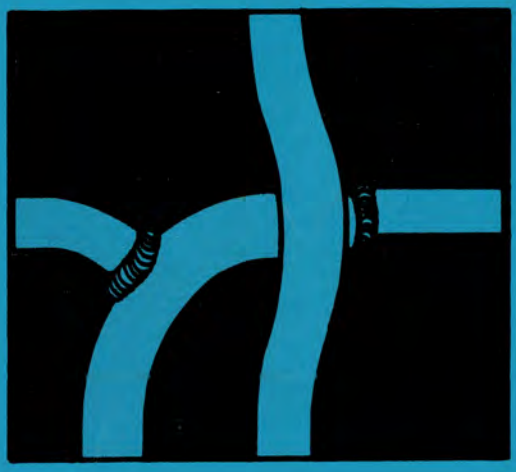
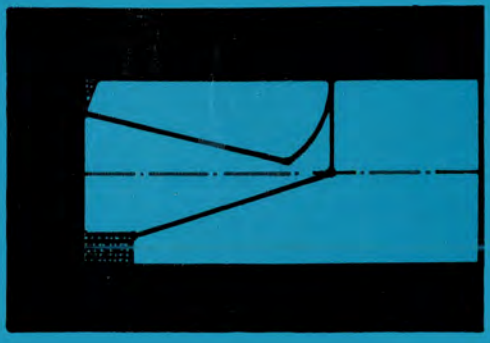
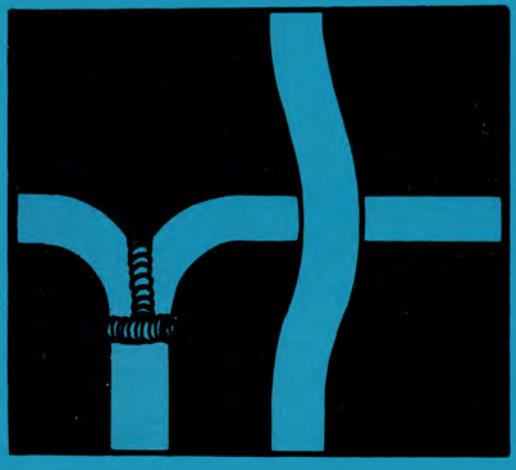
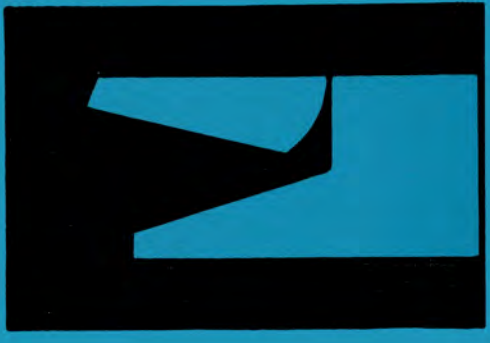
เทคนิค
งานดัดท่อ และประกอบขึ้นรูปท่อ

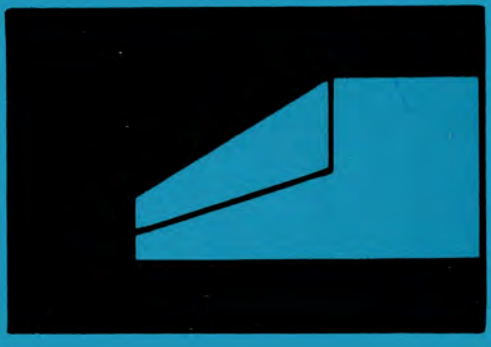
ผศ.สมสันติ์ อุตกฤษฏ์











สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
วิทยาเขตพระนครเหนือ

เทคนิคงานตัดท่อ
และประกอบขึ้นรูปท่อ

ศาสตราจารย์บุญญศักดิ์ ใจงภักดิ์
ประธานโครงการตำราช่าง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ชื่อหนังสือ เทคนิคงานดัดท่อ และประกอบขึ้นรูปท่อ

ชื่อผู้แต่ง ผศ.สบสันต์ อุตกฤษฏ์

เทคนิคงานตัดท่อ และประกอบขึ้นรูปท่อ

เรียบเรียงโดย
ผศ.สมสันต์ อุตกฤษฏ์

จัดพิมพ์โดย
สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
วิทยาเขตพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ ดุสิต กรุงเทพมหานคร
โทร 585 8540-9

สงวนลิขสิทธิ์

โดย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ห้ามมิให้ผู้ใด คัดลอก ถ่ายรูป พิมพ์ หรือ อัดโรเนียวหนังสือทั้งเล่ม หรือส่วนหนึ่งส่วนใด ของหนังสือเล่มนี้ เว้นแต่จะได้ตกลงและได้รับความยินยอมจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าก่อน

สบสันต์ อุตกฤษฎ์.

เทคนิคงานดัดท่อและประกอบขึ้นรูปท่อ.

1. ท่อ. 2. ชื่อเรื่อง.

TA 492.P6 ส3 696.2

ISBN 974-620-066-6

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 5 000 เล่ม

คำนำ

หนังสือเล่มนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สบสันต์ อุตกฤษฎ์ ได้เรียบเรียงเขียนขึ้นให้เป็นเรื่องเทคนิคที่เกี่ยวกับ งานตัดท่อ งานประกอบขึ้นรูปข้นท่อและข้นต่อท่อต่าง ๆ โดยให้ทฤษฎี ข้อคิดและข้อแนะนำต่าง ๆ ไว้มากหลาย ให้สามารถทำได้รวดเร็ว ประหยัดเวลา ประหยัดวัสดุและพลังงานเป็นอันมาก หนังสือลักษณะนี้เขียนได้ยาก และหาต้นฉบับนำเขียนได้ยากมากด้วย นับเป็นความอุตสาหะของผู้เขียนอย่างแท้จริง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ มีความยินดีเสนอหนังสือช่างที่มากไปด้วยหลักปฏิบัติ และทฤษฎีประยุกต์แก่คลาดวิชาช่างไทยอีกเล่มหนึ่ง คือเล่มนี้ สถาบันขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สบสันต์ อุตกฤษฎ์ ไว้ ณ ที่นี้ เพราะหนังสือประเภทนี้เป็นหนังสือที่สถาบันต้องการสนับสนุนให้มีเกิดขึ้นมาก ๆ เป็นการช่วยยกระดับชีดความสามารถของช่างไทยด้วยทางหนึ่ง การที่เนื้อหาในหนังสือเล่มใดไม่เคยมีสั่งให้สอนในหลักสูตรใด ไม่หมายความว่าหนังสือนอกหลักสูตรเล่มนั้นเป็นเพียงหนังสืออ้างอิง ในบางกรณีเป็นเพราะผู้เขียนหลักสูตรยังไม่เข้าถึงหัวใจของช่างนั้น ๆ ต่างหาก จึงทำให้มองไม่เห็นว่าต้องให้สอนวิชานั้น ๆ ให้ลึกซึ้งอย่างนี้ ๆ เสียเฉย ๆ และในบางกรณีก็เป็นเพราะเวลากับระดับที่จะสอนยังมีอุปสรรคของระบบเบียดบังอยู่

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

วิทยาเขตพระนครเหนือ

1 เมษายน 2526

คำชี้แจง

ลักษณะงานในสาขาวิชาชีพช่างท่ออุตสาหกรรมสามารถจำแนกได้หลายลักษณะ งานดัดท่อและประกอบขึ้นรูปท่อนับเป็นงานลักษณะหนึ่งที่มีความสำคัญ และมีบทบาทไม่น้อย หนังสือเล่มนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นหนังสืองานดัดท่อและประกอบขึ้นรูปท่อเล่มแรกที่จัดพิมพ์ขึ้นเป็นภาษาไทย ดังนั้นจึงอาจขาดความสมบูรณ์ไปบ้าง แต่อย่างน้อยที่สุดผู้เรียบเรียงเองมีความมั่นใจว่า หนังสือเล่มนี้ได้ครอบคลุมสาระสำคัญ ๆ ของงานทั้งสองลักษณะ คืองานดัดท่อและงานประกอบขึ้นรูปท่อ โดยเน้นทฤษฎีที่จำเป็นและเทคนิคต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติได้จริงไว้แล้ว

นอกเหนือจากจะใช้เป็นหนังสือประกอบการเรียนการสอนในระดับ ป.วช. ป.วส. ผู้เรียบเรียงยังมีเจตนาที่จะให้เป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจที่มีความรู้พื้นฐานทางเทคนิคที่จะศึกษาด้วยตนเองได้อีกด้วย จึงได้พยายามเรียบเรียงหัวข้อจากง่ายไปยากตามลำดับ และใช้ถ้อยคำในลักษณะที่ง่ายต่อการเข้าใจให้มากที่สุด

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์บุญยัง ภักดี ใจจงกิจ อธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนตลอดจนให้ข้อมูลและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการเรียบเรียงและจัดพิมพ์หนังสือเล่มนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมสันติ์ อุตกฤษฎ์

มีนาคม 2526

คำชี้แจงในการจัดพิมพ์เผยแพร่ผ่านระบบ Internet

หนังสือ “เทคนิคงานดัดท่อและประกอบขึ้นรูปท่อ” เล่มนี้ โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ (สจพ.) ได้จัดพิมพ์เผยแพร่เป็นครั้งแรก จำนวน 5,000 เล่ม เมื่อวันที่ 1 เมษายน 2526 ซึ่งหนังสือได้หมด Stock ไปนานแล้ว ในโอกาสครบรอบ 55 ปี แห่งการจัดตั้งคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) เพื่อเป็นการให้บริการวิชาการแก่สังคม รวมทั้งเพื่อตอบรับข้อเรียกร้องที่ให้จัดพิมพ์เผยแพร่หนังสือดังกล่าวอีกครั้งหนึ่ง คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงได้นำหนังสือเล่มนี้มาผ่านกระบวนการ Scan และนำเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของคณะ (http://fte.kmutnb.ac.th) เพื่อให้ผู้สนใจสามารถ Download นำไปใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายแต่อย่างใด แม้ว่าหนังสือเล่มนี้จะมีอายุมากกว่า 40 ปี แต่หลักปฏิบัติ และทฤษฎีงานวิชาชีพ ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับเทคโนโลยีในปัจจุบัน ส่วนที่อาจเป็นปัญหาอยู่บ้างได้แก่ ต้นฉบับหนังสือที่นำมา Scan ในครั้งนี้กระดาษค่อนข้างเก่า ดังนั้นความชัดเจนของตัวหนังสือและภาพบางส่วน อาจเลือนรางไปบ้าง

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.จรัญ แสนราช อดีตรองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะครศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. และทีมงาน ที่ได้ใช้เทคโนโลยีดำเนินการในลักษณะนี้มาแล้ว 2 เล่ม คือ “การฝึกอาชีพช่างเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : การสอน หลักสูตร การวางแผน”(http://fte.kmutnb.ac.th/wp-content/uploads/2021/km/bb-c-km-fte.pdf) และ “เงื่อนไขการเรียนรู้สำหรับครูช่างอุตสาหกรรม” (http://fte.kmutnb.ac.th/wp-content/uploads/2021/km/bb-c-km-fte.pdf) รวมทั้งเล่มนี้ซึ่งเป็นเล่มที่ 3 ดังที่ท่านได้รับชมอยู่ในขณะนี้ครับ

รองศาสตราจารย์ ดร.สบสันติ์ อุตกฤษฎ์

ผู้เรียบเรียง, สิงหาคม 2566

สารบัญ

1. ท่อและข้อต่อท่อ

1.1 คุณลักษณะของท่อ 1

1.2 ข้อต่อท่อ 3

2. งานดัดท่อ

2.1 คุณลักษณะงานดัดท่อ 4

2.2 การเตรียมงานดัดท่อ 6

2.3 เทคนิคงานดัดท่อ 7

2.4 งานดัดท่อมุม 90 องศา 13

2.5 งานดัดท่อมุม 45 องศา 17

2.6 งานดัดท่อมุม 180 องศา 19

2.7 งานดัดท่อมุม 360 องศา 22

2.8 งานดัดท่อมุมอื่น ๆ 23

2.9 งานดัดท่อโค้งแบบปลายมีเกลียว 29

2.10 งานดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์ 31

2.11 งานดัดท่อโค้งสำหรับท่อขนานกันหลายเส้น 35

2.12 งานดัดท่อโค้งข้ามท่อ 42

2.13 งานดัดท่อแบบจีบ 53

2.14 งานดัดข้อต่อขยายท่อแบบจีบ (รูปพิณ) 58

2.15 งานดัดท่อโดยใช้แบบ 65

2.16 งานดัดข้อต่อท่อเกจวัดความดัน 67

2.17 งานดัดท่อโดยไม่บรรจุทราย 72

2.18 แบบฝึกหัดงานดัดท่อ 74

3. งานประกอบขึ้นรูปท่อ

3.1 คุณลักษณะงานขึ้นรูปท่อ 78

3.2 งานขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์ 78

3.3 งานขึ้นรูปข้อลดขนาดท่อ 83

3.4 งานเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ 96

3.5 งานเคาะขึ้นรูปแผ่นปิดปลายท่อรูปกะทะ 101

3.6 งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉาก 104

3.7 งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉาก 112

3.8 งานขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที 121

3.9 งานขึ้นรูปกรวย 128

3.10 งานขึ้นรูปท่อหัวจ่าย 133

3.11 แบบฝึกหัดงานดัดท่อและประกอบขึ้นรูปท่อ 137

4. ตัวอย่างแบบฝึกหัดงานดัดท่อและประกอบขึ้นรูปท่อ 140

5. ตารางท่อ 149

6. เฉลยแบบฝึกหัด 2.18 161

7. เฉลยแบบฝึกหัด 3.11 170

8. หนังสืออ้างอิง 179

9. อภิธานศัพท์ 180

๑. ท่อและข้อต่อท่อ

1.1 คุณลักษณะของท่อ

ท่อที่ใช้กันทั่วไปมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็ก 1/8 นิ้ว ไปจนถึงขนาด 30 นิ้วหรือโตกว่า ท่อขนาดเดียวกัน ก็ยังมีความหนาแตกต่างกันและทำจากวัสดุต่าง ๆ กันอีกด้วย เช่น ท่อเหล็กเหนียว ท่อเหล็กหล่อ ท่อทองแดง ท่อพลาสติค ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้เหมาะกับงาน ในหัวข้อนี้จะบรรยายเฉพาะท่อที่ทำจากเหล็กเหนียวเท่านั้น

ท่อที่มีขนาดความโตตั้งแต่ 1/8 นิ้ว ไปจนถึงขนาด 12 นิ้ว จะบอกความโตเป็นขนาดระบุ (Nominal size) ขนาดที่แท้จริงของท่อจะโตกว่าขนาดระบุเล็กน้อย เช่น ท่อ 1 นิ้ว จะวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (OD) ได้ 1.315 นิ้ว ดังนั้นขนาดท่อที่ใช้เรียกกันทั่วไป สำหรับท่อขนาด 1/8 – 12 นิ้ว จึงเป็นเพียงขนาดระบุไม่ใช่ขนาดที่แท้จริง

ท่อขนาดระบุขนาดใดขนาดหนึ่งจะมีทั้งท่อหนา ท่อบาง ลดหลั่นกันตาม Schedule number ของท่อขนาดนั้น ๆ ซึ่งมีตั้งแต่ 10 – 20 – 30 – 40 – 60 – 80 – 100 – 120 – 140 และ 160 ท่อ Schedule number 10 จะบางที่สุดและท่อ Schedule number 160 จะหนาที่สุด ท่อขนาดเล็ก ๆ จะมีเพียง 2 – 3 Schedule number เท่านั้น (ตารางที่ 1) ความหนาของท่อนอกจากกำหนดเป็น Schedule number ดังกล่าวแล้ว ยังกำหนดได้เป็น 3 ขนาด คือ ขนาดมาตรฐาน (Standard wall-Std.) ขนาดหนา (Extra strong wall-XS) และขนาดหนาพิเศษ (Double Extra strong wall-XXS) แต่ไม่ว่าจะเป็นท่อหนาหรือบางอย่างใดก็ตาม ท่อซึ่งมีขนาดระบุเดียวกัน จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (OD) เท่ากันทั้งหมด ต่างกันเฉพาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ID) เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกในการใช้งานต่อท่อ ซึ่งต้องใช้ร่วมกับวาล์ว (Valve) และข้อต่อต่าง ๆ

ท่อขนาด 14 นิ้วหรือโตกว่า จะบอกขนาดตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกโดยตรง เช่น ท่อขนาด 18 นิ้ว จะวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกได้ 18 นิ้ว ส่วนความหนาของท่อยังดูได้จาก Schedule number ของท่อขนาดนั้น ๆ เช่นเดียวกับท่อขนาดเล็ก (ตารางที่ 1 และตารางที่ 11)

ตารางที่ 1 ความหนาของท่อมีตะเข็บและไม่มีตะเข็บตาม Schedule number (ASA B36.10)

ขนาดระบุทอ	เส้นผ่าศูนย์กลาง	ขนาดความหนาระบุ									
		Sched. 10	Sched. 20	Sched. 30	Sched. 40	Sched. 60	Sched. 80	Sched. 100	Sched. 120	Sched. 140	Sched. 160
1/8	0.405				0.068		0.095				
1/4	0.540				0.088		0.119				
3/8	0.675				0.091		0.126				
1/2	0.840				0.109		0.147				0.187
3/4	1.050				0.113		0.154				0.218
1	1.315				0.133		0.179				0.250
1 1/4	1.660				0.140		0.191				0.250
1 1/2	1.900				0.145		0.200				0.281
2	2.375				0.154		0.218				0.343
2 1/2	2.875				0.203		0.276				0.375
3	3.500				0.216		0.300				0.438
3 1/2	4.000				0.226		0.318				
4	4.500				0.237		0.337		0.438		0.531
5	5.563				0.258		0.375		0.500		0.625
6	6.625				0.280		0.432		0.562		0.718
8	8.625		0.250	0.277	0.322	0.406	0.500	0.593	0.718	0.812	0.906
10	10.750		0.250	0.307	0.365	0.500	0.593	0.718	0.843	1.000	1.125
12	12.750		0.250	0.330	0.406	0.562	0.687	0.843	1.000	1.125	1.312
14	14.000	0.250	0.312	0.375	0.438	0.593	0.750	0.937	1.093	1.250	1.406
16	16.000	0.250	0.312	0.375	0.500	0.656	0.843	1.031	1.218	1.438	1.593
18	18.000	0.250	0.312	0.438	0.562	0.750	0.937	1.156	1.375	1.562	1.781
20	20.000	0.250	0.375	0.500	0.593	0.812	1.031	1.281	1.500	1.750	1.968
24	24.000	0.250	0.375	0.562	0.687	0.968	1.218	1.531	1.312	2.062	2.343
30	30.000	0.312	0.500	0.625							

การบอกขนาดความโตของท่อเป็นขนาดระบุ และความหนาของท่อเป็น Schedule number เป็นมาตรฐานการจำแนกท่อของอเมริกันตาม ASA (American Standards Association) นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานอื่น ๆ อีก[1] เช่น เยอรมันจำแนกท่อตาม DIN (Deutsche Industrie Normen) เป็นที่น่าสังเกตว่างานท่อส่วนมากจะนิยมใช้มาตรฐานอเมริกัน แม้แต่ในประเทศเครือเมตริกก็ยังนิยมบอกขนาดท่อเป็นนิ้วเช่นกัน ส่วนในประเทศไทยนั้นท้องตลาดทั่วไปนิยมเรียกขนาดท่อเป็นนิ้ว แต่บอกความยาวเป็นเมตร ถึงแม้ว่าจะได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อเหล็กกล้าอาบ และไม่อาบสังกะสีชนิดต่อด้วยเกลียว (มอก.26 - 2516) แล้วก็ตาม (ตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และตารางที่ 5)

---

[1] มาตรฐานของประเทศอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ได้แก่

BS : British Standards

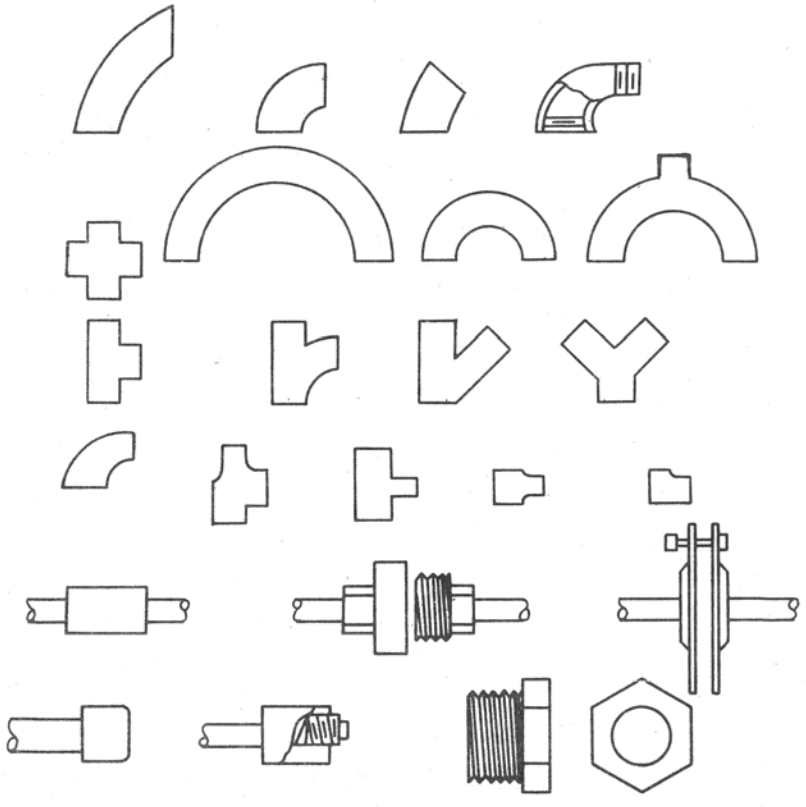
JIS : Japanese Industrial Standard

ISO : International Organization for Standardization

ปัจจุบันท่อเหล็กเหนียวที่ใช้กันในงานอุตสาหกรรม จะมีทั้งท่อมีตะเข็บ (Seam pipe) และท่อไม่มีตะเข็บ (Seamless pipe) ซึ่งมีกรรมวิธีในการผลิตต่างกัน นอกจากนี้การนำไปใช้งานก็จะต่างกันด้วย เพราะท่อไม่มีตะเข็บจะรับแรงกดดันภายในได้สูงกว่าท่อมีตะเข็บ ถ้าเป็นท่อที่ทำจากวัสดุ - ขนาด เดียวกัน

1.2 ข้อต่อท่อ

ข้อต่อท่อชนิดต่าง ๆ หรือที่เรียกรวมว่า Fitting หมายถึง ข้อต่อท่อสำเร็จรูป ที่ใช้ประกอบในการเดินท่อ ซึ่งมีขนาด รูปร่าง และลักษณะการนำไปใช้งานแตกต่างกัน เช่น ข้องอ ข้อโค้ง ข้อลด สามทาง สามทางลด สามทางตัววาย สามทางฉาก สี่ทาง ข้อต่อตรง นิปเปิ้ล ฯลฯ



รูปที่ 1.1 ข้อต่อชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานเดินท่อ

วัสดุที่ใช้ทำข้อต่อท่อมีหลายชนิดเช่นเดียวกับวัสดุที่ใช้ทำท่อ ข้อต่อท่อเหล่านี้มีทั้งชนิดมีเกลียวเพื่อใช้ต่อกับท่อโดยใช้เกลียวท่อ และชนิดไม่มีเกลียวเพื่อใช้ต่อกับท่อโดยวิธีเชื่อมหรือวิธีพิเศษอื่น ๆ

2. งานดัดท่อ

2.1 คุณลักษณะงานดัดท่อ

งานเดินท่อทั่วไปจะมีทั้งส่วนที่ต้องเดินเป็นเส้นตรง โค้ง เลี้ยวเป็นมุม หรือเป็นท่อแยก ซึ่งอาจใช้ข้อต่อท่อที่ทำไว้สำเร็จ เช่น ข้องอ ข้อโค้ง ข้อลด สามทาง สี่ทาง และต่อกับท่อโดยใช้เกลียว เชื่อม หน้าแฟลนจ์ สวมอัด หรือวิธีที่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษอื่น ๆ นอกจากการใช้อุปกรณ์ข้อต่อต่าง ๆ ที่ผลิตไว้สำเร็จดังกล่าวแล้ว ยังสามารถใช้วิธีดัดท่อหรือประกอบขึ้นรูปท่อให้มีลักษณะ รูปร่างตามต้องการได้อีกด้วย เช่น ดัดโค้งให้มีรัศมีความโค้ง และมีมุมตามกำหนด ดีขึ้นรูปลดขนาด ประกอบท่อแยก โดยดัดหรือประกอบขึ้นรูปจากท่อนั้น ๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ

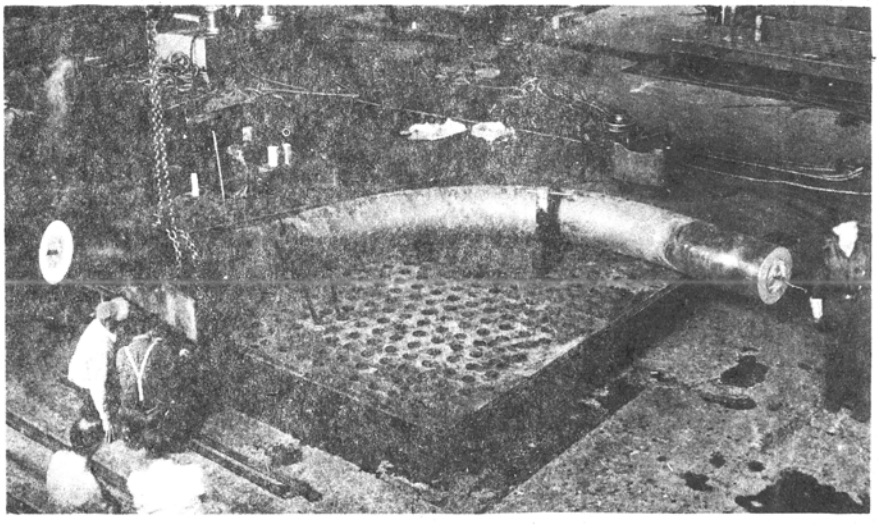
งานดัดท่ออาจดัดโดยใช้ความร้อนช่วย ที่เรียกว่า ดัดร้อน (Hot bending) หรือโดยไม่ใช้ความร้อนช่วย ที่เรียกว่า ดัดเย็น (Cold bending) ซึ่งต่างก็มีข้อจำกัดแตกต่างกันไป ทั้งงานดัดร้อนและดัดเย็นสามารถใช้กับท่อที่มีขนาดเล็กสุดไปจนถึงท่อขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 42 นิ้ว (106 เซนติเมตร) แต่ถ้าเป็นท่อขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือ เครื่องจักร เพื่อช่วยในการดัดเป็นพิเศษ งานดัดท่อสามารถจำแนกข้อดี ข้อเสีย ให้เห็นเด่นชัดได้ดังนี้

ข้อดี

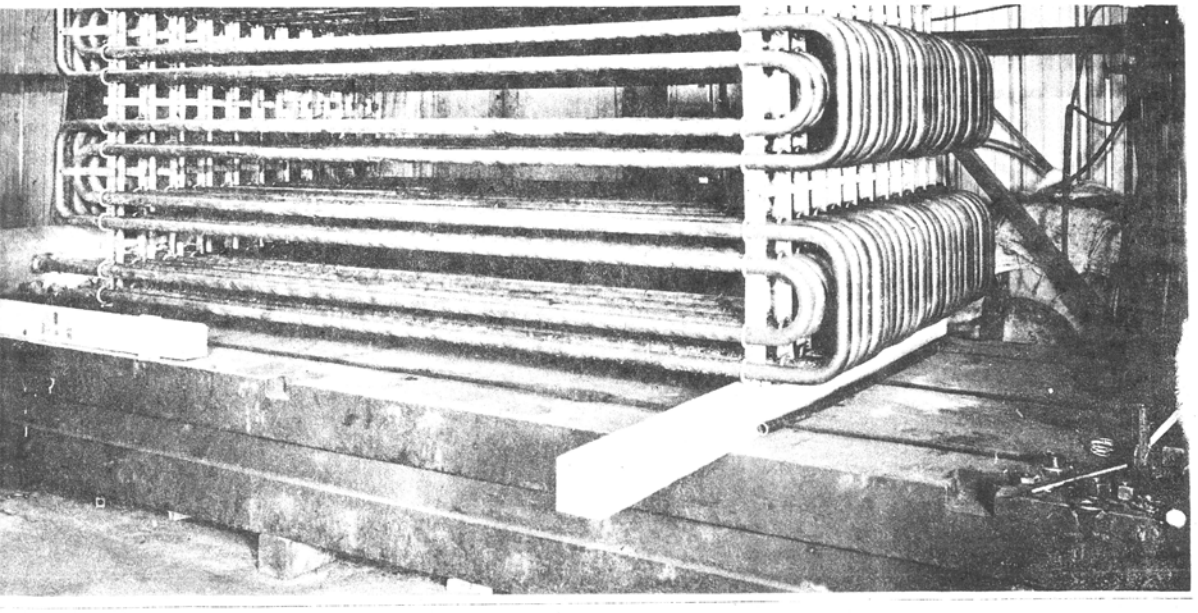
1. สามารถดัดท่อโค้งได้ตามรัศมีความโค้งที่ต้องการ
2. ลดความต้านทานการไหลและการไหลหมุนวน (Turbulance) ของ ๆ ไหลภายในท่อ
3. ลดการกัดกร่อนภายในท่อบริเวณส่วนโค้งได้
4. สามารถส่งของไหลผ่านท่อได้ด้วยความเร็วสูง
5. ลดค่าใช้จ่ายในงานเดินท่อ (เมื่อไม่ต้องใช้ข้อต่อต่าง ๆ)

ข้อเสีย

1. ผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านนอกจะบางลงจากเดิมเนื่องจากการยืดตัวของวัสดุ
2. ผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านในจะเกิดแรงอัด ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยย่นเป็นลอน ทำให้ของไหลภายในไหลหมุนวน และเกิดแรงดันสูญเสียเนื่องจากความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น
3. พื้นที่หน้าตัดท่อบริเวณส่วนโค้งอาจเปลี่ยนรูปไม่เป็นวงกลม ซึ่งมีผลต่อการไหลของ ๆ ไหลในบางลักษณะ
4. ท่อบางชนิดไม่สามารถดัดได้ผลดี ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำท่อ ซึ่งต่างจากงานเดินท่อที่ใช้ข้อต่อ



รูปที่ 2.1 งานตัดท่อขนาดใหญ่ โดยใช้ความร้อนบนแผ่นแบบตัดท่อ ภายในโรงงาน



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างงานตัดท่อในงานจริง

2.2 การเตรียมงานดัดท่อ

งานดัดท่อที่จะบรรยายต่อไปนี้ หมายถึง งานดัดท่อเหล็กโดยใช้ความร้อนสำหรับท่อขนาดเล็กจนถึงท่อขนาดใหญ่ประมาณ 1 $\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งดัดโดยไม่ใช้แบบหรือเครื่องมือพิเศษใด ๆ นอกจากอุปกรณ์ให้ความร้อน อาจเป็นท่อมีตะเข็บหรือท่อไม่มีตะเข็บก็ได้ แต่ต้องเป็นท่อเหล็กเหนียวหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ท่อเหล็กดำ เท่านั้น

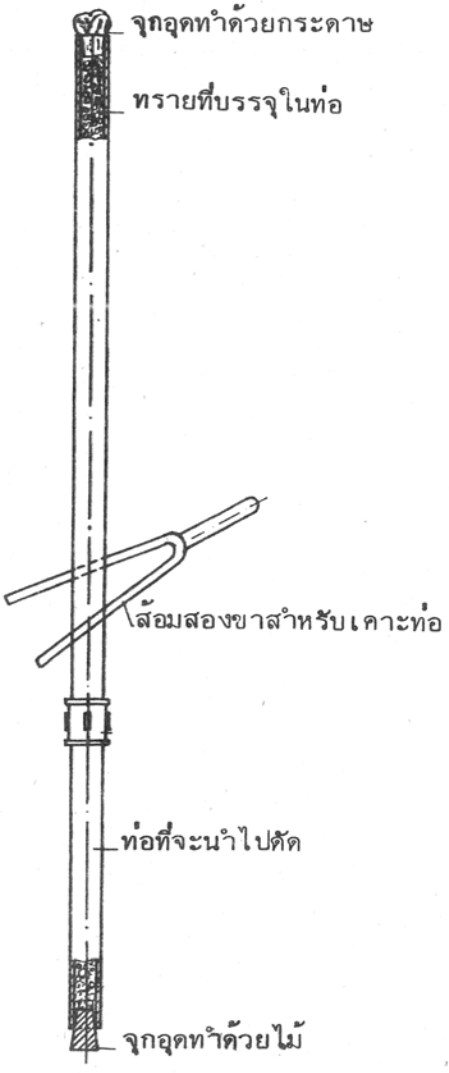
ท่อที่มีขนาดเล็กกว่า $\frac{1}{2}$ นิ้ว ไม่จำเป็นต้องบรรจุทรายไว้ภายในในขณะดัด แต่ถ้าเป็นท่อขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว หรือโตกว่า ควรบรรจุทรายไว้ภายในเสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนโค้งท่อแบนหรือย่นเป็นลอน ซึ่งเป็นสิ่งที่พึงหลีกเลี่ยงในงานดัดท่อ

ทรายที่ใช้บรรจุไว้ภายในท่อขณะทำการดัด ควรเป็นทรายชนิดที่ใช้ในงานผสมคอนกรีต ผ่านการกรองสิ่งสกปรก หิน กรวด ขนาดใหญ่ที่ปะปนมาก่อน ไม่เป็นทรายที่ละเอียดมากจนเกินไป เพราะจะทำให้เกาะติดผนังภายในท่อเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งขจัดออกได้ยากเมื่อต้องการนำท่อนั้นไปใช้งาน นอกจากนั้นจะต้องเป็นทรายที่แห้งสนิทไม่มีความชื้นปะปน มิฉะนั้นเมื่อทรายร้อนขึ้น ความชื้นจะกลายเป็นไอน้ำซึ่งมีแรงดันสูงภายในท่อ อาจทำให้เกิดอันตรายได้

ท่อที่จะนำมาดัดต้องอุดปลายด้านหนึ่งให้แน่นก่อนโดยใช้จุกอุดที่ทำด้วยไม้หรือกระดาษหรือยุด[1]แล้วจึงบรรจุทราย โดยกรอกลงมาจากปลายด้านบนให้ท่ออยู่ในลักษณะตั้ง ขณะที่กรอกทรายให้เคาะบริเวณภายนอกท่อตามไปด้วยเครื่องมือที่ใช้เคาะท่อทำได้ง่าย ๆ โดยใช้เหล็กเส้นกลมดัดให้มีรูปร่างคล้ายส้อมสองขาขนาดใหญ่ ซึ่งจะเคาะได้เร็วช่วยให้บรรจุทรายภายในท่อได้เต็มโดยไม่มีช่องว่าง ไม่ควรกรอกทรายครั้งเดียวจนเต็มโดยไม่ได้เคาะภายนอกท่อตามไปด้วย เพราะทรายจะไม่เรียงตัวกันแน่นทำให้เกิดช่องว่างภายในท่อได้ง่าย หากทรายที่บรรจุไว้ภายในไม่แน่นพอหรือมีช่องว่างภายในท่อ จะทำให้เกิดรอยย่นเป็นลอนบริเวณส่วนโค้งขณะทำการดัด เมื่อบรรจุทรายจนเต็มท่อแล้วให้อุดปลายท่อที่เหลือ โดยใช้จุกอุดที่ทำด้วยกระดาษหรือไม้เช่นกัน จุดอุดที่ทำด้วยกระดาษจะช่วยอัดทรายภายในท่อให้แน่นขึ้นและไม่ทำให้ทรายหยุ่นตัวซึ่งดีกว่าจุกอุดที่ทำด้วยไม้

---

[1]ยุด (Jute) หมายถึง เศษปอย่ฝ้ายจากการทอเป็นเส้น ๆ ที่ใช้สำหรับทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องจักรในโรงงาน



รูปที่ 2.3
ท่อที่จะนำมาดัดเมื่อบรรจุทรายแล้ว ปลายท่อด้านบนแสดงจุกอุดทำด้วยกระดาษ ปลายท่อด้านล่างแสดงจุกอุดทำด้วยไม้

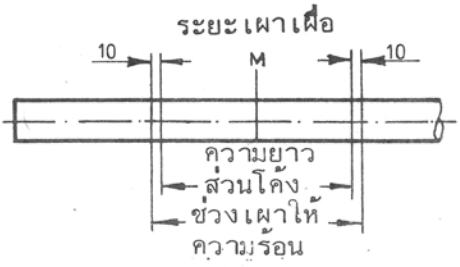
รูปที่ 2.4
ปลายท่อที่อุดด้วยจุกไม้อาจทำให้ทรายหยุ่นตัวและไม่สามารถอัดปลายท่อได้แน่นเพียงพอ

2.3 เทคนิคการดัดท่อ

ก่อนเริ่มงานดัดท่อทุกครั้งต้องคำนวณหาความยาวส่วนโค้งที่ต้องการดัด ซึ่งเป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนหรืออาจเรียกว่า ระยะเผา เมื่อทราบระยะเผาแล้วจึงทำเครื่องหมายบนชิ้นงานท่อที่ต้องการดัด โดยใช้ชอล์คที่

ทนความร้อน จับชิ้นงานบนปากกาให้ช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนยื่นพ้นปากปากกาออกมาเพียงเล็กน้อย แล้วเริ่มเผาให้ความร้อนตามช่วงระยะเผาที่ทำเครื่องหมายไว้ การให้ความร้อนโดยใช้หัวเผาหรือหัวเชื่อมแก๊สขนาดใหญ่ จะให้ผลดี เพราะสามารถควบคุมให้ความร้อนบริเวณที่ต้องการให้เที่ยงตรงกว่าการให้ความร้อนจากเตาเผาเหล็ก หรือการให้ความร้อนด้วยวิธีอื่น ๆ

การเผาให้ความร้อนชิ้นงานจะต้องเผาให้มีระยะเผื่อไว้เล็กน้อย โดยเผาให้ความร้อนยาวกว่าช่วงที่คำนวณได้ และทำเครื่องหมายไว้บนท่อแล้วนั้นออกไปข้างละประมาณ 5 – 10 มิลลิเมตร และให้ความร้อนแผ่กระจายไปตลอด ช่วงเผาสม่ำเสมอใกล้เคียงกันโดยตลอด จนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส ซึ่งสังเกตได้จากชิ้นงานมีสีแดงเรื่อคล้ายสีตำลึงสุก หรือสีเชอรี่[2] ระวังอย่าให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิสูงเกินไป มิฉะนั้นหรายที่บรรจุไว้ภายในท่อจะเริ่มหลอมตัวเกาะติดกับผนังภายในท่อ ซึ่งจะขจัดออกได้ยาก

