มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การวิจัยและพัฒนาการหล่ออลูมิเนียมเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง

Research and development to produce cast aluminum to produce Pattern jewelry by centrifugal casting system

นาย.จักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง

Mr.Jakkrit Yimchang

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงาน ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้รับการอุดหนุนเงินผลประโยชน์

ปี พ.ศ.2557

ลิขสิทธิ์ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้กล่าวถึงการหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียมเนื่องจากการผลิตเครื่องประดับในปัจจุบันมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และวัสดุหรือโลหะที่นิยมนำมาหล่อเป็นเครื่องประดับคือโลหะเงินซึ่งอลูมิเนียมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโลหะเงินคือจุดหลอมเหลวมีสีที่ใกล้เคียงและสามารถแต่งผิวสำเร็จได้สวยงาม แต่อลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีราคาถูกจึงได้ศึกษาและทดลองใช้อลูมิเนียมทดแทนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับโดยกำหนดอุณหภูมิในการอบเบ้าก่อนการหล่อขึ้นเพื่อทำการทดลองทั้งหมด5ช่วงอุณหภูมิประกอบด้วย550, 500, 450, 400, 350 องศา เซลเซียสแล้วจึงทำการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับในขึ้นตอนต่อไปจากการวิจัยกระบวนการหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียมเพื่อทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเบ้าปูนหล่อที่เหมาะสมพบว่าอุณหภูมิเบ้าที่400มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้หล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม เนื่องจากผลการทดลองพบว่ามีงานเสียน้อยที่สุดคือมีงานดี 102 ชิ้น งานเสีย 48 ชิ้น ชิ้นงานมีผิวเรียบ มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับวัสดุอื่นที่มี คุณสมบัติใกล้เคียงกัน

Abstract

This paper describes an aluminum casting, jewelry manufacturing because of the current manufacturing costs are higher. Material or metal that is commonly used to cast jewelry is silver, which aluminum Alternatives to metal. Melting is There is a close color and surface finish can be beautiful. But aluminum is a material that is cheap, has studied and tested. Replacement aluminum casting body jewelry. The temperature in the baking mold before casting to test all five temperatures are 550, 500, 450, 400, 350 degrees Celsius, then casting body jewelry in the next stage of the research process, casting jewelry with the. aluminum to Experimental temperatures used in baking mold casting plaster for the mold temperature of 400 is appropriate. Best of casting jewelry with aluminum. The results showed that there is minimal waste and a 102 pieces of 48 pieces and has a smooth surface. A similar performance to the other materials available. Similar properties

Mr. Jakkrit Yimchang

Reseacher

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงานของ สาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้รับการอุดหนุนงบเงินผลประโยชน์ ปี พ.ศ. ๒๕๕๗ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่สาขา วิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ ที่อนุญาต ให้ใช้เป็นสถานที่เก็บข้อมูลแหล่งค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้ งานหล่อเครื่องประดับที่ต้องการการผลิตที่รวดเร็วเพื่อลดต้นทุนในการผลิตส่งมอบสินค้าตรงตามกำหนดเวลา วัสดุที่ใช้ทำการหล่อเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา เพราะส่งผลโดยตรงกับรอบการผลิตชิ้นงาน การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการทำการหล่อเครื่องประดับจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลในวงการวิชาการการเรียนการสอนและเผยแพร่สู่ช่างเครื่องประดับ

นาย.จักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง

๑๐ กันยายน ๒๕๕๗

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ก

กิตติกรรมประกาศ ข

สารบัญตาราง ค

สารบัญรูปภาพ ง

บทที่1 บทนำ 1

1.1 บทน า 1

1.2 ความสำคัญของโครงการ 2

1.3 จุดประสงค์ของโครงการ 2

1.4 ขอบเขตของโครงการ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ 3

บทที่2 แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ 4

2.1 บทน า 4

2.2 แนวคิด 4

2.3 ทฤษฎีที่ส าคัญ 5

2.3.1 ทฤษฎีอลูมิเนียม 5

2.3.1.1 อลูมิเนียมและโลหะผสมของอลูมิ 6

2.3.1.2 คุณสมบัติของอลูมิเนียม 7

2.3.1.3 การใช้งานของอลูมิเนียม 9

2.3.2 ทฤษฎีและหลักการท าต้นแบบเครื่องประดับจากแว๊กซ์ 10

2.3.2.1 ประเภทของแว๊กซ์ 10

2.3.2.2 คุณสมบัติของแว๊กซ์ 12

2.3.2.3 อุปกรณ์การท าต้นแบบด้วยแว๊กซ์ 12

2.3.2.4 ข้อดี ข้อเสียการท าต้นแบบเครื่องประดับ 13

2.3.2.5 การติดต้นแว๊กซ์ 14

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.3 การทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ 16

2.3.3.1 ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแบบ 16

2.3.3.2 การอบเผาแม่พิมพ์ 18

2.3.3.3 การใช้เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ 20

2.3.4 พื้นฐานการหลอมโลหะ 24

2.3.5 พื้นฐานการหล่อ 25

2.3.5.1 แบบหล่อสิ้นเปลือง 26

2.3.5.2 แบบหล่อถาวร 26

2.3.5.3 การหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 29

2.3.5.4 การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 32

2.3.5.5 การตรวจสอบงานหล่อ 33

2.3.5.6 การทำความสะอาดชิ้นงานหล่อ 36

2.3.5.7 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานหล่อ 37

2.3.5.8 ข้อบกพร่องเนื่องจากการหล่อแบบหล่อ 38

2.3.6 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ7ชนิด 41

2.3.6.1 ผังแสดงเหตุและผล 43

2.3.6.2 แผนภูมิพาเรโต 44

2.3.6.3 กราฟ 46

2.3.6.4 แผ่นตรวจสอบ 50

2.3.6.5 ฮีสโตแกรม 51

2.3.6.6 ผังการกระจาย 52

2.3.6.7 แผนภูมิวบคุม 53

บทที่3 วิธีการดำเนินงาน 54

3.1 บทนำ 54

3.2 แผนการดำเนินการ 47

3.2.1 การออกแบบการทดลอง 55

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง 56

3.3เกณฑ์การประเมินชิ้นงาน 62
3.3.1 บันทึกผลการทดลอง 63
3.4สรุป 68
บทที่4 การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน 62
4.1บทนำ 69
4.2ผลการดำเนินงาน 69
4.2.1 ผลการทอลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากการตรวจสอบคุณภาพผิว 72
4.2.2 ผลเชิงคุณภาพเพื่อหาของเสียจาการตรวจสอบคุณภาพผิว 72
4.3 สรุปผลการทดลอง 73
บทที่5 สรุปและข้อเสนอแนะ 76
5.1 บทนำ 76
5.2 สรุปผลที่ได้จากโครงการ 76
5.2.1 สรุปผลการทดลอง 76
5.2.2 สรุปตามวัตถุประสงค์ 77
5.3 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข 77
5.4 ข้อเสนอแนะ 77
บรรณานุกรม 78

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางเปรียบเทียบกระบวนการหล่อด้วยแบบหล่อต่างๆ 27
3.1 ตารางการเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ
ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 550องศาเซลเซียส 57
3.2 ตารางการเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ
ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 500องศาเซลเซียส 58
3.3 ตารางการเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ
ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 450องศาเซลเซียสºC 59
3.4 ตารางการเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ
ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 400องศาเซลเซียส 60
3.5 ตารางการเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ
ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 350องศาเซลเซียส
3.6 ตารางเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพผิว 62
3.7 ตารางบันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 63
3.8 ตารางบันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 64
3.9 ตารางบันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 65
3.10 ตารางบันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 66
3.11 ตารางบันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 67
4.1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้า 550 องศาเซลเซียส 69
4.2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้า 500 องศาเซลเซียส 70
4.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้า 450 องศาเซลเซียส 70
4.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้า 400 องศาเซลเซียส 71
4.5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้า 350 องศาเซลเซียส 71
4.6 ตารางผลเชิงคุณภาพเพื่อหาของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพผิว 73

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 เทียนสีน้ำเงิน 10

2.2 เทียนสีเขียว 11

2.3 การผสมปูนหล่อ 17

2.4 การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ 18

2.5 เตาอบแม่พิมพ์ 20

2.6 อุณหภูมิมาตรฐานกระบอกหล่อ 23

2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมในการหมุนกับขนาดความโตของชิ้นงานซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่าของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 31

2.8 แผนภูมิเหตุและผลหรืออิชิกาวาไดอะแกรม 44

2.9 ตารางแสดงความสูญเสียด้านคุณภาพ 45

2.10 ตารางแสดงการวิเคราะห์ตามหลักพาเรโต (ของเสีย) 45

2.11แผนภูมิพาเรโตที่สร้างจากข้อมูลในตาราง 46

2.12 กราฟเส้นแสดงข้อมูลที่ต่อเนื่องกัน เพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของข้อมูล 48

2.13 กราฟแท่ง ใช้เขียนแสดงแทนข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องกัน 48

2.14 แผนภูมิวงกลม 49

2.15 ตัวอย่างใบรายการตรวจสอบ 50

2.16 ตัวอย่างอิสโตรแกรม 51

2.17 ตัวอย่างการกระจาย 52

2.18 แผนภูมิเปรียบเทียบ 53

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการ 54

3.2 แผนภูมิแสดงช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเบ้าปูนหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม 55

3.3 แสดงผลการดำเนินงาน 56

4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสีย 72

4.2 แผนภูมิแสดงการหาของเสียทางสถิติเชิงคุณภาพเพื่อหาของเสียจากกระบวนการผลิต 74

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

องค์ความรู้พื้นฐานสำหรับการเรียนการสอนทางด้านโลหะวิทยาโลหะโลหะมีค่าในสถาบันการศึกษาต่างๆ ที่เปิดการเรียนการสอนทางด้านอัญมณีและเครื่องประดับ งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกสำหรับการปฏิบัติงานของในภาคอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ในกระบวนการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับจากโลหะ ซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ การออกแบบตัวเรือน, สร้างชิ้นงานต้นแบบ (Master Pattern), การทำแม่พิมพ์ยาง, การฉีดเทียนเพื่อให้ได้กระสวน (Pattern), การติดต้นเทียน การทำแบบปูนหล่อ, การหล่อขึ้นรูป, การขัดตกแต่งทำความสะอาดผิว, การฝังอัญมณีหรือหินมีค่า (Gems Stone), การขัดผิวสำเร็จและการบรรจุภัณฑ์ตามลำดับ เครื่องประดับเป็นสินค้าอุสาหกรรม และเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยม ซึ่งเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยจำนวนมาก จึงถือเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างรายได้

ปัจจุบันวัสดุเดิม ๆ เช่นวัสดุเงิน ทองคำ ทองคำขาว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาแพงในปัจจุบัน และคาดว่าราคาจะแพงขึ้นอีกในอนาคต กรรมวิธีการผลิตเครื่องประดับปัจจุบันใช้เครื่องจักรกลเข้ามามีส่วนช่วยในการผลิตเป็นอย่างมาก วัสดุที่ใช้ในการผลิตยังเป็นวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ดังนั้นผู้ทำวิจัย จึงมีความสนใจที่จะทำงานวิจัย หัวข้อเรื่อง การวิจัยและพัฒนาการหล่ออลูมิเนียมเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตสินค้าลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับที่ผลิตจากวัสดุเงิน ทอง ทองคำขาวที่มีราคาแพง โดยการใช้วัสดุที่เป็นนวัตกรรมใหม่มาใช้ในการผลิตเป็นเครื่องประดับ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์การผลิตเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม

2 เพื่อเป็นนวัตกรรมใหม่ในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียมแทนการใช้วัสดุ เงิน

3 เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับ

4 เพื่อเป็นข้อมูลของอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับในการใช้วัสดุทางเลือกใหม่

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1 สร้างชิ้นงานเครื่องประดับสมัยใหม่ด้วยอลูมิเนียมโดยการหล่อชิ้นงานระบบเหวี่ยง

2 ชิ้นงานเครื่องประดับที่ได้มาตรฐานการส่งออก

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้องค์ความรู้และกระบวนการผลิตด้วยวัสดุทดแทน การหล่อเครื่องประดับดับต้นทุนต่ำเผยแพร่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับประยุกต์ใช้กับผู้ผลิตเครื่องประดับในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก

1.5 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1. นำเสนอในสัมมนาวิชาการ
2. เผยแพร่ในวารสารสมาคมอุตสาหกรรมเครื่องประดับ
3. เผยแพร่ในWEB-SITE RUMTP
4. เผยแพร่ในวารสารของมหาวิทยาลัย
5. เผยแพร่ในวารสารเครื่องประดับ

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

การเตรียมงานและการวิจัย

1 ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมที่ใช้หล่อ อุณหภูมิการหลอมละลาย อุณหภูมิที่เหมาะสมในการหล่อ

2 ศึกษาและจัดหาวัสดุ เครื่องมือ ที่ใช้ในทดลอง

3 ผลิตชิ้นงานเครื่องประดับสมัยใหม่ด้วยอลูมิเนียมโดยการหล่อชิ้นงานด้วยระบบเหวี่ยง

4 ควบคุมอุณหภูมิต่างๆ ที่เป็นปัจจัยหลักในการหล่อ

5 ทดลองหาช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตเบ้าปูน

6 ทดลองหล่อต้นแบบเครื่องประดับและผลิตเครื่องประดับชิ้นงานจริงอีกครั้งตามผลการทดลองที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

7 สรุปและประเมินผล

1.7 ระยะเวลาดำเนินการ

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ระยะเวลาโครงการ ประมาณ 1 ปี (ตุลาคม 2556 – กันยายน 2557) (เสนอแผนงานระยะ 1 ปี)

ขั้นตอนการวิจัย	ระยะเวลา 1 ปี											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาข้อมูลและ วิเคราะห์ข้อมูล	←	→										
2. จัดหาวัสดุและทดสอบ คุณสมบัติ		←	→									
3. สร้างชิ้นงานทำการ ทดลองเพื่อหา ความเหมาะสม			←	→		→						
4. ประเมินปัญหาและ สาเหตุต่างๆ							←	→				
5. หาแนวทางในการ แก้ไขปัญหา									←	→		
6.ทำการทดลองอีกครั้ง ตามแนวทางการ แก้ไขปัญหา										←	→	
7. สรุปผล ผลการวิจัย รายงาน											←	→

1.8 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องประดับสมัยใหม่ที่ใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียม

2. นำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเพื่อทำการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับให้ได้คุณภาพ และมีต้นทุนในการผลิตลดลง

3. ส่งเสริมให้เกิดผู้ประกอบการรายย่อย

4. เป็นทางเลือกของธุรกิจอุตสาหกรรมเครื่องประดับที่มีทางเลือกใหม่ในการผลิต

บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ

2.1 บทนำ

ในการจัดทำโครงการนี้ได้ศึกษาทฤษฎีที่สำคัญ และหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ “อลูมิเนียม” ซึ่งเป็นเนื้อหาสาระสำคัญที่ใช้ศึกษาประกอบการทำการทดลอง และมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง เช่น อลูมิเนียมผสม สัญลักษณ์ของอลูมิเนียมหล่อผสม และเพื่อการปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพ ตามขั้นตอนจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและแนวคิดพื้นฐานที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ปูนหล่อและทางเดินน้ำโลหะและการทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ ต้นแบบแว๊กซ์ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ การทำความสะอาดชิ้นงานหล่อ ข้อบกพร่องที่เกิดกับงานหล่อ และการแก้ไข เพื่อสามารถนำความรู้ ทักษะความสามารถ ที่ได้จากการศึกษา นำมาปฏิบัติงานได้จริง ลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับ และเพิ่มทักษะใหม่ในการหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม

2.2 แนวคิด

วงการจิวเวลรี่ได้มีการนำเข้าเทคโนโลยีในการสร้างเครื่องประดับด้วยวัสดุที่หลากหลายและทันสมัยมากขึ้นและ ในทางกลับกันความทันสมัยนั้นมีส่วนทำให้วัสดุที่ใช้ในการผลิตมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้อลูมิเนียมมีข้อได้เปรียบโลหะและวัสดุชนิดอื่นหลายประการ เป็นต้นว่า มีน้ำหนักเบา ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี และสามารถแต่งผิวสำเร็จได้สวยงามและมีลักษณะหลากหลาย อลูมิเนียมจึงยังคงเป็นโลหะที่น่าศึกษาและได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จึงมีแนวคิดในการศึกษากระบวนการหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม เพื่อลดต้นทุนการผลิตเครื่องประดับให้ต่ำลง และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค

2.3 ทฤษฎีที่สำคัญ

2.3.1 ทฤษฎีอลูมิเนียม

โลหะได้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาของประเทศที่เจริญทางด้านอารยธรรม (civilization) เมื่อกล่าวถึงโลหะโดยทั่วไปจะนึกถึงเหล็ก นอกจากเหล็กแล้วยังมีอลูมิเนียมซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เนื่องจากมีสมบัติพิเศษ สามารถใช้งานแทน ไม้ ทองแดง เหล็ก และ เหล็กกล้าได้ดี อลูมิเนียมจัดอยู่ในกลุ่มโลหะนอกกลุ่มเหล็ก และสามารถผสมกับทองแดงเป็นโลหะผสมได้ดีราวกับผสมกับ ตะกั่ว ดีบุก และ สังกะสี ในยุคแรกอลูมิเนียมไม่ได้เป็นที่ยอมรับในทางการค้าจนกระทั่งมาถึงครึ่งศตวรรษที่ 19 เนื่องจากอลูมิเนียมอยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ซึ่งไม่สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยคาร์บอนเช่นเดียวกับเหล็กเริ่มแรกได้มีการผลิตอลูมิเนียมในรูปแบบสะเกลห้องปฏิบัติการ โดยคุณออสเตด(Orsted) ประเทศเดนมาร์ค ในปี ค.ศ. 1825 จากนั้นคุณ โวลล์เลอร์ (Woehler) ชาวเยอรมันพัฒนากรรมวิธีการถลุงแร่โดยใช้เวลาน้อยลง จากนั้นผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมเริ่มเป็นที่รู้จักกันในด้านทางการค้าในปี ค.ศ. 1855 โดยคุณเซนเต้-แคร์ (Sainte-Claire) ประเทศฝรั่งเศล โดยใช้เทคนิคทางด้านเคมีซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองมากในปี ค.ศ. 1866 เวอร์เนอร์ วอน ซีเมน (Werner von Siemens) ได้ประดิษฐ์ไดนาโมขึ้น ถึงแม้ว่าในความเป็นจริงจะไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับอลูมิเนียม แต่สิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวมีบทบาทสำคัญมากเนื่องจากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในปริมาณมากสำหรับอุตสาหกรรมอลูมิเนียมในยุคแรก

ในปี ค.ศ. 1886 คุณ ชาล์เลต มาร์ติน ฮอล (Charles Martin Hall) ชาวอเมริกัน และ คุณ พอล เฮอร์โลต (Paul L.T. He'roult) ชาวฝรั่งเศส ได้ค้นพบกระบวนการผลิตอลูมิเนียมทางการค้าโดยใช้หลักการอิเล็กโตรไลซิสจากอ่างเกลือหลอมเหลว (fuse salt bath) ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวเป็นพื้นฐานการผลิตอลูมิเนียม

ที่มาของอลูมิเนียม อลูมิเนียมเป็นโลหะที่เกิดเป็นสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์ส่วนมากพบในดินเหนียว และดินต่างๆ วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตอลูมิเนียม คือสินแร่ โบไซต์ หรือ บอกไซด์(Bauxite)มีลักษณะเหมือนดินแดง หรือดินลูกรัง เตามีความแข็งกว่าในสินแร่บอกไซด์จะมีดินเหนียวบริสุทธิ์ (Al_2O_3= อลูมิเนียมออกไซด์)ปนอยู่ประมาณ 55-60% เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ไม่เกิน 24% และน้ำในโมเลกุลสินแร่ประมาณ 12-31% แร่ซิลิกา(SiO_2)ไม่เกิน 4% แหล่งแร่บอกไซด์ที่สำคัญๆ คือที่ประเทศฝรั่งเศสตอนใต้ ฮังการี รัสเซีย สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย อินโดนีเซีย

ลักษณะภายนอกของอลูมิเนียมคือมีสีเงิน มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อหน่วยน้ำหนัก (Strenght-to-Weght Ratio)สูง มีความเหนียวจุดหลอมเหลวต่ำหล่อหลอม

ได้ง่ายอลูมิเนียมบริสุทธิ์ เมื่อทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์ของอลูมิเนียมขึ้นเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide) เคลือบอยู่เป็นผิวบางๆทำให้อลูมิเนียมนั้นทนต่อบรรยากาศ ไม่ถูกกัดกร่อน คุณสมบัติการนำไฟฟ้าประมาณ2/3 เท่าของ ทองแดง แต่ อลูมิเนียมเบากว่าทองแดงสายเคเบิลแรงสูงจึงนิยมใช้อลูมิเนียมเป็นตัวนำความร้อนได้ดีและเหมาะอย่างยิ่งกับงานขึ้นรูปและงานปาดผิวโลหะเช่นอัด รีด ดึง ตัด เจาะ กลึง ไส กัด และนอกจากนี้อลูมิเนียมก็ยังเป็นวัสดุประสมที่มีประโยชน์มากคือใช้อลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยผสมลงไปในโลหะประสมที่มีทองแดง แมงกานีส และ แมกนีเซียม จะให้ความแข็งและคุณสมบัติในการกลึงให้ดีเด่นมากอย่างประหลาดเลยทีเดียว

2.3.1.1 อลูมิเนียมและโลหะผสมของอลูมิเนียม

อลูมิเนียมและโลหะผสมของอลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำ (2.7 g/cm3) นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ทนการกัดกร่อนดีในสภาวะแวดล้อมบางสภาวะรวมทั้งในบรรยากาศ โลหะอลูมิเนียมง่ายต่อการขึ้นรูปเนื่องจากมีความเหนียวสูง เช่น อลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้จากการรีดอลูมิเนียมบริสุทธิ์ เนื่องจากอลูมิเนียมมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC จึงมีสมบัติเหนียวแม้ที่ อุณหภูมิต่ำ อลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวต่ำ (660 oC, 1220oF) ทำให้ไม่สามารถใช้งานที่ อุณหภูมิสูงกว่านี้ได้

สมบัติทางกลของอลูมิเนียมอาจเพิ่มขึ้นได้โดยการขึ้นรูปเย็นและการเติมธาตุผสม แต่วิธีการดังกล่าวทำให้ สมบัติต้านทานการกัดกร่อนลดลง ธาตุที่นิยมใช้ผสมเป็นหลักคือ ทองแดง แมกนีเซียม ซิลิกอน แมงกานีส และ สังกะสี โลหะผสมที่ไม่สามารถอบชุบได้จะประกอบด้วยเฟสเดียวทำให้การเพิ่มความแข็งแรงได้โดยการทำให้เป็นสารละลายของแข็งเท่านั้น สำหรับอลูมิเนียมผสมอื่นๆ สามารถอบชุบได้ (ชุบแข็งแบบตกตะกอน) เพราะธาตุผสมที่เติมลงไปทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟสที่สอง ซึ่งอาจไม่ใช่สารประกอบอลูมิเนียมก็ได้ เช่น MgZn2

โดยทั่วไปโลหะผสมของอลูมิเนียมจัดเป็นโลหะหล่อและโลหะผสมขึ้นรูปทางกล ส่วนผสมทางเคมีทั้ง 2 กลุ่มบอกด้วยตัวเลข 4 หลัก ซึ่งหมายถึงปริมาณสารเจือปน และบางกรณีบ่งชี้ความบริสุทธิ์ สำหรับโลหะหล่อจุดทศนิยมจะอยู่ระหว่างสองหลักสุดท้าย หลังจากเลขสองหลักนี้จะเป็นเครื่องหมายขีดกลางและข้อกำหนดกรรมวิธีทางความร้อน (temper designation)ซึ่งเป็นตัวอักษรหรือเลข 1-3 หลักจะบ่งบอกสมบัติทางกลและกรรมวิธีทางความร้อนใดๆ ต่อ (asfabricated) H หมายถึงสภาพเพิ่มความแข็งจากความเครียด (strain hardened) และ O หมายถึง สภาพที่ผ่านการอบอ่อน และ T3 หมายถึง โลหะผสมถูกอบละลายเป็นเนื้อเดียวผ่านการรีดเย็นแล้ว การบ่มแข็งธรรมชาติ แต่ถ้าโลหะผสมผ่านการอบละลายเป็นเนื้อเดียวกันและ

