บทที่ 2

แนวทางในการออกแบบและสร้างฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทั่วไปสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสำหรับเงื่อนไขการใช้งาน (ความดัน, อุณหภูมิ, เป็นต้น) ตลอดจนคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของของไหลร้อนและเย็นที่ต้องการจะแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ก็เช่นกัน จำเป็นต้องพิจารณาประเด็นเหล่านี้ด้วย นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมขององค์ประกอบที่สำคัญของฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอนอีกด้วย

อนึ่งการพิจารณาออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับของไหลภายนอกนั้น จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไป (Arthur, 1989a) ซึ่งจะขอไม่นำมากล่าวไว้ในที่นี้

2.1 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ ฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน (Dunn and Reay, 1978a; Chi, 1976; Chishlom, 1971)

ในการออกแบบฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน มีข้อควรพิจารณาหลายประการ

2.1.1 การเลือกส่วนประกอบต่างๆ ของฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

องค์ประกอบที่สำคัญของฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน นั้นมีสองส่วนหลักคือ ของไหลใช้งาน และ วัสดุที่ใช้ทำท่อ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงหลักการ

ในการเลือกองค์ประกอบทั้งสองนี้

2.1.1.1 การเลือกของไหลใช้งาน

2.1.1.1.1 คุณสมบัติของของไหลใช้งาน

เงื่อนไขสำคัญที่ใช้เลือกของไหลใช้งานที่เหมาะสม ก็คือช่วงอุณหภูมิของของไหลใช้งาน จากข้อมูลที่นำมาแสดงไว้ในตาราง ที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าในช่วงอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมของของไหลใช้งานนั้นอาจมีของไหลใช้งานหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้งานได้ ดังนั้น จึงต้องนำคุณสมบัติอื่นๆ มาพิจารณาประกอบเพื่อเลือกของไหลที่เหมาะสมที่สุดกับการใช้งานมากที่สุด

ปัจจัยพื้นฐานที่นำมาประกอบการพิจารณาเลือกของไหลใช้งาน ได้แก่

1. ความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ทำท่อ

จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของของไหลใช้งาน กับวัสดุที่ใช้ทำท่อและวิธีการในการประกอบ รายละเอียดในการพิจารณาความเหมาะสมนี้จะได้กล่าวถึงในหัวข้อการเลือกวัสดุทำท่อ

2. เสถียรภาพต่อความร้อนสูง

สิ่งหนึ่งที่จะต้องพิจารณาคือ การสลายตัวของของไหลใช้งานที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งจะต้องรักษาอุณหภูมิของการใช้งานให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด เพื่อป้องกันการแตกสลายตัวของของไหลใช้งานเป็นสารประกอบชนิดอื่น ดังนั้นจึงควรเลือกของไหลใช้งานที่มีเสถียรภาพต่อความร้อนสูงในช่วงอุณหภูมิใช้งาน

ตารางที่ 2.1 ช่วงอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมของของไหลใช้งานชนิดต่างๆ

Medium	Melting point (°C)	Boiling point at atmos.press. (°C)	Useful range (°C)
Helium	-272	-269	-271 - -269
Nitrogen	-210	-196	-203 - -160
Ammonia	-78	-33	-60 - 100
Freon 11	-111	24	-40 - 120
Pentane	-130	28	-20 - 120
Freon 113	-35	48	-10 - 100
Acetone	-95	57	0 - 120
Methanol	-98	64	10 - 130
Flutec PP2*	-50	76	10 - 160
Ethanol	-112	78	0 - 130
Heptane	-90	98	0 - 150
Water	0	100	30 - 200
Flutec PP9*	-70	160	0 - 225
Thermex	12	257	150 - 395
Mercury	-39	361	250 - 650
Caesium	29	670	450 - 900
Potassium	62	774	500 - 1000
Sodium	98	892	600 - 1200
Lithium	179	1340	1000 - 1800
Silver	960	2212	1800 - 2300

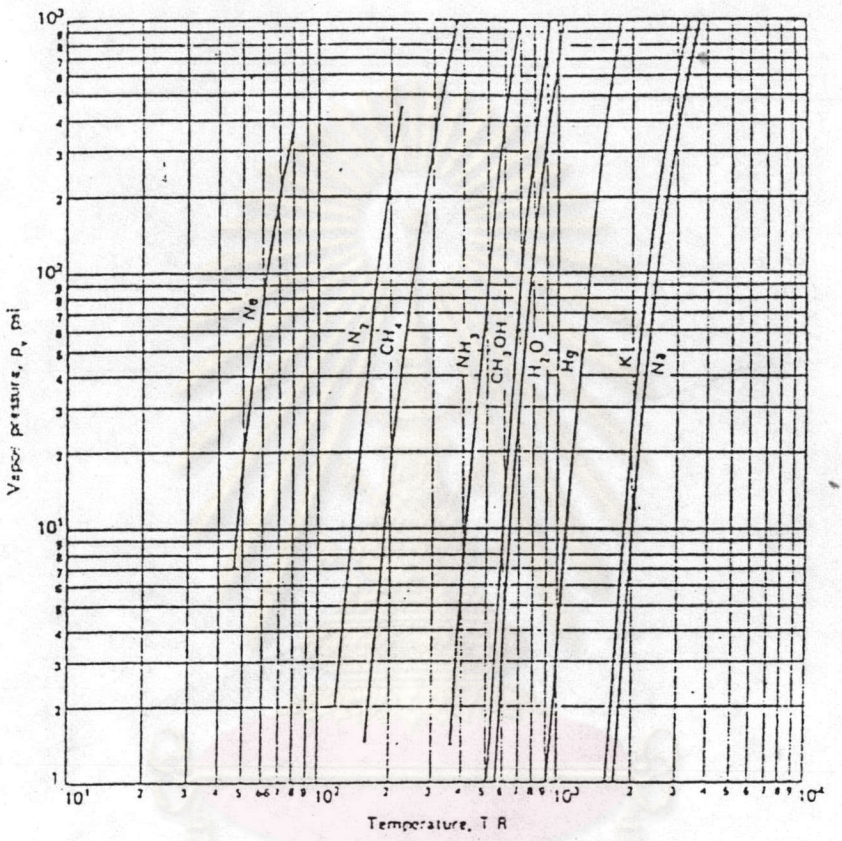
* Included for cases where electrical insulation is a requirement

3. ความสามารถในการเปียกวัสดุที่ใช้ทำท่อ

ความสามารถในการเปียกวัสดุที่ใช้ทำท่อ หมายถึงการที่ของไหลใช้งานจะต้องเกาะเปียกผิวของวัสดุที่ใช้ทำท่อได้ดี นั่นคือ มุมสัมผัสระหว่างผิวของหยดของไหลกับวัสดุที่ใช้ทำท่อจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์หรือมีค่าน้อยมาก

4. ความดันไอไม่สูงหรือต่ำเกินไปในช่วงอุณหภูมิใช้งาน

ความดันไอของของไหลใช้งานตลอดช่วงของอุณหภูมิใช้งาน (รูปที่ 2.1 แสดงความดันของของไหลใช้งานทั่วไป) จะต้องมีค่าสูงเพียงพอ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ไอของของไหลใช้งานไหลช้าเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิตามแนวท่อฮีทไปป์สูง อย่างไรก็ตามความดันไอจะต้องไม่สูงเกินไป มิฉะนั้นจะทำให้ต้องใช้ท่อที่มีผนังหนามากอันเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น โดยปกติแล้วมักกำหนดให้ความดันที่ปลายบนสุดของท่อฮีทไปป์มีค่าไม่เกิน 7 บรรยากาศ (Arthur, 1989b)



รูปที่ 2.1 ความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆของของไหลใช้งาน

5. ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูง

ถ้าของไหลใช้งานมีค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูง ไอของของไหลจะสามารถถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยของไหลได้ในอัตราสูง ทำให้การไหลของไอของของไหลมีอัตราต่ำ ดังนั้นค่าความดันลดภายในท่อฮีทไปป์จะมีค่าต่ำ และความแตกต่างของอุณหภูมิภายในตลอดความยาวท่อฮีทไปป์มีค่าไม่สูงมากนัก

6. ความนำความร้อนสูง

ความนำความร้อนของของไหลใช้งาน ควรจะมีค่าสูงเพื่อทำให้ผลต่างของอุณหภูมิในแนวรัศมีของท่อมีค่าต่ำ

7. ของเหลวและไอมีค่าความหนืดต่ำ

ของไหลใช้งานทั้งในสถานะของเหลว และไอควรมีค่าความหนืดต่ำ เพราะจะทำให้ความต้านทานการไหลมีค่าต่ำ และเกิดการไหลเวียนอย่างสะดวกและรวดเร็ว

8. จุดแข็งตัวและจุดไหลเทห่างจากอุณหภูมิใช้งานมากพอที่จะยอมรับได้

ของไหลใช้งานจะต้องมีสภาวะแข็งตัว และมีจุดไหลเท (pour point) ห่างจากช่วงของอุณหภูมิใช้งานมากพอ เพื่อให้ของเหลวที่ควบแน่นในช่วงการควบแน่นสามารถไหลกลับสู่ช่วงการระเหยได้ทัน