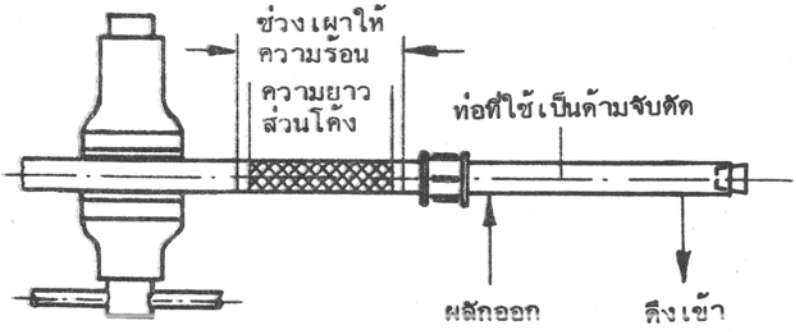


รูปที่ 2.5
ช่วงเผาให้ความร้อนชิ้นงาน แสดงระยะเผาเผื่อทั้งสองข้างและความยาวส่วนโค้งที่คำนวณได้

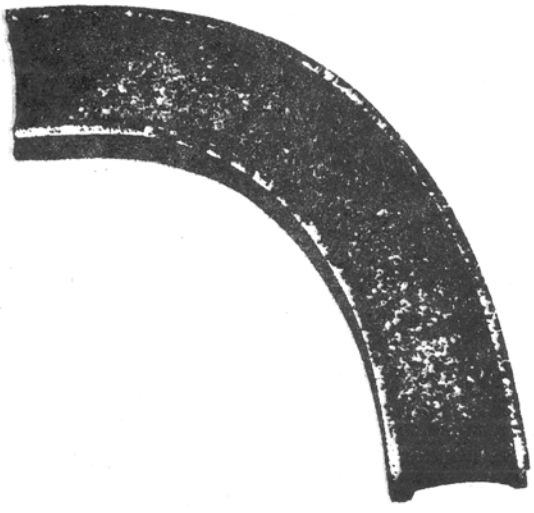
เมื่อเผาให้ความร้อนจนชิ้นงานมีอุณหภูมิสูงและสม่ำเสมอตลอดช่วงเผาแล้ว จึงเริ่มดัดท่อ ในขณะที่ต้องให้แรงกระทำบนชิ้นงานเป็นสองจุดสวนทางกัน จุดที่อยู่ใกล้กับปากกาจับชิ้นงานให้ผลักออก จุดอยู่ที่อยู่ปลายห่างออกไปให้ดึงเข้า ส่วนโค้งนั้นจึงจะมีรัศมีความโค้งตามต้องการ ถ้าให้แรงกระทำที่ปลายท่อโดยดึงเข้า หรือผลักออกเพียงจุดเดียว ส่วนโค้งนั้นจะมีลักษณะเป็นมุมหักไม่โค้งตามรัศมีและเป็นส่วนโค้งของวงกลมตามต้องการ การดัดท่อควรดัดช้า ๆ โดยใช้แรงดัดสม่ำเสมอ

---

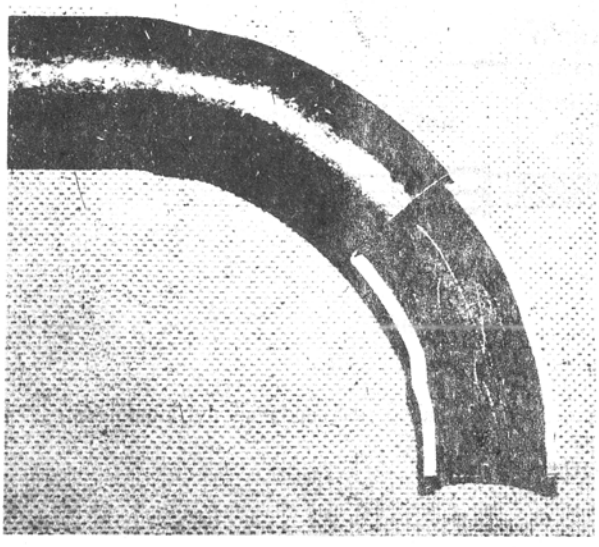
[2]หมายถึง ท่อเหล็กที่ร้อนแดงจนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส ภาษาเยอรมันเรียกว่า Kirschrot



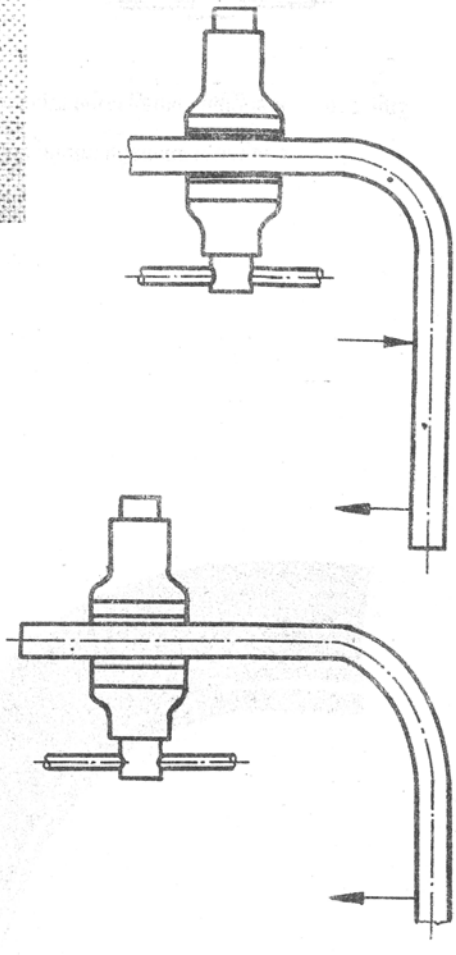
รูปที่ 2.6 ขณะจับชิ้นงานท่อที่จะดัดบนปากกา แสดงจุดที่ให้แรงกระทำเป็นสองจุด ถ้าเป็นท่อมีตะเข็บ ควรให้ตะเข็บท่ออยู่ด้านบนหรือด้านล่าง



รูปที่ 2.7
ถ้าให้ความร้อนจนชิ้นงานมีอุณหภูมิสูงมากเกินไปทรายที่บรรจุไว้ภายในจะหลอมตัวเกาะติดกับผนังซึ่งจะขจัดออกได้ยากและถ้าใช้แรงดัดสองจุดไม่สัมพันธ์กันส่วนโค้งจะมีลักษณะเป็นมุมหัก



รูปที่ 2.8
ชิ้นงานที่มีอุณหภูมิสูงมากและดัดท่อเร็วกว่าปกติ การยืดตัวและอัดตัวของผนังท่อจะไม่สม่ำเสมอเท่ากัน ทำให้มีส่วนเว้าและยื่นเป็นลอน (สังเกตความหนาของผนังท่อที่แตกต่างกันด้วย)



รูปที่ 2.9
งานดัดท่อที่ใช้แรงดัดสม่ำเสมอและสัมพันธ์กันระหว่างแรงผลักออกและแรงดึงเข้า (บน) และแรงดัดไม่สัมพันธ์กัน ทำให้ส่วนโค้งเป็นมุมหักไม่โค้งตามรัศมีที่ต้องการ (ล่าง)

ขณะดัดท่อทุกครั้งบริเวณผนังท่อที่เป็นส่วนโค้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโลหะ ผนังท่อที่เป็นส่วนโค้งด้านนอกจะยืดตัวออกจากเดิม ผนังท่อที่เป็นส่วนโค้งด้านในจะอัดตัวสั้นเข้า ส่วนบริเวณแนวกึ่งกลางด้านข้างทั้งด้านบนและด้านล่างของส่วนโค้งความยาวจะเท่าเดิม ตามความยาวส่วนโค้งที่คำนวณไว้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง 2.1

ต้องการดัดท่อขนาด 1 นิ้ว มุม 90 องศา ให้มีรัศมีความโค้ง 100 มิลลิเมตร จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและความยาวที่เปลี่ยนแปลงของผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านนอก และส่วนโค้งด้านใน

หาความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผา

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20}$

$= 157.5$ มม.

หาความยาวที่เปลี่ยนแปลง

ท่อขนาด 1 นิ้ว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกได้ 33 มิลลิเมตร

รัศมีโค้งนอก $(r_a) = r + \frac{d}{2}$

$= 100 + \frac{33}{2}$

$= 116.5$ มม.

ความยาวส่วนโค้ง $= r_a \times 1.5 + \frac{r_a \times 1.5}{20}$

$= 116.5 \times 1.5 + \frac{116.5 \times 1.5}{20}$

$= 183.5$ มม.

รัศมีโค้งใน $(r_i) = r - \frac{d}{2}$

$= 100 - \frac{33}{2}$

$= 83.5$ มม.

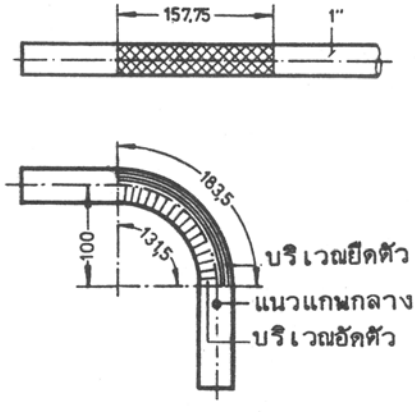
ความยาวส่วนโค้ง $= r_i \times 1.5 + \frac{r_i \times 1.5}{20}$

$$= 83.5 \times 1.5 + \frac{83.5 \times 1.5}{20}$$

$$= 131.5 \text{ มม.}$$

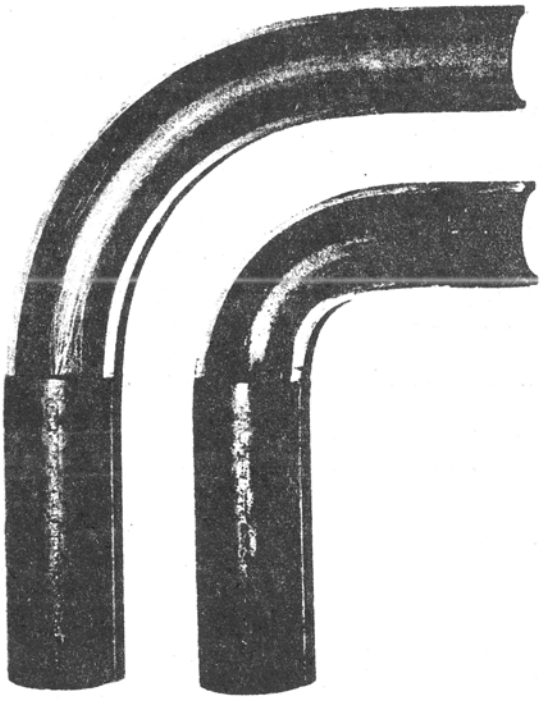
$\therefore$ ความยาวที่เปลี่ยนแปลง $= 183.5 - 131.5$

$$= 52 \text{ มม.}$$



รูปที่ 2.10
ความยาวของผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านนอก และส่วนโค้งด้านในที่เปลี่ยนแปลงเมื่อดัดท่อเสร็จแล้ว ความยาวส่วนที่เปลี่ยนแปลงนี้จะแตกต่างจากความยาว-ส่วนโค้งที่คำนวณไว้

จากตัวอย่างจะเห็นว่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงของผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านนอกและส่วนโค้งด้านในจะต้องเกิดขึ้นเสมอในงานดัดท่อทุกครั้ง จะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับขนาดท่อที่นำมาดัด มุม และรัศมีความโค้งที่ต้องการ ดังนั้นในงานดัดท่อทุกครั้ง ทุกขนาด ควรให้รัศมีความโค้งไม่ต่ำกว่า 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อนั้น ๆ สำหรับงานดัดท่อมุม 90 องศาเป็นเกณฑ์ มิฉะนั้นผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านนอกจะยืดตัวจากเดิมมากจนอาจฉีกขาดหรือแตกได้ และผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านในจะเกิดรอยย่นเป็นลอน ถ้าเป็นงานดัดท่อมีตะเข็บควรให้ตะเข็บท่ออยู่บริเวณด้านข้างบนหรือข้างล่างของส่วนโค้ง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยที่สุด หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เพื่อป้องกันไม่ให้ตะเข็บท่อแตกได้



รูปที่ 2.11
งานดัดโค้งมุม 90 องศาด้วยรัศมีโค้งตามปกติ (ซ้าย) และงานดัดโค้งรัศมีเล็กสุดสำหรับท่อขนาดนี้ (ขวา) ซึ่งจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังท่อได้ชัดเจน ผนังส่วนโค้งด้านนอกจะบางลงจากเดิมเนื่องจากการยืดตัว และผนังส่วนโค้งด้านในจะหนาขึ้นจากเดิมเนื่อง - จากการอัดตัวให้สั้นลง

ในการดัดท่อทุกครั้งควรเหลือปลายท่อให้ห่างจากระยะที่จะต้องเผาให้ความร้อนมากพอควร (ไม่ควรต่ำกว่า 60 – 70 มิลลิเมตร) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้จุกที่อุดปลายท่อไหม้เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะทำให้ทรายที่บรรจุภายในรั่วออกมาเมื่อดัดโค้งหรือทำให้เกิดช่องว่างภายใน

กรณีที่ท่อชิ้นจะนำมาดัดยาวและต้องดัดโค้งหลายช่วง จะต้องดัดท่อต่อเนื่องไปตามลำดับจากปลายด้านหนึ่งทีละช่วงจนเสร็จเรียบร้อยตามต้องการ จึงจะดัดท่อโค้งช่วงถัดไป และในการดัดท่อโค้งช่วงสุดท้าย ควรเหลือปลายท่อให้ห่างจากส่วนโค้งไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร เพื่อจะได้มีท่อส่วนตรงเพื่อใช้สำหรับจับดัดโค้งดังกล่าวแล้ว

งานดัดท่อให้ได้มุม รัศมีความโค้งและขนาดตามต้องการ มีหลักการและเทคนิคในการดัดท่อดังต่อไปนี้

2.4 งานดัดท่อมุม 90 องศา

งานดัดท่อมุม 90 องศา มีสองลักษณะคือ ดัดท่อโดยกำหนดรัศมีความโค้ง และไม่กำหนดรัศมีความโค้ง

ซึ่งคำนวณหาระยะเผาหรือความยาวส่วนโค้งได้จากสูตร และลำดับขั้นการปฏิบัติ ซึ่งแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

2.4.1 งานตัดท่อโดยกำหนดรัศมีความโค้ง

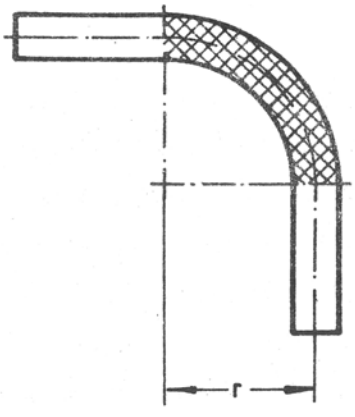
สามารถคำนวณหาความยาวส่วนโค้ง และกำหนดช่วงเผา ดังนี้

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา} = r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$$

หรือ

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา} = r \times 1.57$$

เมื่อกำหนด r = รัศมีความโค้งที่ต้องการ

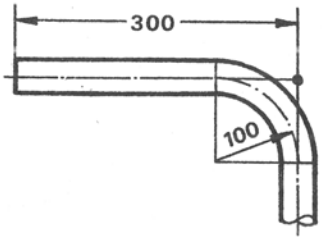


รูปที่ 2.12 งานตัดโค้งมุม 90 องศา

ถ้าต้องการตัดท่อให้ได้ความยาวของชิ้นงานตามแบบที่ต้องการ ซึ่งกำหนดความยาวจากปลายท่อด้าน – หนึ่งถึงกึ่งกลางความโค้งวัดตามแนวแกนท่อตัดกัน การกำหนดช่วงเผาให้ความร้อน และการคำนวณหาระยะเผามีลำดับขั้นตอนตามตัวอย่าง

ตัวอย่าง 2.2

ต้องการดัดท่อขนาด 1 นิ้ว มุม 90 องศา ให้ได้รัศมี 100 มิลลิเมตร กำหนดความยาวจากปลายด้านหนึ่งถึงกึ่งกลางความโค้งวัดตามแนวแกนท่อตัดกัน 300 มิลลิเมตร จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผา



รูปตามตัวอย่าง 2.2

หาความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผา

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20}$

$= 157.5$ มม.

กำหนดช่วงเผา

1. จากปลาย ท่อด้าน A วัดความยาวท่อไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 300 มิลลิเมตรตามกำหนด ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด M

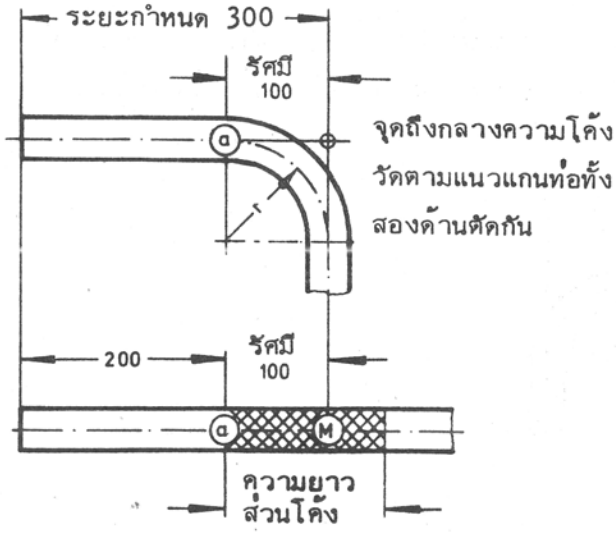
2. จากจุด M วัดความยาวย้อนกลับมาทางปลายท่อ A ให้ได้ระยะเท่ากับรัศมีที่กำหนด(100 มม.) ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด a ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นความโค้ง

3. จากจุด a วัดความยาวย้อนกลับไปทางจุด M ให้ได้ระยะเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณได้ (157.5 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด b

4. ระยะจากจุด a ถึง จุด b เป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดโค้งตามต้องการ

ข้อควรระวัง

ในขณะเผาให้ความร้อนต้องเผาเผื่อข้างละประมาณ 5 – 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.13
การกำหนดช่วงเผางานดัดโค้งมุม
90 องศา ตามตัวอย่าง 2.2

2.4.2 งานดัดท่อโดยไม่กำหนดรัศมีความโค้ง

งานดัดท่อบางลักษณะที่ไม่จำเป็นต้องกำหนดรัศมีความโค้ง อาจกำหนดความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผาให้ความร้อนเป็น 3 เท่า หรือ 5 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อนั้น ๆ

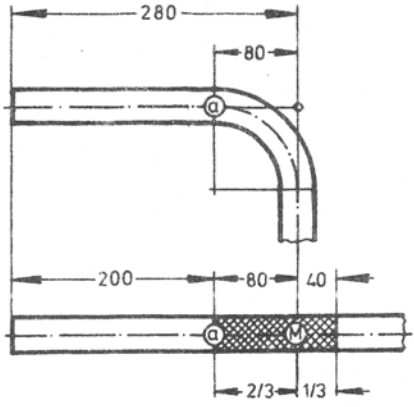
ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา = 3 × d	(ระยะเผาสั้นที่สุดสำหรับท่อแต่ละขนาด)

หรือ

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา = 5 × d	(ระยะเผาที่ใช้ตามปกติ)

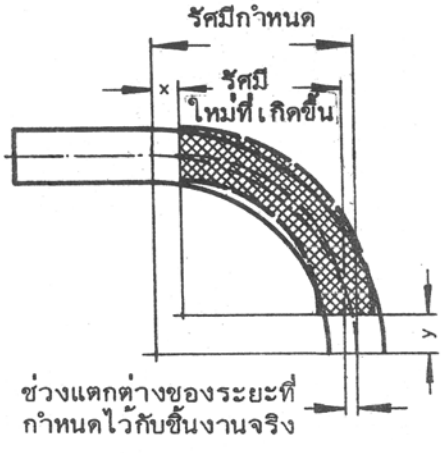
เมื่อกำหนด d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ

การกำหนดช่วงเผาให้ความร้อน ใช้หลักการเช่นเดียวกับงานดัดท่อโดยกำหนดรัศมี ต่างกันเล็กน้อยเฉพาะการกำหนดความยาวย้อนกลับไปทางปลายท่อด้านที่ใช้เป็นหลัก ซึ่งใช้ระยะ 2 × d สำหรับความยาวส่วนโค้ง 3 × d และใช้ระยะ 3 × d สำหรับความยาวส่วนโค้ง 5 × d หรือใช้ระยะ 2/3 ของความยาวส่วนโค้งทั้งหมด ดังรูป 2.14



รูปที่ 2.14
การกำหนดช่วงเผาให้ความร้อนงานดัดท่อ โดยไม่กำหนดรัศมีความโค้ง แต่กำหนดความยาวส่วนโค้งเป็น 3 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อวัดนอก

การเผาให้ความร้อนชิ้นงานตามช่วงเผาที่กำหนดเป็นสิ่งสำคัญ มิฉะนั้นระยะที่กำหนดจากปลายท่อด้านหนึ่งถึงกึ่งกลางส่วนโค้งตามแนวศูนย์กลางท่อที่ดัดกันจะไม่ได้ตามต้องการ นอกจากนี้ความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผาก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน โดยจะต้องเผาเผื่อออกไปข้างละประมาณ 5 – 10 มม. และมีอุณหภูมิสม่ำเสมอกันตลอดทั้งช่วง มิฉะนั้นจะดัดโค้งชิ้นงานไม่ได้รัศมีความโค้งตามต้องการ



รูปที่ 2.15
ถ้าไม่ได้เผาเผื่อไว้ทั้งสองข้าง ขณะดัดชิ้นงานจะค่อยเย็นตัวลง ทำให้ช่วงเผาเดิมเปลี่ยนแปลงไป รัศมีความโค้งของท่อส่วนที่ดัดจะเล็กลงจากเดิม และระยะจากปลายด้านที่กำหนดจะไม่ได้ตามต้องการ

2.5 งานดัดท่อมุม 45 องศา

ความยาวส่วนโค้งของงานดัดท่อมุม 45 องศา จะเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวส่วนโค้งงานดัดท่อมุม 90 องศา ส่วนการกำหนดช่วงเผาแตกต่างกันเล็กน้อย

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา} = \frac{r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}}{2}$$

หรือ

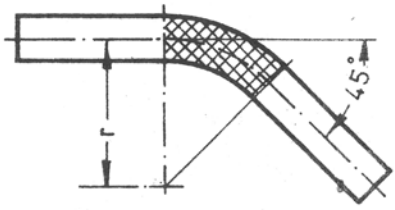
$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา} = \frac{\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา}}{2}$$

หรือ

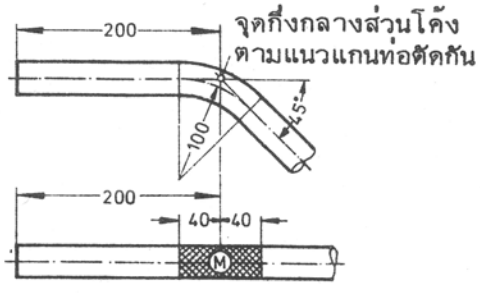
$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา} = \text{รัศมีความโค้ง } (r)$$

เมื่อกำหนด r = รัศมีความโค้ง

ช่วงเผาของงานตัดท่อมุม 45 องศา จะกำหนดจากกึ่งกลางส่วนโค้งตามแนวแกนท่อตัดกันออกไปข้างละครึ่งหนึ่งของระยะเผาที่คำนวณได้



รูปที่ 2.16
งานตัดโค้งมุม 45 องศา



รูปที่ 2.17
การกำหนดช่วงเผาเมื่อกำหนดระยะจากปลายด้านหนึ่ง 200 มิลลิเมตร ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา 80 มิลลิเมตร

2.6 งานดัดท่อมุม 180 องศา

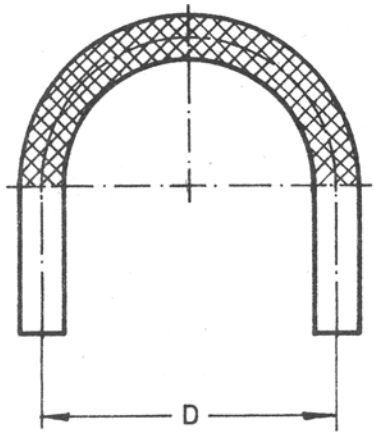
งานดัดท่อมุม 180 องศา จะมีความยาวส่วนโค้งเป็นสองเท่าของงานดัดท่อมุม 90 องศา ถ้าสามารถให้ความร้อนแก่ชิ้นงานได้จนตลอดช่วงความยาวส่วนโค้งที่คำนวณได้งานดัดท่อนั้นจะดัดเพียงครั้งเดียว แต่ถ้าท่อมีขนาดใหญ่หรือหัวเผามีขนาดเล็กไม่สามารถให้ความร้อนแก่ชิ้นงานได้จนตลอดช่วงความยาวของระยะเผา งานดัดท่อนั้นจะดัดเป็นสองช่วง ช่วงละ 90 องศา

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา} = D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$$

หรือ

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา} = D \times 1.57$$

เมื่อกำหนด D = เส้นผ่าศูนย์กลางความโค้งที่ต้องการ



รูปที่ 2.18 งานดัดโค้งมุม 180 องศา

การกำหนดช่วงเผาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเพื่อให้ได้ระยะตามต้องการ มีหลักการเช่นเดียวกับงานดัดท่อมุม 90 องศา ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง 2.3

ต้องการดัดท่อขนาด 3/4 นิ้ว มุม 180 องศา รัศมีความโค้ง 80 มิลลิเมตร กำหนดความยาวจากปลายด้านหนึ่งถึงศูนย์กลางส่วนโค้ง 400 มิลลิเมตร จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผาให้ความร้อน

หาความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผา

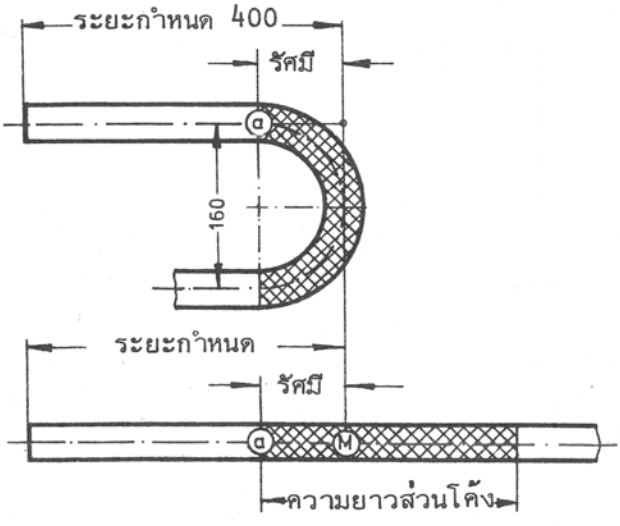
$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา} = D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$$

$$= 160 \times 1.5 + \frac{160 \times 1.5}{20}$$

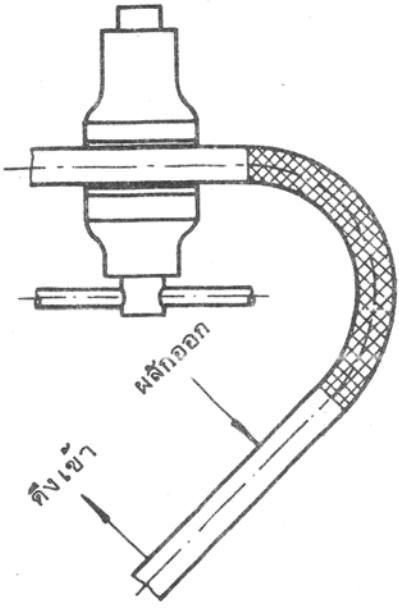
$$= 252 \text{ มม.}$$

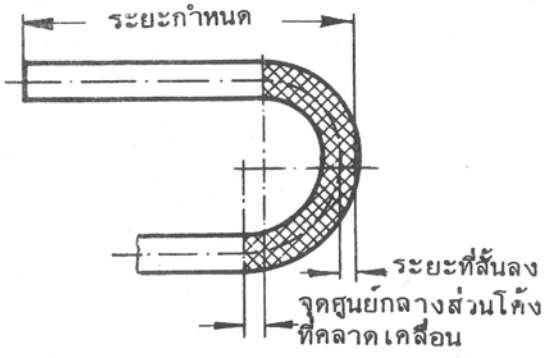
กำหนดช่วงเผา

1. จากปลายท่อด้าน A วัดความยาวท่อไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง 400 มิลลิเมตร ตามกำหนด ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จากจุด M วัดความยาวย้อนกลับมาทางปลายท่อ A ให้ได้ระยะเท่ากับรัศมีที่กำหนด (80 มม.) ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด a ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นความโค้ง
3. จากจุด a วัดความยาวย้อนกลับไปทางจุด M ให้ได้ระยะเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณได้ (252 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด b
4. ระยะจากจุด a ถึง b เป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดโค้ง ตามต้องการ

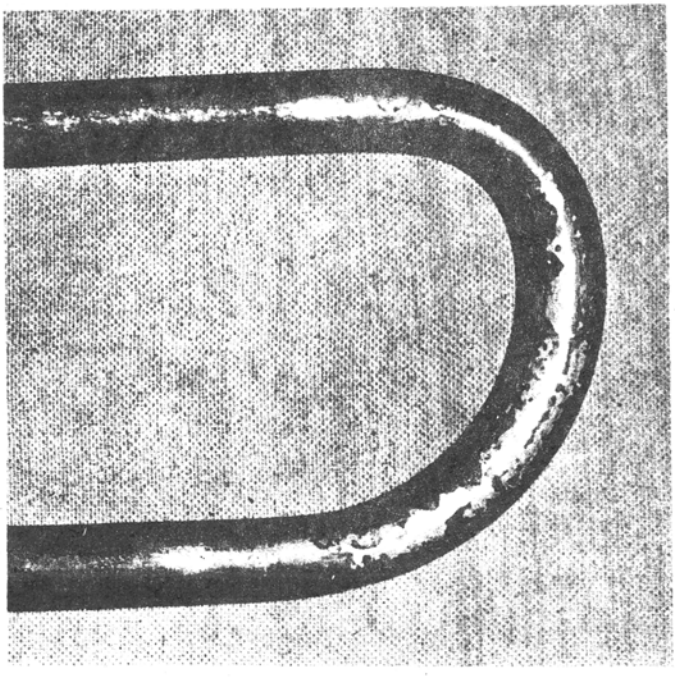


รูปที่ 2.19
การกำหนดช่วงเผางานดัดโค้งมุม 180 องศา ตามตัวอย่าง 2.3

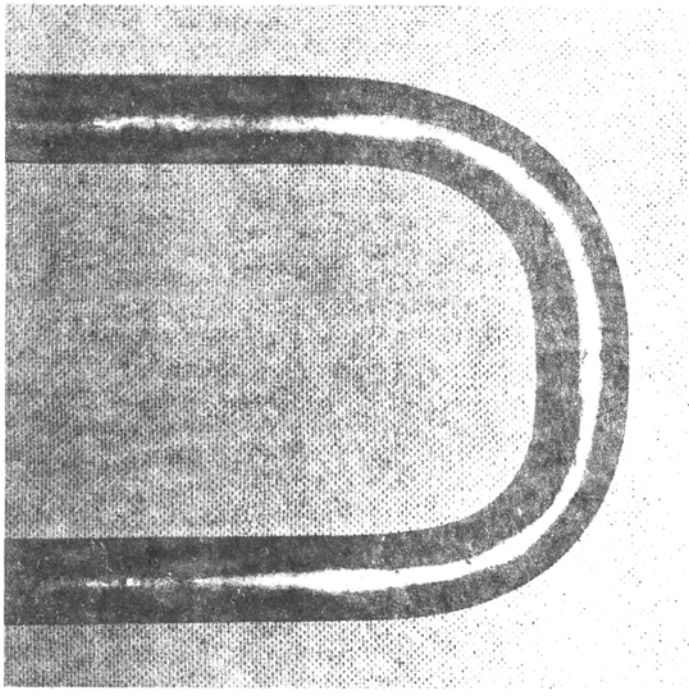




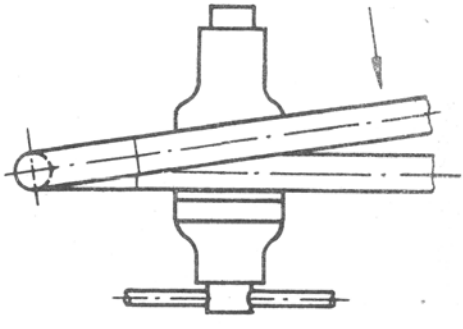
รูปที่ 2.20
งานดัดท่อที่ใช้แรงดัดไม่สัมพันธ์กันระหว่างแรงผลักออกและแรงดึงเข้า ส่วนโค้งจะมีลักษณะเป็นมุมหัก และระยะกำหนดจากปลาย จะไม่ได้ตามต้องการ แต่จะสั้นกว่า



รูปที่ 2.21
รอยดัดโค้งที่เป็นมุมหัก ไม่เป็นลักษณะของส่วนโค้งครึ่งวงกลม ตามต้องการ



รูปที่ 2.22
รอยตัดโค้งที่ไม่เป็นลักษณะของส่วนโค้งครึ่งวงกลม – เพราะท่อช่วงกลางมีลักษณะเป็นส่วนตรง ส่วนโค้งนี้จะมีรัศมีต่าง ๆ กัน ในแต่ละจุดสาเหตุเพราะให้ความร้อนช่วงเผาไม่สม่ำเสมอกัน



รูปที่ 2.23
ในกรณีที่ตัดโค้งเสร็จแล้วแต่ท่อไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ให้เผาบริเวณกึ่งกลางส่วนโค้งแล้วจับปากกาตัดให้อยู่ในแนวเดียวกัน

2.7 งานตัดท่อมุม 360 องศา

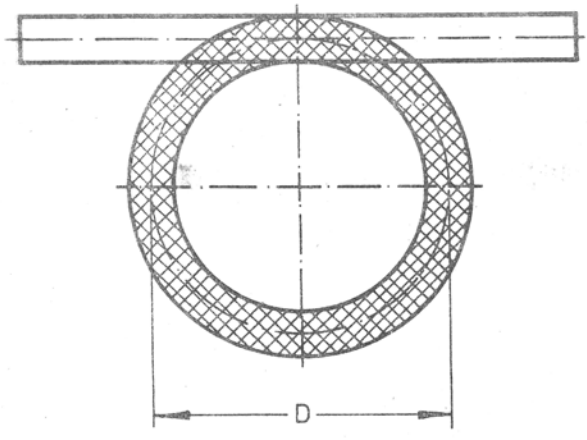
งานตัดท่อมุม 360 องศา หรือตัดเป็นวงกลมจะมีความยาวส่วนโค้งเป็นสองเท่าของงานตัดท่อมุม 180 องศา ในการตัดจะตัดเป็นสองช่วง ๆ ละ 180 องศา เมื่อตัดช่วงแรกเสร็จและปรับแต่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงตัดช่วงที่สองต่อไป

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 360 องศา} = D \times 3 + \frac{D \times 3}{20}$$

หรือ

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 360 องศา} = D \times 3.14$$

เมื่อกำหนด D = เส้นผ่าศูนย์กลางความโค้งที่ต้องการ



รูปที่ 2.24 งานดัดโค้งมุม 360 องศา

การกำหนดช่วงเผาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเพื่อให้ได้ระยะตามต้องการ มีหลักการเช่นเดียวกับงานดัดท่อมุม 180 องศา แต่ในการเผาให้ความร้อนเพื่อดัดต้องทำเป็นสองช่วง ซึ่งแต่ละช่วงจะต้องมีระยะเผาเผื่อเสมอเช่นเดียวกับงานดัดท่อมุมอื่น ๆ มิฉะนั้นส่วนโค้งจะไม่เป็นลักษณะวงกลม ตามต้องการ

2.8 งานดัดท่อมุมอื่น ๆ

ในกรณีที่ต้องการดัดท่อมุมอื่น ๆ นอกเหนือจากที่ได้บรรยายมาแล้ว การคำนวณหาความยาวส่วนโค้งจะแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเทียบจากความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา ดังนี้

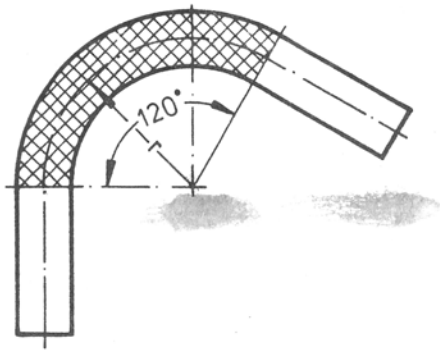
$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม x องศา} = \frac{\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา} \times x}{90}$$

หรือ

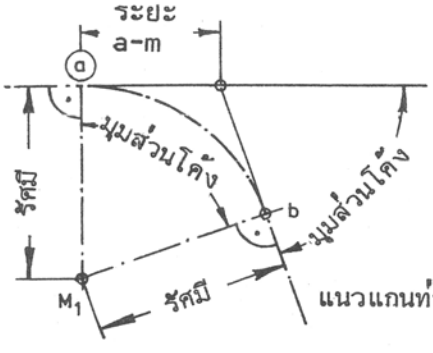
$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม x องศา} = \frac{r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20} \times x}{90}$$

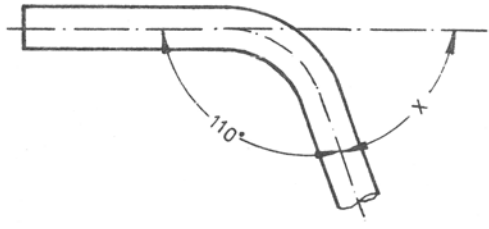
เมื่อกำหนด r = รัศมีความโค้งที่ต้องการ

x = มุมที่ต้องการดัดโค้ง



รูปที่ 2.25
งานดัดโค้งมุม 120 องศา แสดงลักษณะการวัดมุมของส่วนโค้งที่ถูกต้อง





รูปที่ 2.26 รัศมี ความยาวส่วนโค้งและจุดกึ่งกลางส่วนโค้งในแนวแกนท่อตัดกันของงานดัดท่อมุมอื่น ๆ (ขวา) และการวัดมุมของส่วนโค้ง (ซ้าย) มุมดัดที่ถูกต้องคือ x ซึ่งหาได้จาก 180 – 110 = 70 องศา

ตัวอย่าง 2.4

จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งของงานดัดท่อขนาด 1 นิ้ว รัศมีความโค้ง 100 มิลลิเมตร มุมดัด 70 องศา

หาความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผา

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม } 70 \text{ องศา} = \frac{r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20} \times 70}{90}$$

$$= \frac{100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20} \times 70}{90}$$

$$= 122 \text{ มม.}$$

การกำหนดช่วงเผาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเพื่อให้ได้ระยะตามต้องการ สำหรับมุมดัดต่ำกว่า 90 องศา จะแตกต่างจากมุมดัดระหว่าง 90 – 180 องศา ดังนี้

2.8.1 กำหนดช่วงเผามุมดัดต่ำกว่า 90 องศา

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. จากปลายท่อด้าน A วัดความยาวท่อไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่งให้ได้ระยะตามที่กำหนด ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จากจุด M วัดความยาวย้อนกลับมาทางปลายท่อ A ให้ได้ระยะเท่ากับมุมที่ต้องการดัด ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด a ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นความโค้ง
3. จากจุด a วัดความยาวย้อนกลับไปทางจุด M ให้ได้ระยะเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณไว้ ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด b
4. ระยะจากจุด a ถึง b เป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดโค้งตามต้องการ

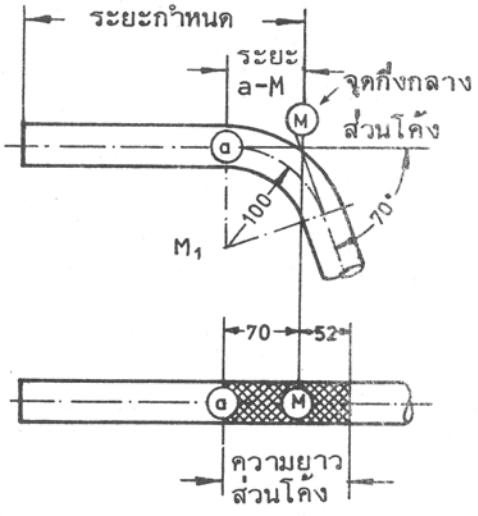
ตัวอย่าง 2.5

จากตัวอย่าง 2.4 จงกำหนดช่วงเผา ถ้ากำหนดให้จุดกึ่งกลางส่วนโค้งในแนวแกนท่อตัดกันถึงปลายท่อด้านหนึ่ง 300 มิลลิเมตร

จากตัวอย่าง 2.4 ความยาวส่วนโค้ง 122 มม.

