

รายงานวิชาการ

เทคโนโลยีการผลิตโลหะดีบุกที่มีมูลค่าสูง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

รายงานวิชาการ

เทคโนโลยีการผลิตโลหะดีบุกที่มีมูลค่าสูง

ฉวีวรรณ จันท์เณร

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
นายวิษณุ ทับเที่ยง

จัดพิมพ์โดย กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ (662) 202 3608 โทรสาร (662) 202 3609
พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2561
จำนวน 20 เล่ม

ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม

ฉวีวรรณ จันทร์เนร.

เทคโนโลยีการผลิตโลหะดีบุกที่มีมูลค่าสูง /

โดย ฉวีวรรณ จันทร์เนร. กรุงเทพฯ :

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2561.

50 หน้า : ภาพประกอบ : ตาราง ; 30 ซม.

รายงานวิชาการ

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมดีบุกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากดีบุกเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญเป็นจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรมแผ่นเหล็กวิลาส (Tin Plate) ซึ่งใช้ในการผลิตกระป๋องบรรจุอาหาร อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี (Solder) ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมแบร้ง (Bearing) โดยเฉพาะ Babbitt Bearing ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก พลวง ทองแดง และอาจมีตะกั่วผสมด้วยเล็กน้อย สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์/เครื่องจักรกล อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พิวเตอร์ (Pewter) ที่ใช้เป็นเครื่องใช้/เครื่องประดับตกแต่ง/ของที่ระลึก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศประสบปัญหาขาดแคลนแร่ดีบุกคุณภาพสูงในประเทศ เนื่องจากข้อจำกัดของการขยายพื้นที่ทำเหมืองแร่ดีบุกในประเทศ ส่งผลให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศต้องแสวงหาและนำเข้าแร่ดีบุกจากแหล่งใหม่ ๆ ซึ่งมีคุณภาพ และองค์ประกอบที่แตกต่างกัน และในบางครั้งจำเป็นต้องนำเข้าดีบุกแท่ง (Tin Ingot) มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อรองรับวัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงไป ลดของเสียที่เกิดขึ้นและหมุนเวียนกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบให้มากที่สุด รวมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูง เพื่อต่อยอดและขยายธุรกิจให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก

รายงานฉบับนี้ จึงได้ศึกษา รวบรวม และจัดทำองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่ และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง โดยใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลวิชาการที่เป็นที่ยอมรับทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลให้หน่วยงานภาครัฐและภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ทราบถึงเทคโนโลยีการผลิตดีบุกและผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงที่สำคัญซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง ส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศ รวมทั้งส่งเสริมและพัฒนากลุ่มการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูงของอุตสาหกรรมโลหการในประเทศ ตลอดจนเป็นเอกสารเผยแพร่เพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจให้แก่ นักลงทุน ผู้ประกอบการ นักวิชาการ และผู้ที่สนใจในเรื่องเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง โดยเทคโนโลยีการผลิตดีบุกครบวงจรตั้งแต่การผลิตดีบุกจากแร่ การผลิตดีบุกบริสุทธิ์ และการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงที่สำคัญซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) เทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่

การผลิตดีบุกจากแร่หรือการถลุงดีบุกจากแร่ (Tin Smelting) ใช้เตาถลุงอุณหภูมิสูง 1,300 – 1,400 องศาเซลเซียส ซึ่งมี 4 แบบ ได้แก่ เตาอน (Reverberatory Furnace) เตาตั้ง (Blast Furnace) เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) และเตาหมุนแบบสั้น (Short Rotary Furnace) สำหรับประเทศไทยจะใช้เตาอน (Reverberatory Furnace) ในการถลุงแร่ดีบุกที่อุณหภูมิสูง 1300 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำโลหะดีบุกหรือที่เรียกว่า Crude Tin ซึ่งมีดีบุกประมาณ 98% สำหรับส่งไปทำให้เป็นดีบุกบริสุทธิ์ต่อไป (Refining)

สำหรับตะกั่วที่เกิดขึ้นจากการถลุงแร่ดีบุก (No.1 Slag) จะถูกนำไปถลุงในเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace, EAF) เพื่อให้ได้เป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและเหล็ก (Hardhead) ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก สำหรับตะกั่วที่เกิดขึ้นจากการถลุง No.1 Slag กรณีมีแทนทาลัมเพนตอกไซด์ (Ta_2O_5) เป็นองค์ประกอบ จะถูกนำไปถลุงในเตา EAF

เพื่อให้มีความบริสุทธิ์ของ Ta_2O_5 เพิ่มขึ้น และส่งจำหน่ายเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแทนทาลัม (Ta) ต่อไป สำหรับตะกรันที่ไม่มี Ta_2O_5 เป็นองค์ประกอบ จะถูกส่งไปเผาไหม้ในเตาเผาปูนซีเมนต์

2) เทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์

Crude Tin ที่ได้จากกระบวนการถลุงแร่ดีบุก ซึ่งมีดีบุกประมาณ 98% ต้องถูกส่งไปทำให้เป็นดีบุกบริสุทธิ์ (Refining) ตามชั้นคุณภาพที่กำหนด เพื่อให้สามารถจำหน่ายในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ โดยดีบุกบริสุทธิ์ที่มีการกำหนดราคากลางในการซื้อ-ขายใน London Metal Exchange (LME) มี 2 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.85% และไม่น้อยกว่า 99.9% โดย Crude Tin จะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ในเตากระทะ (Refining Kettle) เพื่อกำจัดสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) ได้แก่ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) และบิสมัท (Bi) เมื่อได้ดีบุกบริสุทธิ์ที่มีชั้นคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดแล้ว ดีบุกบริสุทธิ์หลอมเหลวจะถูกเทลงแม่พิมพ์ (Mold) ให้เป็นแท่ง (Casting) เรียกว่า ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ (Tin Ingot)

3) เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง

ผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงที่สำคัญซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะบัดกรี (Solder) กลุ่มผลิตภัณฑ์ดีบุกบริสุทธิ์สูง (High Purity Electrolytic Tin) ที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.99% กลุ่มผลิตภัณฑ์เม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules) กลุ่มผลิตภัณฑ์ผงดีบุก (Tin Powders) โดยสามารถสรุปเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ ดังนี้

(1) เทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรี (Solder)

โลหะบัดกรี (Solder) มี 2 ประเภท ได้แก่ โลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและตะกั่ว และโลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับทองแดงและเงิน โดยหลอมวัตถุดิบหลักและอาจผสมโลหะอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ตามสัดส่วนมาตรฐานที่กำหนด ในเตากระทะ เมื่อโลหะหลอมละลายรวมกันแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้โลหะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบ หากเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จะถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูปเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ต้องปรับปรุงส่วนผสมใหม่ก่อนถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูป

(2) เทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูง (High Purity Electrolytic Tin)

การผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูงที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.99% (4N Tin) หรือ 99.999% (5N Tin) จะใช้กระบวนการ Electro-refining ในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของดีบุกแท่งที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตดีบุกบริสุทธิ์ โดยใช้เซลล์ไฟฟ้า (Electrolytic Cell) ที่มีขั้วบวก (Anode) เป็นดีบุกแท่งที่ได้กระบวนการดังกล่าว และขั้วลบ (Cathode) เป็นแผ่นบาง (Sheet) ดีบุกบริสุทธิ์สูง 4N หรือ 5N และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier) โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วบวกและขั้วลบที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เป็นกรดซัลฟิวริกเจือจาง (H_2SO_4) และใส่สารเพิ่มแรงตึงผิว (Surfactants) ดีบุกในขั้วบวกจะละลายลงในสารละลาย แล้วไอออนดีบุกดังกล่าวที่อยู่สารละลายจะไปเกาะที่ขั้วลบเกิดเป็นดีบุกที่มีความบริสุทธิ์สูงไม่น้อยกว่า 4N หรือ 5N นำแผ่นขั้วลบมาล้างน้ำ หลอมในเตากระทะ เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณดีบุกและสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) หากมีปริมาณดีบุกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (4N หรือ 5N Sn) ต้องนำไปปรับปรุงคุณภาพใหม่ จนกระทั่งได้ดีบุกบริสุทธิ์สูง

ที่มีชั้นคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เทลงแม่พิมพ์ (Mold) ให้เป็นแท่งหรือก้อนตามความต้องการ เรียกว่า ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง (4N หรือ 5N Tin Ingot)

(3) เทคโนโลยีการผลิตเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules)

การผลิตดีบุกบริสุทธิ์แบบเม็ดหรือเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ จะใช้ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% มาหลอมในเตากระทะ เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะส่งเข้าเข้าพักน้ำโลหะ แล้วปล่อยให้ดีบุกหลอมเหลวไหลผ่านท่อส่งลงสู่รางที่มีการติดตั้งแผ่นเหล็กที่เจาะรูเป็นวงกลม และใช้การสั่นในการทำให้อดีบุกหลอมเหลวกลายเป็นเม็ดขณะที่หยดผ่านรูของแผ่นเหล็ก ซึ่งจะถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็นที่ผสมน้ำยาเพิ่มความแววของโลหะ ได้เป็นเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ นำเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ที่ได้มาเข้าเครื่องอบไล่ความชื้น และลำเลียงเข้าเครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดแยกขนาดเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ตามความต้องการ โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.2 – 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง สำหรับเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปหลอมใหม่

(4) เทคโนโลยีการผลิตผงดีบุก (Tin Powder)

การผลิตดีบุกบริสุทธิ์และดีบุกผสมแบบผงหรือผงดีบุก (Tin Powder) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะการผลิตโลหะบัดกรีแบบกึ่งของเหลวของแข็ง (Solder Paste) จะใช้ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% หรือดีบุกผสม (ประกอบด้วยดีบุกบริสุทธิ์และโลหะบริสุทธิ์อื่น ๆ ตามที่กำหนด) มาหลอมให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะส่งเข้าเครื่องผลิตผงโลหะด้วยการพ่นลมแรงดันสูง (Air Atomizer) หรือเครื่องผลิตผงโลหะด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomizer) เพื่อทำให้อดีบุกหลอมเหลวแตกตัวและกระจายเป็นอนุภาคละเอียด เกิดเป็นผงดีบุก (Tin Powder) นำผงดีบุกที่ได้เข้าเครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดแยกขนาดตามความต้องการ สำหรับผงดีบุกที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปหลอมใหม่ โดยผงดีบุกที่ได้จาก Air Atomizer จะมีขนาดระหว่าง 40 – 200 ไมครอน ขณะที่ผงดีบุกที่ได้จาก Ultrasonic Atomizer จะมีขนาดเล็กกว่าและกลมกว่า โดยมีขนาด 17 – 45 ไมครอน ขึ้นอยู่กับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

จากการศึกษาข้อมูลราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดีบุกจาก Website ชื่อ-ขายสินค้าที่มีการเผยแพร่พบว่า ผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์เท่ากันแต่มีลักษณะเฉพาะที่สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง จะมีราคาจำหน่ายโดยเปรียบเทียบสูงกว่าผลิตภัณฑ์ดีบุกทั่วไป เช่น ผงดีบุกกับดีบุกแท่งบริสุทธิ์ 99.9% เป็นต้น นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีลักษณะเฉพาะที่สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่องจะมีราคาจำหน่ายสูงมาก เนื่องจากมีผู้ผลิตที่แข่งขันในตลาดน้อยราย เช่น เม็ดดีบุกบริสุทธิ์สูง 99.999% (5N Tin Granules) เป็นต้น ซึ่งหากมีการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศควบคู่ไปกับการแสวงหาแหล่งแร่ดีบุกคุณภาพสูงจากต่างประเทศ รวมถึงแหล่งวัตถุดิบทดแทนที่ได้จากการรีไซเคิลขยะหรือของเสียที่มีดีบุกเป็นองค์ประกอบ จะส่งผลให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการเป็นฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงในภูมิภาคอาเซียน สามารถรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ ได้ ซึ่งการศึกษานี้ได้จัดทำข้อเสนอแนะในการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศ โดยแบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการแสวงหาแหล่งวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมดีบุก โดยส่งเสริมการแสวงหาแหล่งแร่ดีบุกในต่างประเทศที่มีศักยภาพสูง และสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศ เพื่อเป็นวัตถุดิบให้แก่อุตสาหกรรมดีบุกในประเทศ รวมทั้งส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลขยะหรือของเสียที่มีดีบุกเป็นองค์ประกอบ และผลักดันสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ เพื่อเป็นวัตถุดิบ

ให้แก่อุตสาหกรรมดีบุกในประเทศ 2) ด้านการส่งเสริมและพัฒนาความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมดีบุก โดยส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิตให้แก่อุตสาหกรรมดีบุก และส่งเสริมให้เกิดการลงทุน/รวมกลุ่มระหว่างอุตสาหกรรมดีบุกและอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน โดยเฉพาะกลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกและผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจากดีบุกที่มีมูลค่าสูง และ 3) ด้านการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยี โดยส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง และผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจากดีบุกที่มีมูลค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ต่อภารกิจของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่	2
2. คุณสมบัติและประโยชน์ของดีบุก	3
2.1 คุณสมบัติทั่วไปของดีบุก	3
2.2 ประโยชน์ของดีบุก	3
3. เทคโนโลยีการผลิตดีบุก	7
3.1 เทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่	7
3.2 เทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Refining)	12
4. เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง	15
4.1 เทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรี (Solder)	15
4.2 เทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูง (High Purity Electrolytic Tin)	21
4.3 เม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules)	25
4.4 ผงดีบุก (Tin Powder)	28
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	33
5.1 บทสรุป	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	40

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
5.1 ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดีบุกในตลาดต่างประเทศ	37

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สัมฤทธิ์	4
2.2 ตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่มจากแผ่นเหล็กกล้าส	4
2.3 ตัวอย่างโลหะบัดกรี	5
2.4 ตัวอย่าง Babbitt Bearing	5
2.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ฟิวเตอร์	6
2.6 ตัวอย่างวัสดุอุดฟันประเภท Amalgam	6
3.1 เตาอน (Reverberatory Furnace)	7
3.2 เตาตั้ง (Blast Furnace)	8
3.3 เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace)	8
3.4 เตาหมุนแบบสั้น (Short Rotary Kiln)	9
3.5 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตดีบุกจากแร่	10
3.6 ดีบุกแท่ง (Tin Ingots)	14
4.1 กระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder)	16
4.2 เครื่องขึ้นรูปโลหะบัดกรีชนิดลูกบอล	17
4.3 เครื่องขึ้นรูปโลหะบัดกรีชนิดแท่งสี่เหลี่ยม	18
4.4 เครื่องขึ้นรูปโลหะบัดกรีชนิดแท่งทรงกระบอก	18
4.5 กระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder)	20
4.6 กระบวนการผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูง 99.99%	22
4.7 ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง 99.99%	25
4.8 เครื่องผลิตเม็ดโลหะ	26
4.9 กระบวนการผลิตเม็ดดีบุกบริสุทธิ์	27
4.10 เม็ดดีบุกบริสุทธิ์	28
4.11 เครื่องผลิตผงโลหะด้วยการพ่นลมแรงดันสูง (Air Atomizer)	29
4.12 เครื่องผลิตผงโลหะด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomizer)	29
4.13 กระบวนการผลิตผงดีบุกผสม (Tin Alloy Powder) สำหรับผลิต Solder Paste	30
4.14 ผงดีบุกที่ได้จากวิธีการพ่นลมด้วยแรงดันสูง (Air Atomization)	32
4.15 ผงดีบุกที่ได้จากวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomization) ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

อุตสาหกรรมดีบุกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ และมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยมาเป็นเวลาหลายทศวรรษ เนื่องจากดีบุกเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญเป็นจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรมแผ่นเหล็กทึบ (Tin Plate) ซึ่งใช้ในการผลิตกระป๋องบรรจุอาหาร อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี (Solder) ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมแบร้ง (Bearing) โดยเฉพาะ Babbitt Bearing ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกพลวง ทองแดง และอาจมีตะกั่วผสมด้วยเล็กน้อย สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์/เครื่องจักรกล อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พิวเตอร์ (Pewter) ที่ใช้เป็นเครื่องใช้/เครื่องประดับตกแต่ง/ของที่ระลึก เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศประสบปัญหาขาดแคลนแร่ดีบุกคุณภาพสูง เนื่องจากแหล่งแร่ดีบุกคุณภาพสูงในประเทศส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ประกอบกับกระแสการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้น ทำให้การขยายพื้นที่ทำเหมืองแร่เป็นไปได้ยาก ส่งผลให้ผู้ประกอบการเหมืองแร่ดีบุกหลายรายหันไปทำธุรกิจอื่นที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า ขณะที่แหล่งแร่ดีบุกในต่างประเทศก็ประสบปัญหาเช่นเดียวกัน ดังนั้น ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศต้องแสวงหาและนำเข้าแร่ดีบุกจากแหล่งใหม่ ๆ ซึ่งมีคุณภาพและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน และในบางครั้งจำเป็นต้องนำเข้าดีบุกแท่ง (Tin Ingot) มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อรองรับวัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงไป และพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูง เพื่อต่อยอดและขยายธุรกิจให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งที่จะศึกษาและจัดทำองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่ และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลให้หน่วยงานภาครัฐและภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ทราบถึงเทคโนโลยีการผลิตดีบุกและผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงที่สำคัญซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศ รวมทั้งเป็นเอกสารเผยแพร่เพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจให้แก่นักลงทุน ผู้ประกอบการ นักวิชาการ และผู้ที่สนใจในเรื่องเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และจัดทำองค์ความรู้เทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่ และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงที่สำคัญซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์
- 2) เพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่ และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงให้แก่หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง นักลงทุน ผู้ประกอบการ นักวิชาการ และผู้ที่สนใจ เพื่อใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) สํารวจ ศึกษา และรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่ และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง โดยใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากการลงพื้นที่สํารวจข้อมูลจากผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลวิชาการที่เป็นที่ยอมรับทั้งในประเทศและต่างประเทศ

2) จัดทำข้อมูลรายละเอียดองค์ความรู้เทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่ และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง ในรูปแบบที่สามารถสร้างความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีดังกล่าวให้แก่หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง นักลงทุน ผู้ประกอบการ นักวิชาการ และผู้ที่สนใจ โดยประกอบด้วยข้อมูลที่สําคัญ ได้แก่ วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สําคัญ กระบวนการผลิต ผลผลิตและผลิตภัณฑ์ และของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและการจัดการ

1.4 ประโยชน์ของการศึกษา

1) เป็นข้อมูลให้หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง รวมทั้งส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศ ตลอดจนประยุกต์ใช้การส่งเสริมและพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูงของอุตสาหกรรมโลหการในประเทศ

2) เป็นเอกสารเผยแพร่เพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจให้แก่ นักลงทุน ผู้ประกอบการ นักวิชาการ และผู้ที่สนใจในเรื่องเทคโนโลยีการผลิตโลหะดีบุกจากแร่ และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง

1.5 ประโยชน์ต่อภารกิจของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

เป็นข้อมูลให้กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) ใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง รวมทั้งส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศ ตลอดจนส่งเสริมและพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูงของอุตสาหกรรมโลหการที่อยู่ในการกำกับดูแลและอุตสาหกรรมต่อเนื่องในประเทศ

บทที่ 2

คุณสมบัติและประโยชน์ของดีบุก

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยข้อมูลคุณสมบัติทั่วไปและประโยชน์ของดีบุก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 คุณสมบัติทั่วไปของดีบุก

ดีบุกเป็นโลหะสีขาวเงิน มีความอ่อนตัวสูง มีความเงางามสวยงาม มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง ทนต่อการเป็นสนิม ไม่ก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย มีคุณสมบัติด้านหล่อลื่นดี และมีคุณสมบัติในการผสมเป็นเนื้อเดียวกับโลหะอื่นได้ดี เช่น โลหะผสมระหว่างดีบุกกับทองแดง หรือที่เรียกว่าสัมฤทธิ์ หรือ สำริด (Bronze) ซึ่งมีการค้นพบมาตั้งแต่ประมาณ 3,500 ปีก่อนคริสตกาล โลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่ว หรือดีบุกกับทองแดงและเงิน สำหรับใช้เป็นโลหะบัดกรี (Solder) เป็นต้น โดยมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล (Barry and Thwaites 1983) ดังนี้

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

— น้ำหนักอะตอม	118.69 g/mol
— โครงสร้างผลึก	β Tin α Tin
	Body-centered Tetragonal Face-centered Cubic
— ความหนาแน่น (ที่ 15 °C)	7.29 g/cm ³
— จุดหลอมเหลว	232 °C
— จุดเดือด	2,625 °C
— ความต้านทานไฟฟ้า (ที่ 0 °C)	300 $\mu\Omega$ cm
— สัมประสิทธิ์การขยายตัว (ที่ 0 °C)	19.9×10^{-6}

คุณสมบัติเชิงกล

— Tensile Strength (ที่ 20 °C)	14.5 MPa
— Shear Strength (ที่ Room temperature)	12.3 MPa
— Young's Modulus (ที่ 20 °C)	49.9 GPa
— Hardness (ที่ 20 °C)	3.9 HB

2.2 ประโยชน์ของดีบุก

ดีบุกถูกนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่าง ๆ กันเป็นจำนวนมาก โดยสามารถแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่สำคัญได้ ดังนี้

1) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสัมฤทธิ์ (Bronze) เพื่อผลิตเป็นเครื่องมือ เครื่องใช้ เครื่องประดับงานศิลปกรรม ศิลปวัตถุ และวัสดุต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม โดยใช้เคลือบแผ่นเหล็ก หรือที่เรียกว่า แผ่นเหล็กวิลาส (Tin Plate) เพื่อผลิตเป็นกระป๋องบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2

3) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโลหะบัดกรีทั้งชนิดที่เป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่ว (Lead Solder) และดีบุกกับทองแดงและเงิน (Lead Free Solder) สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมหม้อน้ำและชิ้นส่วนยานยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

4) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแบร้ง (Bearing) โดยเฉพาะ Babbitt Bearing ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก พลวง ทองแดง และอาจมีตะกั่วผสมด้วยเล็กน้อย สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์/เครื่องจักรกล ดังแสดงในรูปที่ 2.4

5) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพิวเตอร์ (Pewter) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก ทองแดง และพลวง สำหรับใช้ในการผลิตเครื่องใช้ เครื่องประดับตกแต่ง และของที่ระลึก ดังแสดงในรูปที่ 2.5

6) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุอุดฟันประเภท Amalgam ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก เงิน ทองแดง และปรอท สำหรับใช้ในงานทันตกรรม ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สัมฤทธิ์

(ที่มา : <http://www.obertino.com/other-products>)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่มจากแผ่นเหล็กวิลาส

(ที่มา : http://www.lageen.com/page_14908)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโลหะบัดกรี

(ที่มา : <http://th.eoweld.com/solder-wire/tin-lead-solder-wire/solder-wire-60-tin-40-lead-for-electronic.html>)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง Babbitt Bearing

(ที่มา : <https://www.jensenmachine.com/casting-babbitt-bearings-seals.html> และ <https://www.babbittbearingexperts.com/best-babbitt-bearing-repair/>)



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พิวเตอร์

(ที่มา : <https://th.aliexpress.com/w/wholesale-pewter-statue.html>,
<https://www.lelong.com.my/msp33715-pewter-plate-malaysia-cultural-mypewter-X470313-2007-01-Sale-I.htm> และ <https://www.lelong.com.my/msp32143-pewter-tankard-lid-mypewter-X470467-2007-01-Sale-I.htm>)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างวัสดุอุดฟันประเภท Amalgam

(ที่มา : <https://www.alliacedental.ca/visiting-the-dentist/what-are-silver-fillingsdental-amalgam-made-of/>)

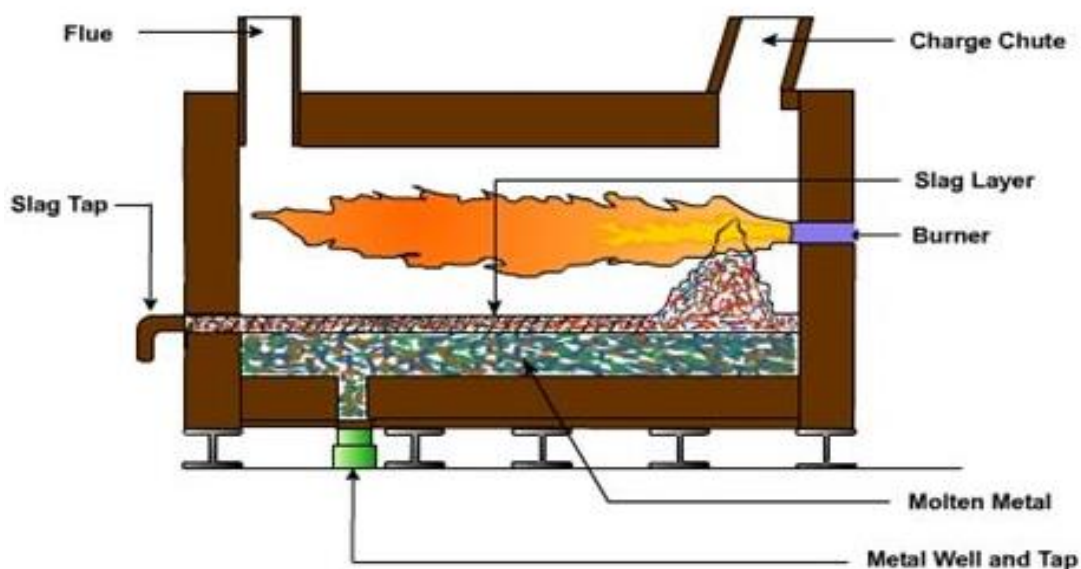
บทที่ 3

เทคโนโลยีการผลิตดีบุก

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยข้อมูลเทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่หรือการถลุงดีบุกจากแร่ (Tin Smelting) และเทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Refining) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

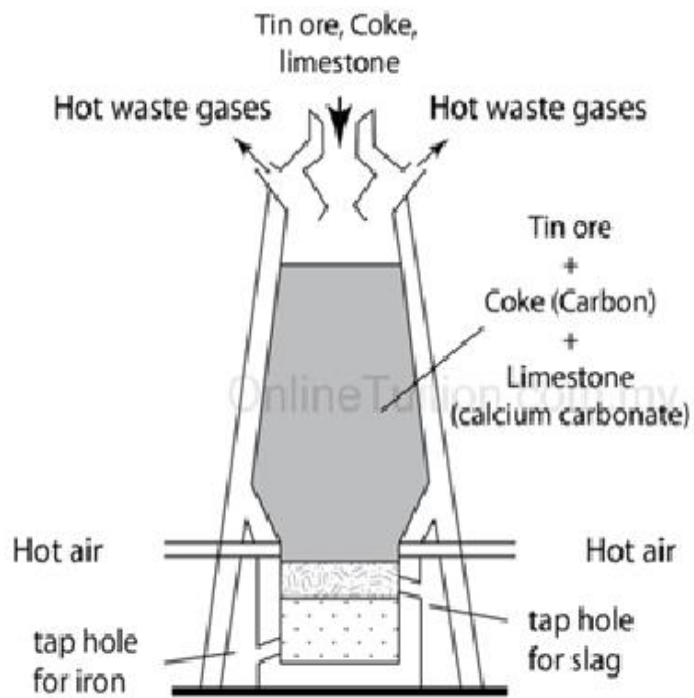
3.1 เทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่

การผลิตดีบุกจากแร่หรือการถลุงดีบุกจากแร่ (Tin Smelting) ใช้เตาถลุงอุณหภูมิสูง 1,300 – 1,400 องศาเซลเซียส ซึ่งมี 4 แบบ ได้แก่ เตาอน (Reverberatory Furnace) เตาตั้ง (Blast Furnace) เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) และเตาหมุนแบบสั้น (Short Rotary Furnace) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ถึง 3.4



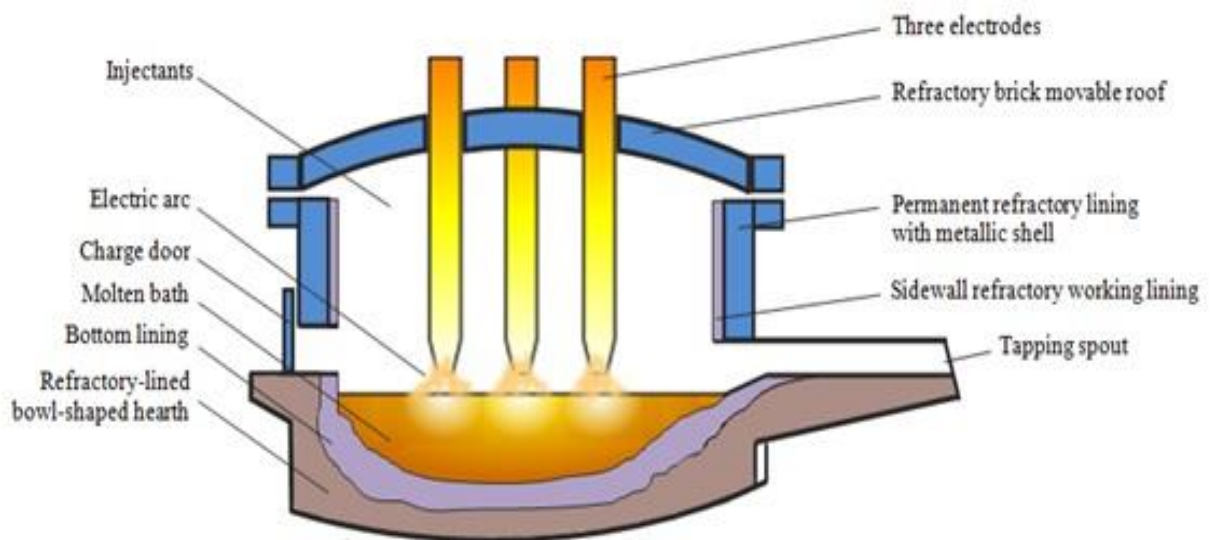
รูปที่ 3.1 เตาอน (Reverberatory Furnace)

(ที่มา : <https://nptel.ac.in/courses/112107144/metalcasting/lecture12.htm>)



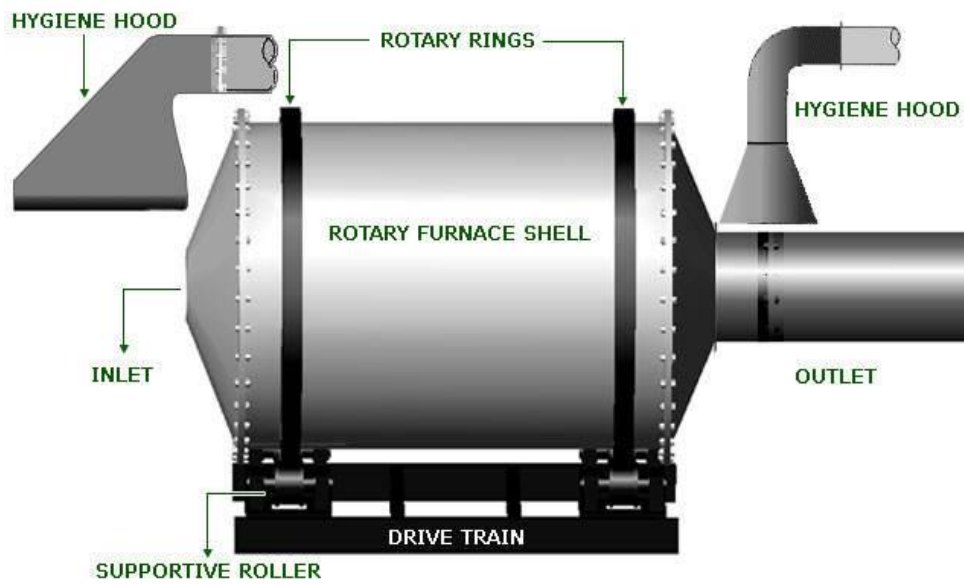
รูปที่ 3.2 เตาตั้ง (Blast Furnace)

(ที่มา : <http://spmscience.blog.onlinetuition.com.my/2017/08/543-extraction-of-metals-from-their.html>)



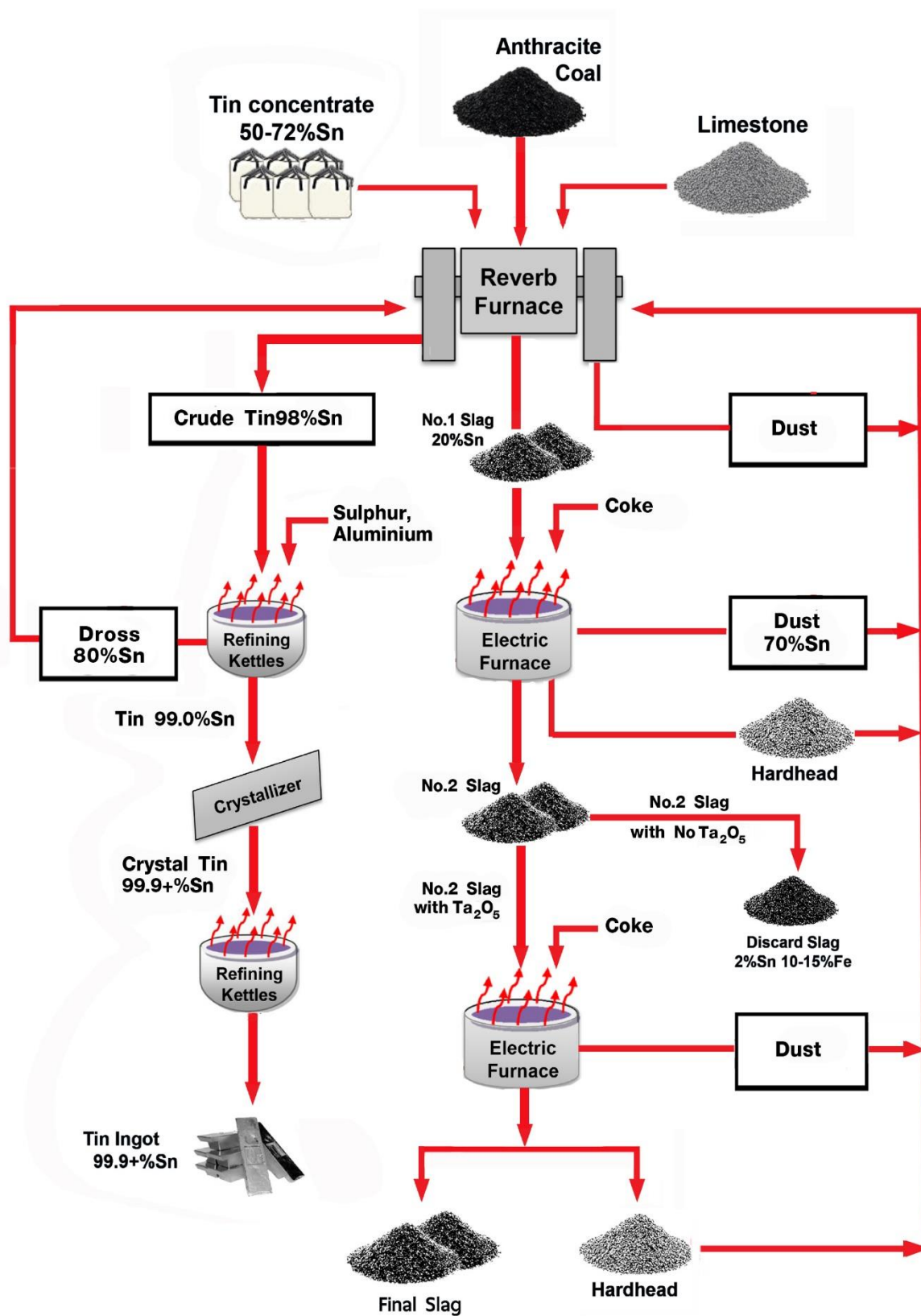
รูปที่ 3.3 เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace)

(ที่มา : <https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-electric-arc-furnace>)



รูปที่ 3.4 เตาหมุนแบบสั้น (Short Rotary Kiln)
(ที่มา : <https://billetreheatingfurnace.wordpress.com>)

สำหรับประเทศไทยเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตดีบุกจากแร่จะใช้เตานอน (Reverberatory Furnace) ในการถลุงแร่ดีบุก และใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace, EAF) ในการถลุงตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุงแร่ดีบุก ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ที่มา : ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุก) โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.5 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตติบูกาจากแร่

3.1.1 กระบวนการถลุงแร่ดีบุกโดยใช้เตานอน (Reverberatory Furnace)

กระบวนการถลุงแร่ดีบุกโดยใช้เตานอน (Reverberatory Furnace) มีขั้นตอนที่สำคัญ (Wright 1982) สรุปได้ดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 3.5)

- 1) เตรียมวัตถุดิบ ซึ่งได้แก่ แร่ดีบุก ถ่านแอนทราไซต์ และหินปูน (Limestone)
- 2) ชักตัวอย่างแร่ดีบุก เพื่อวิเคราะห์ปริมาณดีบุกและสารมลทินในแร่ดีบุก ซึ่งแร่ดีบุกที่จะป้อนเข้าเตานอนจะต้องมีดีบุกไม่น้อยกว่า 50% ซึ่งโดยทั่วไปแร่ดีบุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะมีดีบุก 50-72% เหล็ก 3-15% และสารมลทินอื่น ๆ
- 3) ป้อนแร่ดีบุก ถ่านแอนทราไซต์ (ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณดีบุกในแร่ดีบุก โดยทั่วไปจะใช้ 12-18% ของน้ำหนักแร่ดีบุก) และหินปูน ซึ่งใช้เป็นฟลักซ์ (Flux) เข้าเตานอน
- 4) ถลุงแร่ดีบุก โดยใช้น้ำมันเตาที่ผ่านการอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิงฉีดเข้าไปในเตานอน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้น้ำมันเตา 10-12% ของน้ำหนักแร่ดีบุก และปรับความดันภายในเตานอนให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศภายนอกเล็กน้อย (แร่ดีบุก 8-12 ตัน จะใช้เวลาในการถลุงแร่ดีบุก 10-14 ชั่วโมง) สำหรับปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเตานอนที่อุณหภูมิสูง 1300 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 3.1 ถึง 3.6



- 5) เจาะเอาตะกรัน (Slag) ที่เกิดขึ้นจากการถลุงแร่ดีบุกออกจาก Slag Tap ของเตานอน (ดูรูปที่ 3.1) ปล่องทิ้งไว้ให้เย็นตัว และใช้ Hydraulic Breaker ทำให้แตกเป็นก้อนเล็ก ๆ ก่อนนำเข้าเครื่องบด เพื่อนำไปถลุงในเตาอาร์คไฟฟ้าต่อไป (ดูหัวข้อ 3.1.2)

- 6) เจาะกันเตาเพื่อนำน้ำโลหะดีบุกหรือที่เรียกว่า Crude Tin ซึ่งมีดีบุกประมาณ 98% ออกจากเตานอน เพื่อส่งไปทำให้เป็นดีบุกบริสุทธิ์ต่อไป (Refining) (ดูหัวข้อ 3.2) สำหรับฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถลุงจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตานอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจากฝุ่นดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ (ดังแสดงในรูปที่ 3.5)

3.1.2 กระบวนการถลุงตะกรันโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace, EAF)

การถลุงตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุงแร่ดีบุก ซึ่งมีองค์ประกอบดีบุก 10-25% เหล็ก 15-25% หรือที่เรียกว่า No.1 Slag โดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace, EAF) มีขั้นตอนที่สำคัญ (Wright 1982) สรุปได้ดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 3.5)

- 1) ป้อนตะกรันจากการถลุงแร่ดีบุก (No.1 Slag) และถ่านโค้ก (Coke) ซึ่งใช้เป็นแหล่งคาร์บอน (C) เพื่อทำให้ออกซิเจน (O) ที่ประกอบอยู่ในดีบุก (SnO) และเหล็ก (FeO) ลดลง ในเตาอาร์คไฟฟ้า

2) ถลุงตะกรัน โดยใช้ความร้อนที่เกิดจากความต้านทานของตะกรันที่ถูกปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในปริมาณมหาศาล และความร้อนที่เกิดจากตัวแท่งอิเล็กโทรด SnO และ FeO จะรวมกับคาร์บอน (C) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) เป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและเหล็ก หรือที่เรียกว่า Hardhead ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจาก Hardhead ดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ สำหรับฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถลุงตะกรัน จะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจากฝุ่นดังกล่าว ยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ 70% สำหรับตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุงตะกรัน หรือที่เรียกว่า No.2 Slag สามารถแบ่งการจัดการได้เป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีมีแทนทาลัมเพนตอกไซด์ (Ta_2O_5) เป็นองค์ประกอบ และกรณีไม่มี Ta_2O_5 เป็นองค์ประกอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 3.5)

(1) กรณี No.2 Slag มีแทนทาลัมเพนตอกไซด์ (Ta_2O_5) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งแร่ดีบุกในประเทศส่วนใหญ่จะมี Ta_2O_5 เป็นองค์ประกอบ

- ป้อน No.2 Slag ที่มี Ta_2O_5 เป็นองค์ประกอบ และถ่านโค้ก (Coke) ซึ่งใช้เป็นแหล่งคาร์บอน (C) เพื่อทำให้ออกซิเจน (O) ที่ประกอบอยู่ในดีบุกและเหล็กซึ่งยังมีอยู่ใน No.2 Slag ลดลง ในเตาอาร์คไฟฟ้า

- ถลุง No.2 Slag เพื่อต้องการให้ตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุง No.2 Slag หรือที่เรียกว่า Final Slag มีความบริสุทธิ์ของ Ta_2O_5 เพิ่มขึ้น โดย SnO และ FeO ที่เหลือใน No.2 Slag จะรวมกับคาร์บอน (C) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) เกิดเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและเหล็ก หรือที่เรียกว่า Hardhead ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจาก Hardhead ดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ สำหรับฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถลุงตะกรันจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจากฝุ่นดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ สำหรับตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุง No.2 Slag หรือที่เรียกว่า Final Slag ซึ่งมี Ta_2O_5 เป็นองค์ประกอบ จะถูกส่งเข้าเตาย่างตะกรัน (Slag Dryer)

- ย่าง Final Slag ในเตาย่างตะกรันที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดความชื้น ก่อนบรรจุลงถังและส่งจำหน่ายเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแทนทาลัม (Ta) ต่อไป

(2) กรณี No.2 Slag ไม่มีแทนทาลัมเพนตอกไซด์ (Ta_2O_5) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งแร่ดีบุกจากต่างประเทศส่วนใหญ่จะไม่มี Ta_2O_5 เป็นองค์ประกอบ

No.2 Slag ที่ไม่มี Ta_2O_5 ซึ่งมีดีบุกน้อยกว่า 2% และเหล็ก 10-15% จะถูกส่งไปเผาไหม้ในเตาเผาปูนซีเมนต์

3.2 เทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Refining)

ดีบุกบริสุทธิ์ที่มีการกำหนดราคากลางในการซื้อ-ขายใน London Metal Exchange (LME) มี 2 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.85% และไม่น้อยกว่า 99.9% ดังนั้น Crude Tin ที่ได้จากกระบวนการถลุงแร่ดีบุก ซึ่งมีดีบุกประมาณ 98% ต้องถูกส่งไปทำให้เป็นดีบุกบริสุทธิ์ (Refining) ตามชั้นคุณภาพที่กำหนด เพื่อให้สามารถจำหน่ายในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ โดย Crude Tin จะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ในเตากระทะ (Refining Kettle) เพื่อกำจัดสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) (Wright 1982) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การกำจัดเหล็ก (Fe)

Crude Tin ที่ได้จากกระบวนการถลุงแร่ดีบุกโดยทั่วไปจะมีเหล็กมากกว่า 0.5% ซึ่งมีขั้นตอนการกำจัดเหล็กที่เจอใน Crude Tin ดังนี้

1) ตักแยกดีบุกหลอมเหลวที่ปนเหล็กซึ่งจะลอยอยู่บนผิวหน้าของดีบุกหลอมเหลวหรือที่เรียกว่า Sandy Dross ในเตากระหะ ส่งเข้าเตาอนขนาดเล็ก (Small Reverberatory Furnace) หรือที่เรียกว่า Liquation Furnace

2) ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกเหล็กที่อยู่ในดีบุกหลอมเหลวใน Liquation Furnace โดยเหล็กจะแยกตัวเกิดเป็นตะกั่วที่เรียกว่า Iron Dross ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจาก Iron Dross ดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ

3) พ่นลม (Blow with Air) ดีบุกหลอมเหลวใน Liquation Furnace เพื่อแยกเหล็กส่วนที่เหลือในดีบุกหลอมเหลว โดยเหล็กจะแยกตัวเกิดเป็นตะกั่วที่เรียกว่า Iron Dross ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจาก Iron Dross ดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ

4) นำดีบุกหลอมเหลวที่ผ่านกระบวนการกำจัดเหล็ก ซึ่งจะมีปริมาณเหล็กต่ำกว่า 0.010% ส่งกลับเข้าเตากระหะเพื่อกำจัดสารมลทินอื่น ๆ ต่อไป

3.2.2 การกำจัดทองแดง (Cu)

กรณีที่ Crude Tin มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ มีขั้นตอนในการกำจัดทองแดงที่เจอใน Crude Tin ดังนี้

1) ใส่ผงกำมะถัน (Sulphur) ลงไปในดีบุกหลอมเหลวที่อยู่ในเตากระหะที่อุณหภูมิประมาณ 280-320 °C เพื่อให้เกิดเป็น Cuprous Sulfide (Cu_2S)

2) ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ดีบุกหลอมเหลวในเตากระหะ เพื่อแยก Cu_2S ที่อยู่ในดีบุกหลอมเหลว โดย Cu_2S จะแยกตัวเกิดเป็นตะกั่วที่เรียกว่า Copper Dross ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจาก Copper Dross ดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ

3.2.3 การกำจัดสารหนู (As)

กรณีที่ Crude Tin มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ มีขั้นตอนในการกำจัดสารหนูที่เจอใน Crude Tin ดังนี้

1) ใส่อะลูมิเนียม (Aluminium) ในดีบุกหลอมเหลวที่อยู่ในเตากระหะที่อุณหภูมิประมาณ 300-320 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดเป็น AlAs_3 ลอยแยกตัวออกจากดีบุกหลอมเหลว

2) ตักแยก AlAs_3 ซึ่งจะลอยอยู่บนผิวหน้าของดีบุกหลอมเหลวในเตากระหะ ส่งเข้าเตาอนขนาดเล็ก (Small Reverberatory Furnace) หรือที่เรียกว่า Liquation Furnace

3) ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อให้ AlAs_3 เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เกิดเป็นตะกั่ว Al_2O_3 และ As_2O_3 โดย As_2O_3 จะอยู่ในสถานะก๊าซและถูกส่งไประบบดักจับฝุ่นแบบถุงกรอง (Baghouse Dust Collector) ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปกำจัดอย่างปลอดภัย สำหรับตะกั่ว Al_2O_3 จะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจากตะกั่ว Al_2O_3 ดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ

3.2.4 การกำจัดตะกั่ว (Pb) และบิสมัท (Bi)

เมื่อผ่านการกระบวนการกำจัดเหล็ก ทองแดง และสารหนูในดีบุกหลอมเหลวแล้ว ดีบุกหลอมเหลวที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99% แต่ยังมีตะกั่วและบิสมัทเป็นสารมลทินในดีบุกหลอมเหลว ซึ่งมีขั้นตอนการกำจัดตะกั่วและบิสมัทที่เจือปนในดีบุกหลอมเหลว ดังนี้

1) ป้อนดีบุกหลอมเหลวเข้าเครื่องตกผลึก (Electrothermal Crystallizer) เพื่อแยกตะกั่ว (Pb) และบิสมัท (Bi) ออกจากดีบุกหลอมเหลว โดยใช้หลักการความแตกต่างของการเกิดผลึกโลหะ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ โดยดีบุกบริสุทธิ์จะเกิดผลึกที่อุณหภูมิสูงกว่าโลหะผสมระหว่างดีบุก ตะกั่ว และบิสมัท

2) ป้อนดีบุกบริสุทธิ์ที่ได้เข้าเตากระทุ้ง (Refining Kettle) เพื่อตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพก่อนหล่อเป็นดีบุกแท่งบริสุทธิ์ต่อไป สำหรับโลหะผสมระหว่างดีบุก ตะกั่ว และบิสมัทจะถูกรวบรวมและจำหน่ายเป็นดีบุกผสมต่อไป

3.2.5 การหล่อดีบุกแท่งบริสุทธิ์ (Casting)

เมื่อผ่านขั้นตอนการทำให้ดีบุกบริสุทธิ์แล้ว จะต้องมีการชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณดีบุกและสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) หากมีปริมาณดีบุกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (99.85% หรือ 99.9% Sn) ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ใหม่ เมื่อได้ดีบุกบริสุทธิ์ที่มีชั้นคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดแล้ว ดีบุกบริสุทธิ์หลอมเหลวจะถูกเทลงแม่พิมพ์ (Mold) ให้เป็นแท่ง (Casting) เรียกว่า ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ (Tin Ingot) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ดีบุกแท่ง (Tin Ingots)
(ที่มา : <https://www.siamchemi.com>)

บทที่ 4

เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยข้อมูลเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะบัดกรี (Solder) กลุ่มผลิตภัณฑ์ดีบุกบริสุทธิ์สูง (High Purity Electrolytic Tin) ที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.99% กลุ่มผลิตภัณฑ์เม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules) กลุ่มผลิตภัณฑ์ผงดีบุก (Tin Powders) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ที่มา : ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุก)

4.1 เทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรี (Solder)

โลหะบัดกรี (Solder) มี 2 ประเภท ได้แก่ โลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและตะกั่ว และโลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับทองแดงและเงิน โดยปัจจุบันปริมาณการใช้โลหะบัดกรีที่มีตะกั่วลดลงอย่างต่อเนื่องเนื่องจากความตระหนักถึงอันตรายจากตะกั่วและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ห้ามไม่ให้มีตะกั่วในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ขณะที่ปริมาณการใช้โลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับเทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรีทั้ง 2 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 เทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder)

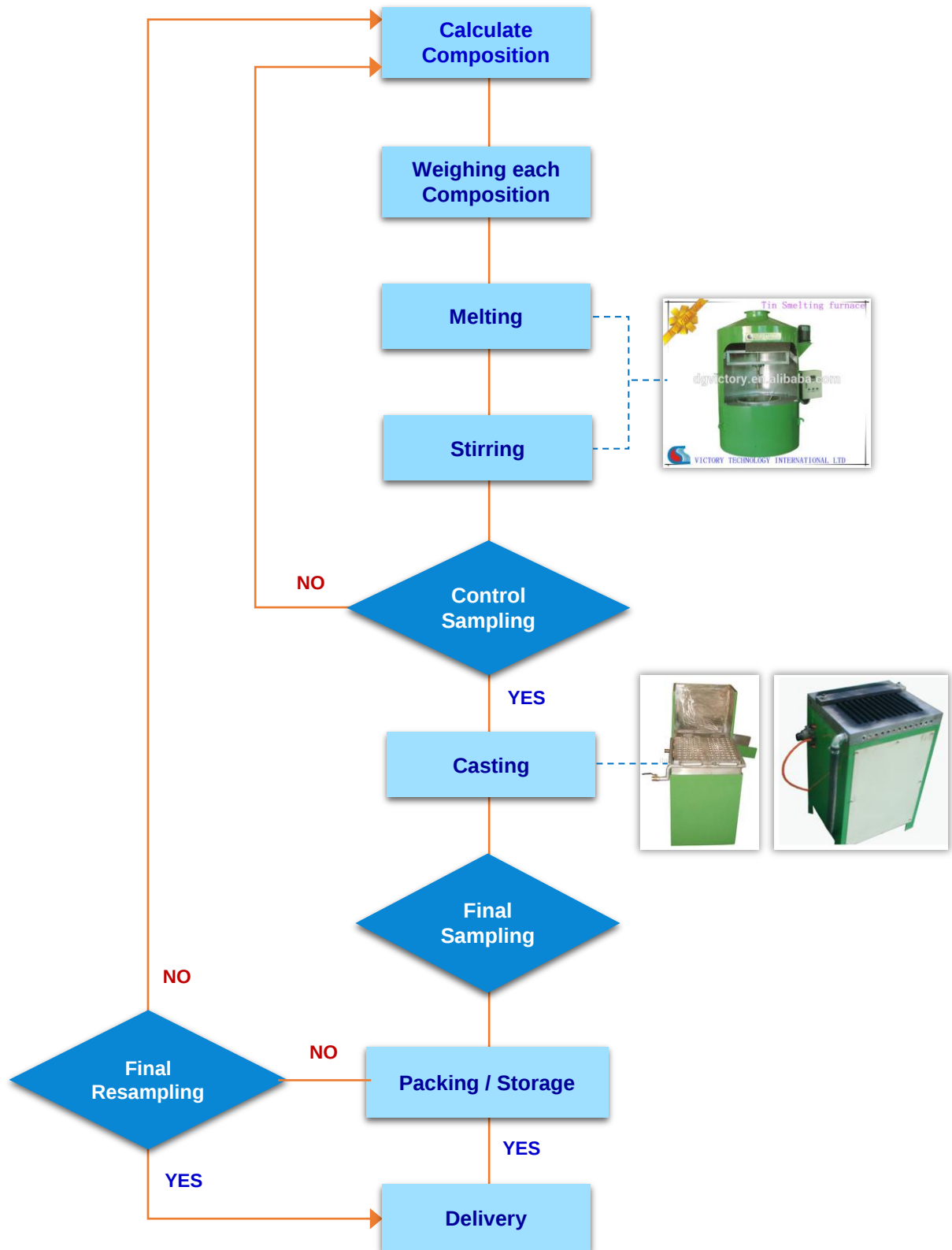
โลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “ตะกั่วบัดกรี” คือ โลหะผสมระหว่างดีบุกและตะกั่ว ซึ่งในบางครั้งมีการผสมธาตุอื่นด้วย เช่น พลวง ทองแดง บิสมัท เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง การไหลตัวของโลหะบัดกรี เป็นต้น โดยมีรายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตดังนี้

1) วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

วัตถุดิบหลัก ได้แก่ ดีบุกบริสุทธิ์ ตะกั่วบริสุทธิ์ ทองแดงบริสุทธิ์ พลวงบริสุทธิ์ และบิสมัทบริสุทธิ์ โดยโลหะบริสุทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9%

2) เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สำคัญ

- เตากระทะ
- เครื่องกวน
- เครื่องขึ้นรูป พร้อมแม่พิมพ์ (Mold)
- Cooling Tower สำหรับสร้างระบบน้ำหล่อเย็นแบบไหลเวียนให้แก่แม่พิมพ์



รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder)
(ที่มา : สรุปและปรับปรุงจากกระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่มีตะกั่วของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุก)

3) กระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.1

(1) ป้อนวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ดีบุกบริสุทธิ์ และตะกั่วบริสุทธิ์ ซึ่งอาจผสมทองแดงบริสุทธิ์ พลวงบริสุทธิ์ หรือบิสมัทบริสุทธิ์ โดยชั่งน้ำหนักโลหะต่าง ๆ ตามสัดส่วนมาตรฐานที่กำหนด ในเตากระทะ

(2) หลอมโลหะผสมในเตากระทะ โดยตั้งอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดหลอมเหลวของดีบุก หรือ ประมาณ 300-350 องศาเซลเซียส เมื่อโลหะหลอมละลายรวมกันแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวน ให้โลหะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

(3) ชักตัวอย่างโลหะผสมหลอมเหลวเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะผสมดังกล่าว หากเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จะถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูปเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ ตรวจสอบคุณภาพ และส่งจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ต้องปรับปรุง ส่วนผสมใหม่เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ก่อนถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูป

4) ผลผลิตและผลิตภัณฑ์

โลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว โดยทั่วไปสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบตามความต้องการ เช่น ลูกบอลทรงกลม ลูกบอลครึ่งวงกลม แท่งสี่เหลี่ยม แท่งทรงกระบอก เป็นต้น ขึ้นอยู่กับเครื่อง ขึ้นรูปและแม่พิมพ์ ในรูปที่ 4.2 ถึง 4.4 นอกจากนี้ ยังสามารถนำโลหะบัดกรีชนิดแท่งทรงกระบอกมาอัด โดยเครื่องอัดขึ้นรูป (Extruder) ผ่าน Die ให้ได้ลักษณะตามความต้องการ หรือนำเข้าสู่กระบวนการการดึง โดยเครื่องดึง (Drawing Machine) เป็นลวด (Wire) ให้ได้ขนาดตามความต้องการ

5) ข้อเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต

ในกระบวนการหลอมโลหะผสมในเตากระทะจะเกิดตะกรันตะกั่ว (Lead Dross) ซึ่งจะรวบรวมและส่งจำหน่ายไปยังอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วต่อไป



รูปที่ 4.2 เครื่องขึ้นรูปโลหะบัดกรีชนิดลูกบอล

(ที่มา : <https://www.globalsources.com/si/AS/Dongguan-Xin/6008824907417/pdtl/Solder-Ball-%20%20%20Casting-Machine/1004292020.htm>)



รูปที่ 4.3 เครื่องขึ้นรูปโลหะบัดกรีชนิดแท่งสี่เหลี่ยม

(ที่มา : https://www.alibaba.com/product-detail/pneumatic-solder-bar-casting-machine_331466170.html?spm=a2700.7724857.normalList.46.2333635fo4EPm2)



รูปที่ 4.4 เครื่องขึ้นรูปโลหะบัดกรีชนิดแท่งทรงกระบอก

(ที่มา : <http://646100.company.weiku.com/item/Automaite-Tin-billet-casting-machine-solder-billet-casting-machine-Tin-anode-casting-machine-20069893.html>)

4.1.2 โลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder)

โลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder) คือ โลหะผสมระหว่างดีบุกกับทองแดงและเงิน ซึ่งในบางครั้งมีการผสมธาตุอื่นด้วย เช่น พลวง บิสมัท เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง การไหลตัวของโลหะบัดกรี เป็นต้น โดยมีรายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตดังนี้

1) วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

วัตถุดิบหลัก ได้แก่ ดีบุกบริสุทธิ์ ทองแดงบริสุทธิ์ เงินบริสุทธิ์ พลวงบริสุทธิ์ และบิสมัทบริสุทธิ์ โดยโลหะบริสุทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9%

2) เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สำคัญ

- เตากระทะ
- เครื่องกวน
- เครื่องขึ้นรูป พร้อมแม่พิมพ์ (Mold)
- Cooling Tower สำหรับสร้างระบบน้ำหล่อเย็นแบบไหลเวียนให้แก่แม่พิมพ์

3) กระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.5

(1) ป้อนวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ดีบุกบริสุทธิ์ ทองแดงบริสุทธิ์ และเงินบริสุทธิ์ ซึ่งอาจผสมพลวงบริสุทธิ์ หรือบิสมัทบริสุทธิ์ โดยชั่งน้ำหนักโลหะต่าง ๆ ตามสัดส่วนมาตรฐานที่กำหนด ในเตากระทะ

(2) หลอมโลหะผสมในเตากระทะ โดยตั้งอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดหลอมเหลวของดีบุก หรือประมาณ 300-350 องศาเซลเซียส เมื่อโลหะหลอมละลายรวมกันแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้โลหะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

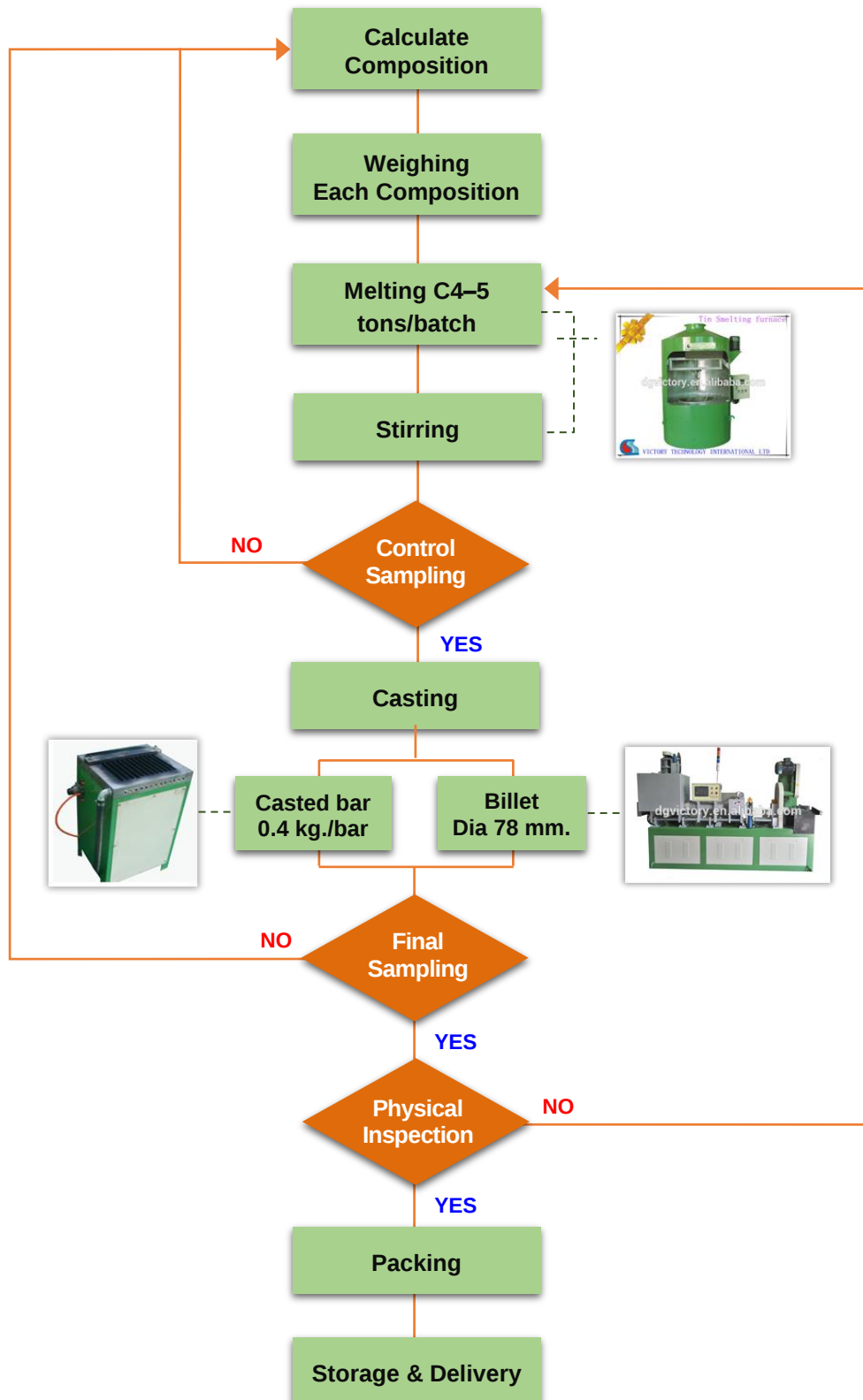
(3) ชักตัวอย่างโลหะผสมหลอมเหลวเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะผสมดังกล่าว หากเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จะถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูปเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ ตรวจสอบคุณภาพ และส่งจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ต้องปรับปรุงส่วนผสมใหม่เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ก่อนถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูปใหม่

4) ผลผลิตและผลิตภัณฑ์

โลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว โดยทั่วไปจะขึ้นรูปเป็นแท่งสี่เหลี่ยมหรือแท่งทรงกระบอกตามความต้องการ ขึ้นอยู่กับเครื่องขึ้นรูปและแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 4.3 - รูปที่ 4.4 นอกจากนี้ ยังสามารถนำโลหะบัดกรีชนิดแท่งทรงกระบอกมาอัดโดยเครื่องอัดขึ้นรูป (Extruder) ผ่าน Die ให้ได้ลักษณะตามความต้องการ หรือนำเข้าสู่กระบวนการการดึงโดยเครื่องดึง (Drawing Machine) เป็นลวด (Wire) ให้ได้ขนาดตามความต้องการ

5) ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต

ไม่มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด



รูปที่ 4.5 กระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder)
(ที่มา : สรุปและปรับปรุงจากกระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่วของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมตีบุก)

4.2 เทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูง (High Purity Electrolytic Tin)

การผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูงที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.99% (4N Tin) หรือ 99.999% (5N Tin) จะใช้กระบวนการโลหวิทยาไฟฟ้า (Electrometallurgical Process) ที่เป็นกระบวนการ Electro-refining ในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของดีบุกแท่งที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตดีบุกบริสุทธิ์ (ดูหัวข้อ 3.2) โดยใช้เซลล์ไฟฟ้า (Electrolytic Cell) ที่มีขั้วบวก (Anode) เป็นดีบุกแท่งที่ได้กระบวนการดังกล่าว และขั้วลบ (Cathode) เป็นแผ่นดีบุกบริสุทธิ์สูง 99.99% หรือ 99.999% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier) โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วบวกและขั้วลบที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เป็นกรดซัลฟิวริกเจือจาง (H_2SO_4) ดีบุกในขั้วบวกจะละลายลงในสารละลาย แล้วไอออนดีบุกดังกล่าวที่อยู่สารละลายจะไปเกาะที่ขั้วลบเกิดเป็นดีบุกที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

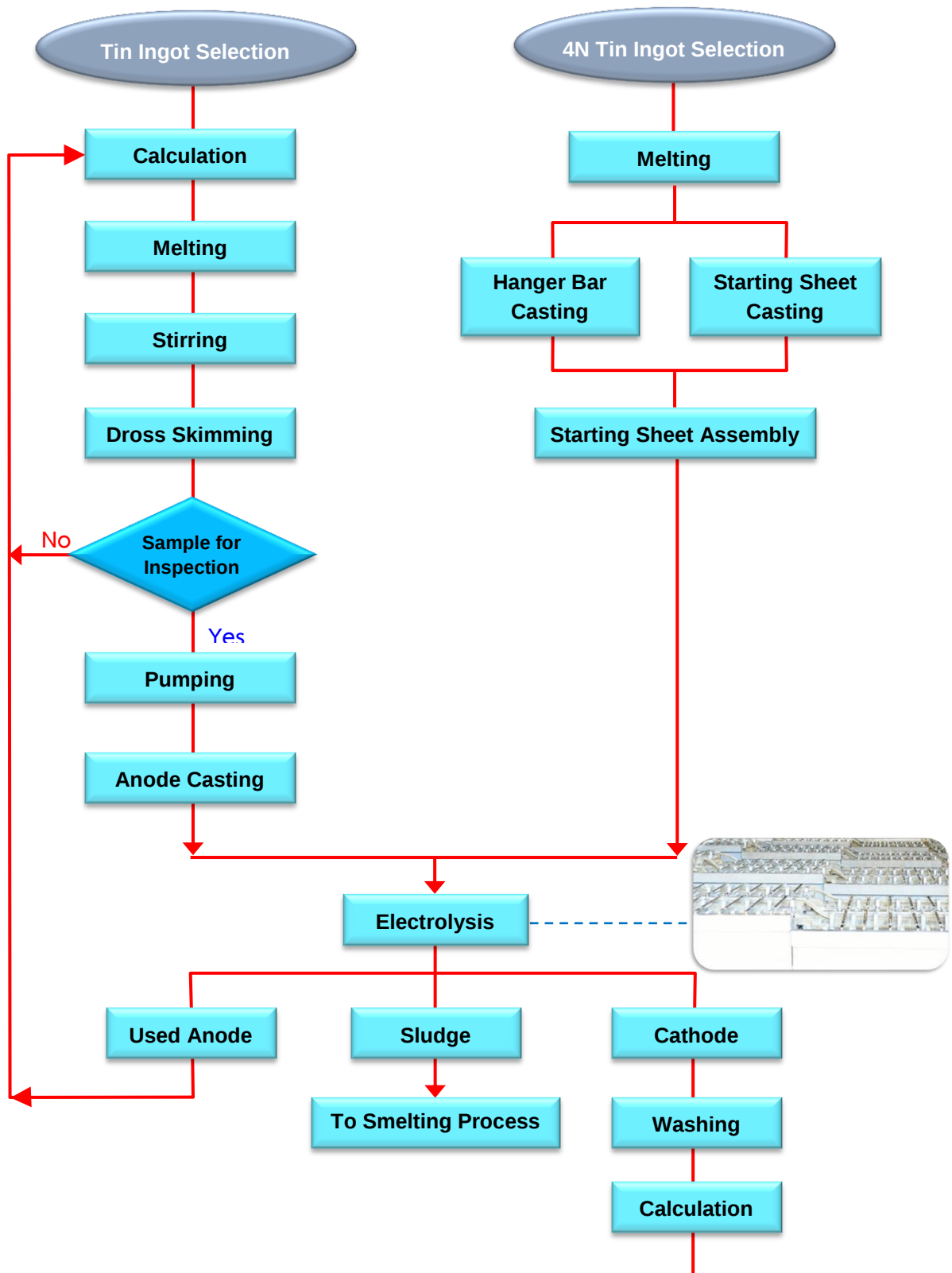
- ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% สำหรับหล่อเป็นขั้วบวก (Anode)
- ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง 99.99% หรือ 99.999% สำหรับหล่อเป็นขั้วลบ (Cathode)
- สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เป็นกรดซัลฟิวริกเจือจาง (H_2SO_4)
- สารเพิ่มแรงตึงผิว (Surfactants) สำหรับใส่ในสารละลาย Electrolyte เพื่อป้องกัน

อนุภาคที่ไม่ละลายในสารละลาย Electrolyte ไปเกาะที่ขั้วลบร่วมกับไอออนดีบุก และลดการเกาะของไอออนดีบุกที่ขั้วลบในลักษณะกิ่งก้านยื่นแผ่ (Dendrites) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรจาก Dendrites ที่ยื่นแผ่จนกระทั่งแตะกับขั้วบวก

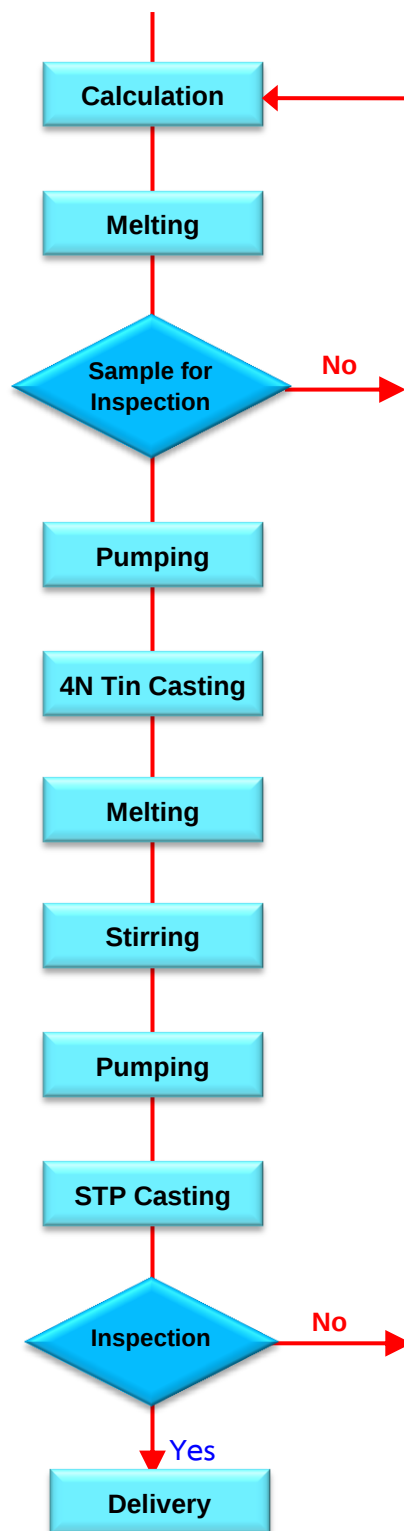
- น้ำบริสุทธิ์ชนิดไม่มีประจุ (DI Water)

2) เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สำคัญ

- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier)
- อ่างสำหรับใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์
- เครื่องวัดค่าไฟฟ้าและความต่างศักย์
- เครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์ชนิดไม่มีประจุ (DI Water)
- เตากระหะ



รูปที่ 4.6 กระบวนการผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูง 99.99%
(ที่มา : สรุปและปรับปรุงจากกระบวนการผลิตดีบุกบริสุทธิ์สูงของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุก)



รูปที่ 4.6 (ต่อ)

3) กระบวนการผลิต (ดังแสดงในรูปที่ 4.6)

(1) นำดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% มาหลอมในเตากระทะ เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตักแยกตะกอน (Tin Dross) ซึ่งจะลอยอยู่บนผิวหน้าของดีบุกหลอมเหลวในเตากระทะออก ชักตัวอย่างดีบุกหลอมเหลวเพื่อตรวจสอบคุณภาพ หล่อเป็นแผ่นสำหรับใช้เป็นขั้วบวก (Anode)

(2) นำดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง 99.99% หรือ 99.999% มาหลอมในเตากระทะ หล่อเป็น Hanger Bar และแผ่นบาง (Sheet) สำหรับประกอบกันเป็นขั้วลบ (Anode)

(3) ใช้กระบวนการ Electro-refining เพื่อทำให้เป็นดีบุกบริสุทธิ์สูง โดยใช้เซลล์ไฟฟ้า (Electrolytic Cell) (ดังแสดงในรูปที่ 4.7) ที่มีขั้วบวก (Anode) เป็นแผ่นดีบุกบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% และขั้วลบ (Cathode) เป็นแผ่นบาง (Sheet) ดีบุกบริสุทธิ์สูง 99.99% หรือ 99.999% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier) โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วบวกและขั้วลบที่จุ่มในสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เป็นกรดซัลฟิวริกเจือจาง (H_2SO_4) และใส่สารเพิ่มแรงตึงผิว (Surfactants) ดีบุกในขั้วบวกจะละลายลงในสารละลาย แล้วไอออนดีบุกดังกล่าวที่อยู่สารละลายจะไปเกาะที่ขั้วลบเกิดเป็นดีบุกที่มีความบริสุทธิ์สูงไม่น้อยกว่า 99.99% หรือ 99.999% ในขั้นตอนนี้จะต้องมีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ ค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลาย Electrolyte เป็นต้น เพื่อให้ได้ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์สูงที่สุด

(4) นำแผ่นขั้วลบที่ได้จากกระบวนการ Electro-refining มาล้างน้ำ หลอมในเตากระทะ เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณดีบุกและสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) หากมีปริมาณดีบุกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (99.99% หรือ 99.999% Sn) ต้องนำไปปรับปรุงคุณภาพใหม่ จนกระทั่งได้ดีบุกบริสุทธิ์สูงที่มีชั้นคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เทลงแม่พิมพ์ (Mold) ให้เป็นแท่ง (Casting) เรียกว่า ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง (4N หรือ 5N Tin Ingot)

4) ผลผลิตและผลิตภัณฑ์

ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง 99.99% หรือ 99.999% โดยทั่วไปจะขึ้นรูปเป็นแท่งหรือก้อนตามความต้องการสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่อไป

5) ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ไม่มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด

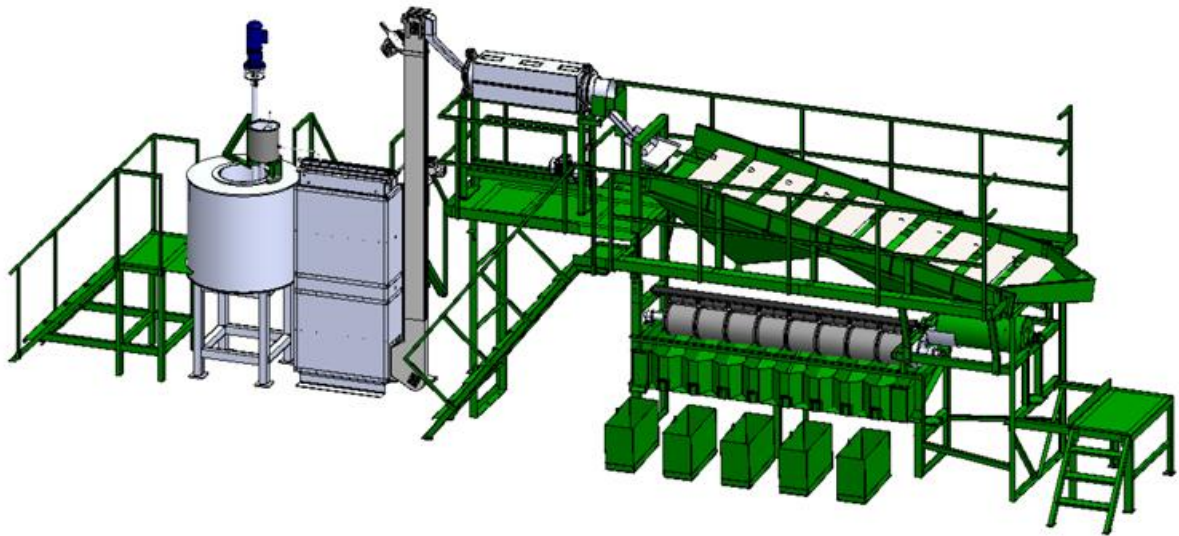


รูปที่ 4.7 ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง 99.99%
(ที่มา : <https://www.thaisarco.com>)

4.3 เม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules)

ดีบุกเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญเป็นจำนวนมาก และมีการใช้งานในรูปแบบที่หลากหลาย ดีบุกบริสุทธิ์แบบเม็ดหรือเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ โดยมีรายละเอียดกระบวนการผลิต ดังนี้

- 1) วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้
 - ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9%
 - น้ำบริสุทธิ์ชนิดไม่มีประจุ (DI Water)
 - น้ำยาเพิ่มความแววของโลหะ
- 2) เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สำคัญ
 - เตากระทะ
 - เบ้าพักน้ำโลหะ
 - เครื่องผลิตเม็ดโลหะ (ดังแสดงในรูปที่ 4.8)
 - เครื่องทำน้ำเย็น
 - เครื่องอบไล่ความชื้น
 - เครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน



รูปที่ 4.8 เครื่องผลิตเม็ดโลหะ

(ที่มา : <https://www.mtm.com>)

3) กระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.9

(1) นำดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% มาหลอมในเตากระทะ เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะส่งเข้าเข้าพักน้ำโลหะแล้วปล่อยให้ดีบุกหลอมเหลวไหลผ่านท่อส่งสู่รางที่มีการติดตั้งแผ่นเหล็กที่เจาะรูเป็นวงกลม และใช้การสั่นในการทำให้ดีบุกหลอมเหลวกลายเป็นเม็ดขณะที่หยดผ่านรูของแผ่นเหล็ก ซึ่งจะถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็นที่ผสมน้ำยาเพิ่มความแววของโลหะ ได้เป็นเม็ดดีบุกบริสุทธิ์

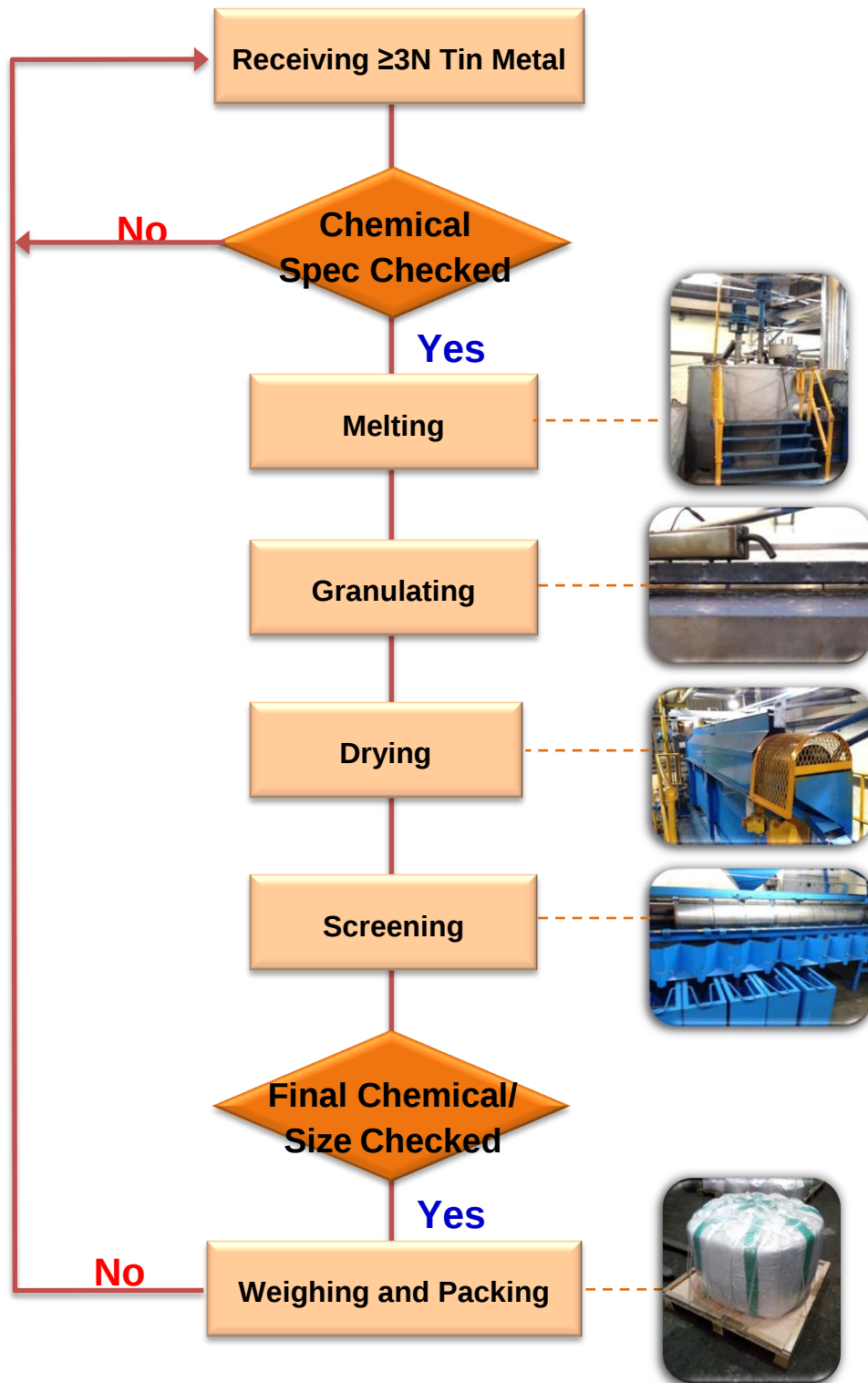
(2) นำเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ที่ได้มาเข้าเครื่องอบไล่ความชื้น และลำเลียงเข้าเครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดแยกขนาดเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ตามความต้องการ ตรวจสอบคุณภาพ และส่งจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป สำหรับเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปหลอมใหม่

4) ผลผลิตและผลิตภัณฑ์

เม็ดดีบุกบริสุทธิ์ที่ได้ โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.2 – 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.10

5) ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ไม่มีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด



รูปที่ 4.9 กระบวนการผลิตเม็ดดีบุกบริสุทธิ์
(ที่มา : สรุปและปรับปรุงจากกระบวนการผลิตเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุก)



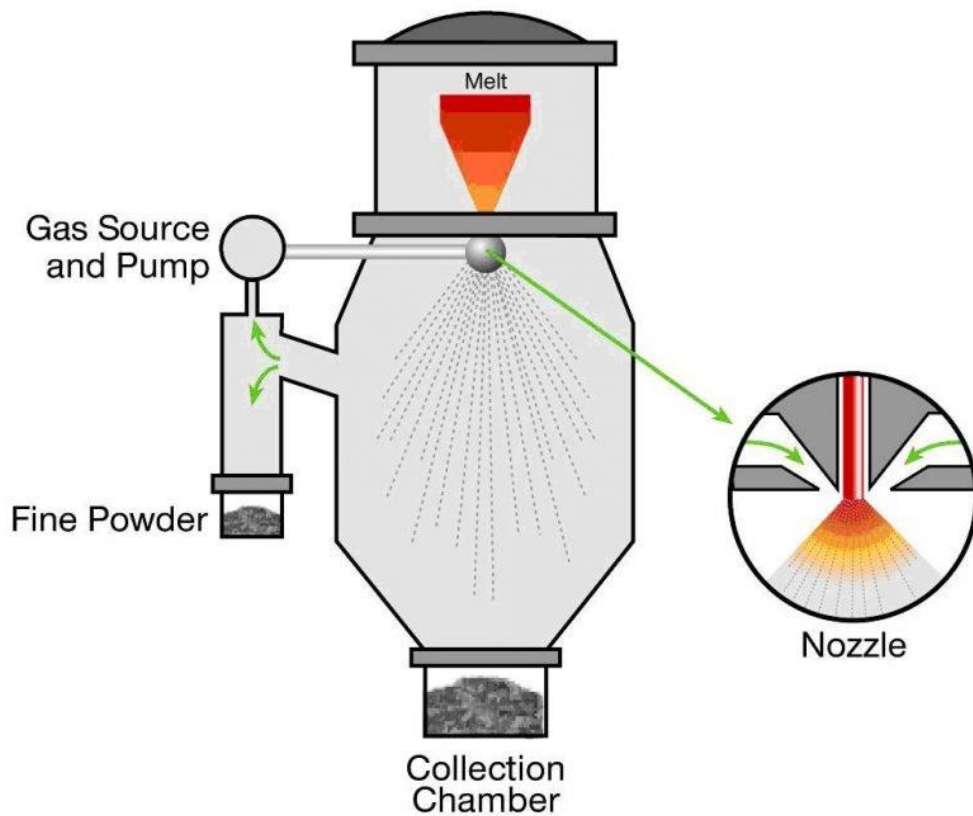
รูปที่ 4.10 เม็ดดีบุกบริสุทธิ์

(ที่มา : <https://hiveminer.com/Tags/granules/Timeline>)

4.4 ผงดีบุก (Tin Powder)

ปัจจุบันมีความต้องการใช้ดีบุกบริสุทธิ์และดีบุกผสมแบบผงหรือผงดีบุก (Tin Powder) เพื่อเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น การผลิตโลหะบัดกรีแบบกึ่งของเหลวของแข็ง (Solder Paste) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตและประกอบแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Boards, PCBs) การชุบเคลือบโลหะ เป็นต้น โดยมีรายละเอียดกระบวนการผลิต ดังนี้

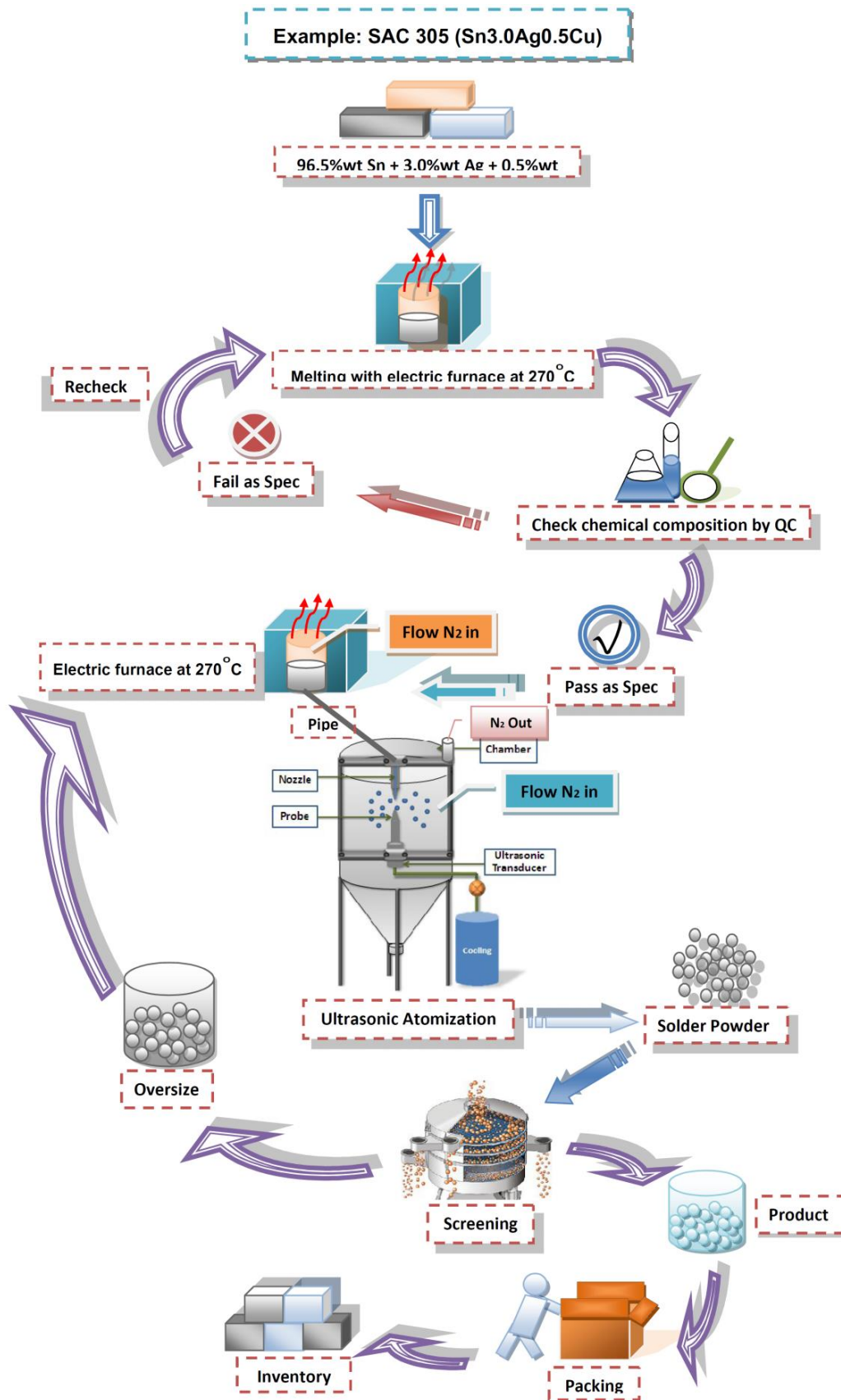
- 1) วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้
ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% หรือดีบุกผสม (Tin Alloy)
- 2) เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สำคัญ
 - เตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnace)
 - เตากระทะ
 - เตาหลอมไฟฟ้า (Electric Furnace)
 - เครื่องผลิตผงโลหะด้วยการพ่นลมแรงดันสูง (Air Atomizer) ดังแสดงในรูปที่ 4.11
 - เครื่องผลิตผงโลหะด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomizer) ดังแสดงในรูปที่ 4.12
 - เครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน



รูปที่ 4.11 เครื่องผลิตผงโลหะด้วยการพ่นลมแรงดันสูง (Air Atomizer)
(ที่มา : <https://www.lpwtechnology.com/technical-library/powder-production/>)



รูปที่ 4.12 เครื่องผลิตผงโลหะด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomizer)
(ที่มา : <https://dgvictory.en.alibaba.com>)



รูปที่ 4.13 กระบวนการผลิตผงดีบุกผสม (Tin Alloy Powder) สำหรับผลิต Solder Paste
(ที่มา : <https://www.thaisarco.com>)

3) กระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.13

การผลิตผงดีบุก (Tin Powder) โดยทั่วไปจะใช้วิธีการพ่นลมด้วยแรงดันสูง (Air Atomization) หรือใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomization) เพื่อให้ดีบุกหลอมเหลวแตกตัวและกระจายตัวเป็นอนุภาคละเอียด โดยมีรายละเอียดดังนี้

การผลิตผงดีบุกด้วยวิธีการพ่นลมด้วยแรงดันสูง (Air Atomization)

(1) นำดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% หรือดีบุกผสม (ประกอบด้วยดีบุกบริสุทธิ์และโลหะบริสุทธิ์อื่น ๆ ตามที่กำหนด) มาหลอมให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด โดยใช้เตากระหะในการหลอมดีบุกบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% และใช้เตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnace) ในการหลอมดีบุกผสม เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะส่งเข้าเครื่องผลิตผงโลหะด้วยการพ่นลมแรงดันสูง (Air Atomizer) เพื่อทำให้ดีบุกหลอมเหลวแตกตัวและกระจายเป็นอนุภาคละเอียด เกิดเป็นผงดีบุก (Tin Powder) ซึ่งขนาดผงดีบุกจะขึ้นอยู่กับแรงดันลม โดยหากต้องการขนาดผงดีบุกที่มีความละเอียดมากขึ้น จะต้องใช้แรงดันลมที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถปรับแรงดันลม โดยเปลี่ยนขนาดหัวสเปรย์ลม (Nozzle) กรณีต้องการแรงดันลมสูง จะใช้หัวสเปรย์ลมที่มีขนาดเล็ก

(2) นำผงดีบุกที่ได้เข้าเครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดแยกขนาดตามความต้องการ และส่งจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป สำหรับผงดีบุกที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปหลอมใหม่

การผลิตผงดีบุกด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomization)

(1) นำดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% หรือดีบุกผสม (ประกอบด้วยดีบุกบริสุทธิ์และโลหะบริสุทธิ์อื่น ๆ ตามที่กำหนด) มาหลอมให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด โดยใช้เตาไฟฟ้า (Electric Furnace) เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะส่งเข้าเครื่องผลิตผงโลหะด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomizer) เพื่อทำให้ดีบุกหลอมเหลวแตกตัวและกระจายเป็นอนุภาคละเอียดด้วยการสั่นสะเทือนจากคลื่นความถี่สูง เกิดเป็นผงดีบุก (Tin Powder) ซึ่งวิธีนี้จะให้ผงดีบุกที่มีความกลมมากกว่าวิธี Air Atomization

(2) นำผงดีบุกที่ได้เข้าเครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดแยกขนาดตามความต้องการ และส่งจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป สำหรับผงดีบุกที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปหลอมใหม่

4) ผลผลิตและผลิตภัณฑ์

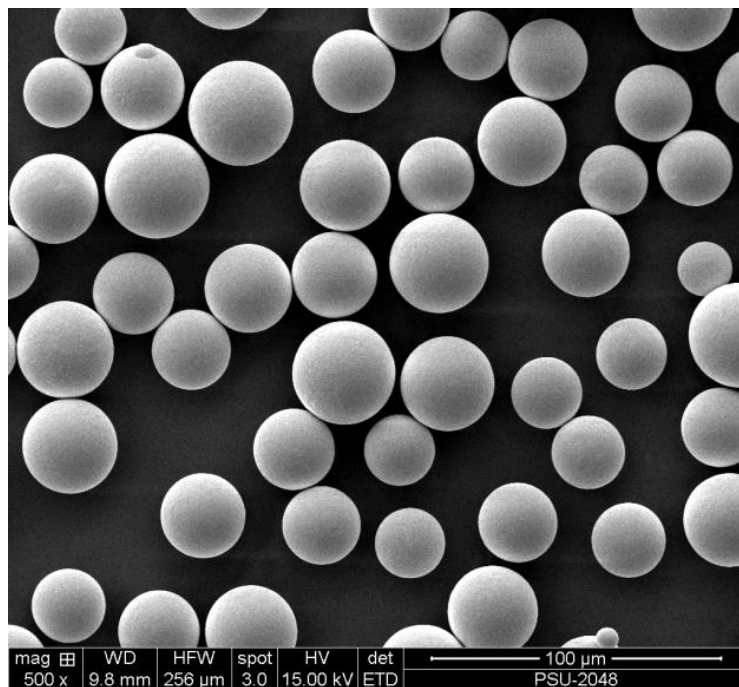
ผงดีบุกที่ได้จากวิธี Air Atomization จะมีขนาดระหว่าง 40 – 200 ไมครอน ขึ้นอยู่กับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 สำหรับผงดีบุกที่ได้จากวิธี Ultrasonic Atomization จะมีขนาดเล็กกว่า โดยมีขนาด 17 – 45 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.15

5) ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ไม่มีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด



รูปที่ 4.14 ผงดิบที่ได้จากวิธีการพ่นลมด้วยแรงดันสูง (Air Atomization)
(ที่มา : <https://www.thaisarco.com>)



รูปที่ 4.15 ผงดิบที่ได้จากวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomization) ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์
(ที่มา : <https://www.thaisarco.com>)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยบทสรุปเทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่ การผลิตดีบุกบริสุทธิ์ และการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง และข้อเสนอแนะในการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 บทสรุป

อุตสาหกรรมดีบุกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากดีบุกเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญเป็นจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรมแผ่นเหล็กทิน (Tin Plate) ซึ่งใช้ในการผลิตกระป๋องบรรจุอาหาร อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี (Solder) ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมแบร้ง (Bearing) โดยเฉพาะ Babbitt Bearing ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก พลวง ทองแดง และอาจมีตะกั่วผสมด้วยเล็กน้อย สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์/เครื่องจักรกล อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พิวเตอร์ (Pewter) ที่ใช้เป็นเครื่องใช้/เครื่องประดับตกแต่ง/ของที่ระลึก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศประสบปัญหาขาดแคลนแร่ดีบุกคุณภาพสูงในประเทศ เนื่องจากข้อจำกัดของการขยายพื้นที่ทำเหมืองแร่ดีบุกในประเทศ ส่งผลให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศต้องแสวงหาและนำเข้าแร่ดีบุกจากแหล่งใหม่ ๆ ซึ่งมีคุณภาพและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน และในบางครั้งจำเป็นต้องนำเข้าดีบุกแท่ง (Tin Ingot) มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อรองรับวัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงไป ลดของเสียที่เกิดขึ้นและหมุนเวียนกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบให้มากที่สุด รวมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูง เพื่อต่อยอดและขยายธุรกิจให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก โดยเทคโนโลยีการผลิตดีบุกครบวงจรตั้งแต่การผลิตดีบุกจากแร่ การผลิตดีบุกบริสุทธิ์ และการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงที่สำคัญซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) เทคโนโลยีการผลิตดีบุกจากแร่

การผลิตดีบุกจากแร่หรือการถลุงดีบุกจากแร่ (Tin Smelting) ใช้เตาถลุงอุณหภูมิสูง 1,300 – 1,400 องศาเซลเซียส ซึ่งมี 4 แบบ ได้แก่ เตาอน (Reverberatory Furnace) เตาตั้ง (Blast Furnace) เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) และเตาหมุนแบบสั้น (Short Rotary Furnace) สำหรับประเทศไทยจะใช้เตาอน (Reverberatory Furnace) ในการถลุงแร่ดีบุกที่อุณหภูมิสูง 1300 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำโลหะดีบุกหรือที่เรียกว่า Crude Tin ซึ่งมีดีบุกประมาณ 98% สำหรับส่งไปทำให้เป็นดีบุกบริสุทธิ์ต่อไป (Refining)

สำหรับตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุงแร่ดีบุก หรือที่เรียกว่า No.1 Slag ซึ่งมีองค์ประกอบดีบุก 10-25% เหล็ก 15-25% จะถูกนำไปถลุงในเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace, EAF) เพื่อให้ได้เป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและเหล็ก (Hardhead) ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดีบุก เนื่องจาก Hardhead ดังกล่าวยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ สำหรับตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุงตะกรัน หรือที่เรียกว่า No.2 Slag สามารถแบ่งการจัดการได้เป็น 2 กรณี ได้แก่

(1) กรณีมีแทนทาลัมเพนตอกไซด์ (Ta_2O_5) เป็นองค์ประกอบ No.2 Slag ดังกล่าวจะถูกนำไปถลุงในเตา EAF เพื่อให้ตะกรันที่เกิดขึ้นจากการถลุง No.2 Slag หรือที่เรียกว่า Final Slag มีความบริสุทธิ์ของ Ta_2O_5 เพิ่มขึ้น โดย Final Slag ที่ได้จะถูกส่งไปกำจัดความชื้นก่อนบรรจุลงถังและส่งจำหน่ายเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแทนทาลัม (Ta) ต่อไป สำหรับ Hardhead ที่ได้จากการถลุง No.2 Slag จะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดิบ และ (2) กรณีไม่มี Ta_2O_5 เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีดีบุกน้อยกว่า 2% และเหล็ก 10-15% จะถูกส่งไปเผาไหม้ในเตาเผาปูนซีเมนต์

2) เทคโนโลยีการผลิตดีบุกบริสุทธิ์

Crude Tin ที่ได้จากกระบวนการถลุงแร่ดิบ ซึ่งมีดีบุกประมาณ 98% ต้องถูกส่งไปทำให้เป็นดีบุกบริสุทธิ์ (Refining) ตามชั้นคุณภาพที่กำหนด เพื่อให้สามารถจำหน่ายในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ โดยดีบุกบริสุทธิ์ที่มีการกำหนดราคากลางในการซื้อ-ขายใน London Metal Exchange (LME) มี 2 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.85% และไม่น้อยกว่า 99.9% โดย Crude Tin จะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ในเตากระทะ (Refining Kettle) เพื่อกำจัดสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) โดยสรุปได้ ดังนี้

ก. การกำจัดเหล็ก (Fe)

ตกแยกดีบุกหลอมเหลวที่ปนเหล็กซึ่งจะลอยอยู่บนผิวหน้าของดีบุกหลอมเหลว หรือที่เรียกว่า Sandy Dross ในเตากระทะ ส่งเข้าเตาอนขนาดเล็ก (Small Reverberatory Furnace) หรือที่เรียกว่า Liquation Furnace เพื่อแยกเหล็กในดีบุกหลอมเหลวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) และการพ่นลม (Blow with Air) ในดีบุกหลอมเหลว โดยเหล็กจะแยกตัวออกจากดีบุกหลอมเหลว เกิดเป็นตะกรันที่เรียกว่า Iron Dross ซึ่ง Iron Dross ที่เกิดขึ้นจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดิบ เนื่องจากยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ นำดีบุกหลอมเหลวที่ผ่านกระบวนการกำจัดเหล็ก ส่งกลับเข้าเตากระทะเพื่อกำจัดสารมลทินอื่น ๆ ต่อไป

ข. การกำจัดทองแดง (Cu)

ใส่ผงกำมะถัน (Sulphur) ลงไปในดีบุกหลอมเหลวที่อยู่ในเตากระทะที่อุณหภูมิประมาณ 280-320 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดเป็น Cuprous Sulfide (Cu_2S) ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยก Cu_2S ที่อยู่ในดีบุกหลอมเหลว ให้เกิดเป็นตะกรันที่เรียกว่า Copper Dross ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในเตาอนในขั้นตอนการถลุงแร่ดิบ เนื่องจากยังมีดีบุกเป็นองค์ประกอบ

ค. การกำจัดสารหนู (As)

ใส่อะลูมิเนียม (Aluminium) ในดีบุกหลอมเหลวที่อยู่ในเตากระทะที่อุณหภูมิประมาณ 300-320 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดเป็น $AlAs_3$ ลอยแยกตัวออกจากดีบุกหลอมเหลว

ง. การกำจัดตะกั่ว (Pb) และบิสมัท (Bi)

ป้อนดีบุกหลอมเหลวเข้าเครื่องตกผลึก (Electrothermal Crystallizer) เพื่อแยกตะกั่ว (Pb) และบิสมัท (Bi) ออกจากดีบุกหลอมเหลว โดยใช้หลักการความแตกต่างของการเกิดผลึกโลหะ อณูภูมิต่าง ๆ โดยดีบุกบริสุทธิ์จะเกิดผลึกที่อุณหภูมิสูงกว่าโลหะผสมระหว่างดีบุก ตะกั่ว และบิสมัท ป้อนดีบุกบริสุทธิ์ที่ได้เข้าเตากระทะ (Refining Kettle) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพก่อนหล่อเป็นดีบุกแท่งบริสุทธิ์ต่อไป สำหรับโลหะผสมระหว่างดีบุก ตะกั่ว และบิสมัทจะถูกรวบรวมและจำหน่ายเป็นดีบุกผสมต่อไป

จ. การหล่อดีบุกแท่งบริสุทธิ์ (Casting)

เมื่อผ่านขั้นตอนการทำให้ดีบุกบริสุทธิ์แล้ว จะต้องมีการชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณดีบุกและสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) หากมีปริมาณดีบุกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (99.85%

หรือ 99.9% Sn) ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ใหม่ เมื่อได้ดิบูกบริสุทธิ์ที่มีชั้นคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดแล้ว ดิบูกบริสุทธิ์หลอมเหลวจะถูกเทลงแม่พิมพ์ (Mold) ให้เป็นแท่ง (Casting) เรียกว่า ดิบูกแท่งบริสุทธิ์ (Tin Ingot)

3) เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดิบูกที่มีมูลค่าสูง

ผลิตภัณฑ์ดิบูกที่มีมูลค่าสูงที่สำคัญซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะบัดกรี (Solder) กลุ่มผลิตภัณฑ์ดิบูกบริสุทธิ์สูง (High Purity Electrolytic Tin) ที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.99% กลุ่มผลิตภัณฑ์เม็ดดิบูกบริสุทธิ์ (Tin Granules) กลุ่มผลิตภัณฑ์ผงดิบูก (Tin Powders) โดยสามารถสรุปเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ ดังนี้

(1) เทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรี (Solder)

โลหะบัดกรี (Solder) มี 2 ประเภท ได้แก่ โลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดิบูกและตะกั่ว และโลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดิบูกกับทองแดงและเงิน โดยสามารถสรุปเทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรีดังกล่าว ได้ดังนี้

ก. เทคโนโลยีการผลิตโลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder)

หลอมวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ดิบูกบริสุทธิ์ และตะกั่วบริสุทธิ์ ซึ่งอาจผสมทองแดงบริสุทธิ์ พลวงบริสุทธิ์ หรือบิสมัทบริสุทธิ์ (โลหะบริสุทธิ์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9%) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ตามสัดส่วนมาตรฐานที่กำหนด ในเตากระทะ เมื่อโลหะหลอมละลายรวมกันแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้โลหะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบ หากเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จะถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูป เพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ต้องปรับปรุงส่วนผสมใหม่ก่อนถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูป สำหรับตะกรันตะกั่ว (Lead Dross) ที่เกิดจากกระบวนการหลอมจะถูกรวบรวมและส่งจำหน่ายไปยังอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วต่อไป

ข. โลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder)

หลอมวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ดิบูกบริสุทธิ์ ทองแดงบริสุทธิ์ และเงินบริสุทธิ์ ซึ่งอาจผสมพลวงบริสุทธิ์ หรือบิสมัทบริสุทธิ์ (โลหะบริสุทธิ์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9%) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ตามสัดส่วนมาตรฐานที่กำหนด ในเตากระทะ เมื่อโลหะหลอมละลายรวมกันแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้โลหะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบ หากเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จะถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูปเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ต้องปรับปรุงส่วนผสมใหม่ก่อนถูกส่งไปเครื่องขึ้นรูปใหม่ กระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว จะไม่มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด

(2) เทคโนโลยีการผลิตดิบูกบริสุทธิ์สูง (High Purity Electrolytic Tin)

การผลิตดิบูกบริสุทธิ์สูงที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.99% (4N Tin) หรือ 99.999% (5N Tin) จะใช้กระบวนการโลหวิทยาไฟฟ้า (Electrometallurgical Process) ที่เป็นกระบวนการ Electro-refining ในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของดิบูกแท่งที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตดิบูกบริสุทธิ์ โดยใช้เซลล์ไฟฟ้า (Electrolytic Cell) ที่มีขั้วบวก (Anode) เป็นดิบูกแท่งที่ได้กระบวนการดังกล่าว และขั้วลบ (Cathode) เป็นแผ่นบาง (Sheet) ดิบูกบริสุทธิ์สูง 4N หรือ 5N และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier) โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วบวกและขั้วลบที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เป็นกรดซัลฟิวริกเจือจาง (H_2SO_4) และใส่สารเพิ่ม

แรงตึงผิว (Surfactants) ดีบุกในขั้วบวกละลายลงในสารละลาย แล้วไอออนดีบุกดังกล่าวที่อยู่สารละลายจะไปเกาะที่ขั้วลบเกิดเป็นดีบุกที่มีความบริสุทธิ์สูงไม่น้อยกว่า 4N หรือ 5N นำแผ่นขั้วลบมาล้างน้ำ ลอมนในเตากระหะ เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะใช้เครื่องกวน (Stirrer) เพื่อกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ชักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณดีบุกและสารมลทินต่าง ๆ (Impurities) หากมีปริมาณดีบุกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (4N หรือ 5N Sn) ต้องนำไปปรับปรุงคุณภาพใหม่ จนกระทั่งได้ดีบุกบริสุทธิ์สูงที่มีชั้นคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เทลงแม่พิมพ์ (Mold) ให้เป็นแท่งหรือก้อนตามความต้องการ เรียกว่า ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง (4N หรือ 5N Tin Ingot)

(3) เทคโนโลยีการผลิตเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules)

การผลิตดีบุกบริสุทธิ์แบบเม็ดหรือเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Granules) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ จะใช้ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% มาหลอมในเตากระหะ เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะส่งเข้าเบ้าพักน้ำโลหะแล้วปล่อยให้ดีบุกหลอมเหลวไหลผ่านท่อส่งลงสู่รางที่มีการติดตั้งแผ่นเหล็กที่เจาะรูเป็นวงกลม และใช้การสั่นในการทำให้ดีบุกหลอมเหลวกลายเป็นเม็ดขณะที่หยดผ่านรูของแผ่นเหล็ก ซึ่งจะถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็นที่ผสมน้ำยาเพิ่มความแววของโลหะ ได้เป็นเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ นำเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ที่ได้มาเข้าเครื่องอบไล่ความชื้น และลำเลียงเข้าเครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดแยกขนาดเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ตามความต้องการ โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.2 – 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง สำหรับเม็ดดีบุกบริสุทธิ์ที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปหลอมใหม่

(4) เทคโนโลยีการผลิตผงดีบุก (Tin Powder)

การผลิตดีบุกบริสุทธิ์และดีบุกผสมแบบผงหรือผงดีบุก (Tin Powder) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะการผลิตโลหะบัดกรีแบบกึ่งของเหลวของแข็ง (Solder Paste) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตและประกอบแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Boards, PCBs) จะใช้ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% หรือดีบุกผสม (ประกอบด้วยดีบุกบริสุทธิ์และโลหะบริสุทธิ์อื่น ๆ ตามที่กำหนด) มาหลอมให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด เมื่อดีบุกหลอมละลายแล้ว จะส่งเข้าเครื่องผลิตผงโลหะด้วยการพ่นลมแรงดันสูง (Air Atomizer) หรือเครื่องผลิตผงโลหะด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Atomizer) เพื่อทำให้ดีบุกหลอมเหลวแตกตัวและกระจายเป็นอนุภาคละเอียด เกิดเป็นผงดีบุก (Tin Powder) นำผงดีบุกที่ได้เข้าเครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Screening) เพื่อคัดแยกขนาดตามความต้องการ สำหรับผงดีบุกที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปหลอมใหม่ โดยผงดีบุกที่ได้จาก Air Atomizer จะมีขนาดระหว่าง 40 – 200 ไมครอน ขณะที่ผงดีบุกที่ได้จาก Ultrasonic Atomizer จะมีขนาดเล็กกว่าและกลมกว่า โดยมีขนาด 17 – 45 ไมครอน ขึ้นอยู่กับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

สำหรับราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีการกำหนดราคากลางในการซื้อ-ขายใน London Metal Exchange (LME) จะกำหนดราคาเฉพาะผลิตภัณฑ์ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.85% และไม่น้อยกว่า 99.9% ขณะที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงไม่มีการกำหนดราคากลาง และมีจำนวนผู้ประกอบการในตลาดกลุ่มผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงน้อยกว่าตลาดดีบุกแท่งบริสุทธิ์ ผู้ประกอบการที่ผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงดังกล่าว จึงต้องสร้างความสามารถในการแข่งขันด้วยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและมีความหลากหลายตามความต้องการของลูกค้า การให้บริการทางวิศวกรรมโดยเฉพาะการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องของลูกค้า รวมทั้งการกำหนดราคาจำหน่ายที่สามารถแข่งขันได้ ซึ่งราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดีบุก โดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง ถือว่าเป็นความลับของ

ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุก อย่างไรก็ตาม รายงานฉบับนี้ได้รวบรวมข้อมูลราคาจำหน่ายจาก Website ซื้อ-ขายสินค้าที่มีการเผยแพร่ เพื่อเป็นข้อมูลภาพรวมมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์ดีบุก ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์เท่ากันแต่มีลักษณะเฉพาะที่สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง จะมีราคาจำหน่ายโดยเปรียบเทียบสูงกว่าผลิตภัณฑ์ดีบุกทั่วไป เช่น ผงดีบุกกับดีบุกแท่งบริสุทธิ์ 99.9% เป็นต้น นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีลักษณะเฉพาะที่สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่องจะมีราคาจำหน่ายสูงมาก เนื่องจากมีผู้ผลิตที่แข่งขันในตลาดน้อยราย เช่น เม็ดดีบุกบริสุทธิ์สูง 99.999% (5N Tin Granules) เป็นต้น

ตารางที่ 5.1 ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดีบุกในตลาดต่างประเทศ

ผลิตภัณฑ์	ราคา (US\$/kg)	ที่มา
ดีบุกแท่งบริสุทธิ์ 99.9%	15 – 20	https://www.alibaba.com/product-detail/ore-plant-price-tin-ingots-999_60803738111.html?s=p
โลหะบัดกรีที่มีตะกั่ว (Tin Lead Solder) แบบลวด (Wire) ที่มี Sn 60% และ Pb 40%	19	https://www.alibaba.com/product-detail/Green-Sn60-Pb40-Lead-Solder-Tin_60696654604.html?spm=a2700.icbuShop.prewdfa4cf.40.141d633eY5MoS7
โลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder) แบบลวด (Wire) ที่มี Sn 96.5% Cu 0.5% และ Ag 3.0%	80 – 92	https://www.alibaba.com/product-detail/Mechanical-welding-materials-little-residue-no_60665504469.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.259.776b7313wWo3wO
ดีบุกแท่งบริสุทธิ์สูง 99.99% (4N Tin Ingot)	20 – 22	https://www.alibaba.com/product-detail/99-99-sn-tin-ingot-price_60803264583.html?s=p
เม็ดดีบุกบริสุทธิ์สูง 99.999% (5N Tin Granules)	100 - 150	https://www.alibaba.com/product-detail/china-factory-price-high-purity-tin_60469960267.html
ผงดีบุกบริสุทธิ์ 99.9% (3N Tin Powder) ขนาด 37 – 74 ไมครอน	25 - 40	https://www.alibaba.com/product-detail/high-purity-alloy-additives-diamond-product_60793838290.html?s=p

5.2 ข้อเสนอแนะ

อุตสาหกรรมดีบุกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ โดยมีอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญเป็นจำนวนมาก ซึ่งผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศที่อยู่ในการกำกับดูแลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) มีศักยภาพความพร้อมในการพัฒนาโดยที่ผ่านมา กพร. ได้สนับสนุนและส่งเสริมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูง เพื่อต่อยอดและขยายธุรกิจให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก โดยมุ่งเน้นการผลิต

ผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศจากวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจในประเทศ ซึ่งหากมีการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศควบคู่ไปกับการแสวงหาแหล่งแร่ดีบุกคุณภาพสูงจากต่างประเทศ รวมถึงแหล่งวัตถุดิบทดแทนที่ได้จากการรีไซเคิลขยะหรือของเสียที่มีดีบุกเป็นองค์ประกอบ จะส่งผลให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการเป็นฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงในภูมิภาคอาเซียน สามารถรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ ได้ ซึ่งข้อเสนอแนะในการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ด้านการแสวงหาแหล่งวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมดีบุก

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีแหล่งแร่ดีบุกคุณภาพสูง แต่แหล่งแร่ดังกล่าวส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ประกอบกับกระแสการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้น ทำให้การขยายพื้นที่ทำเหมืองแร่เป็นไปได้ยาก ซึ่งแหล่งแร่ดีบุกในต่างประเทศก็ประสบปัญหาเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ยังมีแหล่งวัตถุดิบทดแทนที่เป็นขยะหรือของเสียที่มีดีบุกเป็นองค์ประกอบ เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบผิวดีบุกเศษโลหะบัดกรี ซากแผ่นซีดีหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) ซาก Babbitt Bearing เป็นต้น ซึ่งมีศักยภาพในการรีไซเคิลเพื่อแยกสกัดดีบุกหมุนเวียนกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบให้แก่อุตสาหกรรมดีบุกในประเทศได้ ดังนั้น ภาครัฐจึงควรเร่งดำเนินงาน ดังนี้

(1) ส่งเสริมการแสวงหาแหล่งแร่ดีบุกในต่างประเทศที่มีศักยภาพสูง และสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศ เพื่อเป็นวัตถุดิบให้แก่อุตสาหกรรมดีบุกในประเทศ

หน่วยงานรับผิดชอบ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

(2) ส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลขยะหรือของเสียที่มีดีบุกเป็นองค์ประกอบ และผลักดันสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ เพื่อเป็นวัตถุดิบให้แก่อุตสาหกรรมดีบุกในประเทศ

หน่วยงานรับผิดชอบ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม

2) ด้านการส่งเสริมและพัฒนาความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมดีบุก

ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศที่อยู่ในการกำกับดูแลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) มีศักยภาพความพร้อมในการพัฒนา และที่ผ่านมาได้มุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงในประเทศจากวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจในประเทศ ซึ่งหากมีการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมดีบุกในประเทศอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการเป็นฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงในภูมิภาคอาเซียน สามารถรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ ได้ ดังนั้น ภาครัฐจึงควรเร่งดำเนินงาน ดังนี้

(1) ส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิตให้แก่อุตสาหกรรมดีบุก

หน่วยงานรับผิดชอบ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

(2) ส่งเสริมให้เกิดการลงทุน/รวมกลุ่มระหว่างอุตสาหกรรมดีบุกและอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน โดยเฉพาะกลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกและผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจากดีบุกที่มีมูลค่าสูง

หน่วยงานรับผิดชอบ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

3) ด้านการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยี

ดีบุกเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญเป็นจำนวนมาก และมีการใช้งานที่หลากหลาย ซึ่งแม้ว่าผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในประเทศได้ปรับตัวจากเดิมที่มุ่งเน้นการผลิตดีบุกแท่งบริสุทธิ์มาเป็นการมุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูง เพื่อต่อยอดและขยายธุรกิจให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก แต่ยังมีผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงบางชิ้นคุณภาพที่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในประเทศยังไม่สามารถผลิตได้ เช่น โลหะบัดกรีที่ไม่มีตะกั่ว (Tin Lead Free Solder) แบบลวด (Wire) ที่มีเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบบางชิ้นคุณภาพ ผงดีบุกบริสุทธิ์ที่มีความละเอียดสูง เป็นต้น ดังนั้น เพื่อส่งเสริมและพัฒนาให้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงในภูมิภาคอาเซียน สามารถรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ ได้ ภาครัฐจึงควรเร่งดำเนินงาน ดังนี้

(1) ส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดีบุกที่มีมูลค่าสูงและสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรม

หน่วยงานรับผิดชอบ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(2) ส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจากดีบุกที่มีมูลค่าสูงและสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรม

หน่วยงานรับผิดชอบ กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บรรณานุกรม

- Barry, B. T. K. and Thwaites, C. J. (1983) *Tin and Its Alloys and Compounds*. Ellis Horwood Ltd.
- Wright, P. A. (1982) *Extractive Metallurgy of Tin*. ELSEVIER SCIENCE & TECHNOLOGY: Oxford, United Kingdom.