ตามด้วยบ่มเร่งจะใช้ สัญลักษณ์ T6 ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนผสมทางเคมี คุณสมบัติ และการใช้โลหะผสมของอลูมิเนียมบางชนิดทั้งกลุ่มโลหะหล่อและโลหะขึ้นรูปทางกล โลหะผสมของอลูมิเนียมใช้ทำ ตัวเครื่องบิน อากาศยาน กระป๋องเบียร์ ตัวรถโดยสาร ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น เครื่องยนต์ ลูกสูบ และส่วนนำเชื้อเพลิงหรือท่อก๊าซไอเสีย

ปัจจุบันได้มีการสนใจนำอลูมิเนียมและโลหะอื่นที่มีความหนาแน่นต่ำ อาทิเช่น แมกนีเซียม และ ไททาเนียม มาประยุกต์ใช้ในการขนส่งเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีสมบัติที่สำคัญ เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific Strength) หมายถึงอัตราส่วนความแข็งแรงหรือกำลังวัสดุต่อความถ่วงจำเพาะ แม้ว่าโลหะผสมของอลูมิเนียมอาจมีค่าความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับโลหะอื่นที่มีความหนาแน่นสูงกว่า เช่น เหล็ก แต่เมื่อเทียบภาระที่รับได้ต่อหน่วยน้ำหนักแล้วอาจสูงกว่า เพราะว่ามีค่าความแข็งแรงจำเพาะสูง

นอกจากนั้นยังได้พัฒนาโลหะผสมอลูมิเนียม-ลิเทียม ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องบินยานอวกาศ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ (2.5 และ 2.6 g/cm3) มีค่ามอดูลัสจำเพาะสูง ทนทานความล้าได้ดีมาก และมีค่าความแกร่งสูงแม้จะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ วัสดุบางชนิดยังสามารถชุบแข็งแบบตกตะกอนได้ อย่างไรก็ตามการผลิตโลหะผสมนี้มีราคาแพงกว่าการผลิตโลหะผสมของอลูมิเนียมทั่วไปเพราะว่าต้องใช้กระบวนการเทคนิคพิเศษเนื่องจากลิเทียมอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

2.3.1.2 **คุณสมบัติของอลูมิเนียม**

1. คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

- ออกซิเจน เมื่ออลูมิเนียม ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จะทำให้เกิดชั้นฟิล์ม บางๆ เรียก ว่าอลูมิเนียมออกไซด์ อยู่ที่ชั้นผิวของ อลูมิเนียม ซึ่งจะทำให้ไม่เกิด ปฏิกิริยาต่อไป

- ไนโตรเจน เมื่ออลูมิเนียม ทำปฏิกิริยา กับไนโตรเจน จะทำให้เกิดไนเตรดที่อุณหภูมิสูง

-กำมะถัน เมื่ออลูมิเนียม ทำปฏิกิริยา กับกำมะถัน จะไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น

- ไฮโดรเจน เมื่ออลูมิเนียมทำปฏิกิริยา กับไฮโดรเจน ละลายแทรกซึม เข้าในอลูมิเนียมได้และใน การหล่ออลูมิเนียมถือ ว่าไฮโดรเจนเป็นก๊าซ ที่จะต้องกำจัดออก ให้หมดมากที่สุด

- กรดอนินทรีย์ (เข้มข้น) เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ กรดอนินทรีย์ ซึ่งอลูมิเนียม

- กรดอนินทรีย์ (เจือจาง) เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ กรดอนินทรีย์เจือจาง ซึ่งจะทำ ให้เกิด ปฏิกิริยา ทันที สามารถ ทนได้บ้าง

- ด่าง เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับด่าง ซึ่งสามารถ ละลายอลูมิเนียมได้

- เกลือ เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับเกลือ ซึ่งสามารถ กัดกร่อนอลูมิเนียมได้

- กรดอินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับกรดอินทรีย์ ซึ่งสามารถละลาย ในอลูมิเนียมได้ทันที (ยกเว้นกรดน้ำส้ม)

- กรดอินทรีย์ + น้ำ เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับกรดอินทรีย์ + น้ำ ซึ่งไม่เกิด ปฏิกิริยากับอลูมิเนียม

- ฮาโลเจน เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับฮาโลเจน ซึ่งทำให้เกิด ปฏิกิริยาทันที

2. คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Prpperties)

การต้านทานไฟฟ้าที่ 20°C	2.6548	u -cm
การนำไฟฟ้า	94.94	%IACS

3. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Prpperties)

หมายเลขอะตอม	13	
น้ำหนักอะตอม	26.97	
วาเลนซี่	3	
โครงสร้างผลึก	f.c.c.	
มิติของแลตทิส	4.049	°A
ความหนาแน่นที่ 20°C	2.6989	g/mm^3
จุดหลอมเหลว	660.2	°C
จุดเดือด	2450	°C
การหดขณะแข็งตัว	6.6	%
ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย	94.5	cal/g
ความร้อนแฝงของการเป็นไอ	2260	cal/g
ความร้อนจำเพาะที่ 100°C	0.224	cal/g
การนำความร้อนที่ 20°C	0.57	cal/g
การสะท้อนแสง		
แสงจากหลอดทังสเตน	90	%
แสง 2000 - 2500 °A	86-87	%
แสง 10000 °A	96	%
สี	ขาวเงิน	

2.3.1.3 การใช้งานของอลูมิเนียม

ได้รับการใช้งานมากที่สุด ในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) ทั้งนี้เพราะอลูมิเนียมมีคุณสมบัติ ที่ดีเด่นหลายประการ

1. มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้ไม้สอย ตลอดจนชิ้นส่วนบางอย่าง ในเครื่องบิน จรวด ขีปนาวุธ และอุปกรณ์ในรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนักของรถให้น้อยลง จะได้ประหยัดเชื้อเพลิง ตลอดจนชิ้นส่วนอากาศยาน

2. มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และรุนแรง โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก

3. จุดหลอมเหลวต่ำ หล่อหลอมง่าย และมีอัตราการไหลตัวสูง

4. ค่าการนำไฟฟ้า คิดเป็น 64.94 % IACS (Internation Association of Classification Societies) ซึ่งไม่สูงนัก แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงใช้เป็น ตัวนำไฟฟ้า ในกรณีที่คำนึงถึง เรื่องน้ำหนักเป็นสำคัญ

5. เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย และไม่มีค่าการนำความร้อนสูง ใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร และห่อรองรับอาหาร

6. ผิวหน้าของ อลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อน ในแฟลชถ่ายรูป , จานสะท้อนแสงในโคมไฟ และไฟหน้ารถยนต์

7. ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิม และการผุกร่อน ในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดีมาก แต่ไม่ทนทาน ต่อการกัดกร่อนของกรดแก่ และด่างทั่วๆไป

8. ซื้อหาได้ง่าย ในท้องตลาด และราคาไม่แพงนัก

9. ใช้ในการตกแต่ง ในงานเฟอร์นิเจอร์ ตลอดจนใช้เป็น อุปกรณ์ตกแต่งบ้าน

10. เป็นโลหะที่ยังมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง

2.3.2 ทฤษฎีและหลักการทำต้นแบบเครื่องประดับจากแว๊กซ์

2.3.2.1 ประเภทของแว๊กซ์ในปัจจุบันนั้นประเภทของเทียนนั้นมีอยู่ด้วยกันอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

1. เทียนที่ใช้สำหรับการแกะขึ้นรูป
2. เทียนที่ใช้สำหรับทำการฉีด

วัตถุดิบหลักของการขึ้นต้นแบบด้วยเทียนนี้ได้แก่เทียนชนิดต่างๆ หากแต่จะต้องมีการผสมพลาสติกบางประเภทลง ไปด้วยเพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติบางประการให้กับเทียนได้แก่ เพิ่มความเหนียว ความแข็ง การไหลและการหดตัวเป็นต้น เทียนที่ใช้สำหรับการแกะขึ้นรูปแบ่งชนิดด้วยสีของเนื้อเทียน ที่นิยมใช้ปัจจุบันมีด้วยกัน 2 ชนิดดังนี้

1. เทียนสีน้ำเงิน
2. เทียนสีเขียว

เทียนสีน้ำเงินเนื้อเทียนจะมีความเหนียวดี ความแข็งดีมาก การไหลของเนื้อเทียนตัวนี้จะปานกลาง การหดตัวต่ำมาก ฉีดเก็บได้ดีมาก เหมาะกับงานทองและฝังพลอยได้ดี ดังรูปที่ 2.1 เวลาขัดด้วยกระดาษทรายและตะไบจะทำได้ยาก เหมาะสำหรับการทำต้นแบบที่มีความบอบบาง

รูปที่ 2.1 เทียนสีน้ำเงิน

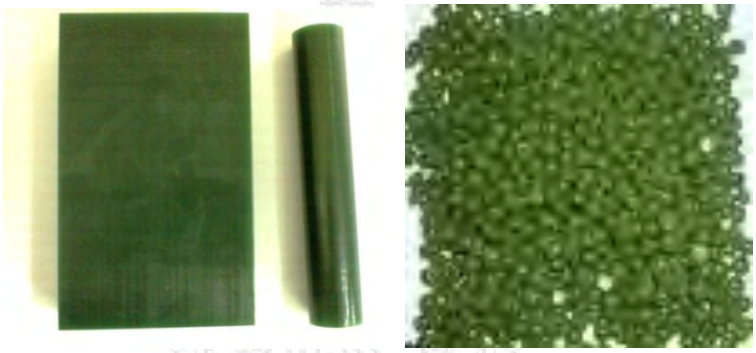
ข้อดีของเทียนสีน้ำเงิน

- เนื้อเทียนมีความเหนียวที่ดี
- เนื้อเทียนมีความยืดหยุ่น
- สามารถเหมาะกับงานทองและฝังพลอยได้ดี
- เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีรายละเอียดเยอะๆ

ข้อเสียของเทียนน้ำเงิน

- เศษเทียนมีความเหนียว
- การละลายไม่ค่อยจะสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง
- การหดตัวต่ำมาก

เทียนสีเขียวเนื้อเทียนของชนิดนี้จะมีความเหนียวที่ดี มีความแข็งปานกลางไม่แข็งมาก การไหลตัวดี การหดตัวต่ำ เหมาะกับงานทุกประเภทและฝังพลอยได้ดี เนื้อเทียนจะแกร่ง เปราะและหักง่ายแต่สามารถขัดด้วยกระดาษทรายและตะไบได้ง่าย ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งนิยมนำมาใช้ในการแกะต้นแบบมากกว่าเทียนสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.2 เทียนสีเขียว

ข้อดีของเทียนสีเขียว

- เนื้อเทียนนั้นสามารถแกะได้ง่าย
- เนื้อเทียนมีความเหนียวที่ดี
- การละลายตัวค่อนข้างที่จะดี
- สามารถแกะชิ้นงานได้ทุกประเภท

ข้อเสียของเทียนสีเขียว

- เนื้อเทียนค่อนข้างที่จะเปราะจะเกิดการแตกหักได้ง่าย
- มีความแข็งที่ไม่สูงมากนัก
- การหดตัวต่ำมาก

2.3.2.2 **คุณสมบัติของแว๊กซ์**

1. เมื่อได้รับความร้อนจนหลอมเหลว น้ำมันและไขมันจะหลอมเหลว ส่วนยางไม่หลอมละ ลายและลอยได้อยู่ในสภาพของแขวนลอย

2. เมื่อเย็นลงจนแข็งตัว น้ำมันและไขมันเริ่มแข็งตัว เกาะกลุ่มกับยางทำให้ความมันค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนอยู่ในสภาพแข็งเมื่อเย็นตัวลงที่อุณหภูมิบรรยากาศ

3. การขายตัวและการหดตัวสัมประสิทธิ์การขายตัวตามยาวของเทียนที่สูงมาก

การที่เทียนขยายตัวได้มากเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่ำมาก ซึ่งจะแยกตัวออกง่ายเมื่ออุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ เทียนเหล่านั้นจะหดตัว ค่าของการหดตัวของเทียนไม่สามารถป้องกันได้ เพียงแต่จะทำให้ลดน้อยได้เท่านั้น ไม่ว่าเทียนเหล่านั้นจะเป็นเทียนบริสุทธิ์หรือเทียนผสม เช่นเทียนที่ใช้ หล่อต้นแบบจะหดตัว 0.4% เมื่อลดอุณหภูมิจาก 37 °C มายัง อุณหภูมิ 25 °C

เทียนสีเขียว นิยมใช้กันมากที่สุด มีความแข็งสูงสามารถแกะลายละเอียดของแบบได้ดี สามารถขัดตกแต่งให้ผิวเรียบจนเป็นเงาได้ และสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนของเครื่องประดับที่มีขนาดเล็กและมีความหนาน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร จึงจัดว่าเป็นวัสดุที่สามารถใช้ทำต้นแบบเครื่องประดับที่มีขนาดเล็กและใหญ่ได้โดยไม่เสียรูปทรง จึงจัดว่าเป็นวัสดุที่มีความเหนียวและแข็งไม่แตกหักง่ายขณะขึ้นรูปจึงเหมาะกับต้นแบบที่มีลักษณะบอบบางและชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำของขนาด เทียนสีเขียว หลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 220 °F เมื่อหลอมละลายกลายเป็นของเหลวที่ไม่เหนียวหนืด มีลักษณะการไหลเหมือนน้ำ จะแข็งตัวได้อย่างลวดเร็ว หลังแข็งตัวจะมีผิวเรียบเป็นมันและมีความยืดหยุ่นมากกว่าก่อนที่ถูกหลอมละลาย

2.3.2.3 **อุปกรณ์การทำต้นแบบด้วยแว๊กซ์**

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำต้นแบบแว๊กซ์มีหลายชนิด และบางชนิดมีหลายขนาด ทั้งนี้เนื่องจากการทำต้นแบบเครื่องประดับมีความละเอียดอ่อนและบางรูปแบบมีความซับซ้อน ดังนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อความสะดวกรวดเร็วและคุณภาพของงานซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำต้นแบบแว๊กซ์มีดังนี้

1. โต๊ะและเก้าอี้ทำงาน พร้อมโคมไฟ โต๊ะใช้เป็นที่รองรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทำต้นแบบเทียน และมีเก้าอี้เพื่อใช้สำหรับนั่งขณะปฏิบัติงาน โคมไฟใช้สำหรับส่องแสงสว่างให้กับงาน และทำให้สามารถมองเห็นส่วนต่างๆของงานได้อย่างละเอียดชัดเจนขึ้น

2. วงเวียน ใช้สำหรับขีดและตีเส้น ใช้สำหรับแบ่งเส้นแบ่งส่วนต่างๆบนชิ้นงาน

3. เทียน มีหลายลักษณะในการใช้ต้องเลือกให้เหมาะกับลักษณะของงานเพื่อเป็นการประหยัดและสะดวกในการใช้งาน

4. เลื่อยสำหรับตัดเทียน ใช้สำหรับตัดเทียนที่วัดได้ขนาดแล้วออกจากแท่งแว็กซ์

5. กระบองวัดขนาด ใช้สำหรับวัดขนาดขนาดแหวน

6. เลื่อยฉลุ ใช้สำหรับเลื่อยชิ้นงานให้ได้รูปลักษณะตามความต้องการและรวดเร็วยิ่งขึ้น

7. ตะไบ ที่ใช้สำหรับการทำต้นแบบเทียนจะคล้ายกับการทำต้นแบบโลหะ ซึ่งจะมีขนาดใหญ่และขนาดเล็กและมีทั้งหยาบและละเอียดและการใช้งานขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับงานนั้นๆ

- ตะไบท้องปลิง หยาบขนาดใหญ่ ใช้ตะไบแต่งก้านแหวน โดยใช้ด้านที่เป็นท้องปลิงของ ตะไบและเหมาะสำหรับแต่งวงแหวนด้านใน ส่วนด้านแบนของตะไบเหมาะสำหรับแต่งวงแหวนด้านข้างและรอบนอก

- ตะไบท้องปลิงขนาด 10 เซนติเมตร อย่างหยาบและละเอียดใช้แต่งชิ้นงานให้มนโค้ง

- ตะไบหยาบขนาดใหญ่ ใช้ตะไบงานที่มีขนาด หนา - ใหญ่ หรืองานที่ต้องตะไบออกมากๆ เพื่อประหยัดเวลา

- กระดาษทรายเบอร์ 9 ใช้ขัดงานหลังจากแต่งด้วยตะไบเรียบร้อยแล้ว

8. สว่านไฟฟ้า ใช้สำหรับลับดอกสว่านเจาะรูบนชิ้นงาน

9. หัวแร้ง เป็นตัวที่นำความร้อน ช่วยให้เทียนเกิดการละลายเพื่อช่วยในการเพิ่มเติม หรือ แก้ไขบนต้นแบบแวกซ์ไม่ว่าจะเป็นการนำไปพอก เติมหรือเสริมให้เป็นไปโดยง่าย

2.3.2.4 **ข้อดีและข้อเสียการทำต้นแบบเครื่องประดับ**

แม้ว่าการทำเครื่องประ ดับด้วยแว็กซ์จะเป็นที่นิยมกันในปัจจุบันเพราะการขึ้นรูปสามารถทำได้ง่าย สามารถขึ้นรูปได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดเรื่องคุณสมบัติของแว็กซ์จึงทำให้การใช้ทำต้นแบบจะเหมาะกับงานบางลักษณะบางรูปแบบ ซึ่งช่างผู้ปฏิบัติจะต้องศึกษาและทดลองเปรียบเทียบว่างานลักษณะใดจึงเหมาะกับการใช้แว็กซ์ทำต้นแบบ โดยมีข้อดีและข้อเสียของการทำต้นแบบด้วยเทียนเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุต้นแบบดังนี้

1. เทียนสามารถแกะสลักและเกลาให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อย เพราะแว็กซ์อ่อนตัวกว่าโลหะ

2. เทียนเหมาะกับงานเครื่องประดับที่มีความอ่อนช้อย คือ มีส่วนเว้าส่วนนูนเพราะการขึ้นรูปด้วยแว็กซ์สามารถทำได้ง่ายและลวดเร็วกว่าโลหะที่มีความแข็ง ซึ่งขึ้นรูปต้องอาศัยการตีการดัดให้ได้รูปทรงและขนาดจำเป็นต้องอาศัยช่างฝีมือที่มีความชำนาญมาก สำหรับแว็กซ์มีความอ่อนตัวการแกะสลักให้ได้รูปทรงต่างๆ สามารถทำได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยช่างฝีมือที่ชำนาญมากนัก

3. ชิ้นงานที่เป็นเทียนสามารถเพิ่มหรือลดขนาดได้ง่ายด้วยการประตกแต่งใหม่ได้ง่าย เพราะเทียนสามารถหลอมละลายเมื่อโดนความร้อน และแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง

4. เนื้อเทียนมีความเปราะแตกหักง่าย ขณะการขึ้นรูปต้องใช้ความระมัดระวัง

5. เทียนไม่เหมาะกับงานที่มีส่วนยื่นเล็กๆ ออกมาจากชิ้นงาน เช่นกระเปาะฝังพลอยแบบหนามเตย

6. ต้นแบบที่ทำด้วยเทียนจะไม่คงทนเสียรูปทรงง่ายถ้าเก็บไว้ในอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป เทียนจะหดตัว ถ้าเก็บไว้ในอุณหภูมิที่สูงไป แว๊กซ์จะละลายหรืออ่อนตัวให้เสียรูปทรง

7. การทำต้นแบบเทียนต้องเพิ่มขั้นตอนการหล่อให้เป็นต้นแบบโลหะก่อนแล้วจึงนำไปทำต้นแบบของแม่พิมพ์ยางได้ต่างจากการทำต้นแบบด้วยโลหะสามารถนำไปทำแม่พิมพ์ยางได้เลย

2.3.2.5 **การติดต้นแว๊กซ์**

คือ การนำตัวแบบแว๊กซ์มารวมกันให้เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบโดยนำไปติดกับที่ต้นเทียน เพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก เป็นการหล่อระบบอุตสาหกรรมลักษณะการติดต้นเทียนแบ่งออกเป็นหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของงานที่จะนำมาติด ถ้างานมีชิ้นใหญ่ก็จะติดแบบสลับฟันปลา หรือ เรียงกันเป็นแถวในแนวตั้ง ถ้างานชิ้นเล็กก็จะติดเป็นเกรียว หรือเป็นชั้นๆในแนวนอน ทั้งนี้การติดต้นเทียนไม่ว่าจะเป็นแบบไหนทางเดินน้ำโลหะจะต้องทำมุม 30-60 องศา กับต้นเทียน เพื่อให้น้ำโลหะจากการหล่อสามารถเข้าไปในส่วนที่อยู่ลึกที่สุดของต้นเทียนได้สะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต้นเทียนประกอบ ด้วยฐานยางติดต้นเทียน ที่จับฐานยางติดต้นเทียนที่สามารถเอียงและหมุนไปเป็นมุมต่างๆ ได้เพื่อความสะดวกสบายในการติดต้นเทียน

1. ฐานยาง เป็นฐานสำหรับใช้ติดหรือประกอบด้วยตัวแบบเทียน การเลือกใช้ฐานยางควรเลือกให้ฐานยางที่มีขนาดสวมเข้ากับกระบอกหล่อได้อย่างพอดี

2. กระบอกหล่อ จะเป็นกรอบในการกำหนดความกว้างและความสูงของกลุ่มเทียน โดยให้ส่วนสูงที่สุดของกลุ่มเทียนจะต้องมีระยะห่างจากขอบด้านบนของกระบอกหล่อไม่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว และตัวแบบเทียนต้องห่างจากผนังกระบอกไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังของแม่พิมพ์ปูนหล่อบางเกินไป

3. หัวแร้งไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับละลายเทียนให้ร้อนและติดตัวแบบเทียน

- การคำนวณหาน้ำหนักของโลหะ

1. ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย แต่เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักจากกฎของอาร์คิมีดีสที่ว่า "วัตถุใด ๆ เมื่ออยู่ในน้ำ วัตถุนั้นจะสูญเสียน้ำหนักไปเท่ากับน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่วัตถุนั้นเข้าไปแทนที่"

- การหาน้ำหนักโลหะ = (น้ำหนักต้นเทียน × ถ.พ.) + (น้ำหนักของเทียน × ถ.พ.) × 20%

2. การคำนวณหาปริมาณน้ำโลหะ ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณน้ำหนักโลหะที่ต้องการใช้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากได้มีการคำนวณ ค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะชนิดต่าง ๆ ไว้แล้วจึงเพียงแต่นำน้ำหนักของต้นเทียน มาคูณและบวกด้วยส่วนเพิ่มเติมปัจจัยอื่นนี้ จะต้องบวกเพิ่มเข้าไปในน้ำหนักของโลหะที่คำนวณได้ส่วนเพิ่มเหล่านี้คือ ส่วนเพิ่มบริเวณปากทางเข้าของโลหะ ในการหล่อปูนทำแม่พิมพ์ปูนหล่อเมื่อปูนเริ่มจับตัวแข็งดีแล้ว จะนำเอาฐานยาง ออกจากแม่พิมพ์ปูน ซึ่งจะเห็นปากทางเข้าของน้ำโลหะ ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ มีรูปร่างตามแบบฐานยางที่นำออกไป ส่วนของกลุ่มนี้จะไม่มีสัดส่วนในการคำนวณข้างต้น สำหรับการเพิ่มน้ำหนัก โลหะส่วนนี้จะบวกเพิ่มจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักที่คำนวณได้

- ขั้นตอนการปฏิบัติ

1. ก่อนทำการติดต้นเทียนให้ชั่งน้ำหนักของฐานยาง และเขียนน้ำหนักของฐานยางไว้ให้ชัดเจน
2. ติดต้นเทียนตามหลักการ
3. ชั่งน้ำหนักต้นเทียนที่ติดตั้งบนฐานยาง นำน้ำหนักของฐานยางที่บันทึกไว้มาหักลบออก บันทึกไว้
4. คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะที่จะใช้หรือ เปิดหาจากตารางสำเร็จ
5. คำนวณโลหะที่ต้องการใช้ = ถ.พ. ของโลหะ × น้ำหนักของต้นเทียน
6. เผื่อน้ำหนักโลหะ 20% = (ถ.พ. ของโลหะ × น้ำหนักของต้นเทียน) × 20/100
7. น้ำหนักโลหะทั้งสิ้น = (ถ.พ. ของโลหะ × น้ำหนักของต้นเทียน) + (ถ.พ. ของโลหะ × น้ำ หนักของต้นเทียน) × 20/100

- ข้อแนะนำในการติดต้นเทียน

1. ตัวแบบเทียนจะต้องติดแน่นไม่หลุดง่าย ทั้งการติดต้นเทียนแบบแนวเดียวกัน และการติดต้นเทียนแบบสลับกัน หากติดตัวแบบไม่แน่นเมื่อนำไปเทปูนหล่อแบบและดูดฟองอากาศออกจากเนื้อปูนตัวแบบเทียนอาจหลุดออกจากฐานที่ติดได้

