บทที่ 5

การออกแบบฮีทไปป์และการผลิต

ท่อฮีทไปป์ที่มีคุณสมบัติดีและมีประสิทธิภาพสูง ต้องได้รับการออกแบบที่ดี ต้องผ่านขั้นตอนการผลิตที่ถูกต้องและมีการตรวจสอบที่ดี

5.1 การออกแบบฮีทไปป์[5],[10]

เนื่องจากได้ศึกษาถึงหลักการทำงานและทฤษฎีเกี่ยวกับฮีทไปป์แล้ว บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการผลิต, สิ่งที่ต้องคำนึงมีดังนี้

ก. การกำหนดปัญหา เช่น ลักษณะของแหล่งให้และรับความร้อน ขนาดและที่ตั้ง

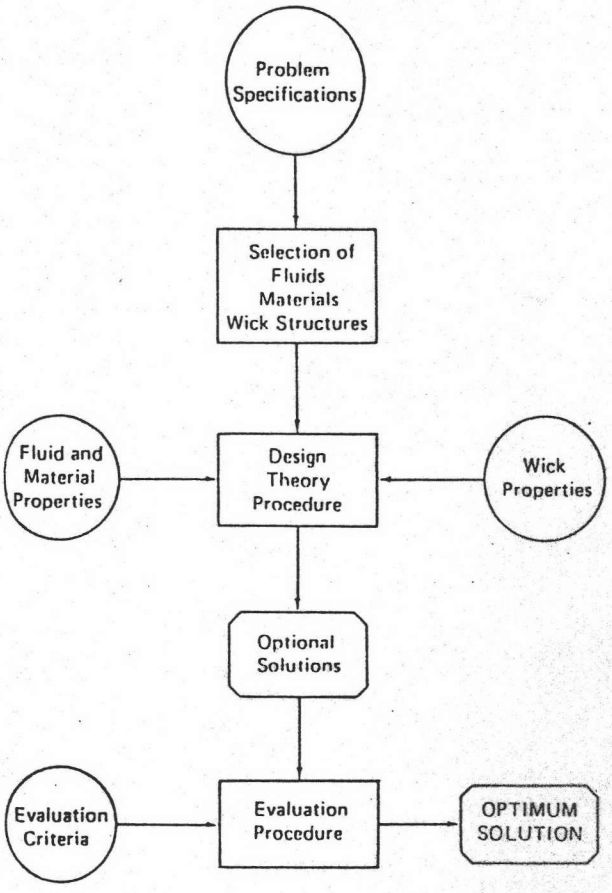
ข. การเลือกวัสดุ ของเหลวใช้งาน โครงสร้างวิกค์

ค. การคำนวณค่าตามทฤษฎี ซึ่งอาศัยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำตัวท่อ วิกค์และของเหลวใช้งาน

ง. การสรุปผล เพื่อเลือกเอาสิ่งที่ดีที่สุด

รายละเอียดเกี่ยวกับการเลือกวัสดุ วิกค์และของเหลวใช้งาน มีกล่าวถึงในบทที่ 4 คุณสมบัติทางฟิสิกซ์ของโลหะและของเหลวใช้งาน พิจารณาได้จากภาคผนวกท้ายบท ถ้ารู้อุณหภูมิของการใช้งาน การเลือกอาจเป็นไปตามนี้คือ

- การเลือกเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ เพื่อหาความเร็วของไอ
- การออกแบบทางด้านเครื่องกล เพื่อหารายละเอียดเกี่ยวกับตัวท่อ
- การกำหนดลักษณะของวิกค์ เพื่อหาขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากท่อรูเข็มหรือวิกค์
- การพิจารณาขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนอื่น เช่น ขีดจำกัดเนื่องจากของเหลวหลุดลอยตามไอ ขีดจำกัดเนื่องจากการเดือด เพื่อเพิ่มความมั่นใจในการใช้งาน



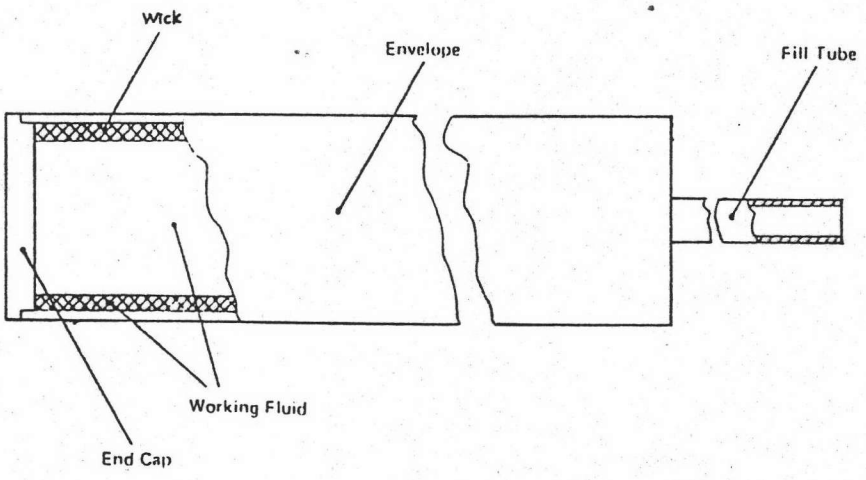
รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบฮีทไปป์

5.2 การผลิตและการทดสอบฮีทไปป์[5]

5.2.1 ส่วนประกอบของฮีทไปป์

ส่วนประกอบที่สำคัญของฮีทไปป์ ดังรูปที่ 5.2 มีดังนี้

1. ตัวท่อ
2. วิกค์
3. ของเหลวใช้งาน
4. ฝาปิดปลายท่อ(end cap)
5. ท่อบรรจุ(fill tube)



รูปที่ 5.2 ส่วนประกอบของฮีทไปป์

5.2.2 <u>ขั้นตอนการผลิตฮีทไปป์</u>

ขั้นตอนการผลิตฮีทไปป์ อาจสรุปได้ดังนี้

1. การเลือกวัสดุ วิกค์ และของเหลวใช้งาน
2. การทำความสะอาดชิ้นส่วนต่าง ๆ
3. การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน
4. การบรรจุของเหลวใช้งาน
5. การปิดผนึกท่อฮีทไปป์
6. การตรวจสอบและการทดสอบ

5.2.2.1 <u>การเลือกวัสดุ, วิกค์ และของเหลวใช้งาน</u>

ก. ตัวท่อ รวมทั้งฝาปิดปลายท่อและท่อบรรจุ

ตัวท่อ รูปร่างของท่อมีหลายชนิด ที่นิยมก็คือ มีพื้นที่หน้าตัดกลม ส่วนวัสดุที่ใช้ทำตัวท่อมีอาทิ เช่น ทองแดง, อลูมิเนียม, เหล็กไร้สนิม, สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ต้องคำนึงมีกล่าวแล้วในบทที่ 4

ที่ปิดปลายท่อ ต้องมีความหนาพอ และควรเป็นวัสดุชนิดเดียวกับท่อ

ข. วิกค์ ในกรณีที่วิกค์เป็นส่วนหนึ่งของฮีทไปป์ เช่น รูปร่างแบบร่องในแนวแกน ก็ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมวิกค์ แต่ถ้าวิกค์เป็นคนละส่วนกับตัวท่อ เช่น รูปแบบตาข่ายหรือแบบอื่น ๆ จำเป็นต้องมีการเตรียมวิกค์ก่อน เช่น ตัดให้มีรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาหาดูได้จากบทที่ 4

ค. ของเหลวใช้งาน การบรรจุไม่ควรจะมากเกินไป (Overfill) หรือน้อยเกินไป(Underfill) ต้องมีความบริสุทธิ์ ปราศจากสิ่งเจือปน เช่น ก๊าซที่ละลายอยู่ในของเหลวใช้งาน สารแขวนลอยหรือสารละลายอื่น ๆ ส่วนคุณสมบัติที่จำเป็นอื่น ๆ มีกล่าวแล้วในบทที่ 4

5.2.2.2 <u>การทำความสะอาดชิ้นส่วนต่าง ๆ</u>

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของฮีทไปป์ ต้องผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดก่อน เนื่องจากสิ่งเจือปนต่าง ๆ มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของฮีทไปป์ และอายุการใช้งาน วิธีการทำความสะอาดย่อมขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ชนิดของของเหลวใช้งาน ตัวอย่างวิธีการทำความสะอาดวัสดุที่เป็นโลหะโดยทั่วไปเป็นดังนี้

ก. ใช้ตัวทำละลาย กำจัดสารพวกไขมัน, น้ำมัน (degreasing) เช่น ใช้

- เมทธิลีน ไดโครเมท (methylene dichromate)
- ไตรคลอโรเอทเทน (trichloroethane)
- ไตรคลอโรเอทธิลีน (trichloroethylene)

ข. การกำจัดอนุภาคของแข็ง (solid particle) มักทำควบคู่กับวิธีแรก เช่น ใช้ตัวทำความสะอาดที่เป็นด่าง (alkaline cleaner) น้ำสบู่ หรือกรด

ค. ทำการกำจัดออกไซด์ (deoxidizing) ของโลหะ เช่น ออกไซด์ของทองแดง, อลูมิเนียมและเหล็กไร้สนิมที่บริเวณผิวของโลหะ

<u>ตัวอย่างวิธีการทำความสะอาดสำหรับส่วนประกอบที่ทำด้วยอลูมิเนียมและทองแดง</u>

1. ทำความสะอาดด้วย 1, 1 1 - trichloroethane ที่เย็นและใช้แปรงขัด
2. ล้างด้วยไตรคลอโรเอทเทน
3. จุ่มลงในตัวทำความสะอาดที่เป็นด่างและไม่กัดผิว
   สำหรับอลูมิเนียมใช้ Oakite No. 164(15 - 75 kg/m^3)
   สำหรับทองแดง ใช้ Coppa - Kleen(15 - 75 kg/m^3) 140 - 180 ^{o}F
   นาน 5 - 30 นาที
4. ล้างด้วยน้ำก๊อกนาน 2 นาที
5. จุ่มลงในสารละลายโซเดียมไดโครเมท (sodium dichromate, 15 - 45kg/m^3) และกรดกำมะถัน (sulfuric acid 4 - 7% โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 - 30 นาที
6. ล้างด้วยน้ำก๊อกนาน 2 นาที
7. ทำให้แห้งโดยเป่าด้วยอากาศที่ผ่านเครื่องกรองที่อุณหภูมิห้อง
8. ล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ปราศจากน้ำ (anhydrous isopropyl alcohol)
9. ทำให้แห้งโดยเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนแห้งที่ผ่านการกรองแล้วและมีอุณหภูมิ 160 ^{o}F

ตัวอย่างวิธีการทำความสะอาดสำหรับส่วนประกอบที่ทำด้วย เหล็กไร้สนิม

1. ทำความสะอาดด้วย 1,1,1 - trichloroethane ที่เย็นและใช้แปรงขัด
2. ล้างด้วยไดรคลอโร เอท เทนแล้ว เป่าด้วยอากาศที่ผ่านการกรองแล้ว
3. จุ่มลงในสารละลาย โซเดียมไดโครเมท (7.5 - 30 kg/m^3) และกรดไนตริก (15 - 30% โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง เป็น เวลานาน 30 - 120 นาที
4. ล้างด้วยน้ำก๊อกนาน 2 นาที
5. เป่าให้แห้งด้วยอากาศที่ผ่านการกรองแล้ว ที่อุณหภูมิห้อง
6. ล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ปราศจากน้ำ
7. ทำให้แห้งโดย เป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนแห้งที่ผ่านการกรองแล้ว และมีอุณหภูมิ 160^0F

5.2.2.3 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

ในกรณีที่วิกค์เป็นส่วนหนึ่งของฮีทไปป์ เช่น วิกค์แบบร่อง เมื่อผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดแล้ว ก็ทำการ เชื่อมปิดผนึกท่อฮีทไปป์ได้ทันที แต่ถ้าวิกค์เป็นคนละส่วนกับท่อ เช่น วิกค์แบบตาข่าย ต้องทำให้วิกค์เรียบสม่ำเสมอ ไม่มีรอยย่น และมีขนาดและความยาวตามที่ต้องการ การใส่วิกค์ทำได้โดย เอาวิกค์มาพันรอบแกน (mandrel) ที่สะอาด และมี เส้นผ่าศูนย์กลางของแกนรวมทั้งวิกค์ที่หุ้ม มีขนาด เล็กกว่า เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ เพื่อความสะดวกในการสอดใส่ สอดแกนที่หุ้มด้วยวิกค์ เข้าไปในท่อฮีทไปป์ คลายวิกค์ออกแล้วดึงแกนออกมา วิกค์จะ เกิดแรงดันออกอัดติดกับผนังท่อ หรือบางครั้งอาจใช้สปริงยึดวิกค์ไว้ก็ได้ แล้ว เชื่อมฝาปิดปลายท่อ

การ เชื่อม (welding) อาจทำได้หลายวิธี เช่น

- TIG (tungsten inert gas welding)
- EBW (electron beam welding)
- argon arc welding

เมื่อ เชื่อมฝาฮีทไปป์ เสร็จแล้ว ควรมีการตรวจสอบรอยรั่วบริเวณรอย เชื่อม การตรวจสอบอาจใช้เครื่อง mass spectrometer โดยลดความดันในท่อให้ต่ำ ๆ (อาจต่ำกว่า 10^{-5} torr) ด้วยดิฟฟิวชั่นปั๊ม (diffusion pump) แล้วปล่อยก๊าซฮี เลียมรอบ ๆ บริเวณรอย เชื่อม ถ้ารอย เชื่อมมีรอยรั่ว ก๊าซฮี เลียมจะ เผล่ เข้าไปภายในท่อได้ ซึ่งสามารถตรวจสอบพบได้ด้วย เครื่อง mass spectrometer

5.2.2.4 การบรรจุของ เหลวใช้งาน

ก่อนจะบรรจุของ เหลวใช้งาน จำ เป็นต้องทำให้ของ เหลวใช้งานมีความบริสุทธิ์ กระบวนการทำให้ของ เหลวใช้งานบริสุทธิ์ มีดังนี้

ก. การกลั่น เป็นวิธีทำให้บริสุทธิ์ สำหรับของเหลวใช้งานที่เป็นน้ำ และสารละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน เอทธานอล

ข. การกำจัดความชื้น ใช้ซิลิก้าเจล(silica gel) และอลูมินา (alumina)

ค. การกำจัดก๊าซต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในของเหลวใช้งาน โดยวิธี freezing degassing

ปริมาณของเหลวใช้งานที่จะบรรจุเข้าไปในฮีทไปป์ คำนวณได้จากสมการ

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

โดยที่ m คือ ปริมาณของของเหลวใช้งาน

A_v คือ พื้นที่หน้าตัดที่ไอไหลผ่าน

L_t คือ ความยาวของฮีทไปป์ทั้งหมด

A_w คือ พื้นที่หน้าตัดของวิกค์

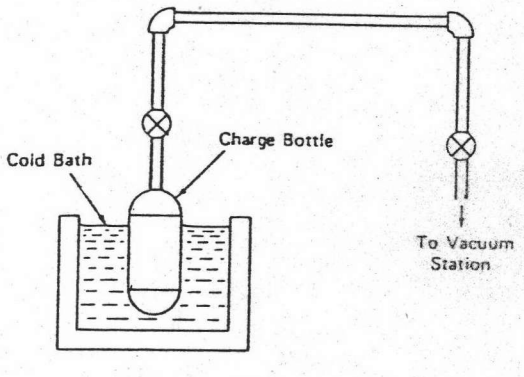
ϵ คือ ความพรุนของวิกค์

ρ_v คือ ความหนาแน่นของไอที่อุณหภูมิใช้งาน

ρ_l คือ ความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิใช้งาน

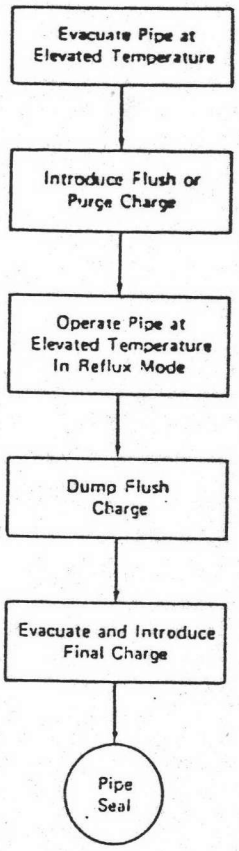
การทำ freezing - degassing เป็นดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.5

เมื่อบรรจุของเหลวใช้งานในขวดบรรจุ(charge bottle) แล้ว ปิดวาล์ว A B และ C แล้วทำให้ของเหลวใช้งานแข็งตัว โดยนำขวดบรรจุไปแช่ลงในถังที่บรรจุไนโตรเจนเหลว ถ้าของเหลวใช้งานเป็นแอมโมเนีย(ที่อุณหภูมิห้อง ถ้าเป็นโซเดียม) เมื่อของเหลวใช้งานแข็งตัวแล้ว ให้นำถังไนโตรเจนเหลวออก แล้วปล่อยให้ของเหลวใช้งานหลอมตัวใหม่ ขณะที่ของเหลวใช้งานเริ่มหลอมตัว ก๊าซที่ละลายอยู่จะปุดออกมาก่อน แล้วเปิดวาล์ว A และ B เพื่อดูดก๊าซเหล่านี้ออก เสร็จแล้วปิดวาล์ว A และ B ทำซ้ำเช่นนี้ 2 - 3 ครั้ง จนของเหลวใช้งานมีความบริสุทธิ์พอ

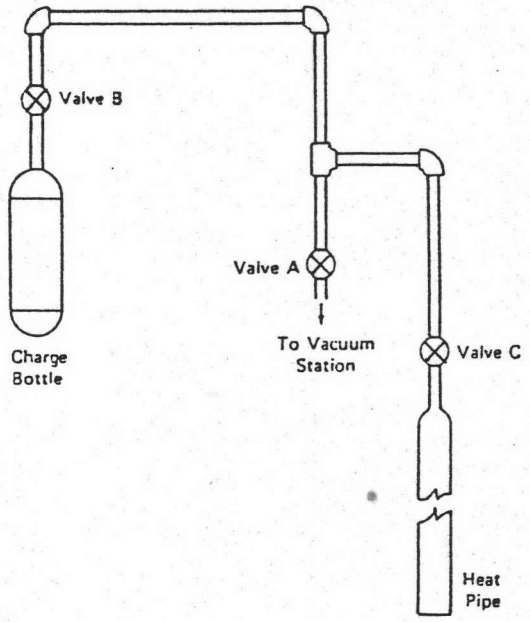


รูปที่ 5.3 การทำให้ของเหลวใช้งานบริสุทธิ์โดยวิธี freezing degassing

การไล่ก๊าซ(evaculation) เป็นการกำจัดก๊าซออกจากท่อฮีทไปป์ โดยใช้ปั๊มสูญญาก๊าซ(vacumn pump) ดูดออก อนึ่งก๊าซที่อยู่ในเนื้อโลหะ กำจัดได้โดยทำให้ท่อฮีทไปป์มีอุณหภูมิสูง ภายใต้ความดันต่ำ ๆ



รูปที่ 5.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการไล่ก๊าซและการบรรจุของเหลวใช้งาน



รูปที่ 5.5 ลักษณะอุปกรณ์ที่ติดตั้งในการไล่ก๊าซและการบรรจุของเหลวใช้งาน

ขั้นตอนการไล่ก๊าซ(ดูรูปที่ 5.5 ประกอบ)

1. ปิดวาล์ว B เปิดวาล์ว A และ C

2. ดูดอากาศออกจากท่อฮีทไปป์ที่อุณหภูมิห้อง แล้วดูดต่อไปขณะที่ตัวท่อฮีทไปป์ถูกทำให้ร้อนขึ้น เพื่อกำจัดก๊าซที่อยู่ใน เนื้อโลหะ

3. ล้างท่อฮีทไปป์ด้วยของ เหลวใช้งาน เล็กน้อย โดยการทำให้ของ เหลวใช้งานร้อน เกินจุด เดือดภายใต้ความดันในระบบ

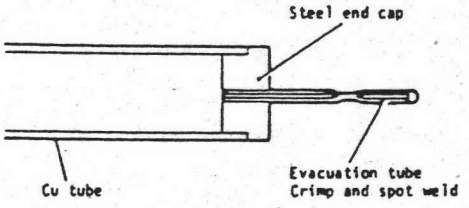
4. ค่อย ๆ เปิดวาล์ว B ปล่อยให้ของ เหลวใช้งาน เล็กน้อยไหล เข้าไปในท่อ ทำ เช่นนี้ 2 - 3 ครั้ง ตัวท่อฮีทไปป์ก็พร้อมที่จะบรรจุของ เหลวใช้งาน

ขั้นตอนการบรรจุของ เหลวใช้งานก็คือ ปิดวาล์ว A แล้ว เปิดวาล์ว B และ C เมื่อปริมาณของ เหลวใช้งานพอ เพียงแล้ว ปิดวาล์ว B และ C แล้วปิดผนึกปลายท่อ ปริมาณของ เหลวใช้งานสามารถวัดได้โดยการวัดความดันก๊าซในท่อฮีทไปป์ที่อุณหภูมิห้อง

ถ้าของเหลวใช้งานเป็นของเหลวหรือของแข็งที่อุณหภูมิห้อง การบรรจุของเหลวใช้งานทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ขวดบรรจุและท่อในขณะเดียวกันก็ให้ความเย็นแก่ท่อฮีทไปป์ เมื่อของเหลวใช้งานกลั่นตัว เข้าไปในท่อฮีทไปป์ตามปริมาณที่ต้องการ ปิดวาล์ว B และ C แล้วเชื่อมปิดผนึกปลายท่อ

5.2.2.5 <u>การปิดผนึกท่อฮีทไปป์</u>

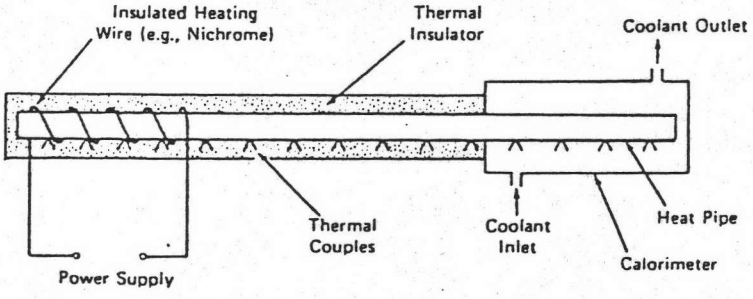
เมื่อบรรจุของเหลวใช้งานเข้าไปในท่อฮีทไปป์แล้ว ต้องปิดผนึกท่อบรรจุทันที วิธีทั่ว ๆ ไปที่ใช้ก็คือ การจีบ(cirmping) ปลายท่อก่อนแล้ว เชื่อมปิดผนึก



รูปที่ 5.6 ปลายท่อที่ได้รับการจีบและเชื่อมแล้ว

5.2.2.6 <u>การตรวจสอบและการทดสอบ</u>

ฮีทไปป์ที่สร้างเสร็จแล้ว บริเวณรอยเชื่อมควรได้รับการตรวจสอบเพื่อหารอยรั่ว โดยใช้เครื่อง mass spectrometer หากพบว่าฮีทไปป์มีรอยรั่ว ต้องทำการแก้ไขทันที และก่อนนำฮีทไปป์ไปใช้ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานภายใต้สภาวะที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 5.7 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบฮีทไปป์

5.3 สรุปขั้นตอนการผลิตฮีทไปป์[10]

1. เลือกวัสดุทำตัวท่อ
2. เลือกวัสดุที่ใช้ทำวิกค์และรูปร่างของวิกค์
3. ขึ้นรูป, ประกอบวิกค์และฝาปิดปลายท่อ
4. ทำความสะอาดวิกค์, ตัวท่อและฝาปิดผนึก
5. กำจัดก๊าซออกจากโลหะ
6. บรรจุและการจัดวางวิกค์
7. เชื่อมปิดผนึกปลายท่อ
8. ตรวจสอบรอยเชื่อม
9. เลือกของเหลวใช้งาน
10. ทำให้ของเหลวบริสุทธิ (ถ้าจำเป็น)
11. กำจัดก๊าซออกจากของเหลวใช้งาน
12. ไล่ก๊าซและบรรจุของเหลวใช้งาน
13. ปิดผนึกท่อ