บทที่ 3

ทฤษฎีของโลหะผสมโซลเดอร์ และกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบ

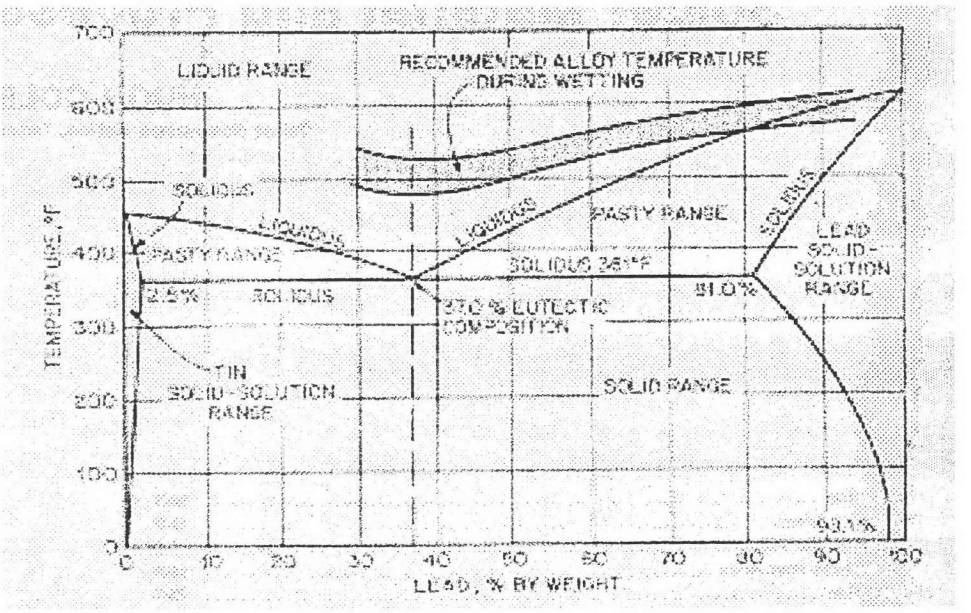
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโลหะผสมโซลเดอร์

3.1.1 ทฤษฎีของโลหะผสมโซลเดอร์

โลหะผสมโซลเดอร์เป็นโลหะผสม ที่มีองค์ประกอบระหว่างดีบุกและตะกั่ว ในอัตราส่วนต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้ ซึ่งโลหะผสมโซลเดอร์นี้ เมื่อผสมกันแล้ว จะทำให้จุดหลอมเหลวของโลหะผสม ลดต่ำลงกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะที่นำมาผสม ทำให้มีคุณสมบัติในการเปียก (Wetting) ไปตามพื้นผิวที่เชื่อมต่อกันได้ง่ายและรวดเร็ว ถ้าพิจารณาเฉพาะโลหะผสมโซลเดอร์ที่มีโลหะดีบุก และตะกั่ว 2 ชนิดผสมรวมกัน จะสามารถหาไดอะแกรมสมดุลย์เชิงโลหะการ (Metallurgical Equilibrium Diagram) ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ซึ่งจากไดอะแกรมสมดุลย์เชิงโลหะการของดีบุก - ตะกั่ว (Tin - Lead) จะพบว่าจุดหลอมเหลวของตะกั่ว และดีบุกบริสุทธิ์ จะเท่ากับ 621.50 และ 449.54 °ฟ ตามลำดับ แต่หลังจากผสมดีบุกกับตะกั่วเข้าด้วยกันแล้ว จุดหลอมเหลวของโลหะผสมจะลดต่ำลง และเกิดจุดหลอมเหลวใหม่ โดยมีจุดหลอมเหลว และจุดเยือกแข็งเป็นจุดเดียวกัน และมีอุณหภูมิต่ำที่สุด

คือ 361 °ฟ ซึ่งเรียกอุณหภูมินี้ว่า อุณหภูมิยูเทคติก (Eutectic Temperature) และที่จุดอุณหภูมิยูเทคติกนี้ องค์ประกอบของโลหะผสมโซลเดอร์ จะมีส่วนประกอบเท่ากับ 63% ของดีบุก และ 37% ของตะกั่ว ซึ่งเรียกองค์ประกอบ ณ. จุดนี้ว่าองค์ประกอบยูเทคติก (Eutectic Composition) หรือจุดยูเทคติก (Eutectic Point)



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมสมดุลย์เชิงโลหะการของดีบุก - ตะกั่ว (Coombs, 1988)

นอกจากโลหะผสมโซลเดอร์จะประกอบด้วยดีบุกและตะกั่ว ยังอาจมีการผสมโลหะชนิดอื่น เช่น พลวง (Antimony), เงิน (Silver), แคดเมียม (Cadmium), อินเดียม (Indium) และบิสมัส (Bismuth) ฯลฯ ลงไปด้วย เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาค (Physical Properties) และเชิงกล (Mechanical Properties) ของช่วงการหลอมเหลว และความแข็งแรงต่อการดึง (Tensile Strength) และความแข็งแรงต่อการเฉือน (Shear Strength) ความแข็งและการต่อต้านการสึกกร่อนได้อีกด้วย

3.1.2 การใช้งานทั่วไปของโลหะผสมโซลเดอร์ (วิกรม, 2530)

การเลือกใช้โลหะผสมโซลเดอร์นั้น จะดูที่ส่วนประกอบทางเคมีเป็นหลัก ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ปริมาณดีบุก และช่วงการแข็งตัว โดยที่ปริมาณดีบุกจะเป็น ตัวกำหนดความสามารถในการเปียก (Wetting) ของโลหะผสมโซลเดอร์ เพราะดีบุกเป็นโลหะ ที่สามารถเปียกพื้นผิวโลหะชนิดต่างๆ ได้ดี ดังนั้นการเลือกใช้โลหะผสมโซลเดอร์ชนิดใด ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะพื้น และฟลักซ์ (สารประสารการเชื่อม) ด้วย ถ้าโลหะพื้นที่จะเชื่อมต่อ เป็นโลหะที่ถูกเปียกได้ง่าย หรือใช้ฟลักซ์ที่มีปฏิกิริยารุนแรง ก็อาจใช้โลหะผสมโซลเดอร์ที่มีปริมาณดีบุกต่ำได้ เช่น การเชื่อมต่อกระป๋องอาหาร ที่ทำด้วยแผ่นเหล็กชุบดีบุก ก็อาจใช้โลหะผสมโซลเดอร์เกรด 40% ดีบุก 60% ตะกั่ว หรือการเชื่อมต่อ พวกหม้อน้ำรถยนต์ ซึ่งเป็นทองแดงและทองเหลือง แต่ใช้ฟลักซ์ที่มีความรุนแรงซึ่งเป็นส่วนผสมของ HCl กับ $ZnCl_2$ ก็จะใช้โลหะผสมโซลเดอร์เกรด 35% ดีบุก และ 65% ตะกั่ว เป็นต้น ตารางที่ 3.1 แสดงขอบเขตการใช้งานของโลหะผสมโซลเดอร์

สำหรับช่วงอุณหภูมิการแข็งตัว ก็มีความสำคัญเช่นกัน จากแผนภูมิสมดุล จะเห็นว่าบริเวณใกล้จุดยูเทคติก จะมีช่วงการแข็งตัวที่แคบมาก แต่เมื่อส่วนผสมอยู่ห่าง จากจุดยูเทคติกออกมา โดยเฉพาะทางด้านที่เป็นตะกั่ว ช่วงอุณหภูมิของการแข็งตัวจะกว้างขึ้น โดยมีส่วนกว้างที่สุดที่ 19% ดีบุก มีช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวประมาณ 95 °ซ งานบางประเภทต้องการช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวที่แคบ เพื่อให้เกิดการละลาย และการแข็งตัวที่รวดเร็ว เพื่อมิให้ความร้อนไปทำลายชิ้นงานให้เกิดความเสียหาย เช่นงานทางอิเลคทรอนิคส์ จะใช้ส่วนผสมที่อยู่ที่ใกล้จุด

ตารางที่ 3.1 ขอบเขตการใช้งานของโลหะผสมโซลเดอร์

	Type	Composition	Tensile strength ($Tonf/in^2$)	General area of use
Common Solders	Tin-Lead	Lead, 60% Tin	3.4	Electronics
		Lead, 20 - 50% Tin	2.7 - 2.9	General engineering
	Antimonial Tin-Lead	Lead, 30 - 50% Tin, 1% Antimony	3.1 - 3.6	avoid high or very low temperature
Special Purpose Solders	Tin-Lead	Lead, 2% Tin	1.8	Tinplate can seams
		Lead, 10% Tin	2.4	
	Tin-Lead-Silver	Lead, 5% Tin, 1.5% Silver	2.5	Cryogenics
		Lead, 1% Tin, 1.5% Silver	1.8	
		Lead, 60% Tin, 1.5% Silver	4.5	
	Tin	Tin	0.9	Creep resistance
	Tin-Antimonial	Tin, 5% Antimony	2.8	
	Tin-Silver	Tin, 2% Silver	1.7	
		Tin, 5% Silver	3.8	
	Tin-Lead-Cadmium	Tin, 30% Lead, 18% Cadmium	2.8	Low melting point Solder

ยูเทคติก คือ 60% ดีบุก และ 40% ตะกั่ว หรือ 63% ดีบุก และ 37% ตะกั่ว เป็นต้น แต่งานบางประเภทอาจต้องการให้มี ช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวที่กว้าง เพราะระหว่างการแข็งตัว โลหะผสมโซลเดอร์จะมีสภาพเหมือนครีม (Paste) ที่สามารถจะตบแต่งได้ เช่น การตบแต่งผิวของตัวถังรถยนต์ ก็จะใช้โลหะผสมโซลเดอร์เกรด 30% ดีบุก และ 70% ตะกั่ว ซึ่งจะมีช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวกว้าง (ประมาณ 60 ° ซ) ทำให้สามารถตบแต่งผิวของโลหะผสมโซลเดอร์ให้เรียบไปตามส่วนโค้งเว้า ของตัวถังรถยนต์ได้ โดยโลหะผสมโซลเดอร์ชนิดนี้เรียกว่า "โลหะผสมโซลเดอร์สำหรับงานปาด (Wiping Solder)"

สิ่งที่แผนภูมิสมดุล ไม่ได้แสดงไว้ก็คือ เวลาในการแข็งตัวหรือหลอมละลาย เช่นที่จุดยูเทกติก ซึ่งจุดแข็งตัวหรือจุดหลอมละลาย จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ ก็ไม่ได้หมายความว่า จะเกิดได้ทันทีทันใด เพราะเวลาที่ใช้เกี่ยวข้องกับการดูดซึม หรือคายความร้อน ซึ่งเกี่ยวกับปริมาณด้วย ถ้ามีปริมาณมาก เวลาที่ใช้ก็จะนาน ดังนั้นรอยเชื่อมต่อที่ใหญ่ นอกจากจะไม่ประหยัดแล้ว การแข็งตัวจะเกิดขึ้นช้า หากมีความสั่นสะเทือน ในระหว่างการแข็งตัว ก็อาจเกิดรอยแตกร้าวขึ้นได้ นอกจากนี้แล้วความร้อนที่สะสมอยู่ ก็อาจไปทำลายชิ้นงาน ทำให้เกิดความเสียหายได้ ตารางที่ 3.2 แสดงมาตรฐานส่วนประกอบทางเคมีของโลหะผสมโซลเดอร์ ที่ใช้กันทั่วไป ตามมาตรฐาน Federal Specification QQ-S-571 E ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ผู้ใช้โลหะผสมโซลเดอร์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ยอมรับ

ตารางที่ 3.2 มาตรฐาน Federal Specification QQ - S 571 E

Composition	Tin %	Lead %	Antimony %	Bismuth max %	Silver %	Copper max %	Iron max %	Zinc max %	Aluminum max %	Arsenic max %	Cadmium max %	Total of all others max %	Approximate melting range C Solidus	Liquidus
Sn96	Remainder	0.10 max			3.6 to 4.4	0.20		0.005		0.05	0.005		221	221
Sn70	69.5 to 71.5	Remainder	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.03	0.001	0.08	183	193
Sn63	62.5 to 63.5	Remainder	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.03	0.001	0.08	183	183
Sn62	61.5 to 62.5	Remainder	0.20 to 0.50	0.25	1.75 to 2.25	0.08	0.02	0.005	0.005	0.03	0.001	0.08	179	179
Sn60	59.5 to 61.5	Remainder	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.03	0.001	0.08	183	191
Sn50	49.5 to 51.5	Remainder	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.025	0.001	0.08	183	216
Sn40	39.5 to 41.5	Remainder	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	183	238
Sn35	34.5 to 36.5	Remainder	1.6 to 2.0	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	185	243
Sn30	29.5 to 31.5	Remainder	1.4 to 1.8	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	185	250
Sn20	19.5 to 21.5	Remainder	0.80 to 1.2	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	184	270
Sn10	9.0 to 11.0	Remainder	0.20 max	0.03	1.7 to 2.4	0.08	-	0.005	0.005	0.02	0.001	0.10	268	290
Sn5	4.5 to 5.5	Remainder	0.50 max	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	308	312
Sb5	94.0 max	0.20 max	4.0 to 6.0		0.015	0.08	0.08	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	235	240
Pb80	Remainder	78.5 to 80.5	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	183	277
Pb70	Remainder	68.5 to 70.5	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	183	254
Pb65	Remainder	63.5 to 65.5	0.20 to 0.50	0.25	0.015	0.08	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	183	246

Ag1.5	0.75 to 1.25	Remai nder	0.40 max	0.25	1.3 to 1.7	0.30	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.08	309	309
Ag2.5	0.25 max	Remai nder	0.40 max	0.25	2.3 to 2.7	0.30	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.03	304	304
Ag5.5	0.25 max	Remai nder	0.40 max	0.25	5.0 to 6.0	0.30	0.02	0.005	0.005	0.02	0.001	0.03	304	380

การเชื่อมต่อด้วยการใช้โลหะผสมโซลเดอร์ ก็เพื่อต้องการให้ โลหะผสมโซลเดอร์ทำหน้าที่บางหัวข้อ หรือทุกหัวข้อ ดังต่อไปนี้ (Thwaites, 1982)

1. เพื่อเป็นส่วนเชื่อมวงจรไฟฟ้าให้ครบวงจร
2. เพื่อเชื่อมอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันด้วยวิธีเชิงกล
3. เพื่อเป็นสะพานที่จะระบายความร้อน จากอุปกรณ์ตัวหนึ่งไปยังส่วนอื่นๆ ได้ง่าย
4. เพื่อให้จุดเชื่อมต่อ ยังคงมีความแข็งแรงมากพอ ที่จะทำงานได้ที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ
5. เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการรั่วซึม ของอากาศและของเหลวในถังปฏิกิริยา (Reaction Vessel)

3.1.3 ผลของสิ่งเจือปน (Impurities) ที่มีต่อคุณสมบัติของโลหะผสมโซลเดอร์ (Effects of Impurities on Properties of Solder) (วิกรม 2530)

สามารถสรุปได้เป็นแต่ละธาตุ ดังต่อไปนี้

ก. อะลูมิเนียม เนื่องจากเป็นโลหะที่เกิดออกไซด์ได้ง่าย จึงทำให้เกิดเศษโลหะ (Dross) โดยอะลูมิเนียม 0.005% จะทำให้เกิดการติดที่ไม่ดี ผิวไม่เรียบ และเกิดการสั้นลงด้วยความร้อน (Hot Shortness) ได้ จากการทดลองของ International Tin Research Institute (ITRI) พบว่า

ถ้ามีอะลูมิเนียมเกินกว่า 0.0005% จะทำให้เกิดออกไซด์ ได้พอสมควร และในการเชื่อมต่อเหล็กกล้า จะทำให้เกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) เพราะพลังงานระหว่างผิวเหล็กกล้า และโลหะผสมโซลเดอร์สูงมาก จนกระทั่งการมีออกไซด์เพียงเล็กน้อย ระหว่างชั้นของโลหะผสมโซลเดอร์หลอมเหลว และสารประสานการเชื่อม จะทำให้มุมสัมผัสมีค่าสูง จึงเกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) ขึ้น

ข. พลวง (Antimony) การทดลองของ ITRI พบว่า การมีพลวงถึง 0.5% ไม่มีผลต่อการเปียก หรือเกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) ขึ้น แต่จะมีผลต่อการลดพื้นที่การกระจายตัวของโลหะผสมโซลเดอร์ (Area of Spread) บนโลหะทองแดงและทองเหลือง จึงอาจสรุปได้ว่าการมีพลวงอยู่ โดยเฉพาะที่ปริมาณมากๆ จะมีผลเสียต่อคุณสมบัติการเปียกของโลหะผสมโซลเดอร์ แต่เนื่องจากข้อมูลไม่มากพอ จึงสรุปไม่ได้ว่า การกำหนดให้มีพลวง 0.2 - 0.5% ในมาตรฐานต่าง ๆ จะทำให้เกิดผลเสีย อย่างไรก็ตามการมีพลวงอยู่ด้วย ก็มีข้อดีในแง่ที่ช่วยให้เกิดความมั่นใจ ในการใช้โลหะผสมโซลเดอร์ที่อุณหภูมิต่ำ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว และยังช่วยลดข้อเสียของการเกิดการออกซิไดซ์ จากอะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมรวมกับสังกะสีและแคดเมียม

ค. สารหนู (Arsenic) Heberlein พบว่าสารหนูทำให้เกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) ได้กับทองเหลือง เมื่อมีปริมาณสูงกว่า 0.04% ส่วนการบัดกรีทองแดง ปริมาณที่ทำให้เกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) ได้คือ 0.08 - 0.10% และ ITRI พบว่า การมีสารหนูทำให้รอยเชื่อมต่อบนทองเหลืองไม่เรียบ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากปฏิกิริยา ระหว่างสารหนูกับ

สังกะสี เกิดเป็นสารประกอบระหว่างโลหะ As - Zn ที่ผิวสัมผัสระหว่าง โลหะผสมโซลเดอร์กับทองเหลือง อย่างไรก็ตามการเกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) เนื่องจากสิ่งเจือปน (Impurities) ในโลหะผสมโซลเดอร์ ยังไม่เป็นที่เข้าใจแน่ชัด นอกจากคาดกันว่าอาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดึงผิว หรือพลังงานระหว่างผิว

ง. บิสมัท (Bismuth) เมื่อปริมาณบิสมัทสูงถึง 0.5% จะทำให้สีของโลหะผสมโซลเดอร์เปลี่ยนไป (Discoloration) เป็นสีเทาอมน้ำเงิน (Blue - Gray) และมีลักษณะขุ่นมัว (Cloudy) และการเปลี่ยนสีนี้ จะเป็นมากเมื่อมีปริมาณสูงถึง 1% แต่ไม่พบว่าอัตราการเกิดออกซิไดซ์ เพิ่มขึ้นในโลหะผสมโซลเดอร์หลอมเหลว

จ. แคดเมียม (Cadmium) ทำให้ลดพื้นที่การกระจายตัว ของโลหะผสมโซลเดอร์ และลดแรงที่ทำให้เกิดการเปียก (Wetting Force) แต่เพิ่มเวลาในการเปียกบนทองแดง การเพิ่มเวลาในการเปียก จะเริ่มปรากฏให้เห็นตั้งแต่ แคดเมียมเพียง 0 - 0.1% เท่านั้น และเมื่อมีมากกว่า 0.5% ผิวของโลหะผสมโซลเดอร์จะเริ่มด้าน (Dull) เนื่องจากเกิดผิวออกไซด์ขึ้น ทำให้เพิ่มแรงตึงผิวของโลหะผสมโซลเดอร์หลอมเหลว การเปียกและการกระจายตัวจึงลดลง เชื่อกันว่า Cd ทำให้เกิดจุดบกพร่องในการเชื่อมต่อที่เรียกว่าบริดจ์ (Bridges) และหางหยดน้ำแข็ง (Icicles)

ฉ. ทองแดง (Copper) พบว่าถ้ามีทองแดงถึง 0.5% จะมีผลต่อการเปียกน้อยมาก แต่ถ้ามีทองแดง 0.27 - 0.29% เมื่อทดสอบเชื่อมต่อที่ 250 °ซ พบว่าจะเกิดผิวขรุขระขึ้น เมื่อโลหะพื้นเป็นทองแดง ผิวขรุขระนี้เกิดจากสารประกอบระหว่างโลหะดีบุก - ทองแดง ที่แขวนลอยอยู่ในโลหะผสมโซลเดอร์ เมื่อปริมาณของทองแดงเกินกว่าลิมิตของการละลาย (Solubility Limit)

ซึ่งในกรณีของตะกั่วบัดกรี 60/40 ที่ 250 °ซ จะอยู่ที่ 0.4% ดังนั้นถ้ามีทองแดงต่ำกว่า 0.4% จะไม่ทำให้เกิดผิวขรุขระ เมื่อโลหะพื้นเป็นทองเหลืองหรือเหล็ก แต่ถ้าโลหะพื้นเป็นทองแดง การละลายของทองแดงจากโลหะพื้น จะช่วยทำให้เกิดผิวขรุขระได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ทองแดงเป็นโลหะที่มีการถ่ายเทความร้อนได้ดี จึงช่วยลดอุณหภูมิ ของโลหะผสมโซลเดอร์ลง ทำให้ ลิมิตของการละลาย (Solubility Limit) ลดลงด้วย ในงานทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งโลหะพื้นมักเป็นทองแดง จะทำให้ทองแดงเข้าไปเจือปนอยู่ในโลหะผสมโซลเดอร์หลอมเหลวได้ง่าย เพื่อป้องกันการเกิดผิวขรุขระ จึงมักกำหนดให้มีทองแดง ปนอยู่ในอ่างโลหะผสมโซลเดอร์ได้ไม่เกิน 0.25%

ช. ฟอสฟอรัส (Phosphorus) พบว่าถ้ามีปริมาณฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.01% ในการเชื่อมต่อทองแดงและเหล็กกล้าละมุน จะทำให้เกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) ขึ้นได้ ข้อมูลในด้านอื่นไม่พบว่ามีผู้ทดลองไว้

ซ. กำมะถัน (Sulfur) จะทำให้ผิวของโลหะผสมโซลเดอร์ขรุขระ ถ้ามีกำมะถันในอ่างโลหะผสมโซลเดอร์ ที่ใช้กับทองแดงเกินกว่า 0.0015% ส่วนงานเชื่อมต่อทองเหลืองหรือเหล็กกล้า ปริมาณกำมะถันในอ่างโลหะผสมโซลเดอร์ ที่ทำให้เกิดผิวขรุขระจะเป็น 0.0002% จากการตรวจสอบด้วยรังสีเอ็กซ์ (X - Ray Diffraction) พบว่ากำมะถันจะอยู่ในรูปของ SnS และ PbS ซึ่งมักจะลอยอยู่ที่ผิว ของโลหะผสมโซลเดอร์หลอมเหลว กำมะถันในโลหะผสมโซลเดอร์ ที่มีดีบุกอยู่สูง ไม่พบว่าทำให้เกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) ขึ้น แต่ในโลหะผสมโซลเดอร์ที่มีตะกั่วสูง เช่น เกรด 7% Sn - 93% Pb จะทำให้เกิดการเปียกไม่สมบูรณ์ (Dewetting) ขึ้นได้ เมื่อ

มีกำมะถัน 1.0% อย่างไรก็ตามก็ยังไม่ได้มีการกำหนดไว้ในมาตรฐานใด ให้มีการจำกัดปริมาณของกำมะถันใน โลหะผสมโซลเดอร์เลย รายงานของ ITRI เสนอว่าโลหะผสมโซลเดอร์ที่มีคุณภาพ ควรมีกำมะถันไม่เกิน 0.0003%

ฌ. สังกะสี (Zinc) สังกะสีเป็นตัวที่ทำให้เกิดออกไซด์ ถ้ามีไม่เกินกว่า 0.005% จะทำให้ผิวของรอยเชื่อมต่อบนทองแดงเสียไป แต่การใช้สารประสานการเชื่อม (Flux) ที่รีแอคทีฟ (Reactive) เช่น ซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ (Zinc Ammonium Chloride) จะช่วยลดผลของการเกิดออกซิไดซ์ (Oxidation Effect) ของสังกะสีลง ทำให้อาจมีสังกะสีในอ่างโลหะผสมโซลเดอร์ ได้ถึง 0.01% นอกจากนี้แล้วสังกะสียังทำให้การกระจายตัว ของโลหะผสมโซลเดอร์ลดลงด้วย สาเหตุก็เพราะฟิล์มออกไซด์ของสังกะสี ที่เคลือบผิวโลหะผสมโซลเดอร์หลอมเหลวไว้

ญ. เหล็ก (Iron) เหล็กจะรวมตัวกับดีบุก เป็นสารประกอบระหว่างโลหะ FeSn และ $FeSn_2$ ได้ ถ้ามีเหล็กในโลหะผสมโซลเดอร์ถึง 0.1% จะทำให้ผิวไม่เรียบ แต่เหล็กไม่สามารถละลายลงในโลหะผสมโซลเดอร์ได้สูงขนาดนั้น ที่อุณหภูมิใช้งานทั่วไป ดังนั้นการใช้อ่างโลหะผสมโซลเดอร์ ที่ทำด้วยเหล็กหล่อจะไม่มีผลเสีย แต่เหล็กจะละลายเข้าไปในโลหะผสมโซลเดอร์ได้ ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 427°ซ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยง ไม่ให้มีจุดใดจุดหนึ่งของอ่างโลหะผสมโซลเดอร์ ร้อนเกินกว่าอุณหภูมินี้ สารประกอบระหว่างโลหะ ที่ทำให้เกิดความขรุขระนี้ ปกติจะสามารถลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าเป็นเศษโลหะ (Dross) ซึ่งสามารถกวาดออกได้

ฎ. เงิน (Silver) ไม่สามารถละลายในดีบุกและตะกั่วได้เลย แต่สามารถรวมตัวกับดีบุกเป็นสารประกอบระหว่างโลหะได้ คือ Ag_6Sn เงินจะไม่ถือเป็นสิ่งเจือปน (Impurities) ในโลหะผสมโซลเดอร์ เพราะจะไม่ทำให้เกิดผลเสียในโลหะผสมโซลเดอร์เลย แม้จะมีถึง 2 - 3% ก็ตาม

ฏ. นิกเกิล (Nickel) ไม่สามารถละลายในดีบุกและตะกั่วได้ แต่จะเกิดสารประกอบระหว่างโลหะ คือ Ni_3Sn, Ni_3Sn_2 และ Ni_3Sn_4 ได้ ปกติจะไม่พบ ในโลหะผสมโซลเดอร์ และไม่มีผลเสียอย่างใดกับโลหะผสมโซลเดอร์

3.1.4 คุณสมบัติโลหะผสมโซลเดอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ (Thwaites, 1982)

คุณสมบัติโลหะผสมโซลเดอร์ ที่ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับแผ่นวงจรพิมพ์นั้น โดยปกติต้องมีคุณสมบัติ คือ

ก. เปียกผิวของโลหะที่ต้องการทำการเชื่อมได้ง่าย (Wetting)

ข. เกิดการไหลเข้าไปตามช่องว่างของพื้นผิวที่เหลืออยู่ได้ง่าย (Capillary)

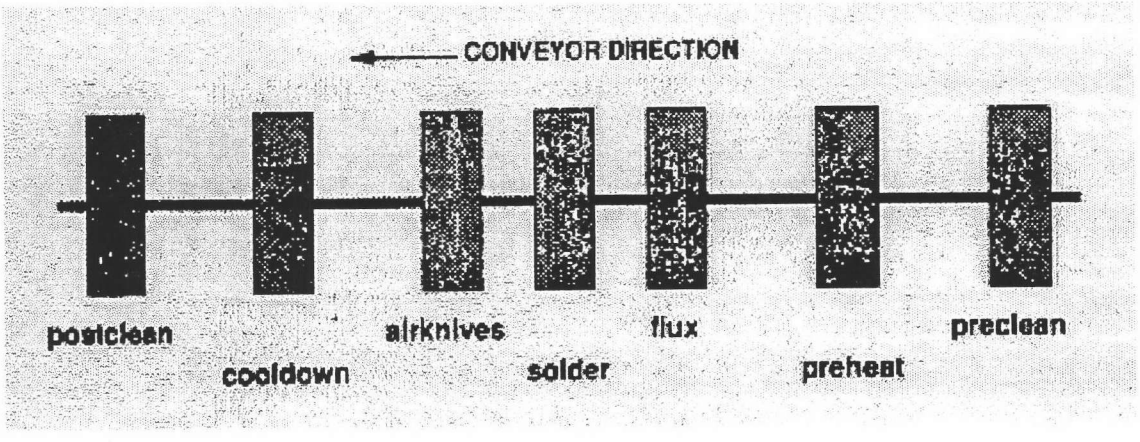
ค. เกิดการเชื่อมต่อกันเป็นพันธะเชิงโลหะการ (Metallurgical Bonding) ระหว่างผิวโลหะทั้งสองหลังจากแข็งตัวแล้ว

3.2 กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบ (Hot Air Leveling, HAL)

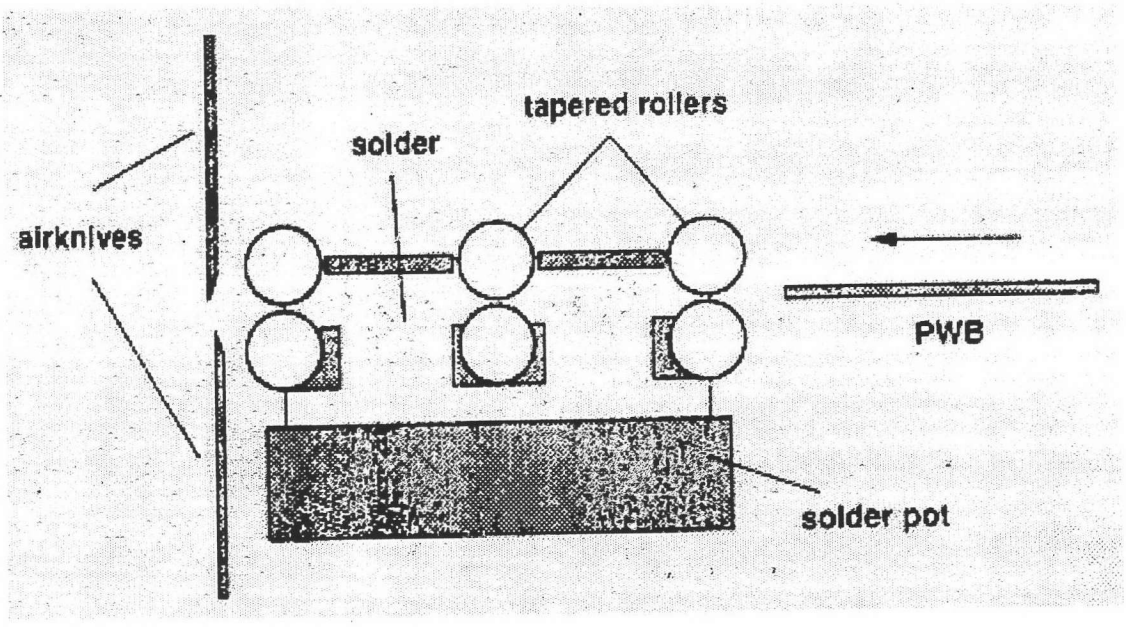
ในปัจจุบันกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบ มีอยู่ 2 รูปแบบ แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน คือ การชุบเคลือบในแนวระนาบ (Horizontal HAL) และการชุบเคลือบในแนวดิ่ง (Vertical HAL)

3.2.1 การชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบ ในแนวระนาบ (Horizontal HAL) (Goodell, 1988-90)

เป็นการชุบเคลือบที่เพิ่งจะมีการคิดพัฒนาขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง เพื่อที่ต้องการจะแก้ปัญหาความหนาที่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ของการชุบเคลือบในแนวดิ่ง กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวระนาบนั้น จะประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวระนาบ



รูปที่ 3.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นบอร์ดและตำแหน่งมีดลมของ กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวระนาบ

ปัจจุบันมีบริษัทที่ผลิต เครื่องชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวระนาบ อยู่เพียง 3 บริษัท คือ

a. Teledyne Halco 350 and 175

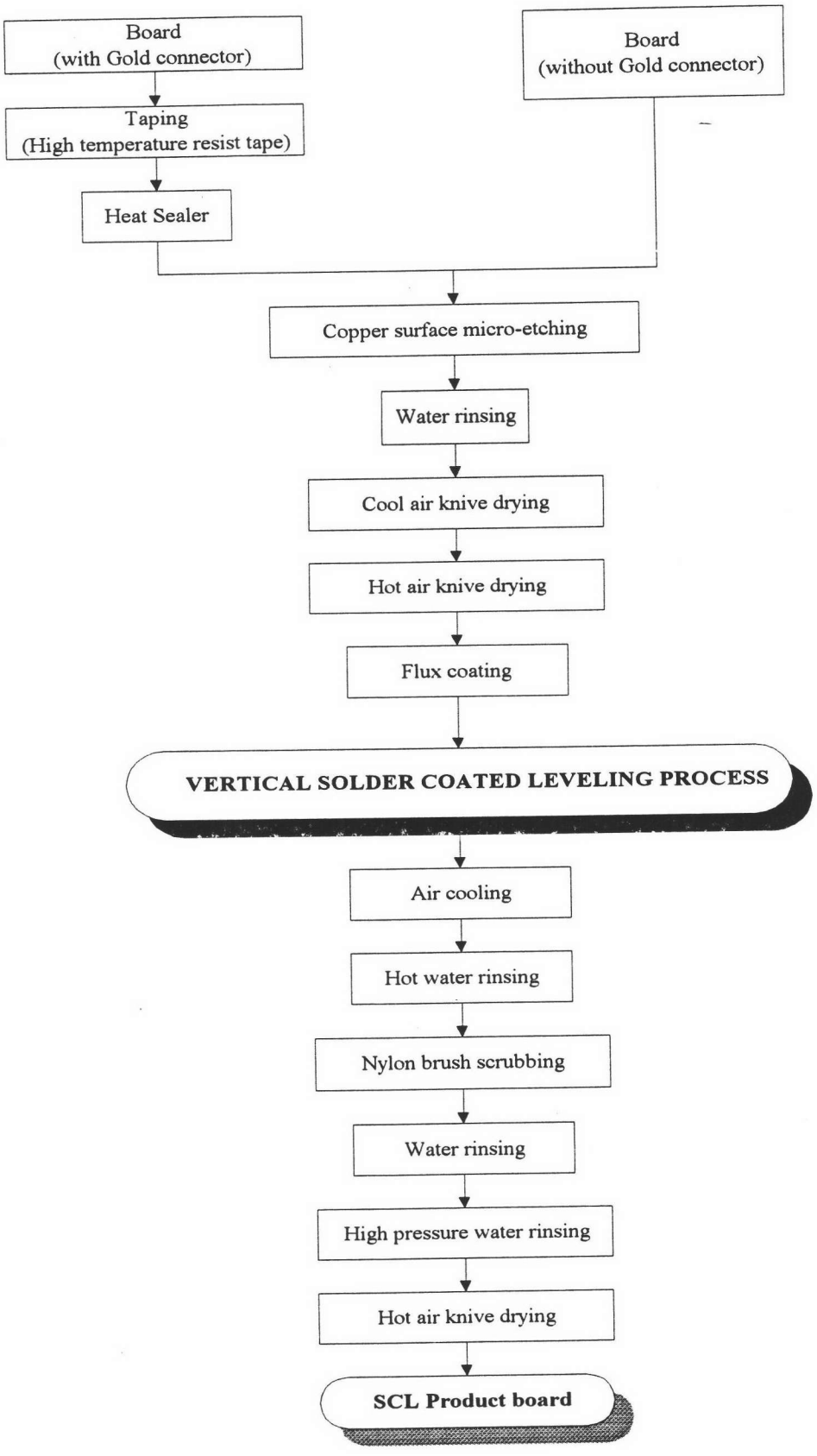
b. Alchemy - Quicksilver

c. Gyrex

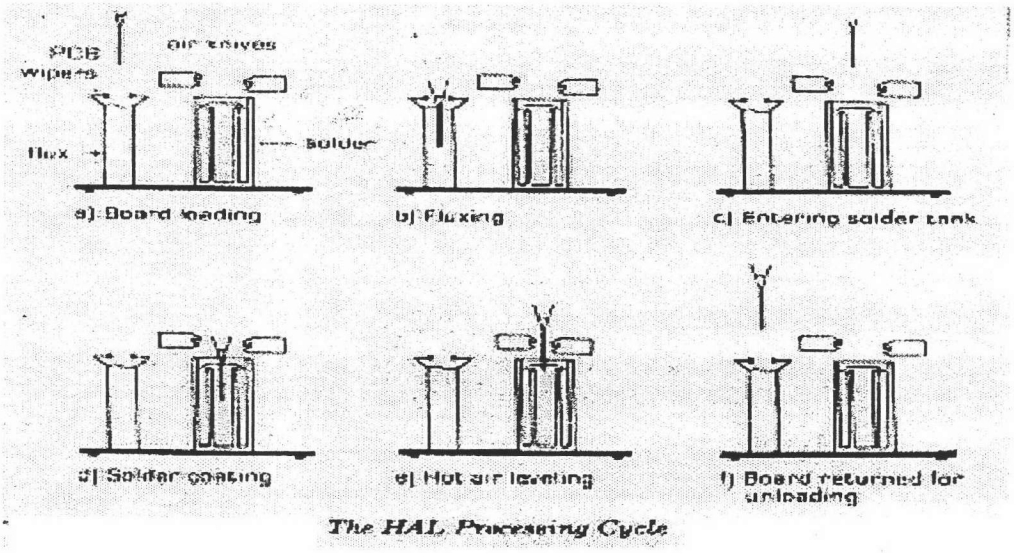
จุดเด่นของการชุบเคลือบแบบนี้คือ ผิวของโลหะผสมโซลเดอร์ จะมีความหนาสม่ำเสมอมาก ทั่วทั้งผิวทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์ โดยมีความหนาเฉลี่ยดีที่สุดที่สามารถทำได้ ในปัจจุบันนี้จะอยู่ที่ 7 - 13 ไมครอน โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน < 2 ไมครอน สายการผลิตเป็นแบบอัตโนมัติ และมีความสามารถในการผลิตสูงมาก ส่วนจุดด้อยคือ ราคาเครื่องจักรมีราคาแพงมาก การเตรียมการก่อนการทำงานยุ่งยาก และการบำรุงรักษาลำบาก และต้องทำ

กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวดิ่ง นั้น จะประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตย่อยๆ ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6

ขั้นตอนการผลิตอย่างย่อๆ เริ่มจากการเตรียมแผ่นวงจรพิมพ์ โดยการนำเทปป้องกันโลหะผสมโซลเดอร์ ติดบนบริเวณขาอุปกรณ์ที่ชุบทองเอาไว้ ซึ่งต้องเป็นเทปทนความร้อน ทำการรีดด้วยเครื่องผนึกด้วยความร้อน (Heat Sealer) ภายใต้อุณหภูมิสูง และความดันสูง เพื่อให้เทปติดแนบสนิทบนขาทองก่อน จากนั้นจึงนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดผิวทองแดง ก่อนนำมาเข้ากระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีความสำคัญมาก เพราะเป็นขั้นตอนการกำจัดคราบไขมัน (Oil and Grease) และออกไซด์ของทองแดงบนผิวของทองแดงออก โดยการใช้สารเคมี จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อไม่ให้สารเคมี และออกไซด์ของทองแดงที่ถูกกัดและตกค้างอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เหลืออยู่ จากนั้นผ่านเข้าสู่ กระบวนการของการทำแผ่นวงจรพิมพ์ให้แห้ง โดยการใช้อากาศร้อนเป่าผ่านมีดลมในทิศทางที่สวนทาง กับทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อเป็นการรีดน้ำออก และเป็นการเพิ่มอุณหภูมิไปในขณะเดียวกันด้วย หลังจากนั้นจึงผ่านเข้าไปยัง กระบวนการชุบเคลือบสารประสานการเชื่อม (Flux Coating) จากนั้นจึงผ่านไปยังกระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวดิ่ง ซึ่งเมื่อทำการชุบเคลือบเสร็จ จะต้องทำการล้างคราบสารประสานการเชื่อมออก เพื่อป้องกันสิ่งตกค้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการผุกร่อนหลังจากการนำไปใช้งาน ด้วยน้ำร้อน ผ่านเข้ากระบวนการขัดทำความ



รูปที่ 3.5 กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวดิ่ง



รูปที่ 3.6 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นบอร์ดและตำแหน่งมีดลมของ กระบวนการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวดิ่ง

สะอาดด้วยแปรงขนอ่อน ล้างด้วยน้ำที่แรงดันน้ำต่ำ และล้างครั้งสุดท้ายด้วยน้ำแรงดันสูงซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงทำการเป่าให้แห้ง ด้วยการใช้มีดลมและ อากาศร้อนเป่าสวนทาง กับทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งจะได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีโลหะผสมโซลเดอร์ คลุมบนบริเวณที่จะใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์

กระบวนการผลิตดังกล่าวข้างต้น จะพบว่าการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์จะต้องกระทำที่อุณหภูมิประมาณ 225 - 265 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงมาก จึงง่ายต่อการที่จะเกิดปรากฏการณ์การช็อคทางความร้อน (Thermal Shock) ได้ง่าย ซึ่งมีผลทำให้เกิดข้อบกพร่องได้ง่าย ซึ่งโดยปกติ % ของเสียของกระบวนการผลิต จะมีค่าที่สูงมาก โดยเฉลี่ยจะอยู่ประมาณ 25 - 40% ตัวอย่างของชนิดของเสียที่เกิดขึ้น มีดังนี้คือ พื้นผิวส่วนที่ถูกชุบเคลือบด้วยโลหะผสมโซลเดอร์มีความเรียบไม่สม่ำเสมอ (Uneven Solder), รูหลังการชุบเคลือบด้วย

โลหะผสมโซลเดอร์ต้น (Block Hole) และอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งแต่ละกรณีของของเสียที่เกิดขึ้น อาจจะเกิดจากสาเหตุต่างๆ กันออกไป หรืออาจจะเกิดจากสาเหตุมากกว่า 1 สาเหตุก็ได้ และเนื่องจากในแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมา จะมีตัวแปรและพารามิเตอร์หลายตัวที่เกี่ยวข้องกัน ในแต่ละกระบวนการย่อย ซึ่งนั่นก็คือความซับซ้อนของกระบวนการ ซึ่งเมื่อพารามิเตอร์ใด ออกนอกค่าที่ควรจะเป็น จะส่งผลให้เกิดของเสีย (Defect) ขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ ในทางปฏิบัติจึงมักจะต้องมี ผู้ที่มีความชำนาญงานทางด้านโลหะผสมโซลเดอร์ โดยตรงมาช่วยในการแก้ไข หรือให้แนวทางแก้ไขเบื้องต้นอยู่ เสมอๆ จึงจะแก้ไขได้อย่างตรงจุดและรวดเร็ว

กระบวนการผลิตของการชุบเคลือบโลหะผสมโซลเดอร์ ด้วยการใช้ลมร้อนเป่าให้เรียบในแนวดิ่งนี้ ถึงแม้จะมีการผลิตมานานแล้วก็ตาม แต่ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น จากกระบวนการผลิตนี้ ก็ยังคงเป็นปัญหาให้กับผู้ปฏิบัติงานและวิศวกรกระบวนการอยู่บ่อยๆ เกี่ยวกับการแก้ไขปัญหา เพราะโอกาสที่ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตนี้ จะนำไปสู่การที่ไม่สามารถนำแผ่นวงจรพิมพ์ ไปใช้ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ หรือทำให้แผ่นวงจรพิมพ์เกิดความเสียหายขึ้นมานั้น มีโอกาสสูงมาก แนวทางการแก้ไขปัญหาในบัจจุบัน ยังคงต้องการผู้ที่มีประสบการณ์ทางด้านนี้โดยตรง ซึ่งได้แก่

ก. ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตนี้มาไม่ต่ำกว่า 3 ปี

ข. วิศวกรกระบวนการผลิต ที่รับผิดชอบ

ค. ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับโลหะผสมโซลเดอร์ หรือสารประสานการเชื่อม

ซึ่งทำให้การแก้ไขปัญหาล่าช้า และบางครั้งไม่สามารถหาผู้เชี่ยวชาญ มาให้คำแนะนำการแก้ไขปัญหาได้ ซึ่งทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก ก่อให้เกิดความเสียหายติดตามมาอีกมากมาย