2. การติดต้นเทียนที่ถี่เกินไปอาจทำให้ผนังปูนแตกร้าวถ้าผนังบางเกินไปโดยเฉพาะความหนาของปูนที่ยอดต้นเทียนควรให้หนามากกว่า 1/2 นิ้ว เพราะแรงดันของน้ำโลหะที่วิ่งไปตามลำต้นเทียนจะชนผนังส่วนนี้ให้แตกร้าวได้

3. ก่อนทำการติดต้นเทียน ให้ตกแต่งตัวแบบเทียนให้เรียบร้อยก่อนโดยยึดหลักว่าการตกแต่งเทียนกระทำได้ง่ายกว่าการตกแต่งชิ้นงานโลหะ

4. ตัวแบบเทียนทุกตัวที่ติดต้นเทียนจะต้องไม่สัมผัสกัน แต่ต้องอยู่ใกล้เคียงกันที่สุดเพื่อให้มีจำนวนการติดตัวแบบเทียนได้มากที่สุด

2.3.3 การทำแม่พิมพ์ปูนหล่อ

ปูนหล่อแบบที่จำหน่ายอยู่ทั่วไปจะอยู่ในรูปของผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อใช้งานจะผสมกับน้ำสะอาด ซึ่งถ้าผสมตามสัดส่วนที่ถูกต้องแล้วจะมีสภาพเป็นโคลนข้น เรียกว่า Slurry ในการผสมถ้าใช้สัดส่วนไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดความเสียหายขณะหล่อได้ เช่น ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ปูนหล่อแบบไม่แข็งแรงไม่สามารถทนแรงอัดจากน้ำโลหะได้หรือถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะทำให้ส่วนผสมมีความเข้มข้นสูง ซึ่งจะมีความแข็งแรงมาก แต่อาจทำให้ตัวแบบ wax เสียหายได้ เป็นต้น ดังนั้นการใช้ปูนหล่อแบบของบริษัทใด ควรศึกษาคู่มือหรือคำแนะนำของบริษัทนั้น จะทำให้ได้แม่พิมพ์ปูนหล่อแบบที่ดี ส่วนผสมโดยทั่วๆ ไปจะมีอัตราส่วนโดยประมาณ คือ

- น้ำหนักของน้ำ = 40% ของน้ำหนักปูนหล่อ

สำหรับแนวทางและวิธีการคำนวณนั้นให้คิดดังนี้

- น้ำหนักของปูนหล่อแบบ =ปริมาตรของกระบอกหล่อ(V)x1.2+(20%ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด) โดยที่ ปริมาตรกระบอกหล่อ (V) = π / 4 D^2H หรือ

- น้ำหนักของปูนหล่อแบบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (CC) = 1.2 CC/ กรัม

20% ของน้ำหนักของปูนหล่อแบบทั้งหมดที่คำนวณได้ = คือการเผื่อสำหรับความสูญเสียของส่วนผสมที่เกิดจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนและส่วนที่ติดกับภาชนะ

2.3.3.1ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแบบ

1. คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อแบบและชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ให้พร้อม

2. เทน้ำสะอาดลงในชามอ่างยางสำหรับผสม ค่อยๆ เทปูนลงในน้ำและใช้พายพลาสติกคนผสมกันให้ทั่ว ข้อควรระวัง คือ ห้ามเทน้ำลงในปูนขณะผสม เนื่องจากปูนหล่อแบบมีลักษณะเป็นผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อเทน้ำลงไปบริเวณหนึ่งของปูนหล่อแบบ ปูนจะซึมซับน้ำไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้ส่วนอื่นๆ ของปูนไม่ได้รับน้ำ การผสมจะทำได้ยากและส่วนผสมนั้นมักเสียหายเนื่องจากน้ำไม่สามารถกระจายไปผสมกับปูนทั้งหมดได้

3. นำส่วนผสมเข้ากวนในเครื่องผสมปูนหล่อ ใช้เวลาประมาณ 1 – 1.5 นาที นำส่วนผสมเข้าเครื่องดูดอากาศออกจากภายในเนื้อปูนหล่อ พร้อมทั้งให้มีการสั่นสะเทือน ใช้เวลาประมาณ 1 – 2 นาที

4. นำส่วนผสมเทลงในกระบอกที่มีต้น wax ติดตั้งอยู่ภายใน และประกอบกับฐานยางเรียบร้อนแล้ว เทส่วนผสมปูนหล่อลงในกระบอกโดยเทลงทางด้านข้างของกระบอก หากเทลงตรงกลางบนต้น wax โดยตรง ปูนหล่ออาจทำให้ต้น wax เสียหายได้

5. นำกระบอกหล่อที่เทปูนหล่อแล้ว เข้าเครื่องดูดอากาศจากส่วนผสมของปูนหล่ออีกครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1 – 2 นาที

6. เติมส่วนผสมของปูนหล่อในกระบอกให้เต็ม การพร่องลงของปูนหล่อในกระบอก เนื่องจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูน ทำให้ส่วนผสมของปูนหล่อบางส่วนกระเด็นออกจากกระบอกหล่อ จึงต้องเติมให้เต็ม

7. เมื่อมีการเทปูนหล่อแบบลงในกระบอกเรียบร้อยแล้วให้นำกระบอกหล่อไปตั้งผึ่งไว้ในที่ร่มเมื่อปูนหล่อเริ่มแห้งให้ตกแต่งปูนหล่อแบบให้เรียบร้อยเสมอขอบกระบอกหล่อ ในการผสมปูนหล่อแบบตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นนั้นมีความสำคัญมาก ต้องรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นเรียบร้อยภายในระยะเวลา 10 – 20 นาที เพราะปูนหล่อจะแห้งและแข็งตัว โดยเฉพาะถ้าเป็นการผสมแบบเข้มข้น เช่น แบบอัตราส่วน 38 : 100 จะต้องมีการปฏิบัติงานที่เร็วขึ้น เพราะปูนหล่อจะแข็งตัวเร็วมาก และการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อก็จะกระทำได้ยากขึ้น

รูปที่ 2.3 การผสมปูนหล่อ

- ข้อควรระวังในการผสมปูนหล่อ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมปูนหล่อ ควรเลือกอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่ไม่มีเศษหรือเสี้ยนที่จะหลุดเข้าไปผสมกับส่วนผสมของปูน

2. การลัดหรือการข้ามขั้นตอน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่องานหล่อได้ เช่น การดูดฟองอากาศน้อยเกิดไป เป็นต้น

3.ในขณะดูดอากาศออกจะต้องมีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา เพื่อให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ลึกๆ ถูกกระตุ้นให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของส่วนผสมและถูกดูดออกไป

2.3.3.2 การอบเผาแม่พิมพ์

เป็นขั้นตอนที่อาจเรียกว่าเป็นการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการหล่อโลหะเพื่อปรับอุณหภูมิของเนื้อปูนหล่อให้เหมาะสมกับน้ำโลหะ ดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

ในการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบ ความผิดพลาดในการควบคุมอุณหภูมิจะก่อให้เกิดรูพรุน ขึ้นบนชิ้นงานได้ง่าย หรือเกิดผลอื่นๆ ทำให้การหล่อไม่สำเร็จ เช่น ถ้าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไป น้ำโลหะที่ฉีดเข้าสู่โพรงแบบจะแข็งตัวก่อนที่จะแทรกไปตามรายละเอียดของแบบทำให้การหล่อไม่สมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าหล่อไม่เต็ม ขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปอยู่ในสภาพของเหลวนานกว่าปกติ จะส่งผลให้เกิดรูพรุนขึ้นบนผิวชิ้นงานได้

- จุดประสงค์ในการอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ

1. เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียนทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมมีทางเดินน้ำโลหะ

2. เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อเพื่อขจัดเทียนมักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียนซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100°C เทียนประมาณ 90 % ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายเทียนและไหลออกมาทางปากแม่พิมพ์ปูน

หล่อ ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งนูนของฐานยาง เมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไป

- ความร้อนในการอบ

1. เพื่อกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียน ทั้งหมดออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อทำให้แม่ พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายใน พร้อมทางเดินน้ำโลหะ

2. เพื่อเตรียมอุณหภูมิของกระบอกหล่อให้เหมาะสมกับอุณหภูมิในการหล่อโลหะทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในขณะทำการหล่อโลหะ การอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ เพื่อขจัด-เทียน นี้มักจะใช้ระบบไอน้ำในการละลายเทียน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 °C เทียนประมาณ 90 % ในกระบอกหล่อจะหลอมละลายและไหลออกทางปากแม่พิมพ์ปูนหล่อ ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งนูนของฐานยาง เมื่อกำจัดเทียนจำนวนมากออกแล้วจึงนำแม่พิมพ์เข้าอบในเตาอบต่อไป

- แหล่งกำเนิดความร้อน

ความร้อนที่ใช้ในการอบมาจากขดลวดไฟฟ้าภายในเครื่องความร้อนนี้นำมาใช้ในการอบสูงสุดถึงประมาณ 1200 °C

- ความสมดุลของอุณหภูมิ

1. ชิ้นงานบาง เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแคบและเล็ก ช่องทางน้ำโลหะจะแทรกเข้าไปได้เต็มโพรงแบบ ดังนั้นน้ำโลหะจะต้องมีลักษณะหลอมเหลว และต้องเย็นตัวช้าเพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่น้ำโลหะแทรกตัวเข้าไปในที่แคบๆ ได้ทั่วถึง น้ำโลหะจึงต้องมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย

2. ชิ้นงานหนา เป็นชิ้นงานที่มีโพรงแบบโตกว่า น้ำโลหะจะแทรกตัวเข้าไปได้เร็ว อุณหภูมิของน้ำโลหะจึงมีอุณหภูมิต่ำได้ การเตรียมแม่พิมพ์จึงสามารถใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและบางกว่า

3. อุณหภูมิหล่อของโลหะแต่ละชนิดข้างต้น เป็นอุณหภูมิโดยประมาณเนื่องจากโลหะผสมแต่ละชนิด จะมีสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต

4. ในการอบเผาแม่พิมพ์ ควรคงที่อุณหภูมิหล่อไว้อย่างน้อย ½ ชั่วโมง ก่อนทำการหล่อเพื่อให้สัดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์มีความร้อนใกล้เคียงกันมากที่สุด

5. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จะขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์และรายละเอียดของแบบว่ามีขนาดและรายละเอียดซับซ้อนเพียงใด โดยชิ้นงานจะต้องการอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นงานใหญ่

6. ในการหล่อโลหะ ถ้าพบว่าน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในส่วนที่มีความละเอียดมาก ๆ ให้เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อน การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโลหะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง

7. ในการอบเผาแม่พิมพ์ ไม่มีเครื่องมืออุปกรณ์ควบคุมที่ดีพอ ให้สังเกตที่บริเวณปากทาง เข้า – ออก ของน้ำโลหะแม่พิมพ์ ถ้าบริเวณนั้นมีจุดสีน้ำตาลเข้มและมีเปลวไฟพุ่งออกมาจากภายในโพรงแบบ แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้ไม่หมด แต่ถ้าบริเวณปากทางเข้าและออกของน้ำโลหะของแม่พิมพ์มีสีขาวนวล แสดงว่าเทียนภายในถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์

8. แก๊สหรือควันที่ระเหยออกมา ในขณะอบเผาแม่พิมพ์เป็นแก๊สพิษ ควรหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงการสูดดม

2.3.3.3 การใช้เครื่องอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ

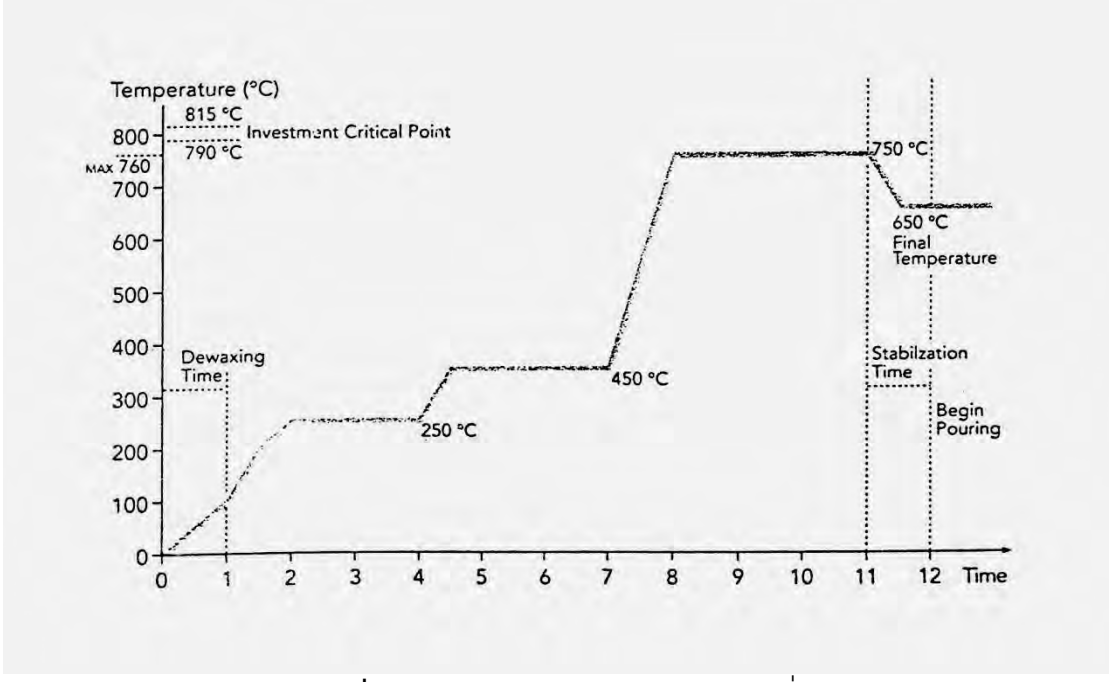
1. การเปิด – ปิดเครื่อง เตาอบเผาแม่พิมพ์มี 2 ชนิด คือเตาไฟฟ้าและเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อ เพลิง ส่วนประกอบที่สำคัญ คือห้องอบเผาซึ่งมีหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ ภายในห้องเผานี้จะมีปล่องสำหรับระบายควันออกจากห้อง ซึ่งมีการต่อปล่องนี้ออกจากห้องปฏิบัติงาน เพราะควันที่ออกจากเตาอบเผาจะเป็นควันพิษ นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมอุณหภูมิของเตา ซึ่งมีทั้งชนิดที่ควบคุมด้วยมือ และชนิดควบคุมอัตโนมัติ เตาอบเผาแม่พิมพ์นี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 °C ในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงส่วนของอุณหภูมิและเวลาในการอบการควบคุมอุณหภูมิและเวลาจะต้องกระทำไปพร้อมกัน ดังรูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของเครื่องอบแม่พิมพ์

รูปที่2.5 เตาอบแม่พิมพ์

2. การตั้งอุณหภูมิในการอบ อุณหภูมิหล่อโลหะจะต้องมีความสมดุลกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ปูนหล่อ เนื่องจากในการหล่อโลหะแม่พิมพ์ซึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะควรมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก มิฉะนั้นแม่พิมพ์จะแตกเสียหายได้ อนึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิหล่อหรืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ จึงต้องมีความแตกต่างกันตามชนิดของโลหะด้วย อาจสรุปได้ดังนี้คือ SILVER มีอุณหภูมิหล่อประมาณ 426 – 454 °C

3. การตั้งเวลาในการอบ ในการอบเผาแม่พิมพ์ มีสูตรการอบเผาหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ปฏิบัติสรุปหลักการอบเผาอย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ
- ในบางอุณหภูมิที่สำคัญๆ หรือในกรณีที่มีกรอบเผาไม่เหมือนกันให้คงอุณหภูมินั้นไว้ เพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง
- ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับขนาดของแม่พิมพ์ ปริมาณแม่พิมพ์และประสิทธิภาพของเตาอบเผาแม่พิมพ์



แผนภูมิที่ 2.1 ตัวอย่างอุณหภูมิการทำงานของเครื่องอบ

การอบแม่พิมพ์ปูนหล่อ จากแผนภูมิที่ 2.1 ในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาแต่ละช่วงนั้นต้องตระหนักถึงอุณหภูมิหล่อและปฏิกิริยาต่างๆ สรุปได้ดังนี้

1. ทฤษฎีการอบเผาแม่พิมพ์ ในการอบเผาแม่พิมพ์ จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ในการอบเอาแม่พิมพ์ ควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกจนถึงประมาณ 200 °C เนื่องจากในแม่พิมพ์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 °C น้ำจะกลายสภาพเป็นไอน้ำ และแทรกตัวออกตามช่องว่างของเนื้อปูนหล่อ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอน้ำจะขยายตัว โดยมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าปูนหล่อ การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้เองทำให้เกิดแรงดันภายในปูนหล่อ ลวดลายต่าง ๆ ของแม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย และร้ายแรงที่สุดถึงขั้นทำให้แม่พิมพ์แตกร้าวได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำในแม่พิมพ์ส่วนผสมของสารเคมีจากปูนหล่อ มิใช่อยู่ในรูปของน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจุดที่น้ำจะกลายเป็นไอ อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 °C ทีเดียว

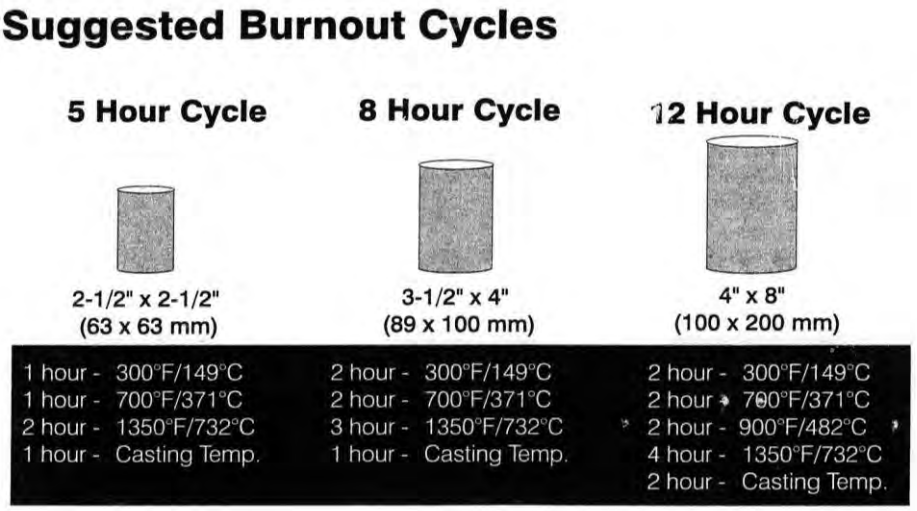
- ในกรณีที่ไม่มีการนึ่งเทียน ก่อน แต่นำแม่พิมพ์เข้าอบเผาในเตาอบโดยตรงนั้น ไม่ควรนำแม่พิมพ์เข้าอบในขณะที่เตาอบเย็น แต่ควรนำเข้าในขณะที่ภายในเตามีอุณหภูมิประมาณ 150 °C นั่นคือควรทำการอุ่นเตาอบก่อนนำแม่พิมพ์เข้าไปอบเผาเนื่องจากในขณะที่เตาเย็น เมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80 °C เทียนจะเริ่มละลายกลายเป็นของเหลว ส่วนหนึ่งจะเริ่มไหลออกมาทางปากทางเข้า แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ยังคงอยู่ภายในโพรงแบบ ขณะเดียวกันปูนจะเริ่มขยายตัวทำให้รูพรุนหรือช่องว่างของเนื้อปูนหล่อโตขึ้น ปูนหล่อจะทำตัวเป็นฟองน้ำดูดซับเทียน ที่มีลักษณะเป็นของเหลวเข้าไปในเนื้อปูนหล่อ และกำจัดออกให้หมดได้ยากแต่ถ้านำแม่พิมพ์เข้าเตาอบในขณะที่เตามีอุณหภูมิประมาณ 150 °C เทียน จะละลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ และขยายตัวดันให้เทียน ไหลออกจากแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วย

- ในการอบเผาแม่พิมพ์ หลังจากเทียนส่วนใหญ่ไหลออกจากทางเข้าและออกของน้ำโลหะ จะมีเทียนอีกส่วนหนึ่งที่ถูกเผาจนกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งสามารถกำจัดออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 700 °C โดยในการเผาไหม้ขี้เถ้า ซึ่งมีสถานะเป็นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาออกซิเจน (0) ในอากาศ ทำให้ได้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษ

- ในการอบเผา เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของกระบอกหล่อ โดยเฉพาะภายในโพรงแบบ ซึ่งยังมีส่วนผสมของน้ำอยู่ในเนื้อปูนหล่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระบอกหล่อกับภายในโพรงแบบ อาจแตกต่างกันถึง 50 °C ดังนั้นก่อนการหล่อจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิหล่ออย่างน้อย ½ ชั่วโมง ก่อนหล่อโลหะ

- ถ้าแม่พิมพ์ถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 800 °C ยิปซัมซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนหล่อ จะแตกตัวออกเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดสีผิวโลหะที่หล่อ

2. วิธีการใช้อุณหภูมิในการอบแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของแม่พิมพ์ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 อุณหภูมิมาตรฐานกระบอกหล่อ

3. วิธีการคำนวณเชิงวิชาการ แนวทางการคำนวณคำนึงถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะใช้ในการหลอม จะต้องมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้อบเบ้าปูนหล่อ

- สูตรการหาอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ

- อุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อ = จุดหลอมเหลวของโลหะ + 100 °C

ข้อควรระวังในการใช้เตาอบแม่พิมพ์อีกประการหนึ่ง คือ ควรเพิ่มอุณหภูมิของเตาอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เกิดความเครียดและแตกร้าวได้ง่าย การใช้เครื่องกำจัดเทียนจะเป็นการยืดอายุการใช้งานของเตาอีกวิธีหนึ่ง เพราะจะไม่มีคราบเทียนไปเกาะติดอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเตามากเกินไป การใช้เตาอบเผาเบ้าในขณะที่กำลังอบเผาแม่พิมพ์ ไม่ควรเปิดประตูเตาโดยไม่จำเป็น เพราะอาจเกิดอันตรายจากคลื่นความร้อนจำนวนมากจะพุ่งออกมาจากเตา และทำให้เตาต้องใช้พลังงานอีกมากในการปรับอุณหภูมิให้เท่ากับตอนก่อนที่จะเปิดเตา แต่หากมีความจำเป็นที่ต้องเปิดเตา ผู้ปฏิบัติควรหลบอยู่ด้านข้างประตูเตา นอกจากนี้เตาทั่วไปจะมีช่องสำหรับมองเข้าไปภายในเตาอยู่แล้ว โดยไม่ต้องเปิดเตาโดยตรง

2.3.4 **พื้นฐานการหลอมโลหะ**

คือการทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวแล้วเทลงในแม่พิมพ์ ปล่อยให้โลหะเย็นตัวและคืนสภาพเป็นของแข็งอีกครั้ง สำหรับการหลอมโลหะให้กลายเป็นของเหลวนั้นจะใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ พอสรุปได้ดังนี้

1. การหลอมโลหะโดยใช้เปลวเพลิงโดยตรง เป็นวิธีดั้งเดิมที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อย เป็นการใช้เปลวไฟที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงหลอมโลหะให้ละลายโดยตรง แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่แก๊สอะเซทิลิน แก๊สโพรเพน เป็นต้น โดยใช้ร่วมกับแก๊สออกซิเจน เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ โดยมีหัวผ่านแก๊สเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการปรับหรือบังคับเปลวไฟให้มีปริมาณความร้อนตามต้องการ การหลอมด้วยวิธีนี้ผู้หลอมจะต้องมีความชำนาญในการดูผิวหน้าของโลหะว่าใช้ได้หรือไม่ เพราะไม่มีเครื่องมือวัดหรือควบคุมอุณหภูมิในการหลอม ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิในการหลอมละลายของโลหะจะมีหลายระดับ คือ อุณหภูมิหลอมละลาย (Melting Point) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะจะไหลได้ดี อุณหภูมิเดือด (Boiling Poring) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะเริ่มดึงอากาศรอบ ๆ เข้ามารวมตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation น้ำโลหะจะเดือด ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดรูพรุนในชิ้นงานหล่อดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้หลอมโลหะต้องหลอมให้ถึงจุดไหลของโลหะ แล้วจึงเริ่มเทลงบนแบบพิมพ์ตามกรรมวิธีการหล่อ ในทางปฏิบัติจะดูผิวหน้าของโลหะที่หลอมละลายให้เหมือนผิวหน้าของกระจกเงา จึงจะถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ใช้ได้

