

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical Discharge Machine, EDM)

เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรประเภท Non- traditional manufacturing หรือเครื่องจักรที่ใช้ในงานผลิตขั้นสูง ทำการแปรรูปชิ้นงานโดยใช้การเหนี่ยวนำของไฟฟ้า ในอดีตจะใช้กับชิ้นงานที่เป็นโลหะนำไฟฟ้าแต่ขึ้นรูปได้ยากเพราะมีความแข็งมาก เช่น โลหะต่างๆ โลหะผสม คาร์ไบด์ กราไฟต์ แต่ปัจจุบันมีวิธีการที่จะขึ้นรูปชิ้นงานที่ไม่นำไฟฟ้าได้ เช่น เซรามิก ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังใช้กับชิ้นงานที่จะเกิดการฉีกขาดเนื่องจากแรงเฉือนเมื่อแปรรูปด้วยเครื่องจักรทั่วไปได้ เนื่องจากเครื่อง EDM จะไม่ทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นในชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานที่เกิดการฉีกขาดขึ้น

2.1.1 การทำงานของเครื่อง EDM

หลักการทำงานของเครื่อง EDM คือ การใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการกัดกร่อนของชิ้นงาน โดยการเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรดไปที่ผิวของชิ้นงาน ถ้ากำหนดให้แท่งอิเล็กโทรดเป็นขั้วบวก และชิ้นงานเป็นขั้วลบ กระแสไฟฟ้าจะเกิดการถ่ายเทจากแท่งอิเล็กโทรดไปยังผิวของชิ้นงาน โดยมีช่องเหลวไม่นำไฟฟ้าเป็นตัวกลาง ทำให้เกิดการสปาร์กขึ้น จากนั้นผิวของชิ้นงานจะเกิดการหลอมละลาย เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า จะเกิดการระเบิดขึ้นที่ผิวของชิ้นงานที่หลอมละลาย ทำให้เกิดการกระจายของผิชิ้นงานออกมา

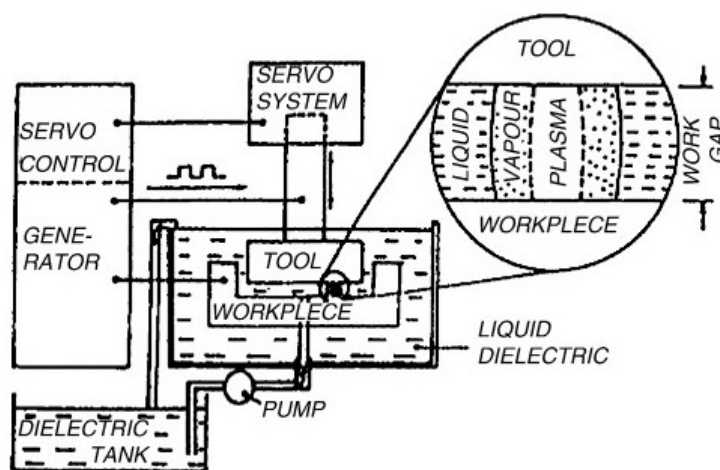
ส่วนประกอบหลักของเครื่อง EDM ได้แก่

1. อิเล็กโทรด (electrode) หรือ แท่งอิเล็กโทรด คือ เครื่องมือ(tool) ในการกัดหรือแปรรูปชิ้นงาน แท่งอิเล็กโทรดที่นำมาใช้งานนั้น จะต้องนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีจุดหลอมเหลวสูง หาได้ง่าย สามารถนำเอามาแปรรูปด้วยเครื่องจักรทั่วไปได้ อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดจะต้องต่ำด้วย วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรด ได้แก่ กราไฟต์, ทองแดง (Copper), ทองแดง-ทังสเตน (Copper tungsten), ทองเหลือง เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้ว แท่งอิเล็กโทรดนั้นจะถูกกำหนดให้มีประจุไฟฟ้าเป็นขั้วบวก
2. ของเหลวไม่นำไฟฟ้า (dielectric fluid) ของเหลวไม่นำไฟฟ้า นี้จะเป็นตัวช่วยให้เกิดการสปาร์ก ของเหลวนี้จะเป็นฉนวนไฟฟ้า ระหว่างช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด

ของเหลวนี้ยังเป็นสารหล่อเย็นและช่วยในการกระจายเศษโลหะที่แตกออกมาจากการทำงานของเครื่อง EDM ของเหลวที่ใช้ได้แก่ น้ำกลั่น น้ำมัน กรีเซอร์ลิน เป็นต้น

3. ไฟฟ้า (Electricity) กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์นั้นเป็นตัวทำให้เกิดการถ่ายเทประจุระหว่างอิเล็กโทรดและชิ้นงาน ทำให้เกิดการสปาร์ก จุดที่เกิดการสปาร์กนั้นจะเกิดอุณหภูมิ สูงมากๆ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของเครื่องจะจะมี ช่วงเวลาเปิดและช่วงเวลาปิด ช่วงเวลาเปิด (On time) คือช่วงระยะเวลาที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าอิเล็กโทรดเพื่อทำให้เกิดการสปาร์ก ช่วงระยะเวลาปิด (Off time) คือช่วงที่หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าในระบบจะทำให้บริเวณที่เกิดการสปาร์กนั้นระเบิดออกมา มีหน่วยเป็น ไมโครวินาที (μs)

ส่วนชิ้นงาน (workpiece) นั้นส่วนใหญ่ ชิ้นงาน ที่นำมาแปรรูปด้วยเครื่อง EDM นั้นเป็นโลหะที่นำไฟฟ้า และมีความแข็งมากไม่สามารถแปรรูปด้วยเครื่องจักรทั่วไปได้ เช่น พกกโลหะ เหล็กกล้า อะลูมิเนียม ทังสเตน ไททาเนียม พกกคาร์ไบด์ เป็นต้น หรือ เป็นวัสดุที่ไม่สามารถใช้เครื่องจักรทั่วไปขึ้นรูปได้ เนื่องจากการใช้เครื่องจักรทั่วไปจะทำให้เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานได้ โดยปกติแล้วจะกำหนดให้ชิ้นงานนั้นใช้ประจุไฟฟ้าเป็นขั้วลบ ในปัจจุบัน ยังสามารถแปรรูปชิ้นงานที่ไม่นำไฟฟ้าได้ด้วย เช่น เซรามิก ที่มีความแข็งของชิ้นงานมากไม่สามารถแปรรูปด้วยเครื่องจักรทั่วไปได้



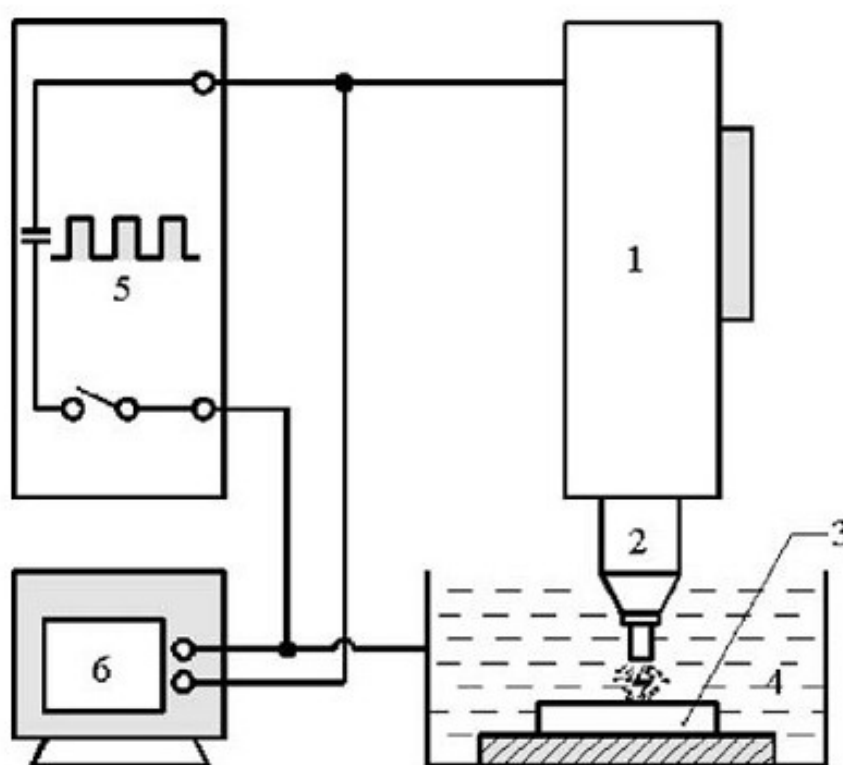
ภาพที่ 2.1

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง EDM

(ที่มา : เอกสารอ้างอิง [R.A. Mahdavinejad , A. Mahdavinejad, 2005])

2.1.2 ชนิดของเครื่อง EDM มีอยู่ 2 ประเภทแบ่งตามลักษณะการทำงาน

1. Die sinking เครื่อง EDM นี้จะใช้แท่งอิเล็กโตรดในการทำงาน รูปร่างของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับการรูปร่างของอิเล็กโตรด เพื่อให้ได้ชิ้นงานในลักษณะที่ต้องการจึงต้องนำเอาอิเล็กโตรดไปขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรทั่วไป แล้วจึงนำมาใช้งานกับเครื่อง EDM ในการทำงานของเครื่องประเภทนี้ อิเล็กโตรดจะไม่สัมผัสกับชิ้นงานเลย อิเล็กโตรดที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็น ทองแดง หรือกราไฟต์ เครื่อง EDM ประเภทนี้นิยมนำไปใช้ขึ้นรูปแม่พิมพ์พลาสติก



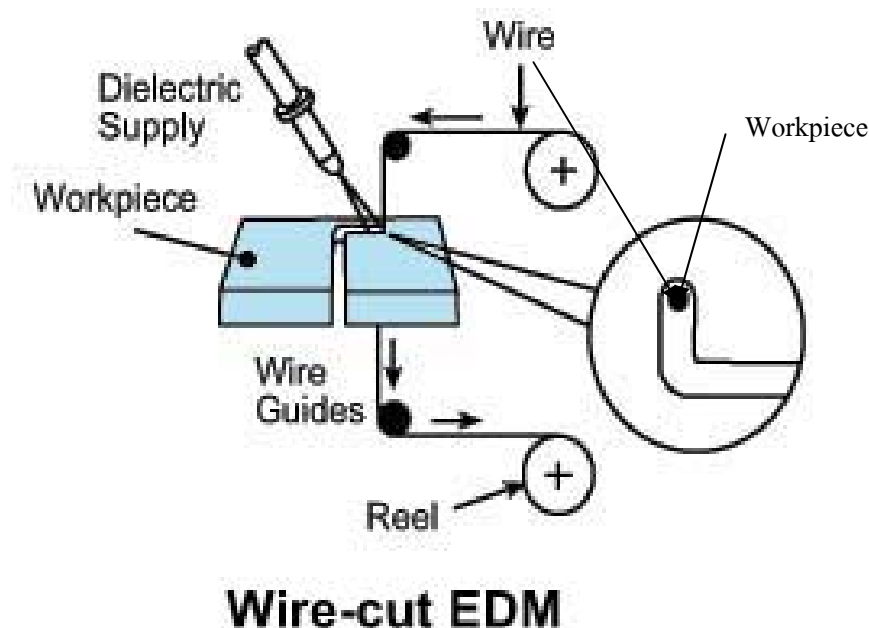
ภาพที่ 2.2

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง EDM แบบ Die sinking

(1: ตัวควบคุมกลไก 2: อิเล็กโตรด 3: ชิ้นงาน 4: ของเหลวไม่นำไฟฟ้า 5: เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า
6: เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า)

(ที่มา : เอกสารอ้างอิง [Y.H. Guu, 2005])

2. Wire cutting เครื่อง EDM ชนิดนี้ จะใช้ลวดซึ่งเป็นอิเล็กโตรดชนิดหนึ่ง ในการตัดชิ้นงานเป็นรูปร่างต่างๆ ที่กำหนดไว้ ก่อนจะเริ่มทำงานจะต้องเจาะรูชิ้นงานก่อน เพื่อให้สามารถใส่ลวดได้ ในการทำงานอิเล็กโตรดจะไม่สัมผัสกับชิ้นงาน ลวดอิเล็กโตรดที่นิยมใช้คือ ทองเหลืองหรือ stratified copper เครื่อง EDM ชนิดนี้นิยมใช้ขึ้นรูป Extrusion dies และ blanking punche



ภาพที่ 2.3

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง EDM แบบ Wire cutting

(ที่มา : Charmilles. [www.charmillesus.com])

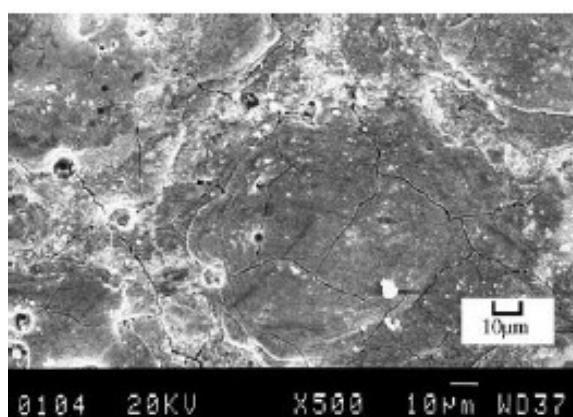
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานและชิ้นงานของเครื่อง EDM ประเภท Die sinking

การทำงานของเครื่อง EDM แบบนี้นั้น ส่วนใหญ่แล้วมุ่งสนใจผลที่เกิดขึ้น 3 อย่างคือ

1. อัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate ,MRR) หรือความเร็วในการแปรรูปชิ้นงาน อัตราการขจัดชิ้นงานของเครื่อง EDM นั้นจะช้ากว่าเครื่องทั่วไป ซึ่ง MRR นี้จะมีค่าเท่ากับปริมาตรเนื้อวัสดุที่ถูกขจัดออกไปต่อระยะเวลาที่ใช้ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นาที

2. ผิวสำเร็จของชิ้นงาน (Surface Finished) คือ ความเรียบของผิวงานที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้ว

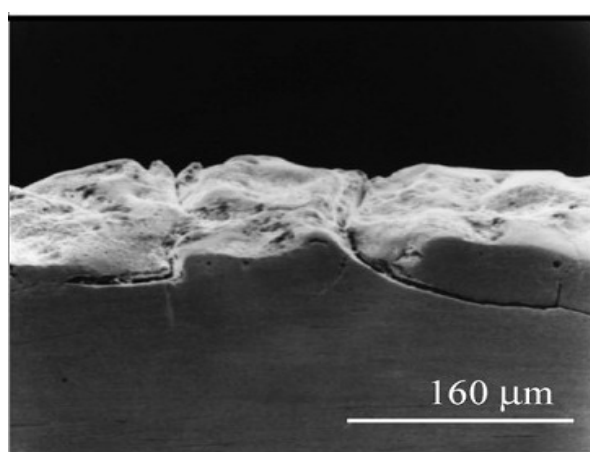
3. รอยแตกร้าวขนาดเล็ก (Micro crack) การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่อง EDM ทำให้วัสดุบางชนิดนั้นเกิดรอยแตกร้าวขึ้น รอยแตกร้าวนี้ มีขนาดเล็กมากๆ ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ มีขนาดตั้งแต่ต่ำกว่า 1 ไมโครเมตรจนถึงประมาณ 16 ไมโครเมตร ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่อง รอยแตกร้าวนี้จะส่งต่อการนำเอาชิ้นงานไปใช้งานต่อไป เช่น อาจจะทำให้เกิดการแตกของชิ้นงานได้



ภาพที่ 2.4

ตัวอย่างภาพรอยแตกร้าวขนาดเล็ก บนผิวของเหล็กกล้าที่ผ่านการทำงานจากเครื่อง EDM

กำลังขยาย 500 เท่า (ที่มา : เอกสารอ้างอิง [H.T. Lee, T.Y. Tai, 2003])



ภาพที่ 2.5

ตัวอย่างรอยแตกร้าวขนาดเล็กแบบภาพตัดขวาง

(ที่มา : เอกสารอ้างอิง [H.T. Lee, T.Y. Tai, 2003])

ผลจากการทำงานของเครื่อง EDM ทั้งสามข้อที่กล่าวมาแล้ว จะมีความสัมพันธ์กัน เช่น การตั้งค่าตัวแปรของเครื่อง EDM ให้สามารถทำงานเสร็จเร็ว ผิวสำเร็จของชิ้นงานที่ได้ออกมา จะมีความหยาบมาก และอาจจะทำให้เกิดรอยแตกร้าวในบางชิ้นงานได้ ในทางตรงข้าม หากต้องการผิวงานที่เรียบมากก็จะทำให้ความเร็วในการทำงานหรือมีค่าอัตราการขจัดเนื้องาน ลดลงมาก การปรับค่าปัจจัยบางชนิดทำให้ผิวชิ้นงานที่ได้มีความเรียบแต่อาจจะทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็กขึ้นมาได้

ผลจากการทำงานของเครื่อง EDM นั้นเกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่เรากำหนดไว้กับเครื่อง EDM ปัจจัยที่มีผลนี้ ได้แก่

- ชนิดของอิเล็กโทรด อิเล็กโทรดต่างๆ จะให้ความเร็วในการทำงานและผิวสำเร็จของชิ้นงานแตกต่างกันออกไป และขึ้นอยู่กับชิ้นงานด้วย วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นอิเล็กโทรด นั้นได้แก่ แกรไฟต์ ทองแดง ทองแดง-ทังสเตน อลูมิเนียม ทองเหลือง เป็นต้น อิเล็กโทรดแต่ละชนิดนั้นจะให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และความเรียบของผิวชิ้นงานไม่เท่ากัน เช่นในการทดลองที่มีชิ้นงานเป็น ทังสเตนคาร์ไบด์ อิเล็กโทรดที่ใช้ทดลอง ได้แก่ ทองแดง ทองแดง-ทังสเตน แกรไฟต์ ผลที่ได้ออกมาคือ แกรไฟต์นั้นจะมีค่าอัตราการขจัดเนื้องาน มากที่สุด ทองแดง-ทังสเตน จะให้ค่ารองลงมา แล้วทองแดงน้อยที่สุด แต่ความเรียบของผิวชิ้นงานแล้ว ทองแดงจะให้ผิวที่เรียบมากที่สุด ถัดมาคือทองแดง-ทังสเตน และ แกรไฟต์จะให้ค่าความเรียบผิวน้อยที่สุด ถ้าหากชิ้นงานที่ใช้คือ En-31 tool steel ทองแดงและอลูมิเนียม จะให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน สูงที่สุดถัดมาเป็นทองแดง-ทังสเตน ส่วนความเรียบผิวนั้น ทองแดงและอลูมิเนียมจะให้ความเรียบผิวสูงเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าสูง ถ้าหากใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ ทองแดง-ทังสเตน จะให้ความเรียบผิวดีที่สุด [Shankar Singh,2004] ในงานอีกงานวิจัยที่วิจัยเรื่องอิเล็กโทรดและชิ้นงานที่ใช้คือทังสเตนคาร์ไบด์ ผลในงานวิจัยคือ แกรไฟต์มีค่าอัตราการขจัดเนื้อและค่าความหยาบผิวสูงที่สุด ทองแดง-แกรไฟต์มีค่าอัตราการขจัดเนื้อและค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด และทองแดง-ทังสเตนที่มีค่าอัตราการขจัดเนื้อและค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด [ณัฐดนัย ชัยตระกูล,2551]

- การกำหนดขั้วประจุไฟฟ้าของชิ้นและอิเล็กโทรด การกำหนดขั้วไฟฟ้าจะส่งผลถึงความเร็วและความเรียบของผิวชิ้นงาน โดยทั่วไปแล้ว เราจะกำหนดให้ อิเล็กโทรดมีประจุไฟฟ้าเป็นขั้วบวก แล้วให้ ชิ้นงานนั้นมีประจุไฟฟ้าไปขั้วลบ สำหรับบางชิ้นงานเช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ การสลับขั้วประจุไฟฟ้าจะทำให้ มีค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และ มีความเรียบของผิวชิ้นงานดีกว่า [X. P. Li. S.H. Lee,2001]

- กระแสไฟฟ้า (Electric current) กระแสไฟฟ้าที่ใช้นั้น มีตั้งแต่ 0.1 แอมแปร์ถึงหลายร้อยแอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเองก็จะมีผลต่อผลจากการทำงานของเครื่อง EDM ทั้งสามชนิด ถ้าหากเราเพิ่มกระแสไฟฟ้าเข้าไปมากขึ้น จะมีผลทำให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน เพิ่มมากขึ้น ในช่วงที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำๆ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นแล้วค่าอัตราการขจัดเนื้องาน จะคงที่ไม่เพิ่มมากขึ้นอีก และความเรียบของผิวชิ้นงานก็จะเพิ่มขึ้น และการเพิ่มกระแสไฟฟ้ามากขึ้น และยังทำให้เกิดรอยแตกร้าวลึกลงไปอีกด้วย [X. P. Li. S.H. Lee,2001] [T. Y. Tai. H.T. Lee,2003] [Kumar, S., et al.,2008]

- ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) เองก็มีผลต่อความเร็วในการทำงานและความเรียบของผิวชิ้นงาน ถ้าหากเพิ่ม ความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มากยิ่งขึ้น จำทำให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน ลดลงแต่ ความเรียบของผิวชิ้นงานนั้นจะเพิ่มมากยิ่งขึ้น [X. P. Li. S.H. Lee,2001]

- เวลาเปิด (pulse-on time) ช่วงระยะเวลาจ่ายกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่ต่างกัน นั้น จะให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน เท่ากัน แต่ความเรียบของผิวชิ้นงานนั้นไม่เท่ากัน เมื่อเราตั้งเวลาเปิดนานมากขึ้นความเรียบของผิวชิ้นงานก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ใช้นั้นคงที่ แล้วใช้ช่วงระยะเวลาเปิดนานมากขึ้นจะทำให้ เกิดรอยแตกมากยิ่งขึ้นด้วย [X. P. Li. S.H. Lee,2001] [T. Y. Tai. H.T. Lee,2003]

- เวลาปิด (pulse-off time) ช่วงระยะเวลาหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน จะลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาปิดมากขึ้น ส่วนค่าความหยาบผิวนั้นจะเพิ่มมากขึ้นจนเพิ่มมากที่สุดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วจะค่อยๆ ลดลง [X. P. Li. S.H. Lee,2001]

- แรงดันของของเหลวเองก็ยังมีผลต่อการทำงานของเครื่อง ถ้าเพิ่มแรงดันของของเหลวไม่นำไฟฟ้าแล้ว จะทำให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน นั้นลดลงในช่วงแรก และจะค่อยๆ คงที่เมื่อมีแรงดันของของเหลวไม่นำไฟฟ้าสูง เมื่อเพิ่มแรงดันของของเหลวไม่นำไฟฟ้านี้ จะทำให้ ความเรียบของผิวชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น [X. P. Li. S.H. Lee,2001]

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรด จะมีผลต่อค่าอัตราการขจัดเนื้องาน ถ้าหากเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรดจะทำให้ค่าอัตราการขจัดเนื้องาน เพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจาก อิเล็กโทรดที่ขนาดใหญ่กว่า จะสูญเสียความร้อนในการแปรรูปน้อยกว่า และมีพื้นที่ในการแปรรูปมากกว่าทำให้สามารถขจัดเศษชิ้นงานได้ดีกว่า [C.H. Che Haron,2001]

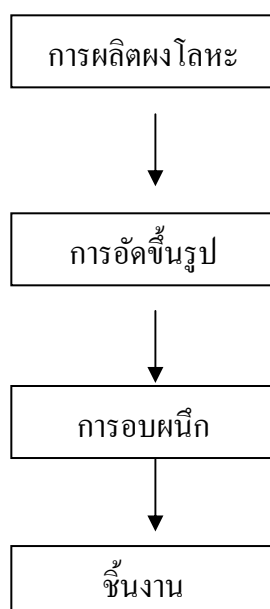
ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่อง EDM เหล่านี้บางตัวเอง ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากข้อจำกัดของตัวเครื่องจักรเอง เช่นการควบคุมแรงดันของของเหลวไม่นำไฟฟ้า ในการ

ทำงานจริงของเครื่อง EDM นั้น ขนาดของอิเล็กโตรดเองจะต้องถูกจำกัดเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ ไม่สามารถเพิ่มขนาดเพื่อเร่งความเร็วในการทำงานได้

2.2 Powder Metallurgy (P/M)

การผลิตชิ้นงานจากโลหะผงนับเป็นการผลิต ผลิตภัณฑ์สมัยใหม่ การนำโลหะผงมาผลิตเป็นชิ้นงานนั้นจะอาศัยความร้อนและแรงอัดเพื่อให้ผงโลหะประสานติดกัน ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของโลหะผงสูงจนเกิดการหลอมละลายแต่ใช้เพียงแค่นี้ทำให้โลหะผงกลายเป็นสะเก็ดต่อกันนั้นจะใช้แรงอัดจนกระทั่งโลหะผงประสานติดกันเป็นเนื้อเดียว ผงโลหะที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานชนิดหนึ่งนั้นจะประกอบด้วยโลหะผงหลายชนิด บางครั้งอาจต้องเพิ่มผงของวัสดุที่อยู่นอกกลุ่มโลหะ (nonmetallic powder) ลงไปด้วยเพื่อใช้เป็นสารยึด ทำให้ผงโลหะยึดติดกันดียิ่งขึ้น เช่น ใช้ผงโคบอลต์เป็นสารยึดผงทั้งสเตนคาร์ไบด์ การผสมผงกราไฟต์ลงไปในโลหะผงที่ใช้ทำแบริ่ง (bearing) เพื่อเพิ่มสมบัติในการหล่อลื่น เป็นต้น

กระบวนการทำงานจะเริ่มจาก การผลิตผงโลหะ แล้วนำผงโลหะที่ได้ไปทำการอัดขึ้นรูป แล้วจึงไปอบผืน การอบผืนนั้นบางกรรมวิธีจะทำไปพร้อมกับการอัดขึ้นรูป เช่น การอบผืนร้อน



ภาพที่ 2.6

กระบวนการผลิตโลหะผง

2.2.1 คุณลักษณะที่สำคัญของผงโลหะ (Important Characteristics of Metal Powders)

ข้อดีที่เด่นชัดที่สุดของชิ้นงานที่ผลิตขึ้นจากโลหะผงมีอยู่ 2 ประการ คือ มีความแข็งแรงสูงและได้ผิวงานที่เรียบโดยไม่จำเป็นต้องนำไปแต่งผิวด้วยเครื่องมือกลอีก ยกเว้นในบางกรณีซึ่งมีอยู่จำนวนไม่มากนักที่อาจต้องนำไปทำเกลียว หรือทำรายละเอียดปลีกย่อยอื่น ๆ บนชิ้นงานคุณลักษณะต่าง ๆ ของผงโลหะ ที่จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานนั้นประกอบด้วย รูปร่าง (shape) ความละเอียด (fineness) การกระจายขนาด (size distribution) ความไหลได้ (flowability) สมบัติทางเคมี (chemical properties) ความอัดได้ (compressibility) และสมบัติในการอบผนึก (sintering properties)

รูปร่าง (shape) ผงโลหะที่ผลิตออกมาอาจมีรูปร่างได้หลากหลาย เช่น กลม แบน หลายเหลี่ยม หลายคม หรือมีรูปร่างใด ๆ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิต ผงโลหะที่มีรูปร่างใด ๆ (irregularly shaped) จะเกาะตัวกันได้แข็งแรงที่สุด จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นชิ้นงาน

ความละเอียด (fineness) ในการนำผงโลหะมาผลิตเป็นชิ้นงานนั้นขนาดของผงอาจทำให้เกิดปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าขนาดของผงไม่เท่ากันจะทำให้ความไหลได้ของผงไม่ดีซึ่งจะทำให้การผลิตสะดุดและติดขัด ดังนั้นการจัดการให้ผงมีขนาดเท่ากันก่อนนำไปใช้จึงถือเป็นเรื่องสำคัญ ขนาดของผงที่เหมาะสมจะนำไปใช้ควรมีขนาดอยู่ในช่วง 45 – 150 ไมครอน ซึ่งในการร่อนด้วยตะแกรงจะใช้ตะแกรง เบอร์ 100 – 325 ขนาดของผงที่เหมาะสมจะนำไปใช้งานที่สุด คือ ขนาด 100 ไมครอน

การกระจายขนาด (size distribution) ถ้าผงโลหะที่นำมาใช้มีการกระจายขนาดสูง จะมีผลกระทบถึงความไหลได้ของผง ความอัดได้ของผง รวมไปถึงความหนาแน่นและสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ได้ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ผงโลหะที่มีการกระจายขนาดสูง นั่นคือ มีผงขนาดต่าง ๆ ปะปนคลุกเคล้ากันอยู่มากเกินไป ควรเลือกใช้ผงที่มีขนาดใกล้เคียงกัน การกระจายขนาดมีไม่มาก

ความไหลได้ (flowability) ผงโลหะที่มีการไหลตัวดีจะสามารถไหลเข้าสู่โพรงแบบ (moldcavity) ได้ดีและรวดเร็ว สามารถชอกซอนไปตามชอกตามมุมต่าง ๆ ของโพรงแบบได้ดี ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานออกมาเต็มแบบ ประณีตทุกชอกทุกมุม

สมบัติทางเคมี (chemical properties) ที่เกี่ยวข้องก็ได้แก่ ความบริสุทธิ์ของโลหะ ปริมาณของออกไซด์ที่ยอมให้ปะปนอยู่ได้ และปริมาณธาตุอื่นที่ปะปนอยู่โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ได้

ความอัดได้ (compressibility) หมายถึงปริมาตรของผงก่อนถูกอัดหารด้วยปริมาตรของผงที่ถูกอัดจนได้เป็นชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะมีส่วนเกี่ยวกับการกระจายขนาด และ

รูปร่างของผงความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของผงที่ดีเมื่ออัดเป็นชิ้นงานเรียบร้อยแล้วจะมีปริมาตรเป็น 2 ใน 3 ของปริมาตรก่อนอัด

การอบผนึก (sintering) เป็นการทำให้ผงโลหะประสานติดกันด้วยความร้อน การกระจายอนุกรมภายในผงโลหะเป็นเรื่องที่สำคัญ ดังนั้นโลหะผงที่กระจายอนุกรมได้ดีเมื่อนำไปผลิตเป็นชิ้นงาน จะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ ความแข็งแรงและความแข็งแรงสุดท้ายของชิ้นงานอาจได้จากการนำชิ้นงานไปปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน เช่น การชุบ (quenching) และการอบคืนตัว (tempering) เป็นต้น

2.2.2 วิธีการผลิตผงโลหะ (Methods of Producing Powders)

ถึงแม้ว่าโลหะทุกชนิดจะสามารถทำให้อยู่ในรูปของโลหะผงได้แต่ก็มีอยู่ไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน โลหะผงที่นิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นงานด้วยวิธีนี้มีอยู่ 2 กลุ่ม คือ โลหะในกลุ่มเหล็ก และโลหะในกลุ่มทองแดง ผงทองบรอนซ์ส่วนใหญ่จะนำมาขึ้นรูปเป็นแบร้ง (bearing) ส่วนผงทองเหลือง และผงเหล็กนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กของเครื่องจักร ผงโลหะชนิดอื่น ๆ เช่นนิกเกิล เงิน ทังสเทน และอะลูมิเนียม ถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานเช่นเดียวกันแต่อยู่ในวงจำกัดถึงแม้ว่าจะถูกใช้งานอยู่ในวงจำกัดแต่ก็มีความสำคัญในวงการโลหะกรรมชนิดผงอย่างมากทีเดียว

การผลิตโลหะผงแต่ละชนิดอาจใช้กรรมวิธีที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดมีคุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ไม่เหมือนกัน กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตโลหะผงมีให้เลือกใช้อยู่หลายวิธี ได้แก่ การผลิตผงโลหะด้วยเครื่องมือกล (machining) วิธีนี้จะได้ผงโลหะที่ค่อนข้างหยาบ ส่วนใหญ่นิยมใช้ในการผลิตผงแมกนีเซียม การบด (milling) โดยใช้เครื่องบดแบบต่าง ๆ ก็เป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตผงโลหะซึ่งเครื่องบดที่ใช้มีอยู่หลายแบบ เช่น เครื่องบดแบบหมุน (rotary mills) เครื่องบดแบบกระเดื่อง (stamping mills) ซึ่งใช้ได้กับโลหะที่มีเนื้อเปราะ การพ่น (atomization) เป็นวิธีการผลิตผงโลหะอีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมใช้กับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น ตะกั่ว ดีบุก สังกะสีและอะลูมิเนียม นอกจากนั้นวิธีการพ่นนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตผงเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ในปริมาณสูงได้ด้วย

วิธีการลดทอน (reduction method) เป็นกระบวนการทางเคมีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตโลหะผงได้ซึ่งจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้โลหะผงที่ได้เป็นโลหะบริสุทธิ์ วิธีการลดทอนนั้นทำได้โดยการนำออกไซด์ของโลหะมาทำปฏิกิริยากับก๊าซร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะนั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะได้โลหะบริสุทธิ์ที่มีเนื้อพรุนออกมา เช่นการผลิต ผงเหล็ก จากเหล็กออกไซด์ จะนำเหล็กออกไซด์เข้าไปเผาในเตาหมุน (rotary kiln) ร่วมกับผงถ่านโค้ก

ที่อุณหภูมิประมาณ 1050 องศาเซลเซียส คาร์บอนจะดึง เอาออกซิเจนที่อยู่ในเหล็กออกไซด์ ออกมารวมตัวกันกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะถูกปล่อยออกไปทางปล่องไอเสียของ เตาเผา จะเหลือเหล็กบริสุทธิ์อยู่ภายในเตา เหล็กที่ได้นี้จะมีเนื้อพรุน โลหะอื่นที่ผลิตขึ้นด้วย กรรมวิธีนี้ได้ ประกอบด้วย ทั้งสแตน โมลิบดีนัม นิกเกิล และโคบอลต์

2.2.3 การขึ้นรูปโลหะผง (Forming to Shape)

ผงโลหะที่ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งนั้นต้องพิจารณาเลือกสรรเป็น อย่างดีเพื่อให้ได้ชิ้นงานมีสมบัติตรงตามที่ต้องการและใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ถ้าสามารถ เลือกใช้ผงโลหะเพียงชนิดเดียวแล้วได้คุณลักษณะต่าง ๆ ของผง เช่น การกระจายขนาดและอื่น ๆ ตามเงื่อนไขที่ต้องการทุกประการ ก็ไม่จำเป็นต้องนำผงโลหะนั้นไปผสมกับผงโลหะหรือผงวัสดุ อื่น ๆ อีก แต่ผงโลหะชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียวจะมีคุณลักษณะไม่สอดคล้องกับ ความ ต้องการของเราทุกประการ ไม่ว่าจะเป็นความไหลได้ ความหนาแน่น การกระจายขนาด จึง จำเป็นต้องนำผงโลหะหลายชนิดมาผสมกันเพื่อให้ได้คุณลักษณะเหล่านี้ตรงกับความต้องการ นอกจากนั้นในบางครั้งเราอาจต้องการให้โลหะที่ได้ออกมาอยู่ในรูปโลหะเจือหรือต้องการผสมวัสดุ อื่นที่อยู่นอกกลุ่มโลหะลงไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะ ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ที่ ต้องมีการผสมผงโลหะกับผงชนิดอื่น การนำผงโลหะหลายชนิดมาผสมคลุกเคล้ากันต้องทำในที่ ที่ เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้ผงโลหะเกิดออกซิเดชันหรือผงโลหะเกิดการเสียหายเนื่องจากสาเหตุอื่น

ในการนำโลหะผงมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานนั้นต้องผสมผงของสารช่วยหล่อลื่นลงไปด้วย เสมอเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับแบบดายและเพื่อให้ง่ายต่อการถอดชิ้นงานออกจากแบบ ดาย สารช่วยหล่อลื่นที่นิยมใช้คือ กรดสเตียริก (stearic acid) ลิเทียมสเตียเรต (lithium stearate) และผงกราไฟท์

เมื่อเตรียมผงโลหะหรือผสมผงโลหะชนิดต่าง ๆ ตามสัดส่วนที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำผงนั้นมาเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปโลหะผงเป็นชิ้นงานมีอยู่หลายวิธีดังต่อไปนี้

การอัด (pressing) ผงโลหะจะถูกนำไปอัดในแบบดายซึ่งจะทำมาจากเหล็กกล้า ภายใต้ความดันประมาณ 14 – 1400 เมกะพาสคาล ผงโลหะอ่อนสามารถอัดได้อย่างรวดเร็วและ ไม่ต้องใช้ความดันสูงมากนักแต่ถ้าเป็นผงโลหะแข็งกระบวนการจะช้าลงและต้องใช้ความดันสูง ความหนาแน่นและความแข็งของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ในขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายใน กระบวนการผลิตจะสูงขึ้นตามค่าความดันที่ใช้ด้วย ความหนาแน่นสุดท้ายของชิ้นงานที่ได้จะมีค่า เปลี่ยนแปลงตามความดัน การอัดผงโลหะให้เป็นชิ้นงานทำได้หลายวิธี เช่น การใช้หัวตอกเจาะ (punch) และแบบดาย (die)

การอัดแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal compacting) การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ผงโลหะจะถูกนำมาใส่ในแบบจากนั้นหมุนเหวี่ยงจนเกิดความดันที่กระทำต่อผงโลหะประมาณ 3 เมกะพาสคาล วิธีนี้ใช้ได้กับโลหะที่มีความถ่วงจำเพาะสูง เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ นอกจากนั้นชิ้นงานจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเท่านั้น

การอัดรีด (extruding) ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งยาว การผลิตด้วยวิธีนี้จะได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูง มีสมบัติทางกลดีเยี่ยม กรรมวิธีที่ใช้ในการรีดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผงโลหะที่ใช้ ผงโลหะบางชนิดอาจใช้วิธีอัดรีดเย็นแต่บางชนิดอาจจำเป็นต้องใช้ความร้อนช่วยเพื่อความสะดวกในการขึ้นรูป กระบวนการอัดรีดโดยทั่วไปจะเริ่มด้วยการอัดรีดผงโลหะให้ออกมาอยู่ในรูปแท่งยาวก่อน จากนั้นนำมาทำให้ร้อนในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจนโดยการใส่ในภาชนะปิดที่ทำจากโลหะก่อนนำไปอบ หลังจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานต่อไป

การรีด (rolling) ผงโลหะถูกนำมาบดบดให้เคลื่อนตัวผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ดังแสดงจากนั้นจะถูกลูกกลิ้งรีดออกมาเป็นเส้นยาวหรือเป็นแผ่นบางในอัตราความเร็วประมาณ 0.5 เมตรต่อวินาที กระบวนการนี้อาจกระทำที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูงก็ได้ วิธีการนี้นิยมใช้ในการผลิตโลหะแผ่นบางสำหรับงานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

การอัดแบบไอโซสแตติก (isostatic molding) ผงโลหะถูกนำมาใส่ลงในแบบ (mold) ซึ่งทำมาจากโลหะแผ่นบางที่มีจุดหลอมเหลวสูง นำแบบที่มีผงโลหะบรรจุเต็มอยู่นี้ใส่ลงในห้องปรับความดันที่บรรจุก๊าซเฉื่อยไว้ จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิและความดันภายในห้องจนกระทั่งภายในห้องมีอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส และความดันประมาณ 100 เมกะพาสคาล แช่ทิ้งไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจึงลดอุณหภูมิและความดันลงสู่สภาวะปกติจะได้ชิ้นงาน

2.2.4 การอบผนึก (Sintering)

การอบผนึกเป็นกระบวนการทำให้ผงโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานมาแล้วประสานติดกันเป็นเนื้อเดียวด้วยความร้อนโดยการนำชิ้นงานไปอบในเตาอบที่มีการควบคุมบรรยากาศภายในเตา ความร้อนภายในเตาจะทำให้ผงโลหะเริ่มเป็นสะเก็ดติดกัน อุณหภูมิที่ใช้ในการอบผนึกโลหะบางชนิดอยู่ในช่วงที่สามารถใช้เตาอบสำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่มีขายในท้องตลาดได้ แต่โลหะบางชนิดต้องใช้อุณหภูมิสูงมาก ส่วนในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการอบผนึกนั้นก็มิได้มีค่าใช้เวลาน้อย ๆ คือ ใช้เวลาประมาณ 10 – 45 นาที สำหรับโลหะในกลุ่มเหล็กและโลหะในกลุ่มทองแดง แต่การอบผนึกโลหะบางชนิดต้องใช้เวลานานหลายชั่วโมง เช่น ทังสเตน และแทนทาลัม (tantalum) เป็นต้น เตาอบที่ใช้ในการอบผนึกชิ้นงานที่ทำจากโลหะผงนั้นมีอยู่หลายแบบ แต่ในปัจจุบันนี้ถ้าเป็นการผลิตที่มีปริมาณมาก ๆ จะนิยมใช้เตาอบแบบต่อเนื่อง

2.2.5 การอัดร้อน (Hot Pressing)

กระบวนการนี้จะรวมเอาการอัดขึ้นรูปและการอบผนึกมาทำไปพร้อมกันซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานที่ขนาดมีความเที่ยงตรงสูง มีความแข็งแรงดีและมีความแข็งสูง แต่มีข้อจำกัดอยู่ที่ค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากแบบดายที่ใช้มีราคาแพง รวมทั้งกระบวนการให้ความร้อนและการควบคุมบรรยากาศมีความยุ่งยาก แบบดายที่ใช้ส่วนใหญ่จะทำจากกราไฟต์ซึ่งจะมีปัญหาในเรื่องความแข็งแรง ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ การอัดร้อนจึงไม่เป็นที่นิยมใช้

2.2.6 การอบผนึกด้วยการปล่อยประจุ (Spark Sintering)

เป็นกระบวนการที่รวมเอาการอัดขึ้นรูปและการอบผนึกมากระทำไปพร้อมกัน เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปและอบผนึกให้ผงโลหะติดกันเป็นเนื้อเดียวนั้นประมาณ 12 – 15 วินาที การทำให้ผงโลหะประสานติดกันจะอาศัยการปล่อยประจุ (spark) ของไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงซึ่งปล่อยมาจากกลุ่มตัวเก็บประจุ (capacitor bank) การปล่อยประจุจะทำผิวของโลหะเย็นเป็นสะเก็ดติดกันเป็นแท่งเหมือนกับวิธีการอบผนึกที่ได้กล่าวมาแล้ว ใช้แรงจากไฮดรอลิกกดลงบนผงโลหะซึ่งจะทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ค่าสูงถึงค่าที่ต้องการ ลักษณะการทำงานของกระบวนการ การติดตั้งหัวตอกเจาะ และแบบดาย ของเครื่องอบผนึกด้วยการปล่อยประจุ กระบวนการนี้นิยมใช้กับผงโลหะจำพวกอะลูมิเนียม ทองแดง ทองบรอนซ์ เหล็ก และเหล็กกล้าไร้สนิม

2.2.7 ผลิตภัณฑ์จากโลหะผง (Metal Powder Products)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำโลหะผงไปขึ้นรูปนั้นมีมากมายซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักร และเครื่องใช้ต่าง ๆ จะผลิตออกมาในลักษณะชิ้นส่วนสำเร็จโดยไม่ต้องนำไปขึ้นรูปหรือแต่งผิวด้วยเครื่องมือกลอีกถึงมีก็เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย

แผ่นกรอง (filters) แผ่นกรองที่ทำจากโลหะผงจะมีความแข็งแรงและทนทานต่อการขัดสีได้สูงกว่าที่ทำจาก เซรามิก สามารถทำให้มีความพรุนได้ถึง 80%

มีดกลึงและแบบดาย (cutting tools and dies) ที่ทำจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ ซึ่งทำได้โดยการนำผง ทั้งสแตนคาร์ไบด์ มาผสมกับผงโคบอลต์ แล้วอัดขึ้นรูปตามวิธีที่กล่าวมาแล้ว

เฟืองและใบพัดของปั๊ม (gears and pump rotors) ส่วนมากทำจากผงเหล็กผสมกับผงกราไฟต์เมื่ออัดขึ้นรูปแล้วเนื้อจะมีความพรุนประมาณ 20% หลังจากทำการอบประสานแล้วนำไปแช่ในน้ำมันก่อนนำไปใช้งาน จะช่วยลดเสียงดังในขณะใช้งานได้

แปรงถ่าน (brushes) ที่ผลิตขึ้นมามีกับมอเตอร์จะใช้ผงทองแดงผสมกับผงกราไฟต์ หรืออาจเติมผงตะกั่วและดีบุกลงไปเล็กน้อยเพื่อช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ

แบริ่ง (bearing) ส่วนมากผลิตจากผงทองแดงผสมกับผงดีบุกและผงกราไฟต์ หลังจากอัดขึ้นรูปและอบผนึกเรียบร้อยแล้ว จะนำไปแต่งให้ได้ขนาดจากนั้นนำไปแช่ในน้ำมัน ภายใต้สภาพสุญญากาศ ความพรุนของเนื้อชิ้นงานสามารถทำได้ถึง 40%

แม่เหล็กถาวร (permanent magnets) ทำจากโลหะผสมหลายชนิดผสมกัน ได้แก่ ผงเหล็กผสมกับ ผงอะลูมิเนียม ผงนิกเกิล และผงโคบอลต์ ในกรณีของแม่เหล็กอัลนิโก (alnico magnets) จะใช้ผงโลหะแค่ 2 ชนิดเท่านั้น คือ ผงเหล็กกับผงอะลูมิเนียม

ชิ้นส่วนสำหรับงานไฟฟ้า (electrical parts) งานขึ้นรูปด้วยโลหะผสมเหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตชิ้นส่วนสำหรับงานไฟฟ้า เนื่องจากในการผลิตสามารถนำผงโลหะชนิดต่าง ๆ มาผสมคลุกเคล้ากันโดยที่ยังสามารถรักษาสมบัติที่ดีทางไฟฟ้าไว้ได้ นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงให้มีความทนทานต่อการสึกหรอ ทนความร้อน ไปพร้อม ๆ กับการเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ผงโลหะที่นิยมใช้ทำชิ้นส่วนพวกนี้ประกอบด้วย ผงทองแดงผสมผงทังสเตน ผงทังสเตนผสมผงโคบอลต์ ผงทังสเตนผสมผงเงิน ผงเงินผสมผงโมลิบดีนัม และผงทองแดงผสมผงนิกเกิลกับผงทังสเตน เป็นต้น

2.2.8 ข้อดีของกรรมวิธีทางโลหะผสม

1. จำกัดการใช้กระบวนการทางกล
2. ลดปริมาณเศษวัสดุที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน
3. สามารถควบคุมการผสมธาตุเจือต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลายตามความต้องการ
4. ชิ้นงานที่ได้มีสภาพผิวที่ดีเยี่ยม
5. ชิ้นงานที่ได้สามารถนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเสริมคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรง หรือ ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ
6. ชิ้นงานที่ได้สามารถควบคุมขนาดของโพรงภายในได้สำหรับนำไปใช้งานกรณี ใช้เป็น Self-Lubricant Bearing หรือ ชิ้นส่วนของระบบกรอง
7. สามารถผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะซับซ้อนได้ในขณะที่ด้วยกรรมวิธีการผลิตอื่น ๆ ไม่สามารถทำได้
8. เหมาะสำหรับการผลิตที่ต้องการอัตราการผลิตที่สูงมากๆ
9. ชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธีนี้มีความสม่ำเสมอทางคุณสมบัติต่างๆ
10. ต้นทุนการผลิตมีความเหมาะสม

ดังกล่าวไปแล้วข้างต้นเราอาจสรุปการเปรียบเทียบ ข้อดี-ข้อเสียของชิ้นงานที่ผลิตได้จากกรรมวิธีการผลิตต่างๆ และกรรมวิธีทางโลหะผสมได้ตามตารางที่ 2.1-2.2

ตารางที่ 2.1

การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแต่ละวิธีการผลิต

วิธีการผลิต	ขนาดและมิติ	ความแข็งแรง	สภาพผิว	Production ability
Die Cast	1	1	3	2
Plastic	1	-	3	2
Punching Press	2	2	1	3
Cast Metal	-	1	2	1
Machining	3	2	2	1
Cold Forging	2	2	-	1
Hot Forging	-	3	-	-
Powder Metallurgy	2	1	2	3

3..... ดี

2..... ปานกลาง

1..... แย่

ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K001.html>

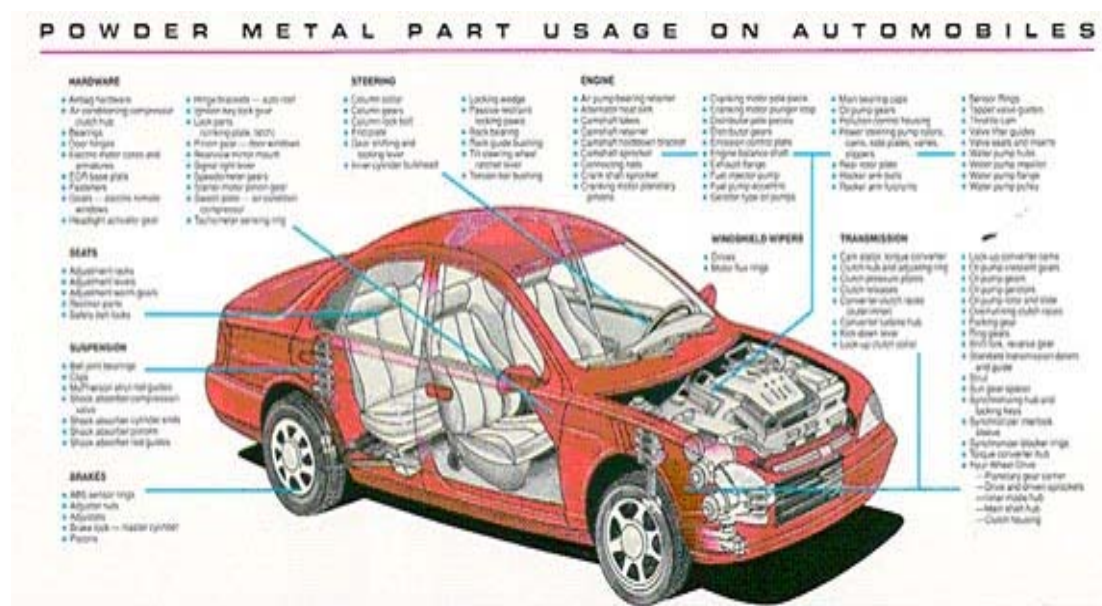
ตารางที่ 2.2

สมบัติทางกลของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยผงโลหะที่มีความหนาแน่นต่างกัน เปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ได้จากการรีดร้อน

Material	Tensile strength, MPa	Tensile as Percent of Wrought Iron Tensile	Elongation in 50 mm (2 in)	Elongation as Percent of Wrought Iron Elongation
Wrought Iron, Hot Rolled	331	100%	30%	100%

Material	Tensile strength, MPa	Tensile as Percent of Wrought Iron Tensile	Elongation in 50 mm (2 in)	Elongation as Percent of Wrought Iron Elongation
Powder Metal, 84 % density	214	65%	2 %	6%
Powder Metal, repressed, 95 % density	283	85%	25%	83%

(ที่มา งานนำเสนอประกอบการสอน Dr.Sukangkana Lee)



ภาพที่ 2.7

ชิ้นส่วนโลหะผงที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

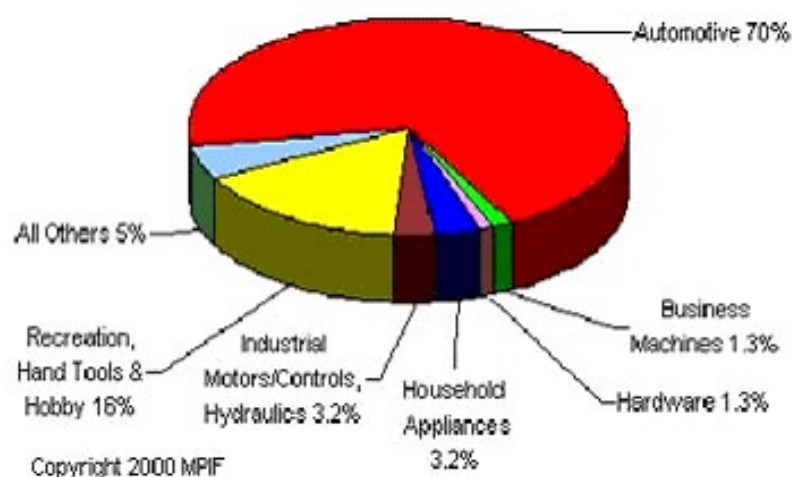
(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K001.html>)

2.2.9 การนำชิ้นส่วนจากกรรมวิธีทางโลหะผงไปใช้งาน

ผลผลิตจากกรรมวิธีทางโลหะผง โดยส่วนใหญ่ได้รับการนำไปใช้เป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยในอุตสาหกรรมยานยนต์ในอเมริกาเหนือ อาจกล่าวได้ว่า

ชิ้นส่วนที่ผลิตได้จากกรรมวิธีทางโลหะผงปริมาณสูงถึง ร้อยละ 70 เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นเพื่ออุตสาหกรรมยานยนต์ โดยที่ในปี 2001 รถยนต์แบบครบครันที่ผลิตขึ้นในอเมริกาเหนือ นั้น มีปริมาณของชิ้นส่วนที่ผลิตจากกรรมวิธีทางโลหะผงคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 17 กิโลกรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 10.9 กิโลกรัม ในปี 1990

ในปัจจุบันนี้ ชิ้นส่วนที่ผลิตจากกรรมวิธีทางโลหะผงได้ก้าวเข้ามามีบทบาทในแวดวงอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เป็นอย่างมาก เนื่องจากข้อได้เปรียบหลายๆ ประการเมื่อเทียบกับกรรมวิธีการผลิตอื่นๆ เช่น การหล่อ การขึ้นรูปทางกล เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของต้นทุนการผลิตที่ลดลงและ รวมถึงน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วน ดังนั้นเมื่อพิจารณาไปในวงการอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ในปัจจุบันจะพบเห็นว่ามีชิ้นส่วนที่ผลิตจากกรรมวิธีทางโลหะผงเป็นส่วนประกอบอยู่โดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็น ด้านยานยนต์ ด้านการเกษตร ด้านการแพทย์ หรือจะเป็นด้านเครื่องมือช่างต่างๆ ก็เช่นกัน



ภาพที่ 2.8

ส่วนแบ่งร้อยละ ของผลิตภัณฑ์จากกรรมวิธีทางโลหะผง

(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K001.html>)

2.2.10 ขนาดของอุตสาหกรรมโลหะผง

อุตสาหกรรมโลหะผงได้รับการคาดหวังว่าจะมีการเติบโตในอัตราที่สูงมากในช่วงเวลาข้างหน้า ทั้งนี้ เนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีทางด้านกระบวนการของการผลิตโลหะผง เช่น Hot Isostatic Pressing และ Powder Injection Molding เป็นต้น ซึ่งทำให้การ

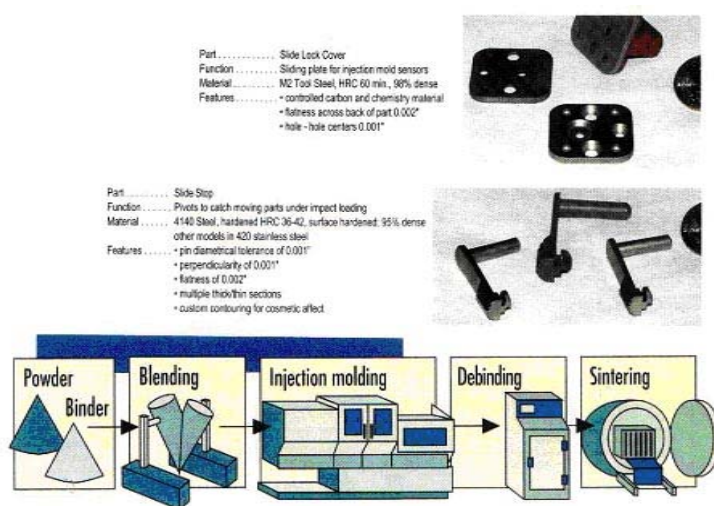
ชิ้นส่วนที่ผลิตได้ ยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมและตอบสนองได้ดียิ่งต่อความต้องการใช้งานที่หลากหลายจากอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ที่นับวันจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ อย่างไม่หยุดยั้ง ในขณะที่ด้วยกรรมวิธีอื่นๆ ไม่สามารถตอบสนองได้ หรือสามารถตอบสนองได้ในเชิงคุณสมบัติแต่ก็ไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์นั่นเอง ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น อุตสาหกรรมโลหะผงจึงนับได้ว่า เป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่สามารถแข่งขันได้ ในตลาดและมีศักยภาพอย่างสูง ในการแข่งขัน ในโลกธุรกิจในปัจจุบัน

2.2.11 MIM

MIM เป็นตัวย่อของ Metal Injection Molding ซึ่งเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะที่เริ่มมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งใน สหรัฐอเมริกา ยุโรป และเอเชียโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ญี่ปุ่น กรรมวิธีนี้พัฒนาขึ้นจาก กรรมวิธี Injection Molding (IM) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปที่ใช้กันมาอย่างยาวนานสำหรับการขึ้นรูปพลาสติก ด้วยข้อดีที่ปรากฏคือ สามารถใช้ผลิตชิ้นงานขนาดเล็ก และมีความเที่ยงตรงสูงและมีปริมาณการผลิตที่สูงมากได้เป็นอย่างดี จึงได้มีความพยายามในการนำกรรมวิธี IM มาใช้กับการขึ้นรูปวัสดุผง (Powder) โดยพัฒนาไปเป็น PIM หรือ Powder Injection Molding ซึ่งเป็นชื่อเรียกโดยรวมสำหรับทั้งกรณี วัสดุผงที่เป็นกลุ่มโลหะและเซรามิกส์

ในการผลิตชิ้นส่วนโลหะจาก MIM นั้น การที่จะฉีดผงโลหะให้ไหลเข้าสู่แบบ (Mold) โดยใช้เพียงผงโลหะแต่อย่างเดียวนั้นเป็นสิ่งที่ไม่อาจกระทำได้อันเป็นผลเนื่องมาจาก คุณสมบัติทั้งทางกลและทางกายภาพของผงโลหะที่ไม่อำนวยต่อการดำเนินการดังกล่าว ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการนำไปขึ้นรูปด้วยกรรมวิธี MIM โดยวัตถุดิบที่ใช้สำหรับ MIM หรือที่เรียกว่า Feedstock จะได้รับการจัดเตรียมขึ้นจาก การนำผงโลหะที่ต้องการไปผสมกับวัสดุประสาน (Binder) ต่างๆ โดยทั่วไป วัสดุประสานเหล่านี้มักจะเป็น ชีผึ้ง (Wax) , โพลีเมอร์ รวมทั้งมีส่วนผสมของ กรดสเตียริก (Stearic Acid) โดยที่วัสดุประสานทั้งหมดดังกล่าวจะมีสัดส่วนโดยประมาณ ร้อยละ 40 โดยปริมาตรของเนื้อวัสดุทั้งหมด ประโยชน์ของวัสดุประสานเหล่านี้ ก็คือ การช่วยยึดเกาะของผง และอุดช่องว่าง (Void) ระหว่างอนุภาคของผงโลหะ และยังช่วยในการหล่อลื่นรวมทั้งเพิ่มความสามารถในการไหล (Flowability) เพื่อให้การฉีดดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์

ขั้นตอนของการผลิตชิ้นส่วนด้วย MIM

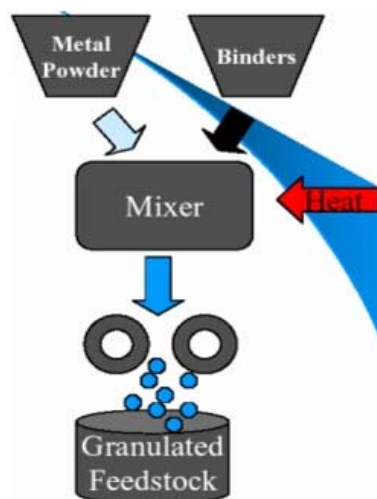


ภาพที่ 2.9

ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนโลหะด้วยกรรมวิธี MIM

(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K002.html>)

1. การผลิต Feedstock



ภาพที่ 2.10

การผลิต Feedstock

(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K002.html>)

เป็นการผลิตวัตถุดิบสำหรับใช้ในการฉีดด้วยเครื่อง IM โดยเป็นการผสม (Blending) ผงโลหะซึ่งมีขนาดเล็กมาก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณระหว่าง 0.1-20 ไมครอน เข้ากับวัสดุประสาน จากนั้นจึงนำส่วนผสมดังกล่าวไปอบด้วยความร้อน ภายหลังการอบก็จะต้อง ดำเนินการทำให้ Feedstock ที่ได้มีรูปร่างค่อนข้างกลม (Granulated) เพื่อให้สะดวกแก่การใช้งาน

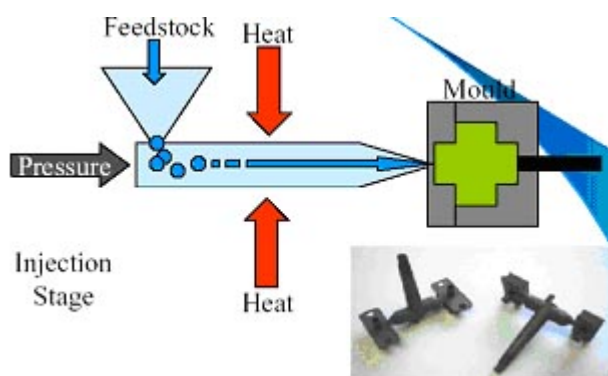


ภาพที่ 2.11

ลักษณะของ Feedstock

(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K002.html>)

2. การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)



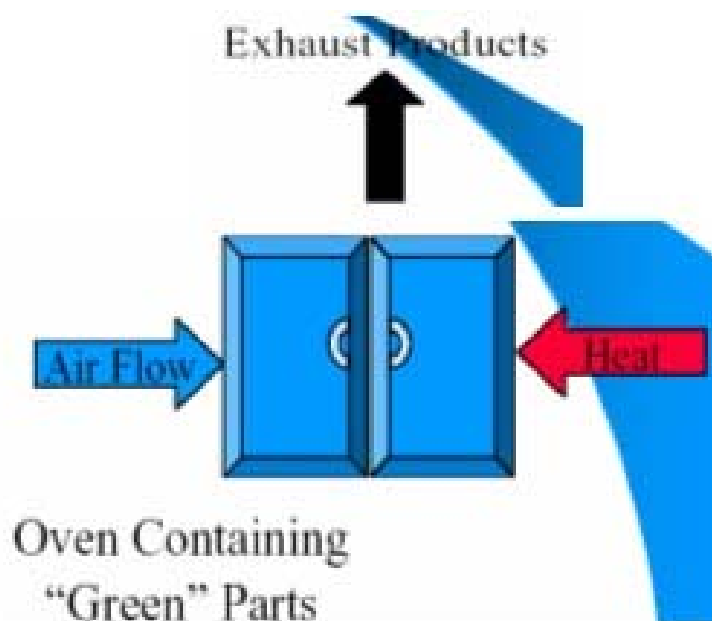
ภาพที่ 2.12

ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป

(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K002.html>)

เป็นขั้นตอนที่ Feedstock ได้รับความร้อนและแรงดันจากเครื่องฉีด แล้ววิ่งเข้าสู่โพรงช่องว่างภายในแบบ (Mold Cavity) ภายหลังจากที่ปล่อยให้เย็นตัวและแข็งตัวแล้วก็จะดัน (Eject) ชิ้นงานออกจากแบบจากนั้นก็จะได้ชิ้นงานที่เรียกว่า Green Part

3. การเผาไล่วัสดุประสาน (Debinding)



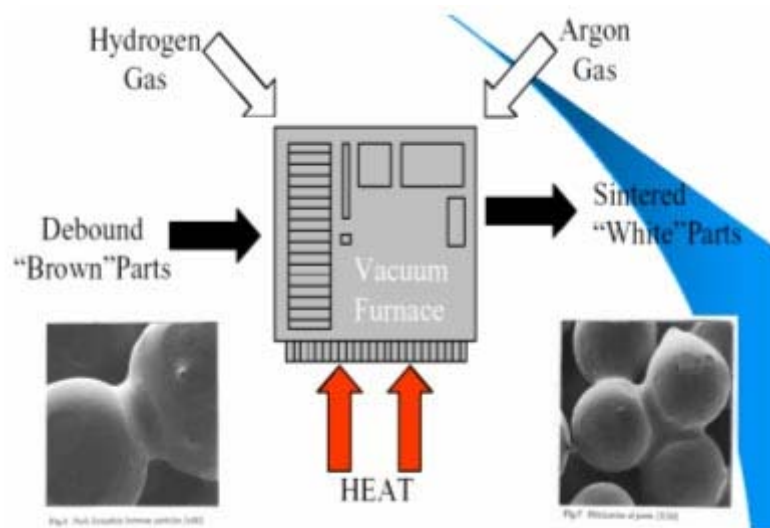
ภาพที่ 2.13

การเผาไล่วัสดุประสาน

(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K002.html>)

ภายหลังจากการฉีดขึ้นรูป เพื่อกำจัดวัสดุประสานออกไปให้หมดก่อนการเผาผนึก (Sintering) ซึ่งวัสดุประสานจะเป็นอุปสรรคสำคัญของการเผาผนึก จึงต้องนำเอา Green Part ที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปมาดำเนินการเผาไล่วัสดุประสานเสียก่อน ซึ่งชิ้นงานที่ได้ภายหลังจากการเผาไล่วัสดุประสานจะเรียกว่า Brown Part

4. การเผาผนึก (Sintering)



ภาพที่ 2.14

การเผาผนึก

(ที่มา <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K002.html>)

การเผาผนึก คือ ขั้นตอนที่ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของผงโลหะรวมทั้งช่องว่างที่เกิดจากการสลายตัวออกไปของวัสดุประสานภายหลังการเผาไล่ตัวประสานเกิดการเชื่อมติดกัน ในขั้นตอนนี้จัดได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ โดยคุณสมบัติทางกลต่างๆ ที่ได้จากชิ้นส่วนโลหะก็จะขึ้นกับความสมบูรณ์ของการเผาผนึกนั่นเอง โดยการเผาผนึกที่ดี อาจนำมาซึ่งค่าความหนาแน่น (Density) ของชิ้นงานที่สูงถึงร้อยละ 97 ของค่าความหนาแน่นของวัสดุตามทฤษฎี (Theoretical Density)

โดยสรุปของขั้นตอนการขึ้นรูปโลหะด้วยกรรมวิธี MIM นั้นอาจกล่าวได้ว่า MIM อาศัยการอัดขึ้นรูปของ Feedstock ซึ่งมีส่วนผสมของผงโลหะและตัวประสาน (Binder) ในสัดส่วนประมาณ 60/40 ร้อยละโดยปริมาตร Feedstock เมื่อได้รับความร้อนจะมีลักษณะเหนียวซึ่งจะถูกอัดเข้าสู่แม่พิมพ์ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม ชิ้นงานที่ได้จากการอัด (Green Compact) จะมีขนาดและมิติที่ใกล้เคียงกับตัวผลิตภัณฑ์ จากนั้น Green Compact จะได้รับการนำไปดำเนินการเผาไล่ตัวประสานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการเผาผนึก (Sintering) ที่ 1,300-1,400 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนสุดท้าย ข้อได้เปรียบของกรรมวิธีการผลิตแบบ MIM อาจกล่าวได้ดังนี้คือ มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน การลงทุนต่ำ ใช้แรงงานน้อย และชิ้นงานที่ได้มีขนาดและมิติที่แน่นอนตามที่กำหนด ซึ่งไม่จำเป็นต้องผ่าน

กรรมวิธีการขึ้นรูปเชิงกล (Machining) ก่อนนำไปใช้งานอีกแต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม กรรมวิธี MIM ก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้างก็คือ ในเรื่องของขนาดชิ้นงานที่สามารถผลิตได้ยังคงมีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถเผาไล่ตัวประสานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งวัสดุตั้งต้น คือ ผงโลหะและ Feedstock ที่ยังคงมีราคาสูงอยู่

ภายหลังการเผาผนึกแล้ว ก่อนการนำชิ้นส่วนที่ได้ไปใช้งานสำหรับบางชนิดของวัสดุ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 17/4 PH อาจจะต้องนำชิ้นงานที่ได้ไปผ่านกระบวนการภายหลังการเผาผนึกอีก เช่น กรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) เป็นต้น ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของวัสดุดังกล่าว

ข้อดีโดยสรุปของกรรมวิธี MIM

1. พิกัดค่าความเผื่อ (Tolerance) สามารถกำหนดได้ต่ำถึง ± 0.003 นิ้ว/ความยาว 1 นิ้ว หรือมากกว่า
2. ชิ้นส่วนที่ในกรณีที่ต้องใช้หลายขั้นตอนในการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ สามารถผลิตได้โดยง่ายด้วยกรรมวิธี MIM
3. สามารถลดน้ำหนักของชิ้นงานได้โดยการลดความหนาของผนังชิ้นงานลงได้
4. สามารถผลิตชิ้นงานได้มีขนาดใหญ่ถึง 100 กรัมหรือเมื่อพิจารณาโดยมิติ ได้ถึงความยาว 6 นิ้ว
5. ปริมาณการผลิตที่สูงมากกว่า 20,000 ชิ้น/ปี
6. ความหนาแน่นของชิ้นงานที่สูงถึง ร้อยละ 97 ของความหนาแน่นตามทฤษฎีของวัสดุชิ้นงาน
7. ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้มีค่าสูงใกล้เคียงกันกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการรีด/ตี (Wrought)
8. คุณภาพของผิวภายหลังการเผาผนึกที่ดีเยี่ยมโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีทางกลอื่นๆ อีกแต่อย่างใด

อนาคตของ MIM ในประเทศไทย

Metal Injection Molding (MIM) เป็นกรรมวิธีการผลิตชิ้นงานโลหะแบบใหม่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นและได้รับความสนใจนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง สำหรับในประเทศไทยปัจจุบันนี้มีผู้ผลิตขึ้นส่วนโลหะด้วยกรรมวิธีดังกล่าวเพียงไม่กี่รายเท่านั้น ซึ่งดำเนินธุรกิจในการผลิตชิ้นส่วนโลหะขนาดเล็กสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น กล้องถ่ายรูป เครื่องพิมพ์เอกสาร

เป็นต้น จากแนวโน้มการเติบโตที่ปรากฏให้เห็นในปัจจุบันของกรรมวิธีดังกล่าวนี้ รวมถึงข้อได้เปรียบต่างๆ เมื่อพิจารณาร่วมกับกรรมวิธีการผลิตแบบอื่นๆ พบว่า ในอนาคตอันใกล้นี้ คาดว่าน่าจะมีผู้ประกอบการอีกหลายรายที่จะให้ความสนใจเข้ามาลงทุนจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะด้วยกรรมวิธี MIM ขึ้นในประเทศไทย

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiment) คือการทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ได้ (Output or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่ควบคุมได้ และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่รบกวนระบบ โดยส่วนมากตัวแปรที่รบกวนระบบ มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละออง อุณหภูมิภายนอก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ ดังนั้น การออกแบบการทดลองจึงส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในส่วนของการออกแบบกระบวนการในด้านการกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบหรือกระบวนการ

2.3.1 ข้อแนะนำในการออกแบบการทดลอง (Guidelines for Designing Experiments)

ข้อแนะนำสำหรับขั้นตอนในการออกแบบการทดลองรวมทั้งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องมี 7 ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. การกำหนดปัญหาที่กำลังพิจารณา
2. การคัดเลือกตัวแปร (Factor : X) และระดับของตัวแปร (Level) การพิจารณาตัวแปรซึ่งคาดว่าจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการ จำเป็นที่จะต้องแยกให้เห็นความแตกต่าง (โดยภาพรวม) ของตัวแปรที่มีอยู่ว่าเป็น ตัวแปรของการออกแบบ (Design Factors) หรือ ตัวแปรรบกวน (Nuisance Factors) อาจมีผู้จำแนกชนิดของตัวแปรออกเป็น 3 ประเภทคือ ตัวแปรของการออกแบบ (ตัวแปรซึ่งถูกคัดสรรสำหรับการศึกษาในการทดลอง) นอกจากนี้ตัวแปรใดซึ่งอาจส่งอิทธิพลต่อผลตอบสนอง แต่ไม่ได้อยู่ในความสนใจในขณะนั้น มักจะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่ (Held-Constant Factors) ตัวแปรต่างๆ เหล่านี้สามารถถูกขจัดความแปรปรวนได้โดยการใช้การ

ออกแบบการทดลองแบบสุ่มในรุ่นนั้นๆ (Randomised Block Design) เพื่อลดอิทธิพลดังกล่าว นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ระบบปัญหา ตัวแปรชนิดที่สองคือ ตัวแปรรบกวน (Nuisance Factors) ได้ถูกจำแนกออกเป็นประเภทย่อยต่างๆ ได้ดังนี้คือ ตัวแปรรบกวนที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) ตัวแปรรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable or Noise Factors) ตัวแปรรบกวนที่สามารถควบคุมได้จะถูกกำหนดโดยผู้ทำการทดลอง อย่างไรก็ตามตัวแปรรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ เราสามารถนำวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance, ANCOVA) มาใช้ในการศึกษาผลกระทบอีกทางหนึ่งได้

3. การคัดเลือกผลตอบสนองที่ต้องการ (Response Variable: Y) โดยทั่วไปมักพิจารณาการศึกษากรณีหนึ่งผลตอบสนอง นอกจากนี้ความสามารถในการวัดค่าผลตอบสนองเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญ หากต้องการลดผลกระทบดังกล่าวสามารถทำได้ โดยการใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่เพิ่มขึ้น

4. การคัดเลือกวิธีการทดลอง (Replication, Randomisation and Blocking) ต้องกำหนดระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบที่สอดคล้องกับขนาดของความเปลี่ยนแปลง (Magnitude) อันจะเกิดขึ้นกับผลตอบสนองที่ได้รับจากการทดลองอีกทางหนึ่งด้วย

5. การดำเนินการทดลองและบันทึกข้อมูล การดำเนินการทดลองควบคู่ไปกับการตรวจจับกระบวนการ ให้ตรงตามแผนงานที่ได้วางไว้ล่วงหน้าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ความผิดพลาดในการดำเนินการทดลองจะส่งผลเสียต่อการวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้ถูกนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ผล และบทสรุปต่างๆ ถ้าการออกแบบมีความถูกต้อง การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อย่างไรก็ตาม วิธีการทางสถิติเป็นเพียงข้อแนะนำที่มีความน่าเชื่อถือที่เกิดขึ้นจากข้อมูลของการทดลอง มิใช่ข้อสรุปที่ถูกต้องอย่างสมบูรณ์ของผลกระทบจากตัวแปรของการออกแบบกับผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาศึกษาในขณะนั้น

7. การสรุปผลการทดลอง ผู้ทำการทดลองต้องทำการสรุปผลที่สามารถปฏิบัติจริงได้ วิธีการนำเสนอในรูปแบบกราฟจึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมในการอธิบายต่อผู้ปฏิบัติงานต่อไป นอกจากนี้การทดสอบเพื่อยืนยัน (Followed-up Runs or Confirmation Testing) ผลควรจะถูกระทำเพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้น

2.3.2 ทากูชิ (Taguchi method)

ทากูชิ มีต้นกำเนิดมาจากความพยายามในการปรับปรุงคุณภาพแนวใหม่ ที่มาจากการออกแบบระบบที่ดี มากกว่าการสุ่มตรวจทั่วไป ในขณะที่มีเงื่อนไขหรือทรัพยากรที่จำกัด ถูก

คิดค้นขึ้นมาในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เสนอโดยวิศวกรชาวญี่ปุ่นชื่อ ดร.เกนอิชิ ทากูชิ (Genichi Taguchi) ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในวงการอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น ดร.ทากูชิ ได้ให้ความเห็นไว้ว่า ค่าเสียหาย (Loss) เกิดขึ้นได้ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ มีสมบัติหรือลักษณะผิดแผกไปจากค่าเป้าหมาย ดังนั้นกุญแจสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการคือ การทำให้ความเสียหายมีค่าน้อยที่สุด

ทากูชิมีกระบวนการที่เรียบง่าย, มีประสิทธิภาพ และมีวิธีคิดที่เป็นระบบ โดยช่วยในการหาตัวแปร และระดับของตัวแปร ที่เหมาะสมต่อระบบ, กระบวนการ หรือการทดลอง โดยทากูชิ ได้ออกแบบ แผนผังการทดลอง (Orthogonal array) ไว้เป็นมาตรฐานสำหรับวิธีการของทากูชิ โดยเฉพาะ เพื่อลดจำนวนครั้งของการทดสอบลงให้เหมาะสมกับกระบวนการ, จำนวนของตัวแปร และปัจจัยต่างๆ ขั้นตอนการทดลองของทากูชิ มีขั้นตอนที่แน่นอน เริ่มจากการกำหนดว่าลักษณะของคุณภาพของการทดลองเป็นอย่างไร หรือผลการทดลองที่ดี มีลักษณะอย่างไร และจะส่งผลถึงการกำหนดตัวแปร, จำนวนระดับของตัวแปรในการทดลอง, งบประมาณ และข้อจำกัดอื่นๆ ด้วย บางที่อาจเรียกขั้นตอนนี้ว่า “ขั้นการระดมความคิด” ต่อจากนั้น จึงกำหนดแผนผังการทดลอง โดยจะทดลองตามแผนผังแบบไหนขึ้นอยู่กับข้อจำกัดจากขั้นตอนที่ผ่านมา ซึ่งระบุไว้ในตารางมาตรฐานของทากูชิ และในแต่ละแผนผังจะมีจำนวนกลุ่มของตัวแปรแตกต่างกันไป

เมื่อได้ผลการทดลอง จึงหากลุ่มของตัวแปร ที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของผลการทดลอง พิจารณาตัวแปรในแต่ละกลุ่ม ที่ให้ค่าของผลการทดลองสูงที่สุด ซึ่งเรียกว่าผลกระทบหลัก (Main effect) บางครั้งอาจใช้ค่าสถิติที่เรียกว่า อัตราส่วนสัญญาณไปยังสิ่งรบกวน (Signal-to-noise ratio, S/N Ratio) เป็นตัววัดได้ กลุ่มตัวแปรไหนให้ค่าผลการทดลองสูงที่สุด กลุ่มของตัวแปรนั้นคือกลุ่มที่ดีที่สุด (Optimum condition) ที่หมายถึงตัวแปรต่างๆ ในกลุ่มนี้สามารถเพิ่มค่าผลการทดลอง หรือคุณภาพของผลการทดลองของเราได้

ต่อมาจึงวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบว่าตัวแปรแต่ละตัวให้ผลที่แตกต่างกันหรือไม่ จากนั้นจึงคำนวณหาผลคาดหวัง (Estimated result) ที่กลุ่มของตัวแปรที่ดีที่สุด หรือเงื่อนไขความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด เพื่อทำการยืนยันผลการทดลอง ในขั้นตอนสุดท้ายต่อไป