2.1.1.1.2 ตัวเลขเมอริท

ในกรณีที่ มีของไหลใช้งาน ให้เลือกใช้มากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่งยากแก่การตัดสินใจทางเทคนิค อาจใช้ตัวเลขเมอริท (Merit Number, M) หรือ Liquid Transfer Factor เป็นเกณฑ์ในการเลือกของไหลใช้งาน ดังนี้

$$M = (\rho_1 \sigma_1 L/\mu_1) g_c \qquad W/cm^2 \qquad (2.1)$$

เมื่อ

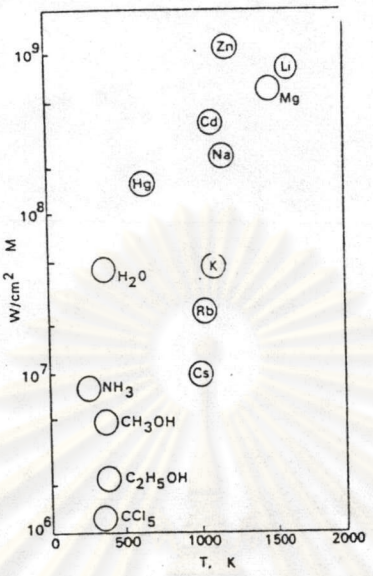
ρ_1 = ความหนาแน่นของของเหลวใช้งาน (gm/cm^3)

σ_1 = ค่าแรงตึงผิวของของเหลวใช้งาน (gm_f/cm)

L = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของของเหลวใช้งาน (J/gm)

μ_1 = ค่าความหนืดของของเหลวใช้งาน (gm/cm-sec)

g_c = ตัวแปรหน่วย (980.7 $gm-cm/gm_f-sec^2$)



รูปที่ 2.2 ค่าตัวเลขเมอริทของของไหลใช้งานชนิดต่างๆที่อุณหภูมิจุดเดือด

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวเลขเมอริท (M) หรือ Liquid transfer factor ที่จุดเดือดของของไหลใช้งานในช่วงอุณหภูมิระหว่าง -200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส

Normal operating temperature range, °C	Working fluid	Properties at atmospheric pressure: Boiling point, °C	Properties at atmospheric pressure: Liquid transport factor, kW/m²	Suitable material for shell and wick
−200 to −170	Nitrogen	−196	9×10^4	Stainless steel
−70 to +50	Ammonia	−33	1×10^4	Stainless steel, nickel, aluminum
−60 to +40	Freon 12	−30	1×10^7	Stainless steel, copper
−30 to +100	Methanol	65	5×10^7	Copper
+10 to +200	Water	100	5×10^6	Copper, nickel
190 to 500	Mercury	356	2×10^{9}	Stainless steel
400 to 800	Potassium	760	5×10^4	Stainless steel
500 to 900	Sodium	883	2×10^9	Stainless steel
900 to 1 500	Lithium	1 330	8×10^9	Tantalum, TZM

รูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.2 แสดงค่าตัวเลขเมอริทของของไหลใช้งานบางชนิด ที่ช่วงอุณหภูมิการใช้งานต่างๆ ถ้าค่าตัวเลขเมอริทของของไหลใช้งานใดมีค่าสูง แสดงว่าของไหลใช้งานนั้นมีความเหมาะสมมากในช่วงอุณหภูมินั้น

นอกจากประเด็นต่างๆในการเลือกที่กล่าวมาแล้ว ประเด็นสุดท้ายที่ต้องไม่ลืมในการเลือกของไหลใช้งานได้แก่ ราคา ความปลอดภัย ความยากง่ายในการหาซื้อ

2.1.1.2 การเลือกวัสดุทำท่อฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โม-ไซฟอน

หน้าที่ของตัวท่อฮีทไปป์คือ แยกของไหลใช้งานออกจากของไหลภายนอก ดังนั้นตัวท่อที่ใช้ทำฮีทไปป์จะต้องไม่รั่ว สามารถทนต่อความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกท่อได้ และสามารถทำการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อไปมาระหว่างของไหลใช้งานและของไหลภายนอกได้ดี นั่นคือมีค่าความนำความร้อนสูงนั่นเอง การเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายประการ

2.1.1.2.1 ความเหมาะสมกันระหว่างวัสดุที่ใช้ทำท่อกับทั้งของไหลใช้งานที่อยู่ภายในและกับของไหลภายนอก

การพิจารณาเลือกวัสดุ ที่จะใช้ทำท่อนั้นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของวัสดุกับทั้งของไหลภายนอกท่อและของไหลภายในท่อ โดยจะพิจารณาถึงการผุกร่อนเป็นประเด็นหลักซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการรั่วเกิดขึ้น

นอกจากนี้ความเหมาะสมกันของของไหลใช้งานกับวัสดุที่ใช้ทำท่อจะเกี่ยวข้องกับปัญหาทางด้านอายุการใช้งานของฮีทไปป์ ปัญหาหลักของความไม่เหมาะสมระหว่างของไหลใช้งานกับท่อฮีทไปป์แบบ เทอร์โมไซฟอน มีสองประการคือ

ตารางที่ 2.3 ความเข้ากันได้ของวัสดุท่อกับของไหลใช้งาน

Structural Material	Working Fluid					
	Water	Acetone	Ammonia	Methanol	Dow-A	Dow-E
Copper	RU	RU	NR	RU	RU	RU
Aluminium	GNC	RL	RU	NR	UK	NR
Stainless Steel	GNT	PC	RU	GNT	RU	RU
Nickel	PC	PC	RU	RL	RU	RL
Refrasil Fibre	RU	RU	RU	RU	RU	RU

RU Recommended by past successful usage

RL Recommended by literature PC Probably compatible

NR Not recommended UK Unknown

GNC Generation of gas at all temperatures

GNT Generation of gas at elevated temperatures, when oxides are present

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การผุกร่อน

การผุกร่อนของท่อฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน เนื่องจากของไหลใช้งานนั้น ก็เป็นปัญหาพื้นฐานในทำนองเดียวกันกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่นๆ

อนึ่ง การผุกร่อนของวัสดุท่อเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้คุณสมบัติของผิวท่อภายในเปลี่ยนไป ผลก็คือมุมของการเปียกผิวระหว่างของไหลใช้งานกับผิวท่ออาจเปลี่ยนไป อีกทั้งยังอาจเกิดเศษอนุภาคของของแข็งขึ้นกีดขวางการไหลกลับของของไหลใช้งาน หรืออาจเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่นขึ้น ผลก็คือทำให้สมรรถนะของฮีทไปป์ไร้วิกค์ต่ำลงได้ค่อนข้างมาก

2. การเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่น (non-condensible gas)

การเกิดก๊าซซึ่งไม่ควบแน่นนั้น ก็เป็นปัญหาที่พบได้บ่อยที่ทำให้ฮีทไปป์แบบ เทอร์โมไซฟอน ไม่สามารถทำงานได้หรือมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ก๊าซที่เกิดขึ้นเหล่านี้มักจะสะสมอยู่ในช่วงของการควบแน่น ซึ่งจะทำให้ไปกีดขวางการควบแน่นของไอของของไหลใช้งาน ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถจะตรวจพบได้ง่าย โดยสังเกตการลดฮวบของอุณหภูมิตามแนวแกน ที่ช่วงต่อระหว่างไอกับก๊าซที่ไม่ควบแน่นที่สะสมอยู่

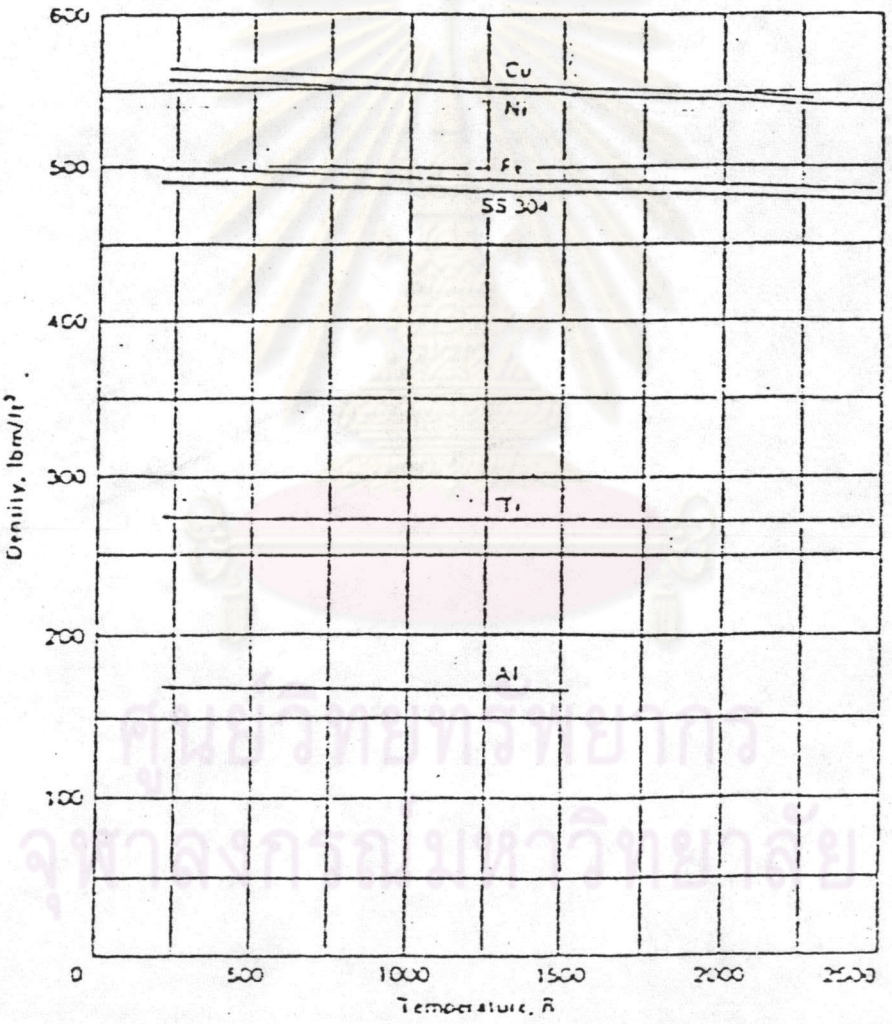
อนึ่ง สิ่งสำคัญที่พึงตระหนักเสมอคือ ถึงแม้ว่าจะขจัดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วก็ตาม ก็ยังอาจจะเกิดปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพที่ไม่แน่นอนได้ ถ้ามีขั้นตอนในการประกอบแตกต่างกัน หรือขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานแตกต่างกัน ดังนั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาข้อมูลใหม่ เกี่ยวกับความเหมาะสมกันขององค์ประกอบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนในการทำความสะอาดท่อ หรือขั้นตอนในการประกอบ

2.1.1.2.2 น้ำหนักและความนำความร้อนของวัสดุท่อ

นอกจากจะคำนึงถึงความเข้ากันได้แล้ว ยังต้องคำนึงถึงน้ำหนักและผลลดของอุณหภูมิของวัสดุท่ออีกด้วย

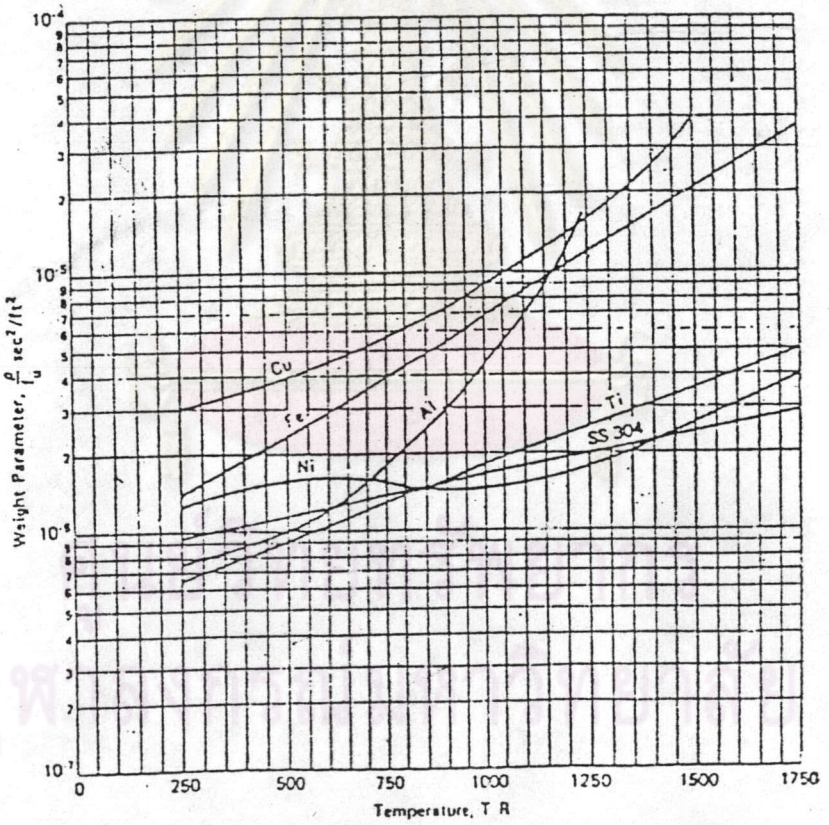
1. อัตราส่วนของความแข็งแกร่ง ต่อ น้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำต่อฮีทไปป์แบบ เทอร์โมไซฟอน

น้ำหนักของวัสดุที่ใช้ ก็เป็นปัจจัยอีกประการหนึ่งที่จะต้องนำมาพิจารณา เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะประกอบด้วยแท่งฮีทไปป์แบบ เทอร์โมไซฟอน จำนวนมาก ดังนั้นถ้าวัสดุที่ใช้ทำท่อมีน้ำหนักมากไป ผลก็คือจะทำให้น้ำหนักรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากตามไปด้วย รูปที่ 2.3 แสดงความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำท่อชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.3 ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำท่อชนิดต่างๆ

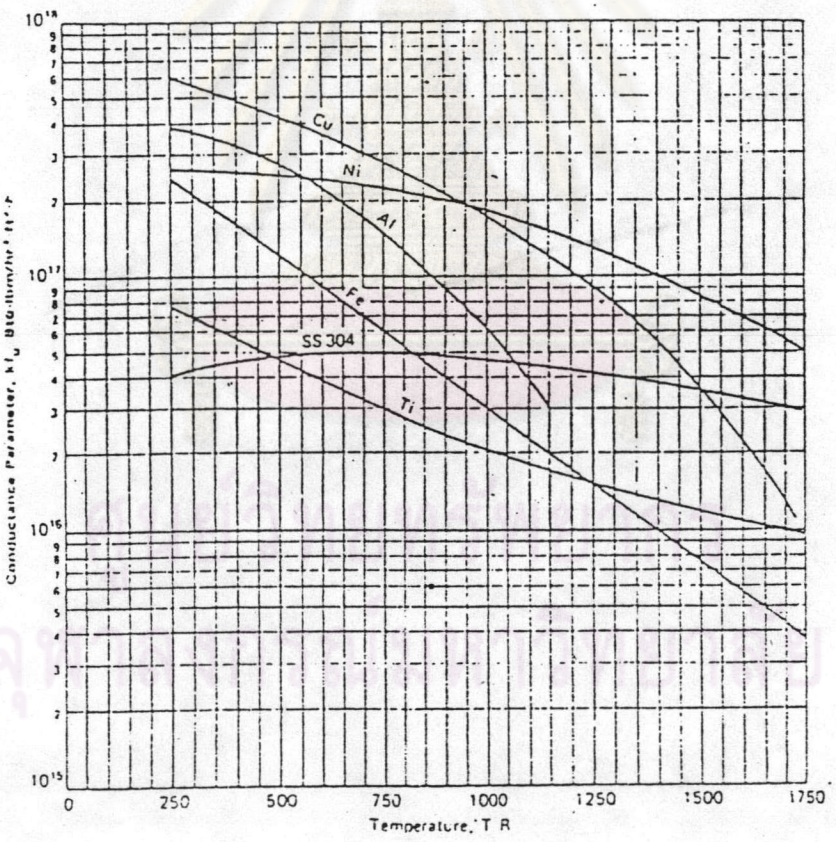
น้ำหนักรวมของท่อนั้นแปรผันตามผลคูณของความหนาของผนังท่อ กับความหนาแน่นของวัสดุ แต่ความหนาของท่อที่สามารถทนต่อแรงดันไอของของไหลใช้งานได้นั้น จะแปรผกผันกับค่าความทนแรงดึงสูงสุดของวัสดุ (Ultimate tensile strength, f_u) นั้นคือ น้ำหนักของท่อที่ใช้จะแปรผันตามพารามิเตอร์น้ำหนัก (Weight Parameter, ρ/f_u) รูปที่ 2.4 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าพารามิเตอร์น้ำหนักที่อุณหภูมิต่างๆ ของวัสดุชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ρ/f_u) กับอุณหภูมิ

2. ความนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อ

เกรเดียนต์ในแนวรัศมีของอุณหภูมิภายในผนังท่อฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน จะแปรผกผันกับค่าความนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity) และค่าความทนแรงดึงสูงสุดของวัสดุ (f_u) นั่นคือ แปรผกผันกับพารามิเตอร์ ความนำความร้อน (Conductance parameter, kf_u) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ค่า (kf_u) ที่อุณหภูมิการใช้งานต่างๆของวัสดุ

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าทองแดงมีค่าพารามิเตอร์ความนำความร้อน (kf_{μ}) สูงกว่าวัสดุชนิดอื่นๆในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาแรนกิน ซึ่งหมายความว่าในช่วงอุณหภูมินี้ทองแดงมีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิน้อยที่สุด

อนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ต้องไม่ลืมคือ ราคาของวัสดุ ปัญหาของความยากง่ายในการขึ้นรูป การเชื่อม ความสามารถในการเปียกของของไหลใช้งานที่อยู่ภายในและของไหลภายนอกกับวัสดุที่ใช้ทำท่อ และอุปสรรคต่างๆที่จะเกิดขึ้นในการสร้างและการนำไปใช้งาน สิ่งเหล่านี้จำเป็นต้องนำมาพิจารณาประกอบในการเลือกวัสดุท่อด้วย

2.1.1.3 ขั้นตอนการเลือกส่วนประกอบทั้งสองส่วน

1. เลือกของไหลใช้งานที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการเลือกดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ของไหลใช้งานนั้นจะต้องให้ค่าตัวเลขเมอริทสูง และค่าความนำความร้อนของของเหลวสูงพอ อีกทั้งต้องไม่ติดไฟง่าย และไม่เป็นพิษภัย

2. เลือกชนิดของวัสดุท่อที่เข้ากันได้ กับของไหลภายนอก และของไหลใช้งาน อีกทั้งต้องมีน้ำหนักเบาและผลลดอุณหภูมิของผนังท่อน้อย

2.1.2 การออกแบบฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

หลังจากเลือกของไหลใช้งาน และวัสดุท่อแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้สองขั้นตอนดังนี้

2.1.2.1 การกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

ท่อฮีทไปป์ทำมาจากท่อชนิดต่างๆ ขึ้นกับรูปร่างของพื้นที่หน้าตัดของท่อ ท่อที่นิยมใช้ทั่วไปเป็นท่อทรงกระบอก เพราะหาซื้อได้ง่ายและเป็นท่อ

ที่สามารถทนความดันได้ดีกว่าท่อรูปร่างอื่นๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมีความสำคัญต่อฮีทไปป์มาก เพราะเป็นตัวกำหนดความเร็วของไอ ถ้าตัวเลขแมคห์ของไอมีค่าสูงจะเกิดการอัดตัวของไอขึ้น และการกระจายของอุณหภูมิในแนวแกนของฮีทไปป์มาก ค่าตัวเลขแมคห์ของไอ ควรหยิดหลักว่ามีค่าไม่เกิน 0.2 เพราะที่ค่านี้การอัดตัวของไอ และผลต่างของอุณหภูมิในแนวแกนมีน้อยจนสามารถระเหยได้ ถ้าต้องการออกแบบฮีทไปป์ให้ส่งผ่านความร้อนสูงสุดในแนวแกนเป็น Q_{max} เส้นผ่าศูนย์กลางของย่านไอผ่าน d_v ในกรณีตัวเลขแมคห์ ($M_v = 0.2$) คือ

$$d_v = \left[\frac{20\ Q_{max}}{\pi\ \rho_v\ L\ (\gamma_v\ R_v\ T_v)^{1/2}} \right]^{1/2} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

d_v = เส้นผ่าศูนย์กลางของย่านไอผ่าน

Q_{max} = ฟลักซ์ความร้อนที่ส่งผ่านในแนวแกน

ρ_v = ความหนาแน่นของไอ

γ_v = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะของไอ

L = ความร้อนแฝงของการระเหย

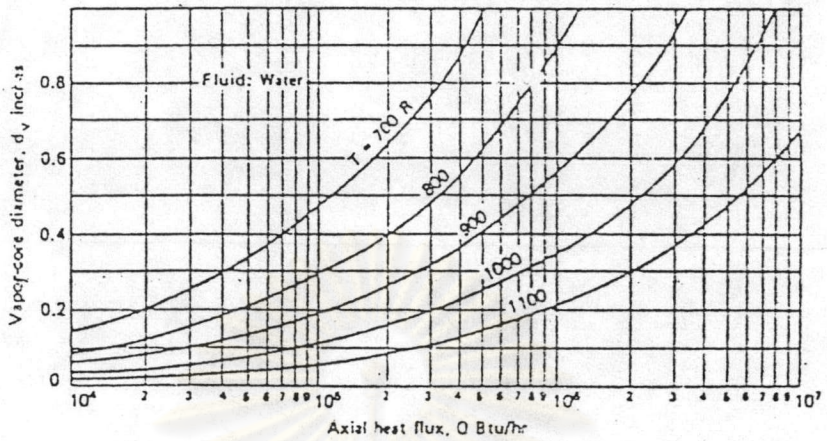
R_v = ค่าคงที่ของก๊าซ

T_v = อุณหภูมิของไอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของขนาดท่อต่างๆ ที่ใช้ส่งผ่านความร้อนสูงสุดในแนวแกน ซึ่งมีของไหลใช้งานเป็นน้ำ

I17899642



รูปที่ 2.6 การออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางของย่านไอผ่าน

2.1.2.2 การเลือกและคำนวณออกแบบท่อ

การเลือกประเภทของท่อ ต้องคำนึงถึงความทนทานต่อความดันไอที่เกิดขึ้นภายในท่อฮีทไปป์ โดยทั่วไปนิยมใช้มาตรฐาน ASME โดยยึดหลักว่า ความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum allowable stress) จะเป็น 1/4 เท่าของความทนแรงดึงสูงสุดของวัสดุนั้น (Ultimate tensile strengh, UTS, f_{tu}) คุณสมบัติความทนแรงดึงสูงสุดของวัสดุประเภทต่างๆ มีแสดงในภาคผนวก ข.

อนึ่ง การออกแบบโครงสร้างของท่อแบ่งออกได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. ท่อทรงกระบอก

1.1 กรณีท่อทรงกระบอกที่มีความหนาของผนังท่อน้อยกว่า 10% ของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ความเค้นสูงสุดที่ยอมได้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f_{max} = \frac{\Delta P d_o}{2t} \qquad (2.3)$$

เมื่อ

f_{max} = ความเค้นสูงสุดที่ผนังท่อรับได้

ΔP = ผลต่างของความดันระหว่างภายในท่อและภายนอกท่อ

d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

t = ความหนาของผนังท่อ

1.2 กรณีท่อทรงกระบอกที่มีผนังท่อหนา ความเค้นสูงสุดที่ยอมได้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f_{max} = \frac{\Delta P(d_o^2 + d_i^2)}{2(d_o^2 - d_i^2)} \qquad (2.4)$$

2. หมวกปิดท่อฮีทไปป์

หมวกปิดท่อฮีทไปป์ก็จัดอยู่ในประเภทวัสดุท่อเช่นกัน หมวกปิดท่อมีรูปร่างหลายอย่างเช่น เสี้ยวของทรงกลม กรวยหรือแผ่นแบน

2.1 กรณีหมวกปิดท่อเนื้อหนาแบบทรงกลมครึ่งเสี้ยว ความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้คำนวณได้จากสมการ

$$f_{max} = \frac{\Delta P\ (\ d_o^3 + 2d_i^3\ )}{2(\ d_o^3 - d_i^3\ )} \qquad (2.5)$$

2.2 กรณีหมวกปิดท่อแบบทรงกลมครึ่งเสี้ยวเนื้อบางน้อยกว่า 10% ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ ความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้คำนวณได้จากสมการ

$$f_{max} = \frac{\Delta P d_o}{4t} \qquad (2.6)$$

2.3 กรณีหมวกปิดท่อแบบแผ่นแบน ความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้คำนวณได้จากสมการ

$$f_{max} = \Delta P d_o^{\,2}/8t^2 \qquad (2.7)$$

เมื่อ

f_{max} = ความเค้นสูงสุดที่ผนังท่อรับได้

ΔP = ผลต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกหมวกปิดท่อ

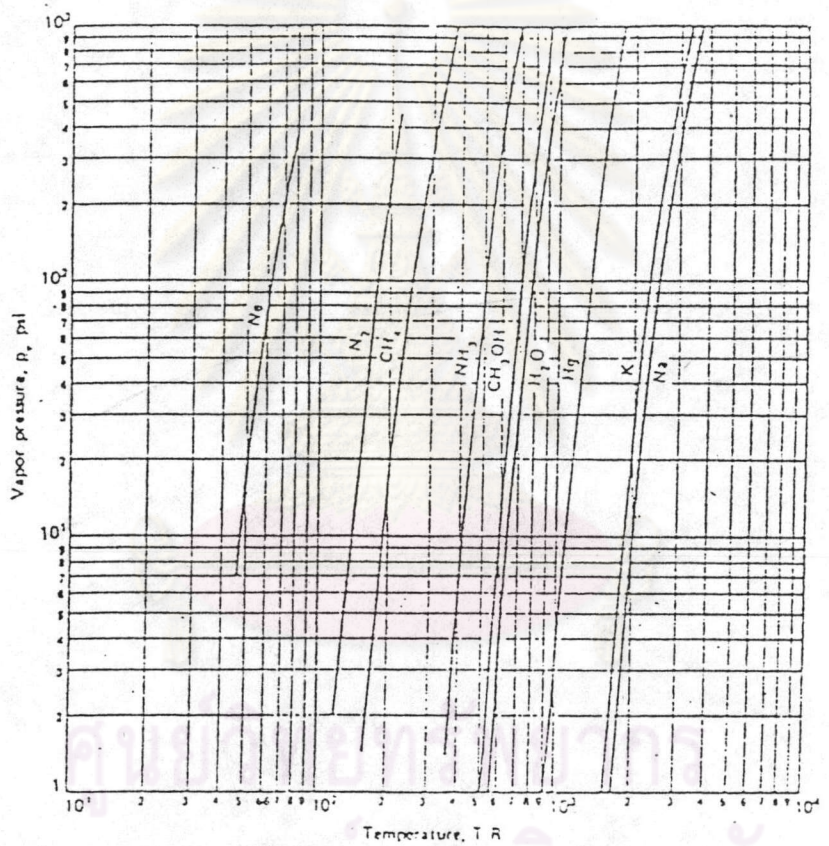
d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

d_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ

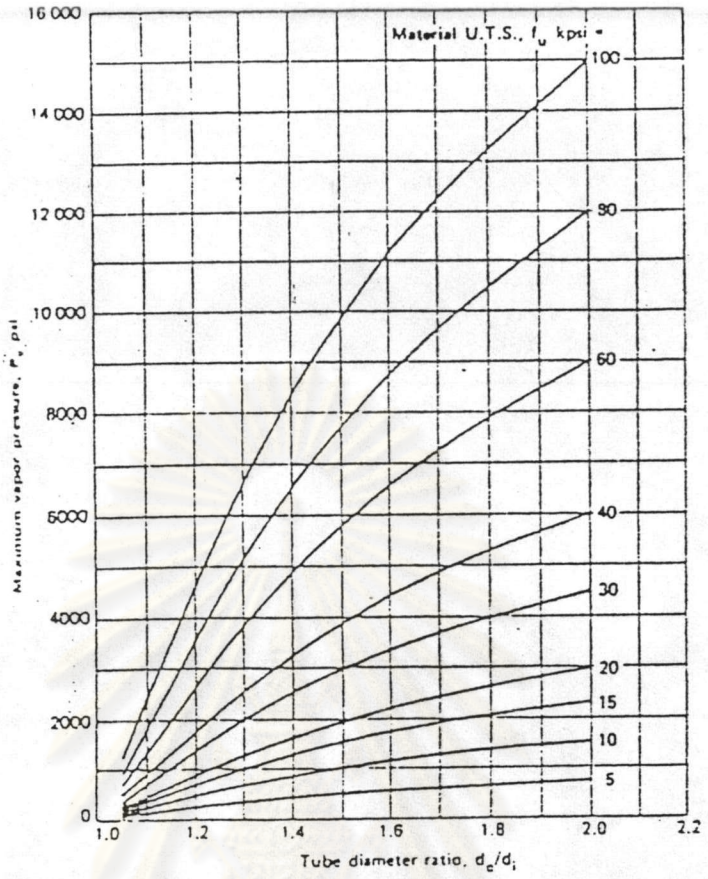
ผลต่างของความดันระหว่างภายใน และภายนอกของท่อหรือหมวกปิดท่อ ΔP มีค่าเท่ากับความดันไอของของไหลใช้งานที่อุณหภูมิใช้งาน หักลบด้วยความดันบรรยากาศภายนอก อนึ่ง ค่าความดันไอของของไหลใช้งานชนิดต่างๆ สามารถหาดูได้จากหนังสือคู่มือต่างๆ รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างความดันไอของของไหลใช้งานชนิดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

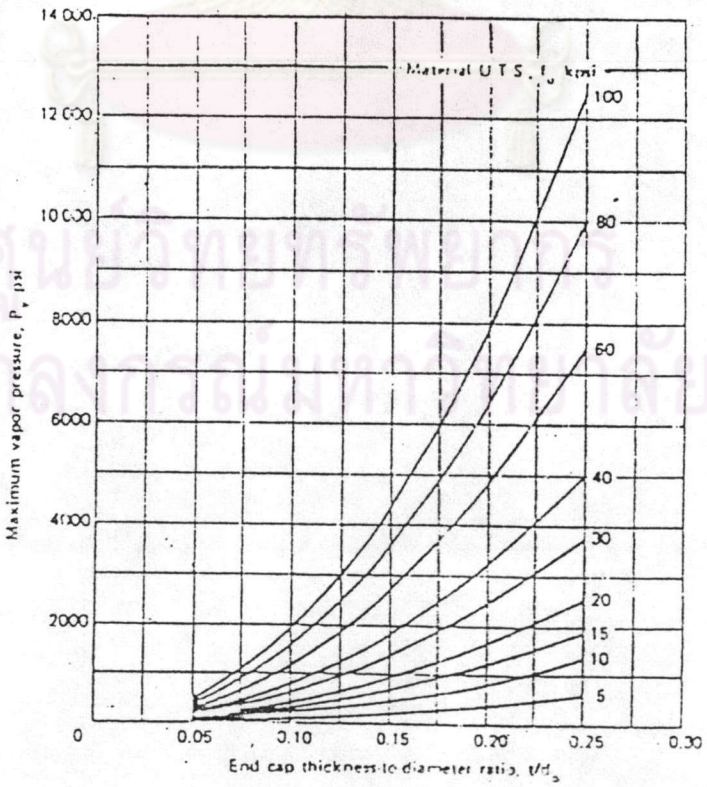
เพื่อความสะดวกในการออกแบบ สามารถที่จะนำเอาสมการที่ 2.3-2.6 ไปเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดท่อ (d_o/d_i) หรือขนาดหมวกปิดท่อ (t/d_o) กับความดันไอของของไหลใช้งาน (p_v) ดังรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.7 ความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆ ของของไหลใช้งาน



รูปที่ 2.8 การออกแบบขนาดของท่อ



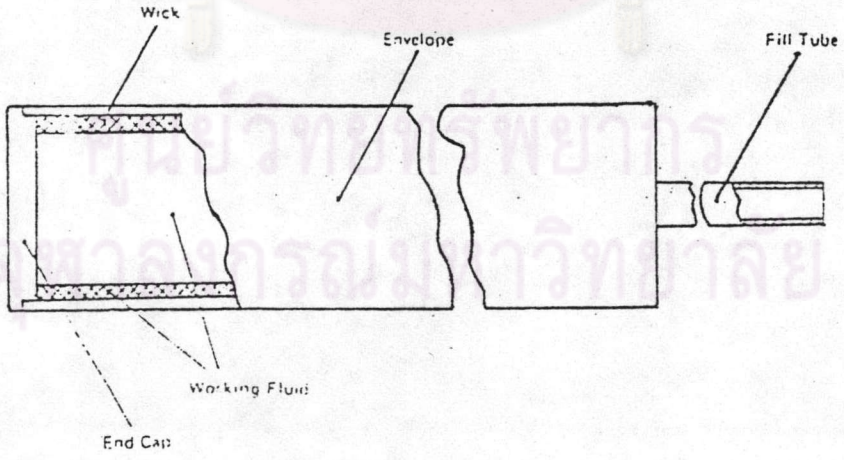
รูปที่ 2.9 การออกแบบขนาดของหมวกปิดท่อ

2.2 การสร้างฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน (Dunn and Reay, 1978b)

ดังได้กล่าวถึงการเลือกองค์ประกอบหลักทั้งสองส่วนของฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน อันได้แก่การเลือกของไหลใช้งาน และการเลือกวัสดุท่อ ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงขั้นตอน และวิธีการทั่วไปในการนำส่วนประกอบทั้งสองมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน และวิธีการสร้างแบบทั่วๆไป

2.2.1 ส่วนประกอบของฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

ฮีทไปป์ทั่วไปมีส่วนประกอบ 5 ส่วนคือ ท่อ (Envelope), วิกค์ (Wick), หมวกปิดท่อ (End cap), ท่อเติม (Fill tube) และของไหลใช้งาน (Working fluid) (รูปที่ 2.10) แต่ฮีทไปป์แบบ เทอร์โมไซฟอน จะมีส่วนประกอบเพียง 4 ส่วนคือ จะไม่มีวิกค์ ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะส่วนประกอบของฮีทไปป์แบบ เทอร์โมไซฟอน เท่านั้น



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆของฮีทไปป์ทั่วไป

1.1 ท่อ

ท่อที่ใช้ทำฮีทไปป์มีหลายประเภทและหลายขนาด การเลือกท่อในตอนออกฮีทไปป์แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน นั้นต้องคำนึงถึงราคาของท่อด้วย ท่อที่ใช้ทั่วไปมี สอง ประเภท คือ ท่อไร้ตะเข็บและท่อเชื่อมต่อ (Butt welding tubes) สิ่งที่ควรระวังในเวลาตัดท่อให้ได้ความยาวที่ต้องการคือ การเสียรูปของปลายท่อเพราะถ้าเกิดการเสียรูปแล้ว รอยเชื่อมหมวกปิดท่อจะไม่ทนทานและเกิดรูรั่วได้ง่าย ท่อโดยทั่วไปจะเป็นท่อผิวเรียบแต่ได้มีการพัฒนาท่อแบบมีเกลียวร่องเล็กๆ จำนวนมากที่ผนังท่อด้านใน เกลียวร่องเหล่านี้จะทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวของท่อให้มากขึ้น

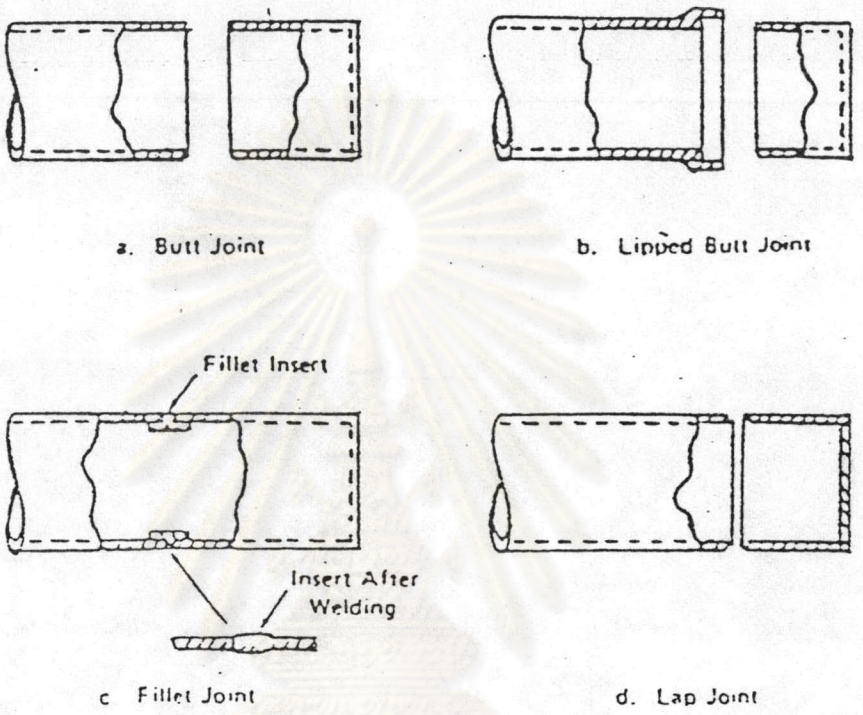
1.2 หมวกปิดท่อ

หมวกปิดท่อที่ใช้ควรมีความหนาของผนัง น้อยที่สุดที่จะทนต่อความเค้นที่เกิดขึ้นได้ หมวกปิดท่อจะถูกเชื่อมติดกับปลายท่อ รูปแบบของการเชื่อมติดนี้มีความสำคัญมากต่อการสร้างฮีทไปป์และแบ่งได้เป็น 4 แบบคือ แบบเชื่อมธรรมดา (Butt joint), แบบเชื่อมประกบ (Lipped butt joint), แบบเชื่อมติดร่อง (Fillet joint) และแบบเชื่อมเหลื่อม (Lap joint) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

สิ่งที่ควรระวังในการเชื่อมหมวกคือ หมวกปิดท่อและตัวท่อต้องอยู่ในแนวตรง รอยเชื่อมต้องแข็งแรง ไม่มีรอยรั่วซึม ความหนาของรอยเชื่อมต้องมีขนาดใกล้เคียงกับความหนาของผนังท่อ และรอยเชื่อมนั้นควรจะอยู่บนเนื้อของหมวกปิดท่อและบนตัวท่อเท่าๆกัน อีกทั้งต้องเป็นรอยที่สม่ำเสมอด้วย โดยทั่วไปไม่ควรใช้การเชื่อมต่อแบบธรรมดา (Butt joint)

1.3 ท่อเติม

เป็นท่อต่อขนาดเล็กบนหมวกปิดท่อด้านใดด้านหนึ่งของฮีทไปป์ เพื่อใช้เป็นทางดึงหรือไล่อากาศออกจากฮีทไปป์ และเป็นทางเติมของไหลใช้งานเข้าท่อก่อนที่ใช้งานฮีทไปป์ จะต้องปิดท่อเติมให้สนิทเสียก่อน อาจจะโดยการบีบให้แบนแล้วเชื่อมปิดปลาย ท่อเติมนี้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกไม่เกิน 1/4 นิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1/6 นิ้ว



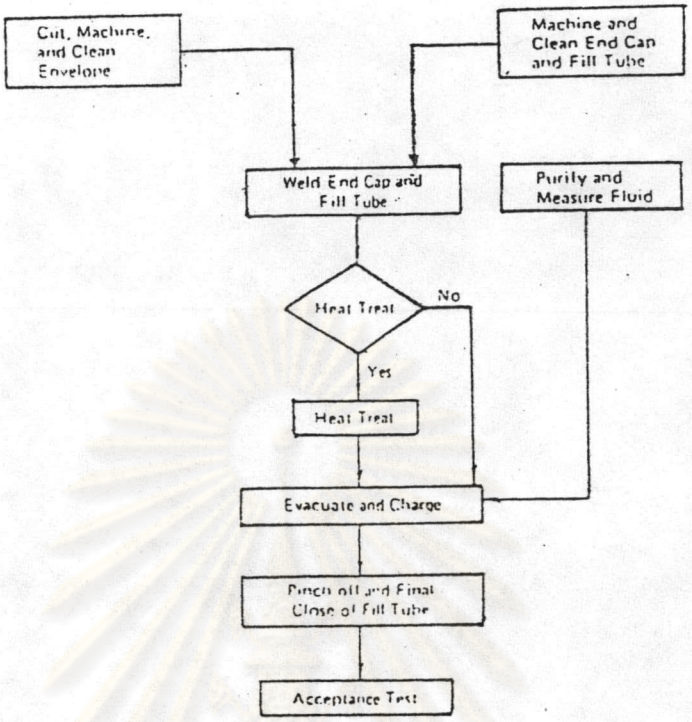
รูปที่ 2.11 วิธีเชื่อมต่อหมวกปิดท่อแบบต่างๆ

1.4 ของไหลใช้งาน

ของไหลใช้งานที่ใส่ในท่อฮีทไปป์ต้องมีปริมาณที่พอเหมาะและต้องมีความบริสุทธิ์สูง

ขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์มีแสดงไว้ในรูปที่ 2.12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.12 แผนผังขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์

2.2.2 การทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆ

ความสะอาดของส่วนประกอบมีผลต่อสมรรถนะ และอายุการใช้งานของฮีทไปป์มาก วิธีการทำความสะอาดมีดังต่อไปนี้

2.2.2.1 การทำความสะอาดของไหลใช้งาน

การทำของไหลใช้งานให้บริสุทธิ์มีขั้นตอนดังนี้

1. การกลั่น

ของไหลใช้งานจำพวกน้ำ และของเหลวอินทรีย์ เช่น อาซิโตน, เอทธานอล เป็นต้น จำต้องผ่านการกลั่นเสียก่อน

2. การกำจัดน้ำจากของเหลว

การกำจัดน้ำจากของเหลวทำได้โดยใช้ซิลิกาเจล (Silica gel) หรืออลูมินา (Alumina) เป็นสารดูดซับน้ำออกจากของเหลว

3. การกำจัดก๊าซต่างๆที่ละลายอยู่ในของไหลใช้งาน

ในกรณีที่ใช้งานฮีทไปป์อุณหภูมิสูงกว่า 200 °ซ (392 °ฟ.) จำเป็นต้องไล่ก๊าซที่ละลายอยู่ในของไหลออกโดยวิธี freezing degassing

2.2.2.2 การทำความสะอาดส่วนประกอบที่เป็นโลหะ

การทำความสะอาดส่วนประกอบที่เป็นโลหะ แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การกำจัดคราบไขมัน (Degreasing) คราบไขมันที่ติดมากับวัสดุอาจเป็น น้ำมัน ไข หรือจาระบี โดยทั่วไปจะใช้สารละลายจำพวกเมทธิลีนไดโครเมท (Methylene dichromate), 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane) และไตรคลอโรเอธิลีน (Trichloroethylene) แต่นิยมใช้สารละลาย 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน เพราะมีราคาถูกกว่า สารละลายนสามารถใช้ทำความสะอาดได้ทุกซอกทุกมุม โดยอาศัยเครื่องมือที่ทันสมัย (Ultra-sonic cleaning equipment) ในขณะที่ชิ้นส่วนแช่อยู่ในสารละลายควรจะใช้แปรงขัดเบาๆด้วย

2. การกำจัดอนุภาคของแข็ง (Solid particle removal) อนุภาค ของแข็งบางชนิดอาจถูกกำจัดออกไปตั้งแต่ขั้นตอนการกำจัดคราบไขมันแล้ว แต่ยังมีอนุภาคบางอย่างเช่น ไขมันสภาพกึ่งของแข็งหรือของแข็งซึ่งไม่สามารถล้างออกได้หมดด้วยสารละลาย จึงจำเป็นต้องใช้สารพวกอัลคาไลน์ (Alkaline) เช่น ใช้ Oakite ในกรณีของโลหะอลูมิเนียมและ Coppa-Kleen ในกรณีของทองแดง เป็นต้น

สารอัลคาไลน์ที่ยกมานี้เป็นชื่อทางการค้าและประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดฟอง (Synthetic organic surfactants) หรือสบู่ 2-10 % และเกลือของด่างอย่างน้อย 2 ชนิดเช่น เกลือของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Caustic soda) โซเดียมออโธซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนต (Soda ash) โซเดียมเตตรา-บอเรท (Borax) หรือโซเดียมโพลิฟอสเฟต เป็นต้น

อนึ่งยังมีอนุภาคของแข็งอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นบนผิวโลหะเนื้อแข็ง เช่น สเตนเลสในรูปของจุดต่ำหนิของเนื้อเหล็ก เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้สามารถทำปฏิกิ-ริยาเคมีกับของไหลใช้งาน จึงต้องกำจัดออกโดยการใช้สารออกซิไดซิง ซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี กับตัวสเตนเลส เอง เช่น กรดไนตริก โซเดียมไดโครเมต โปแทส-เซียมไดโครเมท หรือสารผสมของสารพวกนี้

3. การกำจัดออกไซด์ (Deoxydizing) โลหะทั่วไปจะเกิดออกไซด์ปกคลุมผิวนอกอยู่โดยรอบ ซึ่งทำให้คุณสมบัติเปียกผิวของโลหะนั้นถดถอยลง อีกทั้งออกไซด์ของโลหะบางชนิดก็สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับของไหลใช้งานและก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการด้วย เช่น ออกไซด์ของอลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยาเคมีกับแอมโมเนียให้ก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจนและโลหะอลูมิเนียม เป็นต้น ทำให้ฮีทไปป์มีสมรรถนะต่ำลง วิธีการกำจัดออกไซด์ย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ การกำจัดออกไซด์ของทองแดงและอลูมิเนียมทำได้โดย การจุ่มลงในสารละลายของ 15-30 กก./$ม^3$ โซเดียมไดโครเมทและ 4-7 % โดยปริมาตรกรดกำมะถันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5-30 นาที หลังจากกำจัดออกไซด์จากชิ้นส่วนต่างๆแล้ว ต้องล้างด้วยน้ำสะอาด 2 นาทีและกลั้วด้วยน้ำกลั่นทันที จากนั้น ทำให้แห้งด้วยอากาศสะอาด กลั้วด้วยไอโซ-โปรพิลแอลกอฮอล์ไร้น้ำแล้วทำให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนร้อน 70 °ช. ที่ผ่านการกรองแล้ว

ตัวอย่างของขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นส่วนที่เป็นทองแดงและอลูมิเนียมมีดังนี้

1. แช่ในไตรคลอโรอีเธนที่อุณหภูมิห้องและใช้แปรงถูเป็นระยะๆ
2. กลั้วด้วยไตรคลอโรอีเธนที่อุณหภูมิห้อง

3. จุ่มอลูมิเนียมลงใน Oakite No. 164 (15-75 กก./ม^3) ส่วนทองแดงใน Coppa Kleen (15-75 กก./ม^3) ที่ 60-80 °ซ. เป็นเวลานาน 5-30 นาที

4. ล้างด้วยน้ำสะอาด 2 นาที

5. จุ่มลงในสารละลายโซเดียมโครเมตและกรดกำมะถันที่อุณหภูมิห้อง 5-30 นาที

6. ล้างด้วยน้ำสะอาด 2 นาที แล้วกลั้วด้วยน้ำกลั่น

7. เป่าให้แห้งด้วยอากาศสะอาด

8. ล้างด้วยไอโซโปรพิลแอลกอฮอล์ไร้น้ำ

9. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนสะอาดที่ 70 °ซ

2.2.3 ขั้นตอนการประกอบฮีทไปป์

เมื่อทำความสะอาดชิ้นส่วนต่างๆเรียบร้อยแล้ว ควรรีบประกอบขึ้นโดยไม่ปล่อยทิ้งไว้เนิ่นนาน ขั้นตอนการประกอบที่สำคัญคือ การเชื่อมต่อหมวกปิดท่อและท่อเติม ในกรณีที่หมวกปิดท่อไม่มีท่อเติมตั้งแต่แรกเราจะต้องเชื่อมท่อเติมกับหมวกเสียก่อน หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมหมวกปิดท่อทั้งด้านที่มีท่อเติมและด้านที่ไม่มีท่อเติมเข้ากับท่อ การเชื่อมต่อทั้งหมดจะต้องไม่มีรอยรั่วและรอยร้าวเพราะจะทำให้ระบบสุญญากาศของฮีทไปป์เสียได้ การเชื่อมควรใช้ในการสร้างฮีทไปป์นี้ได้แก่ การเชื่อมแบบ TIG (Tungsten-Inert Gas Welding) และการเชื่อมแบบ EBW (Electron Beam Welding)

1. การเชื่อมแบบ TIG

เป็นการเชื่อมด้วยไฟฟ้าโดยมีแท่งเชื่อมถาวร (electrode) เป็น Tungsten และลวดเชื่อม (filler metals) เป็นโลหะชนิดอื่น การเชื่อมแบบนี้จะมีช่องพ่นก๊าซเฉื่อยรอบๆแท่งเชื่อมถาวร เพื่อปกคลุมรอยเชื่อมไม่ให้ถูกกับอากาศทำให้รอยเชื่อมสะอาดและไม่เกิดออกไซด์

2. การเชื่อมแบบ EBW

เป็นการเชื่อมที่มีการสร้างห้องสุญญากาศ เพื่อปกป้องรอยเชื่อมจากการสัมผัสกับอากาศ การเชื่อมแบบนี้ใช้ปริมาณความร้อนน้อยกว่าการเชื่อมทั่วไปและมีการกระจายของความร้อนบนผิวโลหะในบริเวณแคบๆ ทำให้ผิวโลหะและรอยเชื่อมไม่มีสารประกอบใดๆเกิดขึ้น

2.2.4 การตรวจสอบรอยรั่ว

เมื่อประกอบฮีทไปป์แล้ว จำเป็นที่ต้องมีการตรวจสอบรอยรั่ว เพราะถ้ามีรอยรั่วเพียงเล็กน้อย จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพตอนเริ่มต้น แต่จะมีผลต่อประสิทธิภาพในระยะหลัง

วิธีที่ดีในการตรวจรอยรั่วโดยใช้อุปกรณ์ตรวจรอยรั่วที่มีประสิทธิภาพสูง (เช่น mass spectrometer) โดยลดความดันในท่อลง (มากกว่า 10^{-5} ทอร์) แล้วตรวจดูว่าก๊าซฮีเลียมที่อยู่ภายนอกท่อซึมผ่านเข้าในท่อหรือไม่

สาเหตุส่วนใหญ่ของการรั่ว เกิดจากรูพรุนในรอยเชื่อม ดังนั้นการเชื่อมจึงควรใช้ อาร์กอนบริสุทธิ์ และการเชื่อมท่อฮีทไปป์จะไม่ใช้น้ำยาประสาน (Flux) ในการเชื่อมเพราะทำให้เกิดรอยรั่วได้ง่าย

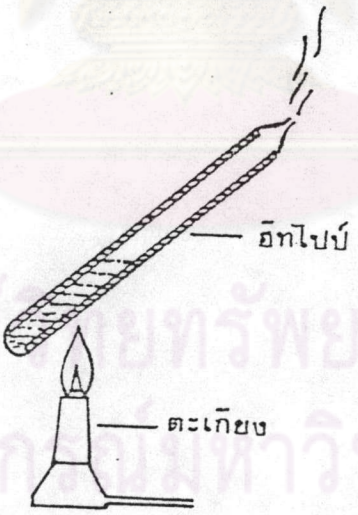
2.2.5 การทำสุญญากาศและการเติมของไหลใช้งาน

เมื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆ และตรวจสอบรอยรั่วเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการทำสุญญากาศภายในท่อ และการเติมของไหลใช้งาน

วิธีที่จะกล่าวในที่นี้เป็นวิธีสำหรับการสร้างฮีทไปป์ชนิดอุณหภูมิใช้งานต่ำ (Low temperature heat pipe) ซึ่งมีอยู่ 4 วิธี จากง่ายไปหายากดังนี้

2.2.5.1 แบบให้ความร้อนโดยตรงต่อฮีทไปป์

กรรมวิธีนี้นับว่าเป็นวิธีแบบง่ายที่สุด หลังจากประกอบชิ้นส่วนต่างๆเป็นท่อฮีทไปป์เรียบร้อยแล้ว จะเติมของไหลใช้งานเข้าไปในท่อฮีทไปป์โดยตรงในปริมาณมากเกินพอ จากนั้นไล่อากาศและก๊าซไม่ควบแน่นที่ค้างอยู่ในท่อและที่ละลายอยู่ในของเหลว โดยการเอาเปลวไฟไปลนบริเวณด้านล่างของฮีทไปป์ดังรูปที่ 2.13 เมื่อของไหลใช้งานเริ่มเดือดพล่าน ไอของไหลใช้งานที่พุ่งออกมาก็จะช่วยไล่อากาศที่อยู่ภายในท่อฮีทไปป์ หลังจากปล่อยให้เดือดเป็นเวลาพอเหมาะ และของไหลใช้งานในท่อมีปริมาณเหลือตามต้องการแล้ว ก็ทำการปิดผนึกปลายท่อด้านบนในขณะที่ของไหลใช้งานยังคงเดือดพล่านอยู่



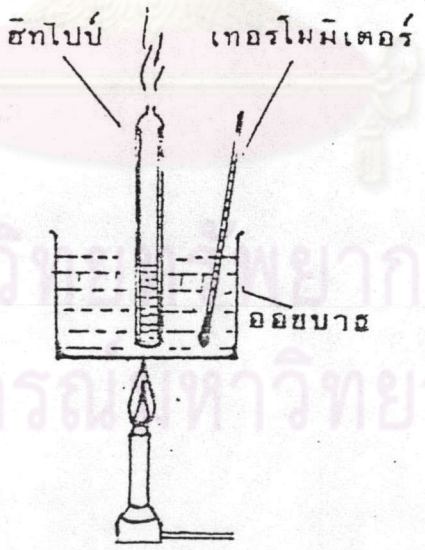
รูปที่ 2.13 วิธีการผลิตฮีทไปป์แบบให้ความร้อนโดยตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.5.2 แบบให้ความร้อนต่อฮีทไปป์โดยใช้ออยบาธ (Oil bath)

กรรมวิธีนี้ต้องลงทุนมากกว่าวิธีที่ 1 เล็กน้อย แต่หลักการดำเนินงานยังคงเหมือนกัน จะต่างกันตรงที่วิธีที่สองนี้ใช้ออยบาธที่รักษาอุณหภูมิของน้ำมันร้อนให้คงที่ (รูปที่ 2.14) เพื่อให้เกิดการเดือดอย่างสม่ำเสมอ และสามารถควบคุมปริมาณของไหลใช้งานที่เหลือในท่อ โดยการควบคุมระยะเวลาที่ต้มเดือด ดังนั้นจึงสามารถสร้างฮีทไปป์ที่มีสมรรถนะใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้และในเวลาอันสั้นด้วย (mass production)

เนื่องจากกรรมวิธีทั้งสองแบบข้างต้นใช้ไอของของไหลไปไล่ที่อากาศที่อยู่ภายในท่อ จึงมีชื่อเรียกว่า การสร้างแบบการระเหยและเหมาะกับกรณีที่ของไหลใช้งานเป็นน้ำ



รูปที่ 2.14 วิธีการผลิตฮีทไปป์แบบใช้ออยบาธ

อีกสองวิธี ที่จะแนะนำต่อไปนี้เป็นวิธีที่สร้างระบบสุญญากาศภายในท่อโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ปั๊มสุญญากาศที่ใช้ต้องสามารถสร้างสุญญากาศได้ถึง 10^{-4} torr. เช่น diffusion pump หรือ sorption pump ที่มี molecular sieve

2.2.5.3 การใช้ปั๊มสุญญากาศแบบที่ 1

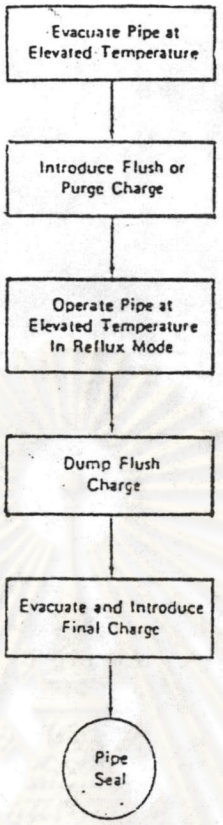
เป็นวิธีที่ใช้ปั๊มสุญญากาศแต่ไม่ยุ่งยากมาก ขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.15 ดังต่อไปนี้

1. การไล่ก๊าซออกจากของไหลใช้งานโดยวิธี freezing degassing

บรรจุของไหลใช้งานไว้ในขวดป้อน (charge bottle) แล้วปิดวาล์ว A, B และ C แช่ขวดป้อนไว้ในถังก๊าซไนโตรเจนเหลว ถ้าของไหลใช้งานเป็นแอมโมเนีย (ถ้าเป็นโซเดียมเหลว ให้ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง) เมื่อของไหลใช้งานแข็งตัวแล้ว นำเอาขวดป้อนออกและปล่อยให้ของไหลใช้งานหลอมตัวเพื่อไล่ฟองของก๊าซที่ติดค้างอยู่ในของไหลใช้งานที่แข็งตัว จากนั้นเปิดวาล์ว A และ B เพื่อดูดเอาก๊าซออก (ของไหลใช้งานบางส่วนที่ระเหยเป็นไอจะถูกดูดออกมาด้วย) แล้วปิดวาล์ว และทำซ้ำประมาณ 2-4 ครั้ง จนแน่ใจว่าของไหลใช้งานไม่มีก๊าซละลายเหลืออยู่