ข้อควรจำแนกประการหนึ่งในการหลอมโลหะต้องเผาหรือให้ความร้อนแก่เบ้าหลอมให้เพียงพอก่อนที่จะทำการหลอมโลหะเพื่อให้เบ้าหลอมมีการขยายตัวให้เพียงพอเพราะ อุณหภูมิในการหลอมโลหะจะสูงมาก ตัวเบ้าหลอมขยายตัวไม่ทันจะเกิดการแตกร้าวจะทำให้สูญเสียเบ้าหลอมและโลหะมีค่าที่หลอมด้วย

การหลอมโลหะจากเปลวไฟโดยตรงในเครื่องหล่อตัวเรือนด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และชุดเชื้อเพลิงสำหรับหลอมโลหะ การหลอมโลหะโดยใช้เตาหลอมเป็นกรรมวิธีการหลอม-โลหะที่อาจใช้พลังงานจากไฟฟ้า หรือแก๊ส เป็นการให้ความร้อนหรือเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาหลอม ความร้อนจะค่อย ๆ แพร่เข้าไปถึงโลหะที่อยู่ในเบ้าหลอมหรือ Crucible จนโลหะนั้นละลายเนื่องจากการหลอมลักษณะนี้ไม่ใช่เป็นการให้ความร้อนกับโลหะโดยตรง จึงต้องใช้เวลาหลอมโลหะมากกว่าวิธีอื่น ๆ วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

2. การหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำ เป็นการหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีนี้โลหะจะถูกให้อยู่ในเบ้าหลอมซึ่งถูกล้อมไว้ด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสูงมาก สามารถละลายหรือหลอมโลหะได้ภายในระยะเวลาสั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบแก๊สเฉื่อยมาใช้ในการหลอมโลหะลักษณะนี้ เพื่อใช้คลุมผิวหน้าของโลหะขณะหลอมละลายเพื่อป้องกันการเกิด

Oxidation ของน้ำโลหะอีกด้วยการหลอมโลหะแบบนี้ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตเครื่องประดับที่มีคุณภาพสูงอย่างมากในปัจจุบัน

3. จุดหลอมละลายของโลหะ หมายถึง ระดับอุณหภูมิที่ทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของ แข็งเป็นของเหลว โดยทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักอยู่ในรูปของโลหะผสม คือ มีโลหะอื่นปะปนอยู่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติตามความต้องการใช้งาน ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับก็เช่นเดียวกัน โลหะที่นำมาใช้มักมีการผสมโลหะอื่น ๆ ลงไปด้วย เพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ทองคำและเงิน โดยโลหะที่นำไปผสมมักมีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าโลหะตั้งต้น โลหะผสมที่ได้จึงนำวิธีการบัดกรีมาใช้ เพื่อให้มีการหลอมละลายเฉพาะบางจุดเท่านั้น (ไม่หลอมละลายทั้งชิ้นงาน)

4. การนำความร้อน คือความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ จากจุดใดจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่งได้รวดเร็วเพียงใด เช่น โลหะเงินมีการนำความร้อนได้ดี นั่นคือเมื่อให้ความร้อนแก่โลหะเงินที่จุดหนึ่ง โลหะเงินสามารถนำความร้อนนั้นไปถึงอีกจุดหนึ่งบนชิ้นงานเดียวกันได้อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันไม้จะนำความร้อนได้ช้ามาก เมื่อเทียบกับโลหะเงิน ทองแดง ซึ่งเป็นโลหะที่มีการนำความร้อนที่ดี ในการบัดกรีและอบอ่อนจะต้องให้ความร้อนที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ทั้งชิ้นงาน จึงจะได้ผลที่ดีในชิ้นงานขนาดใหญ่ การบัดกรีเป็นจุดมักทำได้ไม่ดีนักเพราะความร้อนจะถูกกระจายไปในส่วนอื่น ๆ ของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับแพลทินัม เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนไม่ดีนัก จึงบัดกรีเป็นจุดได้ดี โดยไม่ต้องแกะพลอยออกจากตัวเรือน ในกรณีที่เป็นตัวเรือนที่สำเร็จแล้ว เพราะเพชรพลอยเหล่านั้นจะไม่ได้รับความร้อนจากการบัดกรี การศึกษาคุณสมบัติในการหลอมละลายของโลหะจึงมีประโยชน์อย่างมากในงานหล่อโลหะทองคำ เงิน และแพลทินัม เป็นโลหะซึ่งใช้ในการหล่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ทองแดงไม่สามาถนำมาหล่อได้ เนื่องจากมีผิวหน้าที่แข็งเกินไป

2.3.5 **พื้นฐานการหล่อ**

ในปัจจุบันจะพบโรงหล่อมีอยู่มากมายซึ่งแต่ละโรงจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป แต่ถ้ามองในแง่ขนาดของโรงงานก็จะมีตั้งแต่ประเภทที่ใช้แรงงานเพียงสองสามคนจนถึงโรงงานที่มีพนักงานเป็นร้อยๆคนหรือถ้ามองทางด้านโลหะที่หล่อก็มีตั้งแต่ประเภทที่หล่อธรรมดาซึ่งไม่เน้นคุณภาพมากนัก จนถึงประเภทที่หล่อไทเทเนียมโดยใช้เทคนิคสุญญากาศ แต่ไม่ว่าโรงหล่อแต่ละโรงจะมีลักษณะแตกต่างกันมากน้อยเพียงไรหลักที่เหมือนกันก็คือการเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อ ได้แบ่งแบบหล่อไว้ 4 ชนิดคือ

2.3.5.1 แบบหล่อสิ้นเปลือง

จะใช้ทรายชนิดเปียก (Green Sand Mold) จะได้จากการผสมของทรายซิลิกากับตัวประสาน (Binder) เช่น เบนโตไนท์ และน้ำเข้าด้วยกัน จากนั้นก็นำไปอัดบนแม่พิมพ์ ซึ่งเรียกว่ากระสวน (Pattern) ซึ่งมีรูปร่างเหมือนชิ้นงานเมื่อดึงกระสวนออกก็จะเกิดช่องว่าง จากนั้นเทน้ำโลหะลงไป และรอจนกว่าน้ำโลหะแข็งตัวแล้วนำออกจากแบบทรายก็จะได้ชิ้นงานตามต้องการ นอกจากแบบหล่อชนิดทรายเปียกแล้ว ยังมีแบบหล่อชนิดอื่น ๆ คือ แบบหล่อที่ใช้ทรายแห้ง (Dry Sand Mold)แบบหล่อที่ใช้ทรายไส้แบบ (Core Sand Mold)แบบหล่อปูนพลาสเตอร์ (Plaster Mold) แบบหล่อเปลือก (Shell Mold) แบบหล่อไร้หีบ (Flaskless Mold)

2.3.5.2. แบบหล่อถาวร

วิธีการผลิตแบบหล่อแบบนี้จะมีวิธีการที่มีข้อจำกัด ซึ่งจะผลิตได้โดย

1. แบบหล่อโดยการเท

จะใช้ได้เฉพาะกับโลหะที่มีการหดตัวต่ำ และใช้งานที่อุณหภูมิของน้ำโลหะที่ต่ำซึ่งวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อจะต้องมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะที่ต้องการหล่อมากๆ

2. แบบหล่อโดยใช้แรงอัด

วิธีนี้น้ำโลหะจะถูกนำเข้าไปในแบบโดยใช้แรงอัด โลหะที่นิยมใช้แบบหล่อนี้ คือ อลูมิเนียม ทองเหลือง สังกะสีผสม

3. แบบหล่อสิ้นเปลืองที่ทำจากแม่พิมพ์สิ้นเปลือง

การหล่อชนิดนี้ที่สำคัญจะมี 2 แบบ

- การหล่อประณีต (Investment Casting)

การหล่อแบบนี้จะใช้ขี้ผึ้งหรือพลาสติก ที่ถูกฉีดให้เหมือนชิ้นงานไปชุบเซรามิก แล้วปล่อยให้แห้งแล้วนำไปชุบ ทำอย่างนี้จนได้ความหนาตามต้องการจากนั้นนำไปอบเผาเพื่อไล่ขี้ผึ้งละลายออกมา ก็จะได้ช่องว่างในเซรามิกเป็นรูปชิ้นงานตามต้องการ แล้วจึงเทน้ำโลหะลงไป งานที่หล่อได้โดยวิธีการนี้จะมีความคลาดเคลื่อนน้อย และผิวเรียบกว่าการหล่อด้วยวิธีอื่น

- การหล่อโดยใช้โฟม (Full Mold Process)

การหล่อแบบนี้จะนำโฟมมาแกะและประกอบเป็นรูปร่างเหมือนชิ้นงานจากนั้นนำไปวางในหีบแล้วนำทรายใส่ลงไปในช่องว่างที่เหลือ แล้วอัดให้แน่นแล้วจึงนำน้ำโลหะเทในหีบตรงบริเวณโฟม ทำให้โฟมละลายและระเหยไปโดยมีน้ำโลหะเข้าไปแทนที่ตามรูปร่างของโฟม

- แบบหล่ออื่น ๆ

ซึ่งไม่สามารถจัดลงได้ในทั้งสามแบบที่กล่าวมา ซึ่งจะมีดังนี้

1. แบบหล่อเซรามิก (Ceramic Mold) ที่ใช้ในขบวนการซอว์ (Shaw Process) ซึ่งจะต้องมีความละเอียดสูง

2. แบบหล่อด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Mold)

3. แบบหล่อด้วยโฟม (Explorative Pattern Casting)

ในกรรมวิธีการหล่อโลหะนั้นต้องมีการเลือกแบบหล่อที่เหมาะสม ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้นสิ่งที่ควรพิจารณาคือความเหมาะสม หรือมีข้อจำกัดในแต่ละกรรมวิธี

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบขบวนการหล่อด้วยแบบหล่อต่าง ๆ

	แบบหล่อสิ้นเปลือง			**แบบหล่อถาวร**		**แบบหล่อสิ้นเปลือง แบบแม่พิมพ์สิ้นเปลือง**	
	ทรายเปียก	**ทรายแห้ง**	**เปลือก**	**ถาวร**	**แรงอัด**	**ปูนพลาสเตอร์**	**หล่อประณีต**
ขนาดของงานหล่อ:							
เล็กสุด	30 กรัม	30 กรัม	30 กรัม	100 กรัม	น้อยกว่า 30 กรัม	น้อยกว่า 30 กรัม	น้อยกว่า 30 กรัม
เฉลี่ย			10 กก.	20 กก.	5 กก.	7 กก.	5 กก.
ใหญ่สุด	หลายตัน	หลายร้อยตัน	หลายร้อยตัน	200 กก.	15 กก.	40 กก.	40 กก.
รูปร่างของงานหล่อ	ไม่จำกัด		ไม่จำกัดพร้อมได้	ไม่จำกัดโดยเครื่อง	ไม่จำกัดโดยเครื่อง	ไม่จำกัด	จำกัดโดยแบบขี้ผึ้ง
จำนวนชิ้นงาน :							
น้อยที่สุด	1	1	50-500	1000-5000	1000-5000	1	500-5000

มากที่สุด	ขึ้นอยู่กับชนิดของพิมพ์	ขึ้นอยู่กับชนิดของแบบพิมพ์	ขึ้นอยู่กับชนิดของแบบพิมพ์	1000-100000	5000+	ขึ้นอยู่กับชนิดของแบบพิมพ์	5000+
เหมาะสำหรับ:							
เหล็กหล่อเทา	✓	✓	✓	✓	×	×	×
เหล็กหล่อเหนียว	✓	✓	✓	×	×	×	×
เหล็กกล้า	✓	✓	✓	×	×	×	✓
อลูมิเนียมหรือแม็ก	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓
ทองแดง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
นิกเกิล	✓	✓	✓	×	×	×	✓
สังกะสี	×	×	×	✓	✓	×	×
แม่พิมพ์	ไม้หรือโลหะ	ไม้หรือโลหะ	โลหะ	โลหะ	โลหะ	โลหะ	โลหะสำหรับขี้ผึ้ง
แม่พิมพ์	ไม้หรือโลหะ	ไม้หรือโลหะ	โลหะ	โลหะ	โลหะ	โลหะ	โลหะสำหรับขี้ผึ้ง
ความคลาดเคลื่อน	$\frac{1}{32}$ To $\frac{1}{16}$ in per ft.	0.005 in. Per in.	0.005 in. Per in.	0.005 in. Per in.	To in. per in.	0.005 in. Per in.	to 0.005 in. Per in.
ผิว (RMS)	250 - 1000	100 - 250	50 - 250	100 - 250	40 - 100	30 - 50	10 - 85

✓ ความหมายว่า เหมาะสม

✗ ความหมายว่า ไม่เหมาะสม

ที่มา : นรินทร์ และ คณะ เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ 2534: 115

สรุปได้ว่าในขบวนการหล่อโลหะแบบหล่อที่ใช้ย่อมมีความแตกต่างกันตามความเหมาะสมของวัสดุและความแม่นยำของงานที่ต้องการ โดยเฉพาะความแม่นยำด้านขนาดและผิวเรียบสวย ซึ่งจะส่งผทำให้การตกแต่งผิวสำเร็จที่ง่ายและลดต้นทุนในการหล่อโลหะลงได้ จากชนิดของแบบหล่อที่กล่าวมาจะเป็นปัจจัยสำคัญในการหล่อโลหะ

2.3.5.3 การหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เป็นกรรมวิธีหล่อโลหะที่มีลักษณะพิเศษจำเพาะ คือ จะบรรจุโลหะเหลวเข้าสู่โพรงแบบในขณะที่หมุนอยู่รอบแกน และปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในระหว่างที่โพรงแบบยังคง หมุนอยู่เช่นเดิม แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของโพรงแบบจะทำให้โลหะเหลวอัดตัวแน่นเข้ากับผนังโพรงแบบ จึงทำให้เกิดรูปร่างของชิ้นงานคล้อยตามผิวของผนังโพรงแบบโดยตลอดด้วย นอกจากนั้นยังทำให้เกิดระบบการป้อนเติมที่แตกต่างกันจากขบวนการหล่อกรรมวิธีอื่น ๆ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับ แรงไฮโดรสเตติก (Hydrostatic Force) ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ขึ้น 2 ทางคือ

1. ในขณะเทจะเห็นว่าแรงเหวี่ยงนี้ สามารถสลัดโลหะเหลวให้กระจายแผ่ออกไปสัมผัสกับผิวของผนังโพรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้สามารถหล่อชิ้นงานรูปทรงกระบอกกลวงภายในได้เลย รวมทั้งรูปทรงแหวนอื่น ๆ ด้วย

2. แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จะทำให้เกิดความดันสูงยิ่งขึ้นภายในชิ้นงานขณะที่โลหะเหลวกำลังจะแข็งตัวลักษณะเช่นนี้หากทิศทางการแข็งตัวเริ่มต้นจากผนังโพรงแบบมุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของแกนหมุนแล้ว ย่อมจะช่วยให้เกิดลักษณะการป้อนเติมที่ดีขึ้น และยังสามารถทำให้สิ่งมลทินต่าง ๆ แยกตัวออกจากเนื้อโลหะ และแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางยังสามารถขับไล่แก๊สให้ออกจากโมเลกุลของโลหะเหลวอีกด้วย

แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) Beeley (1974: 490-493) ได้สรุปไว้ว่า แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะเกิดขึ้นได้ขณะหมุน มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรัศมีของการหมุนและความเร็วยกกำลังสอง ดังนี้

$$F_c = mr^2 = \frac{mv^2}{r}$$

เมื่อกำหนดให้ F_c คือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (N)

m คือ มวลสาร (kg)

r คือ รัศมี (m)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

v คือ ความเร็วขอบที่เส้นรอบวง(m/s)

ในขณะที่กำลังหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอยู่นั้นจะได้รับแรงดึงดูดของโลกกระทำด้วยเช่นกันโดย

$$Fg = m.g$$

เมื่อกำหนดให้ g คือ อัตราความเร่ง (m/s^2)

เช่นนี้เอง ทำให้เกิดองค์ประกอบของแรงดึงดูดของโลกในระหว่างการหมุน กล่าวคือ องค์ประกอบของแรงดึงดูดของโลกหรือการเหวี่ยงนั้น มีค่า

$$G_{factor} = \frac{Fc}{Fg} = \frac{r.\omega^2}{g}$$

โดยทั่วไปมักกล่าวเป็นหน่วยความเร็วรอบต่อนาที n นั่นคือ

$$G_{factor} = \frac{r}{g}.\left(\frac{\pi}{30}\right)^2 n^2 = \frac{0.011rn^2}{g}$$

หรือ

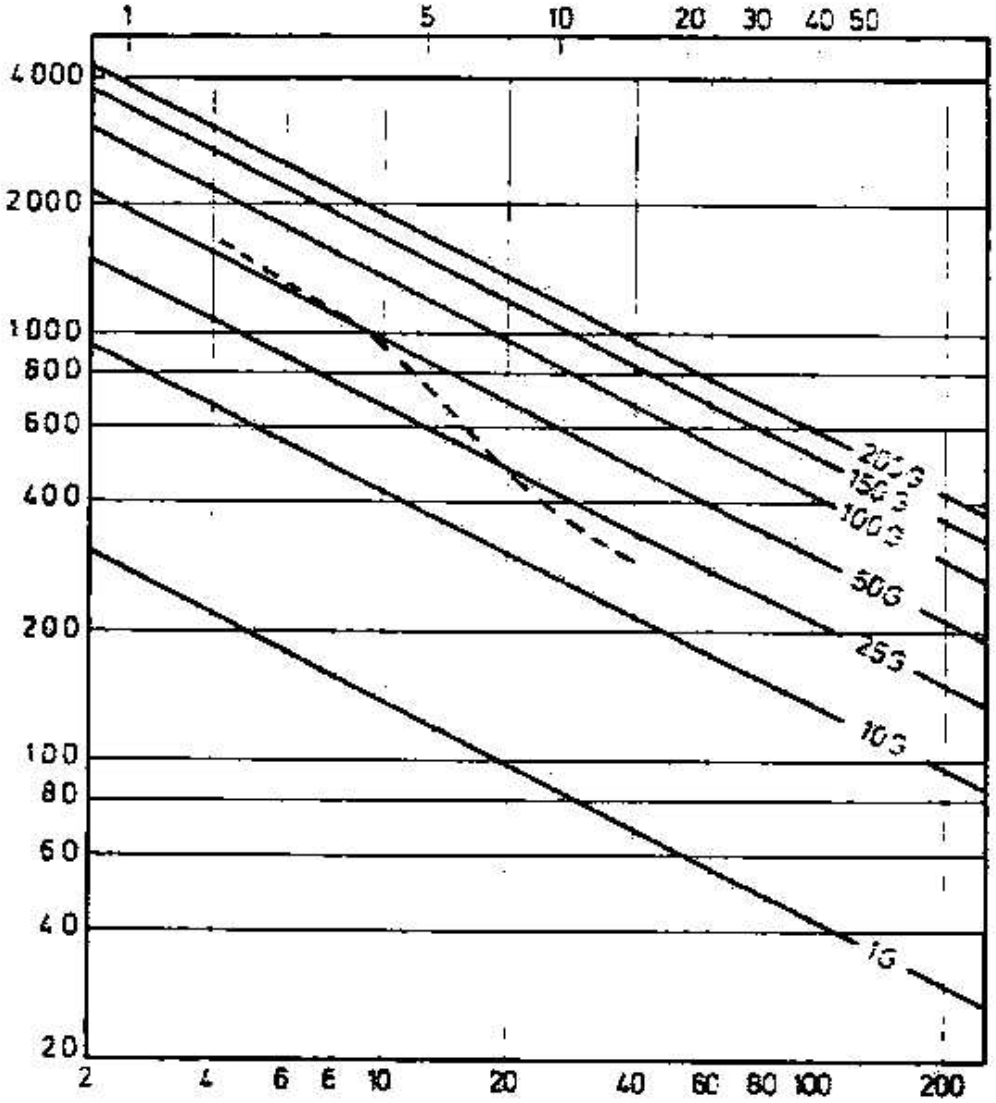
$$n = \left(\frac{G_{factor} \times g}{0.011r}\right)^{\frac{1}{2}} = 29.9\left(\frac{G_{factor}}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 42.3\left(\frac{G_{factor}}{d}\right)^{\frac{1}{2}} (rev/\min)$$

เมื่อกำหนดให้ d คือเส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

$$n = 265\left(\frac{G_{factor}}{d}\right)^{\frac{1}{2}} (rev/\min)$$

เมื่อกำหนดให้ d คือเส้นผ่านศูนย์กลาง (in)



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมในการหมุนกับขนาดความโตของชิ้นงานซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่าของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมในการหมุน ขนาดความโตของชิ้นงาน และกับแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ได้แสดงเป็นเส้นกราฟไว้ให้เห็นในภาพที่ 2.1 จากภาพถ้าเราหาหรือกำหนดค่าองค์ประกอบของการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง G ได้ เราจะทราบความเร็วรอบที่จะใช้ในการหมุนโพรงแบบเพื่อทำการเทหล่อได้เช่นกันไม่มีเกณฑ์มาตรฐานอะไรสำหรับหลักในการเลือกขนาดของการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอันนี้ ในการหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่แท้จริง หรือการหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชิ้นงานรูปทรงกระบอกกลวงนั้น ความเร็วขอบนอกที่เส้นรอบวงของโพรงแบบกับโลหะเหลว จะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากแรงฝืดที่เกิดขึ้นระหว่างผนังโพรงแบบกับ

คุณ สมบัติภายในของเนื้อโลหะ เช่นการหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางตามแกนนอก โลหะจะถูกเทเข้าสู่โพรงแบบในขณะที่มันยังคงหมุนอยู่ซึ่งจะต้องมีความเร็วพอเพียง เพื่อทำให้โลหะเหลวเกาะยึดติดกับผนังโพรงแบบได้แน่น โดยไม่เลื่อนหลุด มิฉะนั้นโลหะเหลวอาจจะหยดย้อยลงข้างล่างได้ในขณะที่มันถูกเหวี่ยงพาหมุนเลยครึ่งวงกลมส่วนบนขึ้นไป เนื่องจากโลหะเหลวอาจจะเลื่อนหลุด(Slip) ออกจากผนังโพรงแบบก่อนที่จะแข็งตัวโดยปกตินั้นจะต้องใช้การเหวี่ยงหนีศูนย์ กลางนี้มีค่าไม่ต่ำกว่า 1G จึงจะทำให้โลหะเหลวถูกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางพาหมุนไปพร้อม ๆ กับผนังโพรงแบบได้แต่จากการทดลองค่าที่ให้ผลดีที่สุดจะจำกัดค่าของการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีค่าต่ำสุดอยู่ระหว่าง 3-4.5 G ซึ่งอาจจะเป็นแรงที่มากมายเกินไปสำหรับการปฏิบัติงานโดยในการทำการทดลองจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า G ในการหล่อเหวี่ยง เนื่องจากเครื่องหล่อเหวี่ยง ไม่สามารถปรับตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้

2.3.5.4 การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนั้นมีองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานเช่น ความเร็วในการหมุนโพรงแบบ อุณหภูมิเทหล่อ อัตราการเทและอุณหภูมิของโพรงโลหะ

1. ความเร็วในการหมุน

การเลือกความเร็วในการหมุนโพรงแบบนั้นเป็นเรื่องสำคัญที่สุดของกระบวนการในขบวนการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแท้จริงนั้น รูภายในของชิ้นงานจะถูกรั้งเอาไว้ด้วยแรงดึงดูดของโลก แต่แรงเหวี่ยงจะช่วยให้ชิ้นงานหลุดพ้นจากการฉีกร้าวตามแนวความยาวเนื่องจากแรงดึงดูดอย่างมากมายตามแนววางแหวนที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลก สำหรับในขบวนการหล่อกึ่งเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและขบวนการหล่อความดันเหวี่ยงนั้น จะต้องพิจารณาตามค่าความดันในการป้อนเติม ความเร็วในการหมุนโพรงแบบจะมีอิทธิพลเหนือเม็ดโครงสร้างของโลหะงาน ถ้าความเร็วในการหมุนโพรงแบบเพิ่มขึ้น ก็ยิ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีผลึกแข็งเม็ดเล็กละเอียดยิ่งขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้นว่าโพรงแบบที่หมุนเร็ว ๆ นั้น จะทำให้โลหะเหลวเกิดการอลวนมากขึ้นก็ตามแต่ก็ยังจะดีกว่าการหมุนรอบต่ำ ๆ ทั้งนี้การหมุนรอบจัดจะทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกร้าวซึ่งย่อมจะให้คุณประโยชน์มีค่ามากกว่า

2. อุณหภูมิเท

จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับรูปแบบการแข็งตัวของโลหะ การเทหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโลหะอุณหภูมิต่ำย่อมจะทำให้ได้ผลึกเม็ดเล็กละเอียด เป็นชนิดเม็ดหลายเหลี่ยมมุมเท่า (Equiaxed) ในขณะที่ใช้อุณหภูมิเทสูงก็จะทำให้ได้เม็ดโครงสร้างเป็นผลึกรูปแท่ง (Columnar)

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะต้องใช้อุณหภูมิเทสูงพอที่จะให้ความมั่นใจได้ว่า โลหะเหลวจะสามารถไหลแผ่กระจายโดยไม่เกิดความบกพร่องเรื่องผิวย่น เหตุนี้จึงทำให้ไม่สามารถที่หลีกเลี่ยงต่อการก่อรูปผลึกแข็งหยาบ และยังเสี่ยงต่อการฉีกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิละลายสูงยิ่งยวดมากเกินไป

3. อัตราการเท

มีหลักการง่ายๆอยู่ว่าจะต้องเทโลหะให้เสร็จสิ้นก่อนที่มันจะเกิดการแข็งตัวพอกนูนหรือไม่ไหลตัวแผ่กระจาย ถึงแม้ในบางครั้งจะต้องใช้อัตราการเทสูงจนเกิดการอลวนและฟุ้งกระเซ็นก็ตาม ในทางปฏิบัติควรจะใช้อัตราการเทที่ต่ำเนื่องจากจะทำให้เกิดประโยชน์ในการสร้างทิศทางการแข็งตัวของชิ้นงานกับผิวนอกของชิ้นงาน (ติดผนังโพรงแบบ) ซึ่งจะช่วยลดการเสี่ยงต่อเรื่องการฉีกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานหล่อได้

4. อุณหภูมิของโพรงแบบการหล่อเหวี่ยงด้วยโพรงแบบโลหะถาวร ย่อมจะทำให้ได้เม็ดผลึกของโลหะเล็กละเอียดมากกว่าการเทหล่อในโพรงแบบทราย ซึ่งอุณหภูมิของโพรงแบบจะมีอิทธิพลเป็นอันดับรองในเรื่องที่กล่าวนี้ อุณหภูมิของโพรงแบบจะเกี่ยวข้องโดยตรงในเรื่องการขยายตัวของโลหะเสียมากกว่า การอุ่นโพรงแบบโลหะให้ร้อนไว้ก่อนการหล่อเหวี่ยงนั้นจะช่วยไล่ความชื้นออกให้หมดและช่วยลดการเสี่ยงต่อการฉีกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานในขบวนการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาแท้จริง

2.3.5.5 การตรวจสอบงานหล่อ

มาตรฐานคุณภาพการตรวจสอบด้วยตา สาโรช และ ทวีทรัพย์ (2535 : 123) ได้สรุปมาตรฐานคุณภาพเมื่อดูด้วยตาไว้ดังนี้

1. ผิว

เนื่องจากผิวงานหล่อวัดแบบเดียวกับงานกลึงได้ยาก จึงเปรียบเทียบผิวงานหล่อมาตรฐาน SIS-1ของ Alloy Casting Institute Surface Indicator Scale ซึ่งเปรียบเทียบด้วยตารางงานหล่อประณีตจะมีผิวเปรียบเทียบได้กับความหยาบประมาณ 150 RMS ความหยาบของผิวรวมเนื้อส่วนเกิน ส่วนขาดหากถูกจำกัดไปได้หมดในขบวนการต่อเนื่อง เช่น การกลึงไส ให้ถือว่าเป็นคุณภาพผิวที่ยอมรับกันได้

2. โลหะส่วนเกิน

โดยธรรมชาติของงานหล่อมักจะมีส่วนเกินจากการหล่ออันเกิดจากธรรมชาติของเนื้อโลหะเอง หรือลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน หากไม่มีการตกลงไว้ก่อนพิกัดสูง 0.381 ถึง 0.762

mmบนพื้นที่ 3.175 mm ×6.35mm และมีได้ไม่เกิน 1 จุดใน 645.16 mm2 ตำหนิเล็ก ๆ อาจเกิดได้ทั่วยกเว้นบนพื้นที่กำหนดเฉพาะสำหรับงาน

3. หลุม

ผิวงานหล่ออาจเกิดหลุมกระจายไม่แน่นอนสำหรับงานหล่อประณีตจะมีหลุมลึกไม่เกิน 0.762 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.762 –1.524 mm ในจำนวนไม่เกิน 1 จุด ต่อ 645.16 mm2 หากไม่กำหนดโดยผู้ซื้อ หลุมที่เล็กกว่าขนาดที่กล่าวข้างต้น อาจเกิดขึ้นได้ทั่วไปหากไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน

4. นอนฟิลล์ (Nonfill)

ในงานหล่อบางครั้งมุมต่าง ๆ ที่หล่อได้อาจไม่มีคมเหมือนกับที่กำหนดไว้ เป็นที่ยอมรับกันในอุตสาหกรรมหล่อโลหะประณีต ว่ายอมให้เกิดมุมโค้งบนสันต่าง ๆ มีรัศมีโค้งไม่เกิน 0.381 mm ยกเว้นผู้ซื้อหรือโรงหล่อมีข้อกำหนดเป็นอย่างอื่น

5. ความสะอาดของผิว

โดยปกติงานหล่อจะได้รับการทำความสะอาดผิวด้วยวิธีพ่นด้วยเม็ดเหล็ก หรือเม็ดทราย เพื่อขจัดคราบที่เกิดจากการหล่อ หรือสนิมเหล็ก อันเกิดจากการอบด้วยความร้อน หากผู้ซื้อต้องการขัดแต่งด้วยวิธีอื่น ๆ ต้องตกลงกับโรงหล่อเป็นกรณี ๆ ไป

6. อื่น ๆ

ชิ้นงานไม่ควรมีตำหนิที่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน เช่น รอยร้าว โพรงหดตัวทเห็นด้วยตาเปล่า ยกเว้นผู้ซื้อจะมีข้อกำหนดเป็นอย่างอื่น

หิรส และ เคนยิ (2533: 181) สรุปว่าการตรวจสอบชิ้นงานอาจแบ่งออกได้หลายลักษณะดังนี้ - การตรวจสอบรูปร่างลักษณะ การตรวจสอบประเภทนี้จะพบความไม่เรียบร้อย เช่น การมีวัสดุแทรกในเนื้อโลหะ รอยร้าว ฯลฯ ถ้าเกิดที่ผิวและพบชิ้นส่วนที่มีขนาดนอกเขตที่ยอมรับได้ (ตามมาตรฐานของการตรวจขนาด) ด้วย

- การตรวจจุดเสียภายใน (ตรวจโดยไม่ทำลาย) การตรวจวิธีนี้จะได้จุดเสียที่อยู่ภายในเนื้อ เช่นจุดโหว่ภายในที่เกิดจากแก๊ส จุดโหว่ที่เกิดจากการหดตัว การแทรกของวัสดุ เช่น ทราย ในเนื้อโลหะ การร้าวฯลฯ ที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะทั้งนี้โดยไม่ต้องทำลายชิ้นงาน

- การตรวจสอบวัสดุ จะตรวจการผิดปกติในวัสดุ คือ ส่วนผสม โครงสร้าง และคุณสมบัติทางกล

- จะตรวจที่หักหรือตัดชิ้นส่วนออกเพื่อให้แน่ใจว่ามีจุดเสียจริงตามที่ได้พบตามการตรวจสอบประเภทที่กล่าวมาทั้ง 3 ประเภทหรือไม่

มนัส (2538: 299-300) ได้สรุปวิธีการตรวจสอบที่ทำกันในงานหล่อในปัจจุบันมี2 วิธี

1. การตรวจสอบโดยมีการทำลาย (Destructive Testing) คือ การตรวจสอบโดยการนำเอางานหล่อมาทำการตัดหรือผ่าออก เพื่อตรวจดูลักษณะของ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นภายใน วิธีการเช่นนี้จะทำกับงานหล่อชิ้นเล็ก ๆ และมีการหล่อจำนวนมาก เราจะเก็บตัวอย่างมาจากงานหล่อกลุ่มหนึ่ง หรือล๊อตหนึ่งมาทำการตัดเพื่อตรวจสอบ ถ้ามีข้อเสียหายก็อาจต้องยกเลิก หรือรีเจคต์งานหล่อล๊อตนั้นทั้งหมด ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ดีนัก ในทางปฏิบัติมักจะทดลองหล่อเพียงจำนวนน้อยก่อน และทำการตรวจสอบแก้ไขจนไม่มีข้อเสียหายแล้วจึงทำการหล่อจำนวนมาก ๆ ภายหลัง เมื่อได้กำหนดลักษณะวิธีการและทำแบบจำลองไปแล้ว ก็ควรจะได้มีการตรวจสอบซ้ำอีก โดยการเก็บตัวอย่างมาตรวจสอบ และควรกระทำในแบบสถิติ เพื่อความแน่ในคุณภาพของงานหล่อ

2. การตรวจสอบโดยปราศจากการทำลาย (Nondestructive Testing) เป็นการตรวจสอบโดยใช้ทั้งอุปกรณ์และเทคนิคเป็นการอาศัยหลักทางฟิสิกส์เข้าช่วย เพื่อไม่ให้ชิ้นงานหล่อถูกทำลายสภาพภายหลังการตรวจสอบถ้าไม่พบข้อเสียหายงานหล่อจะสามารถส่งออกไปยังลูกค้าได้ การตรวจสอบโดยลักษณะนี้มีหลายวิธีตั้งแต่แบบง่าย ๆ จนถึงแบบที่ใช้อุปกรณ์ราคาแพง ขึ้นอยู่กับความแน่นอนและประสบการณ์ของผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบ

การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นการตรวจสอบตำหนิงานทั้งด้านในและด้านนอก โดยจะใช้อุปกรณ์ คือ แว่นขยาย เครื่องฉาย เครื่องวัด อุปกรณ์เปรียบเทียบในการตรวจสอบด้วยสายตาไฟแสงสว่าง และ โบสโคป (Bor Scope) ซึ่งจะมีข้อดี คือ ประหยัดโดยไม่ต้องใช้ความชำนาญ และอุปกรณ์น้อย และยังมีข้อจำกัด คือ ถ้าตรวจสอบภายในต้องมีความชำนาญพอสมควร ตามทฤษฎีแล้วการดูด้วยสายตา ในกรณีที่จำเป็น ต้องใช้แว่นขยาย ไม้บรรทัดเว้า(Convex Ruler) เกจชนิดพิเศษ เพื่อวัดขนาดของรอยแตก รอยเหลื่อม (Over Lap) หลุมบ่อต่าง ๆ

การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นการตรวจที่สามารถกระทำได้โดยทันที และควรจะกระทำก่อนการใช้อุปกรณ์เข้าช่วย เพราะสามารถทำการตรวจข้อเสียที่เกิดขึ้นบริเวณของผิวหล่อได้โดยง่าย เช่น ข้อเสียชนิดรอยแตก (Hot Tear) รูพรุนอากาศ (Blow Holes) ผิวงานมีทรายเกาะติด (Metal Penetration) เทแบบรั่ว (Runouts) และอื่น ๆ ส่วนข้อเสียที่เกิดขึ้นภายใน หรือบางทีที่เกิดตามผิวแต่มีขนาดเล็กเท่านั้น ที่จะใช้การตรวจสอบด้วยสายตาไม่ได้ ผู้ตรวจสอบที่มีความชำนาญอาจใช้สายตาและการเคาะฟังเสียง ก็อาจจะบอกถึงข้อเสียได้โดยไม่ต้องใช้วิธีการตรวจสอบด้วยอุปกรณ์ให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย วิธีการตรวจสอบด้วยสายตายังคงใช้กันอยู่อย่างกว้างขวางและได้ผลดี

สมควร (มนัส, 2538 : 300)

สรุปการตรวจสอบคุณภาพงานหล่อ จัดว่าเป็นงานขั้นสุดท้ายของการผลิตงานหล่อก่อนที่งานจะส่งผ่านไปยังผู้ใช้ หรือนำไปผ่านกรรมวิธีการแปรรูปให้ได้รูปร่างตามต้องการ หรือตกแต่งผิวสำเร็จ งานตรวจสอบจัดว่ามีความสำคัญยิ่ง เพราะตามที่ทราบ งานหล่อจะมีข้อเสียอยู่เสมอ ยิ่งเป็นข้อเสียหรือตำหนิที่เกิดขึ้นอยู่ภายในด้วยแล้ว การตรวจสอบด้วยตาเปล่าจะไม่มีทางทราบได้ จึงต้องอาศัยอุปกรณ์และเทคนิคเข้าช่วยเพื่อการตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจสอบที่ขาดความละเอียดถี่ถ้วนย่อมก่อให้เกิดความเสียหายได้มาก ยกตัวอย่างเช่น งานหล่อมีข้อตำหนิอยู่ใต้ผิว ซึ่งอาจจะเป็นรูพรุน หรือการเกิดการหดตัว เราไม่สามารถตรวจได้เพราะขาดอุปกรณ์หรือการตรวจสอบกระทำไปโดยขาดประสิทธิภาพ เมื่องานหล่อถูกส่งไปยังโรงงานแปรรูปหรือตกแต่งผิวสำเร็จ พอแปรรูปหรือตกแต่งผิวสำเร็จได้ระยะหนึ่งก็พบกับข้อเสียหายเข้า จำเป็นทำการซ่อมหรือไม่ก็ต้องส่งเข้าเตาหลอมไปเลย ดังนั้นจึงทำให้ต้องเสียเวลาเสียค่าขนส่ง และเสียค่าแรงงาน

2.3.5.6 การทำความสะอาดชิ้นงานหล่อ

หลังจากทำการหล่อชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ผู้ปฏิบัติจะนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องหล่อ และตั้งรอให้โลหะแข็งตัวและเย็นตัวลง โดยมีข้อแนะนำว่าถ้าเป็นการหล่อทองคำสีขาว หรือทองคำขาว ควรตั้งแม่พิมพ์ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที และถ้าเป็นทองคำสีเหลือง หรือโลหะเงินควรตั้งทิ้งไว้จนโลหะที่มีสีแดงจากการหลอมกลายเป็นสีดำ จากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ไปฉีดด้วยน้ำเพื่อทำลายปูนหล่อแบบออกจากกระบอกหล่อ ปูนหล่อแบจะแตกออกในทันทีที่ฉีดน้ำ เนื่องจากความร้อนและคุณสมบัติของปูนหล่อแบบ ในปัจจุบันผู้ผลิตมักใช้น้ำที่มีความดันสูงในการฉีดทำลายปูนหล่อซึ่งสามารถกำจัดปูนหล่อที่ติดอยู่ในชิ้นงานได้ไม่ยากนัก ข้อควรระวังประการหนึ่งคือ ควรมีสถานที่สำหรับฉีดน้ำทำลายปูนหล่อโดยเฉพาะ โดยมีตะแกรงสำหรับเก็บกักเศษปูนไว้มิให้ไหลไปอุดทางเดินของการระบายน้ำ หลังจากการฉีดน้ำทำลายปูนหล่อแล้วจะได้ชิ้นงานที่ลักษณะเหมือนต้น wax แต่เป็นต้นขี้ผึ้งที่ทำด้วยโลหะที่หล่อเข้าไปในแม่พิมพ์ ชิ้นงานที่ได้จะมีสีน้ำตาลดำเนื่องจากความร้อนในการหล่อโลหะ ผู้ผลิตจะนำชิ้นงานนี้ไปแช่ในสารละลายจำพวกกรดเพื่อทำความสะอาดผิวของชิ้นงาน กรดและเครื่องมือที่ใช้ในการทำความสะอาดชิ้นงานมีดังนี้

1. การใช้กรดทำความสะอาดผิวชิ้นงาน

กรดกำมะถัน เจือจาง คือใช้กรดกำมะถัน 2 ส่วน ผสมกับน้ำ 10 ส่วน โดยอาจผสมโซเดี่ยมไดโครเมตลงไปเล็กน้อย การจุ่มชิ้นงานในกรดที่ร้อนจะให้ผลดีกว่าจุ่มล้างในอุณหภูมิปกติ และเมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดแล้วจะต้องจุ่มล้างในน้ำสะอาดทันที

ข้อควรจำ ในการผสมกรดกับน้ำ จะต้องเทกรดในน้ำเสมอ นอกจากนี้ควรหาวิธีป้องกันการสูดดมไอกรดที่เกิดขึ้นในขณะจุ่มล้าง

การใช้กรด Muriatic Acid หรือ กรดเกลือ เป็นกรดที่มีปฏิกิริยารุนแรงกว่าชนิดแรก มีอัตราส่วนผสมของกรด 50 ส่วน ต่อน้ำสะอาด 50 ส่วน และสามารถใช้งานได้ดีในสภาพที่ให้ความร้อนเช่นเดียวกับชนิดแรกและมีข้อควรระวังเช่นเดียวกัน

กรดกัดแก้ว (ไฮโรฟูออริค แอซิค) การใช้กรดชนิดนี้มีอันตรายอย่างยิ่ง ผู้ใช้ต้องระมัดระวังอย่างมากในการใช้เนื่องจากเป็นกรดที่มีปฏิกิริยารุนแรงในการกัดผิวโลหะ ส่วนมากมักใช้กับงานทองคำและทองคำขาว

2. การใช้เครื่องทำความสะอาดด้วยไอน้ำ

เป็นเครื่องที่มีราคาแพงและมีคุณภาพในการทำความสะอาดสูงทำงานด้วยการผลิตไอน้ำออกมาฉีดล้างชิ้นงานด้วยความดันสูง แต่มีข้อเสียคือ สามารถทำความสะอาดชิ้นงานได้ครั้งละหนึ่งชิ้นเท่านั้น

3. การใช้เครื่องอัลตราโซนิกทำความสะอาดชิ้นงาน

เป็นเครื่องที่ใช้คลื่นความถี่ของเสียงทำความสะอาดชิ้นงาน ร่วมกับการใช้สารเคมีบางประเภท สามารถทำความสะอาดในซอกมุมเล็กๆ ของชิ้นงานได้ดี ปัจจุบันผู้ผลิตจำนวนมากนิยมใช้เครื่องมือชนิดนี้ทำความสะอาดชิ้นงาน

2.3.5.7. ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานหล่อ

การผลิตใด ๆ ย่อมเกิดของเสีย ในขบวนการผลิตเครื่องประดับก็เช่นกัน มีปัญหาพิเศษมากมายโดยเฉพาะในเรื่องของผิวของชิ้นงาน ซึ่งมีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นดังนี้

- สิ่งแปลกปลอมในเนื้อ (Inclusions)

1. สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง

มีสิ่งแปลกปลอมเล็ก ๆ (Particle) จากภายนอกมาปน เช่นชิ้นส่วนของปูนทำแบบ สิ่งแปลกปลอมที่เกิดจากปฏิกิริยาของโลหะ และธาตุอื่นชิ้นส่วนแปลกปลอมมักทำให้เกิดจุดแข็งและเป็นรอยเป็นทางยาว ซึ่งมีสาเหตุมาจากการนำโลหะมาหลอมใหม่กับวัสดุที่ปนเปื้อน แบบปูนที่ไม่แข็งแรงหรือปูนมีคุณภาพต่ำ โพรงเบ้าหล่อมีความแหลมคม จะทำให้เกิดการแตกชำรุดเมื่อน้ำโลหะไหลมากระทบ การใช้เบ้าที่ไม่สะอาด เศษของตะกรันสามารถทำให้เกิดปัญหาการแยกตัวหรือทำให้เกิดการแตกร้าว

2. การหลีกเลี่ยงการเกิดสิ่งแปลกปลอม

- ทำความสะอาดวัสดุที่จะหลอมใหม่
- ต้นเทียนมีบริเวณแหลมคมน้อย
- มีแบบหล่อที่แข็งแรงเพียงพอ
- เบ้าหลอมต้องสะอาดและแข็งแรง

2.3.5.8 **ข้อบกพร่องเนื่องจากการหล่อแบบหล่อ** (Investment Casting)

1. คราบน้ำ (Water Mark)

จะทำให้ผิวของชิ้นงานไม่เรียบ ซึ่งจะวิ่งตามแนวดิ่งจากบนลงล่าง เกิดระหว่างที่แบบถูกแทนที่ให้เต็มด้วยโลหะ รอยคราบน้ำจะปรากฏชัดบนโลหะแผ่นบน

- สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง ผงปูนเมื่อผสมกับน้ำมีแนวโน้มการแยกตัวออกถ้าหากการผสมถูกทิ้งไว้นิ่งเป็นเวลาค่อนข้างนานก่อนการแข็งตัว การกวนจะป้องกันการแข็งตัว ถ้าการแยกตัวเกิดขึ้นน้ำที่รวมตัวบนผิวขี้ผึ้งจะปรากฏรอยขึ้นบนผิวชิ้นงาน

- การแก้ไข ผงปูนแต่ละรุ่นมีอายุการใช้งานต่างกัน ซึ่งรวมเวลาตั้งแต่ปูนสัมผัสกับน้ำจนถึงจุดแข็งตัวโดยเฉลี่ยใช้เวลา 10 นาที แต่เวลาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและชนิดของน้ำเพื่อป้องกันรอยคราบน้ำ กรรมวิธีผสมปูน (การผสม ไล่ฟองอากาศ ใส่ปูนลงในเบ้า การสั่นสะเทือน) ต้องรีบให้เสร็จภายในเวลากำหนดทั้งหมดก่อการแข็งตัว

2. ผิวหน้าหยาบและมีครีบ (Sandy Surface and Fine)

- สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง

โลหะที่หลอมไหลเข้าในรูพรุนของปูน(Investment) ผิวของชิ้นงานหล่อมีลักษณะหยาบ (Sandy) ถ้าปูนหล่อแตกเนื่องจากแรงดันในน้ำโลหะมากชิ้นงานหล่อจะมีครีบเนื่องจากน้ำโลหะซึมลงไปในรอยร้าวของแบบหล่อ และเกิดครีบบ่อยที่ด้านหน้าตัดหนาของชิ้นงาน ความเสียหายทั้งสองอย่างเกิดจากใช้ปูนหล่อที่มีแรงยึดตัวต่ำ หรือใช้แรงอัดของโลหะมากเกินไป (เหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีความเร็วสูงเกินไป)

- สาเหตุและการป้องกัน

ส่วนมากการเกิดข้อบกพร่องดังกล่าวเกิดจากการใช้ปูนหล่อเหลวมาก ซึ่งสามารถแก้ไขได้ คือ อัตราส่วนของน้ำกับปูนสูงเกินไป อุณหภูมิในการอบเบ้าปูนสูงกว่า 750 0Cผงปูนรุ่นนั้นเสื่อมคุณภาพ

- เม็ดโลหะบนผิวงาน

การเกิดเม็ดโลหะบนผิวงาน เนื่องจากมีฟองอากาศอยู่บนผิวแบบขี้ผึ้งระหว่างการหล่อปูน ถ้าการหล่อไม่ได้ทำสุญญากาศ อากาศจะติดเข้าไป อากาศจะติดอยู่ที่ผิวหน้าของขี้ผึ้งในลักษณะฟองเล็ก ๆ การดูดอากาศออกจากน้ำปูนภายหลังการผสมและภายหลังการตกแบบจะช่วยลดเม็ดโลหะได้ค่อนข้างมาก แต่การหล่อปูนที่ดีต้องมีการสั่นของแบบหล่อด้วย

3. รูพรุนจากฟองอากาศ (Gas Porosity)

ทำให้เกิดรูเข็มบนผิวหน้าโลหะ เพราะรูเข็มอาจจะมีหลายสาเหตุ สาเหตุของการเสียหายสามารถพิสูจน์ได้โดยการดูด้วยกล้องขยายอาจมีรูปร่างพรุนคล้ายเนยแข็ง บางครั้งรูพรุนรวมกันอยู่เป็นชั้นใกล้กับผิวโลหะ บางครั้งชิ้นงานที่ดูว่าเรียบร้อยกลับปรากฏรอยพรุนเมื่อขัดหรือปอกผิว

4. การเสียหายเกิดจากปฏิกิริยากับปูนหล่อ ปูนยิบซัม

ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบซิลิกา เป็นตัวสำคัญและแคลเซียมซัลเฟต เป็นตัวยึดแคลเซียมซัลเฟตสามารถมีปฏิกิริยาโลหะเหลวหลายรูปแบบ แต่ปฏิกิริยาสุดท้ายทำให้เกิดรูพรุนเนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นค่อนข้างซับซ้อนและจะไม่กล่าวในที่นี้ อย่างไรก็ดี ในความเป็นจริงพบว่าโลหะเหลวสามารถทำให้แคลเซียมซัลเฟตแตกตัวโดยตรง ให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ผลพลอยได้คือ คอปเปอร์ซิลิเกต หรือคอปเปอร์ออกไซด์ หรือสารประกอบที่เกี่ยวเนื่องกับโลหะตัวอื่น ๆ ถ้าโลหะเหลวกำลังจะแข็งตัว ฟองอากาศไม่สามารถผ่านออกได้จะรวมตัวกันเป็นฟองใกล้ผิวชิ้นงาน แคลเซียมซัลเฟตจะถูกลดออกซิเจน ทำให้เกิดซัลไฟด์ของทองแดง เงิน สังกะสี หรือนิกเกิล ซัลไฟด์ สารเหล่านี้ หากถูกออกซิไดซ์ในเวลาถัดมาเป็นแกสซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้

5. การรวมตัวโดยตรงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ในการรวมตัวมีปัจจัยเหมือนกัน 3ประการ ได้แก่ความร้อนที่นำมาใช้ในการหลอม ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลกระทบกับหน้าสัมผัสระหว่างโลหะกับปูน กับภาวะอากาศในการหล่อประการสุดท้ายส่วนผสมของเนื้อโลหะผสม

6. ความร้อนและอุณหภูมิ

การหล่อใช้อุณหภูมิสูง มีผลเสียกับการเกิดรูพรุนอย่างไรก็ดีหน้าตัดของเนื้อโลหะของชิ้นงานที่จะหล่อต้องถูกพิจารณาด้วย จำนวนความร้อนที่เข้าไปในแบบขึ้นอยู่กับปริมาณโลหะ การหล่อโลหะจำนวนมากชิ้นจะต้องหล่อด้วยเบ้าและอุณหภูมิเทน้อยกว่าชิ้นโลหะบางและน้อยชิ้น

7. ภาวะอากาศ

การแตกตัวของแคลเซียมซัลเฟต จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ภายใต้บรรยากาศฟรีดรีดิวซิ่ง ส่วนมากช่างทำเครื่องประดับมีความเข้าใจผิดเสมอว่าบรรยากาศที่ดีต้องใช้เครื่องมือที่แพง ซึ่งคำว่าบรรยากาศที่ดีคือ ไม่มีออกซิเจนหรือเป็นสภาพรีดิวซิ่งของแกสผสมไนโตรเจนและไฮโดรเจนใช้เป็นแกสรีดิวซิ่ง บรรยากาศสุญญากาศ ก็นับว่าเป็นรีดิวซิ่ง การคลุมเบ้าหลอมด้วยแก๊สที่ผสมไฮโดรเจน หรือแก๊สธรรมชาติในเบ้าหลอมแบบเปิดจะเกิดปัญหาคล้ายกัน ในกรณีเหล่านี้แทนที่จะดีกลายเป็นเลวมีผลให้รูพรุนเกิดขึ้น การแก้ปัญหาคือใช้บรรยากาศกลางแม้มีออกซิเจนอยู่บ้าง ก๊าซไนโตรเจนที่มีคุณภาพระดับใช้ในห้องทดลอง นำมาใช้ได้เช่นเดียวกันจะใช้แก๊สอาร์กอนก็ได้ แต่อาร์กอนราคาแพงกว่าและได้ประโยชน์ไม่มากกว่าไนโตรเจน การรวมตัวของซัลไฟด์ในระยะกลาง ตามหลักการรวมตัวของซัลไฟล์เช่นเดียวกับการกำเนิดโดยตรงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การเกิดซัลไฟด์จะเกิดได้เพราะโลหะเก่าที่มีผงปูน ภายใต้บรรยากาศรีดิวซิงซัลไฟด์ทำให้เกิดการชำรุดได้โดยตรงหรืออาจจะชักนำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์

8. การแก้ไขรูพรุน

- ใช้โลหะที่สะอาด

- ถ้าโลหะสะอาดอย่าใช้อากาศรีดิวซิ่ง ในการหล่อโลหะทำเครื่องประดับ

- หากหลอมโลหะในเครื่องมือปิดให้ใช้ไนโตรเจนหรืออาร์กอนแทนสุญญากาศการมีออกซิเจนเล็กน้อย ดูเหมือนจะมีประโยชน์มากกว่าเสียประโยชน์

- รักษาอุณหภูมิของเบ้าและอุณหภูมิหลอมอยู่ภายในกำหนด

-หลีกเลี่ยงการผสมสังกะสีเกิน 2-3%

9. ผิวหน้าเดนดริติก (Dendritic Suface)

การเปลี่ยนแปลงของรูพรุนเป็นการชำรุดแบบผิวหน้าเดนดริติก (Dendritic Suface) รูปแบบนี้เกิดเมื่อแกสเกิดขึ้นไปผลักดันโลหะเหลวออกไปจากผิวหน้าของโลหะที่แข็งตัวแล้วบางส่วน สามารถพบได้บนส่วนกว้างของรูเทโลหะบริเวณที่มีมวลใหญ่และอมความร้อนบ่อยครั้งจะพบบนชิ้นงานบางและเล็ก การหลีกเลี่ยง ให้ใช้วิธีการแก้ปัญหารูพรุน

10. รูพรุนแบบหดตัว (Shinkage Porosity)

รูพรุนแบบการหดตัวซึ่งผิวหน้าจะแตกเป็นลักษณะของโพรงเดนไดร์ ทำให้โลหะอ่อนแอและแตกหักเมื่อมีแรงเพียงเล็กน้อยมากระทำ

- สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง รูพรุนนี้เกิดจากการหดตัวอย่างรวดเร็วของโลหะในขณะเหลวเปลี่ยนเป็นของแข็ง การหดตัว แข็งตัวเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของโลหะบริสุทธิ์ และโลหะผสมส่วนมากไม่สามารถแก้ไขได้ ผลกระทบจาการหดตัวของวัสดุจะต้องอยู่ภายใต้ขอบเขต

- การหลีกเลี่ยงการเกิดรูพรุนในระหว่างการแข็งตัว การหดตัวของปริมาตรในชิ้นงานจะต้องได้รับการชดเชยโดยการเติมโลหะเหลวลงในรูเท ซึ่งอาจจะขัดข้องดังนี้

1. ชิ้นงานออกแบบไม่ดี หรือการแข็งตัวของโลหะที่รูเทหรือชิ้นงานบางเกิดขึ้นก่อนชิ้นงานหลักซึ่งทำให้การไหลของโลหะเหลวไหลไม่ได้ ทำให้เกิดรูพรุนเกิดขึ้นขณะแข็งตัวเดนไดรท์ที่มีลักษณะเป็นเข็มและมีลักษณะเป็นผลึกเติบโตไม่สม่ำเสมอในสามทิศทางของที่ว่าง บางทิศทางที่เกิดได้ดีก็จะงอกยาวและนำไปสู่การเริ่มต้นการเกิดโครงสร้างที่คล้ายต้นไม้ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างกิ่งซึ่งถูกบรรจุด้วยโลหะเหลวที่กำลังจะแข็งตัว หากมีน้ำโลหะไม่เพียงพอ จะมีรูปร่างของรูพรุนที่ยังค้างอยู่ระหว่างกิ่ง

2. การโตของเดนไดรท์ของผลึกจับตัวคล้ายฟองอากาศซึ่งขัดขวางการไหลของโลหะเหลวระหว่างผิวโลหะบางไปผิวโลหะหนา 18

11. รอยร้าวจากการหดตัว

รูพรุนขนาดใหญ่สามารถรวมตัวเข้าด้วยกัน ในรูปเป็นเครือข่ายซึ่งทำให้ชิ้นงานหล่อมีความอ่อนแออย่างมาก ทำให้แตกเมื่อมีแรงกระทบค่อย ๆ มีการร้าวจะพบในโลหะผสมที่ไม่ตกผลึกพร้อมกับโครงสร้างแบบเดนไดรท์ แต่มันมีโครงสร้างผลึกแบบหยาบ ๆ มีลักษณะกลมในกรณีนี้ รูพรุนจะรวมตัวอยู่รอบ ๆ เกรนทำให้เกิดรอยร้าว การหลีกเลี่ยงโพรงอากาศที่เกิดจากการหดตัว เป็นไปไม่ได้ที่จะไม่ให้เกิดโพรงอากาศที่เกิดจากการหดตัวอย่างสมบูรณ์ ทำได้แต่เพียงลดจำนวนให้น้อยลง ซึ่งอาจทำได้คือ การออกแบบชิ้นงานจะต้องลดการออกแบบชิ้นงานที่ลดขนาดอย่างฉับพลัน ออกแบบรูเทที่ถูกต้อง รวมไปถึงการใช้อุณหภูมิของเบ้า และการผสมโลหะผสมจำพวกสังกะสี

2.3.6 **เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด**

ความเป็นมา ในปี ค.ศ. 1946 JUSE หรือ Union of Japanese Scientists and Engineers ได้ถูกก่อตั้งขึ้นพร้อม ๆ กับการจัดตั้งกลุ่ม Quality Control Research Group ขึ้นเพื่อค้นคว้าให้การศึกษาและเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมคุณภาพทั่วทั้งประเทศ โดยมีจุดหมายเพื่อลบภาพพจน์สินค้าคุณภาพต่ำ ราคาถูก ออกจากสินค้าที่ "Made in Japan" และเพิ่มพลังการส่งออกไปพร้อม ๆ กัน

หลังจากนั้นมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งก็คือ Japanese Industrial Standards (JIS) marking system ได้ถูกกำหนดเป็นกฎหมายในปี ค.ศ. 1950 พร้อม ๆ กับการเชื้อเชิญ Dr. W. E. Demingมาเปิดสัมมนาทาง QC ให้แก่ผู้บริหารระดับต่าง ๆ และวิศวกรในประเทศ นับเป็นการจุดประกายของการตระหนักถึงการพัฒนาคุณภาพ อันตามมาด้วยการก่อตั้งรางวัล Deming Prize อันมีชื่อเสียง เพื่อมอบให้แก่โรงงานซึ่งมีความก้าวหน้าในการพัฒนาคุณภาพดีเด่นของประเทศ

ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 Dr. J. M. Juran ได้ถูกเชิญมายังประเทศญี่ปุ่น เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหารระดับสูงภายในองค์กรในการนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้งาน โดยได้รับความร่วมมือจากพนักงานทุก ๆ คน นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและรวบรวมเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุรภาพรวม 7 ชนิด ที่เรียกว่า QC 7 Tools มาใช้

เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ชนิดนี้ ตั้งชื่อตามนักรบในตำนานของชาวญี่ปุ่นที่ชื่อ "บงเค " (Benke) ผู้ซึ่งมีอาวุธอันร้ายกาจแตกต่างกัน 7 ชนิด พกอยู่ที่หลัง และสามารถเลือกดึงมาใช้สยบคู่ต่อสู้ที่มีฝีมือร้ายกาจคนแล้วคนเล่า สำหรับเครื่องมือทั้ง 7 ชนิด สามารถแจกแจงได้ดังนี้

1. ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram)บางครั้งเรียกว่า Ishikawa Diagram ซึ่งเรียกตามชื่อของ Dr.Kaoru Ishikawa ผู้ซึ่งเริ่มนำผังนี้มาใช้ในปี ค.ศ. 1953 เป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ ทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น

3. กราฟ (Graphs) คือภาพลายเส้น แท่ง วงกลม หรือจุดเพื่อใช้แสดงค่าของข้อมูลว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล หรือแสดงองค์ประกอบต่าง ๆ

4. แผ่นตรวจสอบ (Checksheet) คือแบบฟอร์มที่มีการออกแบบช่องว่างต่าง ๆ ไว้เพื่อใช้บันทึกข้อมูลได้ง่าย และสะดวก

5. ฮีสโตแกรม (Histogram) เป็นกราฟแท่งที่ใช้สรุปการอนุมาน (Inference) ข้อมูลเพื่อที่จะใช้สรุปสถานภาพของกลุ่มข้อมูลนั้น

6. ผังการกระจาย (Scatter Diagram) คือ ผังที่ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวว่ามีแนวโน้มไปในทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริง

7. แผนภูมิวบคุม (Control Chart) คือแผนภูมิที่มีการเขียนขอบเขตที่ยอมรับได้ของคุณลักษณะตามข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิต โดยการติดตามและตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกขอบเขต (Control limit)

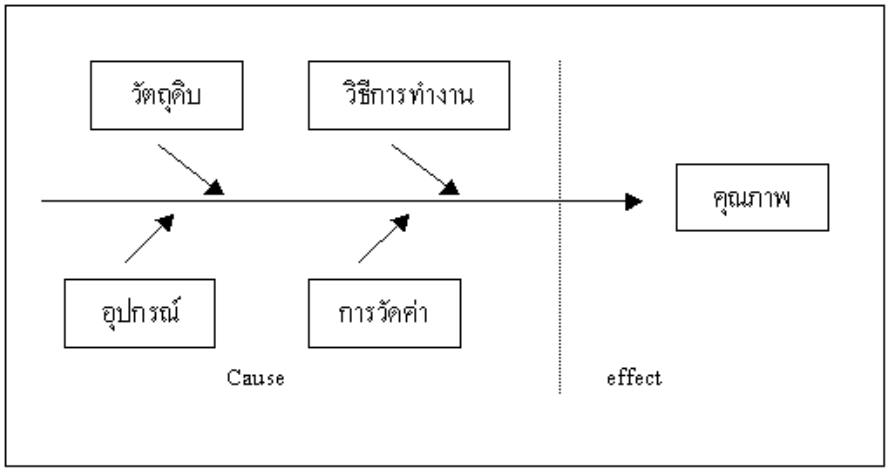
2.3.6.1 **ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram)** หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram) แผนภูมิเหตุและผล หรือเรียกย่อว่า C-E Diagram และบางครั้งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "แผนภูมิอิชิกาวา" (Ishikawa Diagram) ทั้งนี้เป็นการให้เกียรติแก่ผู้พัฒนาแผนภูมิชนิดนี้ขึ้นเป็นคนแรก เมื่อตอนต้นทศวรรษ ค.ศ. 1950-1959 (พ.ศ. 2493-2502) ผู้ประดิษฐ์แผนภูมินี้มีชื่อเต็มว่าศาสตราจารย์เคโอรุ อิชิกาวา (Professor Karu Ishikawa) แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว (The University of Tokyo) โดยนำแผนภูมินี้มาใช้เป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1953 (พ.ศ. 2496)ในงานเหล็กของโรงงานฟูลไซ (The Fulsai iron work) เนื่องจากแผนภูมินี้เมื่อสร้างเสร็จแล้วมีรูปร่างคล้ายปลา จึงมีผู้นิยมเรียกว่า "ผังก้างปลา" (Fishbone Diagram)

1. ปัญหาพื้นฐานในการควบคุมคุณภาพคือ การที่คุณลักษณะที่แสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นไปตามหลักธรรมชาติที่ว่า ไม่มีของสองสิ่งที่จะมีคุณลักษณะเหมือนกันทุกประการ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็เช่นเดียวกัน คุณลักษณะต่าง ๆ เช่น สี ขนาด น้ำหนัก เป็นต้น

2. สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆนั้นจะมีสาเหตุต่างๆมากมาย ผังก้างปลาจะช่วยให้สามารถค้นหาและเรียงลำดับสาเหตุต่าง ๆ และแสดงถึงความเกี่ยวข้องของสาเหตุต่างๆและผลที่เกิดขึ้นได้โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพนั้น 50 เปอร์เซ็นต์เกิดเนื่องมาจาก

- วัตถุดิบ
- เครื่องจักรหรืออุปกรณ์
- วิธีการทำงาน

แผนภูมิเหตุและผลหรืออิชิกาวาไดอะแกรมจะแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ซึ่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงกับผลที่เกิด (effect) ที่แสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.8 แผนภูมิเหตุและผลหรืออิชิกาวาไดอะแกรม

2.3.6.2 **แผนภูมิพาเรโต** (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโต เป็นการนำหลักการทั่วไปมาใช้ หลักการนี้คือ "ของดีมีน้อย" (Vital few andtrival many) คำว่า ของดีมีน้อย" ในที่นี้อาจเป็นของไม่ดีก็ได้ หมายความว่า สาเหตุสำคัญของปัญหามักจะมีเพียงไม่กี่อย่าง นั่นคือ สาเหตุส่วนน้อยทำให้เกิดปัญหาส่วนใหญ่ ซึ่งอาจถือเป็นหลักการว่า "ประมาณร้อยละ 80 ของปัญหา เกิดจากสาเหตุเพียงไม่กี่ประการเท่านั้น"

แผนภูมิพาเรโต เป็นการรวมกราฟพื้นฐาน 2 ชนิด มาไว้ด้วยกันคือ กราฟคอลัมน์และกราฟเส้นแต่คอลัมน์กราฟต้องมีลักษณะพิเศษ โดยการจัดการลำดับความสูงของแต่ละแท่งให้เรียงแถวลดหลั่นกัน ลงมาจากซ้ายมาขวา แกนนอนใช้เป็นฐานสำหรับคอลัมน์ต่าง ๆ แต่ละคอลัมน์เป็นตัวแทนของประเภท รายการข้อมูลที่กำลังพิจารณา ความสูงของคอลัมน์แต่ละแท่งแสดงสัดส่วนของ "ขนาด" หรือ "ค่าใช้จ่าย" หรือ "ประชากร" ของรายการแต่ละประเภท ส่วนแผนภูมิพาเรโตที่เป็นกราฟเส้นมีไว้เพื่อแสดงค่าสะสม ของความสูงของคอลัมน์ต่าง ๆ เรียงจากซ้ายมาขวา ปัจจุบัน ได้มีการนำแผนภูมิพาเรโตมาใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น

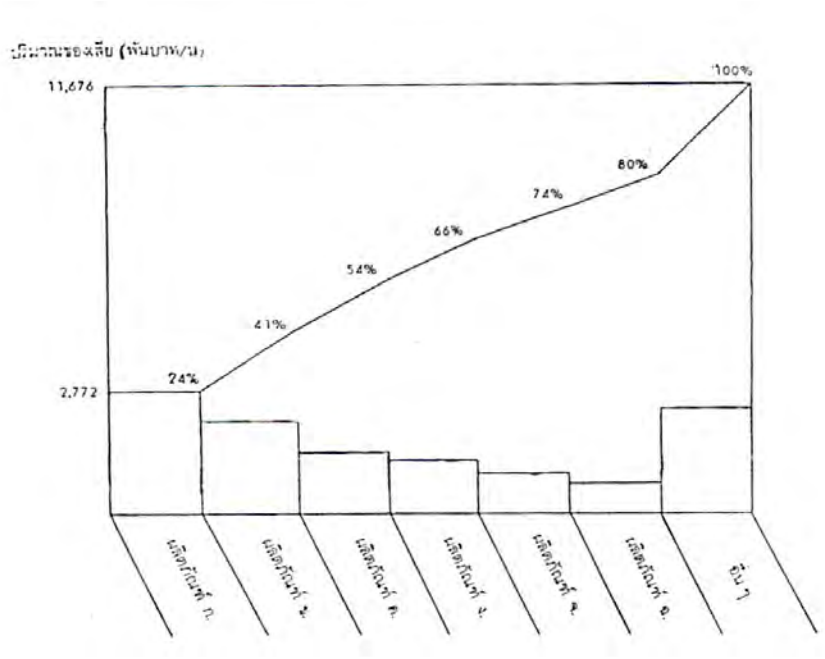
1. เปรียบเทียบความถี่ของอาชญากรรมรุนแรงรูปแบบต่าง ๆ
2. สาธิตการใช้เวลาปฏิบัติภารกิจด้านต่าง ๆ ของพนักงาน
3. จัดรูปข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นส่วนที่เสียตามประเภทของข้อบกพร่อง
4. ระบุสาเหตุสำคัญของการเกิดของเสีย
5. การประเมินเปรียบเทียบปัญหาก่อนและหลังการใช้

รายการบัญชี	ความสูญเสียด้านคุณภาพ (ล้านบาท/ปี)	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1. ของเสีย	11.676	61	61
2. ลูกค้าร้องเรียน	2.562	14	75
3. กลุ่มผลิตผิดแผก	1.638	9	84
4. สูญเสียด้านวัสดุ	1.407	7	91
5. เสียเวลา	0.777	4	95
6. ตรวจสอบเกินจำเป็น	0.588	3	98
7. ค่าทดสอบสูง	0.399	2	100
รวม	19.047	100	

รูปที่ 2.9 ตารางแสดงความสูญเสียด้านคุณภาพ

ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณ "ของเสีย" (พันบาท/ปี)	ปริมาณสะสม "ของเสีย" (พันบาท/ปี)	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
ก.	2,772	2,772	24	24
ข.	2,016	4,788	17	41
ค.	1,512	6,300	13	54
ง.	1,428	7,728	12	66
จ.	987	8,715	8	74
ฉ.	693	9,408	6	80
อื่น ๆ (47 ชนิด)	2,268	11,676	20	100
รวม 53 ชนิด	11,676		100	

รูปที่ 2.10 ตารางแสดงการวิเคราะห์ตามหลักพาเรโต (ของเสีย)



รูปที่ 2.11 แผนภูมิพาเรโตที่สร้างจากข้อมูลในตาราง

สรุปแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams)

1. แผนภูมิพาเรโต นำหลักการ "ของดีมีน้อย" (Vital few and Trival many) หมายความว่าสาเหตุสำคัญของปัญหาส่วนใหญ่มีเพียงไม่กี่อย่าง นั่นคือ สาเหตุส่วนน้อยทำให้เกิดปัญหาส่วนใหญ่

2. แผนภูมิพาเรโต เป็นการรวมกราฟพื้นฐาน 2 ชนิดมาไว้ด้วยกัน คือ กราฟคอลัมน์และกราฟเส้น

3. ปัจจุบันมีการนำแผนภูมิพาเรโตมาใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น

- เปรียบเทียบความถี่ของอาชญากรรมรุนแรงรูปแบบต่าง ๆ
- สาธิตการใช้เวลาปฏิบัติภารกิจด้านต่าง ๆ ของพนักงาน
- จัดรูปข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นส่วนที่เสียตามประเภทของข้อมูลบกพร่อง
- ระบุสาเหตุสำคัญของการเกิดของเสีย

2.3.6.3 **กราฟ** (Graphs)

คือ เครื่องมือสำหรับใช้ในการแสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขออกมาให้เห็นภาพ เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นตัวเลขทุกประเภทสามารถนำเสนอในรูปกราฟได้

ข้อดีของกราฟ คือ เขียนง่าย อ่านง่าย เข้าใจง่าย ช่วยให้ตีความหมายของข้อมูลได้รวดเร็ว และสามารถเปรียบเทียบข้อมูลหลาย ๆ ชุดให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจน

กราฟที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่คุ้นเคยกันดี ได้แก่ กราฟเส้น กราฟแท่ง กราฟวงกลม และกราฟรูปภาพ

ในทางปฏิบัติ มีการใช้กราฟมากมายหลายชนิด อย่างน้อยอาจแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ดังนี้

1. กราฟเส้น (Line Graphs) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันทั่วไปมากที่สุด

2. กราฟแท่งแนวดิ่ง (Column Graphs) มีลักษณะตามชื่อ คือ เป็นแท่งคอลัมน์แสดงข้อมูลตามที่ต้องการนำเสนอ

3. กราฟแท่งแนวนอน (Bar Graphs) มีลักษณะตามชื่อ คือ เป็นแท่งคล้ายกราฟคอลัมน์ เพียงแต่เป็นแท่งตามแนวนอน

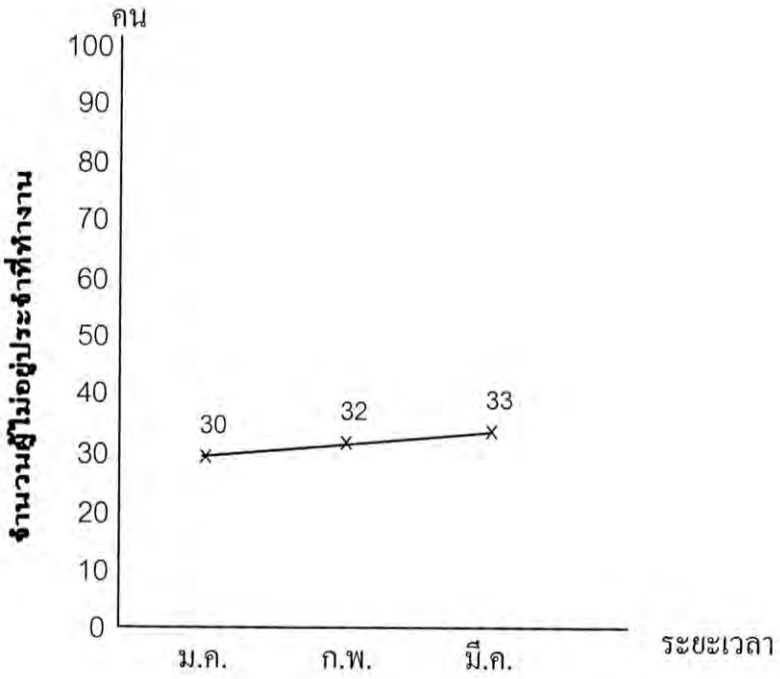
4. กราฟวงกลม (Pie Graphs) มักใช้ในการแสดงค่าร้อยละขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่รวมกันเป็นร้อย เช่น ค่าใช้จ่ายประเภทต่าง ๆ ยอดขายของสินค้าประเภทต่าง ๆ เป็นต้น

5. กราฟบันทึก (Record Graphs) ใช้ในการบันทึกข้อมูลประเภทต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความกลม ความเรียบของผิวหน้า ความหนาแน่น ปริมาณพลังงานในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นต้น

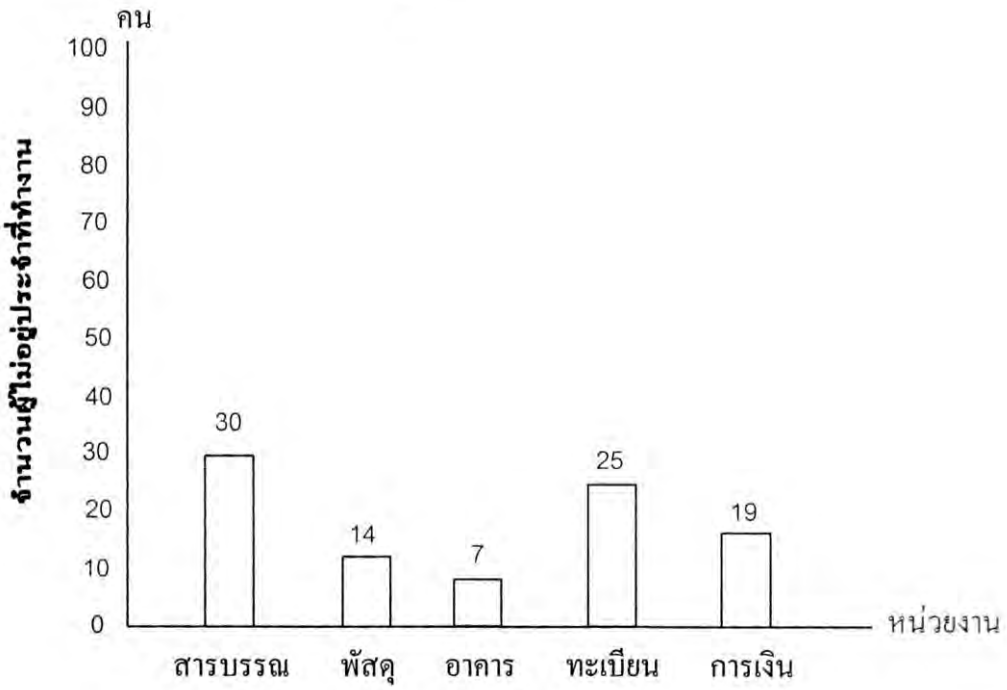
6. กราฟรูปภาพ (Pictorial Graphs) ใช้รูปภาพ เช่น รูปทหาร รูปคน แสดงจำนวนทหาร จำนวนประชากรในปีต่าง ๆ หรือใช้รูปสตางค์แสดงจำนวนเงิน เป็นต้น

7. กราฟพาเรโต (Pareto Graphs), ฮิสโตแกรม (Histograms) แผนภูมิเหตุและผล (Cause and Effect Diagrams) หรือผังก้างปลา และกราฟอื่น ๆ เช่น ผังเรดาร์ (Radar Chart) ล้วนเป็นกราฟประเภทต่าง ๆ ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ในอนาคตอาจมีกราฟรูปแบบใหม่เกิดขึ้นได้อีกมาก อันเป็นผลจากความคิดสร้างสรรค์และเพื่อสนองความจำเป็นบางประการให้ได้ผลดียิ่งขึ้น

รายการ	จำนวนคนไม่อยู่			รวม	ร้อยละ
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม		
1. แผนกสารบรรณ	10	9	11	30	31.58
2. แผนกพัสดุ	6	4	4	14	14.74
3. แผนกอาคารสถานที่	2	3	2	7	7.36
4. แผนกทะเบียนประวัติ	7	8	10	25	26.32
5. แผนกการเงิน	5	8	6	19	20.00
รวม	**30**	**32**	**33**	**95**	**100.00**



รูปที่ 2.12 กราฟเส้นแสดงข้อมูลที่ต่อเนื่องกัน เพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของข้อมูล



รูปที่ 2.13 กราฟแท่ง ใช้เขียนแสดงแทนข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องกัน

รูปที่ 2.14 แผนภูมิวงกลม

- ประโยชน์ของกราฟ

1. ใช้เสนอข้อมูลให้เข้าใจง่ายขึ้น

2. เปรียบเทียบให้เห็นความสัมพันธ์หรือความแตกต่างของข้อมูลได้ชัดเจน

3. ใช้แสดงสถิติก่อนและหลังการแก้ไข

-สรุปกราฟ (Graphs)

1. กราฟ คือ เครื่องมือสำหรับใช้ในการแสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขออกมาให้เห็นเป็นภาพ เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์

2. กราฟ แบ่งเป็น 7 ชนิด

- กราฟเส้น (Line Graphs)
- กราฟแท่งแนวดิ่ง (Column Graphs)
- กราฟแท่งแนวนอน (Bar Graphs)
- กราฟวงกลม (Pie Graphs)
- กราฟบันทึก (Record Graphs)
- กราฟรูปภาพ (Pictorial Graphs)
- กราฟพาเรโต (Pareto Graphs), ฮีสโตแกรม (Histograms), แผนภูมิเหตุและผล(Cause and Effect Diagrams)

2.3.6.4 **แผ่นตรวจสอบ** (Checksheet)

ใบรายการตรวจสอบ บางครั้งเรียกแผนภูมิแจงนับ หรือตารางตรวจสอบ เป็นเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตที่มีต่อปัญหาใดปัญหาหนึ่ง การใช้ตารางตรวจสอบช่วยให้การรวบรวมข้อมูลทำได้ง่ายขึ้นและเป็นระบบยิ่งขึ้น ใบรายการตรวจสอบ คือ แบบฟอร์มตารางที่ออกแบบไว้ล่วงหน้า เพื่อความสะดวกในการบันทึกข้อมูล ลักษณะของตารางมีได้มากมายหลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

รายการ	ผ่าน	ปรับปรุง	ซ่อม	เปลี่ยน	
ระบบเครื่องยนต์					
1. สายพาน		✓			ตั้งสายพานใหม่
2. กรองอากาศ				✓	รุ่น R-16 (จำนวน 1 ลูก)
3. ระดับน้ำมันเครื่อง	✓				
4. รอยรั่วของน้ำมัน	✓				
ระบบไฮดรอลิค					
1. ระดับน้ำมัน	✓				
2. ท่อน้ำมัน	✓				
3. รอยรั่วของน้ำมัน	✓				
ระบบเกียร์และเฟืองท้าย					
1. ระดับน้ำมันเกียร์	✓				
2. เกจ์น้ำมันเชื้อเพลิง	✓				
3. รอยรั่วของน้ำมัน	✓				
ระบบไฟ					
1. ระดับน้ำกลั่นแบตเตอรี่		✓			เติมน้ำกลั่น
2. เกจ์น้ำมันเชื้อเพลิง	✓				
3. ไฟหน้า-หลัง				✓	สายไฟขาด (ตัดต่อสายไฟใหม่) หน้า-ซ้าย
4. ไฟเลี้ยว	✓				
ระบบอื่น ๆ					
1. ระดับน้ำในหม้อน้ำ	✓				
2. ระบบเบรค	✓				
3. ระบบคลัชท์	✓				
4. สภาพล้อ	✓				

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างใบรายการตรวจสอบ

- สรุปใบรายการตรวจสอบ (Check Sheet)

1. ใบรายการตรวจสอบบางครั้งเรียกแผนภูมิแจงนับ และผังก้างปลา

2. ใบรายการตรวจสอบ คือ ตารางที่ออกแบบไว้ล่วงหนา เพื่อความสะดวกในการบันทึกข้อมูล

3. วิธีใช้ใบรายการตรวจสอบ

- ใช้บันทึก
- ใช้ตรวจสอบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

4. ประโยชน์ของใบรายการตรวจสอบ คือ ช่วยให้เก็บข้อมูลได้ถูกประเภท และนำข้อมูลไปใช้ ได้ทันเวลา

2.3.6.5. **ฮีสโตแกรม** (Histogram)

"ฮิสโตแกรม" คือ ผังภาพที่แสดงการกระจายตัว (ความผันแปรออกจากศูนย์กลาง) ของข้อมูลชุดหนึ่งซึ่งแสดงคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ความยาว น้ำหนัก เวลา อุณหภูมิหรือความแข็ง เป็นต้น โดยให้แกนนอนแสดงค่าของข้อมูลซึ่งแบ่งออกเป็นช่วงๆที่มีขนาดเท่ากัน (ภาษาวิชาการ เรียกว่า อันตรภาคชั้น แต่ในที่นี้จะเรียกง่าย ๆ ว่า ช่วงชั้น) และให้ความสูงของกราฟแท่งแสดงความถี่ (หรือจำนวน) ของข้อมูล ที่มีค่าอยู่ในช่วงชั้นเดียวกัน

-ประโยชน์ของฮิสโตแกรม

1. เพื่อศึกษาว่าข้อมูลชุดหนึ่ง มีการกระจายตัวมากหรือน้อยเพียงไร อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ (ตามสเปก) มากหรือน้อยเพียงไร

2. ใช้ในการคำนวณหาค่าทางสถิติของข้อมูลชุดนั้น อาทิ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. จากค่าขอบเขตที่ยอมรับได้ (ตามสเปก) และ ค่าทางสถิติที่คำนวณได้ ทำให้สามารถระบุค่า "ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index : Cp)" ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการ "เปรียบเทียบสมรรถนะ (benchmarking)" และ การปรับปรุงกระบวนการต่อไป

4. ใช้ตรวจสอบประสิทธิผลของการปรับปรุง

ความสูงของพนักงานชาย (หน่วย : ซ.ม.)

170	162	167	156	172	165	168	159	161	167
164	168	173	158	164	168	163	169	171	161
158	165	169	166	174	162	164	168	166	165
136	170	165	166	170	162	161	166	168	160
164	162	167	165	168	164	168	165	167	162

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างอิสโตรแกรม

2.3.6.6. **ผังการกระจาย** (Scatter Diagram)

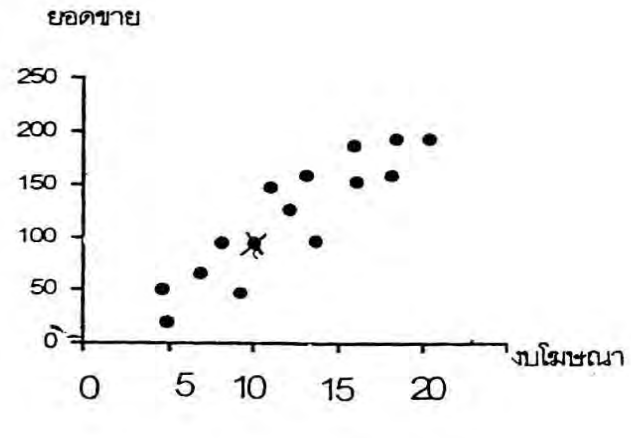
"แผนภูมิการกระจาย" เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงว่าข้อมูล 2 ชุดหรือตัวแปร 2 ตัวมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันหรือไม่ และระดับความสัมพันธ์นั้นมีมากหรือน้อยเพียงใด ตัวแปรที่แสดงแทนข้อมูลทั้ง 2 ชุดนั้นอาจจะเป็น

1. ตัวแปรตาม (หรือ Outputs ของกระบวนการ) ทั้ง 2 ตัว
2. ตัวแปรอิสระ (หรือ Factors ภายในกระบวนการ) ทั้ง 2 ตัว
3. ตัวหนึ่งเป็นตัวแปรตาม อีกตัวหนึ่งเป็นตัวแปรอิสระ

-ประโยชน์ของแผนภูมิการกระจาย

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุดหรือตัวแปร 2 ตัว
2. เพื่อตรวจสอบว่า ผลของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหนึ่ง มีผลต่อตัวแปรอีกตัวหนึ่งหรือไม่ และ จะเปลี่ยนแปรไปในทิศทางใด (เพิ่มขึ้นตามกัน หรือ ตัวหนึ่งเพิ่มอีกตัวหนึ่งลด)

ข้อมูล ชุดที่	งบโฆษณา (ล้านบาท) แกน X	ยอดขาย (ล้านบาท) แกน Y
1	10	100
2	25	235
3	20	180
.	.	.
15	15	155



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการกระจาย

2.3.6.7 **แผนภูมิวบคุม** (Control Chart)

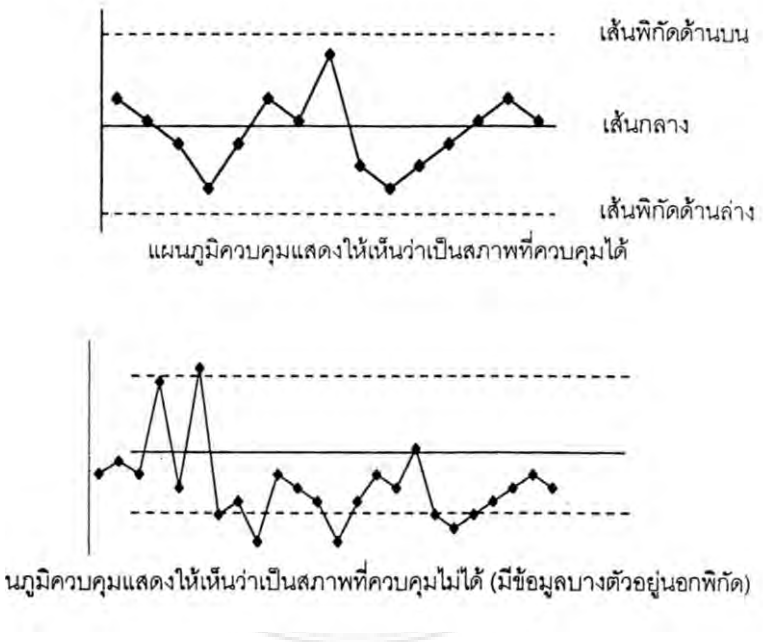
"แผนภูมิควบคุม" คือ แผนภูมิที่ใช้สำหรับเฝ้าติดตา(Monitoring) ค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุมคุณภาพว่า เกิดความผันแปรเกินพิกัด (ขีดจำกัด) ที่กำหนดไว้หรือไม่ และความผันแปรนั้นมีแนวโน้มอย่างไร

1. ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม

- ใช้เฝ้าติดตามดูว่า ตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการทำงานมีค่าอยู่ในพิกัดที่ต้องการหรือไม่

- ใช้เฝ้าติดตาม การเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุมว่า มีแนวโน้มอย่างไร ทำให้ทราบได้ล่วงหน้าว่ามีแนวโน้มจะเกิดปัญหาหรือไม่ และ สามารถคิดหามาตรการและลงมือป้องกันแก้ไขได้อย่างทันท่วงทีก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น

- ใช้เปรียบเทียบผลก่อน และหลังการแก้ไขปัญหา



รูปที่2.18 แผนภูมิเปรียบเทียบ

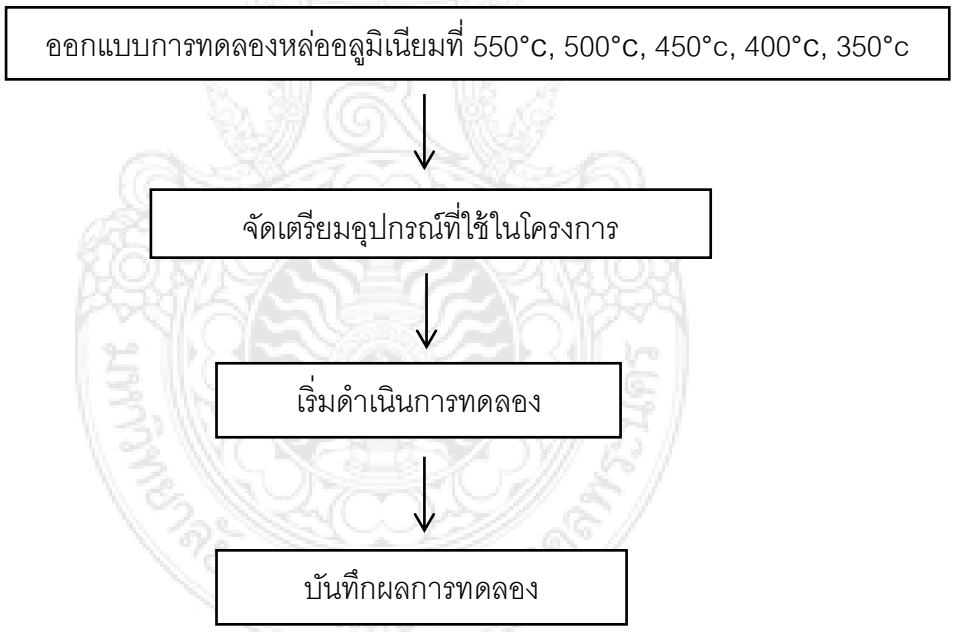
บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 บทนำ

การดำเนินการในบทนี้กล่าวถึงการเตรียมการ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพ และเหมาะสม โดยนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน เริ่มจากการค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง วางแผนการดำเนินงาน และออกแบบการทดลอง เพื่อให้การดำเนินการทดลองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ตามระยะเวลาที่กำหนด และตรงตามวัตถุประสงค์

3.2 แผนการดำเนินการ

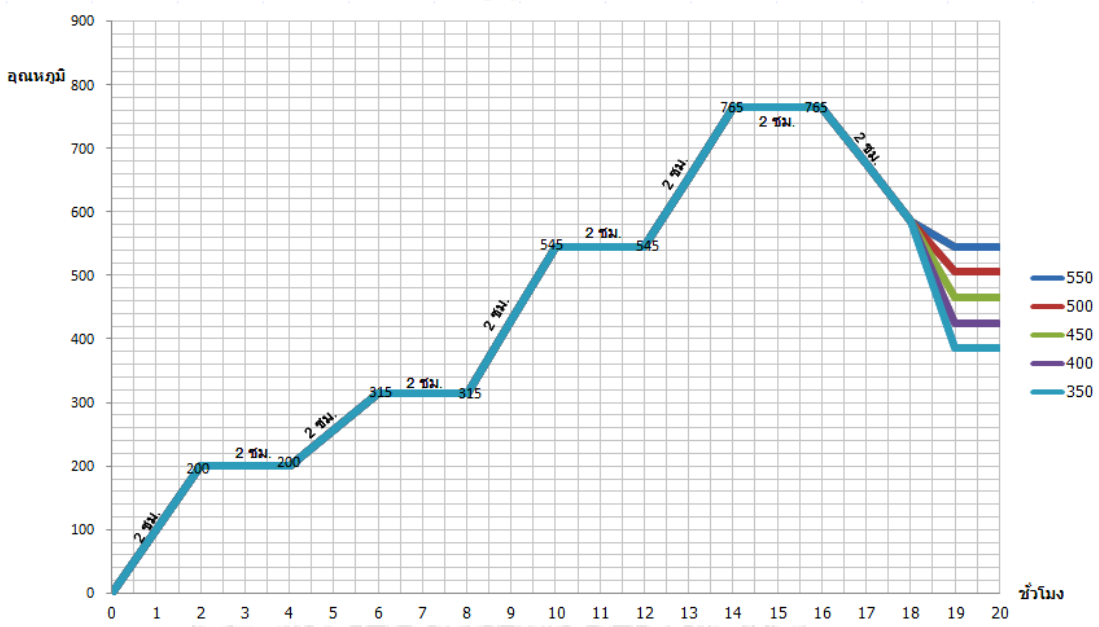
แผนการดำเนินการโดยรายละเอียดดังนี้



รูปที่3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการ

3.2.1 การออกแบบการทดลอง

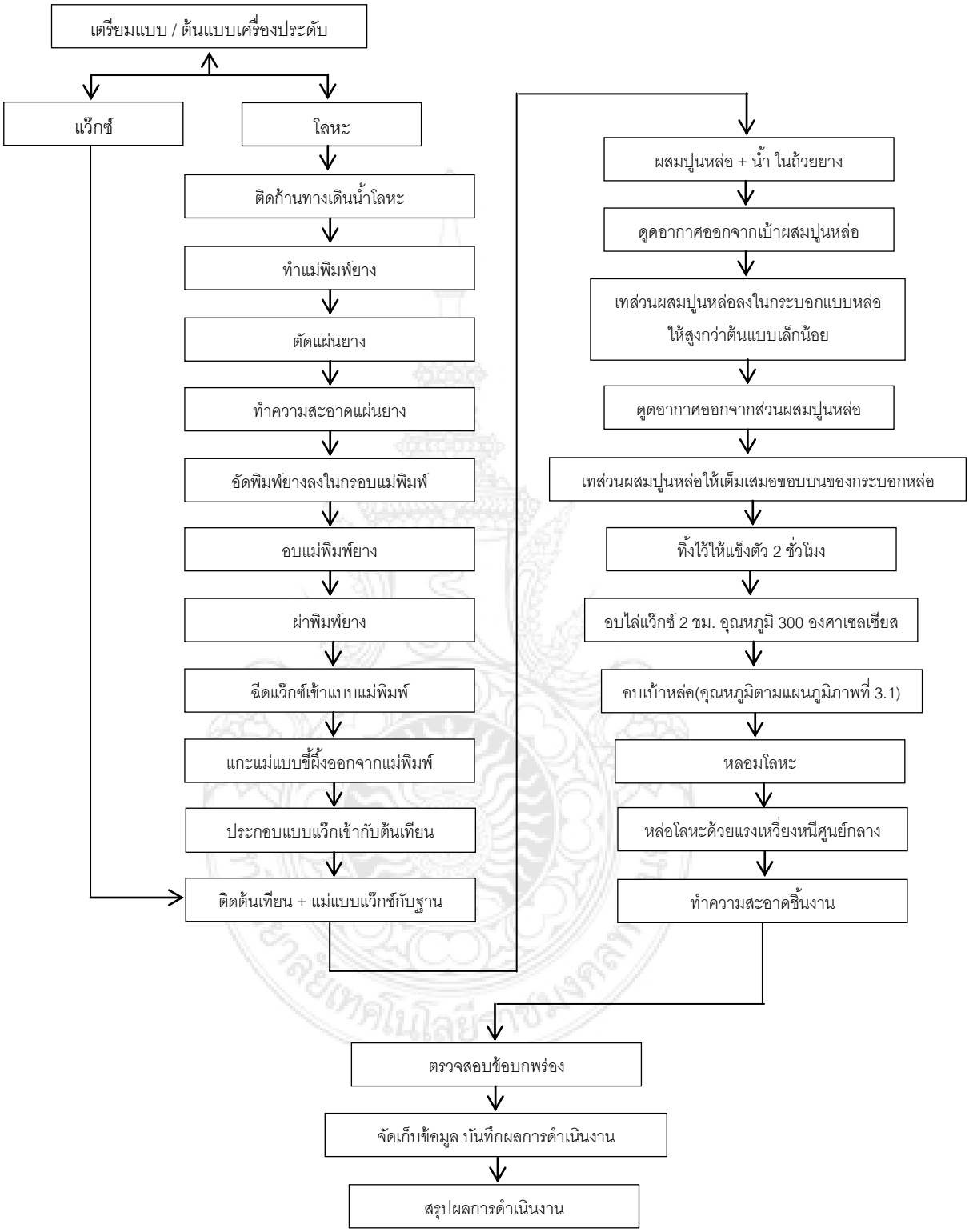
ในการออกแบบการทดลอง จะทำการชิ้นงานเครื่องประดับ ด้วยวัสดุอลูมิเนียม เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการหล่อชิ้นงานที่มีขนาดเล็กอย่างเช่นเครื่องประดับ ซึ่งแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ในอุณหภูมิที่ 550°c, 500°c, 450°c, 400°c และ 350°c ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองแต่ละระดับจะทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง ครั้งละ 5 เบ้า จะได้ชิ้นงานในการทดลองระดับละ 150 ชิ้น รวม 5 ระดับได้ทั้งหมด 750 ชิ้น ตามการออกแบบการทดลอง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเบ้าปูนหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม

การออกแบบการทดลองของโครงการนี้ เพื่อหาจำนวนชิ้นงานสำหรับทดสอบ โดยจะกำหนดขนาดของอุณหภูมิชิ้นงาน 5 ระดับ คือ 550°, 500°, 450°, 400° และ 350° ตามลำดับ ในการทดลองจะใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดเวลาในการอบเบ้า ขั้นตอนนำชิ้นงานที่ทดสอบไปทำการอบเบ้าพิมพ์ปูนและการหล่อตามที่กำหนดเพื่อหาค่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.3 แสดงผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 การเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 550°

ชิ้นงาน		จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักแว๊กซ์	น้ำหนักโลหะ	น้ำหนักปูน	น้ำหนักน้ำ
แหวน	เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	44 g	142.56g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	42.6 g	138.02g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	41.7 g	135.12g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	42.2 g	136.74g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	42.6 g	138..02g	1184.24g	473 cc.

ตารางที่ 3.2 การเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 500°

ชิ้นงาน		จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักแว๊กซ์	น้ำหนักโลหะ	น้ำหนักปูน	น้ำหนักน้ำ
แหวน	เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	42.2 g	136.64g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	41.4 g	134.14g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	42.0 g	136.08g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	41.4 g	134.14g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	41.4 g	134.14g	1184.24g	473 cc.

ตารางที่ 3.3 การเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 450°

ชิ้นงาน		จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักแว๊กซ์	น้ำหนักโลหะ	น้ำหนักปูน	น้ำหนักน้ำ
แหวน	เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	43.2 g	139.97g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	41.5 g	134.46g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	41.9 g	135.76g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	41.0 g	132.84g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	41.6 g	134.78g	1184.24g	473 cc.

ตารางที่ 3.4 การเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 400°

ชิ้นงาน		จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักแว๊กซ์	น้ำหนักโลหะ	น้ำหนักปูน	น้ำหนักน้ำ
แหวน	เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	41.8 g	135.43g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	42.5 g	137.7g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	42.6 g	138.02	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	41.8 g	135.43g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	42.3 g	137.05g	1184.24g	473 cc.

ตารางที่ 3.5 การเตรียมน้ำหนักแว๊กซ์ น้ำหนักโลหะ น้ำหนักปูน และน้ำหนักน้ำ ในการอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 350°

ชิ้นงาน		จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักแว๊กซ์	น้ำหนักโลหะ	น้ำหนักปูน	น้ำหนักน้ำ
แหวน	เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	43.2 g	139.97g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	41.5 g	134.46g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	41.9 g	135.76g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	41.0 g	132.84g	1184.24g	473 cc.
	เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	41.6 g	134.78g	1184.24g	473 cc.

3.3 เกณฑ์การประเมินชิ้นงาน

โดยการตรวจสอบคุณภาพผิวหลังงานหล่อ โดยใช้วิธีตรวจสอบด้วยการพิจารณาจากสภาพผิวชิ้นงาน ซึ่งอาจพบปัญหานี้กับงานหล่อทั่วๆไป เช่น ชิ้นงานเป็นครีบ หล่อชิ้นงานไม่เต็ม ผิวไม่เรียบ ชิ้นงานเป็นตามด หาชิ้นงานมีข้อตำหนิ 1 จุดขึ้นไปถือว่าเป็นชิ้นงานเสีย โดยใช้แว่นขยายชนิดสวมหัวเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบคุณภาพผิวและใช้แถบสีในการเปรียบเทียบผลการทดลอง ดังแสดงตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพผิว

เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพผิว	สัญลักษณ์
1. ชิ้นงานเป็นครีบ	●
2. หล่อไม่เต็ม	●
3. ผิวชิ้นงานไม่เรียบ	●
4. ตามด	●

***หมายเหตุ**: หากชิ้นงานมีข้อตำหนิ 1 จุดขึ้นไปถือว่าเป็นชิ้นงานเสีย

3.3.1 **บันทึกผลการทดลอง**

ตารางที่ 3.7 บันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 550°

	จำนวนชิ้นงาน	เป็นครีบ ●	ไม่เต็ม ●	ผิวไม่เรียบ ●	ตามด ●	งานเสีย	งานดี
เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	0	5	7	13	25	5
เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	0	8	2	16	26	4
เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	1	11	4	11	27	3
เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	0	0	1	25	26	4
เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	0	4	4	21	29	1

ตารางที่ 3.8 บันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 500°

	จำนวนชิ้นงาน	เป็นครีบ ●	ไม่เต็ม ●	ผิวไม่เรียบ ●	ตามด ●	งานเสีย	งานดี
เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	1	0	3	21	25	5
เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	0	0	2	25	27	3
เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	0	0	6	21	27	3
เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	2	0	1	22	25	5
เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	3	0	6	21	30	0

ตารางที่ 3.9 บันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 450°

	จำนวนชิ้นงาน	เป็นครีบ ●	ไม่เต็ม ●	ผิวไม่เรียบ ●	ตามด ●	งานเสีย	งานดี
เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	0	0	16	10	26	4
เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	4	0	17	5	26	4
เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	8	0	10	9	27	3
เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	6	0	18	3	27	3
เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	6	0	20	1	27	3

ตารางที่ 3.10 บันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 400°

	จำนวนชิ้นงาน	เป็นครีบ ●	ไม่เต็ม ●	ผิวไม่เรียบ ●	ตามด ●	งานเสีย	งานดี
เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	0	0	8	2	10	20
เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	0	0	6	3	9	21
เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	0	0	2	10	12	18
เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	0	0	9	1	10	20
เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	0	0	7	0	7	23

ตารางที่ 3.11 บันทึกการทดลองอบเบ้าหล่อที่อุณหภูมิ 350°

	จำนวนชิ้นงาน	เป็นครีบ ●	ไม่เต็ม ●	ผิวไม่เรียบ ●	ตามด ●	งานเสีย	งานดี
เบ้าที่ 1	30 ชิ้น	0	0	23	0	23	7
เบ้าที่ 2	30 ชิ้น	11	0	15	0	26	4
เบ้าที่ 3	30 ชิ้น	16	0	7	0	23	7
เบ้าที่ 4	30 ชิ้น	12	0	9	3	24	6
เบ้าที่ 5	30 ชิ้น	17	0	7	2	26	4

3.4 สรุป

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองและผลการดำเนินการทดลอง โดยทำการทดลองการใช้อลูมิเนียมเป็นโลหะทดแทน เพื่อศึกษาอุณหภูมิการอบเบ้าปูนที่เหมาะสมสำหรับการหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม โดยแบ่งช่วงอุณหภูมิเป็น 5 ช่วงการทดลอง โดยวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิอบเบ้า 550 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิอบเบ้า 500 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานเสียเกิดจากตามดมากที่สุด เกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น หรืออุณหภูมิเทน้ำโลหะสูงเกินไป หรือการขจัดออกซิเจนในน้ำโลหะออกไม่หมด หรือรูระบายก๊าซไม่เหมาะสม และในช่วงอุณหภูมิอบเบ้า 450 องศาเซลเซียส 400 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานเสียเกิดจากผิวชิ้นงานไม่เรียบ เกิดช่องว่างขึ้น สาเหตุนี้เกิดจากอัตราการเย็นตัวในแต่ละส่วนของงานหล่อไม่เท่ากัน

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

4.1 บทนำ

จากตารางบันทึกข้อมูลผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบชิ้นงานในอุณหภูมิเบ้าที่ต่างกัน เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้หล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม

4.2 ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี - ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้าปูน 550°

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
550°	เบ้าที่1	30	5	25
	เบ้าที่2	30	4	26
	เบ้าที่3	30	3	27
	เบ้าที่4	30	4	26
	เบ้าที่5	30	1	29
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			11.33%	88.67%

จากตารางที่ 4.1 จากการทดลองการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส พบว่ามีชิ้นงานดี 17 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 11.33% ชิ้นงานเสีย 133 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 88.67%

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี - ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้าปูน 500°

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
500°	เบ้าที่1	30	5	25
	เบ้าที่2	30	3	27
	เบ้าที่3	30	3	27
	เบ้าที่4	30	5	25
	เบ้าที่5	30	0	30
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			10.67%	89.33%

จากตารางที่ 4.2 จากการทดลองการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พบว่ามีชิ้นงานดี 16 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 10.67% ชิ้นงานเสีย 134 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 89.33%

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี - ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้าปูน 450°

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
450°	เบ้าที่1	30	4	26
	เบ้าที่2	30	4	26
	เบ้าที่3	30	3	27
	เบ้าที่4	30	3	27
	เบ้าที่5	30	3	27
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			11.33%	88.67%

จากตารางที่ 4.3 จากการทดลองการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พบว่ามีชิ้นงานดี 17 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 11.33% ชิ้นงานเสีย 133 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 88.67%

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้าปูน 400°

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
400°	เบ้าที่1	30	20	10
	เบ้าที่2	30	21	9
	เบ้าที่3	30	18	12
	เบ้าที่4	30	20	10
	เบ้าที่5	30	23	7
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			68%	32%

จากตารางที่ 4.4 จากการทดลองการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่ามีชิ้นงานดี 102 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 68% ชิ้นงานเสีย 48 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 32%

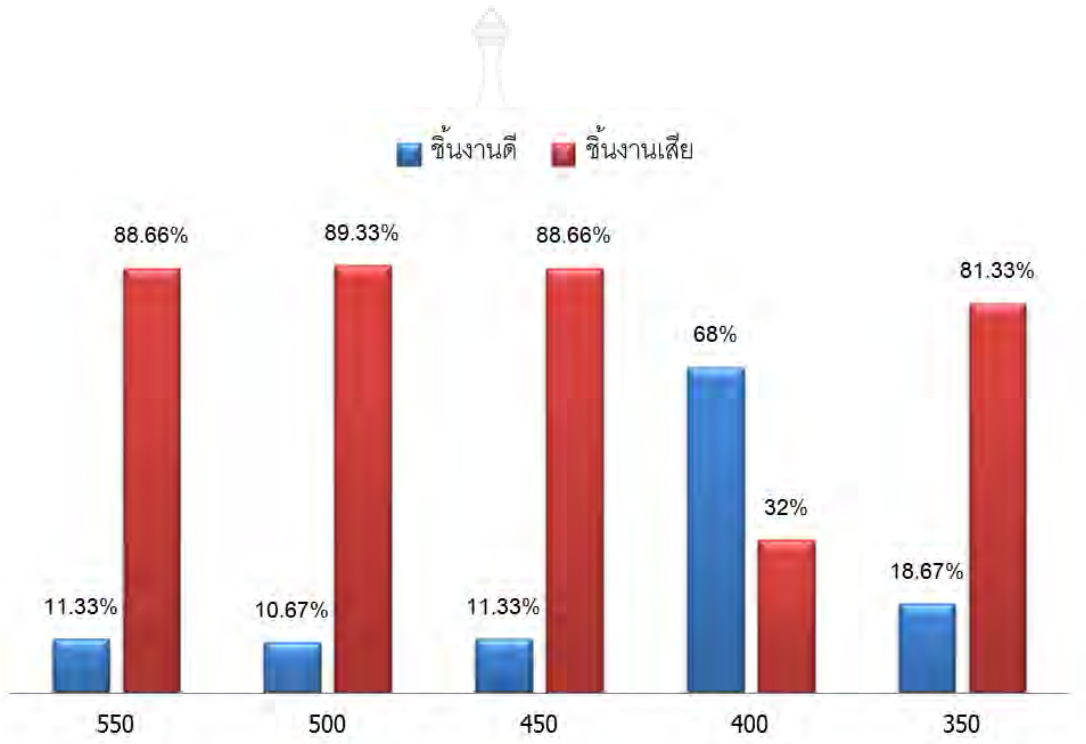
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานดี ชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเบ้าปูน 350°

อุณหภูมิ	เบ้าที่	จำนวนชิ้นงาน	งานดี	งานเสีย
350°	เบ้าที่1	30	7	23
	เบ้าที่2	30	4	26
	เบ้าที่3	30	7	23
	เบ้าที่4	30	6	24
	เบ้าที่5	30	4	26
เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน			18.67%	81.33%

จากตารางที่ 4.5 จากการทดลองการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่ามีชิ้นงานดี 28 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 18.67% ชิ้นงานเสีย 122 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 81.33%

4.2.1 ผลของการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากการตรวจสอบคุณภาพผิว

จากการทดลองนี้พบว่า อุณภูมิการอบเบ้าหล่ออลูมิเนียม ที่อุณหภูมิต่างกัน มีผลกระทบกับร่องร้อยที่ตรวจสอบข้อผิดพลาดของชิ้นงานโดยใช้เกณฑ์การประเมินผิวของชิ้นงานดังแผนภูมิที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสีย



รูปที่4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบชิ้นงานดี – ชิ้นงานเสีย

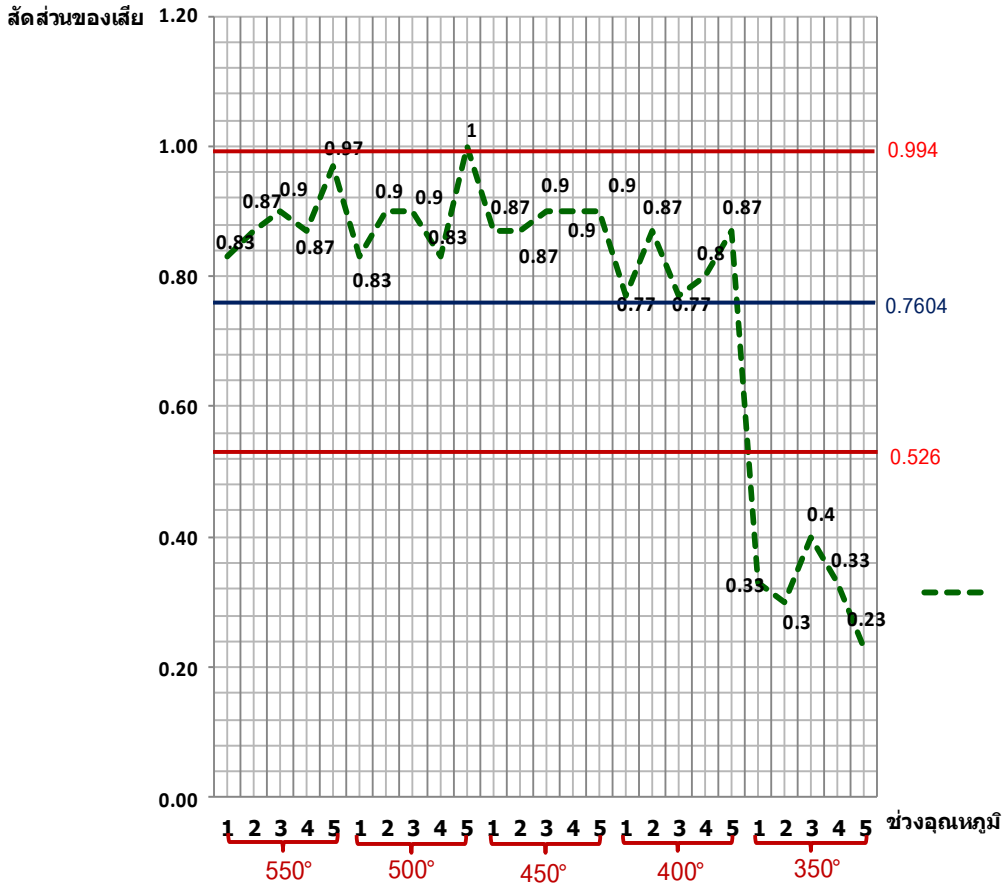
อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส	ชิ้นงานดี 11.33%	ชิ้นงานเสีย 88.66%
อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	ชิ้นงานดี 10.67%	ชิ้นงานเสีย 89.33%
อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส	ชิ้นงานดี 11.33%	ชิ้นงานเสีย 88.66%
อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	ชิ้นงานดี 66%	ชิ้นงานเสีย 32%
อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส	ชิ้นงานดี 18.67%	ชิ้นงานเสีย 81.33%

จากการวิเคราะห์ชิ้นงานทั้งหมด 750 ชิ้น มีชิ้นงานที่หล่อแล้วมีคุณภาพสมบูรณ์ 180 ชิ้น และชิ้นงานที่เสีย 570 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์งานดี 24 % งานเสีย 76 % จากชิ้นงานทั้งหมด

4.2.2 ผลเชิงคุณภาพเพื่อหาของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพผิว

ตารางที่ 4.6 การหาของเสียทางสถิติเชิงคุณภาพเพื่อหาของเสียจากกระบวนการผลิต

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง (n)	จำนวนของเสีย (np)	สัดส่วนของเสีย (p)
550°	30	25	0.83
	30	26	0.87
	30	27	0.9
	30	26	0.87
	30	29	0.97
500°	30	25	0.83
	30	27	0.9
	30	27	0.9
	30	25	0.83
	30	30	1
450°	30	26	0.87
	30	26	0.87
	30	27	0.9
	30	27	0.9
	30	27	0.9
400°	30	23	0.77
	30	26	0.87
	30	23	0.77
	30	24	0.8
	30	26	0.87
350°	30	10	0.33
	30	9	0.3
	30	12	0.4
	30	10	0.33
	30	7	0.23
	$\sum n = 750$	$\sum np = 570$	$\sum p = 19.01$



รูปที่4.2 แผนภูมิแสดงการหาของเสียทางสถิติเชิงคุณภาพเพื่อหาของเสียจากกระบวนการผลิต

- จำนวนตัวอย่าง 25 ชุด (K=25) ชุดละ 30 ตัว (n=30)
- หาค่าแกนกลาง (CI) จากสูตร

$$\bar{p} = \frac{\sum pi}{k}$$

$$\bar{p} = \frac{0.83 + 0.87 + \ldots + 0.23}{25}$$

$$\bar{p} = \frac{19.01}{25}$$

$$\bar{p} = 0.7604$$

- หาขีดจำกัดการควบคุม

$$UCL = \bar{p} + 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{n}$$

$$= 0.7604 + 3\frac{\sqrt{0.7604(1-0.7604)}}{30}$$

$$= 0.994$$

$$LCL = \bar{p} - 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{n}$$

$$= 0.7604 - 3\frac{\sqrt{0.7604(1-0.7604)}}{30}$$

$$= 0.526$$

4.3 **สรุปผลการทดลอง**

ผลของการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยจากการตรวจสอบคุณภาพผิวและผลเชิงคุณภาพเพื่อหาของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพผิว ให้ผลจากการทดลองมีความสัมพันธ์กันคือ จากการทดลองการอบเบ้าปูนหล่อที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่ามีชิ้นงานดี 102 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 68% ชิ้นงานเสีย 48 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 32%

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจนถึงขั้นตอนการทำงาน และทำการทดลอง จะเห็นได้จากคุณสมบัติของอลูมิเนียมสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกให้การหล่อเครื่องประดับได้ดี สามารถนำความรู้ทักษะความสามารถที่ได้จากการศึกษานำมาปฏิบัติงานได้จริง และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตเครื่องประดับได้อีกทางหนึ่ง

5.2 สรุปผลที่ได้จากโครงการ

5.2.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโครงการศึกษากระบวนการหล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม เพื่อทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเบ้าปูนหล่อที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ชิ้นงานดี 11.33% ชิ้นงานเสีย 88.66% ในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ชิ้นงานดี 10.67% ชิ้นงานเสีย 89.33% พบว่าชิ้นงานที่เสียเกิดตามดบริเวณผิวชิ้นงานมากที่สุด สาเหตุเกิดจากความร้อนของน้ำโลหะขณะเทลงแบบสัมผัสกับความชื้นของแบบหล่อทำให้เกิดก๊าซขึ้น หรืออุณหภูมิเทน้ำโลหะสูงเกินไป หรือการขจัดออกซิเจนในน้ำโลหะออกไม่หมด หรือรูระบายก๊าซไม่เหมาะสม ในอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและ อุณหภูมิอบเบ้า 350 องศาเซลเซียส ชิ้นงานดี 18.67% ชิ้นงานเสีย 81.33% พบว่าชิ้นงานเสียเกิดจากผิวชิ้นงานไม่เรียบ มากที่สุด เกิดช่องว่างขึ้น สาเหตุนี้เกิดจากอัตราการเย็นตัวในแต่ละส่วนของงานหล่อไม่เท่ากัน และในอุณหภูมิอบเบ้า 400 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้หล่อเครื่องประดับด้วยอลูมิเนียม เนื่องจากในผลการทดลองพบว่ามีงานเสียน้อยที่สุด คือมีงานดี 102 ชิ้น คิดเป็น 68% และชิ้นงานเสีย 48 ชิ้น คิดเป็น 32% จากชิ้นงานทั้งหมด

5.2.2 **สรุปตามวัตถุประสงค์**

จากการศึกษาคุณสมบัติโดยทั่วไปของอลูมิเนียม คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอลูมิเนียมหรือคุณสมบัติทางเคมีของอลูมิเนียม สำหรับงานหล่อเครื่องประดับ รวมไปถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่ออลูมิเนียม ผลการทดลองตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ คือสามารถใช้นำอลูมิเนียมมาเป็นใช้เป็นวัสดุทดแทนในการหล่อเครื่องประดับ สามารถนำอลูมิเนียมมาใช้เป็นวัสดุทางเลือก และยังสามารถหาอุณหภูมิในการอบเบ้าปูนที่เหมาะสม

5.3 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1. การแตกหักเนื่องจากความร้อน การเย็นตัวไม่สม่ำเสมอและชิ้นงานมีขนาดเล็ก จึงควรออกแบบการติดต้นแว๊กซ์ให้มีระยะห่างเพื่อให้มีอากาศเข้าไปอย่างทั่วถึง

2. การไหลไม่เต็มแบบเนื่องจาก น้ำโลหะมีการเย็นตัวเร็ว น้ำโลหะที่เทอุณหภูมิต่ำเกินไป จึงควรเพิ่มอุณหภูมิน้ำโลหะและแม่พิมพ์ เพิ่มขนาดทางเดินโลหะให้เหมาะสมกับแบบเครื่องประดับมากที่สุด

3. มีรูพรุนในชิ้นงานและที่ผิวชิ้นงาน เกิดจากก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำโลหะถูกปล่อยออกมาในขณะที่เบ้าเย็นตัว ดังนั้นควรกำจัดก๊าซออกซิเจนออกก่อน

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเป็นเรื่องที่สำคัญ ควรเห็นความสำคัญของการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยทุกครั้ง

2. ในการทดลองผลที่ได้รับไม่แน่ชัดว่าปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน เกิดจากการควบคุมอุณหภูมิเบ้า หรือเกิดจากกการหลอมโลหะ เพราะเราไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิการหลอมโลหะให้คงที่ได้

บรรณานุกรม

1. นิกร มหกรรมโกล **กรรมวิธีการหล่อโลหะ** สกายบุ๊กส์ 2539

2. ธนิต อาภรณ์รัตน์ **เทคนิคงานอลูมิเนียม** สกายบุ๊กส์ 2533

3. ไพบูลย์ ชูพึ่งอาตม์. **ข้อบกพร่อง ที่เกิดกับงานหล่อ และการแก้ไข**. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมม, 2533

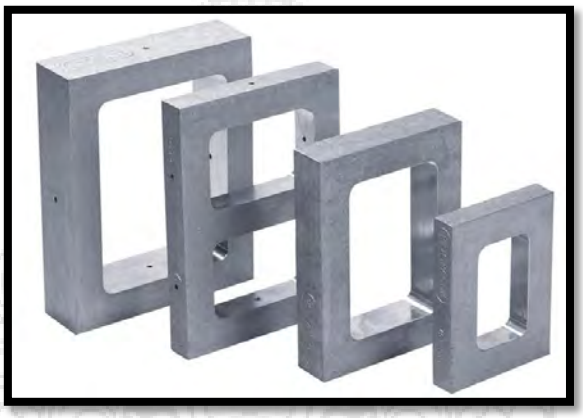
4. ธนาภรณ์ โกราษ์ วิลาสินี วุฒิถิรสกล แปล ดร. บัญชา ธนบุญสมบัติ บรรณาธิการ เทคโนโลยีและ **โลหะวิทยา** ของ อะลูมิเนียม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2541

5. Dr.John T.H. Pearce, บัญชา ธนบุญสมบัติ, ธนาภรณ์ โกราษฎร์, วิลาสินี วุฒิถิรสกล, อภิชาต เหล็กงาม และ ธีรพงษ์ หาญวิโรจน์กุล **ข้อบกพร่องใน....งานหล่อโลหะ สาเหตุและวิธีการแก้ไข** เทคโนโลยีและโลหะวิทยา ของ อะลูมิเนียม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและ วัสดุแห่งชาติ, 2544

6. วิหาร ดีปัญญา. **วิศวกรรมการหล่อโลหะ** สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2546

ภาคผนวก ก.

เครื่องอัดพิมพ์ยาง



กรอบอัดพิมพ์ยาง

แม่พิมพ์ยาง

อุปกรณ์การติดต้นเทียน

เครื่องฉีดแว๊กซ์

ฐานยาง

หัวแร้ง

เครื่องชั่งน้ำหนักต้นแบบ

เครื่องชั่งน้ำหนักต้นแบบ

อุปกรณ์การอบเบ้าพิมพ์ปูนหล่อ

เครื่องชั่งน้ำหนักผงปูน

บีกเกอร์

เครื่องผสมปูน

เครื่อง Vacuum

เครื่องอบเบ้า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการหล่อ

ที่คีบเบ้า

เครื่องหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง