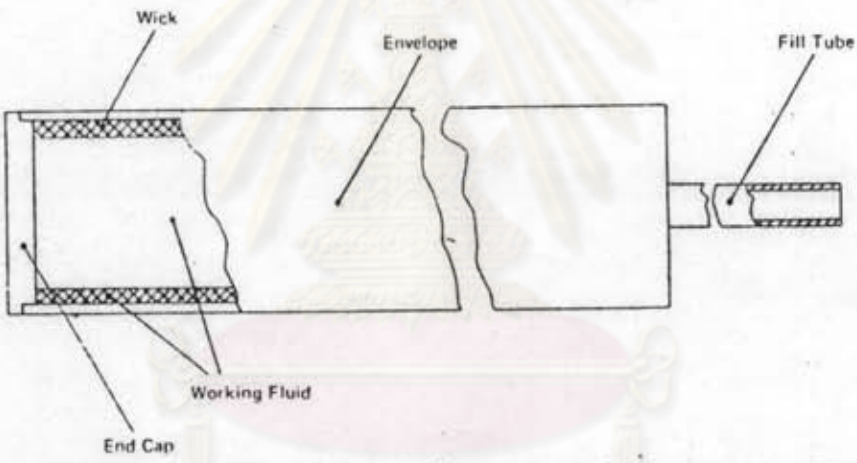
บทที่ 6

การสร้างฮีทไปป์

6.1 ส่วนประกอบของฮีทไปป์ (CHI, 1976)

ฮีทไปป์มีส่วนประกอบ 5 ชิ้นคือ ท่อ (Envelope), วิกค์ (Wick), หมวกปิดท่อ (End cap), ท่อเติม (Fill tube) และของไหลใช้งาน (Working fluid)



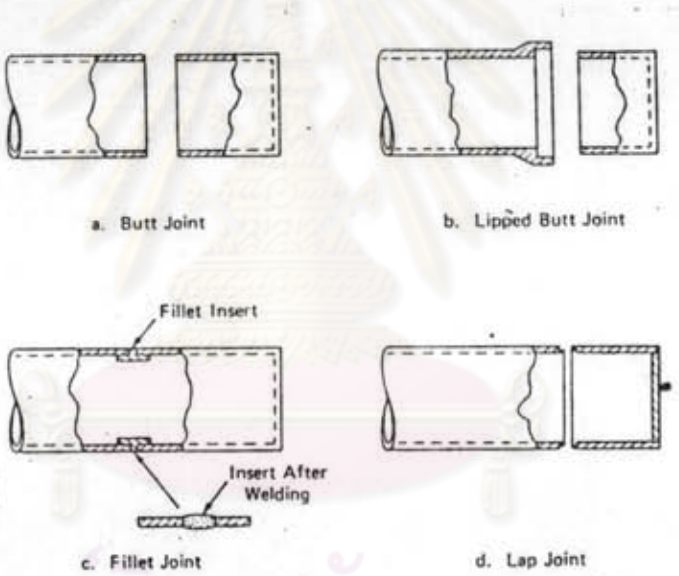
รูปที่ 6.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของฮีทไปป์

1. ท่อ ท่อที่ใช้ทำฮีทไปป์มีหลายประเภทและหลายขนาด การเลือกท่อในตอนออกแบบฮีทไปป์นั้นต้องคำนึงถึงราคาของท่อด้วย ท่อที่ใช้ทั่วไปมี 2 ประเภทคือ ท่อไร้ตะเข็บ และท่อเชื่อมต่อ (butt welding tubes)

สิ่งที่ควรระวังในการตัดท่อให้ได้ความยาวที่ต้องการคือ การเสียรูปของปลายท่อ เพราะถ้าเกิดการเสียรูปแล้ว รอยเชื่อมหมวกปิดท่อจะไม่ทนทานและเกิดรูรั่วได้ง่าย

ท่อที่นิยมใช้ทั่วไปเป็นท่อผิวเรียบ แต่ก็มีการพัฒนาท่อแบบมีร่องยาวเล็ก ๆ จำนวนมากที่ผนังท่อด้านใน ร่องเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นวิกค์ชนิดร่องในแนวแกน (axial-grooved wick) ซึ่ง Kemme เป็นผู้ที่พัฒนาขึ้นมาเป็นคนแรก โดยการเอาแผ่นโลหะแบนเรียบมาเซาะร่องเล็ก ๆ แล้วม้วน เชื่อมต่อ (butt welding) ให้ด้านที่มีร่องอยู่ข้างใน

2. หมวกปิดท่อ หมวกปิดท่อที่ใช้ควรมีความหนาของผนังน้อยที่สุดที่จะทนต่อความเค้นที่เกิดขึ้นได้ หมวกปิดท่อจะถูกเชื่อมติดกับปลายท่อ รูปแบบของการเชื่อมต่อนี้มีความสำคัญมากต่อการสร้างฮีทไปป์ และแบ่งได้เป็น 4 แบบคือ แบบเชื่อมต่อธรรมดา (butt joint), แบบเชื่อมประกบ (Lipped butt joint), แบบเชื่อมเติมร่อง (Fillet joint) และแบบเชื่อมเหลื่อม (Lap joint) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 กรรมวิธีการเชื่อมต่อหมวกปิดท่อ

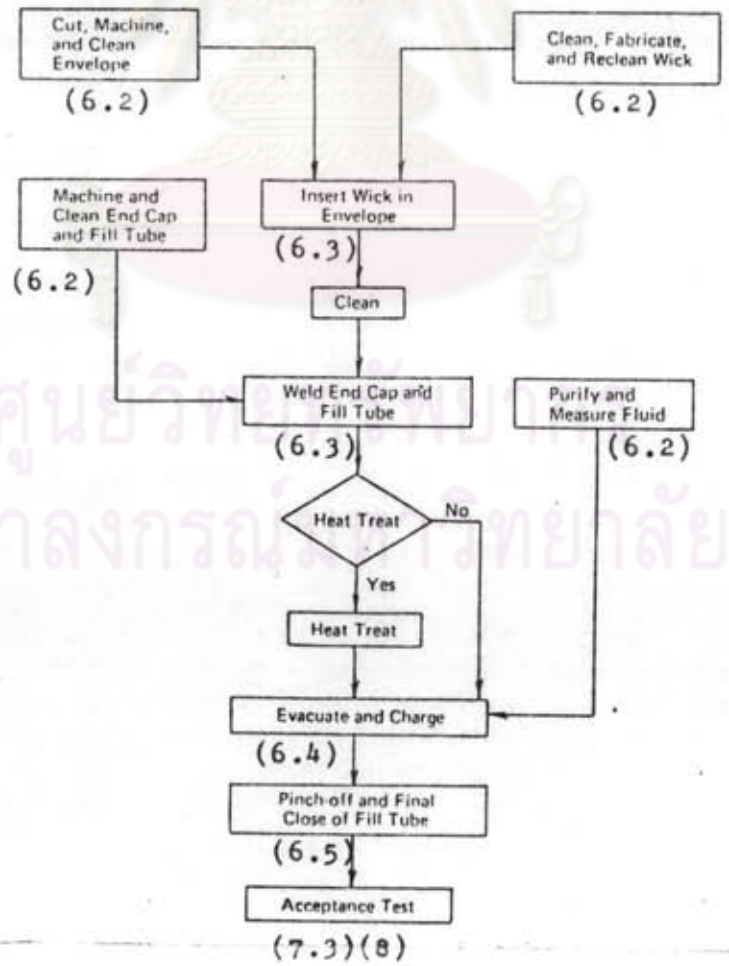
สิ่งที่ควรระวังในการเชื่อมหมวกคือ หมวกปิดท่อและตัวท่อต้องอยู่ในแนวตรง รอยเชื่อมต้องแข็งแรง ไม่มีรอยรั่วซึม ความหนาของรอยเชื่อมต้องมีขนาดใกล้เคียงกับความหนาของผนังท่อ และรอยเชื่อมนั้นควรจะอยู่บนเนื้อของหมวกปิดท่อและบนตัวท่อเท่า ๆ กัน อีกทั้งต้องเป็นรอยที่ล่ำเล่มอด้วย ในการเชื่อมต่อหมวกปิดท่อนี้ไม่ควรใช้การเชื่อมต่อแบบธรรมดา

3. <u>ท่อเติม</u> เป็นท่อต่อยาวเล็กบนหมวกปิดท่อด้านหนึ่งของฮีทไปป์ เพื่อใช้เป็นทางดึงเอาอากาศออกจากฮีทไปป์และเติมของไหลใช้งานเข้าท่อ ก่อนที่ฮีทไปป์ใช้งาน จะต้องปิดท่อเติมให้สนิทเสียก่อน อาจจะโดยการบีบให้แบนแล้วเชื่อมปิดปลาย ท่อเติมนี้ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกไม่เกิน 1/4 นิ้ว และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1/16 นิ้ว

4. <u>วิกค์</u> ถ้าวิกค์ที่ใช้เป็นแบบร่องในแนวแกนก็ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมวิกค์ แต่ถ้าเป็นวิกค์แบบอื่น เช่นแบบลวดตาข่าย ก็จำเป็นต้องมีการเตรียมวิกค์ก่อน ในการตัดลวดตาข่ายให้ได้ขนาดตามต้องการจะต้องใช้แผ่นวัสดุแบน ๆ 2 แผ่นประกบกับวิกค์ให้แน่นในขณะตัด เพื่อป้องกันไม่ให้ขอบวิกค์เสียรูป

5. <u>ของไหลใช้งาน</u> ของไหลใช้งานที่ใส่ในท่อฮีทไปป์ต้องมีปริมาณที่พอเหมาะ และต้องมีความบริสุทธิ์มากที่สุด

ส่วนประกอบทุกชิ้นจะต้องผ่านขั้นตอนในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แผนผังขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์

6.2 การทำความสะอาดส่วนประกอบต่าง ๆ (CHI,1976)

ความสะอาดของส่วนประกอบมีผลต่อสมรรถนะและอายุการใช้งานของอีกไปมาก วิธีการทำความสะอาดมีดังต่อไปนี้

ก. การทำความสะอาดส่วนประกอบที่เป็นโลหะ แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การกำจัดคราบไขมัน (Degreasing) คราบไขมันที่ติดมากับวัสดุอาจเป็นน้ำมัน ไข หรือจาระบี โดยทั่วไปจะใช้สารละลายจำพวกเมทธิลีนไดโครเมท (Methylene dichromate) ไตรคลอโรอีเทน (Trichloroethane) และไตรคลอโรเอธิลีน (Trichloroethylene) แต่นิยมใช้สารละลายไตรคลอโรอีเทน เพราะมีราคาถูกกว่า สารละลายนี้สามารถใช้ทำความสะอาดได้ทุกชนิดโดยต้องพึ่งเครื่องมือที่ใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic cleaning equipments) ในขณะที่ชิ้นส่วนแช่อยู่ในสารละลายควรจะใช้แปรงแปรงเบา ๆ ด้วย

2. การกำจัดอนุภาคของแข็ง (Solid particle removal) อนุภาคของแข็งบางชนิดอาจถูกกำจัดออกไปตั้งแต่ขั้นตอนการกำจัดคราบไขมันแล้ว แต่ยังมีอนุภาคบางอย่าง เช่นไขมันสภาพกึ่งของแข็งหรือของแข็ง ซึ่งไม่สามารถล้างออกได้ด้วยสารละลาย จึงจำเป็นต้องใช้สารพวกอัลคาไลน์ (Alkaline) เช่นใช้ Oakite ในกรณีของโลหะอลูมิเนียมและ Coppa-Kleen สำหรับทองแดง เป็นต้น

สารอัลคาไลน์ที่ยกมานี้เป็นชื่อทางการค้า และประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดฟอง (Synthetic Organic Surfactants) หรือสบู่ 2-10 % และเกลือของด่างอย่างน้อย 2 ชนิดเช่น เกลือของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Caustic Soda) โซเดียมออโธซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนท (Soda ash) โซเดียมเตตราบอเรท (Borax) หรือโซเดียมโพลีฟอสเฟส เป็นต้น

อนึ่ง ยังมีอนุภาคของแข็งอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นบนผิวโลหะเนื้อแข็ง เช่นพวกสเตนเลส ในรูปของจุดดำหนีของเนื้อเหล็ก เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้สามารถทำปฏิกริยาเคมีกับของไหลใช้งาน จึงต้องกำจัดออกโดยการใช้สารออกซิไดซิง ซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับตัวสเตนเลสเอง เช่น กรดไนตริก โซเดียมไดโครเมท โปแตสเซียมไดโครเมทหรือสารผสมของสารพวกนี้

3. การกำจัดออกไซด์ (Deoxydizing) โลหะทั่วไปจะเกิดออกไซด์ปกคลุมผิวโดยรอบ ซึ่งทำให้คุณสมบัติเบียกผิวของโลหะนั้นลดลง อีกทั้งออกไซด์ของโลหะบางชนิดก็สามารถทำปฏิกริยาเคมีกับของไหลใช้งาน และก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการด้วยเช่น ออกไซด์ของอลูมิเนียมจะทำปฏิกริยาเคมีกับแอมโมเนียให้ก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจนและโลหะอลูมิเนียม เป็นต้น ทำให้อีกไปมีสมรรถนะต่ำลงมาก วิธีการกำจัดออกไซด์ย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะเช่น

3.1 วิธีกำจัดออกไซด์ของสเตนเลส จุ่มชิ้นส่วนนั้นลงใน 50 % โดยปริมาตรของกรดกำมะถันที่ 150° ฟ อย่างน้อยหนึ่งนาที และจุ่มลงในกรดผสมระหว่างกรดกำมะถันและกรดเกลือที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อยหนึ่งนาที

อีกวิธีที่นิยมใช้กัน ซึ่งกำจัดอนุภาคเหล็กพร้อมกันด้วย คือการจุ่มลงในสารละลายของ 15-30 % โดยปริมาตรกรดดินประสิวและ 7.5-30 กก./ม^3 โซเดียมไดโครเมท ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1/2-2 ชม.

3.2 วิธีกำจัดออกไซด์ของทองแดงและอลูมิเนียม จุ่มลงในสารละลายของ 15-30 กก./ม^3 โซเดียมไดโครเมทและ 4-7 % โดยปริมาตรกรดกำมะถันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5-30 นาที

หลังจากกำจัดออกไซด์จากชิ้นส่วนต่าง ๆ แล้ว ต้องล้างด้วยน้ำสะอาด 2 นาทีและกลั้วด้วยน้ำกลั่นทันที จากนั้น ทำให้แห้งด้วยอากาศสะอาดแล้วกลั้วด้วยไอโซโปรพิลแอลกอฮอล์ไร้น้ำ แล้วทำให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนร้อน 160° ฟ ที่ผ่านการกรองแล้ว

ตัวอย่างการทำความสะอาดชิ้นส่วนที่เป็นทองแดงและอลูมิเนียม

1. แช่ในไตรคลอโรอีเทนอุณหภูมิห้องและใช้แปรงถูเป็นระยะ ๆ
2. กลั้วด้วยไตรคลอโรอีเทนอุณหภูมิห้อง
3. จุ่มอลูมิเนียมลงใน Oakite No 164 (15-75 กก./ม^3) ส่วนทองแดงใน Coppa Kleen (15-75 กก./ม^3) ที่ 140-180° ฟ เป็นเวลานาน 5-30 นาที
4. ล้างด้วยน้ำสะอาด 2 นาที
5. จุ่มลงในสารละลายโซเดียมไดโครเมทและกรดกำมะถันที่อุณหภูมิห้อง 5-30 นาที

6. ล้างด้วยน้ำล่ะอาด 2 นาที แล้วกลั้วด้วยน้ำกลั่น

7. เป่าให้แห้งด้วยอากาศล่ะอาด

8. ล้างด้วยไอโซโปรพิลแอลกอฮอล์ไร้น้ำ

9. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนล่ะอาดที่ 160° ฟ

ตัวอย่างการทำความล่ะอาดชิ้นส่วนที่เป็นล่แตนเลล่

1. ล้างด้วยไตรคลอโรอีเทนที่อุณหภูมิห้อง และใช้แปรงถูเป็นระยะ ๆ

2. กลั้วด้วยไตรคลอโรอีเทน แล้วเป่าให้แห้งด้วยอากาศล่ะอาด

3. จุ่มลงในล่ารละลายโซเดียมไดโครเมทและกรดซัลฟิวริคที่อุณหภูมิห้องนาน 1/2-2 ชม.

4. ล้างด้วยน้ำล่ะอาด 2 นาที

5. เป่าให้แห้งด้วยอากาศล่ะอาด

6. ล้างด้วยไอโซโปรพิลแอลกอฮอล์ไร้น้ำ

7. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนล่ะอาดที่ 160° ฟ ที่กรองแล้ว

ข. การทำความล่ะอาดของไหลใช้งาน การทำของไหลใช้งานให้บริสุทธิ์มีขั้นตอนดังนี้

1. การกลั่นของไหลใช้งานจำพวก น้ำและล่ารละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน เอทธานอล เป็นต้น จะต้องผ่านการกลั่นเสียก่อน

2. การกำจัดความชื้น โดยใช้ซิลิกาเจล (Silica gel) หรืออลูมินา (Alumina)

3. การกำจัดก๊าซต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในของไหลใช้งาน โดยในกรณีที่ใช้งานยิทไปบ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 200° ซ (392° ฟ) จำเป็นต้องมีการไล่ก๊าซที่ละลายอยู่ในของไหลออกโดยวิธี freezing degassing ซึ่งจะอธิบายในภายหลัง

6.3 ขั้นตอนการประกอบฮีทไปป์ (CHI, 1976)

เมื่อทำความสะอาดชิ้นส่วนต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ควรประกอบเข้ากันทันทีโดยไม่ปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ ขั้นตอนการประกอบคือ การขึ้นรูปและการล่อดไส้วิกค์ และการเชื่อมต่อหมวกปิดท่อและท่อเติม

1. การขึ้นรูปและการล่อดไส้วิกค์ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่วิกค์แบบลวดตาข่ายเท่านั้น สิ่งที่ควรระวังในการขึ้นรูปลวดตาข่าย คือการเกิดรอยบุ๋ม การม้วนวิกค์ควรใช้แกนม้วนทรงกระบอกช่วยวิกค์ที่ม้วนเรียบร้อยแล้วควรมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเล็กน้อย ต้องล่อดวิกค์เข้าท่อโดยกะว่าเมื่อติดหมวกปิดท่อแล้ว วิกค์จะไม่ถูกอัดจนบุ๋มหรือเสียรูป จากนั้นจึงปล่อยให้วิกค์คลายตัว แรงเค้นของวิกค์จะช่วยอัดตัววิกค์ให้ติดกับผนังท่อ อาจใช้แท่งทรงกระบอกยาวเรียวดันให้วิกค์แนบสนิทกับผนังท่อมากขึ้น หรืออาจใช้สปริงแข็งเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของวิกค์เล็กน้อยม้วนใส่เข้าไปด้วย เพื่อช่วยอัดให้วิกค์ติดกับผนังท่อดีขึ้น

2. การเชื่อมหมวกปิดท่อและท่อเติม ในกรณีที่ท่อเติมไม่ได้ติดกับหมวกปิดท่อตั้งแต่แรก เราจะต้องเชื่อมท่อเติมกับหมวกเสียก่อน หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมหมวกปิดท่อทั้งด้านที่มีท่อเติมและด้านที่ไม่มีท่อเติมเข้ากับท่อ การเชื่อมต่อทั้งหมดจะต้องไม่มีรอยรั่วและรอยร้าว เพราะจะทำให้ระบบสูญญากาศของฮีทไปป์เสียได้ การเชื่อมที่สามารถใช้ได้ในการสร้างฮีทไปป์นี้ได้แก่ การเชื่อมแบบ TIG (Tungsten-Inert Gas welding) และการเชื่อมแบบ EBW (Electon Beam welding)

ก. การเชื่อมแบบ TIG เป็นการเชื่อมด้วยไฟฟ้า โดยมีแท่งเชื่อมถาวร (electrode) เป็นTimgsten และลวดเชื่อม (filler metals) เป็นโลหะชนิดอื่น การเชื่อมแบบนี้จะมีช่องพ่นก๊าซเฉื่อยรอบ ๆ แท่งเชื่อมถาวรเพื่อปกคลุมรอยเชื่อมไม่ให้ถูกกับอากาศ ทำให้รอยเชื่อมสะอาดไม่เกิดรอยรั่ว

ข. การเชื่อมแบบ EBW เป็นการเชื่อมที่มีการสร้างห้องสูญญากาศเพื่อปกป้องรอยเชื่อมจากอากาศ การเชื่อมแบบนี้ใช้ปริมาณความร้อนน้อยกว่าการเชื่อมทั่วไปและมีการกระจายของความร้อนบนผิวโลหะในบริเวณแคบ ๆ ทำให้ผิวโลหะและรอยเชื่อมไม่มีสารประกอบใด ๆ เกิดขึ้น

นอกจากการเชื่อมที่ถูกต้องแล้ว ควรมีอุปกรณ์ตรวจล่อบรอยรั่วที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น mass spectrometer โดยลดความดันในท่อลง แล้วตรวจดูว่ามีก๊าซฮีเลียมที่อยู่ภายนอกท่อซึมผ่านเข้าในท่อหรือไม่

การเชื่อมท่อฮีทไปป์จะไม่ใช้น้ำยาประสาน (flux) ในการเชื่อม เพราะทำให้เกิดรอยรั่วได้ง่าย

6.4 การเติมของไหลใช้งานและการทำสุญญากาศ (CHI,1976)(DUNN,1978)

เมื่อประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ลักษณะภายนอกจะเหมือนฮีทไปป์ทุกอย่าง ขั้นตอนต่อไปเป็นการเติมของไหลใช้งานและการทำสุญญากาศภายในท่อ ซึ่งมีกรรมวิธีดังต่อไปนี้

ก. ปริมาณของไหลใช้งานที่ใช้

ปริมาณของของไหลใช้งานที่ต้องใช้ สามารถคำนวณได้โดยคำนึงให้ของไหลใช้งานเพียงอิ่มวิกค์พอดีดังนี้

$$m = A_v L_t \rho_v + A_w L_t \rho_l \epsilon \qquad 6.1$$

โดยที่ m = น้ำหนักของของไหลใช้งานที่ใช้

A_v = พื้นที่หน้าตัดที่ไอไหลผ่าน

L_t = ความยาวรวมของฮีทไปป์

A_w = พื้นที่หน้าตัดของส่วนที่เป็นวิกค์

ϵ = ความพรุนของวิกค์

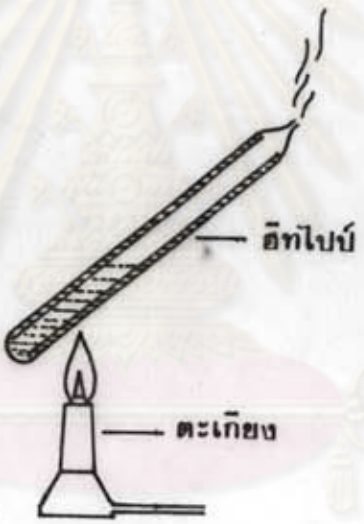
ρ_v = ความหนาแน่นของไอที่อุณหภูมิใช้งาน

ρ_l = ความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิใช้งาน

ข. กรรมวิธีใช้เติมของไหลใช้งานและทำสุญญากาศ

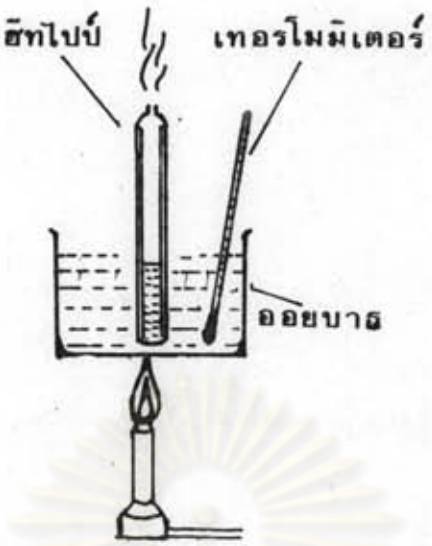
กรรมวิธีที่จะกล่าวในที่นี้ เป็นกรรมวิธีสำหรับการสร้างฮีทไปป์ที่อุณหภูมิใช้งานต่ำ (Low temperature heatpipe) ซึ่งมีอยู่ 4 วิธี จากง่ายไปหายาก ดังนี้

1. <u>แบบให้ความร้อนโดยตรงต่อฮีทไปป์</u> กรรมวิธีนี้นับว่าเป็นวิธีแบบง่ายที่สุด หลังจากประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เป็นท่อฮีทไปป์เรียบร้อยแล้ว จะเติมของไหลใช้งานเข้าไปในท่อฮีทไปป์โดยตรงในปริมาณมากเกินพอ จากนั้นไล่อากาศและก๊าซไม่ควบแน่นที่ล้างอยู่ในท่อและละลายอยู่ในของเหลว โดยการเอาเปลวไฟไปรนบริเวณด้านล่างของฮีทไปป์ ดังรูปที่ 6.4 เมื่อของไหลใช้งานเริ่มเดือดพล่าน ไอของไหลใช้งานที่พุ่งออกมาก็จะช่วยไล่ที่อากาศที่อยู่ภายในท่อฮีทไปป์ หลังจากปล่อยให้เดือดเป็นเวลาเหมาะสมและของไหลใช้งานในท่อมีปริมาณเหลือตามต้องการแล้ว ก็ทำการปิดผนึกปลายท่อด้านบนในขณะที่ของไหลใช้งานยังคงเดือดอยู่



<u>รูปที่</u> 6.4 แสดงกรรมวิธีการผลิตฮีทไปป์แบบให้ความร้อนโดยตรง

2. <u>แบบให้ความร้อนต่อฮีทไปป์โดยใช้ออยบาธ</u> (oil bath) กรรมวิธีนี้ต้องลงทุนมากกว่าวิธีที่ 1 เพียงเล็กน้อย แต่หลักการดำเนินงานยังคงเหมือนกัน จะต่างกันตรงที่กรรมวิธีนี้ใช้ออยบาธที่รักษาอุณหภูมิของน้ำมันให้คงที่ (รูปที่ 6.5) เพื่อให้เกิดการเดือดอย่างสม่ำเสมอ และสามารถควบคุมปริมาณของไหลใช้งานที่เหลือในท่อโดยการควบคุมเวลา ดังนั้น จึงสามารถสร้างฮีทไปป์ที่มีสมรรถนะใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้และในเวลาอันสั้นด้วย (mass production)



รูปที่ 6.5 แสดงกรรมวิธีการผลิตฮีทไปป์แบบใช้ออยบาธ

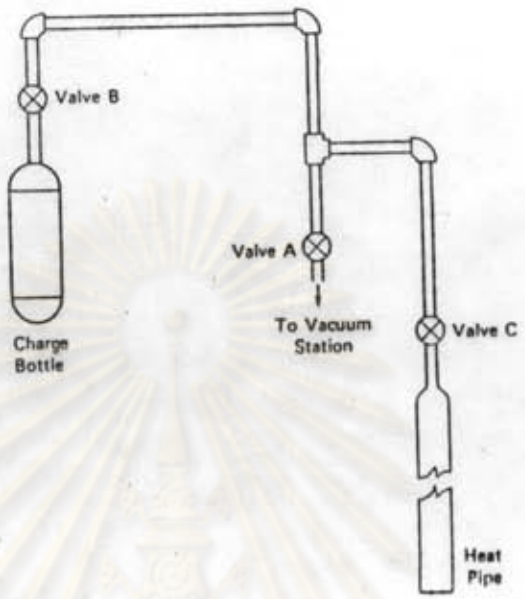
กรรมวิธีนี้เป็นกรรมวิธีผลิตฮีทไปป์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในบทต่อไป

เนื่องจากกรรมวิธีทั้งสองแบบข้างต้นใช้ไอของของไหลไปไล่ที่อากาศที่อยู่ภายในท่อ จึงมีชื่อเรียกว่า การล่างแบบการระเหย

กรรมวิธีที่จะแนะนำต่อไปนี้เป็นกรรมวิธีที่ล่างระบบสูญญากาศภายในท่อโดยใช้ปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump) ปั๊มสูญญากาศที่ใช้ต้องสามารถล่างสูญญากาศได้ถึง 10^{-4} torr. เช่น diffusion หรือ sorption pump ที่มี molecular seive

3. การใช้ปั๊มสูญญากาศแบบที่ 1 เป็นกรรมวิธีที่ใช้ปั๊มสูญญากาศ แต่ไม่ยุ่งยาก กรรมวิธีมีแสดงไว้ในรูปที่ 6.6 โดยมีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

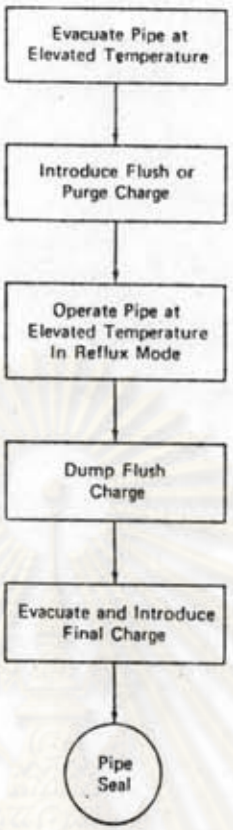
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.6 กรรมวิธีการผลิตฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสูญญากาศแบบที่ 1

ก. การไล่ก๊าซออกจากของไหลใช้งาน โดยใช้วิธี freezing degassing บรรจุของไหลใช้งานไว้ในขวดป้อนเข้า (Charge bottle) แล้วปิดวาล์ว A,B และ C แช่ขวดป้อนเข้าในถังก๊าซไนโตรเจนเหลว ถ้าของไหลใช้งานเป็นแอมโมเนีย (ถ้าเป็นโซเดียม ให้ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง) เมื่อของไหลใช้งานแข็งตัวแล้ว นำเอาขวดป้อนเข้าออก และปล่อยให้ของไหลใช้งานหลอมตัวเพื่อไล่ฟองของก๊าซที่ติดค้างอยู่ในของไหลที่แข็งตัว จากนั้น เปิดวาล์ว A และ B เพื่อดูดเอาก๊าซออก (ของไหลใช้งานบางส่วนที่ระเหยเป็นไอจะถูกดูดออกมาด้วย) แล้วปิดวาล์ว และทำซ้ำประมาณ 2-4 ครั้ง จนแน่ใจว่าของไหลใช้งานไม่มีก๊าซละลายเหลืออยู่

ข. การทำสูญญากาศภายในท่อและการเติมของไหลใช้งาน เมื่อได้ของไหลใช้งานจากขั้นตอนก่อนแล้ว ต่อไปเป็นการทำสูญญากาศภายในท่อ และการเติมของไหลใช้งาน ลำดับของขั้นตอนโดยสรุปมีแสดงไว้ในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ลำดับขั้นตอนการล้างฮีทไปป์

1. ดูดอากาศออกโดยปิดวาล์ว B แล้วเปิดวาล์ว A และ C ให้ความร้อนกับฮีทไปป์ เพื่อให้ก๊าซที่เกาะอยู่บนเนื้อวัสดุท่อและวิกค์หลุดออกมา ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดอากาศและก๊าซออกนี้จะขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิของฮีทไปป์

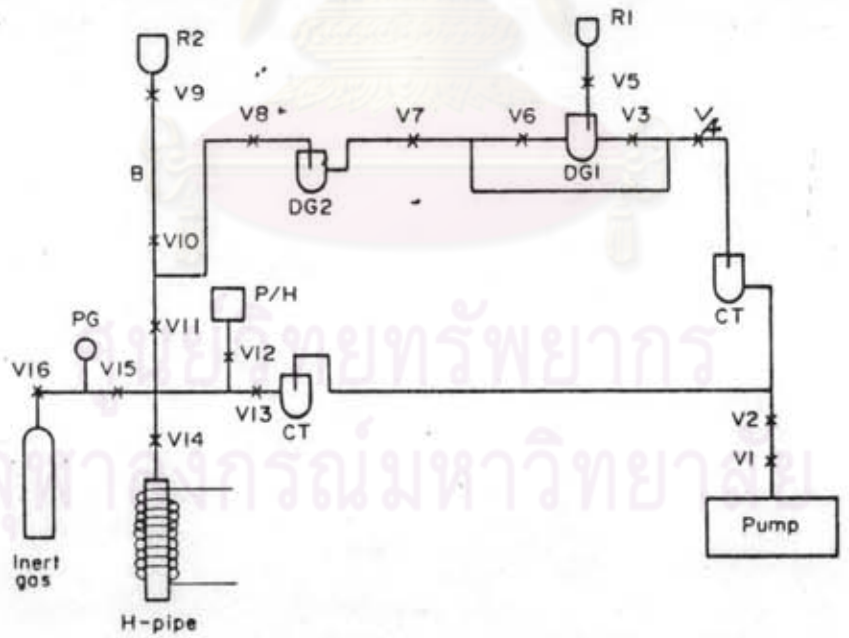
2. กลั้วท่อด้วยของเหลวใช้งาน โดยเปิดวาล์ว B และทำขวดป้อนเข้าให้ร้อนกว่าจุดเดือดของของไหลใช้งานที่ความดันในระบบนั้น ปล่อยให้ไอของของไหลใช้งานไหลเข้าไปในท่อเล็กน้อยเพื่อกลั้วภายในท่อ แล้วปิดวาล์ว B เพื่อดูดเอาของไหลใช้งานออก และเปิดวาล์ว B ใหม่ ทำซ้ำกันประมาณ 2 ครั้ง

3. การบรรจุของไหลใช้งาน ปริมาณที่บรรจุสามารถวัดและควบคุมได้โดยวิธีต่างกันขึ้นกับสถานะของของไหลใช้งานที่อุณหภูมิห้อง

3.1 สถานะก๊าซ (กรณีของ Cryogenic hert pipe fluid) ปริมาณที่บรรจุสามารถวัดได้จากความดันภายในท่อที่อุณหภูมิห้อง โดยการปิดวาล์ว A เปิดวาล์ว B และ C จนได้ปริมาณที่ต้องการ เมื่อปิดวาล์ว B และ C ท่อฮีทไปป์ก็อยู่ในสภาพพร้อมที่จะปิดผนึก

3.2 สถานะของเหลวหรือของแข็ง ปริมาณที่บรรจุสามารถวัดได้จากผลต่างของปริมาณของของไหลใช้งานก่อน และหลังการบรรจุ โดยการปิดวาล์ว A เปิดวาล์ว B และ C เมื่อให้ความร้อนกับขวดป้อนเข้าในขณะที่ให้ความเย็นท่อฮีทไปป์ของไหลใช้งานก็จะกลายเป็นไอและไหลจากขวดบรรจุ และไปควบแน่นในท่อฮีทไปป์ เมื่อได้ปริมาณตามที่ต้องการแล้วก็ปิดวาล์ว B และ C ท่อฮีทไปป์จะอยู่ในสภาพพร้อมที่จะปิดผนึก

4. การใช้ปั๊มสูญญากาศแบบที่ 2 เป็นกรรมวิธีที่ใช้สร้างฮีทไปป์ที่ซับซ้อนมากกว่ากรรมวิธีแบบที่ 3 กรรมวิธีการผลิตนี้มีแสดงไว้ในรูปที่ 6.8 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.8 กรรมวิธีการผลิตฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสูญญากาศแบบที่ 2

ก. การไล่ก๊าซที่ละลายอยู่ในของไหลใช้งาน

ข. การทำสูญญากาศภายในท่อและการเติมของไหลใช้งาน

ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

1. ปิดวาล์วทั้งหมดที่เปิดสู่ภายนอก (V5, V9, V14, V15)

2. เดินปั๊มสูญญากาศโดยวาล์ว V1, V2 ยังปิดอยู่

3. หล่อเย็นตัวปั๊มสูญญากาศและกับดักเย็น (Cold Trap, CT) ด้วยก๊าซไนโตรเจนเหลว

4. ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เปิดวาล์ว V1, V2 ดูดอากาศภายในระบบออกจนได้ความดันประมาณ 0.01 มม. ปรอทเวลาที่ใช้ในการนี้จะขึ้นกับความจุของปั๊ม ความสะอาดของระบบและปริมาตรภายในรวมของระบบ

5. ปิดวาล์ว V4, V5 และ V6 เติมของไหลใช้งานลงใน R1

6. ค่อย ๆ เปิดวาล์ว V5 ให้ของไหลใช้งานลงสู่ภาชนะ DG_1 เมื่อได้ปริมาณมากพอก็ปิดแล้วทำให้แข็งตัวโดยแช่ในก๊าซไนโตรเจนเหลว

7. เมื่อของไหลใช้งานแข็งตัว เปิดวาล์ว V4 เพื่อดูดเอาอากาศออก แล้วปิด จากนั้นทำให้ของไหลใช้งานหลอมตัวและปล่อยให้ฟองก๊าซปุดออก แล้วทำให้ของไหลใช้งานแข็งตัวใหม่

8. เปิดวาล์ว V4 เพื่อดูดเอาก๊าซที่หลุดออกจากของไหลใช้งานออก

9. ปิดวาล์ว V4, V3, V8 และเปิดวาล์ว V6, V7 แช่ DG_2 ในถังไนโตรเจนเหลว

10. หลอมเหลวของไหลใช้งานใน DG_1 ด้วยลมร้อน แล้วส่งของไหลใช้งานไปยัง DG_2 จากนั้นก็ทำการไล่ก๊าซที่ละลายอยู่ในของไหลใช้งานออกในลักษณะเดียวกับ DG_1

11. หลังจากของไหลใช้งานผ่านการไล่อากาศออกแล้ว ปิดวาล์ว V4, V6 เพื่อกันการไหลย้อนกลับของของไหลใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12. ปิดวาล์ว V7, V11 และเปิดวาล์ว V8, V10 จากนั้นก็ใช้ความร้อนไล่ของไหลใช้งานให้เข้าไปอยู่ในบูเร็ท (Burette, B) แล้วปิดวาล์ว V10, V8 และเปิดวาล์ว V11 จากนั้นดึงสูญญากาศให้มากขึ้นถึงประมาณ 0.005 มม. ปรอท

13. ติดท่อฮีทไปป์เข้ากับระบบ เปิดวาล์ว V14 เพื่อดูดเอาอากาศออก พร้อมกับให้ความร้อนต่อฮีทไปป์ รอจนระดับของสูญญากาศกลับคืนที่เดิม

14. จุ่มปลายด้านล่างของฮีทไปป์ลงในถังไนโตรเจนเหลว ค่อย ๆ เปิดวาล์ว V10 เพื่อส่งของไหลใช้งานไปควบแน่นในท่อฮีทไปป์ เมื่อได้ปริมาณมากพอ ก็ปิดวาล์ว V10 ใช้ความร้อนไล่ของไหลใช้งานที่ยังตกค้างอยู่ให้เข้าไปในท่อฮีทไปป์จนหมด แล้วปิดวาล์ว V14

15. ทำการไล่ก๊าซออกจากของไหลใช้งานในท่อฮีทไปป์โดยวิธี freezing degassing อีกครั้ง โดยเปิด-ปิดวาล์ว V14 จากนั้นท่อฮีทไปป์ก็อยู่ในสภาพพร้อมที่จะปิดผนึก

6.5 การปิดผนึกท่อฮีทไปป์ (CHI, 1976)

ต้องปิดผนึกก่อนนำไปใช้งาน วิธีการปิดผนึกท่อฮีทไปป์มีหลายอย่าง แต่วิธีที่เป็นที่ยอมรับว่า ประหยัดและไม่มีรอยรั่วเป็นดังนี้

1. บีบปลายท่อเดิมให้แบนสนิท โดยปล่อยเครื่องบีบท่อค้างไว้

2. ตัดท่อฮีทไปป์ออกจากวาล์วที่ริมรอยบีบด้านวาล์ว

3. เชื่อมปลายท่อเดิมด้วยวิธีการเชื่อมแบบ TIG หรือแบบ EB จากนั้นจึงคลายเครื่องบีบท่อได้

แม้การสร้างท่อฮีทไปป์จะเสร็จสมบูรณ์แล้ว แต่ก็จำเป็นต้องผ่านการทดสอบสมรรถนะเสียก่อน จึงจะมั่นใจในคุณภาพได้ ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของท่อฮีทไปป์มีกล่าวไว้ในบทต่อไป