2. การทำสุญญากาศภายในท่อและการเติมของไหลใช้งาน

เมื่อได้ของไหลใช้งานจากขั้นตอนก่อนแล้ว ต่อไปเป็นการทำสุญญากาศ ภายในท่อและการเติมของไหลใช้งาน



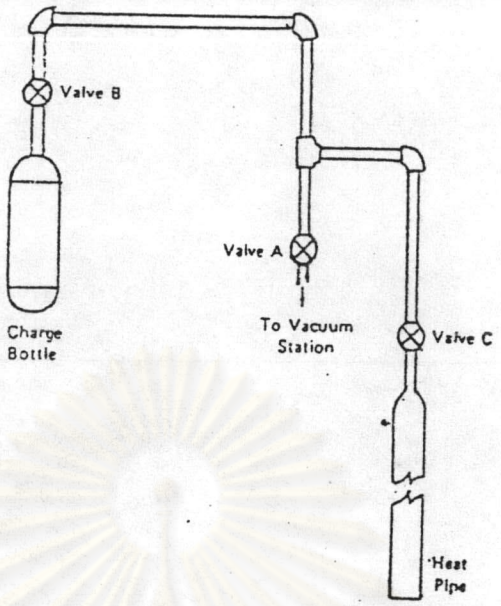
รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ แบบที่ 1

ลำดับขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบที่ 1 โดยสรุปมีแสดงไว้ในรูปที่ 2.16

รายละเอียดขั้นตอนการสร้าง

1. ดูดอากาศออกโดยปิดวาล์ว B แล้วปิดวาล์ว A และ C ให้ความร้อนกับฮีทไปป์ เพื่อให้ก๊าซที่เกาะอยู่บนเนื้อวัสดุท่อและวิกค์หลุดออกมา ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดอากาศและก๊าซออกนี้ จะขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิของฮีทไปป์

2. กลั้วท่อด้วยของเหลวใช้งาน โดยเปิดวาล์ว B และอุ่นขวดป้อนให้ร้อนกว่าจุดเดือดของของไหลใช้งานที่ความดันในระบบนั้น ปล่อยให้ไอของของไหลใช้งานไหลเข้าไปในท่อเล็กน้อยเพื่อกลั้วภายในท่อ แล้วปิดวาล์ว B เพื่อดูดเอาของไหลใช้งานออก และปิดวาล์ว B ใหม่ ทำซ้ำกันประมาณ 2 ครั้ง



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.16 ระบบการผลิตฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบที่ 1

3. บรรจุของไหลใช้งาน ปริมาณที่บรรจุสามารถวัดและควบคุมได้โดยวิธีต่างๆขึ้นกับสถานะของของไหลใช้งานที่อุณหภูมิห้อง ดังต่อไปนี้

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

3.2 สถานะของของเหลว หรือของแข็งปริมาณที่บรรจุสามารถวัดได้จากผลต่างของปริมาณของของไหลใช้งานก่อนและ หลังการบรรจุโดยการปิดวาล์ว A เปิดวาล์ว B และ C เมื่อให้ความร้อนกับขวดป้อน ในขณะที่ให้ความเย็นท่อฮีทไปป์ เมื่อได้ปริมาณตามที่ต้องการแล้วก็ปิดวาล์ว B และ C ฮีทไปป์จะอยู่ในสภาพพร้อมที่จะปิดผนึก

2.2.5.4 การใช้ปั๊มสุญญากาศแบบที่ 2

เป็นวิธีการสร้างฮีทไปป์ที่ซับซ้อนมากกว่าวิธีแบบที่ 3 ระบบการผลิตนี้มีแสดงไว้ในรูปที่ 2.17 ดังต่อไปนี้

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

2. เดินปั๊มสุญญากาศโดยที่วาล์ว V1, V2 ยังคงปิดอยู่

3. หล่อเย็นตัวปั๊มสุญญากาศและกับดักเย็น (Cold Trap, CT) ด้วยก๊าซไนโตรเจนเหลว

4. ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เปิดวาล์ว V1,V2 ดูดอากาศในระบบออกจนได้ความดันประมาณ 0.01 มม.ปรอท เวลาที่ใช้ในการนี้จะขึ้นกับความจุของปั๊ม ความสะอาดของระบบและปริมาตรภายในรวมของระบบ

5. ปิดวาล์ว V4, V5 และ V6 เติมของไหลใช้งานลงไปใน R1

6. ค่อยๆเปิดวาล์ว V5 ให้ของไหลใช้งานลงสู่ภาชนะ DG_1 เมื่อได้ปริมาณมากพอก็ปิด แล้วทำให้แข็งตัว โดยแช่ในก๊าซไนโตรเจนเหลว

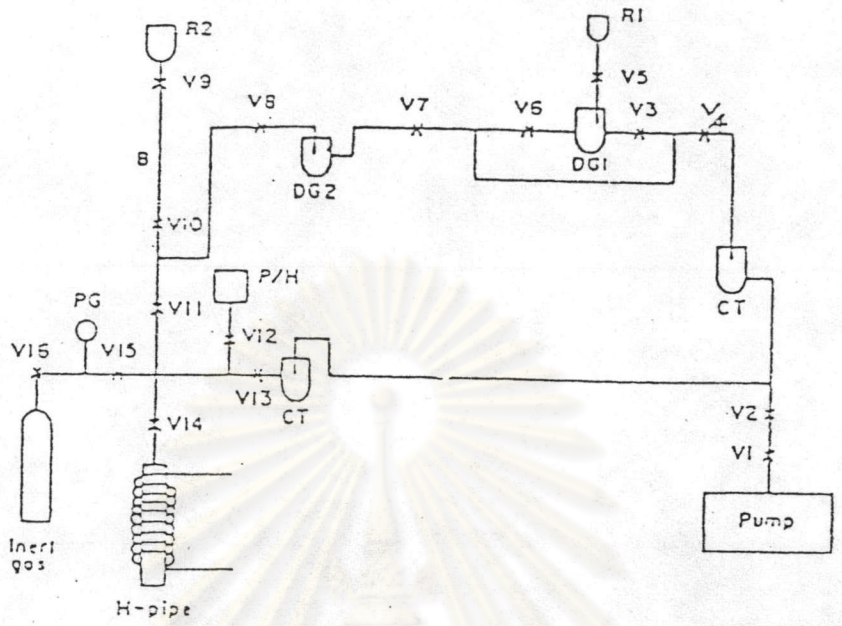
7. เมื่อของไหลใช้งานแข็งตัว เปิดวาล์ว V4 เพื่อดูดอากาศออกแล้วปิด จากนั้นทำให้ของไหลใช้งานหลอมตัวและปล่อยให้ฟองก๊าซปุดออก แล้วทำให้ของไหลใช้งานแข็งตัวใหม่

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



รูปที่ 2.17 ระบบการผลิตฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบที่ 2

12. ปิดวาล์ว V7, V11 และเปิดวาล์ว V8, V10 จากนั้นก็ใช้ความร้อนไล่ของไหลใช้งานให้เข้าไปอยู่ในบูเร็ท (Burette, B) แล้วปิดวาล์ว V10, V8 และเปิดวาล์ว V11 จากนั้นดึงสุญญากาศให้มากขึ้นถึงประมาณ0.005 มม.ปรอท

13. ติดท่อฮีทไปป์เข้ากับระบบ เปิดวาล์ว V14 เพื่อดูดเอาอากาศออกพร้อมกับให้ความร้อนต่อฮีทไปป์ รอจนระดับของสุญญากาศกลับคืนที่เดิม

14. จุ่มปลายด้านล่างของฮีทไปป์ลงในถังไนโตรเจนเหลว ค่อยๆเปิดวาล์ว V10 เพื่อส่งของไหลใช้งานไปควบแน่นในท่อฮีทไปป์ เมื่อได้ปริมาณมากพอก็ปิดวาล์ว V10 ใช้ความร้อนไล่ของไหลใช้งานที่ยังคงตกค้างอยู่ให้เข้าไปในท่อฮีท-ไปป์จนหมดแล้วปิดวาล์ว

15. ทำการไล่ก๊าซออกจากของไหลใช้งานในท่อฮีทไปป์โดยวิธี freezing degassing อีกครั้ง โดยเปิด-ปิดวาล์ว V14 จากนั้นท่อฮีทไปป์ก็อยู่ในสภาพพร้อมที่จะปิดผนึก

2.2.6 การปิดผนึกท่อ

ต้องมีการปิดผนึกท่อก่อนที่จะนำไปใช้งาน วิธีการปิดผนึกท่อมีหลายวิธี แต่วิธีที่เป็นที่ยอมรับว่าประหยัดและไม่มีรอยรั่วเป็นดังนี้

1. บีบปลายท่อเติมให้แนบสนิท โดยปล่อยเครื่องบีบท่อค้างไว้
2. ตัดท่อฮีทไปป์ออกจากวาล์ว ที่ริมรอยบีบด้านวาล์ว
3. เชื่อมปลายท่อเติมด้วยวิธีการเชื่อมแบบ TIG หรือ แบบ EWB จากนั้นจึงคลายเครื่องบีบท่อออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย