บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการออกแบบถังความดันเบื้องต้น

2.1. วัสดุ (Material)

ข้อกำหนดทั่วไปของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบถังความดันตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME)

2.1.1 วัสดุที่ได้รับแรงดัน ซึ่งจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ใน American Society of Mechanical Engineer STD. (ASME) Section II Part A แต่ไม่เกิน Part C ยกเว้นการออกแบบที่เป็นไปตาม UG-9 UG-10 UG-11 UG-15 ซึ่งการเลือกใช้วัสดุอาจเลือกใช้วัสดุที่มีความทนทานกว่าความต้องการได้

2.1.2 วัสดุที่ไม่ได้รับแรงดัน เช่น ฐานรองรับ (Skirt, Support) ขาตั้ง(Legs) หูยก(Lifting Lug) ฯลฯ จะต้องเป็นไปตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) ในภาคผนวก (ก) การออกแบบตามมาตรฐานนี้ แต่ละชิ้นส่วนจะต้องเชื่อมต่อกับถังความดันโดยการเชื่อมประสานซึ่งจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานการเชื่อม UW-5(b) และค่าความเค้นที่ยอมรับได้ (The Allowable stress value) จะต้องเป็นไปตาม UG-93 และจะต้องไม่เกิน ร้อยละ 80 ของค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Allowable stress value)

2.1.3 วัสดุที่ระบุไว้ใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section II จะไม่มีการจำกัดวิธีการผลิตเว้นแต่ว่าจะมีวิธีการผลิตแสดงไว้ใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section II หรือตามความต้องการของผู้ซื้อ

2.1.4 วัสดุที่ไม่ได้ระบุใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I ซึ่งอาจเป็นวัสดุที่ไม่จำเป็นต้องใช้ หากจำเป็นต้องใช้จะต้องรับรองโดย Boiler and Pressure Vessel Committee สามารถอ้างอิงจาก Appendix 5 ใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section II Part D

2.1.5 วัสดุที่นอกเหนือจากขนาดและความหนาที่ระบุไว้ใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section II จะอนุญาตให้ใช้ได้ต่อเมื่อมีการระบุรายละเอียดต่างๆ ส่วนประกอบทางเคมี รวมไปถึงคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งจะไม่มีการจำกัดขนาดและความหนา

2.1.6 ข้อแนะนำสำหรับผู้ใช้หรือผู้ออกแบบ ที่ต้องการวัสดุตามความต้องการของตนจะต้องเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน และคำนึงถึงคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อน สนิม และความเสียหายที่จะเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน

2.2 การออกแบบ (Design)

การออกแบบถังความดันและส่วนประกอบต่างๆ ของถังความดันนั้นจะต้องเป็นไปตามความต้องการขั้นต้นของการใช้งาน ความหนาของถังความดันหลังจากการขึ้นรูปแล้วจะต้องไม่น้อยกว่า 1/16 นิ้ว (1.6 มิลลิเมตร) ทั้งนี้ไม่รวมค่าการกัดกร่อน ยกเว้นสำหรับอุปกรณ์บางชนิดเช่น ถังความดันที่ใช้ในการเก็บอากาศความดันสูง ไอน้ำความดันสูง และน้ำ เป็นต้น จะต้องมีความหนาของผนังถังความดันหลังจากการขึ้นรูปแล้วไม่น้อยกว่า 3/32 นิ้ว (2.4 มิลลิเมตร) และจะต้องใช้วัสดุดังตาราง UCS-23 ใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I

Mill Undertolerance แผ่นโลหะที่นำมาขึ้นรูปเป็นถังความดันนั้นจะต้องหนาไม่น้อยกว่าความหนาที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I ทั้งนี้หากนำแผ่นโลหะมาขึ้นรูปแล้วมีค่า Tolerance น้อยกว่า 0.01 นิ้ว (0.3 มิลลิเมตร) หรือ ร้อยละ 6 ของความหนาที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VII Division I แต่ถ้านำแผ่นโลหะมาขึ้นรูปแล้วมีค่า Tolerance มากกว่า 0.01 นิ้ว (0.3 มิลลิเมตร) หรือ ร้อยละ 6 ของความหนาที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I

Pipe Undertolerance ท่อที่นำมาใช่ในการออกแบบถังความดัน จะต้องอ้างอิงตามตารางที่แสดงอยู่ใน Subsection C และหลังจากทราบความหนาของผนังท่อที่นำมาใช้แล้วจะต้องมีการเผื่อค่า tolerance ที่ยอมรับได้ด้วย

2.2.1 อุณหภูมิการออกแบบ (Design Temperature)

2.2.1.1 อุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้จะต้องเป็นไปตาม UW-2(d)(3) ใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I และจะต้องไม่น้อยกว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุนั้นๆ (แปรผันตามความหนา) ในสภาวะทำงานของถังความดัน แต่ถ้าจำเป็นอุณหภูมิของวัสดุจะได้มาจากการคำนวณ หรือการใช้เครื่องมือวัดจากตัวถังความดันในสภาวะใกล้เคียงกับสภาวะทำงานจริงมากที่สุด

2.2.1.2 อุณหภูมิต่ำสุดของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบจะต้องเป็นค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ภาย

ใต้ข้อกำหนดของ American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I (UCS-66, UCS-160)

2.2.2 ความดันการออกแบบ (Design Pressure)

ถังความดันที่ออกแบบตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) ความดันที่ใช้ในการออกแบบจะต้องไม่ต่ำกว่าความดันขณะทำงานในสภาวะปกติ และในกรณีที่คิดค่าความดันในการทดสอบด้วยน้ำ (Hydrostatic Test) และการทดสอบด้วยลม (Pneumatic Test) จะต้องเป็นไปตาม UG-98 และ UG-99

2.2.3 ค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Allowable Stress Value)

โดยทั่วไปจะใช้ค่าจาก Appendix I ใน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section II Part D ซึ่งจะมีค่าประมาณ ร้อยละ 66 ของค่า Yield Stress

2.2.4 การออกแบบความหนาของถังความดันภายใต้แรงดันภายใน (Thickness of Shell under Internal Pressure)

ความหนาของถังความดันภายใต้แรงดันภายในจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ รวมไปถึงการวิเคราะห์ภาระต่างๆที่มากระทำตาม [UG-22]

ถังความดันทรงกระบอก (Cylindrical Shell) ค่าความหนาของถังความดัน หรือค่าความดันที่ยอมรับได้สูงสุดขณะทำงานของถังความดันทรงกระบอก จะต้องมีค่ามากกว่าที่คำนวณได้จากหัวข้อต่อไปนี้

2.2.4.1 Circumferential Stress (Longitudinal Joint) เมื่อความหนาของผนังถังความดัน มีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของรัศมีถังความดัน หรือความดันมีค่าน้อยกว่า 0.385SE จะสามารถคำนวณหาความหนาที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ หรือความดันที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ ดังนี้

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \qquad \text{.....(2.1)}$$

หรือ

$$P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad \text{.....(2.2)}$$

2.2.4.2 Longitudinal Stress (Circumferential Joints) เมื่อความหนาของผนังถังความดันมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของรัศมีถังความดัน หรือความดันมีค่าน้อยกว่า 0.385SE จะสามารถคำนวณหาความหนาที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ หรือความดันที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ ดังนี้

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.4P} \quad \text{.....(2.3)}$$

หรือ

$$P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad \text{.....(2.4)}$$

2.2.4.3 ความหนาของหัวหัวของถังความดันแบบ Ellipsoidal หรือความดันขณะทำงานสูงสุดที่ยอมรับได้จะต้องมีค่ามากกว่าที่คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad \text{.....(2.5)}$$

$$P = \frac{2SEt}{D - 0.2t} \quad \text{.....(2.6)}$$

โดยที่

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

E = Joint Efficiency

P = ความดันการออกแบบภายใน (design Pressure + Statie Head)

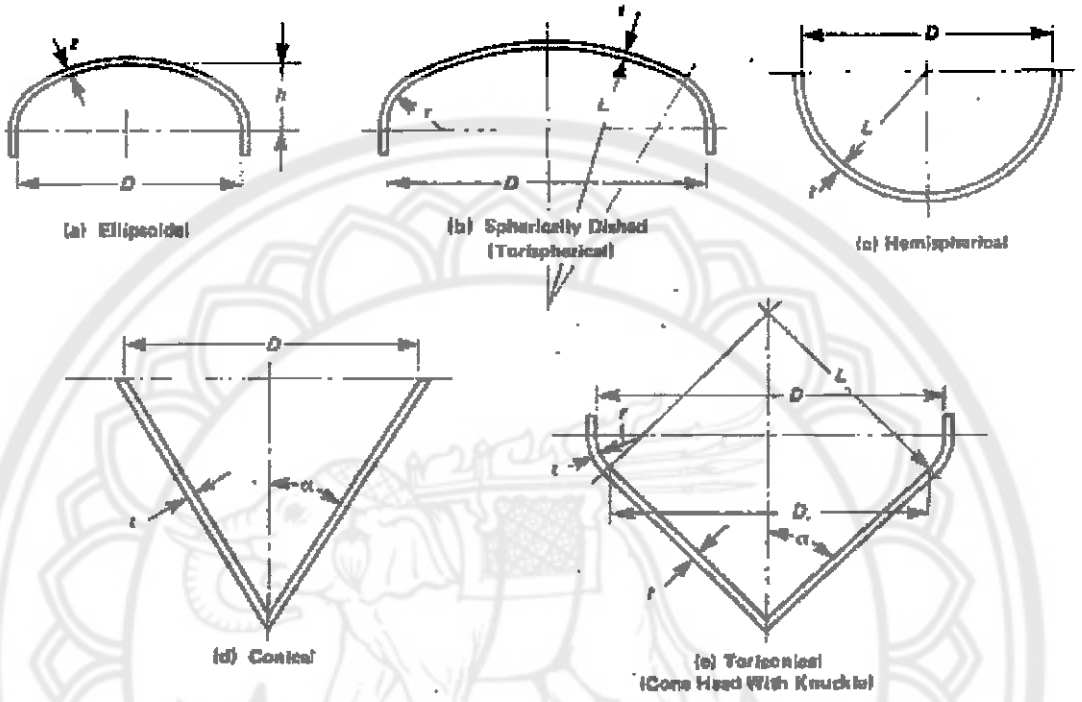
R = รัศมีภายในของถังความดัน (มิลลิเมตร)

S = ค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Allowable Stress Value)

t = ความหนาของผนังถังความดันน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (มิลลิเมตร)

2.2.5 การออกแบบส่วนหัวของถังความดันภายใต้แรงดันภายใน

(Formulas for the Design of Form Head under Internal Pressure)



รูปที่ 2.1 ขนาดที่ใช้อ้างอิงของหัวถังความดันแต่ละชนิด

(The American Society of Mechanical Engineers New York, 2003)

การออกแบบส่วนหัวของถังความดันแบบ วงรี (Ellipsoidal) เพื่อให้ทนต่อแรงดันภายในได้จะต้องเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$t = \frac{PDK}{2SE - 0.2P} \qquad \text{.....(2.7)}$$

หรือ

$$P = \frac{2SEt}{KD + 0.2t} \qquad \text{.....(2.8)}$$

$$t = \frac{PD_oK}{2SE + 2P(K - 0.1)} \qquad \text{.....(2.9)}$$

หรือ

$$P = \frac{2SEt}{KD_o - 2t(K - 0.1)} \quad \text{.....(2.10)}$$

$$K = \frac{1}{6}\left[2 + \left(\frac{D}{2h}\right)^2\right] \quad \text{.....(2.11)}$$

สัญลักษณ์

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังความดัน (มิลลิเมตร)

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของถังความดัน (มิลลิเมตร)

$D/2h$ = อัตราส่วนระหว่างแกนเอกและแกนโทของหัวถังความดันแบบวงรี (Ellipsoidal Head)

E = Joint Efficiency

K = สัมประสิทธิ์

P = ความดันการออกแบบภายใน (kPa)

r = รัศมีภายใน

S = ความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (kPa)

t = ความหนาของถังความดันที่น้อยที่สุดที่ต้องการ (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ (Factor) K

(The American Society of Mechanical Engineers New York, 2003)

D/2h	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
K	1.83	1.73	1.64	1.55	1.46	1.37	1.29	1.21	1.14	1.07	1.00
D/2h	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	...
K	0.93	0.87	0.81	0.76	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.50	...

2.2.6 รูเจาะและแผ่นเสริมแรง (Opening And Reinforcement)

2.2.6.1 การออกแบบรูเจาะในถังความดัน (Opening in Pressure Vessel)

2.2.6.1.1 **รูปร่างของรูเจาะในถังความดัน (Shape of Opening)** รูเจาะของผนังถังความดันทรงกระบอกหรือทรงกรวย รวมไปถึงส่วนหัวของถังความดัน จะทำการเจาะในรูปของวงกลม วงรี หรือ Obround โดยที่ถ้ารูเจาะแบบวงรีหรือแบบ Obround มีขนาดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวแกนที่ยาวที่สุดมากกว่าสองเท่าของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวแกนที่สั้นที่สุด ดังภาพที่ 2.5 จะต้องทำการเพิ่มขนาดของแผ่นเสริมแรงในแนวแกนด้านสั้นที่สุดเพื่อให้สามารถทนต่อแรงบิดที่เกิดขึ้นขณะใช้งาน

หากรูเจาะของถังความดันเป็นไปในลักษณะอื่นๆ นอกจากที่กล่าวมา จะต้องทำการลบมุมที่เกิดขึ้นให้เป็นส่วนโค้ง ทั้งนี้ความแข็งแรงของรูเจาะและผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อความแข็งแรงของถังความดันจะไม่สามารถคำนวณได้แน่นอน จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบด้วยน้ำ (Hydrostatic Test) ก่อนนำมาใช้งานจริง

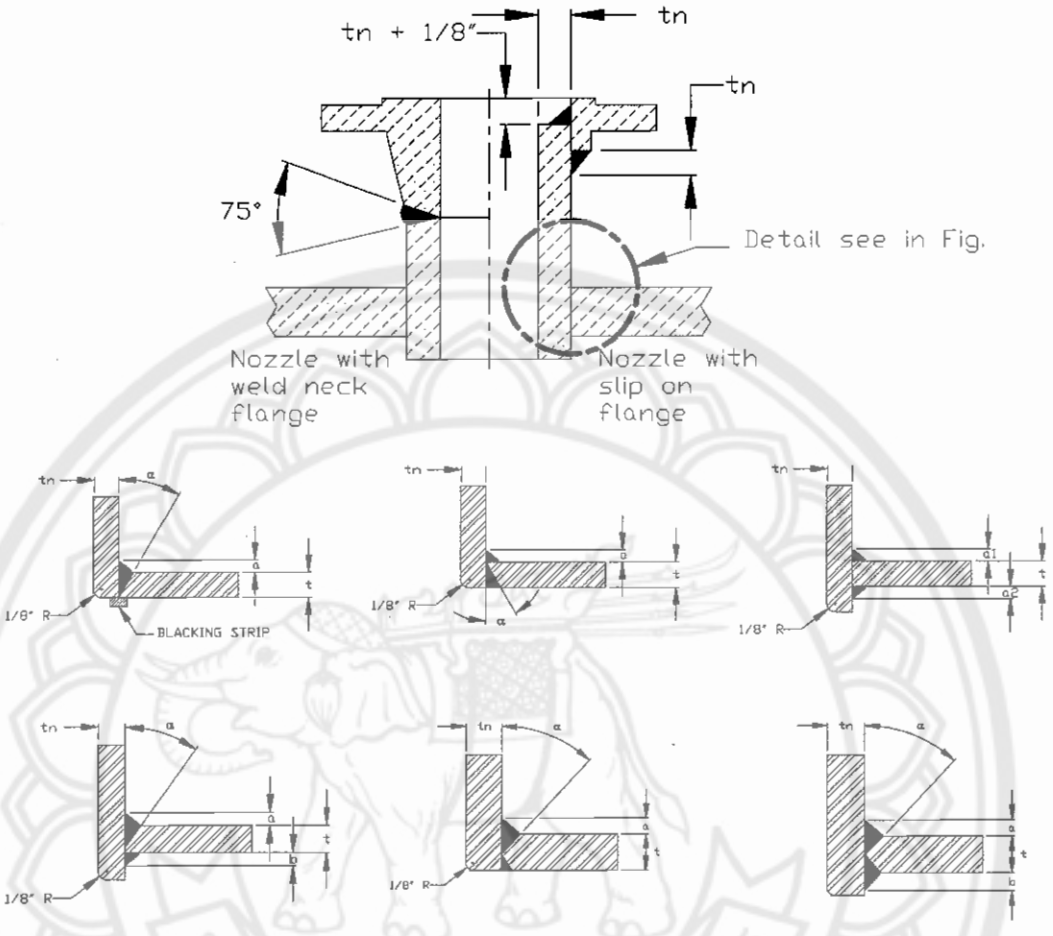
2.2.6.1.2 ขนาดของรูเจาะในถังความดัน (Size of Opening) การเจาะรูที่ผนังถังความดันจะไม่มีการจำกัดขนาดเว้นแต่ว่าจะเป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ ตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I Part UG-36 ถึง UG-43 ซึ่งจะคลอบคุมเฉพาะรูเจาะที่มีขนาดดังนี้

- สำหรับถังความดันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่เกิน 60 นิ้ว (1520 มิลลิเมตร) รูเจาะต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแต่ต้องไม่เกิน 20 นิ้ว (508 มิลลิเมตร)
- สำหรับถังความดันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากกว่า 60 นิ้ว (1520 มิลลิเมตร) รูเจาะต้องไม่เกินหนึ่งในสามของเส้นผ่านศูนย์กลาง แต่ไม่เกิน40 นิ้ว (1000 มิลลิเมตร)
- หากรูเจาะมีขนาดเกินกว่าที่กำหนดจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I Appendix 1-7

2.2.6.1.3 **การออกแบบความแข็งแรงของรูเจาะ (Strength and Design of Finish Opening)** รูเจาะที่ผนังถังความดันทรงกระบอกและทรงกรวย จะต้องมีการติดแผ่นแสริมแรงที่เหมาะสมตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineer STD (ASME) Section VIII Division I Part UG-37, Fig UG-40 และ รูปที่ 2.5 ในโครงงานฉบับนี้ รูเจาะที่ไม่ต้องรับภาระ

โดยตรงอาจไม่จำเป็นต้องติดแผ่นเสริมแรง ยกเว้นรูเจาะมีอุปกรณ์อื่นๆเชื่อมต่อโดยวิธีการดังต่อไปนี้

- การเชื่อมประสาน, เชื่อมด้วยทองเหลือง และการเชื่อมด้วยไฟ ซึ่งจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะไม่เกิน 3 ½ นิ้ว (89 มิลลิเมตร) เจาะผ่านผนังถังความดันที่มีความหนาที่ต้องการไม่เกิน 3/8 นิ้ว และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะไม่เกิน 2 3/8 นิ้ว (60 มิลลิเมตร) เจาะผ่านผนังที่มีความหนาที่ต้องการไม่เกิน 3/8 นิ้ว (10 มิลลิเมตร)
- Threaded, Studded, Expanded ซึ่งจะต้องเป็นรูเจาะที่ผนังถังความดันมีขนาดไม่เกิน 2 3/8 นิ้ว (60 มิลลิเมตร)



รูปที่ 2.2 รายละเอียดรูเจาะที่ไม่มีแผ่นเสริมแรง

รูเจาะที่ไม่มีการติดแผ่นเสริมแรง

จากรูปที่ 2.2 ขนาดรอยเชื่อมน้อยที่สุดที่ต้องการจะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (ใช้ค่าน้อยที่สุด)

a = t หรือ t_n หรือ 0.375 นิ้ว

$a_1 + a_2$ = 1 ¼ X ค่า a ที่น้อยที่สุดที่ได้

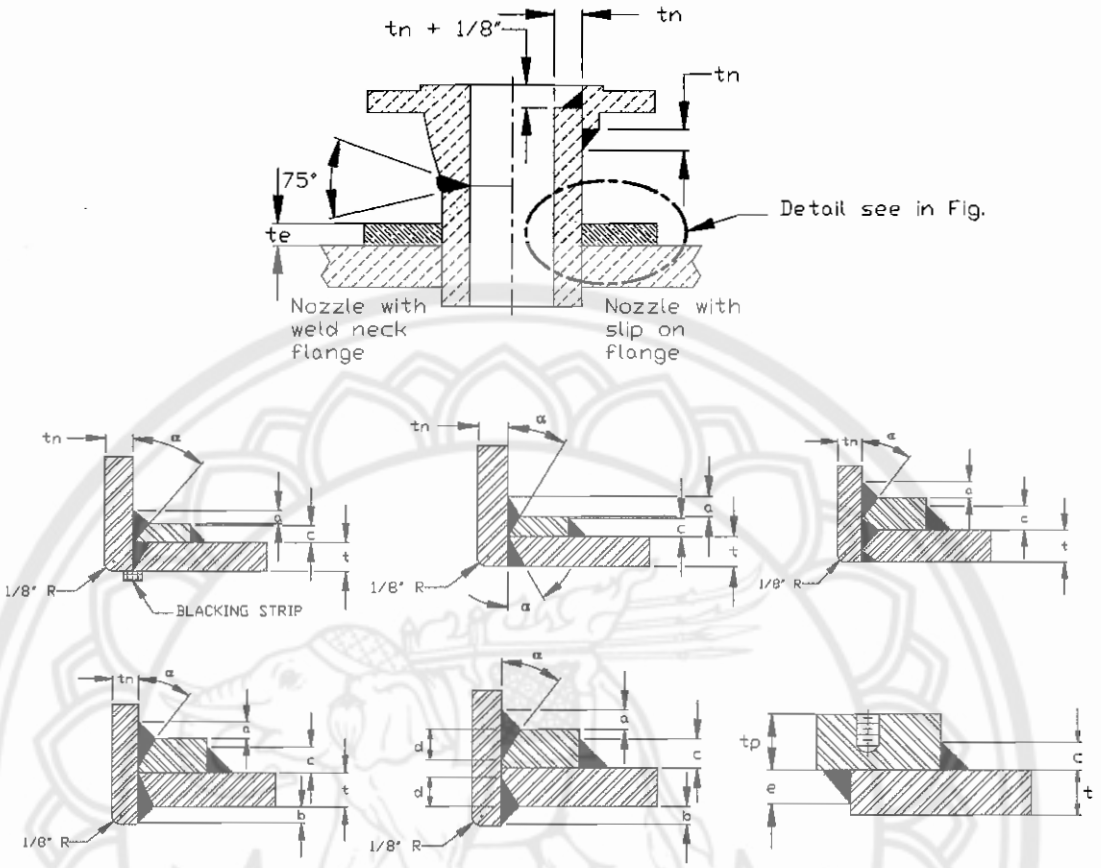
a_1 หรือ a_2 = ค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง t หรือ t_n หรือ 0.375 นิ้ว

b = ไม่มีการจำกัดขนาด

โดยที่ α = มุมบากก่อนทำการเชื่อมประสาน

t = ความหนาของผนังถังความดัน

t_n = ความหนาโดยทั่วไปของผนังหัวฉีด



รูปที่ 2.3 รายละเอียดรูเจาะที่มีแผ่นเสริมแรง

รูเจาะที่มีการติดแผ่นเสริมแรง

จากรูปที่ 2.3 ขนาดรอยเชื่อมน้อยที่สุดที่ต้องการจะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (ใช้ค่าน้อยที่สุด)

a = t_c หรือ t_n หรือ 0.375 นิ้ว

b = ไม่มีการจำกัดขนาด

c = 0.7t หรือ 0.7t_c หรือ 0.5 นิ้ว

d = 0.7t หรือ 0.7t_n หรือ 0.7t_c หรือ 0.75 นิ้ว

e = t หรือ t_p หรือ 1 นิ้ว

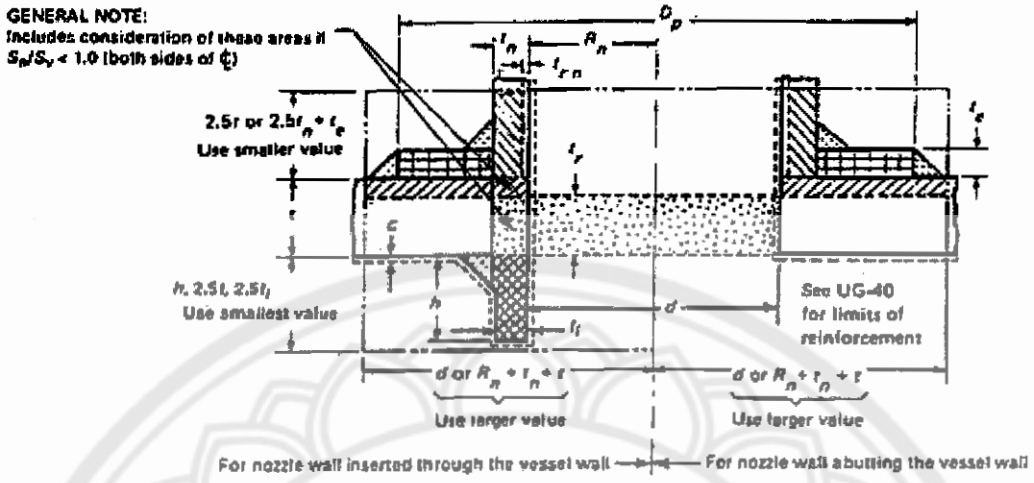
โดยที่ α = มุมบากก่อนทำการเชื่อมประสาน

t = ความหนาของผนังถังความดัน

t_c = ความหนาของแผ่นเสริมแรง

t_n = ความหนาโดยทั่วไปของผนังหัวฉีด

t_p = ความหนาของ flange แต่ละชนิด



รูปที่ 2.4 รูเจาะและขอบเขตการเสริมแรงของรูเจาะถังความดัน

(The American Society of Mechanical Engineers New York, 2003)

2.2.6.2 แผ่นเสริมแรงสำหรับรูเจาะที่ผนังและหัวของถังความดัน

การคำนวณความแข็งแรงของรูเจาะโดยไม่มีแผ่นเสริมแรงจากรูปที่ 2.4 จะสามารถคำนวณการเสริมแรงของหัวฉีดได้จากสมการต่อไปนี้

	A	$= dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$	
	A_1	$= d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$ $= 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$	ใช้ค่ามากที่สุด
	A_2	$= 5(t_n - t_m) f_{r2} t$ $= 5(t_n - t_m) f_{r2} t_n$	ใช้ค่าน้อยที่สุด
	A_3	$= 5tt_i f_{r2}$ $= 5t_i t_i f_{r2}$ $= 2ht_i f_{r2}$	ใช้ค่าน้อยที่สุด

	A_{41}	=outward nozzle weld = $(leg)^2 f_{r2}$	
	A_{43}	=inward nozzle weld = $(leg)^2 f_{r2}$	

ถ้า $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A$ รูเจาะไม่จำเป็นต้องมีแผ่นเสริมแรง

ถ้า $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} < A$ รูเจาะจำเป็นต้องมีแผ่นเสริมแรง

การคำนวณความแข็งแรงของรูเจาะโดยมีแผ่นเสริมแรง

การคำนวณความแข็งแรงของรูเจาะโดยมีแผ่นเสริมแรงจากรูปที่ 2.4 จะสามารถคำนวณการเสริมแรงของหัวฉีดได้จากสมการต่อไปนี้

	A	$= dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$	
	A_1	$= d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$ $= 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$	ใช้ค่ามากที่สุด
	A_2	$= 5(t_n - t_m) f_{r2} t$ $= 2(t_n - t_m)(2.5t_n + t_e) f_{r2}$	ใช้ค่าน้อยที่สุด
	A_3	$= 5tt_i f_{r2}$ $= 5t_i t_i f_{r2}$ $= 2ht_i f_{r2}$	ใช้ค่าน้อยที่สุด

	A_{41}	= outward nozzle weld = $(leg)^2 f_{r3}$	
	A_{42}	= outer element weld = $(leg)^2 f_{r4}$	
	A_{43}	= inward nozzle weld = $(leg)^2 f_{r2}$	
	A_5	$= (D_p - d - 2t_n) t_e f_{r4}$	

ถ้า $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + A_5 \geq A$ รูเจาะจะมีความแข็งแรงพอ

สัญลักษณ์

A = พื้นที่ภาพตัดขวางของแผ่นเสริมแรงรวมทั้งหมดที่ต้องการสำหรับรูเจาะที่ผนังหรือหัวของถังความดันที่น้อยที่สุด

A_1 = พื้นที่ภาพตัดขวางของผนังถังความดันที่มีผลต่อการเสริมแรง

A_2 = พื้นที่ภาพตัดขวางของหัวฉีดที่มีผลต่อการเสริมแรง

A_3 = พื้นที่ภาพตัดขวางของหัวฉีดที่ยื่นเข้าไปภายในถังความดันซึ่งมีผลต่อการเสริมแรง

A_{41}, A_{42}, A_{43} = พื้นที่ภาพตัดขวางรวมของรอยเชื่อมที่ต้องการสำหรับรูเจาะของถังความดัน

A_5 = พื้นที่ภาพตัดขวางของแผ่นเสริมแรงที่ต้องการสำหรับรูเจาะของถังความดัน

C = ค่าการกัดกร่อนที่ยอมรับได้

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังความดัน

D_p = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของแผ่นเสริมแรง

d = เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะของถังความดัน

E = Joint Efficiency

F = Corrosion factor มีค่าเท่ากับ 1

S = ค่าความเค้นที่ยอมรับได้ (Maximum Allowable Stress)

S_n = ความเค้นของผนังหัวฉีด

S_v = ความเค้นของผนังถังความดัน

S_p = ความเค้นของแผ่นเสริมแรง

F_r = Strength reduction factor จะต้องไม่มากกว่า 1

t = ความหนาของผนังถังความดันไม่รวมค่าการกัดกร่อนที่ยอมรับได้

t_e = ความหนาของแผ่นเสริมแรง

t_i = ความหนาของผนังหัวฉีดที่ยื่นเข้าไปในถังความดัน

t_r = ความหนาโดยทั่วไปของผนังหัวฉีดหลังการขึ้นรูปแล้ว

t_n = ความหนาโดยทั่วไปของผนังหัวฉีด

t_m = ความหนาของหัวฉีดไรตะเข็บหลังจากขึ้นรูปแล้ว

สำหรับแรงดันภายใน พื้นที่รวมภาพตัดขวางของแผ่นเสริมแรงที่ต้องการใช้ในการเสริมแรงของผนังถังความดันหรือหัวถังความดันที่มีการเจาะรู ภายใต้แรงกระทำภายในจะต้องมีพื้นที่รวมไม่น้อยกว่า

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1}) \quad \text{.....(2.12)}$$

สำหรับแรงดันภายนอก ความต้องการของแผ่นเสริมแรงของรูเจาะผนังถังความดันจะต้องการพื้นที่แค่ ร้อยละ 50 ของพื้นที่ที่ต้องการสำหรับแรงดันภายใน โดยพิจารณาความหนาของถังความดันที่สามารถทนต่อ แรงดันภายนอกได้ และค่าสัมประสิทธิ์ F จะต้องมีค่าเป็น 1

2.2.6.3 Limits of reinforcement

วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นเสริมแรงจะต้องมีขนาดและตำแหน่งการติดตั้งเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ขอบเขตในการวัดแผ่นเสริมแรงขนานกับผนังถังความดันจะต้องใช้ค่ามากที่สุดที่คำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$X = d \quad \text{.....(2.13)}$$

หรือ

$$X = R_n + t_n + t \quad \text{.....(2.14)}$$

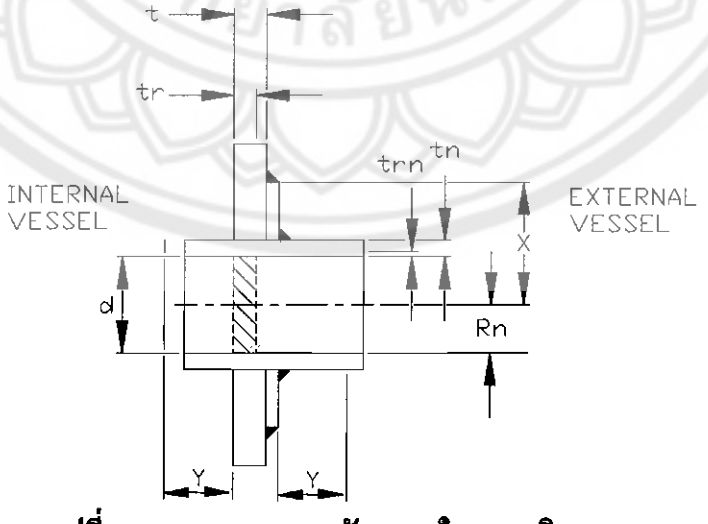
ขอบเขตในการวัดขนาดขนานกับผนังหัวฉีดจะต้องใช้ค่าน้อยที่สุดที่คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Y = 2.5t \quad \text{.....(2.15)}$$

หรือ

$$Y = 2.5t_n \quad \text{.....(2.16)}$$

เมื่อแผ่นเสริมแรงถูกนำมาใช้กับรูเจาะของถังความดันการวัดระยะ Y ที่อยู่ภายนอกถังความดันจะต้องวัดจากผิวด้านนอกของแผ่นเสริมแรง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ขอบเขตของการวัดขนาดในการเสริมแรงรูเจาะ

สัญลักษณ์

d = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวฉีด

R_n = รัศมีของหัวฉีด

t = ความหนาของผนังถังความดัน

t_r = ความหนาของพื้นที่ภาพตัดขวาง ที่ต้องการการเสริมแรงของรูเจาะ

t_n = ความหนาโดยทั่วไปของผนังหัวฉีดหลังการขึ้นรูปแล้ว

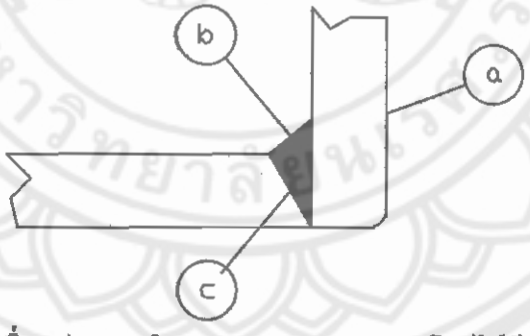
t_m = ความหนาของหัวฉีดไรตะเข็บหลังจากขึ้นรูปแล้ว

X = ขอบเขตการวัดขนาดขนานกับผนังถังความดันเพื่อเสริมแรง

Y = ขอบเขตการวัดขนาดขนานกับผนังหัวฉีดเพื่อเสริมแรง

2.2.6.4 ความแข็งแรงของการเสริมแรง

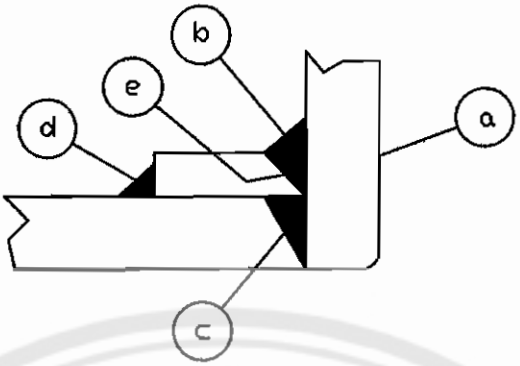
ในกรณีที่ความแข็งแรงของวัสดุในพื้นที่ A1, A2, A3, A4 และ A5 หรือวัสดุที่นำมาทำแผ่นเสริมแรง มีความแข็งแรงน้อยกว่าวัสดุที่ใช้ทำผนังถังความดัน จะต้องลดอัตราส่วนพื้นที่ A และจะต้องทำการเพิ่มสัดส่วนของพื้นที่ในการเสริมแรงอื่นๆ A1, A2, A3, A4 และ A5 ความแข็งแรงของรอยเชื่อมจะต้องเท่ากับความแข็งแรงที่น้อยที่สุดระหว่างวัสดุที่ถูกเชื่อม



รูปที่ 2.6 การเชื่อมประสานในรูเจาะของถังความดันโดยไม่มีแผ่นเสริมแรง

จากรูปที่ 2.6 ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นจะสามารถเกินขึ้นได้บริเวณต่อไปนี้

- **บริเวณรอยเชื่อม a และ b**
- **บริเวณรอบเชื่อม a และ c**



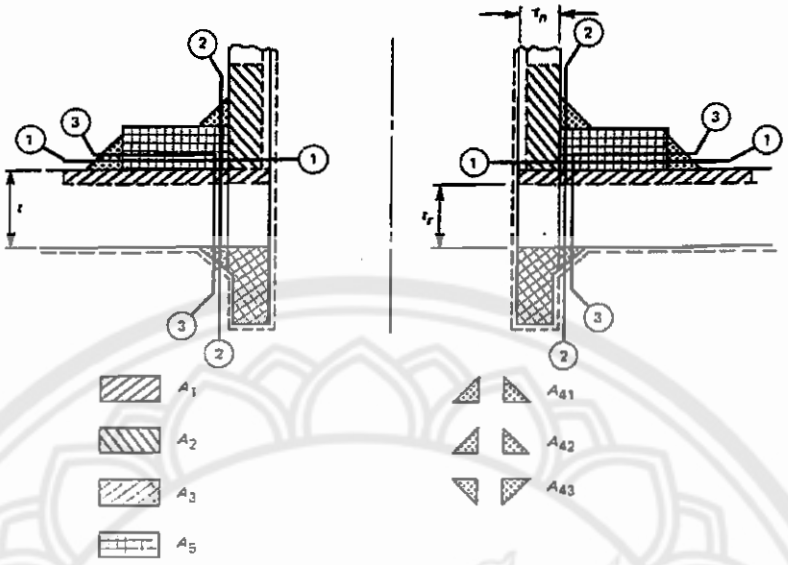
รูปที่ 2.7 การเชื่อมประสานในรูเจาะของถังความดันโดยมีแผ่นเสริมแรง

จากรูปที่ 2.7 ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นจะสามารถเกินขึ้นได้บริเวณต่อไปนี้

- บริเวณรอยเชื่อม a และ d
- บริเวณรอยเชื่อม b, c และ e
- บริเวณรอยเชื่อม c และ d

ความแข็งแรงของรอยเชื่อมประสานระหว่างวัตถุสองชิ้น ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 ความแข็งแรงของรอยเชื่อมจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่น้อยที่สุดที่หาได้จากหัวข้อต่อไปนี้

- ความแข็งแรงในการต้านทานแรงดึงในพื้นที่ภาพตัดขวางของรอยเชื่อม จะสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 พื้นที่ภาพตัดขวางเพื่อหาความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่หัวฉีดสอดทะลุรูเจาะเข้าไปในถังความดัน (The American Society of Mechanical Engineers New York, 2003)

จากรูปที่ 2.8 ภาระในรอยเชื่อมทั้งหมด (W)

$$W = \left(A - A_1 + 2t_n f_{r1}\left(E_1 t - Ft_r\right)\right)S_v \quad \text{.....(2.17)}$$

จากรูปที่ 2.8 ภาระในรอยเชื่อมในพื้นที่หน้าตัด 1 –1

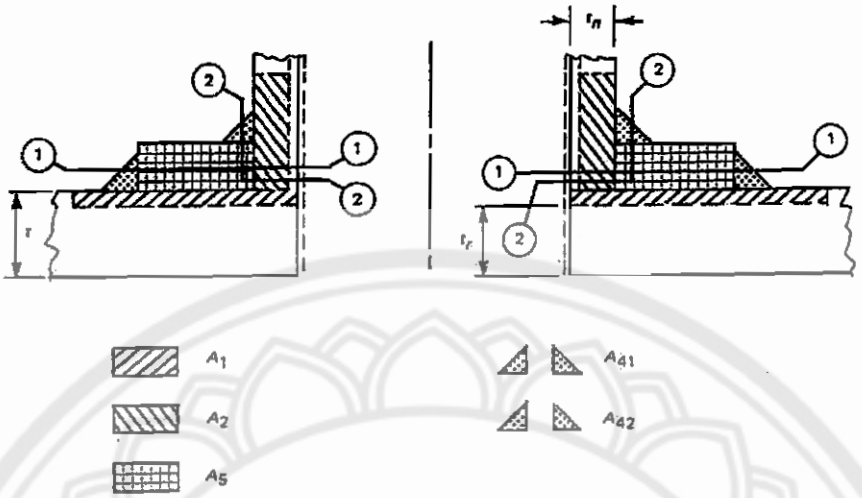
$$W_{1\text{–}1} = \left(A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}\right)S_v \quad \text{.....(2.18)}$$

จากรูปที่ 2.8 ภาระในรอยเชื่อมในพื้นที่หน้าตัด 2 – 2

$$W_{2\text{–}2} = \left(A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t f_{r1}\right)S_v \quad \text{.....(2.19)}$$

จากรูปที่ 2.8 ภาระในรอยเชื่อมในพื้นที่หน้าตัด 3 – 3

$$W_{3\text{–}3} = \left(A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n t f_{r1}\right)S_v \quad \text{.....(2.20)}$$



รูปที่ 2.9 พื้นที่ภาพตัดขวางเพื่อหาความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่หัวฉีดวางอยู่บนผนังหรือหัวฉีดของถังความดัน (The American Society of Mechanical Engineers New York, 2003)

จากรูปที่ 2.9 ภาระในรอยเชื่อมทั้งหมด (W)

$$W = (A - A_1)S_v \quad \text{.....(2.21)}$$

จากรูปที่ 2.9 ภาระในรอยเชื่อมในพื้นที่หน้าตัด 1 –1

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42})S_v \quad \text{.....(2.22)}$$

จากรูปที่ 2.9 ภาระในรอยเชื่อมในพื้นที่หน้าตัด 2 – 2

$$W_{2-2} = (A_2 + A_{41})S_v \quad \text{.....(2.23)}$$

สัญลักษณ์

$A, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ = พื้นที่ที่ต้องการสำหรับการเสริมแรงสามารถหาได้จากหัวข้อที่ (2.2.6.2) แผ่นเสริมแรงของรูเจาะที่ผนังและหัวของถังความดัน

A_{41}, A_{42}, A_{43} = พื้นที่รอยเชื่อมที่ต้องการสำหรับรูเจาของถังความดันสามารหาได้จากหัวข้อที่ (2.2.6.2) แผ่นเสริมแรงของรูเจาะที่ผนังและหัวของถังความดัน

E_1 = Joint Efficiency

t_n = ความหนาโดยทั่วไปของผนังหัวฉีดหลังการขึ้นรูปแล้ว

t_r = ความหนาของพื้นที่ภาพตัดขวาง ที่ต้องการการเสริมแรงของรูเจาะ

S_y = ความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ของวัสดุที่ใช้ทำถังความดัน

- ความแข็งแรงในการต้านทานแรงดึงของพื้นที่หน้าตัดในส่วนย่อยต่างๆบริเวณรูเจาะสามารถหาได้จากหัวข้อที่(2.2.7.2) แผ่นเสริมแรงของรูเจาะที่ผนังและหัวของถังความดัน

- ความเค้นที่ยอมรับได้ในรอยเชื่อมจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความเค้นที่ยอมรับได้น้อยที่สุดของวัสดุที่นำมาเชื่อมติดกันด้วยการเชื่อมประสาน ซึ่งจะหาได้จากสัมประสิทธิ์ดังต่อไปนี้

Groove-weld tension	74%
Groove-weld shear	60%
Fillet-weld shear	49%

ค่าความเค้นเฉือนที่ยอมรับได้ของหัวฉีดจะต้องมีค่าประมาณ ร้อยละ 70 ของความเค้นที่ยอมรับได้ของวัสดุที่นำมาทำหัวฉีด

2.2.7 ความหนาของผนังหัวฉีด (Nozzle neck thickness)

การออกแบบหัวฉีดจะต้องออกแบบให้มีความหนาของหัวฉีดไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ตาม ข้อ 2.2.8.1 และข้อ 2.2.8.2 ด้านล้างนี้ ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นจะต้องไม่มากกว่าค่าที่คำนวณได้ตาม ข้อ 2.2.8.3 ด้านล่างนี้

1. ความหนาของหัวฉีดจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากภาระที่เกิดขึ้นในการใช้งานจริง เช่น แรงดันภายใน แรงดันภายนอก ท่อที่จะนำมาต่อ แรงลม เป็นต้น ซึ่งจะต้องรวมค่าการกัดกร่อนที่ยอมรับได้ด้วย

2. ความหนาของผนังหัวฉีดจะต้อง ไม่น้อยกว่าค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

a. สำหรับผนังหัวฉีดภายใต้แรงดันภายในอย่างเดียวความหนาของผนังหัวฉีดจะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะทนต่อแรงดันภายใน

$$t_m = \frac{PR_n}{(SE - 0.6P)} + CA \qquad \text{.....(2.24)}$$

$$R_n = \frac{ID_{(Nozzle+CA)}}{2} \qquad \text{.....(2.25)}$$

b. สำหรับผนังหัวฉีดภายใต้แรงดันภายนอกอย่างเดียวความหนาของผนังหัวฉีดจะต้องสามารถทนต่อแรงดันภายนอกที่มากกระทำได้ ความหนาของผนังหัวฉีดสามารถหาค่าได้จากมาตรฐาน ANSI / ASME B.36.10M ซึ่งจะต้องรวมค่ามากกัดกร่อนที่ยอมรับได้ด้วย

3. ค่าความเค้นเฉือนที่ยอมรับได้ในหัวฉีดจะต้องมีค่าประมาณ ร้อยละ 70 ของค่าความเค้นที่ยอมรับได้ของวัสดุนั้นๆ

ฟ
TS
283
นาคก
2548.
i. 38591397
สำนักหอสมุด
17 มี.ค. 2551

2.2.8 การทดสอบและการตรวจสอบถังความดัน

การทดสอบถังความดันหลังจากการสร้าง ก่อนนำไปใช้งานจริงจะต้องมีการทดสอบความแข็งแรงเบื้องต้นรวมไปถึงทดสอบรอยเชื่อม และ ประเกน การทดสอบถังความดันที่ใช้กันอยู่ โดยทั่วไปมีสองวิธีคือ

1. **การทดสอบถังความดันด้วยน้ำ (Hydro Static Test)** จะทำการทดสอบหลังจากขึ้นรูปถังความดันเรียบร้อยมีการเชื่อมประสานเสร็จสมบูรณ์ ทำความสะอาดรอยเชื่อมและตัวถังความดันทุกส่วนเรียบร้อยแล้ว โดยการทดสอบถังความดันจะเป็นการทดสอบแรงดันภายในทุกๆจุด ซึ่งแรงดันที่เกิดขึ้นจะมีค่าประมาณ 1.3 เท่าของค่า Maximum allowable working pressure คูณกับอัตราส่วนระหว่างความเค้นที่อุณหภูมิขณะทดสอบของวัสดุที่นำมาทำถังความดันกับความเค้นที่อุณหภูมิการออกแบบของวัสดุที่นำมาทำถังความดัน

$$Hydrostatic\ test = 1.3 \times MAWP \times \frac{S_t}{S_d} \quad \text{.....(2.26)}$$

โดยที่ S_t = ความเค้นของวัสดุถังความดันที่อุณหภูมิทดสอบ

S_d = ความเค้นของวัสดุถังความดันที่อุณหภูมิออกแบบ

แต่ในบางกรณีความดันในการทดสอบด้วยน้ำอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ซื้อ

2. **การทดสอบด้วยลม (Pneumatic Test)** การทดสอบด้วยลมจะกระทำก็ต่อเมื่อถังความดันไม่สามารถทำการเติมน้ำหรือของเหลวลงไปได้ เนื่องจากอาจจะเกิดปฏิกิริยากับสารทำงานขณะทำงานจริงหลังการทดสอบ ทั้งนี้การทดสอบด้วยลมก็เป็นการทดสอบรอยเชื่อมของถังความดันเช่นกัน แต่มีความอันตรายกว่าการทดสอบด้วยน้ำ การทดสอบด้วยลมเป็นการทดสอบที่ความดันมากกว่า Maximum Allowable Working Pressure ของการออกแบบถังความดันนั้นๆ โดยจะทำการทดสอบที่ความดันประมาณ 1.1 เท่าของ Maximum Allowable Working Pressure คูณด้วยอัตราส่วนระหว่าง ความเค้นที่อุณหภูมิขณะทดสอบของวัสดุที่นำมาทำถังความดันกับความเค้นที่อุณหภูมิการออกแบบของวัสดุที่นำมาทำถังความดัน และจะไม่ทำการทดสอบด้วยลมที่ความดันเกินกว่านี้

การทดสอบด้วยลมเป็นการทดสอบโดยการอัดอากาศหรือสารใดๆในสถานะของก๊าซ เข้าไปในถังความดันและทำการเพิ่มความดันขึ้นเรื่อยๆตามลำดับจนกว่าจะถึงความดันทดสอบที่ต้องการ