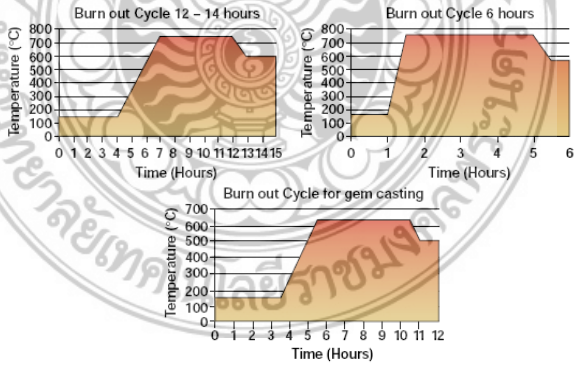
1) การเปิด – ปิดเครื่อง เตาอบเผาแม่พิมพ์มี 2 ชนิดคือเตาไฟฟ้าและเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงส่วนประกอบที่สำคัญ คือห้องอบเผาซึ่งมีหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ภายในห้องเผานี้จะมีปล่องสำหรับระบายควันออกจากห้อง ซึ่งมีการต่อปล่องนี้ออกจากห้องปฏิบัติงานเพราะควันที่ออกจากเตาอบเผาจะเป็นควันพิษนอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาซึ่งมีทั้งชนิดที่ควบคุมด้วยมือและชนิดควบคุมอัตโนมัติเตาอบเผาแม่พิมพ์นี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 องศาเซลเซียสในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงส่วนของอุณหภูมิและเวลาในการอบการควบคุมอุณหภูมิและเวลาจะต้องกระทำไปพร้อมกัน

2) การตั้งอุณหภูมิในการอบอุณหภูมิหล่อโลหะจะต้องมีความสมดุลกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปูนหล่อเนื่องจากในการหล่อโลหะแม่พิมพ์ซึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะควรมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนั มิฉะนั้นแม่พิมพ์จะแตกเสียหายได้อนึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิหล่อหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ จึงต้องมีความแตกต่างกันตามชนิดของโลหะด้วยอาจสรุปได้ดังนี้คือ SILVER มีอุณหภูมิหล่อประมาณ 426 – 454 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 การจัดเรียงเบ้าปูนหล่อเข้าสู่เตาอบ

3) การตั้งเวลาในการอบในการอบเผาแม่พิมพ์มีสูตรการอบเผาหลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ปฏิบัติสรุปหลักการอบเผาอย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ
- ในบางอุณหภูมิที่สำคัญๆ หรือในกรณีที่มีกรอบเผาไม่เหมือนกันให้คงอุณหภูมินั้นไว้เพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง
- ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์ปริมาณแม่พิมพ์และประสิทธิภาพของเตาอบเผาแม่พิมพ์



รูปที่ 2.5 แสดงอุณหภูมิที่ใช้การทำงานของเครื่องอบ

การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อจากรูปที่ 2.5 ในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาแต่ละช่วงนั้นต้องตระหนักถึงอุณหภูมิหล่อและปฏิกิริยาต่างๆ สรุปได้ดังนี้

1) ทฤษฎีการอบเผาแม่พิมพ์ในการอบเผาแม่พิมพ์จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ในการอบเอาแม่พิมพ์ควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆในระยะแรกจนถึงประมาณ 200 องศาเซลเซียสเนื่องจากในแม่พิมพ์มีน้ำเป็นส่วนประกอบเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียสน้ำจะกลายสภาพเป็นไอน้ำและแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัวโดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เองทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อลวดลายต่างๆของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหายร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้เนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อมิใช่อยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไออาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส

- ในกรณีที่ไม่มีการนึ่งเทียนก่อนแต่นำแม่พิมพ์เข้าอบเผาในเตาอบโดยตรงนั้นไม่ควรนำแม่พิมพ์เข้าอบในขณะที่เตาอบเย็นแต่ควรนำเข้าในขณะที่ภายในเตามีอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียสทำการอุ่นเตาอบก่อนนำแม่พิมพ์เข้าไปอบเผาเนื่องจากในขณะที่เตาเย็นเมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสเทียนจะเริ่มละลายกลายเป็นของเหลวส่วนหนึ่งจะเริ่มไหลออกมาทางปากทางเข้า แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ยังคงอยู่ภายในโพรงแบบขณะเดียวกันปูนจะเริ่มขยายตัวทำให้รูพรุนหรือช่องว่างของเนื้อปูนหล่อโตขึ้นปูนหล่อจะทำตัวเป็นฟองน้ำดูดซับเทียนที่มีลักษณะเป็นของเหลวเข้าไปในเนื้อปูนหล่อ และกำจัดออกให้หมดได้ยากแต่ถ้านำแม่พิมพ์เข้าเตาอบในขณะที่เตามีอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียสเทียนจะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็วนอกจากนี้น้ำจะกลายเป็นไอน้ำและขยายตัวดันให้เทียนไหลออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วย

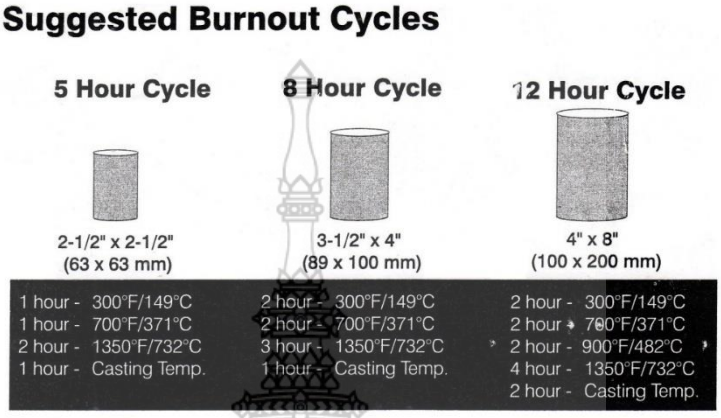
- ในการอบเผาแม่พิมพ์ หลังจากเทียนส่วนใหญ่ไหลออกจากทางเข้าและออกของน้ำโลหะ จะมีเทียนอีกส่วนหนึ่งที่ถูกเผาจนกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งสามารถกำจัดออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 700 องศาเซลเซียสโดยในการเผาไหม้ขี้เถ้าซึ่งมีสถานะเป็นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาออกซิเจน (0) ในอากาศทำให้ได้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สพิษ

- ในการอบเผา เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของกระบอกหล่อโดยเฉพาะภายในโพรงแบบซึ่งยังมีส่วนผสมของน้ำอยู่ในเนื้อปูนหล่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระบอกหล่อกับภายในโพรงแบบอาจแตกต่างกันถึง 50 องศาเซลเซียสนั้นก่อนการหล่อจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิหล่ออย่างน้อย ½ ชั่วโมงก่อนหล่อโลหะ

- ถ้าแม่พิมพ์ถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสยิปซัมซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนหล่อจะแตกตัวออกเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดสีผิวโลหะที่หล่อ

2) วิธีการใช้อุณหภูมิในการอบแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของแม่พิมพ์

3) วิธีการคำนวณเชิงวิชาการแนวทางการคำนวณคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อจะต้องมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้อบเบ้าปูนหล่อดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงอุณหภูมิมาตรฐานกระบอกหล่อ

ข้อควรระวังในการใช้เตาอบแม่พิมพ์อีกประการหนึ่งคือ ควรเพิ่มอุณหภูมิของเตาอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เกิดความเครียดและแตกร้าวได้ง่าย การใช้เครื่องกำจัดเทียนจะเป็นการยืดอายุการใช้งานของเตาอีกวิธีหนึ่งเพราะจะไม่มีคราบเทียนไปเกาะติดอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเตามากเกินไปการใช้เตาอบเผาเบ้าในขณะที่กำลังอบเผาแม่พิมพ์ ไม่ควรเปิดประตูเตาโดยไม่จำเป็น เพราะอาจเกิดอันตรายจากคลื่นความร้อนจำนวนมากจะพุ่งออกมาจากเตา และทำให้เตาต้องใช้พลังงานอีกมากในการปรับอุณหภูมิให้เท่ากับตอนก่อนที่จะเปิดเตา แต่หากมีความจำเป็นที่ต้องเปิดเตาผู้ปฏิบัติควรหลบอยู่ด้านข้างประตูเต นอกจากนี้เตาทั่วไปจะมีช่องสำหรับมองเข้าไปภายในเตาอยู่แล้วโดยไม่ต้องเปิดเตาโดยตรง

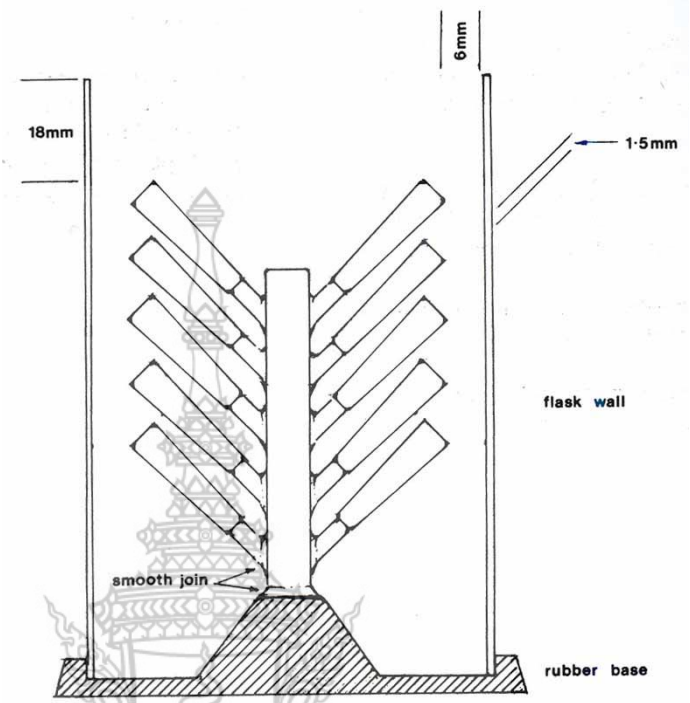
2.4 กระบวนการเดินน้ำโลหะ

ทางเดินน้ำโลหะคือเสนทางหรือแนวทางเดินของนาโลหะเข้าสู่โพรงแบบในแม่พิมพ์ปูนหล่อและเปนเสนทางออกของขี้ผึ้งที่หลอมละลายแล้วจากโพรงแบบ

2.4.1 ทางเดินน้ำโลหะ

การจำแนกการติดทางเดินน้ำโลหะทางเดินน้ำโลหะในงานเครื่องประดับแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลักดังนี้

1) ลักษณะทางเดินน้ำโลหะแบบกลม เหมาะสำหรับใช้เป็นทางเดินน้ำโลหะกับงานที่มีขนาดเล็กเรียบไม่ซับซ้อน เนื่องจากรูปร่างเป็นทรงกลมทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ช้ากว่ารูปแบบเหลี่ยมแบนทำให้น้ำโลหะไหลเข้าชิ้นงานก่อนการแข็งตัวของก้านโลหะ ใช้กับชิ้นงานทั่วไปตัวอย่างโลหะตระกูล Yellow Gold, White Gold, Nikel, Silver ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การติดต้นเทียนหล่อ

2) ลักษณะทางเดินน้ำโลหะแบบช่วงปลายบานออก เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีรูปแบบใหญ่และหน้ากว้างซึ่งช่วงปลายบานออกจะส่งผลให้น้ำโลหะไหลได้เร็วขึ้นทำให้ส่วนหน้ากว้างหรือใหญ่แบบสมบูรณ์ ตัวอย่างโลหะตระกูล Platinum, White Nikel, White Gold, Palladium ไม่เป็นผลดีกับโลหะตระกูล Yellow Gold, Silver

3) ลักษณะทางเดินน้ำโลหะแบบ 3 ทาง เหมาะสำหรับงานที่มีสวดวายและลักษณะซับซ้อนและงานที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดอย่างฉับพลันเนื่องจากบริเวณของชิ้นงานที่มีขนาดไม่เท่ากัน ทำให้การเย็นตัวของน้ำโลหะไม่พร้อมกัน ถ้าน้ำโลหะไหลผ่านบริเวณที่มีขนาดเล็กน้ำโลหะจะเกิดการแข็งตัวได้รวดเร็วทำให้น้ำโลหะไม่สามารถไหลไปยังส่วนอื่นๆ ได้ทำให้งานไม่เต็มตัวอย่างโลหะตระกูล Yellow Gold, White Gold ส่วนตระกูลอื่นไม่นิยม

4) ลักษณะก้านทางเดินน้ำโลหะแบบบอลก้านชนิดนี้ทำขึ้นเพื่อใช้งานในงานโลหะประเภท Silver 95เปอร์เซนต์เท่านั้น ด้วยสาเหตุเปอร์เซ็นต์สูงของเนื้อ Silver ทำให้ช่วยลดการหดตัวได้ดี ทำให้งานที่ใช้โลหะSilver 95 เปอร์เซ็นต์ไม่พบปัญหาด่างแดง ไม่ด่างหมองคล้ำทำหน้าที่สะสมน้ำโลหะเพื่อส่งเข้าชิ้นงานก่อนงานเย็นลดปัญหาผื่นแดง

2.4.2 การติดต้นเทียน

การติดต้นเทียนคือ การนำตัวแบบเทียนมารวมกันให้เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบโดยนำไปติดกับที่ต้นเทียน เพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมากเป็นการหล่อระบบอุตสาหกรรมลักษณะการติดต้นเทียนแบ่งออกเป็นหลายลักษณะขึ้นอยู่กับรูปแบบของงานที่จะนำมาติดถ้างานมีชิ้นใหญ่ก็จะติดแบบสลับฟันปลา หรือเรียงกันเป็นแถวในแนวตั้ง ถ้างานชิ้นเล็กก็จะติดหรือเป็นชั้นๆในแนวนอนทั้งนี้การติดต้นเทียนไม่ว่า

จะเป็นแบบไหนทางเดินน้ำโลหะจะต้องทำมุม 30-60 องศาเซลเซียสกับต้นเทียนเพื่อให้น้ำโลหะจากการหล่อสามารถเข้าไปในส่วนที่อยู่ลึกที่สุดของต้นเทียนได้สะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต้นเทียนประกอบ ด้วยฐานยางติดต้นเทียนที่จับฐานยางติดต้นเทียนที่สามารถเอียงและหมุนไปเป็นมุมต่างๆ ได้เพื่อความสะดวกสบายในการติดต้นเทียน

1) ฐานยาง เป็นฐานสำหรับใช้ติดหรือประกอบด้วยตัวแบบเทียนการเลือกใช้ฐานยางควรเลือกให้ฐานยางที่มีขนาดสวมเข้ากับกระบอกหล่อได้อย่างพอดี

2) กระบอกหล่อจะเป็นกรอบในการกำหนดความกว้างและความสูงของกลุ่มเทียน โดยให้ส่วนสูงที่สุดของกลุ่มเทียนจะต้องมีระยะห่างจากขอบด้านบนของกระบอกหล่อไม่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว และตัวแบบเทียนต้องห่างจากผนังกระบอกไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังของแม่พิมพ์ปูนหล่อบางเกินไป

3) หัวแร้งไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับละลายเทียนให้ร้อนและติดตัวแบบเทียน

2.4.3 การคำนวณหาน้ำหนักของโลหะ

1) ความถ่วงจำเพาะของวัตถุความถ่วงจำเพาะคืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากันความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วยแต่เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักจากกฎของอาร์คมีดีที่ว่า“วัตถุใดๆเมื่ออยู่ในน้ำวัตถุนั้นจะสูญเสียน้ำหนักไปเท่ากับน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่วัตถุนั้นเข้าไปแทนที่”การหาน้ำหนัก

$$\text{โลหะ} = \frac{(\text{น้ำหนักต้นเทียน} \times \text{ถ.พ}) + (\text{น้ำหนักของเทียน} \times \text{ถ.พ}) \times 20}{100}$$

2) การคำนวณหาปริมาณน้ำโลหะในทางปฏิบัติสามารถคำนวณน้ำหนักโลหะที่ต้องการใช้โดยไม่ยุ่งยากมากนักเนื่องจากได้มีการคำนวณ ค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะชนิดต่างๆไว้แล้วจึงเพียงแต่นำน้ำหนักของต้นเทียนมาคูณและบวกด้วยส่วนเพิ่มเติมปัจจัยอื่นนี้จะต้องบวกเพิ่มเข้าไปในน้ำหนักของโลหะที่คำนวณได้ส่วนเพิ่มเหล่านี้คือส่วนเพิ่มบริเวณปากทางเข้าของโลหะ ในการหล่อปูนทำแม่พิมพ์ปูนหล่อเมื่อปูนเริ่มจับตัวแข็งดีแล้ว จะนำเอาฐานยาง ออกจากแม่พิมพ์ปูนซึ่งจะเห็นปากทางเข้าของน้ำโลหะที่มีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่มีรูปร่างตามแบบฐานยางที่นำออกไปส่วนของกลุ่มนี้จะไม่มีสัดส่วนในการคำนวณข้างต้นสำหรับการเพิ่มน้ำหนักโลหะส่วนนี้จะบวกเพิ่มจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่คำนวณได้

2.4.4 ขั้นตอนการปฏิบัติ

1) ก่อนทำการติดต้นเทียนให้ชั่งน้ำหนักของฐานยางและเขียนน้ำหนักของฐานยางไว้ชัดเจน

2) ติดต้นเทียนตามหลักการ

3) ชั่งน้ำหนักต้นเทียนที่ติดตั้งบนฐานยางนำน้ำหนักของฐานยางที่บันทึกไว้มาหักลบออกบันทึกไว้

4) คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะที่จะใช้หรือเปิดหาจากตารางสำเร็จ

5) คำนวณโลหะที่ต้องการใช้ = ถ.พ. ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเทียน

6) เผื่อน้ำหนักโลหะ 20% = (ถ.พ.ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเทียน) X 20/100

7) น้ำหนักโลหะทั้งสิ้น = (ถ.พ. ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเทียน) + (ถ.พ. ของโลหะ X น้ำหนักของต้นเทียน) X 20/100)

ข้อแนะนำในการติดต้นเทียน

- ตัวแบบเทียนจะต้องติดแน่นไม่หลุดง่าย ทั้งการติดต้นเทียนแบบแนวเดียวกันและการติดต้นเทียนแบบสลับกัน หากติดตัวแบบไม่แน่นเมื่อนำไปเทปูนหล่อแบบและดูดฟองอากาศออกจากเนื้อปูนตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากฐานที่ติดได้

- การติดต้นเทียนที่ถี่เกินไปอาจทำให้ผนังปูนแตกร้าวถ้าผนังบางเกินไปโดยเฉพาะความหนาของปูนที่ยอดต้นเทียนควรให้หนามากกว่า 1/2 นิ้ว เพราะแรงดันของน้ำโลหะที่วิ่งไปตามลำต้นเทียนจะชนผนังส่วนนี้ให้แตกร้าวได้

- ก่อนทำการติดต้นเทียนให้ตกแต่งตัวแบบเทียนให้เรียบร้อยก่อนโดยยึดหลักว่าการตกแต่งเทียนกระทำได้ง่ายกว่าการตกแต่งชิ้นงานโลหะ

- ตัวแบบแวกซ์ทุกตัวที่ติดต้นเทียนจะต้องไม่สัมผัสกันแต่ต้องอยู่ใกล้เคียงกันที่สุดเพื่อให้มีจำนวนการติดตัวแบบเทียนได้มากที่สุด

ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดกับชิ้นงานหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะเงินสเตอร์ลิง

ในขบวนการหล่อ Investment Casting สำหรับการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ จะพบปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นมากมายโดยเฉพาะปัญหาที่พบบริเวณผิวของชิ้นงานหล่อ ซึ่งมีลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้

1) สิ่งแปลกปลอมในเนื้อหรือที่เรียกว่า “สารฝังใน (Inclusion)” สาเหตุเกิดจากการที่มีอนุภาคสิ่งแปลกปลอมเล็กๆ (Particle) จากภายนอกเข้าไปผสม เช่น ชิ้นส่วนของเบ้าหลอมแบบปูนหล่อ สิ่งแปลกปลอมที่เกิดจากปฏิกิริยาของโลหะและธาตุเจืออื่นๆ ชิ้นส่วนของสิ่งแปลกปลอมมักทำให้เกิดจุดแข็ง (Hard Spot) เมื่อทำการขัดชิ้นงานหล่อจะปรากฏเป็นรอยทางยาวทั้งนี้จุดแข็งอาจมีสาเหตุมาจากการนำโลหะเก่ามาหลอมรวมกับวัสดุที่ปนเปื้อนในกรณีที่มีเศษปูนฝังในเนื้อชิ้นงานนั้นมีสาเหตุเกิดจากแบบปูนหล่อที่ไม่แข็งแรงหรือมีคุณภาพต่ำหรืออาจเกิดจากโพรงแบบปูนหล่อที่มีลักษณะเป็นมุมแหลมคมเกิดการแตกหักชำรุดเมื่อน้ำโลหะที่มีแรงดันสูงไหลไปกระทบนอกจากนี้การใช้เบ้าหลอมที่ไม่สะอาดและเศษตะกรันที่อยู่ภายในเบ้ายังอาจก่อให้เกิดปัญหาการแยกตัวของโลหะหรืออาจเกิดการแตกร้าวได้

2) คราบน้ำ (Water mark) มีผลทำให้ผิวของชิ้นงานหล่อไม่เรียบมีลักษณะเป็นริ้วทางไหลของน้ำตามแนวดิ่งจากบนลงล่างเกิดบริเวณที่โพรงแบบถูกแทนที่ด้วยน้ำโลหะรอยคราบน้ำจะปรากฏชัดบนชิ้นงานหล่อที่มีลักษณะเป็นแผ่นซึ่งมีสาเหตุมาจากการแยกตัวของน้ำจากปูนขณะที่ปูนกำลังเซ็ตตัวซึ่งการแยกตัวของน้ำนี้จะรวมตัวบนผิวตัวแบบเทียนที่อยู่ในโพรงแบบปูนจะปรากฏรอยขึ้นชัดเจนบนชิ้นงานหล่อหลังจากหล่อ

3) ผิวงานหยาบและมีครีบผิวงานหยาบเกิดจากน้ำโลหะที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปไหลเข้าไปทำปฏิกิริยากับยิบซัมที่อยู่ในผงปูนหรือเกิดจากการเดือดของน้ำโลหะในโพรงแบบปูนหล่อแต่ถ้าหากโพรงแบบปูนหล่อมีรอยร้าวเนื่องจากการแยกตัวของไอน้ำที่มีแรงดันสูงแทรกเข้าไปในบริเวณที่เป็นมุมหรือเหลี่ยมคมต่างๆ ของโพรงแบบปูนหล่อเกิดเป็นรอยแยกเกิดขึ้นเมื่อทำการหล่อโลหะด้วยแรงเหวี่ยงจากเครื่อง

หล่อเหวี่ยงหรือแรงดูดจากเครื่องหล่อดูดสุญญากาศ ที่มีแรงเหวี่ยงหรือความดันสูง แรงดันจากน้ำโลหะจะดันน้ำโลหะเข้าไปแทรกอยู่ตามบริเวณรอยแยกเหล่านั้น ทำให้ชิ้นงานหล่อมีลักษณะเป็นปีกหรือครีบเกิดขึ้น และนอกจากนี้ถ้าหากว่า น้ำโลหะที่มีแรงดันสูงจากแรงเหวี่ยงของการหล่อเหวี่ยงมีอุณหภูมิสูงด้วย ปีกหรือครีบที่ปรากฏจะมีลักษณะเด่นชัดมากยิ่งขึ้น

4) เม็ดโลหะบนผิวชิ้นงานหล่อเกิดจากฟองอากาศที่อยู่บนผิวตัวแบบเทียนที่ไม่สามารถขจัดออกจากแบบปูนได้ในระหว่างขั้นตอนการทำแบบปูนหล่อ หรือไม่ก็อาจเกิดจากเม็ดแป้งที่ติดบนตัวแบบเทียนจากการตีแป้งในขั้นตอนการฉีดเทียน เมื่อนำตัวแบบเทียนไปติดต้นและเทปูนทำแบบปูนหล่อเม็ดแป้งนี้ก็ไม่สามารถผสมรวมเข้ากับเนื้อปูนที่เททำเป็นโพรงแบบปูนหล่อได้เมื่อนำแบบปูนหล่อไปทำการอบหรือนึ่งไอน้ำเม็ดแป้งก็จะไหลออกจากโพรงแบบปูนหล่อพร้อมกับเทียนที่ใช้ทำตัวแบบเทียนทำให้เกิดโพรงเล็กๆ อยู่บนโพรงแบบปูนหล่อ

5) รูพรุนจากอากาศ (Gas Porosity) แก๊สในน้ำโลหะทำให้เกิดรูเข็มบนผิวหน้าของชิ้นงานหล่อหรือที่เรียกว่าตามด รูเข็มเหล่านี้มีสาเหตุการเกิดจากหลายสาเหตุ โดยสาเหตุการเกิดสามารถพิสูจน์ได้ด้วยการใช้กล้องขยายเพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นอาจมีลักษณะคล้ายเนยแข็งรูพรุนอาจเกิดรวมกันอยู่เป็นชั้นๆ ใกล้กับผิวของชิ้นงานหล่อ และบางครั้งผิวชิ้นงานหล่อที่ดูว่าเรียบ กลับปรากฏรูพรุนให้เห็นเมื่อทำการขัดหรือบดผิว ดังนั้นพอจะสรุปสาเหตุของการเกิดรูพรุนต่างๆ จากอากาศได้ดังนี้ คือ การรวมตัวโดยตรงของออกซิเจนและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำโลหะ,อุณหภูมิความร้อนของน้ำโลหะและสภาวะบรรยากาศในการหล่อหลอมโลหะ

6) ผิวหน้าเดนดริติก (Dendritic Surface) เกิดจากการที่น้ำโลหะเย็นตัวอย่างรวดเร็ว และเร็วกว่าสภาวะสมดุล พฤติกรรมการแข็งตัวของโลหะจากน้ำโลหะเป็นของแข็งมีปริมาณนิวเคลียสเกิดขึ้นน้อยทำให้เกรนที่ได้มีขนาดใหญ่ และมีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน พบได้โดยทั่วไปที่ผิวของชิ้นงานหล่อโดยไม่ต้องนำไปขัดหรือกัดด้วยกรด และยิ่งพบมากในชิ้นงานหล่อที่มีขนาดใหญ่น้ำหนักมากๆ

7) รูพรุนแบบหดตัว (Shrinkage Porosity) ลักษณะของรูพรุนแบบหดตัวที่ผิวหน้าของชิ้นงานหล่อเป็นลักษณะโพรงเดนไดรท์ทำให้ชิ้นงานหล่อที่ได้มีความแข็งแรงต่ำและแตกหักได้ง่ายเมื่อมีแรงมากระทำรูพรุนแบบหดตัวนี้มีสาเหตุมาจากการหดตัวอย่างรวดเร็วของโลหะในขณะที่เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็งซึ่งพฤติกรรมการหดตัวและการแข็งตัวเป็นคุณสมบัติเฉพาะทางฟิสิกส์ของโลหะบริสุทธิ์โลหะผสมที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้แก้ไขได้ค่อนข้างยากดังนั้นผลกระทบของการหดตัวของวัสดุจะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและพยายามหลีกเลี่ยงการเกิดรูพรุนหรือการบีบแก๊สที่อยู่ภายในน้ำโลหะออกมาระหว่างการแข็งตัวของโลหะ,การหดตัวของปริมาตรในชิ้นงานหล่อจะต้องได้รับการชดเชยโดยการเติมน้ำโลหะหลอมเหลวลงไปในรูเท หรือออกแบบชิ้นงานหล่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการแข็งตัวและหดตัวของโลหะ เพื่อให้น้ำโลหะสามารถไหลเข้าไปในโพรงแบบบริเวณที่บางให้เต็มก่อน และสามารถเติมน้ำโลหะเข้าไปในบริเวณที่หนาและมีพื้นที่กว้างได้

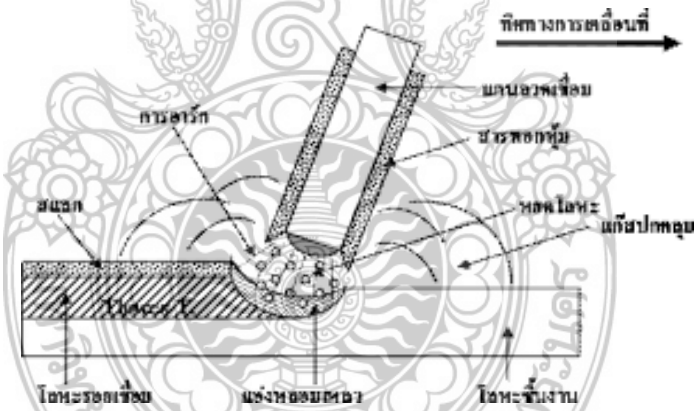
8) รอยร้าวจากการหดตัวมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดใหญ่และต่อเนื่องรวมตัวเข้าด้วยกันอย่างต่อเนื่องในลักษณะโครงข่าย ทำให้ชิ้นงานหล่อที่ได้มีคุณสมบัติทางกลต่ำ มีการแยกตัวหรือมีรอยแตกเมื่อมีแรงมากระทำ สาเหตุของการเกิดรอยร้าวที่ชิ้นงานหล่ออาจเกิดจากการหดตัวของเนื้อโลหะ หรืออาจเกิด

จากสารเจือปนที่มีอัตราการหดตัวสูงเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามบริเวณขอบเกรนของโลหะหลังจากโลหะแข็งตัวสมบูรณ์

2.5 ทฤษฎีการเชื่อม

อาร์คเชื่อมคือลักษณะการเกิดประการไฟเหมือนสายฟ้าแลบและมีแสงริบหรี่ในบางครั้ง ขณะเดียวกันจะเกิดควันแก๊สโดยรอบประกายอาร์ค ตัวนำไฟฟ้าที่กระแสไหลผ่านเป็นตัวทำให้เกิดประกายอาร์คและลุกไหม้ที่ปลายตัวนำเรียกว่าแท่งอิเล็กโทรดหรือลวดเชื่อมไฟฟ้าลวดเชื่อมไฟฟ้าจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือลวดเชื่อมชนิดคงรูปถาวรและลวดเชื่อมชนิดหลอมละลาย (สิ้นเปลือง) ลวดเชื่อมชนิดถาวรเมื่อได้รับความร้อนจากการอาร์คจะไม่หลอมละลายขาดด้วนไปรวมกับแนวเชื่อมลวดเชื่อมชนิดนี้ผลิตจากคาร์บอนหรือวุลแฟรม ส่วนลวดเชื่อมชนิดหลอมละลายทำจากโลหะเมื่อได้รับความร้อนจากการอาร์คจะหลอมละลายเป็นหยดน้ำโลหะลวดเชื่อมทั้งสองชนิดเป็นลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมไฟฟ้าทั้งสิ้น

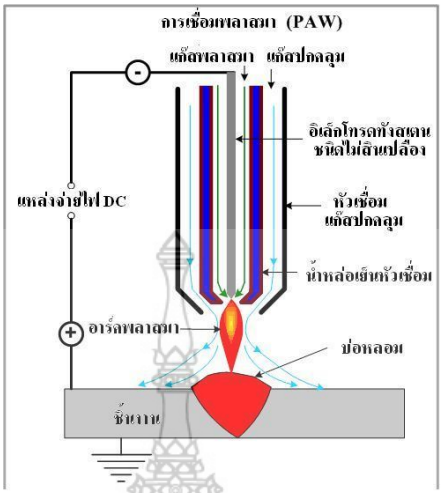
ประกายอาร์คมีลักษณะเป็นลำแสงที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านช่องอากาศทุกช่องที่ไหลผ่านส่วนนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวนำ มีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบตัวนำนั้น อาร์คเชื่อมก็เช่นเดียวกัน เมื่อเกิดสนามแม่เหล็กโดยรอบก็มีอำนาจแม่เหล็กจากสนามแม่เหล็กอื่นมารบกวนทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทาง จึงเป็นผลทำให้เกิดอาการเป่าซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็ก [magnetic arc blow] ในกระบวนการอาร์คเชื่อมได้



รูปที่ 2.8 ที่มาวัสดุประสานงานเชื่อมภาพจาก: ครูบุญชู แพงบุตรดี

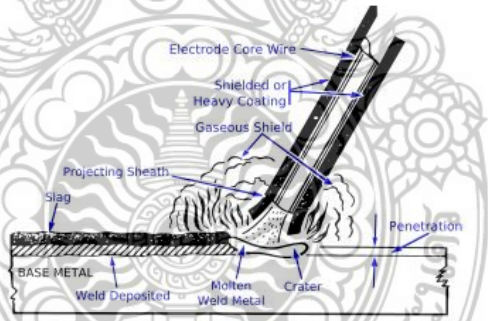
2.5.1 การเปลี่ยนสถานะวัสดุในการอาร์คเชื่อม

บ่อหลอมของการเชื่อมเกิดจากการหลอมละลายของลวดเชื่อมตรงบริเวณที่ทำให้เกิดการอาร์คของชิ้นงาน ประกายอาร์คเป็นตัวทำให้เกิดอุณหภูมิถึงจุดหลอมละลายและขึ้นอยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ลดต่ำลงมาความร้อนที่เกิดถูกใช้ในจุดสำคัญ 3 จุดคือที่ขั้วลบขั้วบวกและที่ลำแสงประกายอาร์คความร้อนส่วนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบทำให้เกิดการแพร่กระจายของอิเล็กตรอนและกระจายไปสู้ผิวขั้วลบเพิ่มอิเล็กตรอนให้กับขั้วบวกลำแสงประกายอาร์คจะมีความต้านทานต่ำเพราะมีแรงเคลื่อนลดลงเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดความร้อนน้อยลงด้วยประกายอาร์คเชื่อมจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งความร้อนที่ดีที่สุด สามารถเลือกขั้วเชื่อมเพื่อให้ได้ความร้อนที่เหมาะสมกับการใช้งานเมื่อต้องการให้ชิ้นงานหลอมละลายลึก



รูปที่ 2.9 ที่มาการเชื่อมพาสมาภาพจาก : SIAM PRODUCT

การที่ปลายลวดเชื่อมหลอมละลายกลายเป็นหยดน้ำโลหะเพิ่มขึ้นอย่างลวดเร็วรวมกับเนื้อโลหะชิ้นงานในบ่อหลอมได้ดี ขึ้นอยู่กับความแรงของอาร์คที่พ่นออกไปจากปลายลวดขนาดและปริมาณของหยดน้ำโลหะที่หยดต่อเนื่องสิ่งที่สำคัญที่สุดคือความเหนียวและความแค้นที่ผิวของน้ำโลหะเหลวที่รวมตัวกลายเป็นแนวเชื่อมที่มีอิทธิพลและมีความสำคัญอย่างยิ่ง



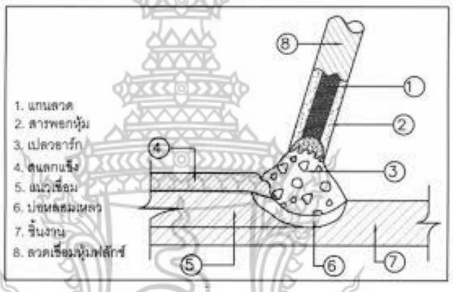
รูปที่ 2.10 บริเวณที่เกิดการเชื่อมภาพจาก : บริษัท TM

การรวมตัวและเปลี่ยนสถานะของหยดน้ำโลหะจากอาร์คเชื่อมวัสดุชิ้นงาน เกิดจากการเสริมแรงหลายลักษณะด้วยกันขณะเดียวกันทำให้เกิดความเสียหายได้ เช่น เกิดรูพรุน ฟองน้ำ แนวเชื่อมย้อยหน้าไม่เรียบ เกิดความเปราะลักษณะแรงที่เกิดมีดังต่อไปนี้แรงที่เกิดจากความแค้นที่ผิวหน้าหรือความตึงผิวและความเหนียวของวัตถุของเหลวแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวเป็นปริมาตรที่มีรูปทรง และมีพื้นผิวหน้าเล็กสุด ผิวจะเกาะตัวกันมีแรงตึงผิวสูง หยดน้ำโลหะเช่นเดียวกันเมื่อแยกตัวเป็นหยดน้ำโลหะจะมีลักษณะเป็นทรงกลม เป็นทรงที่มีปริมาณมาก และมีพื้นผิวน้อยที่สุด สภาพตึงผิวขึ้นอยู่กับอุณหภูมินั้นๆสภาพหลอมเหลวเกิดขึ้น 2 ลักษณะคือ หลอมเหลวในสภาพหนา และหลอมเหลวในสภาพบาง ขณะเดียวกันต้องคอนสังเกตและระมัดระวังเพื่อให้บ่อหลอมที่ผิวหน้าแนวซึ่งหลอมเหลว

อันเนื่องมากจากวัสดุหลายลวดละลายสวนทางกับทิศทางแรงดึงดูดของโลกแรงที่เกิดจากแรงดันไอน้ำโลหะที่จุดเริ่มให้ประกายการอาร์คโลหะจะได้รับความร้อนสูงมากและหลอมเหลวกลายเป็นไอลอยตัวในแนวตั้งฉากกับผิวหน้า การหยดของน้ำโลหะจากปลายลวดเชื่อมทำให้บ่อหลอมแผ่กระจายไปทางด้านข้างและลึกไปเป็นแนวก้นกระทะซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโพรงที่ปลายแนวเชื่อมขณะที่ดึงปลายลวดเชื่อมออกจากปลายสุดแนวเชื่อมเมื่อทำการหยุดเชื่อมของทุกครั้ง

2.5.2 การไหม้หมดไปและการเติมเนื้อวัสดุแนวเชื่อม

ส่วนประกอบของธาตุและสารผสมในเนื้อโลหะเมื่อนำไปเชื่อมจะถูกเผาไหม้ ทำให้มีปริมาตรลดลง แสดงว่าส่วนผสมของโลหะลุกไหม้หมดไปในทางกลับกัน ถ้าส่วนผสมเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น การไหม้หมดไปและการเติมเนื้อโลหะนั้นเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างลวดเชื่อมและวัสดุชิ้นงานกับแก๊สในอากาศ ในทางปฏิบัติไม่สามารถหลีกเลี่ยงความแตกต่างของส่วนผสมของวัสดุชิ้นงานและเนื้อโลหะแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นได้



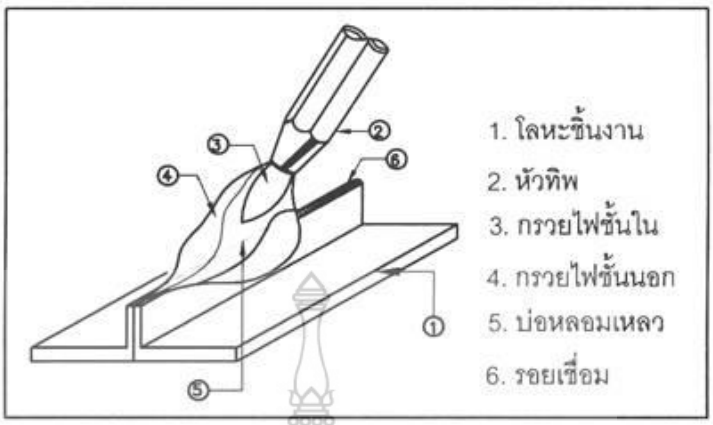
รูปที่ 2.11 การแสดงหน้าที่ของลวดเชื่อมภาพจาก : COATED ELECTRODE

2.5.3 ผลที่เกิดจากการเชื่อม

ลักษณะธรรมดาที่เกิดขึ้นที่ปลายลวดเชื่อมและชิ้นงานคือ เมื่อจุดประกายอาร์คได้อุณหภูมิสูงตามที่ต้องการ จะเกิดความต้านทานเนื่องจากวงจรลัดของกระแส ฉะนั้นต้องใช้ลวดเชื่อมเคาะหรือเขี่ยให้จุดประการอาร์คอย่างรวดเร็ว การจุดประกายอาร์คต้องใช้แรงเคลื่อนสูงแรงเคลื่อนสูงการจุดประกายอาร์คยิ่งง่าย แต่แรงเคลื่อนที่สูงจะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์

2.5.4 การลุกไหม้ของการเชื่อม

หลังจากการจุดประกายอาร์คต้องรักษาระยะจากปลายลวดถึงผิวหน้าชิ้นงานให้มีระยะที่สม่ำเสมอตลอดแนว ขณะเดียวกันมือจะต้องนิ่ง หากจุดไฟให้เกิดประกายอาร์คแล้วแรงเคลื่อนและกระแสสลับจะปรับตัวมันเองเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ก่อนการเชื่อม เป็นแรงเคลื่อนและกระแสที่จะใช้งานการเชื่อมด้วยมือไม่สามารถควบคุมให้เกิดระยะอาร์คเท่ากันได้ตลอด



รูปที่ 2.12 ความหนาและชนิดรอยต่อภาพจาก : GAS-WELDING

2.5.5 ประโยชน์ของแนวรอบเชื่อม

- เราใช้แนวเชื่อมมาใช้เป็นแนวพอกผิวหน้างานหรือใช้เป็นแนวเชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 2 ชิ้นการเชื่อมสามารถทำได้หลายวิธีฉะนั้นการจะเลือกใช้วิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานและพิจารณาว่าการร่วมตัวหลอมละลายระหว่างวัสดุชิ้นงานและลวดเชื่อมตรงรอบต่อละกรรมวิธีเชื่อมได้แนวลักษณะใดดีที่สุด

- การเชื่อมชิ้นงาน 2 ชิ้นให้ติดกันตลอดหน้าตัดของชิ้นงานในขณะเดียวกันเรียกว่าการเชื่อมชนอัดหลอมเหลว ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้กับการเชื่อมอาร์คแบบเปิดได้

- การเชื่อมชิ้นงานเชื่อมให้ติดกันเป็นจุดๆก็เพียงพอเช่นเดียวกับการเชื่อมความต้านทานแบบเชื่อมจุด [spot welding] เป็นการเชื่อมเรียงกันไปหรือเชื่อมต่อเนื่องเป็นแนวยาวของรอยต่อชิ้นงาน

- การเชื่อมโลหะด้วยวิธีการเชื่อมอาร์คเป็นการเชื่อมให้เกิดแนวต่อเนื่อง ทำให้ชิ้นงาน 2 ชิ้นงานติดกันเป็นเนื้อเดียว และถ้าเชื่อมเดินแนวบนหน้าผิวงานหลายแนวเรียงกันทำให้เกิดการพอกหน้างาน เรียกว่า เชื่อมผิวใช้เชื่อมผิวหน้างานที่สึกหรอหรือพอกผิวแข็ง

2.5.6 ชนิดของแนวเชื่อม

แนวเชื่อมเป็นเนื้อโลหะใหม่ของลวดเชื่อมและวัสดุต่าง ๆ ใช้เป็นตัวประสานรอยต่อของชิ้นงานที่นำมาวางกันในลักษณะต่าง ๆ ให้ติดกันเป็นเนื้อเดียวกัน การแสดงลักษณะของแนวจะใช้แทนลักษณ์แทนไม่อธิบายลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อมเหมือนกับของจริง ลักษณะและชนิดของแนวเชื่อมที่สำคัญและใช้งานมากตัวอย่างคร่าว ๆ ตามตารางรูปที่ 2.13

สัญลักษณ์	ชื่อรอยแนวเชื่อม	ภาพก่อนเชื่อม หลังเชื่อม	แสดงสัญลักษณ์ในแบบงาน
	ต่อชนแบบยกขอบ		
	ต่อชนแบบขนาน		
	ต่อชนแบบบากสองข้างตัววี		
	ต่อชนแบบบากข้างเดียวตัววี		
	ต่อชนแบบบากสองข้างตัวเวย		
	ต่อชนแบบบากข้างเดียวตัวเวย		
	ต่อชนแบบบากสองข้างตัวยู		
	ต่อชนแบบบากข้างเดียวตัวเจ		
	เชื่อมปิดหลัง		
	ต่อชนแบบตั้งฉาก		
	เชื่อมร่อง		
	เชื่อมอุด		

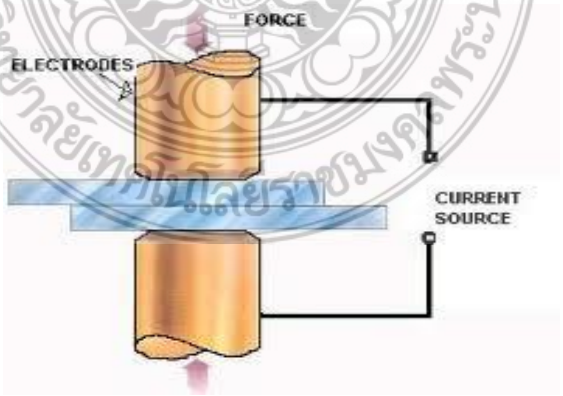
รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ในงานเชื่อมภาพจาก : GSTAR CAD

2.5.7 กระบวนการเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้า

การเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้าหมายถึงการต่อโลหะ 2 ชิ้นให้ติดกันโดยการให้ความร้อนแก่โลหะจนหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกันโดยการเติมลวดเชื่อมเป็นตัวให้ประสานเป็นกระบวนการสำหรับต่อตัววัสดุโดยให้รวมตัวเข้าหากันในภาคอุตสาห์กรรมมีการนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่นในพื้นที่โล่งแจ้ง พื้นที่อับอากาศ พื้นที่ขนาดเล็ก เป็นต้น การเชื่อมอาจมีอันตรายที่เกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรระมัดระวังเพื่อป้องกันการเกิดอันตราย

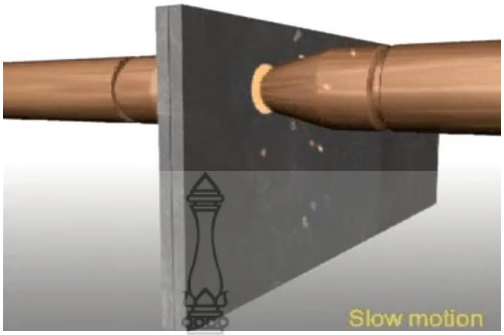
2.5.8 กระบวนการทำงานของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบ Diy Spot welding

กระบวนการทำงานของเครื่อง Diy Spot welding นี้มีหลักการทำงานคล้าย ๆ การเชื่อมแบบไฟฟ้าทั่วไปแต่เพียงเปลี่ยนจากการใช้ลวดเชื่อมที่ทำหน้าที่ในการอาร์คเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน 2 ชิ้นวางตรงกันทำให้เกิดการอาร์คบริเวณจุดส่วนปลายของโลหะดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การอาร์คบริเวณจุดส่วนปลายโลหะ

รอยเชื่อมที่ได้นั้นจะมีขนาดเล็ก เนื่องจากน้ำประสานที่หยดลงมาจากโลหะที่นำมาใช้ขึ้นอยู่กับที่ปลายของโลหะ กระแสไฟจะถูกถ่ายออกมาทางปลายโลหะออกมาสู่ชิ้นงานดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กระแสไฟที่ถูกถ่ายออกมาทางปลายโลหะ

2.5.9 การตรวจสอบรอยเชื่อมแบบไม่ทำลาย

- การทดสอบโดยไม่ทำลาย (NDT) ขั้นพื้นฐาน

การทดสอบโดยไม่ทำลายขั้นพื้นฐาน (Non Destructive Testing – NDT) เป็นสาขาหนึ่งของวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับทุกวิธีของการตรวจสอบและการประเมินจุดบกพร่องในวัตถุต่างๆ จุดบกพร่องสามารถส่งผลกระทบต่อความสามารถในการใช้งานของวัตถุหรือโครงสร้าง ดังนั้น NDT จึงมีความสำคัญในการการันตีการปฏิบัติงานที่ปลอดภัยตลอดจนการควบคุมคุณภาพและการประเมินอายุของโรงงานจุดบกพร่องอาจเป็นรอยแตกร้าวหรือสารฝังในในงานเชื่อมและการหลอมหรือการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติทางโครงสร้างที่ทำให้ขาดความแข็งแรงหรือไม่สามารถใช้งานได้ ลักษณะสำคัญของการทดสอบแบบ NDT คือกระบวนการทดสอบจะไม่ก่อให้เกิดผลที่เป็นอันตรายต่อวัตถุหรือโครงสร้าง

การทดสอบโดยทั่วไปจะมีวัตถุประสงค์หลักอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

1) เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์

2) เพื่อควบคุมคุณภาพการผลิตข้อนี้ควรกระทำเป็นประจำ

- การทดสอบโดยไม่ทำลายอาจแบ่งโดยปัจจัยหลักดังนี้คือ

เน้นการตรวจสอบโดยการยอมรับวัสดุภายใต้เงื่อนไขของการค้าเพื่อเป็นการควบคุมการผลิตส่วนใหญ่มีมาตรฐานการตรวจที่อยู่ภายใต้ค่าที่กำหนดเอาไว้เป็นการทดสอบวัสดุหลายๆชิ้นหรือชิ้นเดียวแต่มีตัวอย่างค่อนข้างมากโดยเป็นการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัตถุเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ออกแบบการทดสอบชนิดเป็นการทดสอบที่ต้องเอาใจใส่ ใช้เวลาและต้องแม่นยำการทดสอบโดยไม่ทำลายนี้จะมีความหมายที่สำคัญชัดเจนคือการทดสอบวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่เมื่อถูกทำการทดสอบแล้วสิ่งที่ถูกทดสอบจะไม่ถูกทำลายแต่สามารถกลับมาใช้ได้ดังเดิม

- การทดสอบโดยการใช้สารแทรกซึม PT

การทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing – PT) เป็นหนึ่งในที่มีประสิทธิภาพสำหรับการการตรวจหาความไม่ต่อเนื่องที่เปิดสู่พื้นผิวของโลหะที่ไม่มีรูพรุนหรือวัตถุอื่น เช่นโลหะพลาสติกแก้วและเซรามิคเป็นต้น ความไม่ต่อเนื่องตามปกติที่ตรวจพบได้ด้วยวิธีนี้ได้แก่ รอยร้าว รอยต่อ ส่วนเกินที่ยื่นออกมา ผิวลาย มีชั้นบางซ้อนกันและมีรูพรุน

-สารแทรกซึมประกอบด้วยสารย้อมสีที่มีสีต่างๆมองเห็นได้ง่ายในแสงสีขาวหรือสารเรืองแสงที่มองเห็นได้ในแสงสีดำ (อัลตร้าไวโอเล็ต) สารแทรกซึมใช้โดยการจุ่ม การพ่น การแปรงหรือการไหลหลังใช้สารแทรกซึมต้องรอเวลาที่เพียงพอ (เวลาที่สารคงอยู่) เพื่อให้สารแทรกซึมซึมผ่านจุดที่มีรอยร้าวก่อนทำการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึมแต่ละครั้ง พื้นผิวที่จะทำการตรวจสอบและและบริเวณใกล้เคียงอย่างน้อย 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) ต้องแห้งและไม่มีสิ่งสกปรก จารบี สะเก็ด ฟลักซ์ในงานเชื่อมสะเก็ดเชื่อมสี น้ำมันและสิ่งแปลกปลอมภายนอกอื่นที่ปกคลุมพื้นผิวเปิดหรือรบกวนการตรวจสอบ

- ประโยชน์ของการทดสอบโดยไม่ทำลาย

- เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน ของชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบ
- เป็นเครื่องมือสำคัญในการบำรุงรักษา เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์
- ช่วยเพิ่มผลผลิต เนื่องจากทำให้พบของเสียจากต้นกระบวนการผลิต ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขั้นต่อไปหรือเป็นเครื่องมือที่ช่วยตรวจวัดคุณภาพของสิ้นค้าหรือผลิตภัณฑ์เพื่อทำการตกแต่งกระบวนการให้มีผลผลิตที่ดียิ่งขึ้น
- ใช้ทดสอบคุณภาพทางเคมี ทางการภาพ และทางโลหะของวัสดุได้

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบรอบเชื่อมแบบไม่ทำลาย คือ

- เพิ่มความเชื่อมั่นของชิ้นงาน
- เพื่อปรับปรุงเทคนิคในกระบวนการผลิต
- เพื่อลดความเสียหายของกระบวนกระผลิต

ทั้งนี้การตรวจสอบรอยเชื่อมแบบไม่ทำลายนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตเป็นหลัก สามารถทำชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานมาใช้ประโยชน์หรือซ่อมแซมให้กลับมาใช้ในรูปแบบอื่นๆได้โดยที่การทดสอบหรือกระบวนการตรวจสอบนั้นก็มีมาตรฐานต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตอยู่แล้วเป็นต้น

2.6 โลหะเงินบริสุทธิ์

โลหะเงินเป็นธาตุโลหะที่หายากและมีราคาแพง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะมีค่า เช่นเดียวกับทองคำ ธาตุโลหะเงินมีสัญลักษณ์ทางเคมี Ag และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ FCC (Face Center Cubic) คุณสมบัติหลักๆ ของธาตุโลหะเงินสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ลักษณะโดยทั่วไปของโลหะเงิน เป็นโลหะสีขาวมันวาวอ่อนนิ่ม ก้อนโลหะเงินสามารถตีแผ่หรือรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้บางถึง 0.00025 มิลลิเมตร โดยทั่วไปโลหะเงินไม่เกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 190°C ผิวของโลหะเงิน ถ้าทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน ๆ จะเปลี่ยนเป็นสีดำเนื่องจากมีซัลเฟอร์ (Sulfur) อยู่ในอากาศมากโลหะเงินบริสุทธิ์มีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 960.8°จุดเดือดที่อุณหภูมิ 2210 องศา

เซลเซียสจะทำให้กลายเป็นไอสีขาวเงินในขณะที่โลหะเงินเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งโลหะเงินสามารถดูดกลืน (Absorb) ออกซิเจนได้ประมาณ 20 เท่าคุณสมบัติต่างๆทางกายภาพของโลหะเงิน ความหนาแน่น (Density) โลหะเงินบริสุทธิ์มีความหนาแน่นเท่ากับ 10.49g/cc ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสค่าความหนาแน่นของโลหะเงินยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต การขึ้นรูปและการขึ้นรูปในลักษณะต่างๆ อาทิเช่น การหล่อขึ้นรูป การรีด การดัดและการกดลากขึ้นรูป นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีทางความร้อนต่างๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น การอบเป็นเนื้อเดียว การอบอ่อน และการอบเพิ่มความแข็ง ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (^{o}C)	ความหนาแน่น (g/cm^{3})
960	9.30
976	9.285
1,000	9.259
1,043	9.210
1,070	9.188
1,092	9.200
1,094	9.170
1,145	9.150
1,195	9.100
1,250	9.050
1,302	9.000

คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Property) เงินละลายได้ดีในกรดไนตริก (Nitric Acid) เกิดเป็นอาร์เจนติคไนเตรท (Argentic Nitrate) หรือที่ทราบกันทั่วไปคือลูนาร์คอสติค (Lunar Caustic) ส่วนกรดซัลฟูริค (Sulphuric Acid) เข้มข้นที่ร้อนละลายเงินได้อย่างช้าๆ เป็นเงินอาร์เจนติคซัลเฟต (Argentic Sulphate) กับให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur Dioxide) กรดซัลฟูริคเจือจางไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเงินได้ในลักษณะของซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver Sulphate)

- กรดไฮโดรคลอริค (Hydrochloric Acid) ทำปฏิกิริยากับเงินช้ามากและเกิดเพียงเฉพาะที่ผิวเท่านั้น โดยจะเกิดคลอไรด์เคลือบโลหะไว้ โปตัสเซี่ยมไซยาไนด์ (Potassium Cyanide) สามารถละลายเงินได้ อัลคาลิสไม่ทำปฏิกิริยากับเงินด้วยเหตุนี้เบ้าหลอมเงินจึงเป็นพวกอัลคาไลน์

- การตกตะกอนของเงินกรดไฮโดรคลอริคและคลอไรด์ทำให้เงินคลอไรด์ตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นซึ่งถ้าให้ความร้อนและคนให้ทั่ว สารละลายจะมีลักษณะเป็นขรุยและตกตะกอนอย่างรวดเร็วเมื่อถูกกับแสงตะกอนจะมีสีเทาอมน้ำเงินและค่อยๆเป็นสีม่วงจนในที่สุดจะเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ

2.6.1 โลหะวิทยาโลหะเงินสเตอร์ลิง

โลหะเงินบริสุทธิ์ที่ใช้สำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเงินมีคุณสมบัติทางกลอ่อนนิ่ม ความสามารถในการคงรูปต่ำไม่เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตและการนำไปใช้งานจึงต้องมีการเจือธาตุเจือลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติด้านการหล่อขึ้นรูปและเพิ่มความต้านทานการหมอง ซึ่งธาตุเจือที่เจือเข้าไปจะต้องไม่ทำให้คุณค่าและความสวยงามของโลหะเงินลดลง ธาตุเจือหลักที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ ทองแดง เพราะทองแดง มีคุณสมบัติที่สามารถละลายรวมกับเงินได้ในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ตกตะกอน (Precipitate) ของทองแดงด้วยกระบวนการ Precipitation Strengthening

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ว่าด้วยข้อกำหนดเกี่ยวกับชนิดและคุณลักษณะที่ต้องการของเครื่องเงินรวมทั้งวิธีทดสอบเครื่องเงินและยาถมเพื่อหาปริมาณโลหะเงินบริสุทธิ์ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- เครื่องเงิน หมายถึงวัสดุที่ทำด้วยโลหะเงินหรือประกอบขึ้นจากโลหะเงินเป็นส่วนสำคัญ
- โลหะเงินมาตรฐาน หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะชนิดอื่นปนไม่เกินร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก
- โลหะเงินบริสุทธิ์ หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะอื่นปนไม่เกินร้อยละ 0.01 ของน้ำหนัก

2.6.2 ลักษณะทั่วไปของเงินเจือประเภทต่างๆ

- Ag950 มีลักษณะเช่นเดียวกับเงินบริสุทธิ์ และต้านการเกิดออกซิเดชั่นหลังการอบเหนียวจะเกิดออกไซด์ ที่ผิวนอกเกือบจะถึงผิวใน และจะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับชั้นของออกไซด์จุดหลอมเหลวที่สูงจะเหมาะกับการชุบผิวตามโลหะจะมีความแข็งเท่ากับเงินบริสุทธิ์สามารถทำเป็นแผ่นบางๆขึ้นรูปได้ดียังสามารถทำให้บางได้ถึง 75% ในระหว่างการอบเหนียวและต่อเนื่องกันเพราะฉะนั้นวัสดุนี้เหมาะกับการขึ้นรูป (Ag950) และสามารถดัดเป็นลวดได้ดี ส่วนความแข็งจะเริ่มต้นจากอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียสและจำเป็นต้องเย็นตัวอย่างรวดเร็วหลังการหลอมเหลวและอบเหนียว ดังนั้นความสามารถในการทนการยืดและหดจะลดลง ลักษณะด้อยของ Ag950 คือการเสียรูปร่างง่าย เมื่อเพิ่มความแข็งจาก 50 บาทจนเกินกว่า 100 บาทด้วยการชุบแข็งเป็นไปได้ว่าเกือบจะไม่มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กมากนัก

- Ag925 โดยทั่วไปจะเรียกว่า เงินสเตอร์ลิง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมากถึงคุณภาพเหมือนกับ Ag950 มีลักษณะเหมือนกับเงินบริสุทธิ์นิยมจะใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับมีความต้านทานการเกิดออกซิเดชั่นสูง โลหะผสมชนิดนี้ใช้ในงานเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวได้ดีเท่ากับ Ag950 อัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกันจะให้ได้คุณสมบัติที่แตกต่างกันตามความต้องการ

1) การอบเหนียวที่ 650 องศาเซลเซียนเย็นตัวเร็วจะเกิดการแตกหักด้วยอัตราการยืดตัว 42 เปอร์เซ็นต์

2) การอบเหนียวที่ 650 องศาเซลเซียนเย็นตัวช้า (ในเตาครึ่งชั่วโมงที่ 350 องศาเซลเซียล) จะเกิดการแตกหักด้วยอัตราการยืดตัวที่ 25 เปอร์เซ็นต์

- Ag835 ปกติจะใช้ในการทำเครื่องประดับ แต่ลักษณะสีของ Ag835 จะไม่ขาวสะอาดเหมือนกับเงินบริสุทธิ์มากนัก การใช้งานสามารถรู้สึกถึงความต้านทานการสึกหรอที่มากขึ้น

2.7 สรุป

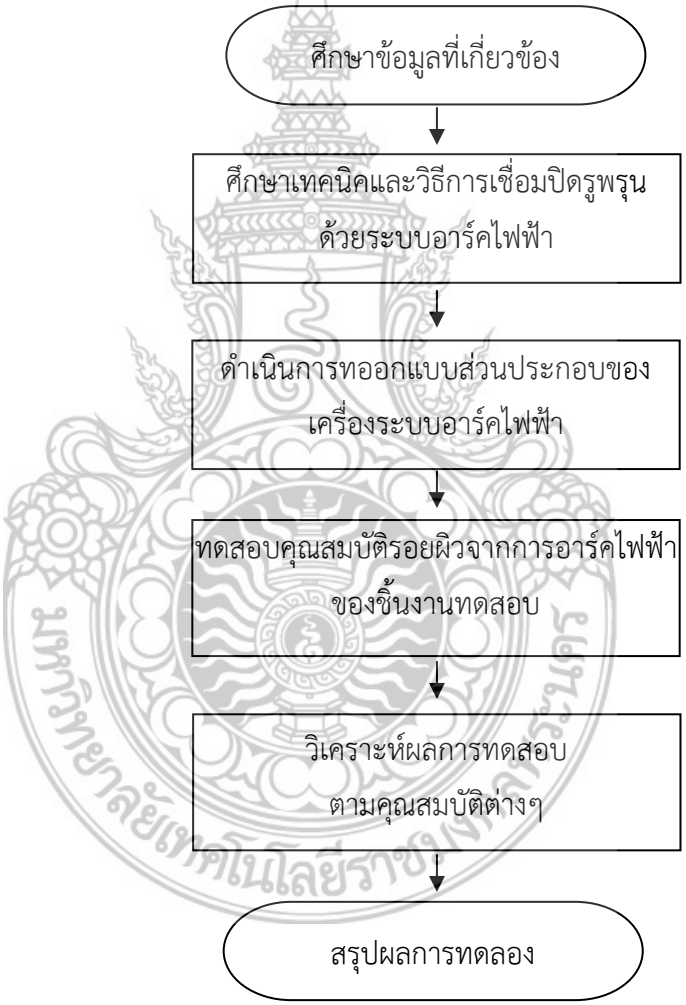
เครื่องเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเครื่องประดับด้วยวงจรไฟฟ้านี้ ทางผู้จัดทำเล็งเห็นความสำคัญในการลดต้องทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตมาเป็นอันดับต้น ๆ และได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเครื่องประดับแล้วว่ามีความสารถในการเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับ และสามารถอุดรูพรุ่นตามดได้ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของโครงการนี้ จึงเห็นว่าอาจจะมีประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก รวมไปถึงภาคอุตสาหกรรมขนาดกลางที่ไม่ต้องการเพิ่มต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการหล่อที่สูงมากนัก และเครื่องเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเครื่องประดับนี้สามารถทดแทนเครื่องเชื่อมเลเซอร์ที่มีราคาสูงได้มากอยู่พอสมควร จึงคิดว่าเครื่องเชื่อมประกอบชิ้นส่งเครื่องประดับนี้มีประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมไม่มากก็น้อย อีกทั้งยังช่วยในการนำของเสียจากกระบวนการผลิตนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

การศึกษาพัฒนาเครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง ด้วยระบบอาร์คไฟฟ้าเพื่อเชื่อมปิดรูพรุนในอัตราส่วนกระแสคงที่ 500 แอมแปร์ ในระยะเวลาการอาร์คปิดรูพรุนที่แตกต่างกัน และทำการเชื่อมอาร์ค เพื่อทำการเปรียบเทียบและศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลของรอยเชื่อมที่พารามิเตอร์ต่างๆ แผนภาพการไหลกระบวนการการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



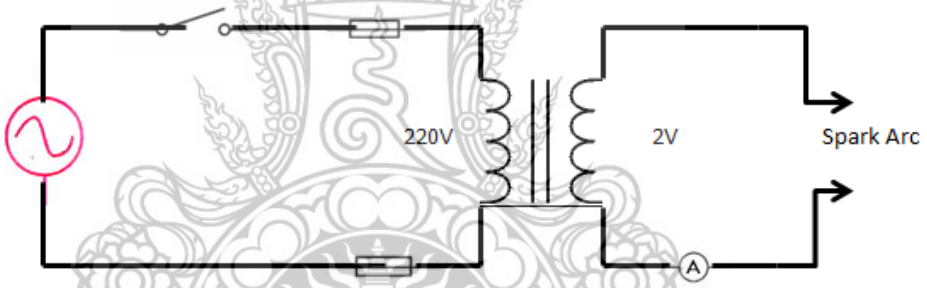
รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการทำโครงการ

3.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

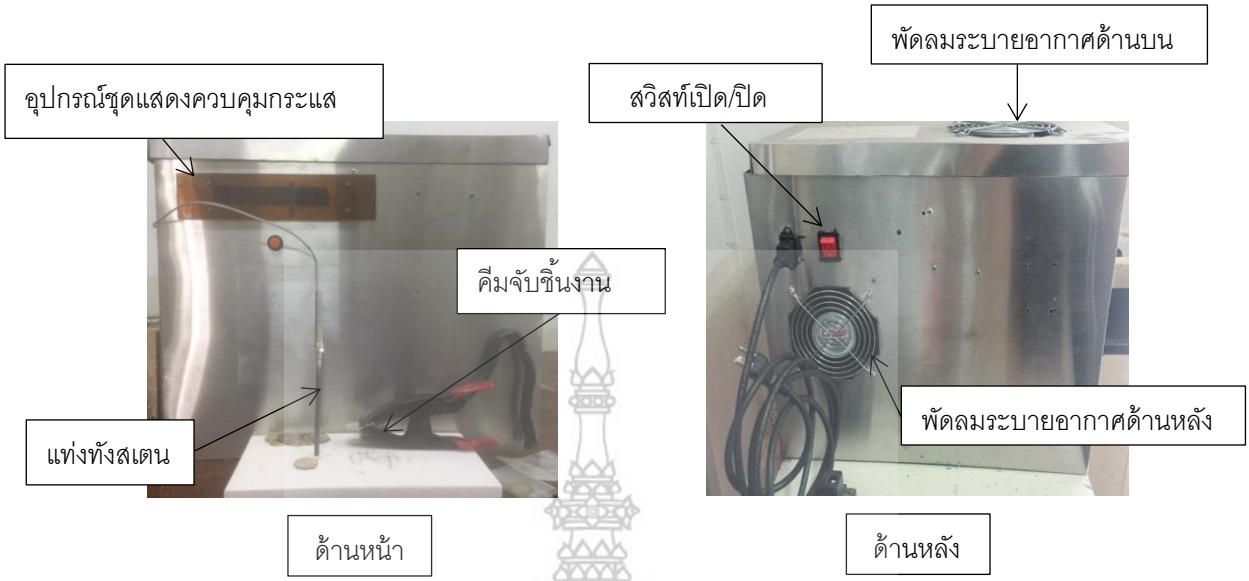
การเตรียมการสิ่งสำคัญคือการเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ เพื่อเป็นตัวช่วยในการประหยัดเวลาของการดำเนินงานได้อย่างคล่องตัวพร้อมทั้งลดปัญหาความล่าช้าในการดำเนินงานถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากในการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่นำมาทดลองประกอบไปด้วยทดลอง อุปกรณ์ Safety ที่ใช้ในงานเชื่อมจัดเป็นส่วนต่างๆได้ ดังนี้

3.2.1 การออกแบบและประกอบเครื่องเชื่อมประสานด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า

เครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิงด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า เป็นชุดอุปกรณ์เพื่อการซ่อมแซมรูพรุนตัวเรือนเครื่องประดับด้วยอุปกรณ์การอาร์คไฟฟ้าด้วยวงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 3.2 และการประกอบเครื่องเชื่อมที่สมบูรณ์พร้อมกับการทดลองชิ้นงานรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 วงจรไฟฟ้าเครื่องเชื่อมประสานด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 เครื่องเชื่อมประสานด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า

3.2.2 วัสดุสำหรับทดลอง

ในการทดลองใช้วัสดุเป็นเงิน925 โดยผ่านการบวนการหล่อขึ้นรูป ขนาดวงกลมขนาดความกว้าง 23 มิลิเมตรนำมาจำลองสร้างรูพรุนโดยการเจาะบริเวณพื้นที่หน้าตรงกลางโดยมีความหนาของชิ้นงาน 3 มิลิเมตรด้วยกระบวนการหล่อ จำนวน 4 ชุดการทดลองชิ้นทดลองชุดละ 100 ชิ้น จำนวนทั้งหมด 400 ชิ้นและสุ่มตัวอย่าง ชุดการทดลองละ 5 ชิ้น

1.การเตรียมต้นแบบ

รูปที่ 3.4 ต้นแบบ WAX และแบบปูน

2.ขั้นตอนการหล่อต้นแบบ

รูปที่ 3.5 หลอมโลหะและการหล่อต้นแบบ

3.ชิ้นงานสำเร็จสำหรับทดลองเชื่อมปิดรูพรุน เป็นการนำมาเจาะรูทดลองซึ่งแบ่งเป็นชิ้นงานละ 4 รูพรุนขนาดคือ1มิลิเมตรโดยการใช้แรงดันไฟฟ้าในการเชื่อมเริ่มทดลองตามลำดับดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 ชิ้นงานทดลอง

3.2.3 ประเด็นการทดลอง

การออกแบบการทดลองของโครงการนี้เพื่อหาจำนวนชิ้นงานทดสอบโดยจะกำหนดขนาดของรูพรุนชิ้นงานขนาด 1 มิลลิเมตรเท่ากันทุกรูพรุนของการทดลองเชื่อมด้วยค่าแรงดันกระแสไฟฟ้า 500 แอมแปร์จำนวน 4 ชุดการทดลองชิ้นทดลองชุดละ 100 ชิ้น จำนวนทั้งหมด 400 ชิ้นและสุ่มตัวอย่างชุดการทดลองละ 5 ชิ้น จะใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดเวลาในการอาร์คด้วยขั้นตอนนำชิ้นงานที่ทดลองได้ไปทำการเชื่อมตามที่กำหนดเพื่อหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการเชื่อมรูพรุนตามดการทดลองใช้เวลาในการอาร์คคิดเป็นวินาทีต่อลักษณะงานที่ได้แบ่งเป็นเต็มคืองานที่อาร์คออกมาแล้วเต็มรูพรุนชิ้นงานชิ้นงานออกมาสมบูรณ์และงานไม่เต็มคืองานที่อาร์คออกมาแล้วไม่เต็มรูพรุนคือชิ้นงานไม่สมบูรณ์ ได้จัดทำการทดลองทั่งหมด 4 ประเด็น ดังนี้

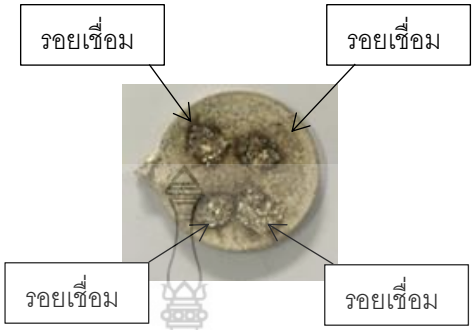
การทดลองที่ 1 ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร 20 จุด ใช้เวลาในการอาร์ค 5 วินาที
การทดลองที่ 2 ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร 20 จุด ใช้เวลาในการอาร์ค 15 วินาที
การทดลองที่ 3 ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร 20 จุด ใช้เวลาในการอาร์ค 20 วินาที
การทดลองที่ 4 ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร 20 จุด ใช้เวลาในการอาร์ค 25 วินาที

1.การทดลองการเชื่อม

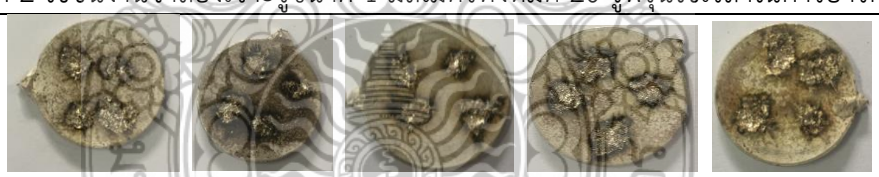
ทดลองเชื่อมด้วยค่าแรงดันกระแสไฟฟ้า 500 แอมแปร์ จำนวน 4 ชุดการทดลองชิ้นทดลองชุดละ 100 ชิ้น จะใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดเวลาในการอาร์คด้วยขั้นตอนนำชิ้นงานที่ทดลองได้ไปทำการเชื่อมตามที่กำหนดเพื่อหาค่าเวลาที่เหมาะสมในการเชื่อมปิดรูพรุนและตามดบนผิวงานหล่อ

รูปที่ 3.7 การดำเนินการเชื่อมประสานด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า500แอมแปร์

2.ชิ้นงานทดลองหลังการเชื่อมปิดรูพรุน



รูปที่ 3.8 ลักษณะชิ้นงานทดสอบเชื่อมปิดรูพรุน

การทดลองที่ 1 ใช้ชิ้นงานจำลองรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตรทั้งหมด 20 รูพรุนใช้เวลาในการอาร์ค 5 วินาที
การทดลองที่ 2 ใช้ชิ้นงานจำลองเจาะรูขนาด 1 มิลิเมตรทั้งหมด 20 รูพรุนใช้เวลาในการอาร์ค 10 วินาที

การทดลองที่ 3 ใช้ชิ้นงานจำลองเจาะรูขนาด 1 มิลิเมตรทั้งหมด 20 รูพรุนใช้เวลาในการอาร์ค 15 วินาที
การทดลองที่ 4 ใช้ชิ้นงานจำลองเจาะรูขนาด 1 มิลิเมตรทั้งหมด 20 รูพรุนใช้เวลาในการอาร์ค 20 วินาที

รูปที่ 3.9 การสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมที่แรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ร่วมกับน้ำประสาน

2.ชิ้นงานทดลองคุณภาพรอยเชื่อมปิดรูพรุน

สุ่มตัวอย่างจากการทดลองเชื่อมอาร์คแต่ละช่วงเวลา จำนวนช่วงเวลาละ 5 ชิ้น รวมทั้งสิ้น 20 ชิ้น แล้วทำการตรวจสอบโครงสร้างของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อศึกษาจุดบกพร่องและลักษณะโครงสร้างภายนอกของรอยเชื่อมที่ได้จากกระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยน้ำประสานที่เหมาะสมกับเงิน 925 ตามที่กำหนดมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.10 ลักษณะการสุ่มตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมอาร์คด้วยน้ำประสานด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.3 สรุปผลการทดลอง

การตรวจสอบโครงสร้างของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อศึกษาจุดบกพร่องและลักษณะโครงสร้างภายนอกของรอยเชื่อมที่ได้จากการกระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยน้ำประสานที่ที่เหมะสมกับเงิน 925 จำนวน 4 ชุดการทดลองชิ้นทดลองชุดละ 100 ชิ้น จำนวนทั้งหมด 400 ชิ้นและสุ่มตัวอย่างชุดการทดลองละ 5 ชิ้น เพื่อนำผลที่ได้ไปประเมินการทำงานของเตรื่องเชื่อมระบบอาร์คไฟฟ้า

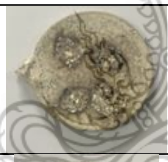
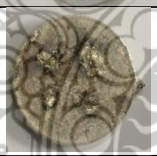
บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

4.1 บทนำ

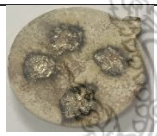
จากตารางบันทึกข้อมูลการทดลองนำมาวิเคราะห์ด้วยการสุ่มตัวอย่างจากการทดลองเชื่อมอาร์คแต่ละช่วงวลา จำนวน 4 ชุดการทดลอง ชุดละ 100 ชิ้น จำนวนทั้งหมด 400 ชิ้นและสุ่มตัวอย่างชุดการทดลองละ 5 ชิ้น แล้วทำการตรวจสอบโครงสร้างภายนอกของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาจุดบกพร่องและลักษณะโครงสร้างภายนอกของรอยเชื่อมที่ได้จากการกระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยน้ำประสานที่เหมาะสมกับเงิน 925 ตามที่กำหนด และตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมอาร์คจากเครื่องเชื่อมระบบอาร์คแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์

4.2 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

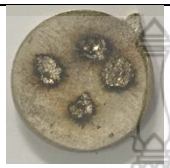
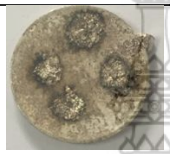
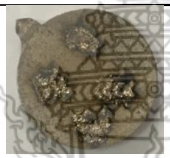
ตารางที่ 4.1 ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 5 วินาที

ชิ้นที่	ผลเวลาในการอาร์ค	จุดที่	งานที่ได้	
			เต็ม	ไม่เต็ม
1		1		√
		2		√
		3		√
		4		√
2		1		√
		2	√	
		3		√
		4		√
3		1		√
		2		√
		3	√	
		4		√
4		1		√
		2		√
		3		√
		4	√	
5		1		√
		2		√
		3		√
		4		√
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			15%	85%

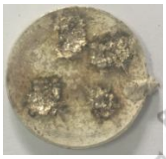
ตารางที่ 4.2 ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า 500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 10 วินาที

ชิ้นที่	ผลเวลาในการอาร์ค	จุดที่	งานที่ได้	
			เต็ม	ไม่เต็ม
1		1		√
		2		√
		3		√
		4	√	
2		1	√	
		2		√
		3	√	
		4		√
3		1		√
		2		√
		3	√	
		4		√
4		1		√
		2		√
		3		√
		4		√
5		1		√
		2		√
		3		√
		4	√	
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			25%	75%

ตารางที่ 4.3 ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 15 วินาที

ชิ้นที่	ผลเวลาในการอาร์ค	จุดที่	งานที่ได้	
			เต็ม	ไม่เต็ม
1		1		√
		2		√
		3		√
		4		√
2		1		√
		2		√
		3	√	
		4	√	
3		1		√
		2		√
		3	√	
		4	√	
4		1	√	
		2	√	
		3	√	
		4	√	
5		1	√	
		2		√
		3	√	
		4	√	
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			55%	45%

ตารางที่ 4.**4** ผลการสุ่มชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมแรงดันไฟฟ้า500แอมแปร์ ปิดรูพรุนขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยระยะเวลา 20 วินาที

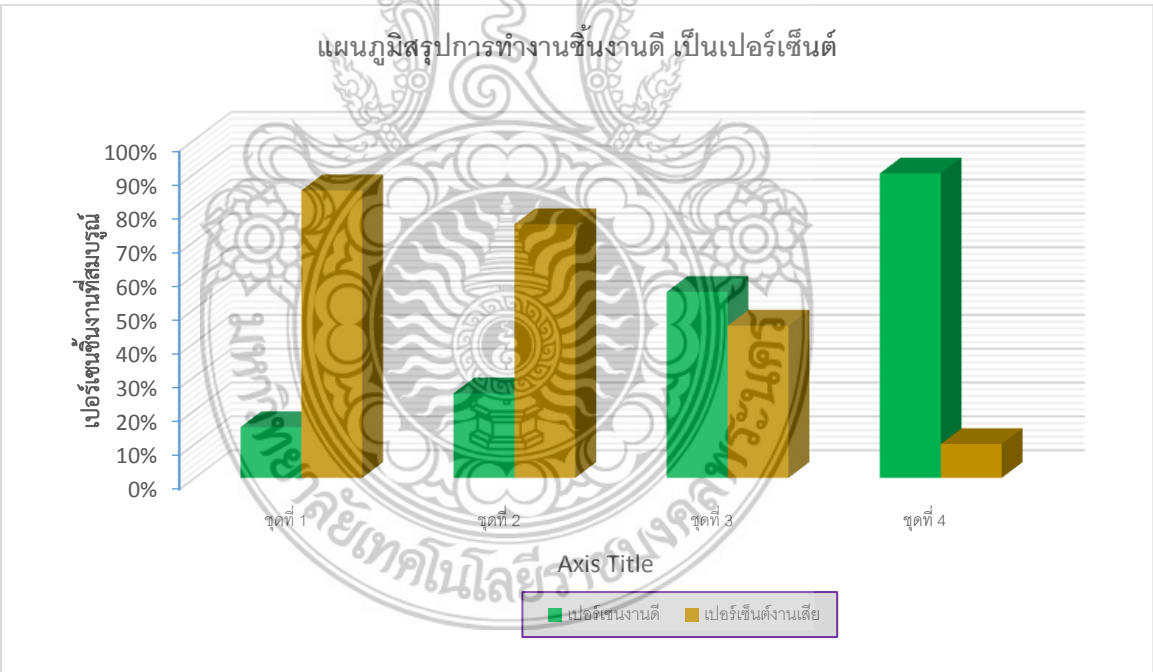
ชิ้นที่	ผลเวลาในการอาร์ค	จุดที่	งานที่ได้	
			เต็ม	ไม่เต็ม
1		1	√	
		2	√	
		3	√	
		4	√	
2		1	√	
		2	√	
		3	√	
		4	√	
3		1	√	
		2	√	
		3		√
		4	√	
4		1	√	
		2	√	
		3	√	
		4	√	
5		1	√	
		2	√	
		3	√	
		4		√
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			90%	10%

4.3 สรุปผล

จากการทดลองเครื่องเชื่อมระบบอาร์คเชื่อมปิดรูพรุนเครื่องประดับด้วยแรงดันไฟฟ้า500 แอมแปร์ นั้น จำนวน 4 ชุดการทดลอง ชุดละ 100 ชิ้น จำนวนทั้งหมด 400 ชิ้นและสุ่มตัวอย่าง ชุดการทดลองละ 5 ชิ้น โดยใช้ชิ้นงานทดลองทั้งหมด 20 ชิ้น

- ชุดที่ 1 จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 3 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 17 รูพรุน คิดเป็นงานสมบรูณ์ 15 เปอร์เซ็นต์
- ชุดที่ 2 จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 5 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 15 รูพรุน คิดเป็นงานสมบรูณ์ 25 เปอร์เซ็นต์
- ชุดที่ 3 จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 11 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 9 รูพรุน คิดเป็นงานสมบรูณ์ 55 เปอร์เซนต์
- ชุดที่ 4 จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 18 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 2 รูพรุน คิดเป็นงานสมบรูณ์ 90 เปอร์เซ็นต์

จึงสามารถบอกได้ว่ากระแสไฟที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานจะอยู่ในช่วงเวลา 15-20 วินาทีหลังจากนั้นประสิทธิภาพในการซ่อมแซมจะลดลงไปถ้าหากเราใช้ระยะเวลาน้อยเกินไป เนื่องจากการอาร์คจะไม่ทั่วถึงจึงทำให้การใช้ระยะเวลาของการอาร์คสำคัญ



รูปที่ 4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมที่มีชิ้นงานสมบรูณ์

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจนถึงขั้นตอนการทำการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้เครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง ด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า สามารถซ่อมเชื่อมปิดรูพรุนหรือตามดได้ ระดับหนึ่งและเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการซ่อมเชื่อมปิดรูพรุนหรือตามดบนตัวเรือนเครื่องประดับซึ่งการสรุปและการประเมินผลจะแสดงดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผล

ผลศึกษาการดำเนินงานกรณีศึกษาการพัฒนา เครื่องเชื่อมประสานชิ้นส่วนเครื่องประดับเงินสเตอร์ลิง ด้วยระบบอาร์คไฟฟ้า ซ่อมเชื่อมปิดรูพรุนตัวเรือนเครื่องประดับด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้า 500 แอมแปร์ ”เป็นไปตามวัตถุประสงค์สได้สามารถแก้ไขปัญหาซ่อมเชื่อมปิดรูพรุนหรือตามดชิ้นส่วนเครื่องประดับได้ เป็นทางเลือกในการซ่อมเชื่อมปิดชิ้นงานอีกหนึ่งทางเลือกจากประสิทธิภาพของอุปกรณ์เชื่อมอาร์คไฟฟ้าสามารถซ่อมแซมได้จริงในระดับหนึ่ง อีกทั้งผลการแก้ไขรูพรุนหรือตามดชิ้นส่วนเครื่องประดับด้วยอุปกรณ์การอาร์คไฟฟ้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานซ่อมเครื่องประดับได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆทั้งกระแสในการอาร์คไฟฟ้าและรูพรุนของชิ้นงานซึ่งกระแสที่เหมาะสมในการซ่อมเชื่อมปิดรูพรุนเครื่องประดับ

5.3 อภิปรายผล

จากผลการทดลองอุปกรณ์การเชื่อมประสานและซ่อมรูพรุนชิ้นส่วนเครื่องประดับนั่นเวลาในการอาร์คไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้าการอาร์ค 500 แอมแปร์ จากผลการสุ่มชิ้นงานทดลองทั้งหมด 4 ชุด แบ่งเป็นผลการทดลองวินาทีดังนี้

ชุดที่ 1 เวลา 5 วินาที ที่ขนาดรูพรุน 1 มิลลิเมตร จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 3 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 17 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 15 เปอร์เซ็นต์

ชุดที่ 2 เวลา 10 วินาที ที่ขนาดรูพรุน 1 มิลลิเมตร จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 5 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 15 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 25 เปอร์เซ็นต์

ชุดที่ 3 เวลา 15 วินาที ที่ขนาดรูพรุน 1 มิลลิเมตร จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 11 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 9 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 55 เปอร์เซนต์

ชุดที่ 4 เวลา 20 วินาที ที่ขนาดรูพรุน 1 มิลลิเมตร จำนวนรูพรุน 20 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 18 รูพรุน งานไม่สมบรูณ์ 2 รูพรุนคิดเป็นงานสมบรูณ์ 90 เปอร์เซ็นต์

การอาร์คประสานเชื่อมปิดรูพรุนหรือตามดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่เวลา 20 วินาที โดยมีชิ้นงานที่สมบูรณ์ 18 จุดรูพรุนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของดี 90 เปอร์เซนต์ ต่อของเสียพร้อมทั้งสามารถปิดรูพรุนจำลองหรือตามดได้จากผลการทดลองการดำเนินงานของอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คไฟฟ้าเพื่อซ่อมเชื่อมปิดรูพรุนหรือตามดชิ้นส่วนเครื่องประดับในการทำงานโดยรวมนั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์

บรรณานุกรม

[1] The Solid Phase Welding of Metals, R. F. Tylecote, Edward Arnold, 1968.

[2] Diffusion bonding. Part l, R. F. Tylecote, Welding and Metal Fabrication, R. F. Tylecote, 1967, 35,483–489.

[3] Diffusion Bonding of Gold, G. Humpston and S. J. Baker, Gold Bulletin, 1999, 31, 131–132.

[4] Explosive Joining of Precious metals, A. Blatter and D. A. Peguiron, Gold Bulletin, 1988, 31, 93–98.

[5] Solder Spread: A Criterion for Evaluation of Soldering, G. Humpston, and D. M. Jacobson, Gold Bulletin,1990, 23, 83–95.

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง
   Mr. Jakklit Yimchang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 130100488033
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
โทร. 0-2913-2424 ต่อ 4187 , E-Mail : jky_1942@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา
   วศ.ม.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
   คอ.บ. อุตสาหการ-เครื่องมือกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)
   - งานหล่อเครื่องประดับ
   - งานหล่อเครื่องประดับชั้นสูง
   - งานแม่พิมพ์ยาง
   - งานทำต้นแบบแว๊กซ์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาภายในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย
   1 ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี
   2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ไม่มี
   3 งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ :

1. การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง งานหล่อเครื่องประดับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2550
2. การวิจัยและพัฒนาการหล่ออลูมิเนียมเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2557.
3. การวิจัยและพัฒนาโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2558.

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นายประเสริฐ ชุมปัญญา
   Mr. Presert Chumpanya
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 4701 00238 46 8
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: 0-2836-3000 ต่อ 4141 โทรศัพท์มือถือ: 08-5162-0582
โทรสาร: 0-2586-0809 E-mail: Prasert_chum@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

วศ.ม. วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คอ.บ. อุตสาหการ-เครื่องมือกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)
   - งานวัสดุวิศวกรรม
   - งานวัสดุศาสตร์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาภายในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย
   1 ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี
   2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ไม่มี

งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ :

1.การขึ้นรูปร้อนด้วยระบบสุญญากาศพลาสติกชนิดโพลิไวนิลคลอไรด์
นสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2554.

2. การประยุกต์ใช้การออกแบบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีนด้วยระบบความร้อนแบบสุญญากาศ ทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2554.

3. การวิจัยและพัฒนาโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2558.