กำหนดช่วงเผา

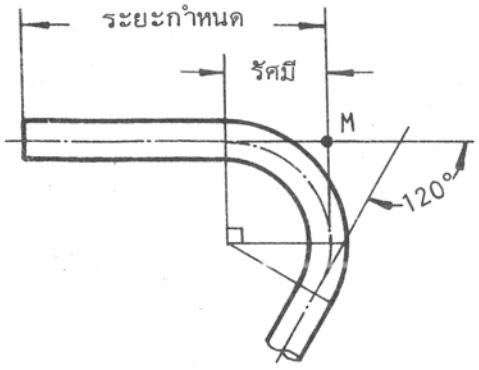
1. วัดระยะจากปลายด้าน A ไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่งให้ได้ความยาวตามกำหนด (300 มม.)ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จากจุด M วัดระยะย้อนกลับไปทางปลาย A ให้ได้ความยาวเท่ากับมุมที่ต้องการดัด (ระยะ 70 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด a ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นความโค้ง
3. จากจุด a วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด M ให้ได้ช่วงความยาวเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณไว้แล้ว (122 มม.) ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด b
4. ช่วงจาก a ถึง b เป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดโค้งตามต้องการ



รูปที่ 2.27
การกำหนดช่วงเผางานดัดโค้งมุม 70 องศา
ตามตัวอย่าง 2.5

2.8.2 การกำหนดช่วงเผามุมดัดระหว่าง 90–180 องศา

จุดที่กำหนดจะถือเอาจุดศูนย์กลางท่อบริเวณส่วนโค้งนอกสุด เมื่อลากเส้นสัมผัสมาตัดกับเส้นที่ลากจากแนวแกนท่ออีกด้านหนึ่งและทำมุม 90 องศา และวัดระยะย้อนกลับไปทางปลายท่อให้ได้ความยาวตามที่จะกำหนด



รูปที่ 2.28

ระยะกำหนดงานดัดโค้งมุม 120 องศา จะวัดจากปลายท่อด้านหนึ่งมายังจุดตัดระหว่างเส้นสัมผัสที่ลากต่อจากจุดศูนย์กลางท่อบริเวณส่วนโค้งนอกสุดกับเส้นที่ลากจากแนวแกนท่ออีกด้านหนึ่งเมื่อทำมุม 90 องศา ชิ่งกันและกัน

ตัวอย่าง 2.6

จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผาของงานดัดท่อขนาด 1 นิ้ว มุม 120 องศา รัศมีความโค้ง 100 มิลลิเมตร และส่วนโค้งอยู่ห่างจากปลายท่อด้านหนึ่ง 300 มิลลิเมตร

หาความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผา

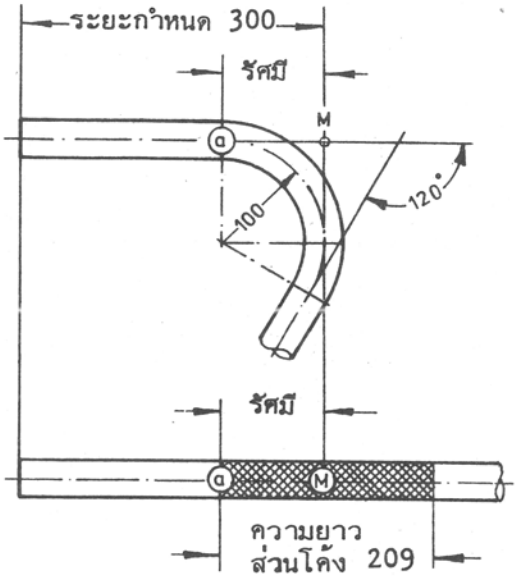
ความยาวส่วนโค้งมุม 120 องศา $= \dfrac{r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20} \times 120}{90}$

$= \dfrac{100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20} \times 120}{90}$

$= 209$ มม.

กำหนดช่วงเผา

1. จากปลายท่อด้าน A วัดระยะไปยังปลายอีกด้านหนึ่งให้ได้ความยาวตามกำหนด (300 มม) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จากจุด M วัดระยะย้อนกลับมาทางปลายท่อ A ให้ได้ความยาวเท่ากับรัศมีความโค้ง(100มม) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด a
3. จากจุด a วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด M ให้ได้ช่วงความยาวเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณไว้แล้ว (209 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด b
4. ช่วงจาก a ถึง b เป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดโค้งตามต้องการ



รูปที่ 2.29

การกำหนดช่วงเผางานดัดโค้งมุม 120 องศา ตามตัวอย่าง 2.6 สังเกตระยะกำหนดจากปลาย A ถึงจุด M ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางท่อบริเวณส่วนโค้งนอกสุดเมื่อลากเส้นมาตัดกับเส้นที่ลากจากแนวศูนย์กลางท่ออีกด้านหนึ่ง

ในทางปฏิบัติการคำนวณความยาวส่วนโค้งนั้น มักไม่กำหนดรัศมีหรือเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นตัวเลขเฉพาะเจาะจง แต่จะกำหนดรัศมีเป็นสัดส่วนกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ โดยกำหนดรัศมี (r) เป็น 3 เท่า ดังนั้น

$$\text{รัศมี } (r) = 3 \times \text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ}$$
$$= 3 \times d$$

จากตาราง 2 จะสามารถหาค่าและเปรียบเทียบงานดัดท่อขนาด $\frac{1}{2}$ ถึง $1\frac{1}{2}$ นิ้วเมื่อกำหนดรัศมีความโค้งสามเท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อและดัดโค้งมุม 90 องศา

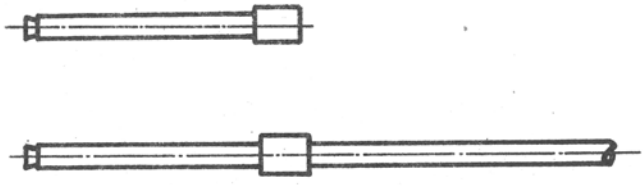
ตารางที่ 2 ค่าต่าง ๆ ในงานดัดท่อขนาด $\frac{1}{2}$ ถึง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว

ขนาดระบุท่อเป็นนิ้ว	1/2	3/4	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$
ขนาดระบุท่อเป็นมิลลิเมตร	15	20	25	32	40
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อวัดนอก	21	27	33	42	48
รัศมีความโค้ง	60	80	100	120	140
ความยาวส่วนโค้งโดยประมาณ r×1.5	90	120	150	180	210
ความยาวส่วนโค้งจริง $r\times1.5+\frac{r\times1.5}{20}$	94.5	126	157.5	189	220.5
ความยาวเกลียวท่อ	13	15	17	19	19

2.9 งานดัดท่อโค้งแบบปลายมีเกลียว

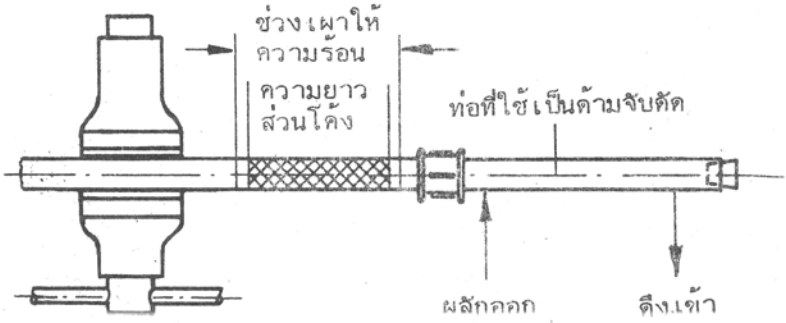
งานดัดท่อโค้งที่กำหนดให้ปลายท่อด้านหนึ่งต้องมีเกลียวเพื่อไว้ใช้ต่อกับชิ้นส่วนอื่น และให้ปลายด้านที่มีเกลียวนั้นอยู่ใกล้กับส่วนโค้ง ชิ้นงานลักษณะนี้ไม่สามารถทำเกลียวปลายท่อภายหลังจากที่ดัดท่อโค้งแล้วได้ ทั้งนี้เพราะในการทำเกลียวท่อจำเป็นต้องให้ท่อบริเวณใกล้กับปลายที่จะต้องทำเกลียวนั้นมีส่วนตรง เพื่อใช้สวมเครื่องมือชุดทำ–เกลียว (Die) กรณีดังกล่าวจึงต้องทำเกลียวปลายท่อให้เสร็จเรียบร้อยก่อนก่อนที่จะนำไปดัดโค้ง

การดัดท่อโค้งแบบปลายมีเกลียว จำเป็นต้องใช้ท่อที่ได้ออกแบบไว้โดยเฉพาะ มาสวมต่อปลายท่อที่ต้องการดัดด้านที่มีเกลียวก่อนที่จะนำไปบรรจุทรายเพื่อใช้ท่อนี้เป็นด้ามสำหรับจับดัดต่อไป ท่อซึ่งจะใช้เป็นด้ามสำหรับจับดัดนี้ทำจากท่อขนาดเดียวกับท่อที่ต้องการดัด ยาวประมาณ 40 – 60 เซนติเมตร ปลายด้านหนึ่งทำเกลียวและใส่ข้อต่อตรงไว้ยึดติดกันให้แน่นด้วยเกลียว ปลายท่ออีกด้านหนึ่งอุดตันโดยใช้จุกอุดหรือบีบปลายท่อให้แน่นแล้วเชื่อมปิดไว้

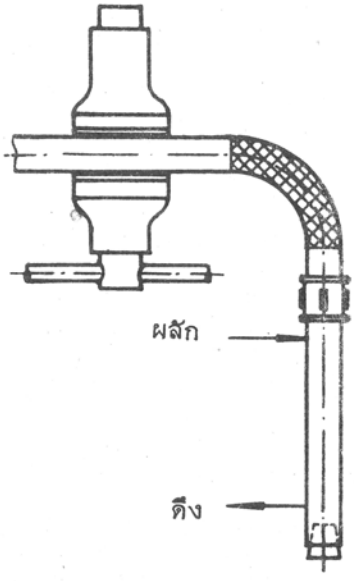


รูปที่ 2.30
ท่อซึ่งใช้ประกอบเป็นด้ามสำหรับจับดัด (บน) และเมื่อประกอบกับชิ้นงานแล้ว (ล่าง)

เมื่อต้องการดัดท่อโค้งแบบปลายมีเกลียวดังกล่าว ต้องทำเกลียวปลายท่อนั้นให้เสร็จเรียบร้อย แล้วนำปลายด้านที่ทำเกลียวแล้วนั้นมายึดติดกับเกลียวของข้อต่อตรงของท่อที่จะใช้ประกอบเป็นด้าม สำหรับจับดัดให้แน่นเพียงเล็กน้อย และใช้ผงกราฟไฟต์เป็นวัสดุหล่อลื่นเกลียวแทนการใช้น้ำมันหรือวัสดุหล่อลื่นเกลียวชนิดอื่น ๆ ขณะที่นำมาต่อเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงนำท่อที่ยึดติดกันแล้วนั้นไปบรรจุทรายให้แน่น แล้วนำไปดัดโค้งเช่นเดียวกับงานดัดท่อทั่วไปที่บรรยายแล้ว เมื่อดัดท่อได้ตามต้องการและปล่อยให้เย็นตัวแล้วจึงคลายเกลียวออกจากข้อต่อที่ใช้เป็นด้ามดัดก็จะได้ชิ้นงานดัดท่อโค้งแบบปลายมีเกลียวตามต้องการ

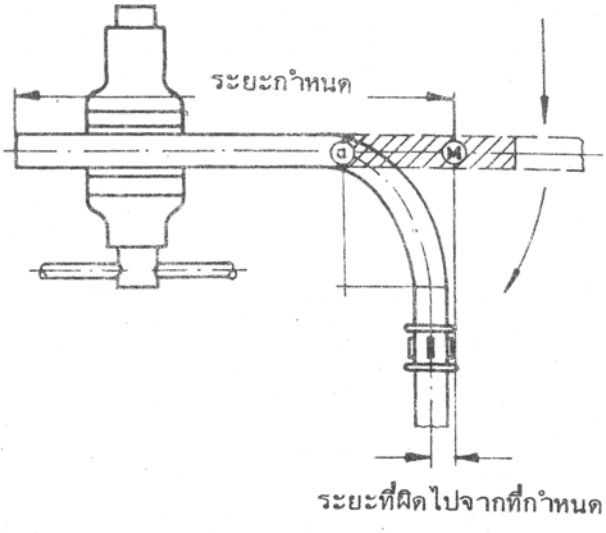


รูปที่ 2.31 จับชิ้นงานบนปากกาให้แน่น ช่วงเผาให้ความร้อนยื่นพ้นปลายปากกาเล็กน้อย เมื่อเผาให้ความร้อนสม่ำเสมอจนตลอดช่วงแล้วจึงเริ่มดัด ใช้แรงกระทำเป็นสองจุดคือผลักออกและดึงเข้าสวนทางกัน ณ ตำแหน่งดังรูป



รูปที่ 2.32

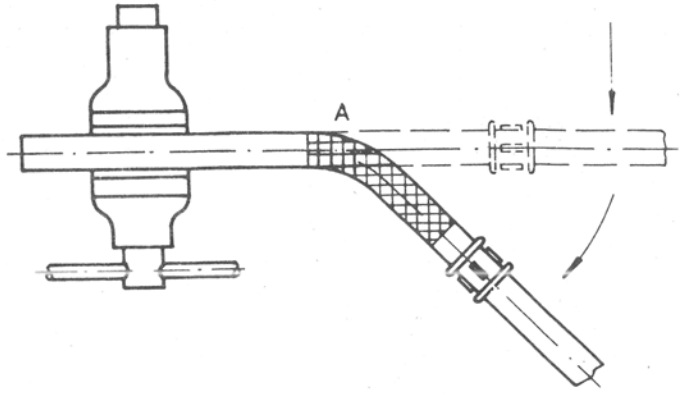
แรงผลักออกและแรงดึงเข้าให้ได้สัดส่วนกันดัดช้า ๆ จะสังเกตว่าบริเวณส่วนโค้ง จะมีลักษณะเป็นส่วนโค้งของเส้นรอบวงวงกลม-อย่างสมบูรณ์

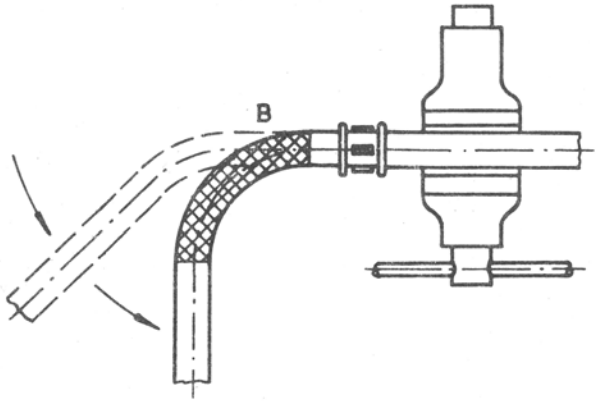


รูปที่ 2.33

หากใช้แรงดึงปลายท่อเพียงจุดเดียว โดยไม่ผลักสวนทางไว้ ส่วนโค้งจะเป็นรอยหัก ไม่โค้งในลักษณะที่เป็นรัศมีหรือส่วนโค้งของวงกลม นอกจากนั้นระยะที่กำหนดไว้จากปลายด้านหนึ่งจะผิดไปจากที่กำหนดด้วย

รูปที่ 2.34
สำหรับท่อที่แข็งมาก ๆ ครั้งแรกให้ใช้แรงดัดเบา ๆ ที่ปลายจุดเดียว-ขณะนี้เฉพาะความยาวประมาณ $\frac{1}{3}$ ของความยาวส่วนโค้งทั้งหมดจะเริ่มโค้ง ณ จุด ดัดให้ทำมุมประมาณ 30 องศาก่อน





รูปที่ 2.35
คลายปากกาเปลี่ยนมาจับท่ออีกปลายหนึ่งแล้วดัด ขณะนี้ท่อจะเริ่มโค้งที่จุด B ต่อเนื่องกันไปจากจุด A ที่ดัดไว้แต่ครั้งแรก จนมีลักษณะเป็นส่วนโค้งวงกลมตามต้องการ

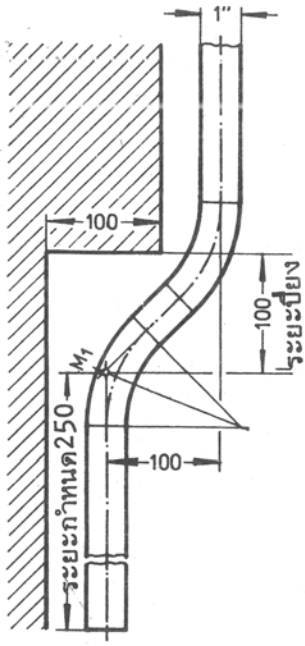
2.10 งานดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์

งานเดินท่อในบางครั้งจำเป็นต้องเดินหลบสิ่งกีดขวาง เช่น เสา คาน แง่มุมของผนัง ซึ่งต้องเดินท่อเบี่ยงไปจากแนวเดิม ในกรณีเช่นนี้อาจดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์

งานดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์ใช้หลักการของการดัดท่อมุม 45 องศาสองช่วง แต่ละช่วงดัดส่วนทางกัน จะสามารถดัดให้ได้ระยะเบี่ยงตามต้องการ อาจเป็นการดัดท่อมุม 45 องศา โดยกำหนดรัศมีความโค้ง หรือถ้าไม่จำเป็นต้องกำหนดรัศมีความยาวส่วนโค้งซึ่งจะต้องเผาให้ความร้อนนั้น มักจะให้ยาวเป็น 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดนอกของท่อนั้น ๆ

ตัวอย่าง 2.7

จงอธิบายลำดับขั้นการดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์ โดยใช้ท่อขนาด 1 นิ้ว มีระยะเบี่ยง 100 มิลลิเมตร และกำหนดความยาวจากปลายท่อด้านล่างถึงกึ่งกลางความโค้งจุดตัดที่ลากเส้นต่อจากแนวแกนท่อมาตัดกัน (จุด M_1) 250 มิลลิเมตร และกำหนดช่วงเผา

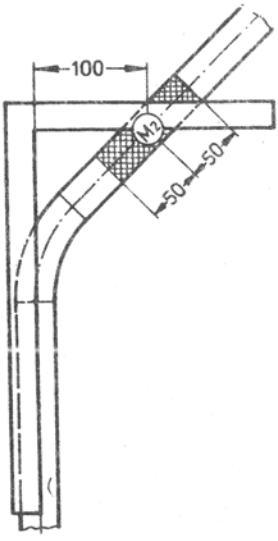


รูปที่ 2.36

งานดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์ ตามตัวอย่าง 2.7 สังเกตจุดกึ่งกลางความโค้งในแนวที่ลากเส้นต่อจากแนวแกนท่อมาตัดกัน (จุด M_1) ซึ่งเป็นจุดที่ใช้วัดระยะกำหนด

กำหนดช่วงเผา

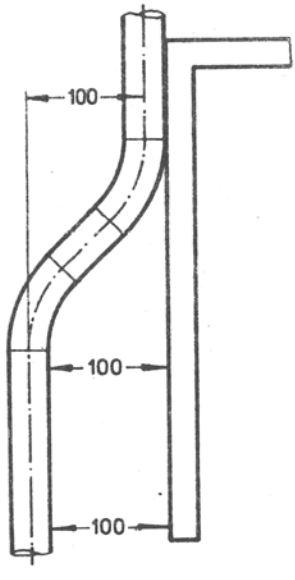
1. จากปลายท่อด้าน A วัดระยะไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง ให้ได้ความยาวตามกำหนด (250 มม) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_1
2. เนื่องจากไม่กำหนดรัศมีความโค้ง จึงให้ความยาวส่วนโค้งเป็น 3 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อวัดนอก (33 มม.) จะได้ความยาวส่วนโค้ง ~ 100 มิลลิเมตร
3. จากจุด M_1 วัดระยะออกไปทั้งสองข้าง ข้างละ 50 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายไว้ แล้วเผาให้ความร้อนดัดมุม 45 องศา
4. เมื่อดัดโค้งมุม 45 องศาช่วงแรกเสร็จแล้ว ให้นำมาวัดหาจุดศูนย์กลางความโค้งช่วงสอง โดยใช้เหล็กฉากทาบกับชิ้นงาน ดังรูป 2.35 ให้ได้ระยะเบี่ยง 100 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_2



รูปที่ 2.37

การวัดระยะหาจุดศูนย์กลางความโค้งช่วงสอง (จุด M_2) ของงานดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์ โดยใช้เหล็กฉากทาบกับชิ้นงานที่ดัดโค้งช่วงแรกแล้ว เมื่อกำหนดระยะเบี่ยง 100 มิลลิเมตร

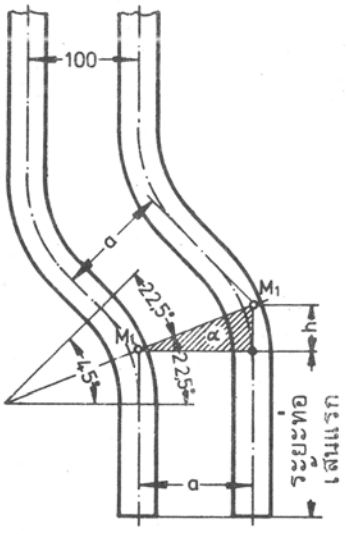
5. จากจุด M_2 วัดระยะออกไปทั้งสองข้าง ข้างละ 50 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายไว้ แล้วเผาให้ความร้อนดัดมุม 45 องศา เมื่อดัดท่อช่วงสองเสร็จแล้วจะได้ชิ้นงานซึ่งมีลักษณะและขนาดที่ต้องการ ดังรูป 2.38



รูปที่ 2.38

วิธีตรวจสอบระยะเบี่ยงของชิ้นงานเมื่อดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์

ถ้าเป็นงานดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์สองท่อหรือมากกว่าให้ขนานกัน หลักการดัดท่อสามารถปฏิบัติตามที่บรรยายแล้วนี้ แต่การกำหนดช่วงเผาซึ่งวัดระยะจากปลายท่อด้านที่กำหนดตามข้อ 1 ของท่อขนานเส้นถัดไป จะต้องเพิ่มระยะเผื่อ (ระยะ h) ไว้ด้วย ทั้งนี้เพราะส่วนโค้งของท่อขนานเส้นถัดไปนั้นจะต้องสูงขึ้นเพื่อหลบส่วนโค้งของท่อเส้นแรกตามลำดับ ดังรูป 2.39



รูปที่ 2.39
งานดัดท่อโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์ขนานกัน สังเกตส่วนโค้งของท่อเส้นถัดไปจะสูงขึ้นตามลำดับเท่ากับระยะเผื่อ (ระยะ h) และช่วงห่างระหว่างท่อแต่ละเส้น (ระยะ a)

การหาระยะเผื่อ (ระยะ h) ของท่อเส้นถัดไป จะต้องรู้ช่วงห่างระหว่างท่อแต่ละเส้น (ระยะ a) เพื่อจะได้นำมาคำนวณโดยใช้หลักการของสามเหลี่ยมมุมฉาก

$$\text{tangent มุม } \alpha = \frac{\text{ด้านตรงข้ามมุม } \alpha}{\text{ด้านประชิดมุม } \alpha}$$

ในที่นี้ ด้านตรงข้ามมุม α = ระยะเผื่อ (ระยะ h)
ด้านประชิดมุม α = ช่วงห่างระหว่างท่อแต่ละเส้น (ระยะ a)
tangent มุม α = ค่าของมุมเปิดดูได้จากตาราง

ค่าของมุม α จะเท่ากับ 22.5 องศา (ครึ่งหนึ่งของมุม 45 องศา) และ tangent มุม 22.5 องศา จะมีค่า 0.415 เสมอ ดังนั้น

ระยะเผื่อ (ระยะ h) = 0.4 × ช่วงห่างระหว่างท่อแต่ละเส้น = 0.4 × a

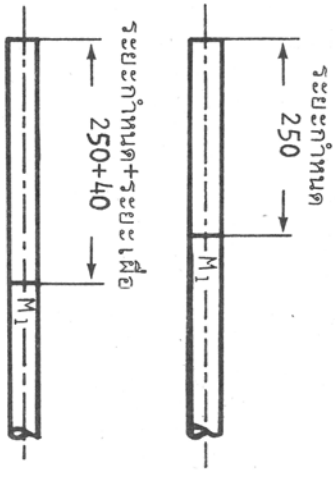
จากรูป 2.39 ช่วงห่างระหว่างท่อคู่ขนาน (a) 100 มิลลิเมตร และคัดโค้งเบี่ยงแบบคอหงษ์ ซึ่งมีมุมโค้ง 45 องศา ดังนั้น ระยะเผื่อ (ระยะ h) จะคำนวณได้จากสูตร

ระยะเผื่อ (ระยะ h) = 0.4 × a

= 0.4 × 100

= 40 มม.

การคัดท่อขนานเส้นที่สองจะต้องวัดระยะจากปลายด้านที่กำหนด 250 มิลลิเมตร รวมกับค่าระยะเผื่อ 40 มิลลิเมตร กำหนดให้เป็นจุด M_1 ต่อจากนั้นจึงคัดท่อไปตามลำดับเช่นเดียวกับการคัดท่อเส้นแรกที่บรรยายแล้ว

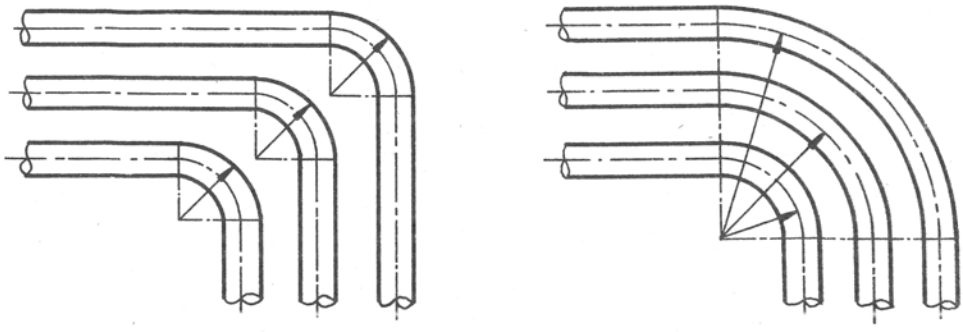


รูปที่ 2.40

การวัดระยะกำหนดท่อขนานแต่ละเส้น

2.11 งานดัดท่อโค้งสำหรับท่อขนานกันหลายเส้น

งานเดินท่อที่ต้องเดินท่อขนานกันหลาย ๆ เส้น เมื่อจำเป็นต้องดัดโค้ง อาจดัดท่อบริเวณส่วนโค้งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ใช้รัศมีความโค้งเท่ากันและใช้จุดศูนย์กลางความโค้งร่วมกัน



รูปที่ 2.41 งานดัดท่อโดยใช้รัศมีความโค้งเท่ากัน (ซ้าย) และงานดัดท่อ โดยใช้จุดศูนย์กลางความโค้งร่วมกัน (ขวา)

2.11.1 ท่อที่ใช้รัศมีความโค้งเท่ากัน

งานเดินท่อลักษณะนี้ส่วนโค้งจะมีรัศมีความโค้งเท่ากันทุกเส้น และความยาวส่วนโค้งจะเท่ากันทั้งหมด ไม่ว่าจะมีท่อจำนวนเท่าใดก็ตาม ท่อแต่ละเส้นจะมีจุดศูนย์กลางความโค้งแยกจากกันคนละจุด นอกจากนี้ระยะกำหนดจากปลายท่อถึงจุดเริ่มต้นความโค้งจะแตกต่างกันด้วย

ตัวอย่าง 2.8

ท่อขนาน 3 เส้น ต้องการดัดโค้งมุม 90 องศา โดยใช้รัศมีความโค้ง 100 มิลลิเมตร เท่ากัน ระยะห่างระหว่างท่อแต่ละเส้น 120 มิลลิเมตร กำหนดให้จุดเริ่มต้นโค้งท่อแรกห่างจากปลายท่อ 180 มิลลิเมตร จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผา

ท่อเส้นที่ 1

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20}$

$= 157.5$ มม.

กำหนดช่วงเผา

1. จากปลายท่อที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 300 มิลลิเมตร (180 +120)ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จากจุด M วัดระยะย้อนกลับมาทางปลายท่อที่กำหนดให้ได้ความยาวเท่ากับรัศมีความโค้ง (100 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด a
3. จากจุด a วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด M ให้ระยะเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณได้ (157.5 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด b
4. ระยะจากจุด a ถึงจุด b เป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อน เพื่อดัดโค้งตามต้องการ

ท่อเส้นที่ II

ความยาวส่วนโค้งจะเท่ากับความยาวส่วนโค้งของท่อเส้นที่ 1 คือ 157.5 มิลลิเมตร

กำหนดช่วงเผา

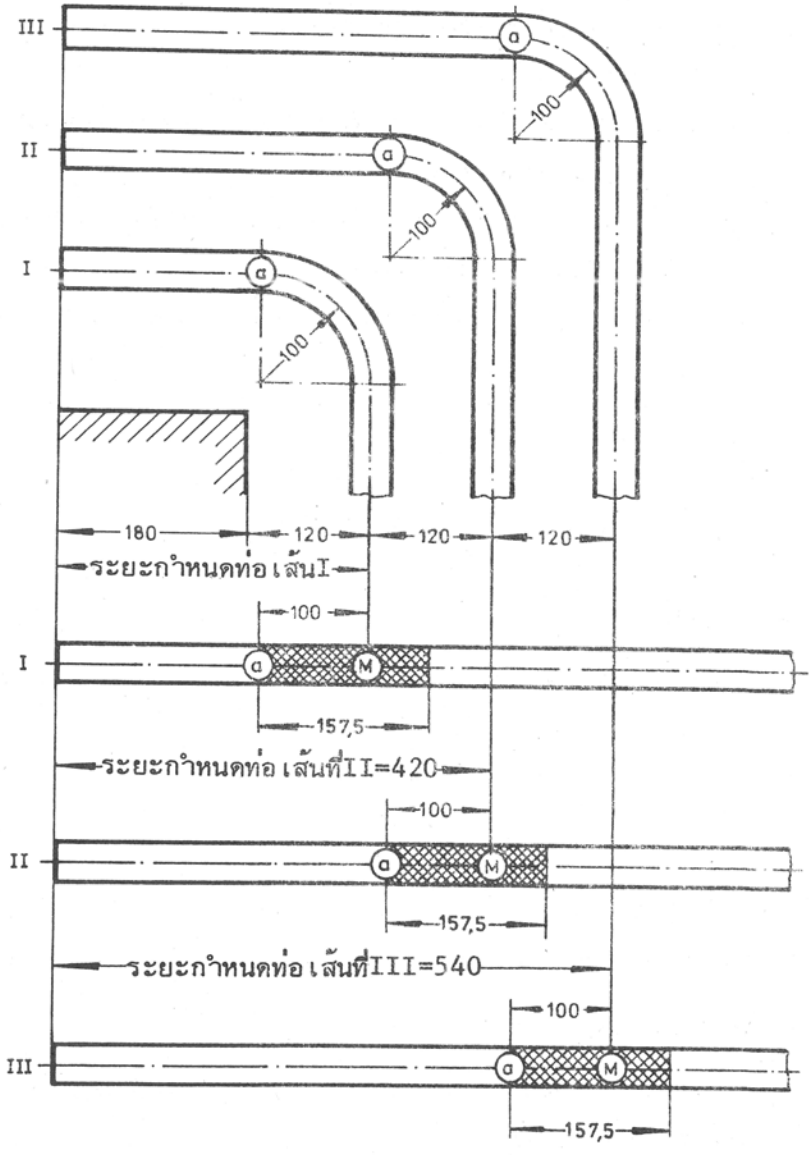
1. จากปลายท่อที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 420 มิลลิเมตร (300 + 120) ทำ - เครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. ขั้นต่อไปดำเนินการเช่นเดียวกับท่อเส้นที่ 1

ท่อเส้นที่ III

ความยาวส่วนโค้งจะเท่ากับความยาวส่วนโค้งของท่อเส้นที่ 1 และเส้นที่ 2 คือ 157.5 มิลลิเมตร

กำหนดช่วงเผา

1. จากปลายท่อที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 540 มิลลิเมตร (420+ 120) ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด M
2. ขั้นต่อไปดำเนินการ เช่นเดียวกับท่อเส้นที่ 1 และเส้นที่ 2 จะได้ชิ้นงานตามต้องการ



รูปที่ 2.42 การกำหนดช่วงเผางานดัดโค้งมุม 90 องศา ท่อชนาน
ที่ใช้รัศมีความโค้งเท่ากัน ตามตัวอย่าง 2.8

2.11.2 ท่อที่ใช้จุดศูนย์กลางความโค้งร่วมกัน

งานเดินท่อลักษณะนี้จะใช้จุดศูนย์กลางความโค้งจุดเดียวกัน ดังนั้นรัศมีความโค้ง และความยาวส่วนโค้งของท่อแต่ละเส้นจะแตกต่างกัน

ตัวอย่าง 2.9

ท่อขนาน 3 เส้น ต้องการดัดโค้งมุม 90 องศา โดยใช้จุดศูนย์กลางความโค้งร่วมกันกำหนดให้ระยะห่างจากผนังถึงศูนย์กลางท่อและระหว่างท่อแต่ละเส้น 120 มิลลิเมตรเท่ากัน ท่อเส้นแรกซึ่งอยู่ด้านในสุดมีรัศมีความโค้ง 100 มิลลิเมตร ปลายท่อทั้ง 3 เส้นอยู่ห่างจากจุดเริ่มต้นความโค้ง 180 มิลลิเมตร จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผา

ท่อเส้นที่ 1

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา} = r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$$

$$= 100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20}$$

$$= 157.5 \text{ มม.}$$

กำหนดช่วงเผา

- ปลายท่อด้านที่กำหนดห่างจากจุดเริ่มต้นความโค้ง 180 มม.
- ระยะห่างจากผนังถึงศูนย์กลางท่อเส้นที่ 1 120 มม.
- ระยะห่างจากปลายท่อถึงศูนย์กลางท่อเส้นที่ 1 เมื่อดัดแล้ว 180 + 120 = 300 มม.

1. จากปลายท่อที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 300 มิลลิเมตร (180+120) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จากจุด M วัดระยะย้อนกลับมาทางปลายท่อที่กำหนดให้ได้ความยาวเท่ากับรัศมีโค้ง(100 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด a
3. จากจุด a วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด M ให้ระยะเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณได้ (157.5 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด b
4. ระยะจากจุด a ถึงจุด b เป็นช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดโค้งตามต้องการ

ท่อเส้นที่ II

- รัศมีความโค้ง 220 มิลลิเมตร (100 + 120)

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 220 \times 1.5 + \frac{220 \times 1.5}{20}$

$= 346.5$ มม.

กำหนดช่วงเผา

1. จากปลายท่อที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 420 มิลลิเมตร (300 + 120) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. ขั้นต่อไปดำเนินการเช่นเดียวกับท่อเส้นที่ 1 แต่ใช้รัศมีความโค้ง 220 มิลลิเมตรและความยาวส่วนโค้ง 346.5 มิลลิเมตร

ท่อเส้นที่ III

- รัศมีความโค้ง 340 มิลลิเมตร (220 + 120)

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

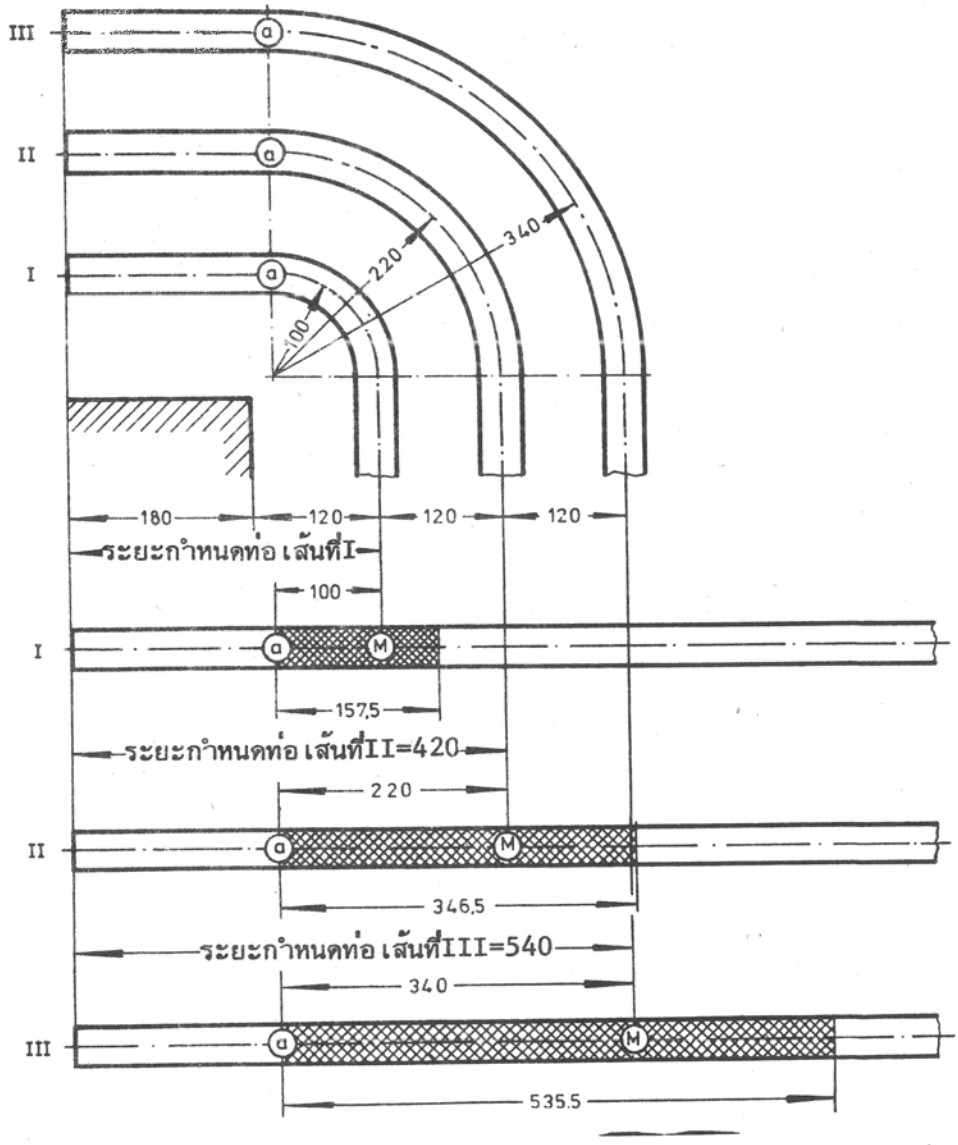
$= 340 \times 1.5 + \frac{340 \times 1.5}{20}$

$= 535.5$ มม.

กำหนดช่วงเผา

1. จากปลายท่อที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 540 มิลลิเมตร (420 + 120) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. ขั้นต่อไปดำเนินการเช่นเดียวกับท่อเส้นที่ 1 และเส้นที่ 2 แต่ใช้รัศมีความโค้ง 340 มิลลิเมตร และความยาวส่วนโค้ง 535.5 มิลลิเมตร จะได้ชิ้นงานตามต้องการ

จะสังเกตเห็นว่าจุดเริ่มต้นความโค้งของท่อทั้ง 3 เส้น มีระยะห่างจากปลายท่อด้านที่กำหนด 200 มิลลิเมตรเท่ากัน แต่ความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผาจะแตกต่างกันตามรัศมีความโค้งของท่อแต่ละเส้น



รูปที่ 2.43 การกำหนดช่วงเผางานดัดโค้งมุม 90 องศา ท่อชนานที่ใช้จุดศูนย์กลางความโค้งร่วมกัน

งานดัดท่อโดยใช้จุดศูนย์กลางความโค้งร่วมกัน สำหรับท่อเส้นที่ใช้รัศมีความโค้งสั้นที่สุดนั้น จะดัดท่อได้โดยไม่มีข้อยุ่งยากแต่อย่างใด ส่วนท่อเส้นถัดออกไปซึ่งมีรัศมีความโค้ง และความยาวส่วนโค้งยาวกว่าท่อเส้นแรกนั้น จะเห็นว่ามีลักษณะความโค้งสวยงามดี แต่ในทางปฏิบัติจะดัดโค้งได้ยากขึ้นตามลำดับ

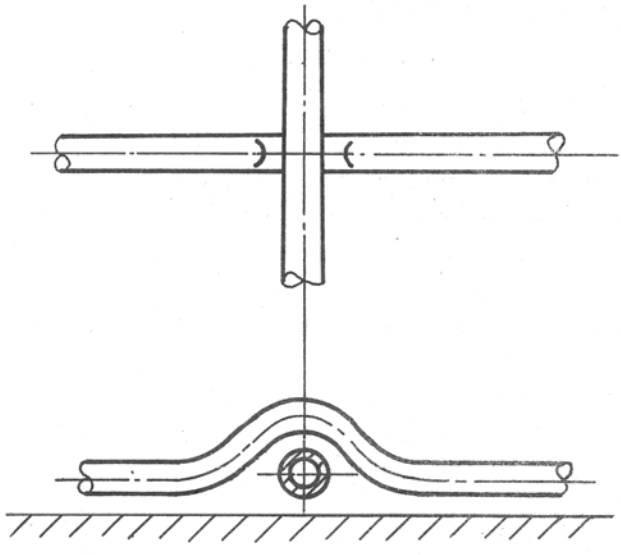
ในทางปฏิบัติงานดัดท่อซึ่งขนานกันหลายเส้นโดยใช้จุดศูนย์กลางความโค้งร่วมกัน นิยมใช้กับท่อขนาดโตไม่เกิน $1\frac{1}{4}$ นิ้ว และจำนวนท่อขนานซึ่งจะดัดโค้งร่วมกันไม่มากนัก มิฉะนั้นความยาวส่วนโค้งซึ่งเป็นส่วนที่จะต้องเผาให้ความร้อนจะยาวมาก ไม่สะดวกในการให้ความร้อนและการดัด

งานดัดท่อที่มีรัศมีความโค้งกว้างอาจทำแบบสำหรับใช้วัดส่วนโค้งในขณะดัด โดยใช้แผ่นโลหะบางดัดให้เท่ากับส่วนโค้งด้านในสุดของท่อ เพื่อใช้หาบวัดกับท่อที่ดัดโค้งนั้นหรือใช้วิธีเขียนส่วนโค้งท่อที่ต้องการดัด ให้ได้ขนาดเท่ากับส่วนโค้งด้านในสุดของท่อลงบนพื้นหรือแผ่นโลหะ แล้วนำท่อที่กำลังดัดวัดทาบลงบนส่วนโค้งที่เขียนไว้แล้วนั้นเพื่อปรับแต่งให้ได้ส่วนโค้งตามต้องการ

งานดัดท่อโค้งสำหรับท่อที่ขนานกันหลายเส้นทั้ง 2 วิธีที่อธิบายแล้วนั้น มีข้อดีข้อเสียต่างกัน วิธีแรกจะเห็นว่าความยาวส่วนโค้ง หรือระยะเผาจะเท่ากันทั้งหมดไม่ว่าจะมีท่อจำนวนเท่าใดก็ตาม ส่วนการกำหนดช่วงเผาจะต่างกันไป วิธีที่สองความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผาจะยาวเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่จุดเริ่มต้นส่วนโค้งหรือจุดเริ่มต้นระยะเผาจะห่างจากปลายท่อด้านที่กำหนดเท่ากันทั้งหมดไม่ว่าจะมีท่อจำนวนเท่าใดก็ตาม และวิธีที่สองนี้ไม่นิยมใช้กับท่อขนาดใหญ่ หรืองานเดินท่อขนานจำนวนมาก เพราะความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผาจะยาวเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะยาวมากจนไม่สะดวกในการเผาให้ความร้อนและดัดโค้ง

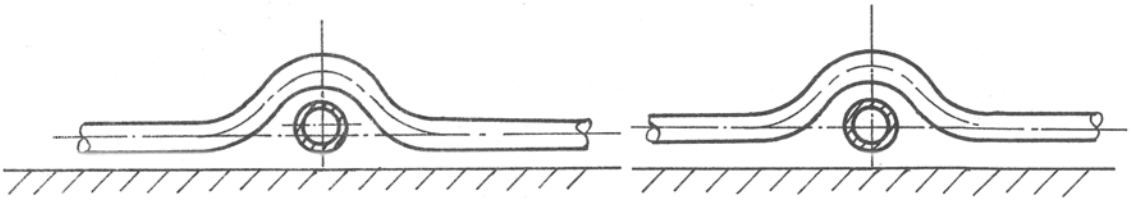
2.12 งานดัดท่อโค้งข้ามท่อ

งานเดินท่อซึ่งยึดติดไปกับผนังบางครั้งจำเป็นต้องเดินท่อไขว้กัน กรณีเช่นนี้จะต้องดัดท่อเส้นหนึ่งข้ามท่ออีกเส้นหนึ่งซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.44 ท่อส่วนที่ดัดโค้งข้ามท่ออีกเส้นหนึ่งนั้นจะมีส่วนโค้ง 2 ลักษณะ คือ ส่วนโค้งมุม 90 องศาตรงกลาง และส่วนโค้งมุม 45 องศา ต่อเนื่องไปทั้งสองข้าง



รูปที่ 2.44 งานดัดท่อโค้งข้ามท่อ

งานดัดท่อโค้งข้ามท่อมีลักษณะของส่วนโค้งและการเดินท่อเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่งานเดินท่อที่ให้ผิวท่อห่างจากผนังเท่ากัน และงานเดินท่อที่ให้ศูนย์กลางท่ออยู่ห่างจากผนังเท่ากัน ถ้าขนาดท่อทั้งสองที่ไขว้กันนั้นไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 งานดัดท่อโค้งข้ามท่อโดยให้ผิวท่ออยู่ห่างจากผนังเท่ากัน (ซ้าย) และศูนย์กลางท่ออยู่ห่างจากผนังเท่ากัน (ขวา)

2.12.1 งานดัดท่อโค้งข้ามท่อโดยให้ผิวท่ออยู่ห่างจากผนังเท่ากัน

รัศมีความโค้งมุม 90 องศา (r) = $D + \frac{d}{2} + a$

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา = $r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา = ความยาวรัศมีความโค้งมุม 90 องศา

เมื่อกำหนด r = รัศมีความโค้งมุม 90 องศา

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่ถูกดัดข้าม

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่ดัดข้าม

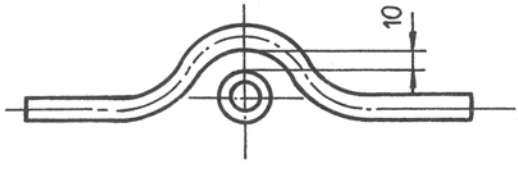
a = ระยะห่างระหว่างผนังท่อด้านนอกของท่อที่ถูกดัดข้ามและท่อที่ดัดข้าม ณ จุดกึ่งกลางส่วนโค้งหลบ

ลำดับขั้นการตัดท่อมีดังนี้

1. คำนวณหารัศมีความโค้งมุม 90 องศา
2. คำนวณหาความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา
3. นำความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา ที่คำนวณได้ไปวัดถ่ายขนาดบนชิ้นงานแล้วตัดโค้งมุม 90 องศา ให้เรียบร้อย
4. วัดหาระยะจุดกึ่งกลางมุม 45 องศา ทั้งสองข้าง
5. นำความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศาวัดบนชิ้นงานแล้วตัดโค้งมุม 45 องศาให้เรียบร้อยทีละข้าง ทั้งสองข้าง
6. ปรับแต่งเล็กน้อยให้ได้ชิ้นงานตามต้องการ

ตัวอย่าง 2.10

ต้องการตัดท่อขนาด 3/4 นิ้ว ยาว 800 มิลลิเมตร ข้ามท่อขนาด $1\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยให้มีระยะห่างระหว่างผนังท่อด้านนอก ณ จุดกึ่งกลางความโค้งที่ตัดข้ามนั้น 10 มิลลิเมตร และส่วนโค้งอยู่กึ่งกลางความยาวท่อ 3/4 นิ้ว จงแสดงวิธีคำนวณและกำหนดช่วงเผา



รูปตามตัวอย่าง 2.10

ท่อขนาด 3/4 นิ้ว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกได้ 28 มิลลิเมตร
ท่อขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกได้ 42 มิลลิเมตร

หารัศมีโค้งและความยาวส่วนโค้ง

รัศมีความโค้งมุม 90 องศา (r) $= D + \frac{d}{2} + a$

$= 42 + \frac{28}{2} + 10$

$= 66$ มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 66 \times 1.5 + \frac{66 \times 1.5}{20}$

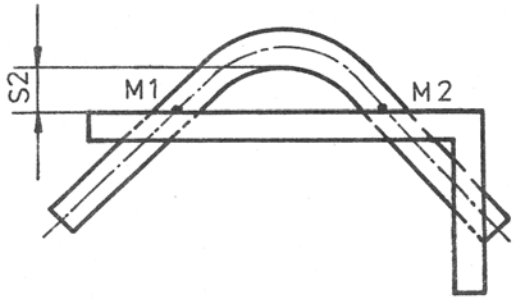
$= 104$ มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา = รัศมีความโค้งมุม 90 องศา

= 66 มม.

กำหนดช่วงเยา

1. แบ่งครึ่งความยาวท่อ 3/4 นิ้ว ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จากจุด M วัดความยาวออกไปข้างละครึ่งหนึ่งของความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา (52 มม.) ทำเครื่องหมายไว้แล้ว ดัดโค้งมุม 90 องศา ให้เรียบร้อย
3. หาจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 45 องศา โดยใช้ฉากวางบนส่วนโค้งชิ้นงานมุม 90 องศา ที่ดัดไว้แล้ว วัดระยะห่างจากจุดกึ่งกลางส่วนโค้งด้านในตามกำหนด (52 มม.) ให้มีระยะห่างมายังจุดกึ่งกลางของมุม 45 องศา ที่จะดัดเท่ากันทั้งสองข้างดังรูปที่ 2.46 ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_1 และ M_2

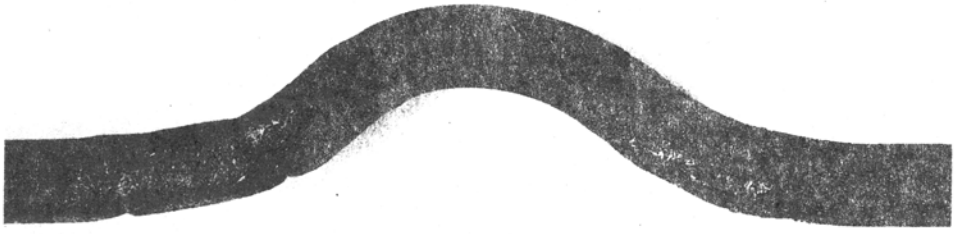


รูปที่ 2.46
การหาจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 45 องศา ทั้งสองข้าง

4. จากจุด M_1 วัดความยาวออกไปข้างละครึ่งหนึ่งของความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา (33 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ จากจุด M_2 ปฏิบัติเช่นเดียวกัน
5. ดัดโค้งมุม 45 องศา ให้เสร็จเรียบร้อยทีละข้าง ทั้งสองข้าง จะได้ชิ้นงานตามต้องการ

ข้อควรระวัง

1. เมื่อดัดโค้งมุม 45 องศา ณ จุด M_1 เสร็จแล้ว ต้องตรวจสอบขนาดและมุมให้ได้ตามต้องการแล้วจึงดัดโค้งมุม 45 องศา จุด M_2 ต่อไป
2. ฉากที่ใช้ต้องเป็นฉากสำหรับช่างท่อหรือฉากที่ทนความร้อนได้ ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก



รูปที่ 2.47 ลักษณะงานดัดโค้งมุม 45 องศา ที่ไม่ถูกต้องเผาชิ้นงานร้อนเป็นจุดไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้เกิดรอยยืดตัว ณ จุดที่ได้รับความร้อนมากเป็นจุด ๆ

การกำหนดช่วงเผาในกรณีที่กำหนดความยาวจากปลายท่อด้านหนึ่งมายังจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 90 องศา จะต้องคำนวณหาความยาวชดเชยที่สั้นเนื่องจากการดัดท่อมุม 45 องศา ดังนี้

$$\text{ช่วงสูงหลบ} = D + a$$

$$\text{ความยาวชดเชย (Z)} = \frac{\text{ช่วงสูงหลบ}}{4} = \frac{D + a}{4}$$

เมื่อกำหนด D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่ถูกดัดข้าม

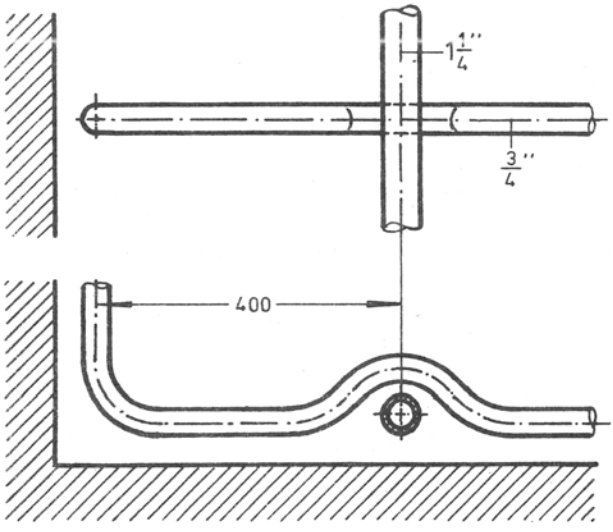
a = ระยะห่างระหว่างผนังท่อด้านนอกของท่อที่ถูกข้ามและท่อที่ดัดข้าม ณ จุดกึ่งกลางส่วนโค้งหลบ

เมื่อคำนวณหาค่าความยาวชดเชยแล้วจึงดัดท่อตามลำดับขั้น คือ

1. วัดความยาวจากปลายท่อด้านที่กำหนดให้ได้ระยะตามต้องการ ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด M'
2. จากจุด M' ให้บวกความยาวเพิ่มขึ้นเท่ากับค่าความยาวชดเชย ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด M
3. จุด M เป็นจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 90 องศา แล้วดัดท่อตามขั้นตอนที่ได้บรรยายแล้วตามปกติ

ตัวอย่าง 2.11

จากโจทย์ตัวอย่าง 2.10 ถ้าต้องการให้จุดกึ่งกลางส่วนโค้งที่หลบ (มุม 90 องศา) อยู่ห่างจากส่วนโค้งมุม 90 องศา ที่ดัดไว้แล้ว 400 มิลลิเมตร จงแสดงวิธีกำหนดช่วงเผา



รูปตามตัวอย่าง 2.11

จากตัวอย่าง 2.10

รัศมีความโค้งมุม 90 องศา	66	มิลลิเมตร
ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา	104	มิลลิเมตร
ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา	66	มิลลิเมตร

หาความยาวชดเชย

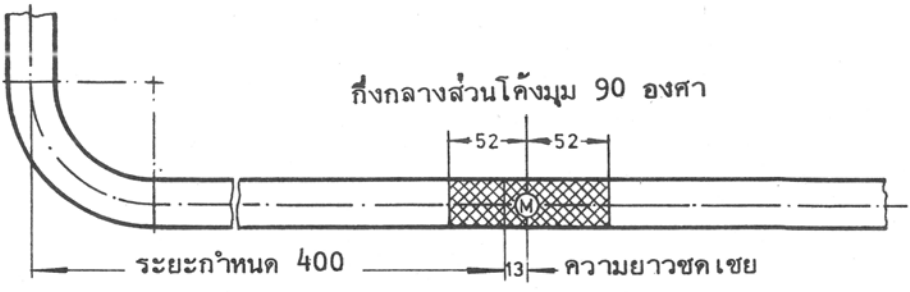
$$\text{ความยาวชดเชย } (Z) = \frac{D + a}{4}$$

$$= \frac{42 + 10}{4}$$

$$= 13 \text{ มม.}$$

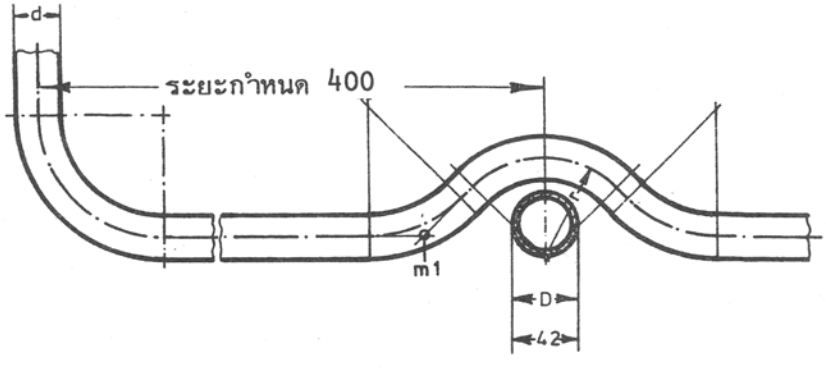
กำหนดช่วงเยา

1. ดัดท่อมุม 90 องศา ที่มุมผนัง (โค้ง A) ให้เรียบร้อยก่อน
2. จากโค้ง A วัดระยะไปยังปลายด้านที่กำหนดให้ได้ความยาวตามที่กำหนดรวมกับค่าชดเชย (400 +13 =413 มม.) กำหนดเป็นจุด M ดังรูปที่ 2.48



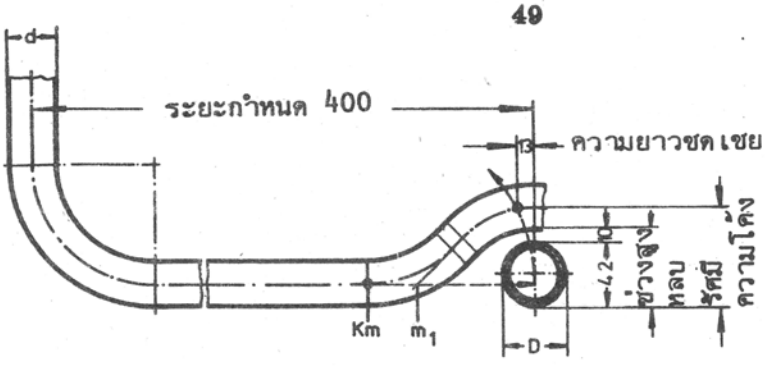
รูปที่ 2.48 ระยะกำหนดบวกความยาวชดเชย ซึ่งวัดจากศูนย์กลางท่อของส่วนโค้ง ไปยังจุดกึ่งกลางส่วนโค้งหลบ

3. จุด M เป็นจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 90 องศา ซึ่งเป็นส่วนโค้งหลบ
4. ดัดท่อตามขั้นตอนที่ได้บรรยายไว้แล้วตามปกติ

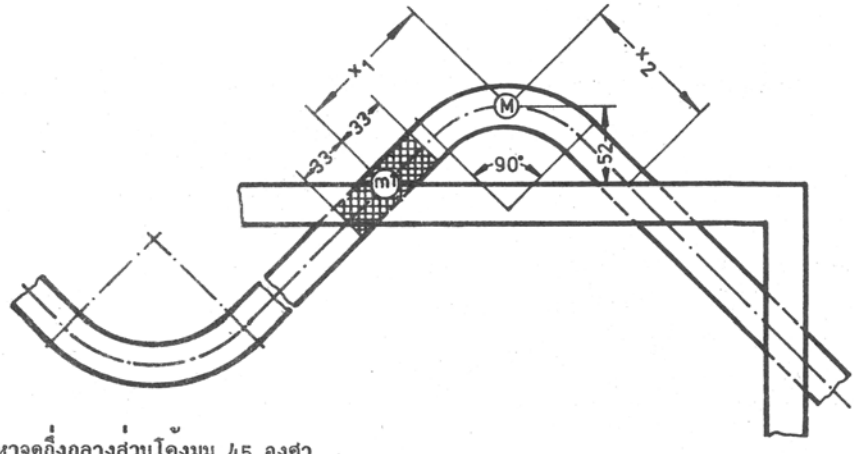


รูปที่ 2.49 การหาความยาวรัศมีความโค้งมุม 90 องศา (r) หรือความสูงหลบ

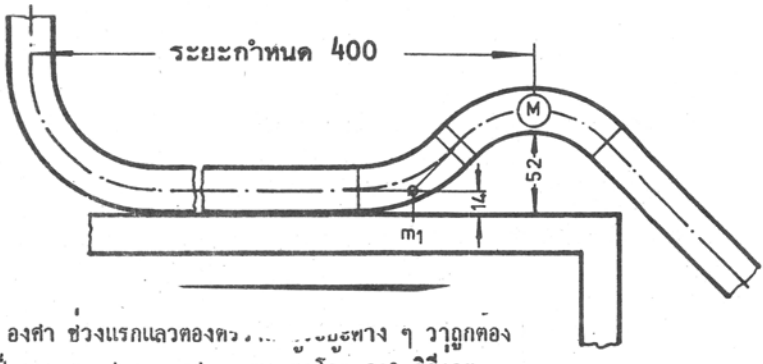
$$r = D + a + \frac{d}{2} = 42 + 10 + \frac{28}{2} = 66 \text{ มม.}$$



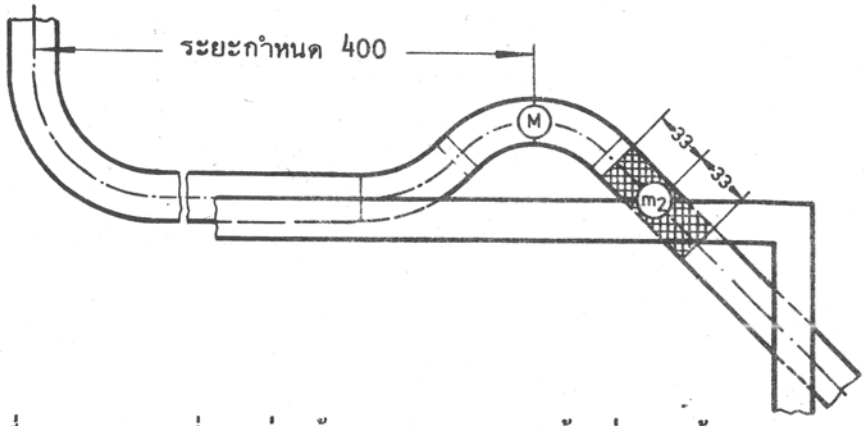
รูปที่ 2.50 แสดงค่าความยาวชดเชยที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจริงภายหลังดัดโค้ง 90 องศา และดัดโค้งโค้ง 45 องศา แล้ว



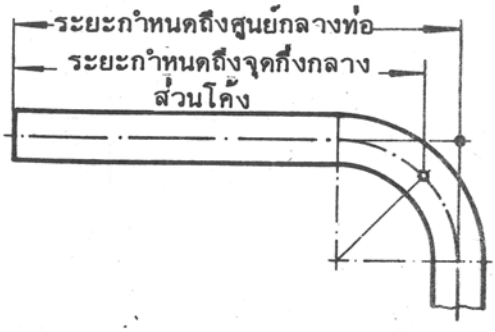
รูปที่ 2.51 การหาจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 45 องศา โดยใช้ฉากประกอบทีละด้าน $x_1 = x_2$



รูปที่ 2.52 เมื่อดัดโค้ง 45 องศา ช่วงแรกแล้วต้องตรวจสอบระยะต่าง ๆ ว่าถูกต้องหรือไม่ ในรูปเป็นการตรวจสอบความสูงหลบของขอโค้ง 90° วิธีง่าย ๆ โดยวัดระยะจากส่วนโค้งด้านในถึงผนังทอยางที่ดัดโค้ง 45° แล้ว



รูปที่ 2.53 การหาจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 45 องศา ของขาอีกข้างหนึ่ง โดยใช้ฉากประกอบและวัดเทียบจากแนวศูนย์กลางท่อข้างที่ดัดโค้ง 45 องศาช่วงแรก



รูปที่ 2.54

วิธีวัดระยะกำหนดจากปลายท่อมายังจุดกึ่งกลางส่วนโค้ง หรือวัดระยะกำหนดจากปลายท่อมายังแนวศูนย์กลางท่อที่ดัดโค้ง - เสร็จแล้ว ซึ่งทั้งสองลักษณะนี้ต้องไม่ปะปนกัน

2.12.2 งานดัดท่อโค้งข้ามท่อโดยให้ศูนย์กลางท่อห่างจากผนังเท่ากัน

งานดัดท่อลักษณะนี้ศูนย์กลางของท่อทั้งสองที่ไขว้กันนั้น จะอยู่ห่างจากผนังเท่ากัน แต่ผนังท่อด้านนอก(ผิวท่อ) จะอยู่ห่างจากผนังไม่เท่ากัน การคำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของงานดัดท่อลักษณะนี้ จะเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อยดังนี้

ช่วงสูงหลบ (A)	=	$\frac{d}{2} + \frac{D}{2} + a$

$$\text{ความยาวชดเชย } (Z) = \frac{A}{4}$$

$$= \frac{\frac{d}{2} + \frac{D}{2} + a}{4}$$

$$\text{รัศมีความโค้งมุม 90 องศา } (r) = \frac{d}{2} + \frac{D}{2} + a + \frac{d}{2}$$

$$= d + \frac{D}{2} + a$$

หรือ

$$\text{รัศมีความโค้งมุม 90 องศา } (r) = A + \frac{d}{2}$$

เมื่อกำหนด

A = ช่วงสูงหลบ

Z = ความยาวชดเชย

r = รัศมีความโค้งมุม 90 องศา

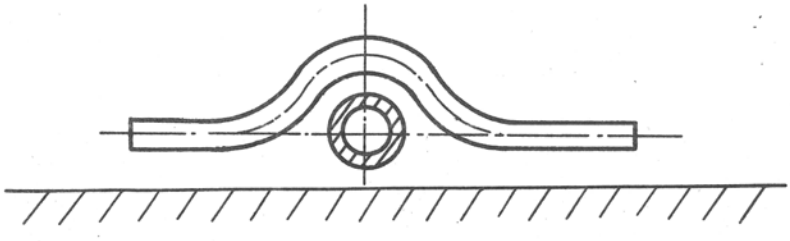
a = ระยะห่างระหว่างผนังท่อด้านนอกของท่อที่ถูกคัดข้ามและท่อที่คัดข้าม ณ จุดกึ่งกลางส่วนโค้งหลบ

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่ถูกคัดข้าม

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่คัดข้าม

ตัวอย่าง 2.12

ต้องการคัดท่อขนาด 3/4 นิ้ว ข้ามท่อขนาด $1\frac{1}{4}$ นิ้ว ให้มีระยะห่างระหว่างผนังท่อด้านนอก ณ จุดกึ่งกลางส่วนโค้งหลบ 10 มิลลิเมตร โดยให้ศูนย์กลางของท่อทั้งสองอยู่ห่างจากผนังเท่ากัน จงแสดงวิธีคำนวณและกำหนดช่วงเผา



รูปตามตัวอย่าง 2.12

คำนวณหาค่าต่าง ๆ

ช่วงสูงหลบ (A) $= \frac{d}{2} + \frac{D}{2} + a$

$= \frac{28}{2} + \frac{42}{2} + 10$

$= 45$ มม.

รัดมีความโค้งมุม 90 องศา $= \frac{d}{2} + \frac{D}{2} + a + \frac{d}{2}$

$= \frac{28}{2} + \frac{42}{2} + 10 + \frac{28}{2}$

$= 59$ มม.

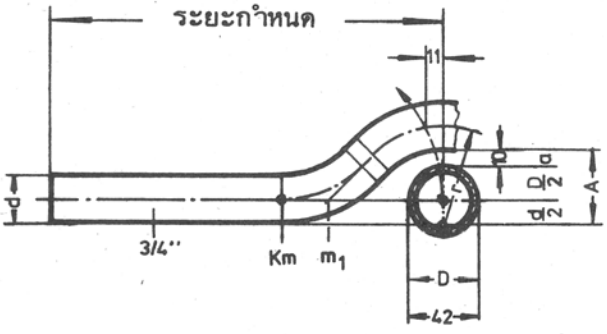
ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 59 \times 1.5 + \frac{59 \times 1.5}{20}$

≈ 93 มม.

ความยาวชดเชย (Z) $= \frac{A}{4}$

≈ 11 มม.



รูปที่ 2.55

การหาความยาวรัดมีความโค้งมุม 90 องศา (r) จากรูป

$r = \frac{d}{2} + \frac{D}{2} + a + \frac{d}{2}$

$= \frac{28}{2} + \frac{42}{2} + 10 + \frac{28}{2}$

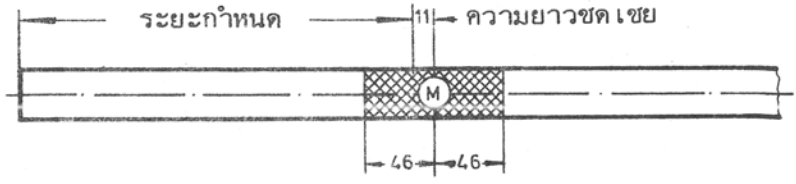
$= 59$ มม.

กำหนดช่วงเผา

1. จากปลายด้านที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายอีกด้านหนึ่งให้ได้ความยาวตามระยะกำหนดบวกกับความยาวชดเชย ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M
2. จุด M เป็นจุดกึ่งกลางส่วนโค้งมุม 90 องศา (ส่วนโค้งหลบ)
3. จากจุด M วัดระยะออกไปข้างละครึ่งหนึ่งของความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา (ข้างละ 46

มม.) ทำเครื่องหมายไว้ แล้วตัดโค้งมุม 90 องศา ให้เรียบร้อย

4. ตัดท่อช่วงต่อไปตามขั้นตอน เช่นเดียวกับงานตัดท่อที่ผิวท่อด้านนอกห่างจากผนังเท่ากัน ดังที่ได้บรรยายแล้ว จะได้ชิ้นงานตามต้องการ



รูปที่ 2.56 ช่วงเผาของงานตัดโค้งมุม 90 องศา จากปลายท่อจะวัดระยะเท่ากับระยะกำหนด บวกกับความยาวชดเชย ซึ่งจะได้จุดกึ่งกลางส่วนโค้ง (จุด M)

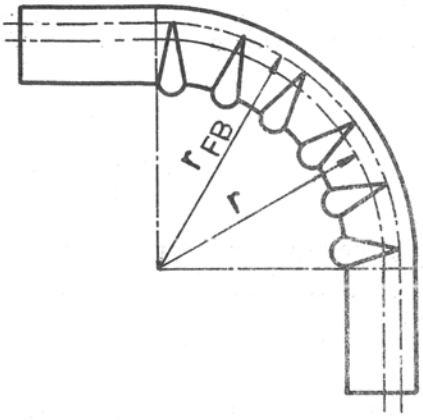
2.13 งานตัดท่อแบบจีบ

งานตัดท่อแบบจีบนิยมใช้กับท่อผนังบางขนาดใหญ่ที่ต้องการดัดโค้งเป็นมุมต่าง ๆ เทคนิคในงานตัดจะยุ่งยากกว่างานตัดท่อทั่วไปที่บรรยายแล้ว ทั้งนี้เพราะท่อผนังบางไม่สามารถดัดให้มีผิวเรียบได้ตลอดความโค้ง โดยท่อมีพื้นที่หน้าตัดกลมเช่นเดียวกับท่อผนังหนาทั่วไป การตัดท่อแบบจีบไม่ต้องบรรจุทรายไว้ภายในท่อ การเผาให้ความร้อนต้องเผาเป็นจุด ๆ ตามที่คำนวณไว้ แล้วดัดเรียงไปตามลำดับทีละจุด เมื่อดัดเสร็จแล้วแต่ละจุดที่เผาให้ความร้อนจะเป็นรอยย่นนูนออกมามีลักษณะเป็นจีบ ๆ เรียงกันไป

งานตัดท่อโดยใช้ความร้อนทั่ว ๆ ไปผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านนอกจะยืดตัวออก ผนังท่อบริเวณส่วนโค้งด้านในจะอัดตัวสั้นเข้า (ดูรายละเอียดหน้า 11) ส่วนด้านข้างบนและข้างล่างส่วนโค้งความยาวจะคงที่ ความยาวของผนังท่อส่วนที่ยืดออกและส่วนที่อัดตัวเข้าจะใกล้เคียงกัน ดังนั้นแนวศูนย์กลางจึงอยู่ที่กึ่งกลางท่อเช่นเดิม ส่วนงานตัดท่อแบบจีบขณะเผาให้ความร้อนจะเผาเป็นจุด ๆ แต่ละจุดเผามีลักษณะเป็นรูปลิ่ม โดยให้ช่วงระยะเผาเท่ากับความกว้างของรอยจีบ ผนังท่อด้านในจะจีบตัวย่นเป็นรอยนูนออกมา ทำให้สั้นลงจากเดิมขณะเดียวกันผนังท่อด้านนอกจะยืดตัวออกเล็กน้อย ความยาวของผนังท่อส่วนโค้งด้านในที่ย่นเป็นรอยจีบนี้จะยาวกว่าความยาวของผนังท่อส่วนโค้ง-ด้านนอกที่ยืดตัวออก ดังนั้นแนวแกนท่อ neutral axis[1] จึงไม่อยู่ที่กึ่งกลางท่อเช่นเดิม แต่จะอยู่ค่อนไปทางส่วนโค้งด้านนอกประมาณ 1/4 ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อนั้น ๆ ดังรูป 2.57

---

[1] แนวแกนท่อที่ไม่ยืดหรือหดตัวเลยและความเค้นที่แกนนั้นเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.57 ลักษณะงานตัดท่อแบบจีบ

เนื่องจากตำแหน่งแนวแกนท่อเปลี่ยนไป ดังนั้นการคำนวณหาความยาวส่วนโค้งจึงเปลี่ยนไปจากงานตัดท่อทั่ว ๆ ไปเล็กน้อยในส่วนของรัศมีความโค้งที่นำมาใช้คำนวณ เพราะรัศมีนี้จะยาวมากกว่ารัศมีของงานตัดท่อลักษณะอื่น ๆ

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา} = \left(r + \frac{d}{4}\right) \times 1.5 + \frac{\left(r + \frac{d}{4}\right) \times 1.5}{20}$$

เมื่อกำหนด r = รัศมีความโค้งวัดตามแนวศูนย์กลางท่อปกติ

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อที่นำมาตัด

นอกจากจะต้องหาความยาวส่วนโค้งแล้ว งานตัดท่อแบบจีบจำเป็นต้องรู้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{จำนวนช่วงรอยจีบ} = \frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ}}$$

$$\text{จำนวนรอยจีบ} = \text{จำนวนช่วงรอยจีบ} + 1$$

$$\text{ระยะห่างระหว่างช่วงรอยจีบ} = \frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{จำนวนช่วงรอยจีบ}}$$

$$\text{มุมระหว่างรอยจีบ} = \frac{\text{มุมส่วนโค้งที่ต้องการดัด}}{\text{จำนวนรอยจีบทั้งหมด}}$$

เทคนิคในการเผาให้ความร้อนและดัดท่อโค้งแบบจีบมีดังนี้

1. การเผาให้ความร้อนและดัดโค้งต้องกระทำเป็นจุด ๆ ให้เสร็จเรียบร้อยเรียงไปตามลำดับทีละจีบ
2. การเผาให้ความร้อนจะเผาเฉพาะบริเวณส่วนที่จะดัดเป็นส่วนโค้งด้านใน โดยเผาเป็นรูปลิ่มแคบ ๆ เท่ากับความกว้างของรอยจีบที่ขีดทำเครื่องหมายไว้ ระวังอย่าให้ความร้อนแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นหัวเผาที่ใช้จึงไม่ควรใช้ขนาดใหญ่มากเท่ากับที่ใช้ในงานดัดท่อปกติ
3. บริเวณผนังท่อส่วนโค้งด้านนอกจะต้องพยายามให้ร้อนน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างจากงานดัดท่อทั่วไป ที่ต้องให้ความร้อนแผ่กระจายไปบริเวณใกล้เคียงในช่วงที่ต้องเผาให้ความร้อนให้สม่ำเสมอกัน
4. เมื่อเผาให้ความร้อนและดัดเสร็จแต่ละจุดแล้ว จะต้องทำให้รอยดัดโค้งจีบนั้น ๆ เย็นตัวลงโดยเร็ว โดยใช้ผ้าจุ่มน้ำชุบ
5. ขณะที่ทำให้ท่อเย็นตัวลงโดยเร็วนั้น เนื้อโลหะจะหดตัวเข้าด้วย ทำให้มุมที่ดัดไว้แล้วนั้นเปลี่ยนไปประมาณ 1 องศา ดังนั้นในขณะที่ดัดแต่ละจุดต้องเผื่อมุมไว้สำหรับการหดตัวด้วย
6. เมื่อดัดท่อเสร็จแต่ละจุดต้องวัดมุมให้ได้ขนาดตามต้องการ โดยใช้เกจวัดมุมที่ทำไว้เฉพาะ เกจวัดมุมอาจทำง่าย ๆ โดยใช้โลหะแผ่นดัดเป็นมุมตามที่คำนวณได้

ตัวอย่าง 2.13

ต้องการดัดท่อผนังบางขนาด $1\frac{1}{4}$ นิ้ว (39/44) มุม 90 องศา ให้ได้รัศมีความโค้ง 130 มิลลิเมตร โดยดัดท่อแบบจีบให้มีรอยจีบกว้าง 20 มิลลิเมตร กำหนดให้ได้ระยะจากปลายท่อด้านหนึ่งถึงศูนย์กลางแนวท่อที่ดัดโค้ง 250 มิลลิเมตร จงแสดงวิธีคำนวณค่าต่าง ๆ และกำหนดจุดเผา

คำนวณหาค่าต่าง ๆ

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา} = (r + \tfrac{d}{4}) \times 1.5 + \frac{(r + \frac{d}{4}) \times 1.5}{20}$$

$$= (130 + \tfrac{44}{4}) \times 1.5 + \frac{(130 + \frac{44}{4}) \times 1.5}{20}$$

$$\approx 220.5 \text{ มม.}$$

จำนวนช่วงรอยจีบ = $\frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหอ}}$

= $\frac{220 - 20}{44}$

≈ 4.5 = 5 ช่วง

จำนวนรอยจีบ = จำนวนช่วงรอยจีบ + 1

= 5 + 1

= 6 จีบ

ระยะระหว่างช่วงรอยจีบ = $\frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{จำนวนรอยจีบ}}$

= $\frac{220 - 20}{5}$

= 40 มม.

มุมระหว่างรอยจีบ = $\frac{\text{มุมส่วนโค้งที่ต้องการตัด}}{\text{จำนวนรอยจีบ}}$

= $\frac{90}{6}$

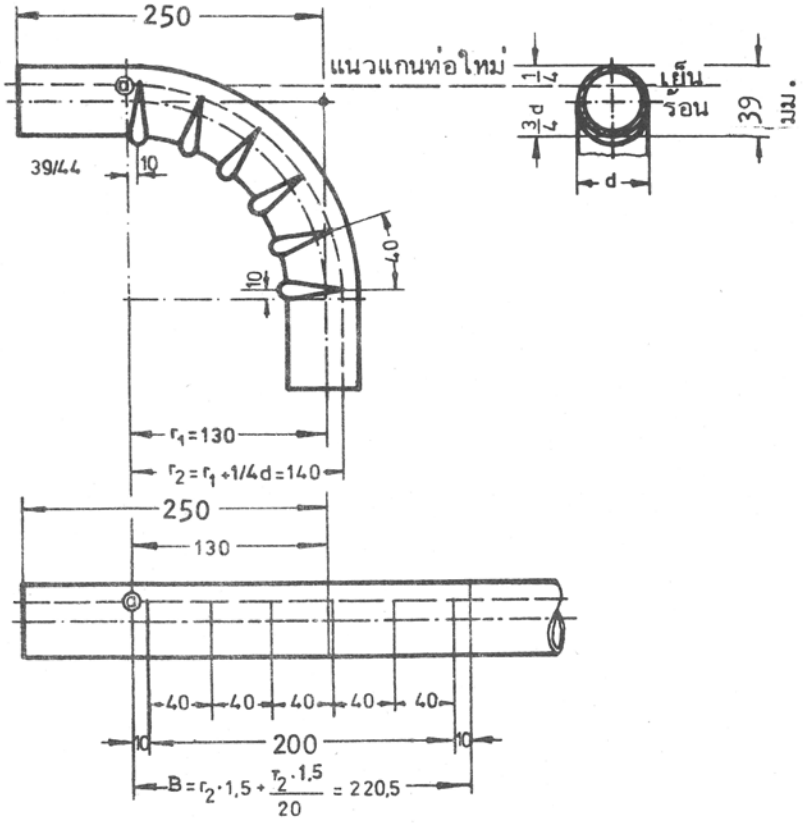
= 15 องศา

กำหนดจุดเยา

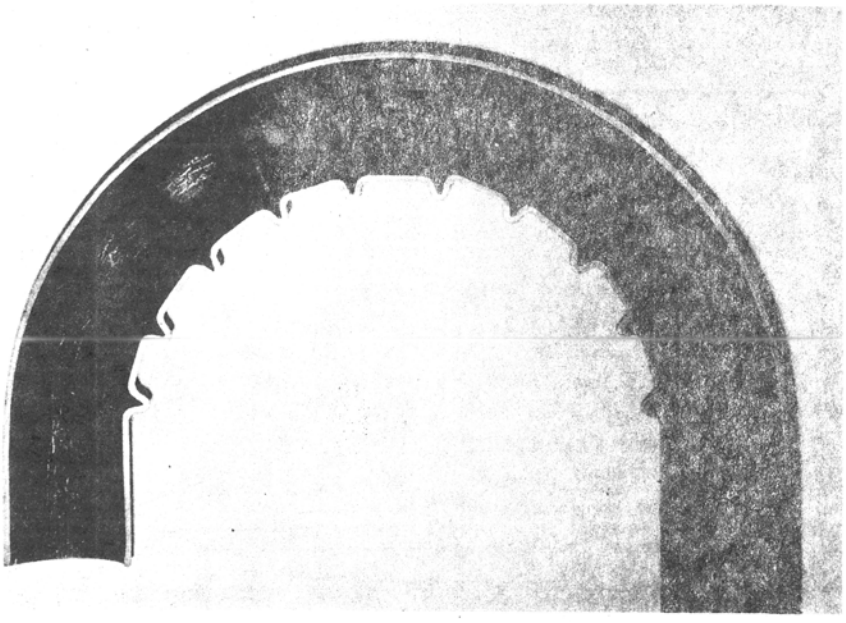
นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาวัดถ่ายขนาดบนชิ้นงานที่จะตัดตามลำดับ ดังนี้

1. จากปลายท่อด้านที่กำหนดวัดระยะไปยังปลายท่ออีกข้างหนึ่ง ให้ได้ความยาวตามโจทย์กำหนด (250 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด x
2. จากจุด x วัดระยะย้อนกลับไปทางปลายท่อด้านที่กำหนด ให้ได้ความยาวเท่ากับรัศมีความโค้งที่กำหนด (130 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด a
3. จากจุด a วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด x ให้ได้ความยาวเท่ากับความยาวส่วนโค้งที่คำนวณได้ (220.5 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด b
4. จากจุด a วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด b ให้ได้ความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างรอยจีบ (10 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด 1

5. จากจุด b วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด a ให้ได้ความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่ง ของความกว้างรอยจีบ (10 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด 6
6. ช่วงจากจุด 1 ถึงจุด 6 แบ่งความยาวออกเป็น 5 ส่วนเท่ากับช่วงรอยจีบที่คำนวณได้ ($\frac{200}{5}$ = 40 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ทุกจุด กำหนดเป็นจุด 1 2 3 4 5 และ 6
7. จุดที่ 1 ถึง 6 รวม 6 จุด ซึ่งเท่ากับจำนวนรอยจีบที่คำนวณได้เป็นจุดที่ต้องเผาให้ความร้อนและดัดเรียงไปตามลำดับที่ละจุด ตามเทคนิคที่ได้บรรยายแล้ว



รูปที่ 2.58 งานดัดท่อแบบจีบตามตัวอย่าง 2.13 แสดงการกำหนดจุดเผาแต่ละจุด



รูปที่ 2.59 ภาพตัดชิ้นงานดัดท่อแบบจีบมุม 180 องศา สังเกตรอยจีบซึ่งยื่นเป็นรอยนูนออกมา

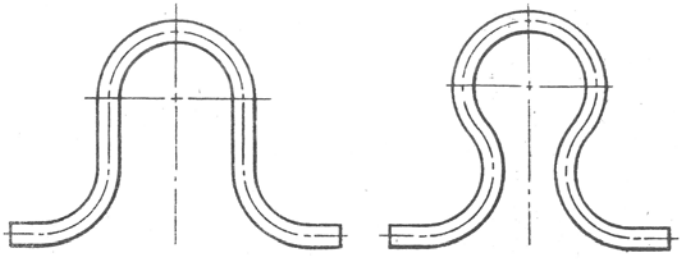
2.14 งานดัดข้อต่อขยายท่อแบบจีบ (รูปพิฆ)

วัสดุต่าง ๆ จะขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ส่วนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิมจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุนั้น ขนาดส่วนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของวัสดุนี้ โดยทั่วไปไม่สามารถสังเกตเห็นได้โดยตรงด้วยตาเปล่า

งานเดินท่อทั่วไปก็เช่นกัน เมื่ออุณหภูมิของท่อเปลี่ยนแปลง (เช่นอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างเวลากลางวันและกลางคืน) ความยาวของท่อจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าท่อนั้นถูกยึดตรึงไว้แน่น จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) ภายในท่อ อาจทำให้ท่อโก่ง งอ หรือส่วนที่ยึดตรึงท่อนั้นแตกหักเสียหาย ตัวอย่างงานที่เห็นได้เด่นชัดได้แก่รอยต่อของรางรถไฟ โครงสร้างสะพานต่าง ๆ โดยเฉพาะสะพานที่ทำจากเหล็กหรือคอนกรีต จะพบว่าปลายสะพานจะไม่ยึดตรึงไว้ทั้งสองข้าง แต่จะปล่อยให้เป็นอิสระข้างหนึ่งเพื่อให้สะพานสามารถหดตัวหรือขยายตัวได้ ถ้าสะพานถูกยึดตรึงแน่นกับคอสะพานทั้งสองข้าง แรงที่เกิดจากการขยายตัวและหดตัวของสะพาน จะทำให้คอสะพานแตกหัก เสียหาย หรือถ้าคอสะพานมีความแข็งแรงมากพอก็จะทำให้ตัวสะพานเกิดความเค้น ต้องรับภาระเกินกว่าที่ได้ออกแบบไว้ในการรับภาระตามปกติ

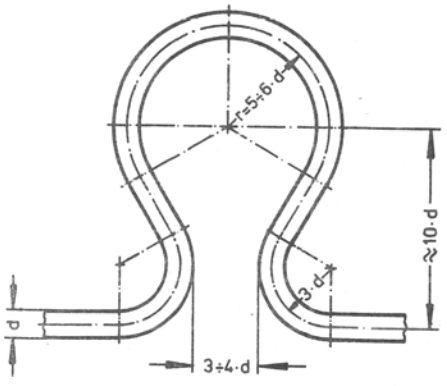
วิธีป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ระบบท่อเนื่องจากการขยายตัวและหดตัว ดังกล่าวกระทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากได้แก่ การใช้ข้อต่อขยาย (Expansion joint) ต่อรวมไว้ในระบบท่อ ข้อต่อขยายจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหายเนื่องจากการขยายตัวและหดตัว ทั้งนี้เพราะตัวข้อต่อขยายเองสามารถยืดหยุ่นได้เล็กน้อย

ข้อต่อขยายท่อมีหลายลักษณะ รูปร่างต่าง ๆ กัน อาจเป็นข้อต่อท่อสำเร็จที่นำมาประกอบได้โดยตรง หรือใช้วิธีดัดท่อนั้นให้เป็นข้อต่อขยายรูปร่างต่าง ๆ เช่น รูปตัวยู หรือรูปพิณ (Lyra) ฯลฯ



รูปที่ 2.60
ข้อต่อขยายท่อรูปตัวยู (ซ้าย) และรูปพิณ (ขวา)

งานดัดท่อเป็นข้อต่อขยายรูปพิณที่ถูกต้องเหมาะสม จะต้องดัดท่อให้มีสัดส่วนที่สัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อนั้น ๆ ดังรูปที่ 2.61

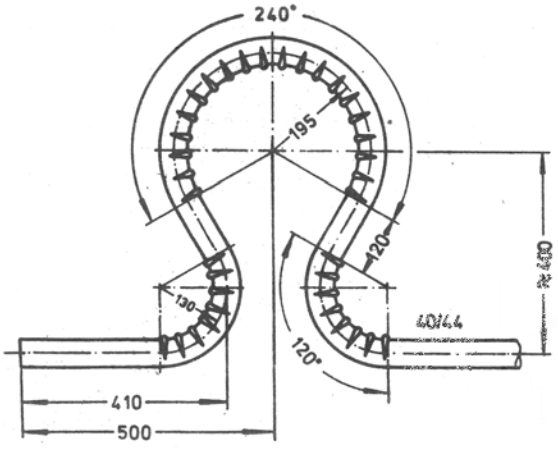


รูปที่ 2.61
ข้อต่อขยายท่อรูปพิณ แสดงสัดส่วน ณ จุดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

งานดัดท่อข้อต่อขยายรูปพิณจะเริ่มดัดบริเวณส่วนโค้งของขาทั้งสองด้านก่อน ต่อจากนั้นจึงจะดัดบริเวณส่วนโค้งเดี่ยวตอนกลาง ซึ่งเป็นโค้งขนาดใหญ่กว่า อาจดัดท่อโดยใช้ความร้อนเช่นเดียวกับงานดัดท่อทั่วไปหรือดัดท่อแบบจีบ ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ต้องนำไปใช้ซึ่งต้องพิจารณาดูให้รอบคอบอีกครั้งหนึ่ง

ตัวอย่าง 2.14

ต้องการดัดข้อต่อขยายท่อรูปพิณ โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 $\frac{1}{4}$ นิ้ว (40/44) ดัดท่อแบบจีบมีรอยจีบกว้าง 20 มิลลิเมตร ความยาวข้อต่อนี้จากปลายท่อด้านหนึ่งถึงปลายท่ออีกด้านหนึ่ง 100 เซนติเมตรและข้อต่ออยู่ตรงกลาง สัดส่วนของข้อต่อให้เป็นไปดังรูป จงคำนวณความยาวท่อก่อนนำมาดัด กำหนดช่วงเผาและลำดับขั้นการดัดท่อ



รูปโจทย์ตัวอย่าง 2.14

คำนวณหาความยาวท่อก่อนดัด

1. ความยาวท่อจากปลายถึงจุดเริ่มต้นโค้งของขาพิณทั้งสองด้าน

= (410 − 130) × 2

= 280 × 2

= 560 มม.

2. ความยาวส่วนโค้งของชาพิณ (มุม 120 องศา)

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 120 องศา} = \frac{r + \frac{d}{4} \times 1.5 + \frac{(r \times \frac{d}{4}) \times 1.5}{20}}{90} \times 120$$

$$= \frac{(130 + \frac{44}{4}) \times 1.5 + \frac{(130 + \frac{44}{4}) \times 1.5}{20}}{90} \times 120$$

$$= 296 \text{ มม.}$$

ชาพิณสองด้าน $= 296 \times 2 = 592$ มม.

3. ช่วงห่างระหว่างส่วนโค้งชาพิณและส่วนโค้งกลางทั้งสองด้าน

$$= 120 \times 2$$

$$= 240 \text{ มม.}$$

4. ความยาวส่วนโค้งตัวพิณ (ส่วนโค้งเดี่ยวตอนกลางมุม 240 องศา)

$$\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 240 องศา} = \frac{(r + \frac{d}{4}) \times 1.5 + \frac{(r \times \frac{d}{4}) \quad 1.5}{20}}{90} \times 240$$

$$= 865 \text{ มม.}$$

รวมความยาวท่อทั้งหมด $560 + 592 + 240 + 865$

$$= 2257 \approx 2.26 \text{ เมตร}$$

ความยาวท่อก่อนตัด 2.26 เมตร

คำนวณหาค่าต่าง ๆ

ก. ส่วนโค้งชาของพิณมุม 120 องศา

- ความยาวส่วนโค้งชาพิณ (มุม 120 องศา) 296 มม.

$$\text{- จำนวนช่วงรอยจีบ} = \frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ}}$$

$$= \frac{296 - 20}{44}$$

$$= 6.27 \quad \text{คิดเป็น 7 ช่วง}$$

- จำนวนรอยจีบ = จำนวนช่วงรอยจีบ + 1

= 7 + 1

= 8 จีบ

- ระยะระหว่างช่วงรอยจีบ = $\frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{จำนวนช่วงรอยจีบ}}$

= $\frac{296 - 20}{7}$

= 39.4 มม.

- มุมระหว่างรอยจีบ = $\frac{\text{มุมส่วนโค้งที่ต้องการคัด}}{\text{จำนวนรอยจีบทั้งหมด}}$

= $\frac{120}{8}$

= 15 องศา

ข. ส่วนโค้งตัวพิณ (มุม 240 องศา)

- ความยาวส่วนโค้งตัวพิณ (มุม 240 องศา) 865 มม.

- จำนวนช่วงรอยจีบ = $\frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ}}$

= $\frac{865 - 20}{44}$

≈ 19 ช่วง

- จำนวนรอยจีบ = จำนวนช่วงรอยจีบ + 1

= 19 + 1

= 20 จีบ

- ระยะระหว่างช่วงรอยจีบ = $\frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{จำนวนช่วงรอยจีบ}}$

$$= \frac{865 - 20}{19}$$

$$= 44.47 \quad \text{มม.}$$

$$\text{- มุมระหว่างรอยจีบ} = \frac{\text{มุมส่วนโค้งที่ต้องการดัด}}{\text{จำนวนรอยจีบทั้งหมด}}$$

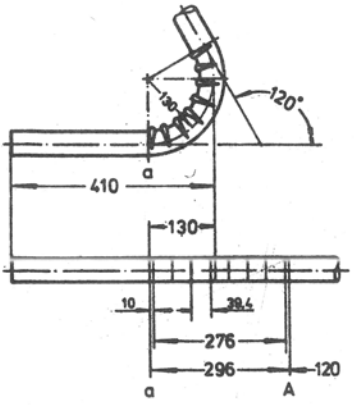
$$= \frac{240}{20}$$

$$= 12 \quad \text{องศา}$$

กำหนดจุดเผา

งานดัดท่อข้อต่อขยายรูปพิณจะดัดโค้งบริเวณขาทั้งสองข้างให้เสร็จเรียบร้อยทีละข้าง แล้วจึงดัดโค้งตัวพิณ ซึ่งเป็นโค้งขนาดใหญ่ โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาวัดถ่ายขนาดบนชิ้นงานที่จะดัดตามลำดับ ดังนี้

1. จากปลายท่อด้านหนึ่งกำหนดเป็นปลาย A วัดระยะไปยังปลายท่ออีกข้างหนึ่ง 410 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด A_1
2. จากจุด A_1 วัดย้อนกลับไปทางปลายท่อ A ให้ได้ความยาวเท่ากับรัศมีความโค้งที่กำหนด (130 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด X_1
3. จากจุด X_1 วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด A ให้ได้ความยาวเท่ากับความยาวส่วนโค้งขาของพิณมุม 120 องศา (296 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด Y_1
4. กำหนดจุดที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดจีบมุม 120 องศา
   - 4.1 จากจุด X_1 วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด A_1 ให้ได้ความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่ง ของความกว้างรอยจีบ (10 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด 1
   - 4.2 จากจุด Y_1 วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด A_1 ให้ได้ความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างรอยจีบ (10 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด 8
   - 4.3 ช่วงจากจุด 1 ถึงจุด 8 แบ่งความยาวออกเป็น 7 ส่วน เท่ากับช่วงรอยจีบที่คำนวณได้ ($\frac{276}{7} = 39.4$ มม.) ทำเครื่องหมายไว้ทุกจุด กำหนดเป็นจุด 1 ถึง 8
   - 4.4 จุดที่ 1 ถึง 8 รวม 8 จุด ซึ่งเท่ากับจำนวนรอยจีบที่คำนวณได้เป็นจุดที่ต้องเผาให้ความร้อนและดัดเรียงไปตามลำดับตามเทคนิคที่บรรยายแล้ว



รูปที่ 2.62
งานดัดท่อแบบจีบขาของข้อต่อขยายท่อรูปพิณ ตามตัวอย่าง 2.14 แสดงการกำหนดจุดเผาแต่ละจุด (ล่าง)

5. จากปลายท่อที่เหลืออีกด้านหนึ่งกำหนดจุดที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดจีบมุม 120 องศา ซึ่งเป็นส่วนโค้งขาของพิณอีกด้านหนึ่ง ตามวิธีการและลำดับขั้นเช่นเดียวกับที่บรรยายในข้อ 4 ขณะนี้จะได้ชิ้นงาน ซึ่งดัดโค้งที่ปลายทั้งสองข้างเป็นมุมข้างละ 120 องศา โดยมีขนาดตามรูปที่ 2.63

6. วัดถ่ายขนาดชิ้นงานเพื่อดัดโค้งช่วงกลางตัวพิณมุม 240 องศา ขณะนี้ชิ้นงานที่ดัดโค้งมุม 120 องศา แล้วจะมีลักษณะดังรูป 2.63 ความยาวท่อช่วงกลางจะเท่ากับความยาวส่วนโค้งมุม 240 องศา รวมกับความยาวท่อช่วงที่อยู่ระหว่างส่วนโค้งช่วงกลางตัวพิณและส่วนโค้งขาของพิณ (120 มม.) รวมกัน 2 ข้าง

$$\text{ความยาวที่เหลือช่วงกลาง} = 865 + (120 \times 2)$$
$$= 1105 \text{ มม.}$$

วัดถ่ายขนาดบนชิ้นงาน ดังนี้

6.1 วัดระยะจากรอยจีบสุดท้ายของส่วนโค้งมุม 120 องศา (จุด Y_1) เข้ามาข้างละ 120 มิลลิเมตร กำหนดเป็นจุด a และจุด b (ขณะนี้ระยะจากแนวศูนย์กลางท่อบริเวณส่วนโค้งนอกสุด เข้ามายังจุด a และ b จะยาวข้างละ 250 มิลลิเมตร 130 + 120 = 250 มม.)

6.2 ขณะนี้ช่วงจาก a ถึง b จะยาว 865 มิลลิเมตร [1105 – (120 × 2)]

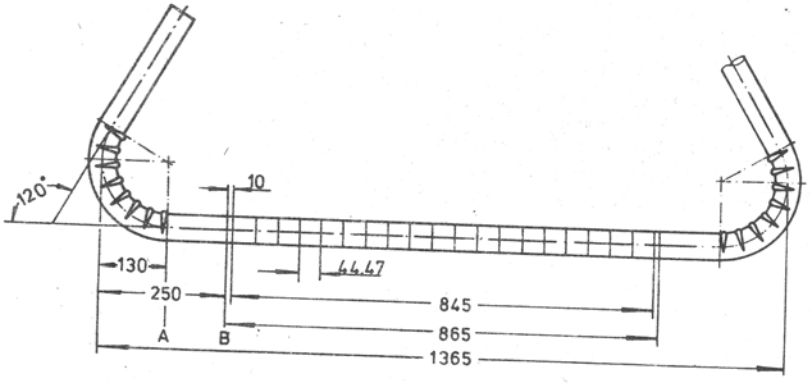
7. กำหนดจุดที่ต้องเผาให้ความร้อนเพื่อดัดจีบมุม 240 องศา

7.1 จากจุด a วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด b ให้ได้ความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่ง ของความกว้างรอยจีบ (10 มม.) ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด 1

7.2 จากจุด b วัดระยะย้อนกลับไปทางจุด a ให้ได้ความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่ง ของความกว้างรอยจีบ (10 มม.) ทำเครื่องหมายไว้กำหนดเป็นจุด 20

7.3 ช่วงจากจุด 1 ถึงจุด 20 แบ่งความยาวออกเป็น 19 ส่วนเท่ากับจำนวนช่วงรอยจีบ แต่ละช่วงยาวเท่ากับช่วงรอยจีบที่คำนวณได้ ($\frac{845}{19}$ = 44.47 มม.)

7.4 จุดที่ 1 ถึงจุดที่ 20 รวม 20 จุด ซึ่งเท่ากับจำนวนรอยจีบที่คำนวณได้เป็นจุดที่ต้องเผาให้ความร้อนและดัดเรียงไปตามลำดับตามเทคนิคงานดัดท่อแบบจีบที่บรรยายแล้ว จะได้ชิ้นงานขอต่อขยายตามต้องการ

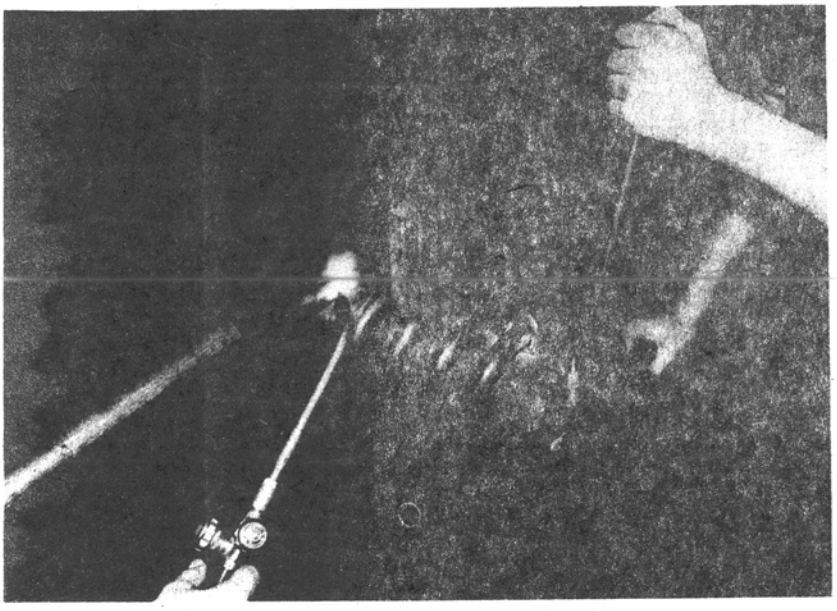


รูปที่ 2.63 การกำหนดจุดเผาให้ความร้อนงานดัดโค้งตัวพิณช่วงกลางมุม 240 องศา ภายหลังจากดัดขาทั้งสองข้างเรียบร้อยแล้ว

2.15 งานดัดท่อโดยใช้แบบ

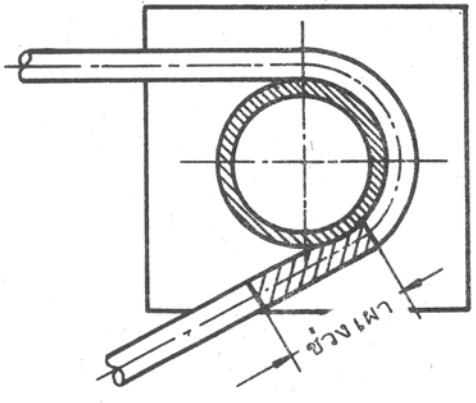
ถ้าต้องการดัดท่อที่มีขนาดและลักษณะเดียวกันจำนวนมาก ควรใช้แบบช่วยในการดัด จะช่วยให้ชิ้นงานมีขนาด รูปร่างเท่ากัน สะดวก ประหยัดเวลาในการดัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานดัดท่อให้ม้วนเป็นวงรูปคอยล์ (Coil) จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะขนาดตามต้องการ

แบบดัดท่ออาจทำได้ง่าย ๆ โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับรัศมีโค้งวัดในของชิ้นงาน หรือใช้เหล็กดัดเป็นแบบตามรูปร่างรัศมีความโค้งที่ต้องการเชื่อมติดกับแผ่นเหล็ก ถ้าเป็นงานดัดท่อม้วนเป็นรูปคอยล์อาจใช้ท่อขนาดใหญ่เชื่อมเป็นมือหมุนไว้ที่ปลายดังรูป 2.64 รัศมีความโค้งของท่อหรือเหล็กดัดที่นำมาทำเป็นแบบต้องไม่เล็กมากนัก มิฉะนั้นจะทำให้ผนังท่อฉีกขาดในขณะดัดได้ ตามปกติขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อที่จะใช้ทำแบบต้องไม่เล็กกว่า 5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่นำมาดัด ($D \geq 5\ d$)



รูปที่ 2.64
งานดัดท่อม้วนเป็นรูปคอยล์โดยใช้ท่อขนาดใหญ่เป็นแบบโดยเชื่อมมือหมุน-ติดกับปลายท่อที่ใช้เป็นแบบนั้น

ท่อที่นำมาดัดต้องบรรจุทรายให้แน่นเช่นเดียวกับงานดัดท่อโดยไม่ใช้แบบ ส่วนการเผาให้ความร้อนในขณะดัดนั้น ถ้าเป็นส่วนโค้งไม่ใหญ่นักอาจเผาให้ความร้อนครั้งเดียวจนตลอดช่วง แล้วใส่แบบดัด แต่ถ้าเป็นส่วนโค้งขนาดใหญ่หรือดัดต่อเนื่องกันยาวมาก จะต้องเผาเป็นช่วง ๆ ไปตามลำดับพร้อมกับดัดท่อให้แนบสนิทกับแบบตามไปด้วย ชิ้นงานที่เผาให้ความร้อนควรมีอุณหภูมิประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียสเช่นกัน ซึ่งสังเกตได้จากชิ้นงานมีสีแดงเรื่อคล้ายสีตำลึงสุกหรือสีเชอรี่ ต้องระวังอย่าให้ท่อมีอุณหภูมิสูงมากเกินไป มิฉะนั้นทรายที่บรรจุไว้ภายในจะเริ่มหลอมตัวเกาะติดกับผนังภายในท่อซึ่งขจัดออกได้ยากเมื่อต้องการนำไปใช้งาน



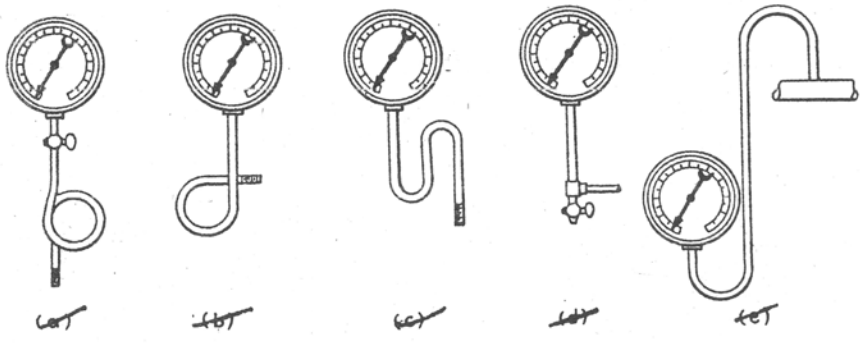
รูปที่ 2.65
งานดัดท่อโค้งโดยใช้แบบ แสดงส่วนที่เผาให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ พร้อม-กับดัดท่อให้แนบสนิทไปกับแบบ

รูปที่ 2.66
ลักษณะงานที่ไม่ถูกต้อง สาเหตุเนื่องจาก
1. ท่อที่นำมาดัดเป็นท่อผนังบางมากเกินไป
2. รัศมีความโค้งในการดัด (เส้นผ่าศูนย์กลางในของคอยล์) เล็กมากเกินไปเมื่อเทียบส่วนกับขนาดท่อที่นำมาดัด
3. เผาให้ความร้อนท่อจนมีอุณหภูมิสูงมากเกินไปและดัดเร็วกว่าปกติ

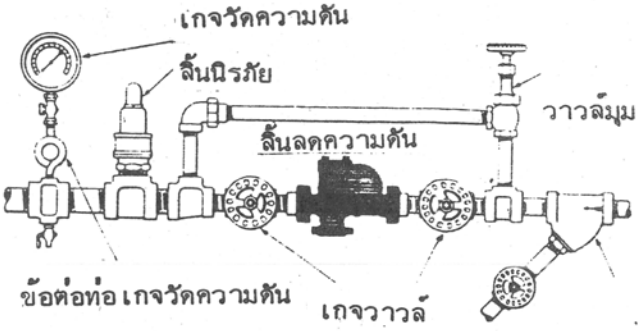
ภายหลังดัดท่อเสร็จแล้วต้องเคาะทรายออกจากชิ้นงานให้หมด มิฉะนั้นทรายที่ตกค้างอยู่ภายใน อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบท่อและอุปกรณ์ประกอบหรือเครื่องมือเครื่องจักรได้ นอกจากการเคาะทรายออกแล้ว ควรใช้ลมอัดที่มีแรงดันสูง ๆ เป่าทำความสะอาดท่อหรือใช้น้ำที่มีแรงดันสูงเป่าล้างทำความสะอาด เพื่อให้แน่ใจได้ว่าไม่มีทรายตกค้างอยู่ภายในท่อ

2.16 งานดัดข้อต่อท่อเกจวัดความดัน

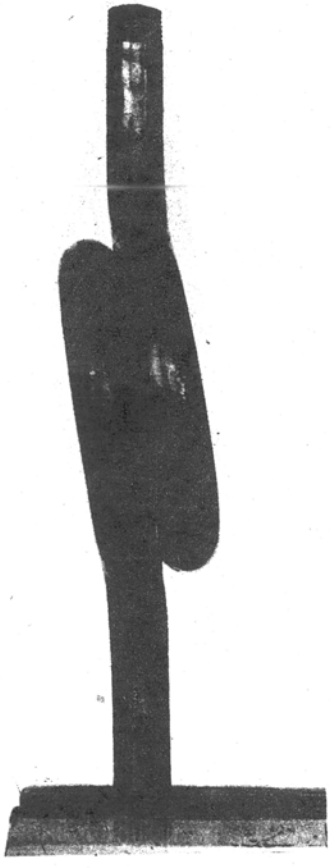
การติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อวัดแรงดันของระบบท่อไอน้ำหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวกับไอน้ำ โดยทั่วไปจะไม่ติดตั้งเกจวัดความดันเข้ากับท่อหรือภาชนะนั้น ๆ โดยตรง แต่จะใช้ท่อดัดเป็นรูปตัวยูหรือดัดเป็นรูปวงกลม รูปแตร เป็นข้อต่อนั้น ดังรูปที่ 2.68 ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่อาจเกิดขึ้นจากการกลั่นตัว และไหลปะปนมากับไอน้ำด้วยความเร็วและมีแรงดันสูง เข้าไปกระทบทำอันตรายไดอะแฟรมภายในเกจวัดความดัน นอกจากนี้ข้อต่อดังกล่าวยังทำหน้าที่เป็นตัวต่อขยายตัวและเป็นกับดักน้ำหรืออากาศได้อีกด้วย



รูปที่ 2.67
ข้อต่อท่อเกจวัดความดันลักษณะต่าง ๆ สำหรับท่อไอน้ำ



รูปที่ 2.68
ลักษณะการติดตั้งเกจวัดความดันในงานท่อไอน้ำ
(สังเกตข้อต่อเกจรูปแตร)



รูปที่ 2.69
ข้อต่อท่อเกจวัดความดันรูปแตร สำหรับเกจวัดความดันขนาดใหญ่

ปลายข้อต่อท่อด้านที่ใช้ยึดติดกับเกจวัดความดัน จะทำเป็นเกลียวขนาด 1/2 นิ้ว ตัวท่อม้วนกลมลักษณะเป็นรูปแตร โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดนอกประมาณ 4 ถึง 6 เท่าของขนาดท่อที่นำมาดัด เพื่อใช้เป็นแบบสำหรับดัดท่อ

การดัดท่อเป็นวงกลมมีลักษณะเป็นรูปแตร จะต้องมีท่อส่วนที่ดัดซ้อนกัน และต้องดัดปลายท่อทั้งสองข้างอยู่ในแนวตรงกันด้วยดังรูปที่ 2.69 ซึ่งมีหลักเกณฑ์การคำนวณหาความยาวส่วนโค้ง ซึ่งใช้เป็นระยะเผาให้ความร้อนดังนี้

เส้นผ่าศูนย์กลางดัดโค้งรูปแตร (D_w) $= D + \frac{d}{2} + \frac{d}{2}$

$= D + d$

ความยาวส่วนโค้ง 480 องศา $= \frac{D_w \times 3 + \frac{D_w \times 3}{20}}{360} \times 480$

ความยาวส่วนโค้งมุม 60 องศา $= \frac{r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}}{90} \times 60$

เมื่อกำหนด

D_w = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมที่ดัดโค้งรูปแตร

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ท่อที่นำมาทำเป็นแบบดัด

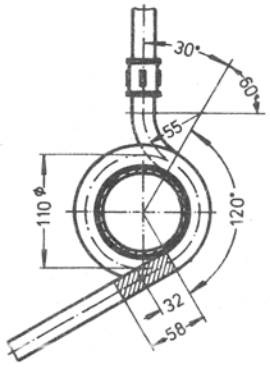
d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อที่นำมาดัด

r = รัศมีความโค้งมุม 60 องศา

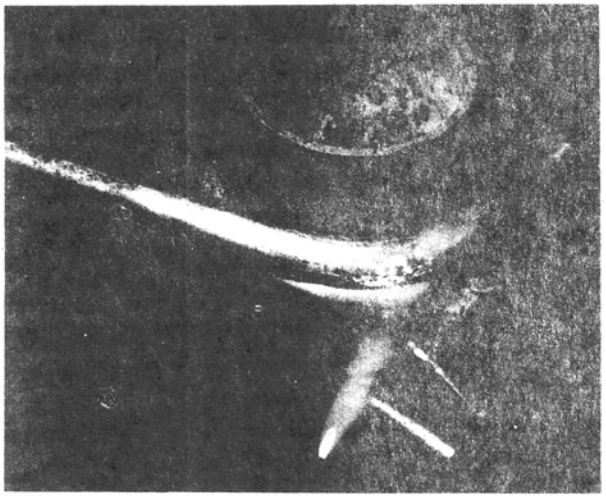
งานดัดข้อต่อท่อเกจวัดความดันรูปแตร แบ่งลำดับขั้นการดัดท่อเป็น 4 ขั้นดังนี้

1. ดัดท่อมุม 60 องศา ส่วนที่อยู่ใกล้กับปลายท่อด้านมีเกลียว
2. ดัดท่อเป็นวงกลมซ้อนกันรูปแตรมุม 480 องศา
3. ดัดท่อมุม 60 องศา อีกปลายหนึ่งต่อเนื่องจากมุม 480 องศา
4. ปรับแต่งให้ปลายท่อทั้งสองข้างอยู่ในแนวเดียวกัน

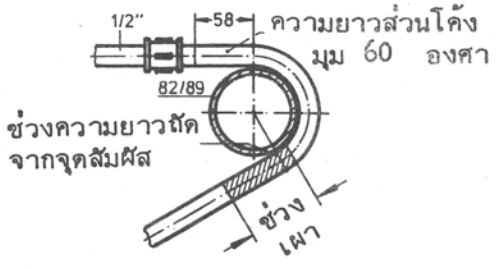
เทคนิคงานดัดท่อมุม 60 องศา ทั้งสองข้างเช่นเดียวกับงานดัดท่อทั่วไปแต่เทคนิคงานดัดท่อมุม 480 องศา จะแตกต่างเล็กน้อย เพราะเป็นงานดัดท่อโค้งเป็นวงกลมและมีส่วนซ้อนกัน โดยใช้ท่อขนาดใหญ่เป็นแบบดัด ดังนั้น เทคนิคในการเผาให้ความร้อนต้องเผาเป็นช่วง ๆ ต่อเนื่องกันไปจนครบ 480 องศา โดยให้ความร้อนในช่วงที่เป็นจุดสัมผัสดังรูปที่ 2.70 ซึ่งต่างจากงานดัดท่อทั่วไปที่เผาให้ความร้อนตลอดทั้งช่วงแล้วนำมาดัด



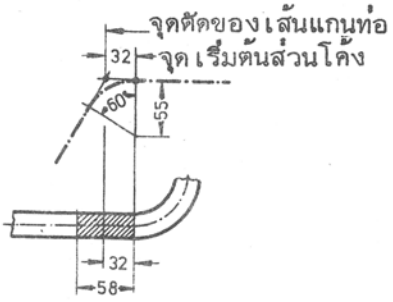
รูปที่ 2.70
งานดัดโค้งมุม 60 องศาช่วงที่สอง ท่อที่นำมาดัดขนาด 1/2 นิ้ว ท่อที่ใช้เป็นแบบดัดขนาด 3 นิ้ว (82/89)



รูปที่ 2.71
การเผาให้ความร้อนต่อเนื่องกันในงานดัดโค้งมุม 480 องศา โดยจับแบบบนปากกาแล้วเผาให้ความร้อนต่อเนื่องกันมาพร้อมทั้งดัดท่อให้แนบสนิทกับแบบ



รูปที่ 2.72
การเผาให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ ช่วงเผาแต่ละครั้งจะอยู่บริเวณจุดสัมผัสระหว่างผิวท่อที่จะดัดกับท่อที่ใช้เป็นแบบ



รูปที่ 2.73
การกำหนดช่วงเผามุม 60 องศา เพื่อให้ได้ระยะตามต้องการ

ตัวอย่าง 2.15

ต้องการตัดข้อต่อท่อเกจวัดความดันรูปแตร ขนาด 1/2 นิ้ว โดยใช้ท่อขนาด 82/89 เป็นแบบตัด จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งทั้งหมดและควรตัดท่อเพื่อเตรียมตัดยาวเท่าใด

หาความยาวส่วนโค้ง

- ความยาวส่วนโค้งมุม 480 องศา

เส้นผ่าศูนย์กลางส่วนโค้งรูปแตร (D_W) $= D + d$

$= 89 + 21$

$= 110$ มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 480 องศา $= \dfrac{D_W \times 3 + \frac{D_W \times 3}{20}}{360} \times 480$

$= \dfrac{110 \times 3 + \frac{110 \times 3}{20}}{360} \times 480$

$= 462$ มม.

- ความยาวส่วนโค้งมุม 60 องศา 2 ด้าน

ความยาวส่วนโค้งมุม 60 องศา $= \dfrac{r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}}{90} \times 60$

$= \dfrac{55 \times 1.5 + \frac{55 \times 1.5}{20}}{90} \times 60$

$= 58$ มม.

ความยาวส่วนโค้งทั้งหมด = 462 + (58 × 2)

= 578 มม.

การเตรียมท่อเพื่อดัด

ให้ปลายท่อทั้งสองข้างยาวข้างละ 50 มม. นับจากจุดเริ่มต้น ส่วนโค้งมุม 60 องศา

- ความยาวท่อที่ต้องใช้ทั้งหมด 578 + (50 × 2)

= 678 มม.

- เผื่อปลายท่อสำหรับเป็นส่วนจับดัด 400 มม.

ลำดับขั้น

1. ตัดท่อขนาด 1/2 นิ้ว ยาวประมาณ 1.10 เมตร
2. ตัดเกลียวท่อขนาด 1/2 นิ้ว ที่ปลายท่อด้านใดด้านหนึ่ง
3. ต่อกับด้ามต่อสำหรับจับดัด (ดู 2.9 หน้า 10) โดยต่อด้วยเกลียว
4. อุดปลายท่อด้านหนึ่งแล้วนำไปบรรจุทรายให้แน่น แล้วอุดปลายด้านที่เหลือ
5. วัดถ่ายขนาดที่คำนวณได้ลงบนชิ้นงาน
6. ดัดมุม 480 องศา
7. ดัดมุม 60 องศาโค้งที่ใกล้กับเกลียว
8. ดัดมุม 60 องศา ปลายที่เหลืออีกด้านหนึ่ง
9. ดัดปลายสองด้านให้อยู่ในแนวเดียวกัน
10. เคาะทรายออกจากท่อให้หมด โดยใช้ลมอัดหรือน้ำแรงดันสูง เป่าทำความสะอาดภายในท่อ

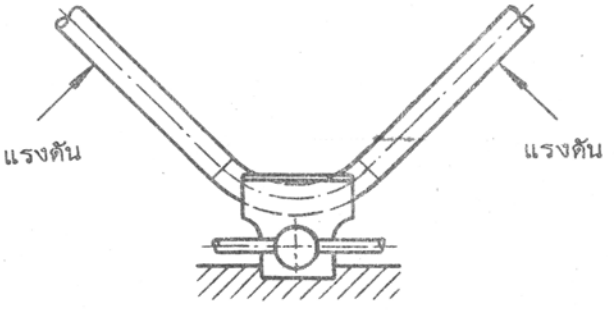
2.17 งานดัดท่อโดยไม่บรรจุทราย

งานดัดท่อโดยไม่บรรจุทรายไว้ภายใน จะดัดได้ผลดีเฉพาะท่อขนาดเล็กเท่านั้น เพราะถ้าเป็นท่อขนาดตั้งแต่ 1/2 นิ้ว หรือโตกว่า จะดัดให้มีรัศมีความโค้งที่ต้องการได้ยาก นอกจากนี้บริเวณส่วนโค้งพื้นที่หน้าตัดท่อ จะเปลี่ยนเป็นวงรี ผนังท่ออาจย่นเป็นลอน

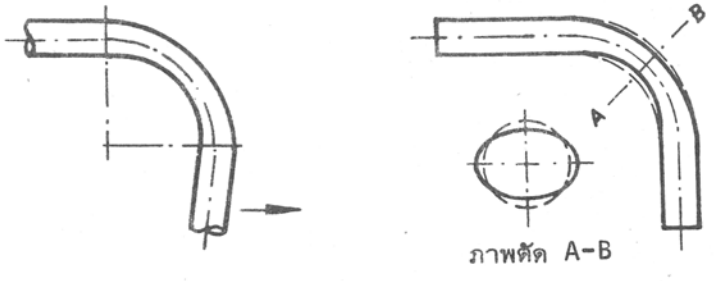
การให้ความร้อนแก่ชิ้นงานใช้หลักการแตกต่างจากงานดัดท่อบรรจุทรายเล็กน้อย โดยเผาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเฉพาะบริเวณส่วนโค้งด้านนอกและส่วนโค้งด้านใน ส่วนบริเวณด้านบนและด้านล่างไม่ต้องให้ความร้อน แล้วจึงดัด ขณะดัดให้แรงกระทำเป็นสองจุดเช่นกัน จุดที่ใกล้กับส่วนโค้งให้ผลักออก ส่วนจุดถัดออกไปให้ดึงเข้าในลักษณะ

ส่วนทางกัน และดัดให้มีมุมมากกว่าที่ต้องการเล็กน้อย ขณะนี้ท่อบริเวณส่วนโค้งพื้นที่หน้าตัดจะเป็นรูปวงรี ต่อจากนั้นจึงใช้ปากกาบีบบริเวณด้านข้างของส่วนโค้ง ท่อจะมีพื้นที่หน้าตัดกลมขึ้นจากเดิม ขณะเดียวกันมุมที่ดัดเผื่อไว้นั้นจะยืดตัวออกเท่ากับมุมที่ต้องการดัด หรือแทนการบีบท่อบริเวณด้านข้างของส่วนโค้ง อาจใช้วิธีดัดท่อยอนกลับเล็กน้อยให้ได้มุมตามที่ต้องการ พื้นที่หน้าตัดท่อบริเวณส่วนโค้งนั้นจะกลมขึ้นจากเดิม วิธีป้องกันไม่ให้ท่อบริเวณส่วนโค้งพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปมาก ทำได้โดยใช้ปากกามือ (Hand vice) บีบท่อบริเวณด้านข้างของส่วนโค้งให้แน่นก่อนดัด ดังรูป

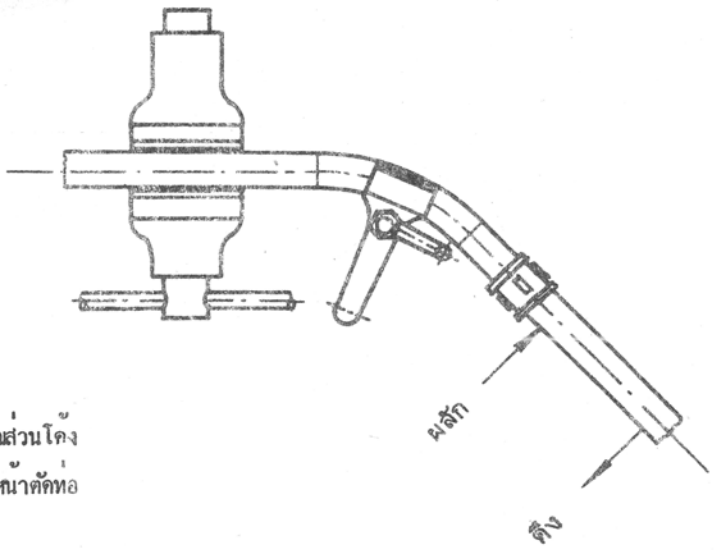
งานดัดท่อโดยไม่บรรจุทรายกระทำได้ยาก เพราะต้องใช้ความชำนาญมาก และงานดัดท่อนั้นจะไม่ได้ผลดีเช่นเดียวกับงานดัดท่อบรรจุทราย เว้นท่อขนาดเล็ก ๆ ซึ่งสามารถดัดโดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วย อาจใช้เครื่องมือดัดโดยไม่ต้องบรรจุทรายไว้ภายในก็ได้ผลดีเช่นกัน



รูปที่ 2.74
ใช้ปากกาบีบด้านข้างบริเวณส่วนโค้งขณะเดียวกัน ให้ใช้แรงดันตามทิศทางลูกศรด้วย จะช่วยให้พื้นที่หน้าตัดท่อกลมขึ้น



รูปที่ 2.75
ขณะดัดท่อให้ดัดมุมมากกว่าที่ต้องการเล็กน้อย (ซ้าย) เมื่อดัดยอนกลับให้ได้มุมตามที่ต้องการ พื้นที่หน้าตัดจะกลมขึ้นจากเดิม (ขวา)



รูปที่ 2.76
ใช้ปากกามือบีบชิ้นงานด้านข้างบริเวณส่วนโค้ง
แล้วจึงดัด จะช่วยป้องกันไม่ให้พื้นที่หน้าตัดท่อ
เปลี่ยนรูปไปจากเดิมมาก

งานดัดท่อโดยไม่ใช้ความร้อนทั้งท่อขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ โดยไม่บรรจุทราย สามารถดัดได้ผลดีเช่นกัน แต่ต้องใช้เครื่องมือ อุปกรณ์บางชนิดช่วย เช่น ชุดดัดท่อไฮดรอลิค เป็นต้น

2.18 แบบฝึกหัดงานดัดท่อ

1. จงแสดงวิธีคำนวณหาความยาวส่วนโค้งของงานดัดท่อ ต่อไปนี้
   - 1.1 ท่อขนาด 1 นิ้ว มุมโค้ง 90 องศา รัศมีความโค้ง 120 มิลลิเมตร
   - 1.2 ท่อขนาด 3/4 นิ้ว มุมโค้ง 90 องศา
   - 1.3 ท่อขนาด 1/2 นิ้ว มุมโค้ง 180 องศา รัศมีความโค้ง 100 มิลลิเมตร
   - 1.4 ท่อขนาด $1\frac{1}{4}$ นิ้ว มุมโค้ง 180 องศา
   - 1.5 ท่อขนาด 3/4 นิ้ว มุมโค้ง 45 องศา
   - 1.6 ท่อขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว มุมโค้ง 45 องศา

2. จงแสดงวิธีคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผาของงานดัดท่อ ต่อไปนี้
   - 2.1 ท่อขนาด 3/4 นิ้ว มุมโค้ง 90 องศา รัศมีความโค้ง 150 มิลลิเมตร กำหนดระยะจากปลายด้านหนึ่งถึงกึ่งกลางส่วนโค้ง วัดตามแนวแกนท่อ 700 มิลลิเมตร

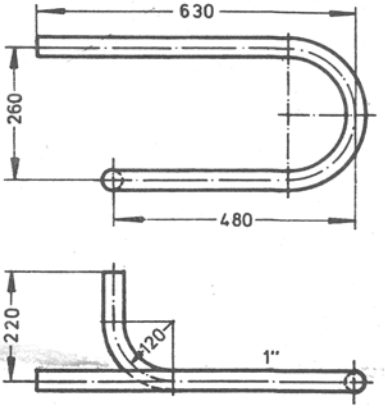
2.2 ท่อขนาด $1\frac{1}{4}$ นิ้ว มุมโค้ง 90 องศา กำหนดระยะจากปลายด้านหนึ่งถึงกึ่งกลางส่วนโค้งวัดตามแนวแกนท่อ 500 มิลลิเมตร

2.3 ท่อขนาด 1 นิ้ว มุมโค้ง 180 องศา เส้นผ่าศูนย์กลางความโค้ง (D) 240 มิลลิเมตร กำหนดระยะจากปลายด้านหนึ่งถึงกึ่งกลางส่วนโค้ง 600 มิลลิเมตร

2.4 ท่อขนาด 1/2 นิ้ว มุมโค้ง 180 องศา กำหนดระยะจากปลายด้านหนึ่งถึงกึ่งกลางส่วนโค้ง 550 มิลลิเมตร

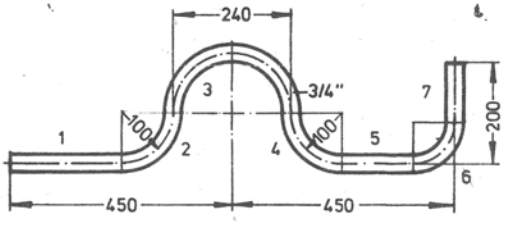
2.5 ท่อขนาด 1 นิ้ว มุมโค้ง 150 องศา กำหนดระยะจากปลายด้านหนึ่งถึงกึ่งกลางส่วนโค้งวัดตามแนวแกนท่อตัดกัน 720 มิลลิเมตร

3. ชิ้นงานดัดท่อโค้งดังรูป จงคำนวณหาความยาวชิ้นงาน และกำหนดช่วงเผา



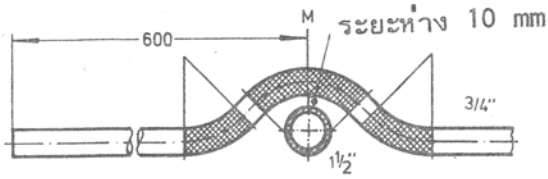
รูปโจทย์ แบบฝึกหัดข้อที่ 3

4. ชิ้นงานดัดท่อโค้งดังรูป จงคำนวณหาความยาวชิ้นงาน และกำหนดช่วงเผา



รูปโจทย์ แบบฝึกหัดข้อที่ 4

5. งานดัดท่อโค้งข้ามท่อโดยให้ผิวท่อห่างจากผนังเท่ากันดังรูป ท่อที่ถูกดัดข้ามขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้วท่อที่ดัดข้ามขนาด 3/4 นิ้ว ระยะห่างระหว่างผนังท่อด้านนอกของท่อที่ดัดข้ามและท่อที่ถูกข้าม ณ จุดกึ่งกลางส่วนโค้งหลบ 10 มิลลิเมตร กำหนดระยะจากปลายท่อด้านหนึ่งถึงจุดกึ่งกลางส่วนโค้งหลบ 600 มิลลิเมตร



รูปโจทย์ แบบฝึกหัดข้อที่ 5

จงคำนวณและกำหนดช่วงเผา

5.1 รัศมีความโค้งมุม 90 องศา (ส่วนโค้งหลบ)

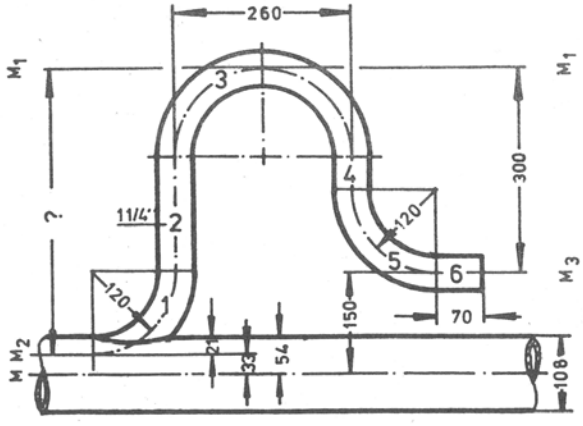
5.2 ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา

5.3 ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา

5.4 ช่วงสูงหลบ

5.5 ความยาวชดเชย

6. งานดัดท่อโค้งเพื่อประกอบงานเจาะขึ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉากดังรูป จงคำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผา โดยใช้ความยาวส่วนโค้งเป็นหลักและใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลัก



รูปโจทย์ แบบฝึกหัดข้อที่ 6

7. งานดัดท่อโค้งแบบจีบท่อขนาด 51/57 มุมโค้ง 140 องศา กำหนดระยะจากปลายท่อด้านหนึ่งถึงจุดเริ่มต้นโค้ง 200 มิลลิเมตร รัศมีความโค้ง 170 มิลลิเมตร จงคำนวณและกำหนดจุดเผา

7.1 รัศมีความโค้งที่ใช้คำนวณงานดัดโค้งแบบจีบ

7.2 ความยาวส่วนโค้งมุม 140 องศา

7.3 จำนวนช่วงรอยจีบ

7.4 จำนวนรอยจีบ

7.5 ระยะห่างระหว่างช่วงรอยจีบ

7.6 มุมระหว่างรอยจีบ

หมายเหตุ ดูเฉลยแบบฝึกหัดงานดัดท่อหน้า 160

3. งานประกอบขึ้นรูปท่อ

3.1 คุณลักษณะของงานประกอบขึ้นรูปท่อ

งานประกอบขึ้นรูปท่อ หมายถึง การดัดแปลง ตบแต่งท่อให้มีลักษณะ ขนาดตามต้องการ เพื่อนำมาใช้ประกอบในงานเดินท่อ อาจเป็นการดัดแปลง ตบแต่ง โดยใช้ความร้อนช่วยหรือไม่ใช้ความร้อนช่วย หรือต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบด้วย ขึ้นอยู่กับลักษณะงานเป็นอย่าง ๆ ไป เช่นงานขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์ (Segment) งานขึ้นรูปกรวย งานขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ งานขึ้นรูปข้อลด งานประกอบท่อแยกตัวที งานเจาะขึ้นรูปท่อแยก เป็นต้น งานเหล่านี้ต่างมีหลักการ เทคนิคในการทำงาน และประโยชน์ในการนำไปใช้แตกต่างกัน ซึ่งจะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไป

3.2 งานขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์

งานขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์ ใช้ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนทิศทางการเดินท่อ ถ้าเป็นท่อผนังบางไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่เพียงใด จะไม่นิยมใช้วิธีดัดท่อ แต่จะใช้ข้อต่อสำเร็จหรือขึ้นรูปท่อนั้นให้มีส่วนโค้งแบบเซกเมนท์ วิธีนี้จะใช้กับท่อผนังหนาขนาดใหญ่ด้วย ที่พบเห็นได้ทั่วไปได้แก่ ท่อส่งน้ำประปาขนาดใหญ่ ที่ต้องเดินท่อข้ามคลองขนานกับสะพานข้ามคลอง ซึ่งใช้วิธีขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์

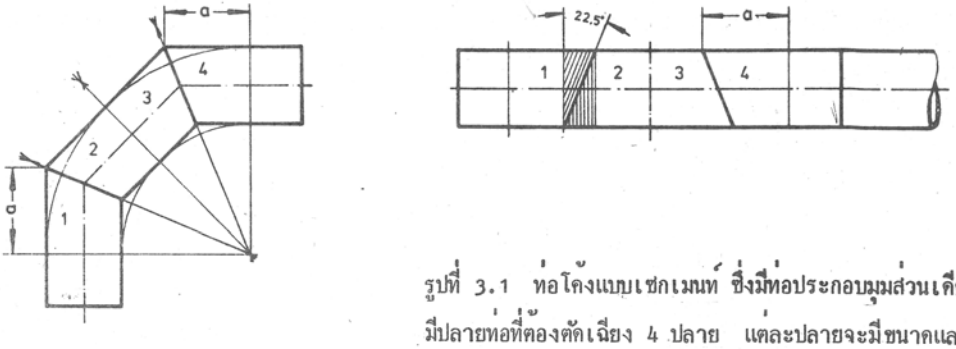
หลักการขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์ ทำได้ง่าย ๆ โดยใช้วิธีตัดท่อที่ต้องการขึ้นรูปนั้นเป็นส่วน ๆ โดยตัดเฉียงให้มีมุมเอียงเล็กน้อยตามที่คำนวณได้ แล้วนำมาเชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน จะได้ส่วนโค้งตามมุม และตามรัศมีความโค้งที่ต้องการ อาจโค้งเป็นมุม 45 องศา 90 องศา หรือมุมอื่น ๆ

ก่อนขึ้นรูปท่อโค้งจำเป็นต้องรู้ข้อมูลหรือข้อกำหนดบางอย่างที่จำเป็น ได้แก่ รัศมีความโค้ง มุมของท่อโค้ง จำนวนชิ้นส่วนของท่อที่ประกอบมุมว่าต้องใช้กี่ส่วน จากรูปที่ 3.1 เป็นท่อโค้งมุม 90 องศา มีท่อประกอบมุมเพียงส่วนเดียวตรงกลางและรูปที่ 3.2 เป็นท่อโค้งมุม 90 องศา ซึ่งมีรัศมีความโค้งและขนาดท่อเท่ากับท่อโค้งรูป 3.1 แต่มีท่อประกอบมุม 3 ส่วน (การนับจำนวนท่อประกอบมุมนับเฉพาะส่วนที่อยู่ระหว่างปลายท่อที่ประกอบขึ้นเป็นส่วนโค้งเท่านั้น) เมื่อรู้ข้อมูลดังกล่าวแล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ ซึ่งต้องใช้ประกอบในการเตรียมงานขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์ต่อไป

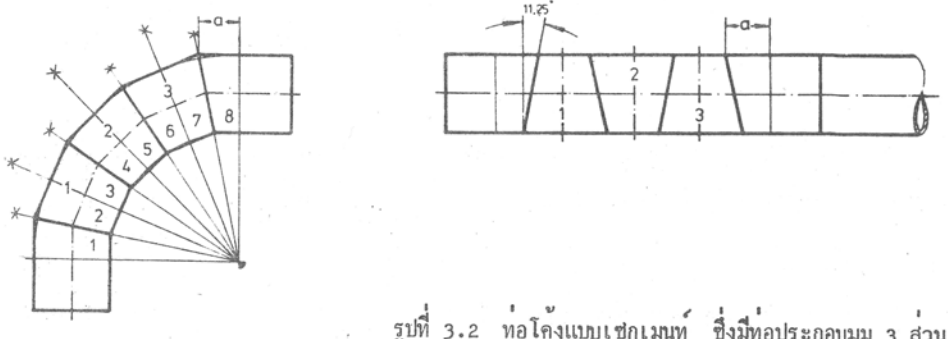
ท่อแต่ละส่วนที่นำมาประกอบเป็นท่อโค้งแบบเซกเมนท์ต้องตัดปลายเฉียงก่อน ถ้าเป็นท่อประกอบมุมจะตัดเฉียงทั้งสองข้าง เว้นท่อท่อนปลายโค้งสองปลายจะตัดเฉียงเพียงข้างเดียว จำนวนปลายท่อที่ต้องตัดเฉียงคำนวณได้จากสูตร

$$\text{จำนวนปลายท่อที่ต้องตัดเฉียง} = \text{จำนวนท่อประกอบมุม} \times 2 + 2$$

$$\text{มุมเฉียงปลายท่อที่ตัด} = \frac{\text{มุมท่อโค้งแบบเซกเมนท์}}{\text{จำนวนปลายท่อที่ตัดเฉียง}}$$



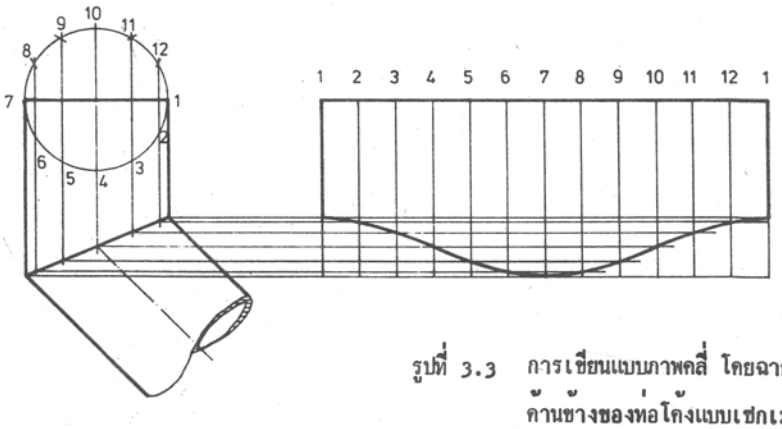
รูปที่ 3.1 ท่อโค้งแบบเซกเมนท์ ซึ่งมีท่อประกอบมุมส่วนเดียวจะมีปลายท่อที่ต้องตัดเฉียง 4 ปลาย แต่ละปลายจะมีขนาดและมุมเท่ากันทั้งหมด แสดงการวัดถ่ายขนาดเพื่อตัดเฉียงบนท่อที่ต้องการนำมาประกอบเป็นท่อโค้ง ($\frac{90}{4}$ = 22.5 องศา) โดยตัดเพียงสองแนวแต่จะได้ปลายท่อที่ตัดเฉียง 4 ปลายเท่า ๆ กันแล้วจึงนำไปประกอบเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.2 ท่อโค้งแบบเซกเมนท์ ซึ่งมีท่อประกอบมุม 3 ส่วน จะมีปลายท่อที่ต้องตัดเฉียง 8 ปลาย แสดงการวัดถ่าย ขนาดเพื่อตัดเฉียงบนท่อโดยตัดเพียง 4 แนว แต่จะได้ปลายเฉียง 8 ปลาย เท่า ๆ กัน ($\frac{90}{8}$ = 11.25 องศา) แล้วจึงนำไปประกอบเข้าด้วยกัน

ท่อประกอบมุมของท่อโค้งแบบเซกเมนท์ ไม่ว่าจะมีกี่ส่วนถ้าประกอบในท่อโค้งเซกเมนท์เดียวกันแล้ว จะมีรูปร่าง ขนาดและมุมที่ตัดเฉียงเท่ากันหมด เว้นเฉพาะท่อท่อนปลายทั้งสองข้างของท่อโค้งเท่านั้นที่ตัดเฉียงเพียงปลายเดียว ความยาวของท่อประกอบมุมแต่ละส่วนจะใช้วิธีวัดจากแบบโดยตรง โดยเขียนแบบด้านข้างของท่อโค้งให้ได้ขนาดตามที่กำหนด จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 จะวัดความยาวส่วนที่เป็นปลายตัดเฉียง (ความยาว a) และถ่ายขนาดลงบนท่อเพื่อตัดเป็นส่วน ๆ ได้

ถ้าเป็นท่อขนาดเล็กซึ่งสามารถใช้เลื่อยที่ปรับมุมปากกาจับชิ้นงานได้จะตัดท่อโดยไม่มีข้อยุ่งยาก ส่วนท่อขนาดใหญ่หรือท่อที่ไม่สามารถใช้เครื่องเลื่อยที่ปรับมุมปากกาจับชิ้นงานได้ จำเป็นต้องถ่ายแบบรอยตัดลงบนท่อแล้วจึงตัดตามรอยที่ได้ถ่ายแบบไว้นั้น ในทางปฏิบัติจะถ่ายแบบแผ่นคลี่ลงบนแผ่นโลหะบาง ๆ ตัดแผ่นโลหะตามรอยภาพคลี่เป็นแบบตัดเมื่อต้องการตัดท่อเป็นส่วน ๆ ให้นำแบบแผ่นโลหะที่ตัดไว้นั้นทาบลงบนชิ้นงานท่อบริเวณที่จะต้องตัด ใช้ซอล์คทนความร้อนขีดตามรอยขอบของแบบที่ทาบบนท่อ แล้วใช้เปลวไฟจากหัวตัดแกสตัดตามรอยซอล์ค จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะขนาดตามต้องการ



รูปที่ 3.3 การเขียนแบบภาพคลี่ โดยฉายเส้นจากภาพด้านข้างของท่อโค้งแบบเซกเมนท์

ตัวอย่าง 3.1

ต้องการขึ้นรูปท่อโค้งแบบเซกเมนท์มุม 90° องศา โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตร รัศมีความโค้ง 250 มิลลิเมตร โดยมีช่วงท่อประกอบมุม 3 ส่วน จงอธิบายลำดับขั้นตอนการขึ้นรูปท่อโค้งนี้

ลำดับขั้น

1. หาจำนวนปลายท่อที่ต้องตัดเฉียง

ปลายท่อที่ต้องตัดเฉียง = จำนวนท่อประกอบมุม × 2 + 2

= 3 × 2 + 2 = 8

2. หามุมเอียงที่ต้องตัดท่อ

$$\text{มุมเอียงปลายท่อ} = \frac{\text{มุมข้อโค้ง}}{\text{ปลายท่อที่ต้องตัดเฉียง}}$$

$$= \frac{90}{8}$$

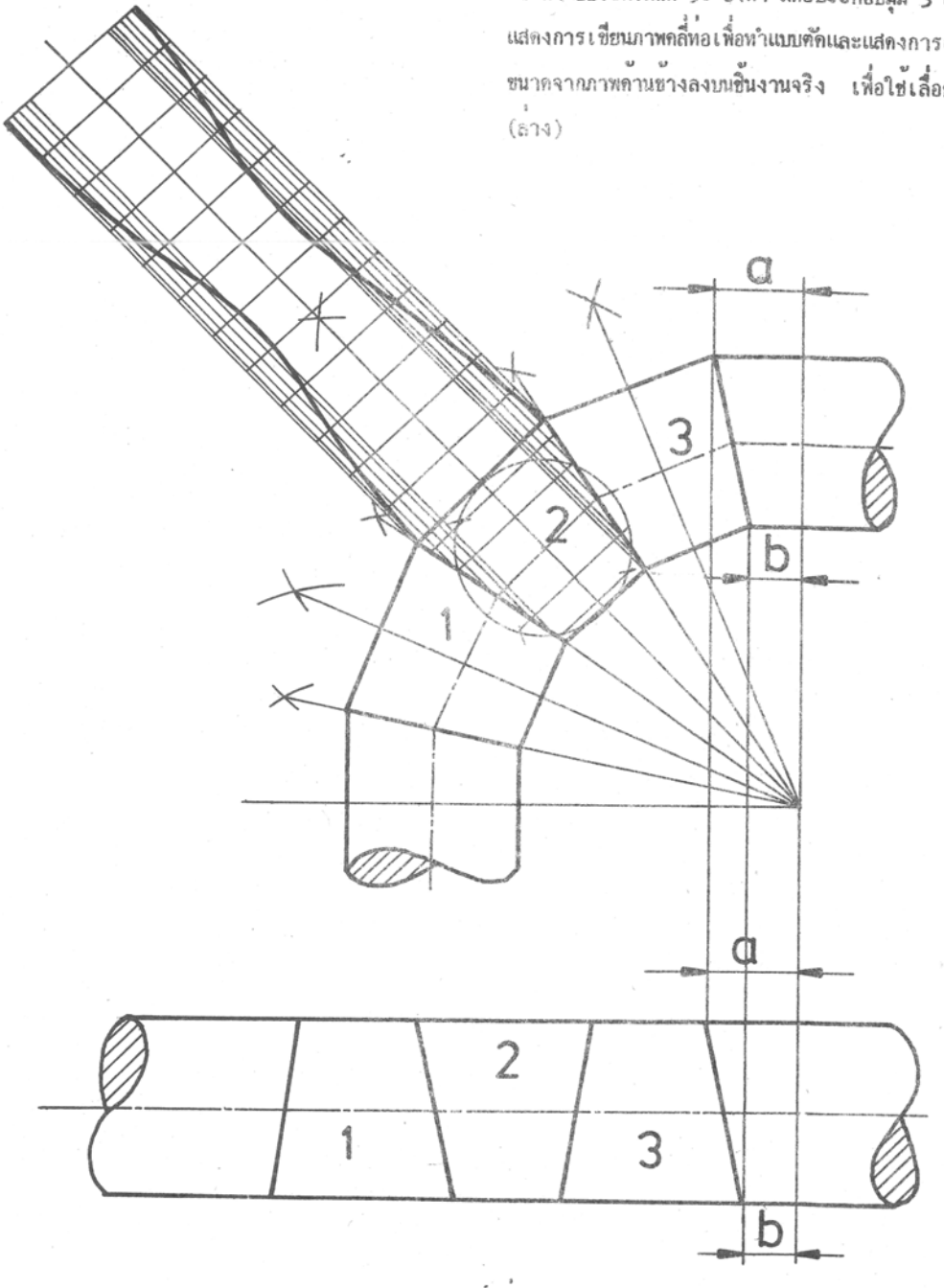
$$= 11.25 \text{ องศา}$$

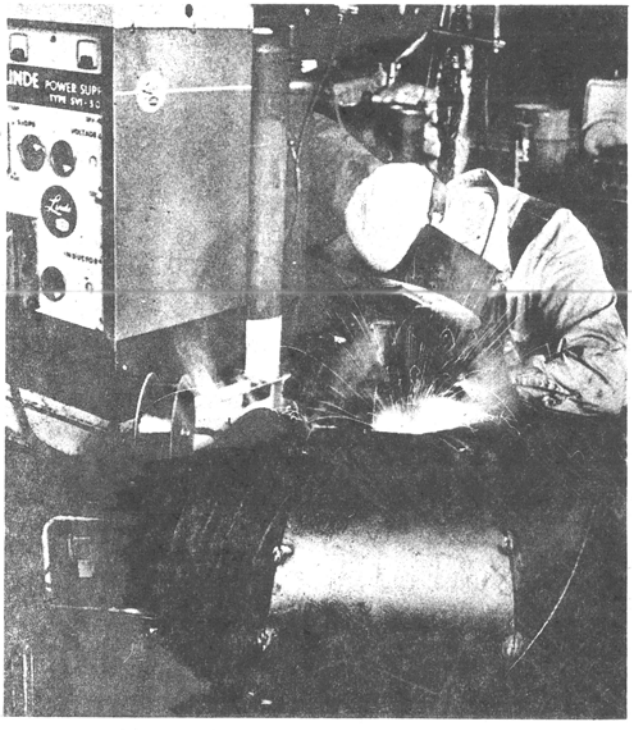
3. เขียนแบบด้านข้างของท่อโค้งแบบเซกเมนท์ โดยใช้ขนาดตามโจทย์กำหนดและที่คำนวณได้ เพื่อใช้วัดขนาดถ่ายแบบ
4. เขียนแบบภาพคลี่ท่อเพื่อถ่ายขนาดลงบนแผ่นโลหะที่ใช้ทำแบบตัด
5. ตัดแผ่นโลหะตามรอยที่เขียนภาพคลี่ไว้แล้วนั้นเพื่อใช้เป็นแบบตัด
6. นำแบบตัดไปถ่ายขนาดลงบนท่อ โดยม้วนรอบท่อใช้ชอล์คทนความร้อนขีดเส้นตามรอยโค้งจากแบบ – บนชิ้นงานเท่ากับจำนวนช่วงท่อประกอบมุม คือ 3 ส่วนเต็มและ 2 ส่วน ที่ปลายโค้ง
7. ตัดท่อตามรอยขีดโดยใช้เปลวไฟแกส ตามที่ทำเครื่องหมายไว้ทั้งหมดทุกชิ้น
8. ตบแต่งรอยตัดให้เรียบร้อยแล้ว นำมาเชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน

หมายเหตุ

ในกรณีที่มีเครื่องเสื่อยขนาดใหญ่และปรับมุมปากกาจับชิ้นงานได้ ไม่จำเป็นต้องเขียนภาพคลี่ท่อตามข้อ 4 แต่ใช้เลื่อยตัดท่อตามขนาดที่วัดจากข้อ 1 ได้โดยตรง

รูปที่ 3.4
ท่อโค้งแบบเซกเมนท์ 90 องศา มีท่อประกอบมุม 3 ส่วน แสดงการเขียนภาพคลี่ท่อเพื่อทำแบบตัดและแสดงการถ่ายขนาดจากภาพด้านข้างลงบนชิ้นงานจริง เพื่อใช้เลื่อยตัด (ล่าง)



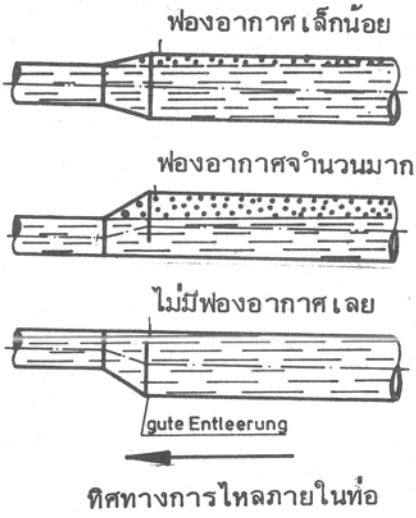


รูปที่ 3.5
ท่อโค้งแบบเซกเมนท์ สำหรับท่อขนาดใหญ่ขณะเชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน

3.3 งานขึ้นรูปข้อลดขนาดท่อ

การต่อท่อในบางครั้งจำเป็นต้องลดขนาดท่อให้เล็กลงจากเดิม โดยใช้ข้อลดสำเร็จมาประกอบกับท่อบริเวณที่ต้องการลดขนาดโดยใช้เกลียว เชื่อม หน้าแฟลนจ์หรือต่อท่อโดยวิธีอื่น ๆ นอกจากการใช้ข้อลดสำเร็จแล้ว อาจใช้วิธีขึ้นรูปเพื่อลดขนาดปลายท่อใหญ่ให้เท่ากับขนาดปลายท่อเล็กที่จะนำไปต่อก็ได้ การลดขนาดท่อทั้งสองลักษณะดังกล่าวกระทำได้โดยให้ท่อทั้งสองขนาดร่วมศูนย์กัน (Concentric) หรือเยื้องศูนย์กัน (Excentric) ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่จะยอมให้มีอากาศอยู่ภายในระบบท่อได้มากน้อยเพียงใด เพราะข้อลดจะทำหน้าที่ดักฟองอากาศภายในระบบท่อ ด้วย และขึ้นอยู่กับข้อพิจารณาอื่น ๆ

การขึ้นรูปข้อลดขนาดท่อสำหรับท่อที่มีขนาดแตกต่างกันมากระหว่างท่อขนาดใหญ่ที่จะลด และท่อขนาดเล็กที่จะนำมาต่อ จะใช้วิธีตัดผนังท่อออกเป็นบางส่วน แล้วจึงเจาะขึ้นรูปและเชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน ถ้าเป็นท่อที่มีขนาดไม่แตกต่างกันมากนิยมใช้วิธีตีขึ้นรูป



รูปที่ 3.6
ข้อลดขนาดท่อลักษณะต่าง ๆ แสดงฟองอากาศที่ขังตัว ในบริเวณข้อต่อ

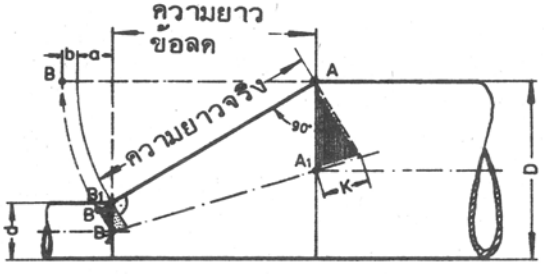
3.3.1 ขึ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์โดยวิธีตัด – เชื่อมเป็นสองส่วน

ก่อนขึ้นรูปต้องหาความยาวท่อส่วนที่เป็นข้อลด

ความยาวข้อลด = (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อใหญ่–เส้นผ่าศูนย์กลางท่อเล็ก) × 2 = (D – d) × 2

ลำดับขั้นการขึ้นรูปมีดังนี้

1. เขียนรูปด้านข้างของข้อลดในแผ่นกระดาษหรือแผ่นโลหะมีขนาดและลักษณะตามต้องการ เพื่อวัดความยาวส่วนสำคัญต่าง ๆ จากรูปโดยตรง ได้แก่ ความยาว a, b และ K



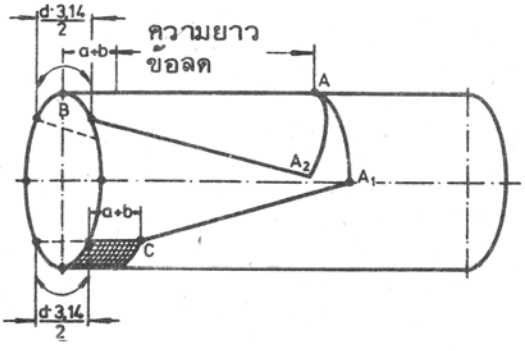
รูปที่ 3.7
เขียนรูปด้านข้างข้อลดตามขนาดที่กำหนด และลากเส้นแสดงความยาวของส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการ มาตราส่วน 1:1

2. คำนวณหาความยาวเส้นรอบวงของท่อขนาดเล็ก

ความยาวเส้นรอบวง = $d \times 3.14$

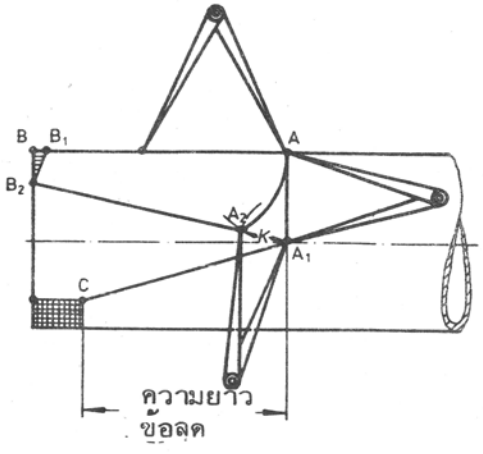
ครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นรอบวง = $\frac{d \times 3.14}{2}$

3. วัดถ่ายขนาดจากรูปด้านข้างลงบนปลายท่อขนาดใหญ่ที่ต้องการขึ้นรูปเป็นข้อลด ดังรูป 3.8 ขณะนี้ท่อจะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ท่อส่วนบนและท่อส่วนล่าง แต่มีขนาด ลักษณะต่างกัน



รูปที่ 3.8
วัดถ่ายขนาดจากรูปด้านข้างลงบนปลายท่อตามความยาวจากรูปด้านข้าง (รูปที่ 3.7) และที่คำนวณได้

4. การวัดความยาวจากรูปด้านข้างและถ่ายขนาดบนปลายท่อขนาดใหญ่นั้น ให้ใช้วงเวียนวัดความยาวจากรูปและถ่ายขนาดตามหลักการในรูปที่ 3.9 ลากเส้นต่อระหว่างจุดทุก ๆ จุด



รูปที่ 3.9
ใช้วงเวียนวัดถ่ายขนาดตามความโค้ง โดยวัดความยาวตรงส่วนต่าง ๆ จากรูปด้านข้าง (รูปที่ 3.7)

ความยาวช่วง $A - B_1$ วัดความยาวจริงจากรูปด้านข้าง

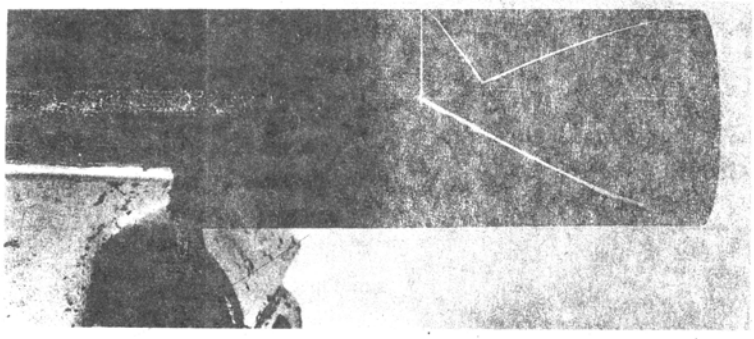
ความยาวช่วง $B_1 - B$ วัดความยาวจริงจากรูปด้านข้าง

ความยาวช่วง $a + b$ = ช่วง c วัดความยาวจริงจากรูปด้านข้าง

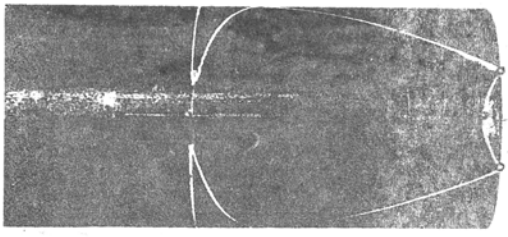
ความยาวช่วง $A - A_1$ = $A - A_2$ วัดความยาวตามความโค้งท่อ

ความยาวช่วง K วัดความยาวจริงจากรูปด้านข้าง

ความยาวปลายหน้าตัดท่อส่วนบนและส่วนล่างแต่ละส่วนจะยาวเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นรอบวง ท่อขนาดเล็ก = $\frac{d \times 3.14}{2}$



รูปที่ 3.10
ปลายท่อขนาดใหญ่เมื่อถ่ายขนาดและลากเส้นต่อจุดต่าง ๆ แล้ว มองจากด้านข้าง

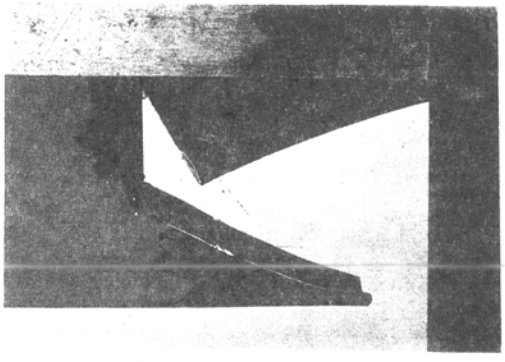


B_2
B_1
B_2

รูปที่ 3.11
ปลายท่อขนาดใหญ่เมื่อถ่ายขนาดและลากเส้นต่อจุดต่าง ๆ แล้ว มองจากด้านบนความยาวส่วนโค้ง

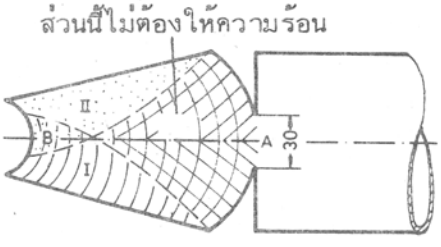
$B_2 - B_1 - B_2 = \frac{d \times 3.14}{2}$

5. ตัดปลายท่อตามรอยที่เขียนไว้โดยใช้เปลวไฟแก๊สหรือเลื่อยมือ แต่ใช้เลื่อยมือจะได้งานที่ประณีตกว่า เว้นช่วงที่เป็นรอยต่อส่วนที่ต้องพับเป็นมุมไว้กว้างประมาณ 30 มิลลิเมตร ดังรูป 3.13 บากขอบรอยตัดของชิ้นงาน เพื่อเชื่อมแนวตัววี ตบแต่งรอยตัดให้เรียบร้อย



รูปที่ 3.12
ปลายท่อส่วนที่จะขึ้นรูปเป็นข้อลดเมื่อตัดบางส่วนออกแล้วสังเกตว่าปลายท่อส่วนบนจะยาวกว่า – ปลายท่อส่วนล่างเล็กน้อยเท่ากับระยะ a + b

6. ใช้เปลวไฟเผาให้ความร้อนปลายท่อเป็นส่วน ๆ แล้วเคาะขึ้นรูปโค้งช่วง I ช่วง II เรียงไปตามลำดับ ให้รอยต่อด้านข้างมีลักษณะโค้งเรียวทั้งส่วนบนและส่วนล่าง ลำดับสุดท้ายจึงเผาให้ความร้อนและเคาะท่อส่วนบนไปบรรจบกับส่วนล่างโดยเผาบริเวณช่วง A แล้วเคาะตัด



รูปที่ 3.13
แสดงบริเวณที่เผาให้ความร้อนเป็นส่วน ๆ เพื่อเคาะขึ้นรูปเรียงไปตามลำดับ

7. เคาะตบแต่งขึ้นรูปรอยต่อทุก ๆ ส่วนให้โค้งกลมกลืนกันอีกครั้งหนึ่ง

รูปที่ 3.14
ชิ้นงานข้อลดเมื่อเคาะขึ้นรูปเสร็จแล้วพร้อมที่จะเชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน สังเกตรอยต่อซึ่งมีลักษณะเป็นรูปตัววี

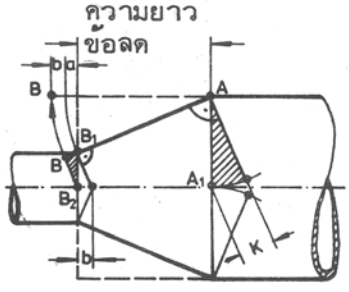
3.3.2 ขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์โดยวิธีตัด—เชื่อมเป็นสองส่วน

มีหลักการคล้ายงานขึ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์ ต่างกันบ้างเล็กน้อยเฉพาะพื้นที่ ๆ ต้องตัดออกซึ่งจะต้องตัดออกทั้งท่อส่วนบนและส่วนล่าง มีลักษณะ ขนาดเท่ากัน มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. หาความยาวตรงส่วนที่เป็นข้อลด โดยใช้สูตรเดิม

   ความยาวข้อลด = (D − d) × 2

2. เขียนรูปด้านข้างของข้อลดในแผ่นกระดาษหรือแผ่นโลหะ มีขนาดและลักษณะตามต้องการ โดยใช้มาตราส่วน 1 : 1 (สำหรับท่อขนาดใหญ่อาจใช้มาตราส่วนย่อได้) จากรูปด้านข้างจะสามารถวัดความยาวส่วนสำคัญที่ต้องการ ได้แก่ ความยาว a, b และ K

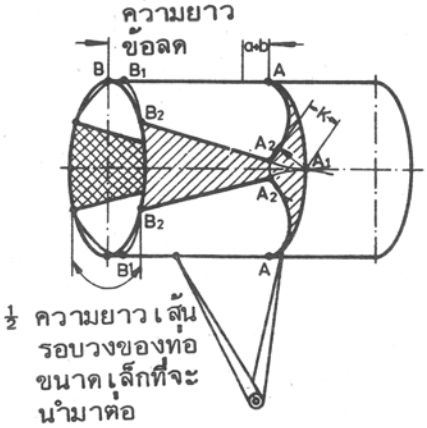


รูปที่ 3.15
เขียนรูปด้านข้างข้อลดตามขนาดกำหนด เพื่อหาความยาวของเส้นส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการ

3. คำนวณหาความยาวเส้นรอบวงของท่อขนาดเล็ก

   ความยาวเส้นรอบวง = d × 3.14

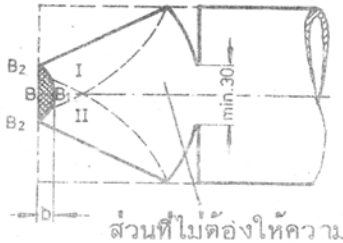
   ครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นรอบวง = $\frac{d \times 3.14}{2}$



4. วัดถ่ายขนาดจากรูปด้านข้างลงบนปลายท่อขนาดใหญ่ที่ต้องการขึ้นรูปเป็นข้อลด ดังรูป 3.16 ขณะนี้ท่อจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ ท่อส่วนบนและท่อส่วนล่าง ซึ่งทั้งสองส่วนจะมีขนาด และลักษณะเดียวกัน ใช้ชอล์คทนความร้อนเขียนเส้นให้ชัดเจน

รูปที่ 3.16
วัดถ่ายขนาดจากรูปด้านข้างลงบนปลายท่อ ซึ่งขณะนี้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน แต่จะมีขนาดและลักษณะเดียวกัน บริเวณส่วนแลเงา เป็นส่วนที่ต้องตัดออก

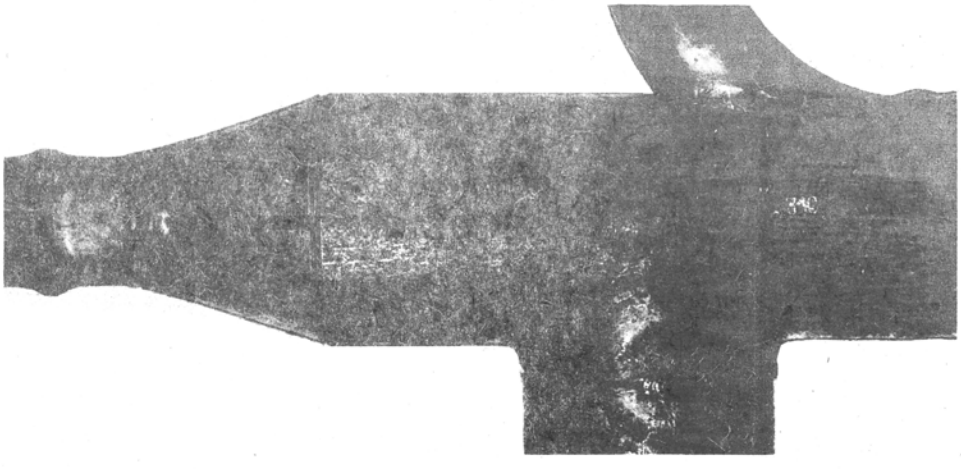
5. ตัดปลายท่อตามรอยที่เขียนไว้โดยใช้เปลวไฟแก๊สหรือเลื่อยมือ แต่การใช้เลื่อยมือจะได้งานที่ประณีตกว่า เว้นช่วงที่เป็นรอยต่อส่วนที่ต้องพับเป็นมุมทั้งท่อส่วนบนและส่วนล่างไว้กว้างประมาณ 30 มิลลิเมตร ดังรูป 3.17 บากขอบรอยตัดบนชิ้นงานเพื่อเชื่อมแนวตัววี ตบแต่งรอยตัดให้เรียบร้อย



รูปที่ 3.17
แสดงบริเวณที่เผาให้ความร้อนส่วน I ส่วน II เพื่อเคาะขึ้นรูป

6. ใช้เปลวไฟเผาให้ความร้อนปลายท่อเป็นส่วน ๆ เคาะขึ้นรูปโค้งส่วน I และ II ตามลำดับโดยให้รอยต่อด้านข้างมีลักษณะโค้งเรียวทั้งส่วนบนและส่วนล่าง ลำดับสุดท้ายจึงเผาให้ความร้อนบริเวณช่วงที่ต้องพับเป็นมุม ทั้งส่วนบนและส่วนล่าง แล้วเคาะขึ้นรูปให้มาบรรจบกันตรงกลางทั้ง 2 ส่วน

7. เผาให้ความร้อนและตบแต่งชิ้นรูปรอยต่อทุก ๆ ส่วน ให้โค้งกลมกลืนกันอีกครั้งหนึ่ง ขณะนี้รอยต่อทุกแนว จะมีลักษณะบากเป็นรูปตัววี



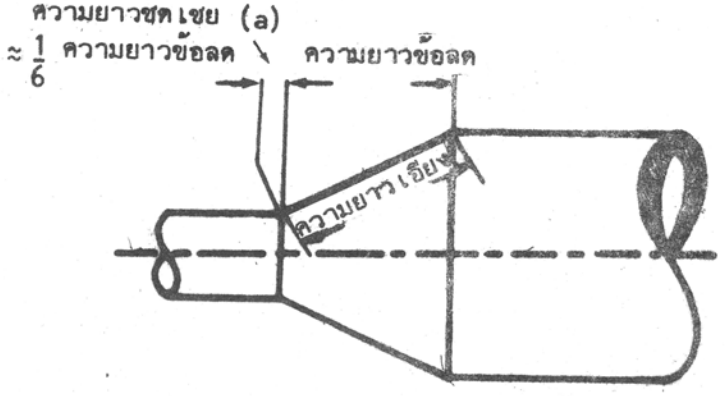
รูปที่ 3.18 ข้อลดร่วมศูนย์ โดยใช้วิธีตัด–เชื่อมเป็น 2 ส่วน เมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้วแต่ยังไม่เชื่อม สังเกตรอยต่อซึ่งมีลักษณะเป็นรูปตัววี

3.3.3 ขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์โดยวิธีตัด – เชื่อมเป็นสี่ส่วน

งานขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์ โดยวิธีนี้จะแบ่งเส้นรอบวงปลายท่อที่จะขึ้นรูปเป็น 4 ส่วน วัดขนาดและตัดผนังท่อออกเป็นรูปลิ่ม 4 รูป ตามส่วนแบ่งที่คำนวณได้ แล้วจึงเจาะขึ้นรูปให้เข้ามาบรรจบกันทั้ง 4 ส่วน การคำนวณความยาวข้อลดยังใช้สูตรเดิม คือ

ความยาวข้อลด	=	(D – d) × 2

ความยาวข้อลดตามสูตรข้างบนนี้เป็นความยาวช่วงตรง เมื่อวัดตามแนวแกนท่อ แต่ถ้าวัดตามผนังท่อ (ความยาวเอียง) จะยาวกว่าความยาวจริงเล็กน้อย ดังนั้นการวัดถ่ายขนาดบนผนังท่อเพื่อแบ่งส่วนนั้น ให้เผื่อความยาวชดเชย (ช่วง a) ในรูปที่ 3.19 ไว้ประมาณ 1/6 ของความยาวข้อลดที่คำนวณได้ แล้วคำนวณหาระยะส่วนที่ต้องตัดออกเป็นรูปลิ่มต่อไป



รูปที่ 3.19
ข้อลดร่วมศูนย์แสดงความยาวข้อลด (ความยาวตรง) ความยาวเอียงและความยาวชดเชย (a)

การคำนวณหาขนาดของรูปลิ่มส่วนที่ต้องตัดออกรวม 4 ส่วนนั้น ความยาวของรูปลิ่มจะเท่ากับความยาวเอียงของข้อลด ความกว้างที่ฐานของลิ่มหาได้จากสูตร

$$\text{ส่วนกว้างรูปลิ่มที่ต้องตัดออก (K)} = \frac{\text{ความยาวเส้นรอบวงท่อใหญ่} - \text{ความยาวเส้นรอบวงท่อเล็ก}}{\text{จำนวนส่วนที่แบ่ง}}$$

$$= \frac{(D - d) \times 3.14}{\text{จำนวนส่วนที่แบ่ง}}$$

ตัวอย่าง 3.2

ต้องการขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์ โดยวิธีตัดเชื่อมเป็น 4 ส่วน โดยใช้ท่อขนาด 100/108 ลดขนาดเป็นท่อ 1 นิ้ว จงคำนวณหาขนาดผนังส่วนที่ต้องตัดออกแต่ละส่วน

ผนังท่อส่วนที่ต้องตัดออกจะมีลักษณะเป็นรูปลิ่ม

หาความยาวของรูปลิ่ม

ความยาวข้อลด = $(D - d) \times 2$

= $(108 - 33) \times 2$

= 150 มม.

ความยาวรูปลิ่ม = ความยาวข้อลด + $\frac{1}{6}$ ความยาวข้อลด

= 150 + 25

= 175 มม.

หาความกว้างรูปลิ่ม

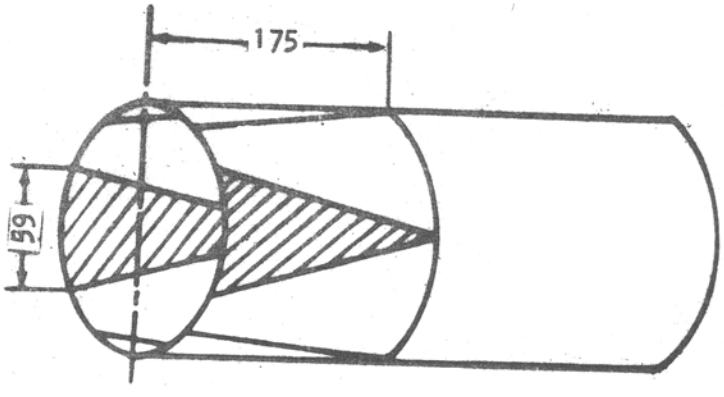
ความกว้างรูปลิ่ม (K) = $\frac{(D - d) \times 3.14}{4}$

= $\frac{(108 - 33) \times 3.14}{4}$

= $\frac{235.5}{4}$ = 58.8

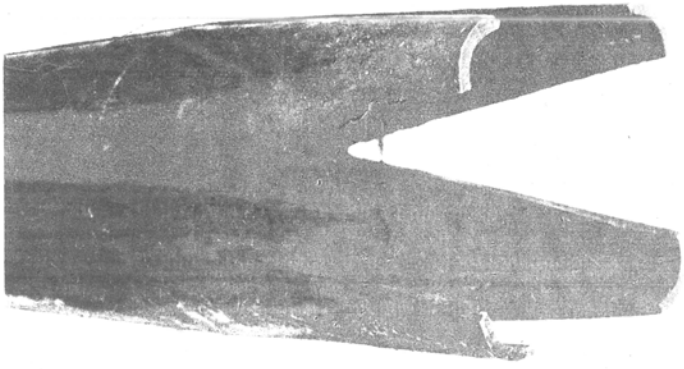
≈ 59 มม.

ขนาดผนังที่ต้องตัดออกแต่ละส่วนจะมีลักษณะเป็นรูปลิ่มขนาดกว้าง 59 มิลลิเมตร ยาว 175 มิลลิเมตร



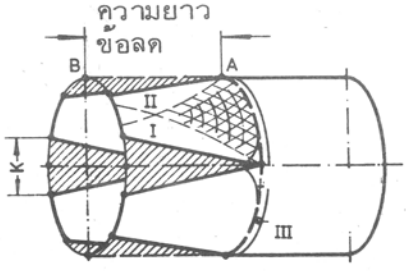
รูปที่ 3.20
ข้อลดร่วมศูนย์ตามตัวอย่าง 3.2
แสดงพื้นที่รูปลิ่มที่ต้องตัดออก

เมื่อรู้ขนาดพื้นที่รูปลิ่มที่จะต้องตัดออกแล้ว ให้นำไปวัดถ่ายขนาดลงบนปลายท่อขนาดใหญ่ ที่ต้องการขึ้นรูปเป็นข้อลด โดยแบ่งความยาวเส้นรอบวงท่อออกเป็น 4 ส่วน เขียนรูปลิ่มลงในพื้นที่แต่ละส่วนนั้น แล้วตัดพื้นที่รูปลิ่มเหล่านั้นออก การใช้เลื่อยตัดจะได้ผลงานที่ประณีตกว่าใช้เปลวไฟแกส ตบแต่งรอยตัดให้เรียบร้อย และบากขอบรอยตัด ให้เป็นมุมสำหรับเชื่อมแนวตัววี พร้อมที่จะเคาะขึ้นรูปต่อไป



รูปที่ 3.21
ปลายท่อส่วนที่จะขึ้นรูปเป็นข้อลด เมื่อตัดผนังรูปลิ่มออกทั้ง 4 ส่วนแล้ว

การเคาะขึ้นรูปปลายท่อที่ตัดผนังบางส่วนออกแล้วให้เป็นข้อลดนั้น จะต้องเผาให้ความร้อนและเคาะขึ้นรูปเรียงไปตามลำดับทั้ง 4 ส่วน แต่ละส่วนจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนย่อย ส่วนที่ I และ II เมื่อเผาให้ความร้อน ส่วนที่ I และเคาะขึ้นรูปโค้งตามความยาวเสร็จแล้วจึงเผาให้ความร้อนส่วนที่ II และเคาะในลักษณะเดิมขณะที่ปลายท่อจะมีลักษณะเป็นส่วนโค้ง 1/4 ของเส้นรอบวงของท่อขนาดเล็กที่จะนำมาต่อ เมื่อเผาให้ความร้อน และเคาะขึ้นรูปจนครบ 4 ส่วนแล้ว ขั้นต่อไปจึงเผาให้ความร้อนบริเวณส่วนที่ III ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นรอบวงโดยรอบ พร้อมทั้งเคาะขึ้นรูปให้ปลายทั้ง 4 ส่วนเข้ามาบรรจบกันทุก ๆ ด้าน ตรวจสอบอีกครั้งว่าส่วนที่เคาะเป็นท่อเล็กนั้น มีศูนย์รวมกับท่อใหญ่หรือไม่ ตามรูปที่ 3.23 เคาะตบแต่งบริเวณข้อลดให้โค้งกลมกลืนกัน และรอยต่อทุก ๆ รอย ให้ชิดกันอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.22
แสดงส่วนที่ต้องตัดออก มีลักษณะเป็นรูปลิ่ม 4 ส่วน และพื้นที่ย่อยในแต่ละส่วนที่จะเผาให้ความร้อน

ตัวอย่าง 3.2

ต้องการขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์ โดยวิธีตัดเชื่อมเป็น 4 ส่วน โดยใช้ท่อขนาด 100/108 ลดขนาดเป็นท่อ 1 นิ้ว จงคำนวณหาขนาดผนังส่วนที่ต้องตัดออกแต่ละส่วน

ผนังท่อส่วนที่ต้องตัดออกจะมีลักษณะเป็นรูปลิ่ม

หาความยาวของรูปลิ่ม

ความยาวข้อลด = (D – d) × 2

= (108 – 33) × 2

= 150 มม.

ความยาวรูปลิ่ม = ความยาวข้อลด + $\frac{1}{6}$ ความยาวข้อลด

= 150 + 25

= 175 มม.

หาความกว้างรูปลิ่ม

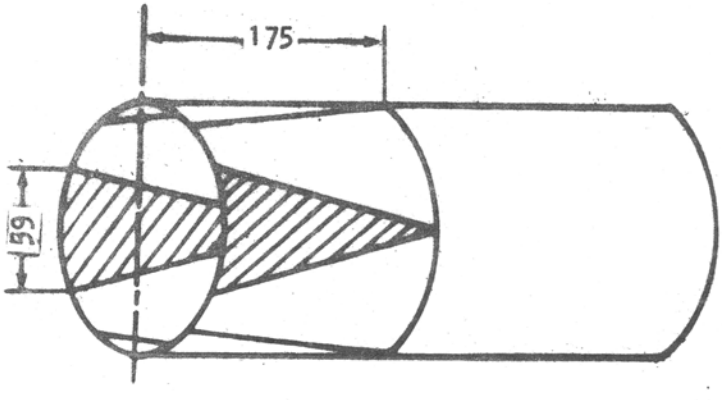
ความกว้างรูปลิ่ม (K) = $\frac{(D - d) \times 3.14}{4}$

= $\frac{(108 - 33) \times 3.14}{4}$

= $\frac{235.5}{4}$ = 58.8

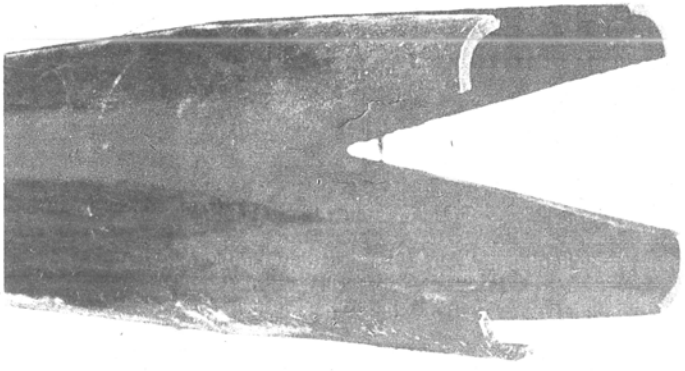
≈ 59 มม.

ขนาดผนังที่ต้องตัดออกแต่ละส่วนจะมีลักษณะเป็นรูปลิ่มขนาดกว้าง 59 มิลลิเมตร ยาว 175 มิลลิเมตร



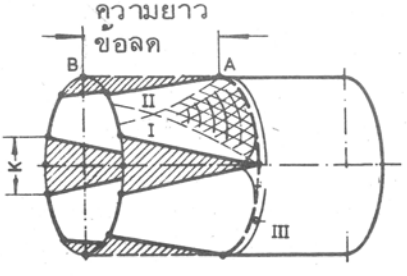
รูปที่ 3.20
ข้อลดร่วมศูนย์ตามตัวอย่าง 3.2
แสดงพื้นที่รูปลิ่มที่ต้องตัดออก

เมื่อรู้ขนาดพื้นที่รูปลิ่มที่จะต้องตัดออกแล้ว ให้นำไปวัดถ่ายขนาดลงบนปลายท่อขนาดใหญ่ ที่ต้องการขึ้นรูปเป็นข้อลด โดยแบ่งความยาวเส้นรอบวงท่อออกเป็น 4 ส่วน เขียนรูปลิ่มลงในพื้นที่แต่ละส่วนนั้น แล้วตัดพื้นที่รูปลิ่มเหล่านั้นออก การใช้เลื่อยตัดจะได้ผลงานที่ประณีตกว่าใช้เปลวไฟแกส ตบแต่งรอยตัดให้เรียบร้อย และบากขอบรอยตัด ให้เป็นมุมสำหรับเชื่อมแนวตัววี พร้อมที่จะเคาะขึ้นรูปต่อไป

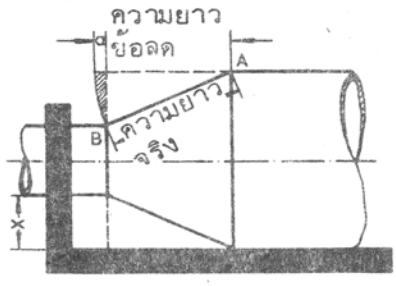


รูปที่ 3.21
ปลายท่อส่วนที่จะขึ้นรูปเป็นข้อลด เมื่อตัดผนังรูปลิ่มออกทั้ง 4 ส่วนแล้ว

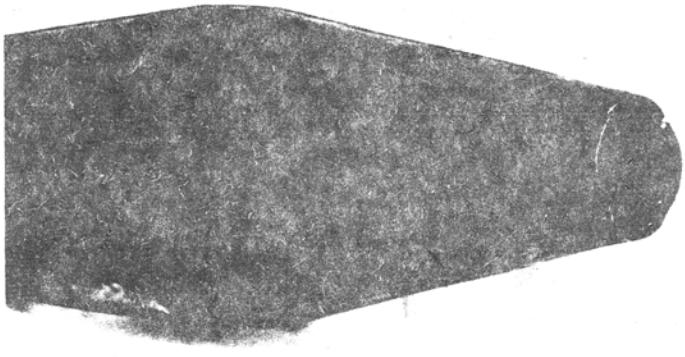
การเคาะขึ้นรูปปลายท่อที่ตัดผนังบางส่วนออกแล้วให้เป็นข้อลดนั้น จะต้องเผาให้ความร้อนและเคาะขึ้นรูปเรียงไปตามลำดับทั้ง 4 ส่วน แต่ละส่วนจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนย่อย ส่วนที่ I และ II เมื่อเผาให้ความร้อน ส่วนที่ I และเคาะขึ้นรูปโค้งตามความยาวเสร็จแล้วจึงเผาให้ความร้อนส่วนที่ II และเคาะในลักษณะเดิมขณะที่ปลายท่อจะมีลักษณะเป็นส่วนโค้ง 1/4 ของเส้นรอบวงของท่อขนาดเล็กที่จะนำมาต่อ เมื่อเผาให้ความร้อน และเคาะขึ้นรูปจนครบ 4 ส่วนแล้ว ขั้นต่อไปจึงเผาให้ความร้อนบริเวณส่วนที่ III ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นรอบวงโดยรอบ พร้อมทั้งเคาะขึ้นรูปให้ปลายทั้ง 4 ส่วนเข้ามาบรรจบกันทุก ๆ ด้าน ตรวจสอบอีกครั้งว่าส่วนที่เคาะเป็นท่อเล็กนั้น มีศูนย์รวมกับท่อใหญ่หรือไม่ ตามรูปที่ 3.23 เคาะตบแต่งบริเวณข้อลดให้โค้งกลมกลืนกัน และรอยต่อทุก ๆ รอย ให้ชิดกันยิ่งครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.22
แสดงส่วนที่ต้องตัดออก มีลักษณะเป็นรูปลิ่ม 4 ส่วน และพื้นที่ย่อยในแต่ละส่วนที่จะเผาให้ความร้อน



รูปที่ 3.23
ตรวจสอบบริเวณที่เคาะขึ้นรูปว่าร่วมศูนย์เดียวกับท่อเดิมหรือไม่ โดยใช้ฉากหาบและวัดขนาด X โดยรอบ



รูปที่ 3.24
ชิ้นงานเมื่อเคาะขึ้นรูปเสร็จแล้วพร้อมที่จะนำไปเชื่อมรอยต่อ ซึ่งได้บากขอบงานเป็นรูปตัววีไว้แล้ว

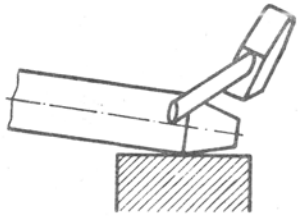
3.3.4 ขึ้นรูปข้อลด โดยวิธีเคาะขึ้นรูป

ข้อลดท่อซึ่งมีขนาดท่อทั้งสองด้านไม่แตกต่างกันมากนัก อาจขึ้นรูปโดยการเผาให้ความร้อนและเคาะขึ้นรูปโดยไม่ต้องตัดผนังท่อบางส่วนออกตามที่บรรยายแล้ว สามารถเคาะขึ้นรูปได้ทั้งข้อลดเยื้องศูนย์และข้อลดร่วมศูนย์

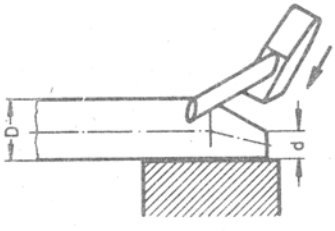
ความยาวข้อลด โดยวิธีเคาะขึ้นรูปนี้ไม่ควรยาวกว่าความยาวข้อลดซึ่งขึ้นรูปโดยวิธีตัด – เชื่อม กล่าวคือ ความยาวข้อลด $\leq (D - d) \times 2$ เช่นท่อขนาด 82/89 มิลลิเมตร ถ้าต้องการเคาะขึ้นรูปเป็นข้อลด เพื่อต่อร่วมกับท่อขนาด $1\frac{1}{4}$ นิ้ว (d = 42.25 มม.) ความยาวข้อลดจะยาวไม่เกิน $(89 - 42) \times 2 = 94$ มิลลิเมตร

เมื่อทราบความยาวข้อลดแล้วให้ใช้ซอลด์ขีดทำเครื่องหมายไว้โดยรอบท่อ เผาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนรอบท่อ นำชิ้นงานวางบนทั่งใช้ค้อนเคาะโดยรอบ เริ่มจากส่วนปลายท่อเข้ามายังบริเวณที่ทำเครื่องหมายไว้แล้วนั้น การเคาะต้องเคาะวนไปรอบ ๆ ท่อ โดยให้น้ำหนักค้อนที่เคาะสม่ำเสมอกัน ถ้าเป็นข้อลดร่วมศูนย์ ให้ยกปลายท่อขึ้นเล็กน้อยเพื่อให้ปลายด้านที่เผาให้ความร้อนเพื่อเคาะสัมผัสกับผิวหน้าของทั่ง จะช่วยให้เคาะขึ้นรูปได้เร็วขึ้น แต่ถ้า

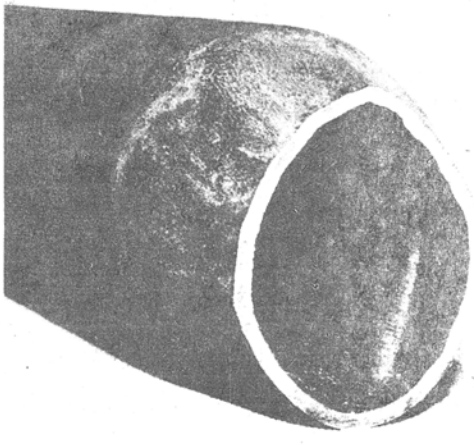
เป็นข้อลดเยื้องศูนย์จะไม่เผาให้ความร้อนจนรอบท่อ แต่จะเว้นบริเวณด้านที่จะต้องเป็นส่วนตรงร่วมกับท่อเดิม ไม่ต้องเผาและขณะที่เคาะขึ้นรูปให้วางชิ้นงานให้ส่วนที่ไม่ได้เผาให้ความร้อนนั้นราบไปกับผิวหน้าของทั่ง ใช้ค้อนเคาะไล่ไปรอบ ๆ บริเวณผนังท่อด้านบนและด้านข้างที่เผาให้ความร้อนนั้น โดยเคาะไล่มาจากปลายเช่นเดียวกัน นอกจากนี้งานเคาะขึ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์อาจวางบนแบบที่ทำจากเหล็กฉาก ดังรูป จะช่วยเคาะได้สะดวกขึ้น แบบที่ใช้รองเคาะนี้เป็นแบบชิ้นเดียวกับใช้เคาะขึ้นรูปหน้าแฟลนจ์ (หน้า 100)



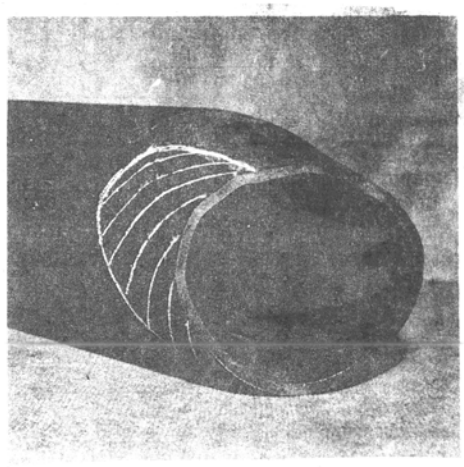
รูปที่ 3.25
งานเคาะขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์ให้เอียงขึ้นงานเล็กน้อยขณะเคาะ
เพื่อให้ท่อส่วนที่เคาะขึ้นรูปสัมผัสกับผิวหน้าทั่ง



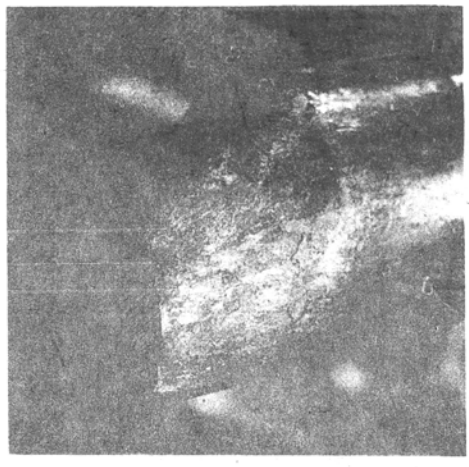
รูปที่ 3.26
งานเคาะขึ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์ ให้วางชิ้นงานด้านที่จะเป็น
เส้นตรงราบกับผิวหน้าทั่ง เคาะเฉพาะด้านบนและด้านข้าง



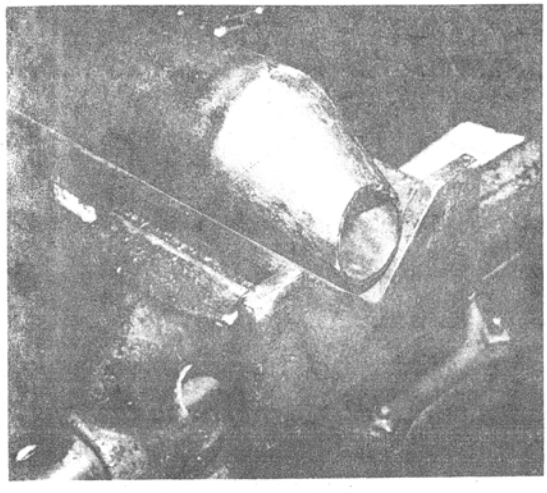
รูปที่ 3.27
ข้อลดเยื้องศูนย์ขณะเผาให้ความร้อน
และเคาะครั้งแรกแล้ว



รูปที่ 3.28
ข้อลดเยื้องศูนย์ที่เคาะแล้วไม่กลมสม่ำเสมอกัน ต้องเผาให้ความร้อนเฉพาะบริเวณ แล้วจึงเคาะซ้ำในส่วนนั้น



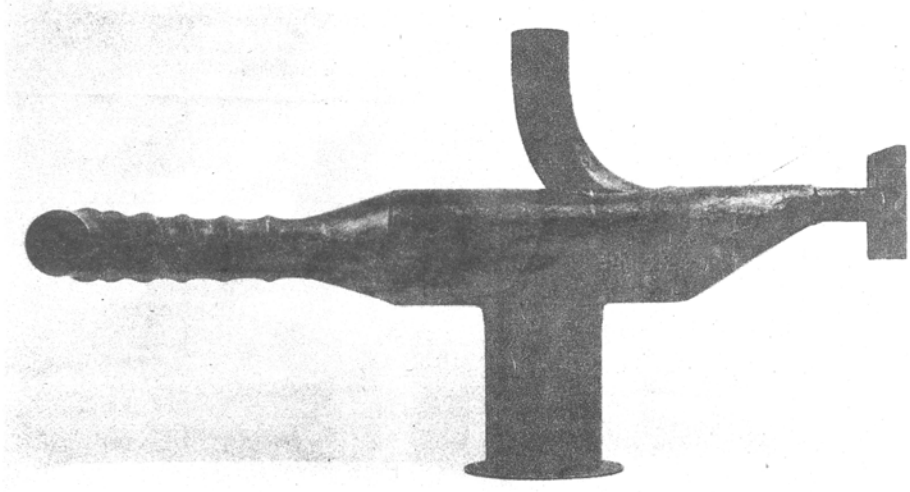
รูปที่ 3.29
ข้อลดเยื้องศูนย์ซึ่งเคาะขึ้นรูปจนมีขนาดปากท่อประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดท่อใหญ่



รูปที่ 3.30
การเคาะข้อลดเยื้องศูนย์โดยใช้แบบรองงานซึ่งทำด้วยเหล็กฉาก จะช่วยให้เคาะขึ้นรูปได้สะดวกขึ้น

ในขณะที่เคาะขึ้นรูปชิ้นงานจะต้องร้อนแดงอยู่เสมอ ถ้าชิ้นงานเย็นลงมากซึ่งสังเกตได้จากสีผิวท่อเปลี่ยนไปจนเกือบเป็นสีดำ ต้องหยุดเคาะแล้วเผาให้ความร้อนใหม่อีกครั้งจึงเคาะต่อ มิฉะนั้นอาจทำให้ผนังท่อแตกร้าวได้ ขณะเคาะขึ้นรูปให้หมั่นตรวจสอบขนาดและศูนย์ท่ออยู่เสมอ เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเอียงผิดรูปไปจากที่ต้องการ ซึ่งจะแก้ไขได้ยากถ้าเคาะขึ้นรูปจนเสร็จแล้วแต่ศูนย์ท่อเยื้องไปจากเดิม

งานเคาะขึ้นรูปข้อลดนี้ผนังท่อส่วนที่เป็นข้อลดจะมีความหนาเพิ่มขึ้นจากเดิม ทั้งนี้เพราะเนื้อโลหะที่เป็นผนังท่อส่วนนั้นจะถูกอัดตัวเข้าด้วยกัน จนกว่าจะมีขนาดตามต้องการ



รูปที่ 3.31 งานขึ้นรูปข้อลดแบบร่วมศูนย์ (ซ้าย) และข้อลดแบบเยื้องศูนย์ (ขวา)

3.4 งานเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์

ท่ออาจนำมาเคาะขึ้นรูปปลายท่อให้ตั้งฉากโดยรอบ มีลักษณะคล้ายหน้าแฟลนจ์ และเมื่อใช้ประกอบกับขอบวงแหวนสำหรับร้อยสลักเกลียว จะมีลักษณะเช่นเดียวกับหน้าแฟลนจ์ที่ใช้ในการต่อท่อทั่ว ๆ ไป มีส่วนที่ต่างอยู่บ้างเพราะหน้าแฟลนจ์นี้หมุนปรับตำแหน่งรูเจาะที่ใช้ร้อยสลักเกลียวให้ตรงกันได้ งานเคาะขึ้นรูปนี้ถ้าเป็นท่อที่ไม่หนามากและขอบหน้าแฟลนจ์ไม่กว้างมากนักเคาะขึ้นรูปโดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วย แต่งานเคาะขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนจะได้ผลงานที่ดีและประหยัดเวลาในการทำงาน ก่อนเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ต้องคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

ความกว้างขอบหน้าแฟลนจ์ (B) = $\frac{D_1 - d}{2}$

ความยาวชิ้นงานก่อนเคาะขึ้นรูป = L + B − S

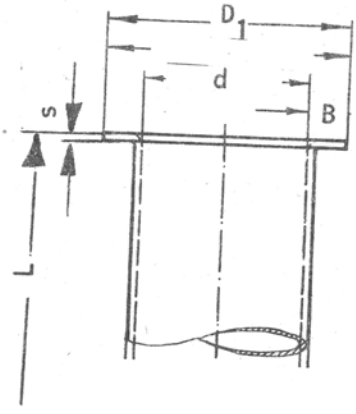
เมื่อกำหนด B = ความกว้างของหน้าแฟลนจ์

D_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของขอบหน้าแฟลนจ์

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อ

S = ความหนาของผนังท่อ

L = ความยาวชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 3.32
ลักษณะงานเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ แสดงส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ

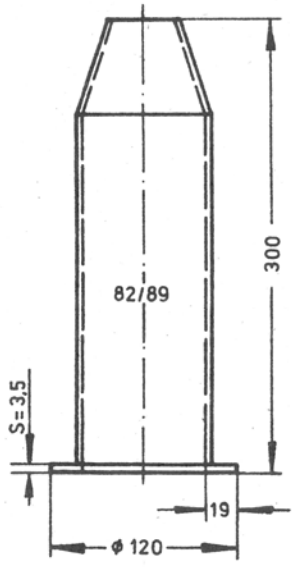
ลำดับขั้นและเทคนิคงานเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ท่อมีดังนี้

1. คำนวณหาความกว้างขอบหน้าแฟลนจ์
2. ใช้วงเวียนกางรัศมีเท่ากับความกว้างขอบที่คำนวณได้ นำมาขีดเส้นปลายท่อด้านในข้างที่ต้องการเคาะขึ้นรูปให้รอบ
3. เผาปลายท่อให้อ่อนทั่วทั้งหมดจนถึงรอยที่ขีดไว้ตาม 2
4. วางชิ้นงานให้รอยขีดด้านในบริเวณปลายท่ออยู่ตรงกับสันขอบทั่ง ชิ้นงานเอียงทำมุมกับผิวหน้าทั่งเล็กน้อย

5. ใช้คอนเคาะปลายท่อด้านในที่ยื่นพ้นขอบทั้ง ให้ยึดตัวบานออกพร้อมกับหมุนท่อไปรอบ ๆ การเคาะต้องเคาะด้วยแรงสม่ำเสมอ
6. เมื่อเคาะและหมุนท่อไปครบรอบแล้ว ถ้าจะขึ้นรอบใหม่ให้เอียงท่อจากเดิมเล็กน้อย แล้วเคาะโดยรอบเช่นกัน
7. เคาะท่อในลักษณะนี้จนขอบท่อที่เคาะตั้งฉากกับผิวท่อ

ข้อควรระวัง

1. ต้องเคาะเป็นชั้น ๆ ให้ครบรอบหลาย ๆ รอบ อย่าเคาะเพียงครั้งเดียวให้ขอบท่อตั้งฉาก มิฉะนั้นขอบท่ออาจฉีกขาดหรือขอบท่อจะเว้าเข้ามีลักษณะคอดเป็นคอขวด
2. ชิ้นงานต้องร้อนแดงอยู่เสมอตลอดเวลาที่เคาะ หากชิ้นงานเย็นตัวลงให้หยุดเคาะ เผาให้ความร้อนใหม่ แล้วจึงนำมาเคาะต่อไปในลักษณะที่บรรยายแล้ว มิฉะนั้นขอบท่ออาจแตกหรือฉีกขาดได้เช่นกัน



ตัวอย่าง 3.3

ท่อขนาด 3 นิ้ว (82/89) ต้องการเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขอบนอกของหน้าแฟลนจ์ 120 มิลลิเมตร ปลายท่ออีกข้างหนึ่งเคาะขึ้นรูปข้อลดเรียบร้อยแล้วถ้าต้องการความยาวชิ้นงาน สำเร็จ 300 มิลลิเมตร จงหาความยาวท่อที่จะนำมาเคาะขึ้นรูปและลำดับขั้นการทำงาน

รูปตามตัวอย่าง 3.3

หาความกว้างขอบหน้าแฟลนจ์

ความกว้างขอบ (B) $= \frac{D_1 - d}{2}$

$= \frac{120 - 82}{2} = 19$ มม.

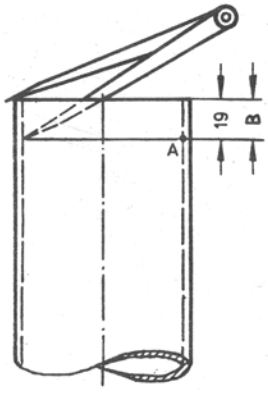
หาความยาวท่อ ก่อนนำมาเคาะขึ้นรูป

ความยาวชิ้นงาน = L + B - S

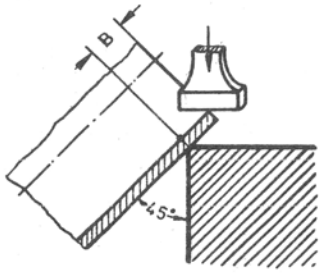
= 300 + 19 - 3.5

= 315.5 มม.

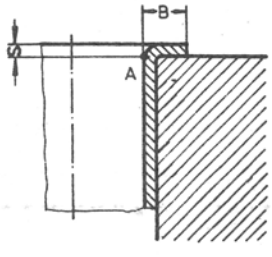
ลำดับขั้นการทำงานใช้เทคนิคเช่นเดียวกับที่บรรยายแล้ว



รูปที่ 3.33
ใช้วงเวียนกางเท่ากับความกว้างของขอบที่คำนวณได้ นำมาขีดปลายท่อด้านในให้รอบ

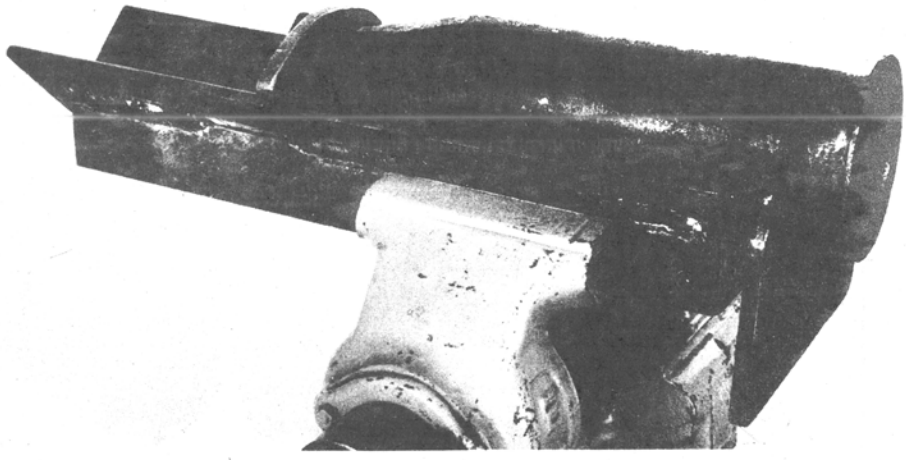


รูปที่ 3.34
จับชิ้นงานวางบนสันทั่ง ให้รอยขีดด้านในบริเวณปลายท่ออยู่ตรงกับสันของขอบทั่ง ชิ้นงานเอียงทำมุมเล็กน้อย ใช้ค้อนเคาะปลายพร้อมกับหมุนท่อไปรอบ ๆ



รูปที่ 3.35
ใช้ค้อนเคาะพร้อมกับหมุนท่อไปรอบ ๆ ให้ปลายท่อยื่นตัวออกจนกระทั่งตั้งฉากกับแนวแกนท่อ

ในกรณีที่ต้องการเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์จำนวนมาก อาจทำแบบสำหรับเคาะ โดยใช้เหล็กฉากเชื่อมประกอบง่าย ๆ ดังรูป 3.36 จะช่วยให้เคาะขึ้นรูปได้เร็ว ตรงตามขนาดที่ต้องการและได้ผลงานที่ดี



รูปที่ 3.36 แบบสำหรับเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ ทำจากเหล็กฉากเชื่อมประกอบกับแผ่นเหล็กปิดด้านหน้าและเหล็กตัวยูด้านล่าง เพื่อใช้จับปากกาจับงาน

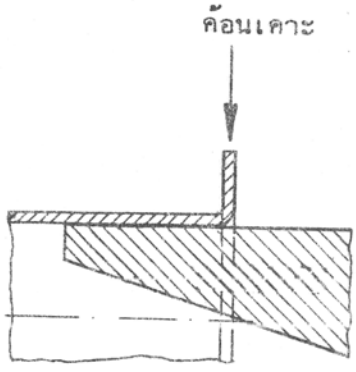
ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและวิธีแก้ไข

- ขอบหน้าแฟลนจ์ไม่ตั้งฉากกับแนวแกนท่อ

  วิธีแก้ไขทำได้โดยเผาให้ความร้อนขอบหน้าแฟลนจ์ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ใช้ค้อนค่อย ๆ เคาะไล่โดยหาบชิ้นงานกับทั่ง ซึ่งมีลักษณะเป็นมุมฉากอยู่แล้ว

- ขอบหน้าแฟลนจ์กว้างมากเกินไป

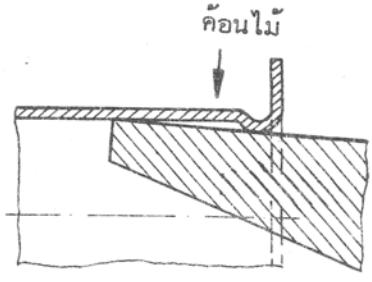
  วิธีแก้ไขทำได้โดยตะไบส่วนที่กว้างเกินความต้องการออก ในกรณีที่ไม่สามารถตะไบได้ ให้เผาให้ความร้อนบริเวณขอบมุมของหน้าแฟลนจ์ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง สวมชิ้นงานบนปลายทั่งด้านเรียวใช้ค้อนเคาะปลายขอบหน้าแฟลนจ์ให้อัดตัวลงและหมุนท่อไปพร้อม ๆ กับเคาะไปด้วย



รูปที่ 3.37
วิธีแก้ไขเมื่อขอบหน้าแฟลนจ์กว้างเกินความต้องการ
โดยเคาะบนปลายท่อ

- ขอบหน้าแฟลนจ์แคบมากเกินไป

วิธีแก้ไขในกรณีที่ชิ้นงานขอบหน้าแฟลนจ์แคบและมุมมีลักษณะคอดเป็นคอขวด ให้เผาบริเวณขอบหน้าแฟลนจ์จนถึงบริเวณมุมที่มีลักษณะคอดอีกครั้งหนึ่ง ส่วนชิ้นงานบนปลายท่อด้านเรียวกลม ใช้ค้อนไม้เคาะบริเวณส่วนที่คอดพร้อมกับหมุนชิ้นงานไปรอบ ๆ ดังรูป 3.38 ขอบหน้าแฟลนจ์จะยืดตัวกว้างขึ้นจากเดิม ลักษณะคอดเป็นคอขวดโดยรอบก็จะเรียบตามต้องการ



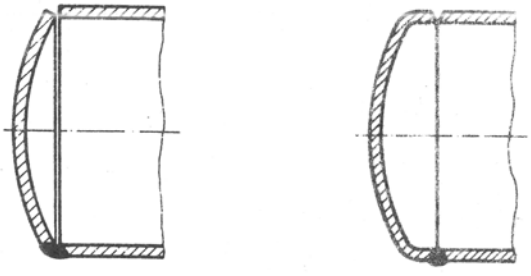
รูปที่ 3.38
วิธีแก้ไขเมื่อชิ้นงานมีลักษณะเป็นคอคอด สังเกตว่าจะใช้ค้อนไม้เคาะเพื่อไม่ต้องการให้ชิ้นงานเป็นรอย

ในกรณีที่ขอบหน้าแฟลนจ์แคบกว่าที่ต้องการ ถึง 2 มิลลิเมตร ให้เผาบริเวณขอบหน้าแฟลนจ์อีกครั้งหนึ่ง นำมาวางบนทั่งค่อย ๆ เคาะบริเวณมุมและบริเวณหน้าแฟลนจ์ให้ยืดตัวออกโดยรอบ หลังจากนั้นเคาะตบแต่งหน้าแฟลนจ์ให้เรียบและทำมุมฉากกับแนวแกนท่อ

3.5 งานเคาะขึ้นรูปแผ่นปิดปลายท่อรูปกระทะ

เมื่อต้องการเชื่อมแผ่นโลหะปิดปลายท่อที่มีแรงดันภายใน ถ้าเคาะขึ้นรูปแผ่นโลหะนั้นให้โค้งเป็นรูปกระทะมีสัดส่วนพอเหมาะก่อนที่จะนำไปเชื่อมปิด จะช่วยให้รับแรงดันภายในได้สูงโดยแผ่นปิดรูปกะทะนั้นไม่สปริงตัว

งานเคาะขึ้นรูปแผ่นปิดปลายท่อเป็นรูปกะทะอาจเคาะขึ้นรูป โดยไม่ใช้ความร้อนช่วยถ้าชิ้นงานไม่หนามากนัก แต่การเคาะขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนช่วยเผาชิ้นงานจนร้อนแดงก่อน จะเคาะขึ้นรูปได้เร็วและได้ผลงานที่ดีกว่า งานเคาะขึ้นรูปกะทะนี้อาจจะขึ้นรูปให้มีขอบโค้งเพื่อเชื่อมยึดติดกับท่อโดยวิธีเชื่อมมุม หรือเคาะขึ้นรูปให้แผ่นปิดรูปกะทะนั้นมีขอบเป็นส้นตรงเพื่อใช้เชื่อมชนติดกับท่อ แต่งานเชื่อมชนจะแข็งแรงกว่า ลักษณะขนาดแผ่นปิดปลายท่อโค้งรูปกะทะแสดงไว้ในตารางที่ 2



รูปที่ 3.39
แผ่นปิดปลายท่อรูปกะทะสำหรับเชื่อมมุมติดกับปลายท่อ (ซ้าย) และสำหรับเชื่อมชน (ขวา) สังเกตขอบส้นตรงของแผ่นปิด

การคำนวณหาขนาดแผ่นโลหะก่อนนำมาเคาะขึ้นรูปกะทะสำหรับงานเชื่อมชน มีดังนี้

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางชิ้นงาน (D_Z) = $D_I + 2a$

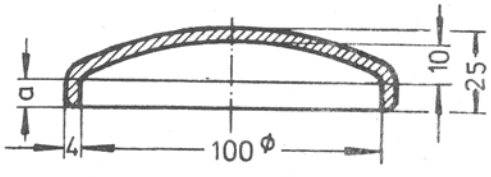
เมื่อกำหนด D_Z = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางชิ้นงานก่อนเคาะขึ้นรูป

D_I = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อนั้น ๆ

a = ความสูงขอบกะทะ

ตัวอย่าง 3.4

ต้องการเคาะขึ้นรูปแผ่นปิดปลายท่อรูปกะทะซึ่งมีขนาดดังรูป จงหาขนาดชิ้นงานที่ต้องตัดก่อนเคาะขึ้นรูป

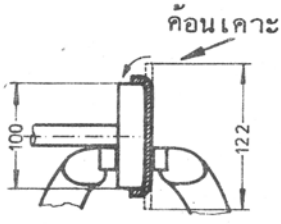


รูปชิ้นงานตามตัวอย่าง 3.4

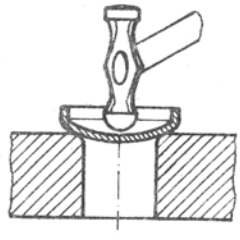
$$a = 25 - (10 + S)$$
$$= 25 - (10 + 4)$$
$$= 11$$
$$D_Z = D_I + 2a$$
$$= 100 + (2 \times 11)$$
$$= 122 \text{ มม.}$$

ขนาดชิ้นงาน = 122 มม.

ชิ้นงานที่ไม่หนามากนักอาจตัดโดยใช้กรรไกรตัดโต๊ะ ชิ้นงานที่หนามากควรตัดโดยใช้เปลวไฟแก๊สตามขนาดที่คำนวณได้ ตบแต่งรอยตัดให้เรียบร้อยแล้วนำมาหาศูนย์กลางวงกลม ใช้วงเวียนเขียนวงกลมตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อนั้น ๆ ทั้งสองข้าง หลังจากนั้นให้นำไปยึดกับแบบเหล็กที่มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อบนปากกาดังรูปที่ 3.40 เผาให้ความร้อนและค่อย ๆ เคาะขอบโดยรอบให้ติดกับแบบ การเคาะขอบต้องเคาะให้รอบเป็นชั้น ๆ จนขอบวงกลมตั้งฉากกัน เมื่อเคาะขึ้นรูปขอบเสร็จแล้วจึงนำไปเคาะบนแบบ เพื่อให้มีความโค้งเป็นรูปกะทะตามต้องการ โดยใช้ค้อนหัวกลม ดังรูปที่ 3.41

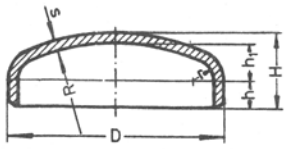


รูปที่ 3.40
เคาะขอบชิ้นงานบนแบบซึ่งยึดบนปากปากการ่วมกัน (ขนาดในแบบเป็นขนาดตามตัวอย่าง 3.4)



รูปที่ 3.41
เคาะขึ้นรูปบริเวณส่วนกลางเพื่อให้ยืดตัวออกมีลักษณะเป็นรูปกะทะ

ขนาดที่เหมาะสมของแผ่นปิดปลายท่อ สำหรับท่อขนาดต่าง ๆ ดูจากตารางที่ 2



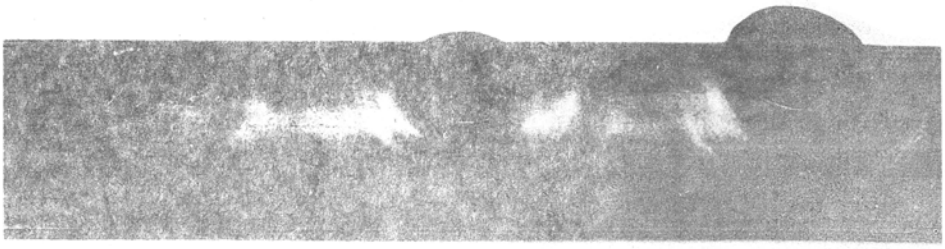
$R = D$
$r = 0{,}1 \cdot D$
$h = 3{,}5 \cdot s$
$h_1 = 0{,}1935\ D$ ถึง $0{,}455\ s$
$H = h + h_1 + s$

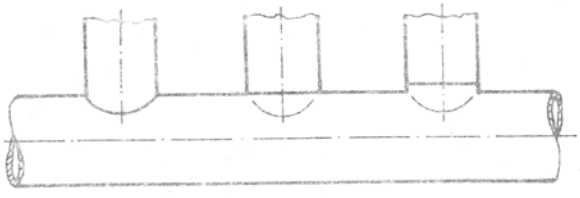
NW	ขนาดท่อ	ความหนาผนัง	h_1	h	H	R	r
	46/51	3	10	12	25	51	5,1
50	51/57	3	11	12	26	57	5,7
	57/63	3	12	12	27	63	6,3
	64/70	3	13	12	28	70	7,0
65	70/76	3	15	12	30	76	7,6
	76/83	4	16	15	35	83	8,3
	82/89	4	17	15	36	89	8,9
80	88/95	4	18	15	37	95	9,5
	95/102	4	20	15	39	102	10,2
100	100/108	4	21	15	40	108	10,8
	113/121	4	23	15	42	121	12,1
125	125/133	4	26	15	45	133	13,3
	137/146	5	28	17	50	146	14,6
150	150/159	5	31	17	51	159	15,9
	180/191	6	37	20	63	191	19,1
200	204/216	6	42	20	68	216	21,6
	228/241	6	47	20	73	241	24,1
250	254/267	6	52	20	78	267	26,7
	278/292	7	58	25	90	292	29,2
300	303/318	7	62	25	94	318	31,8
	327/343	7	63	25	95	343	34,3

ตารางที่ 2 แผ่นปิดปลายท่อรูปกะทะที่ใช้กับท่อขนาดต่าง ๆ

3.6 งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉาก

งานเจาะขึ้นรูปท่อเมนเพื่อต่อท่อแยกตรงตั้งฉาก มี 3 ลักษณะ ได้แก่ รอยเจาะแบบอานม้า รอยเจาะแบบขอบตรง รอยเจาะแบบยกขอบสูง

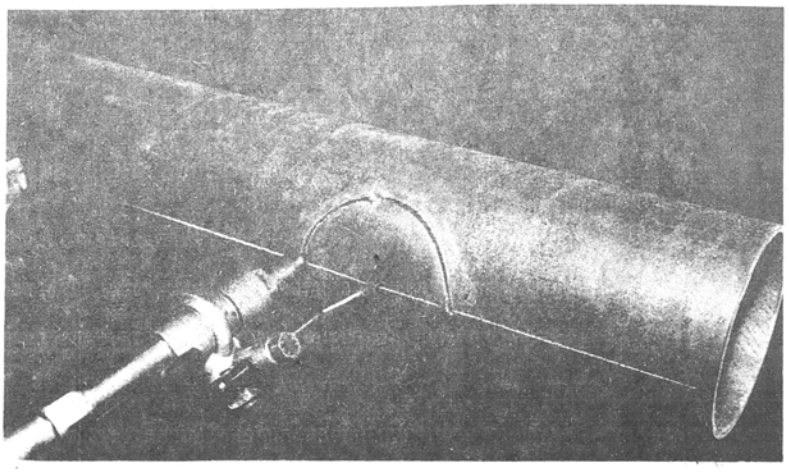




รูปที่ 3.42 รอยเจาะขึ้นรูปแบบอานม้า (ซ้าย) แบบขอบตรง (กลาง) และแบบยกขอบสูง (ขวา)

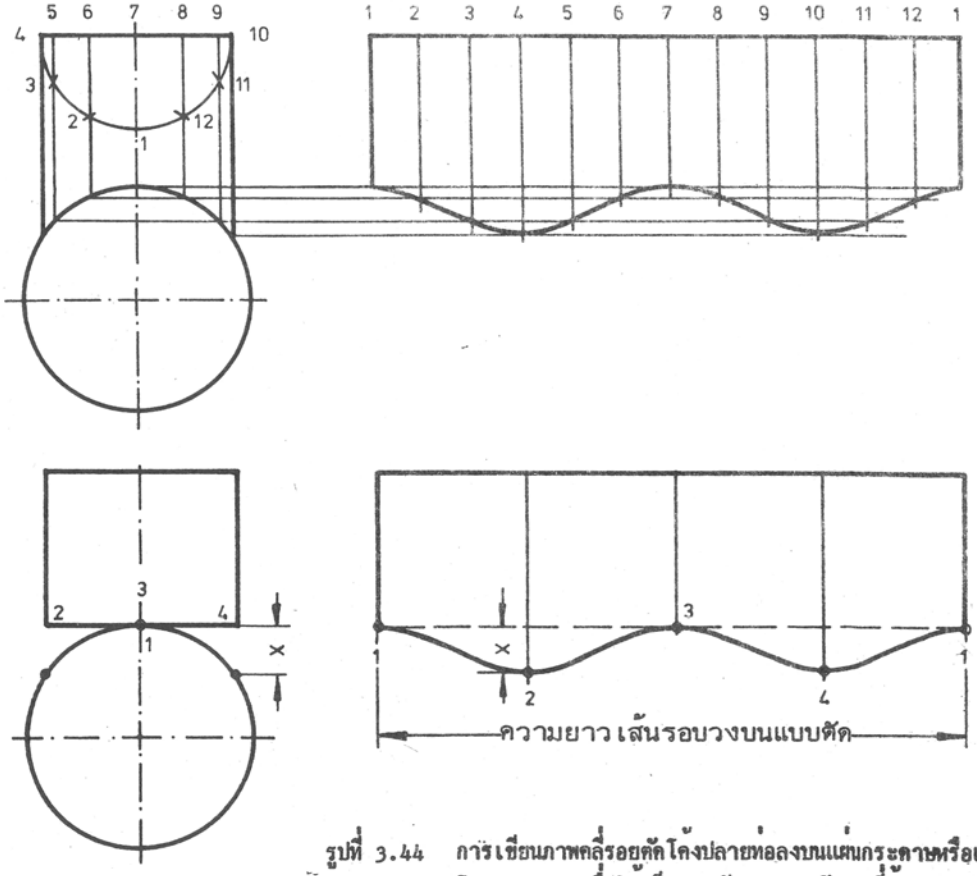
3.6.1 รอยเจาะแบบอานม้า

รอยเจาะแบบนี้ทำได้ง่าย ๆ โดยการเจาะท่อเมนบริเวณที่ต้องการต่อท่อแยกให้เป็นรูกว้าง ถ้าดูจากด้านบนจะมีหน้าตัดเป็นวงกลม ถ้าดูจากด้านข้างรอยเจาะ จะมีลักษณะโค้งคล้ายรูปอานม้าเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยเจาะเมื่อมองจากด้านบนต้องใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อวัดในของท่อที่จะนำมาต่อเล็กน้อย ถ้าเป็นรูเจาะขนาดไม่ใหญ่นักการใช้ส่วานเจาะจะสะดวก แต่ถ้าเป็นรูเจาะขนาดใหญ่ควรใช้หัวตัดแกสประกอบกับวงเวียนตัด ดังรูป 3.43



รูปที่ 3.43 การเจาะรอยเจาะแบบอานม้า โดยใช้หัวตัดแกสประกอบวงเวียน สำหรับท่อขนาดใหญ่

ปลายท่อแยกที่จะนำมาต่อกับรอยเจาะแบบอานม้า ต้องตัดโค้งให้รับกับรอยเจาะถ้าเป็นท่อขนาดเล็กจะไม่มีปัญหายุ่งยากนัก เพราะส่วนโค้งมีเพียงเล็กน้อยประมาณด้วยตาเปล่าได้ แต่ถ้าเป็นท่อขนาดใหญ่ควรใช้กระดาษหรือแผ่นโลหะบาง ๆ เขียนแบบภาพคลี่ส่วนโค้งปลายท่อแล้วตัดไว้เป็นแบบ เมื่อต้องการตัดปลายท่อใดให้ใช้ แผ่นแบบทาบกับท่อโดยรอบเพื่อเขียนส่วนโค้ง แล้วตัดตามรอยนั้น ดังรูปที่ 3.44 สำหรับงานที่ต้องการความละเอียด และเป็นท่อขนาดใหญ่ การเขียนแบบภาพคลี่ต้องเขียนให้ละเอียดมาก โดยการแบ่งเส้นรอบวงออกเป็น 12 ส่วน แล้วลากเส้นฉายแต่ละส่วนเพื่อเขียนส่วนโค้ง ในทางปฏิบัติสำหรับท่อขนาดไม่ใหญ่นักจะแบ่งเส้นรอบวงในการเขียนแผ่นคลี่ออก – เป็น 4 ส่วนเท่านั้น โดยใช้หลักการฉายเส้นจากรูปด้านข้างเช่นเดียวกัน โดยวิธีนี้จะได้เฉพาะจุดหลักเพียง 4 จุดเท่านั้น แล้วใช้วิธีประมาณเขียนส่วนโค้งทั้งหมดดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 การเขียนภาพคลี่รอยตัดโค้งปลายท่อลงบนแผ่นกระดาษหรือแผ่นโลหะบาง ๆ เพื่อใช้เป็นแบบตัด สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดมากแบ่งเป็น 12 ส่วน (บน) และสำหรับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดมากทางปฏิบัติจะแบ่งเป็น 4 ส่วน (ล่าง)

ก่อนนำท่อแยกเชื่อมต่อกับรอยเจาะแบบอานม้า ต้องขจัดเศษโลหะบริเวณรอยเจาะออกให้หมด ตบแต่งให้เรียบร้อย ขณะเดียวกันที่ปลายท่อแยกก็ต้องตบแต่งส่วนโค้งให้รับกับรอยเจาะด้วย แล้วจึงเชื่อมยึดติดกัน รอยต่อแบบอานม้านี้สามารถเชื่อมไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

3.6.2 รอยเจาะแบบขอบตรง

ท่อแยกที่นำมาเชื่อมต่อกับรอยเจาะลักษณะนี้ ใช้ท่อที่มีปลายตัดตรงตั้งฉากธรรมดา ไม่ต้องขึ้นรูปโค้งปลายท่อแต่อย่างใด เพราะรอยเจาะแบบขอบตรงนี้ต้องขึ้นรูปรอยเจาะให้มีหน้าตัดกลมเท่ากับขนาดท่อแยก ที่จะนำมาเชื่อมต่อ และต้องขึ้นรูปขอบด้านข้างรอยเจาะให้สูงขึ้นเสมอกับผิวท่อช่วงกลางทั้งสองข้าง ให้มีหน้าตัดตรง

การเจาะท่อเมนเพื่อขึ้นรูปรอยเจาะแบบขอบตรงนี้ ต้องเจาะท่อเมนมีลักษณะเป็นรูปวงรีมีความกว้างเป็นสัดส่วนกับขนาดท่อแยกที่จะนำมาต่อ และมีความยาวรูปวงรีเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ที่จะนำมาต่อเช่นเดียวกัน ท่อที่จะขึ้นรูปรอยเจาะแบบขอบตรง ต้องมีผนังท่อหนาพอควรจึงจะขึ้นรูปได้โดยไม่เกิดขอบกพร่องใด ๆ

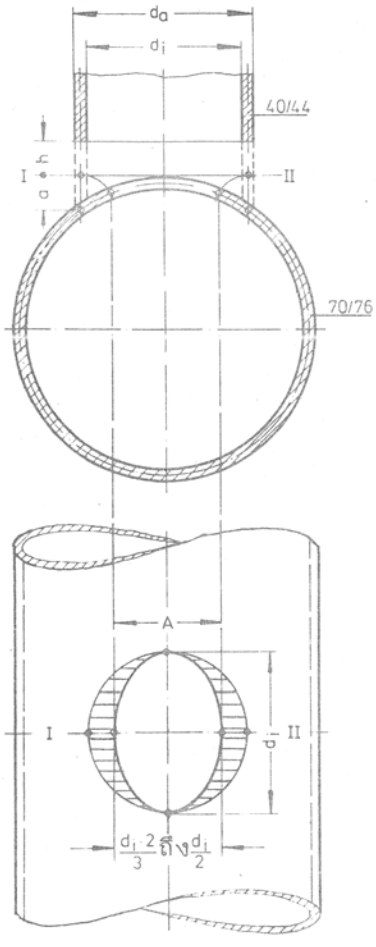
ความกว้างของรอยเจาะรูปวงรี (A) = $\frac{2}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ × ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อแยก

= $\frac{2}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ × d_I

ท่อเมนและท่อแยกที่มีขนาดต่างกันสองขนาดหรือมากกว่าใช้ค่าแฟคเตอร์ 2/3 ถ้าขนาดต่างกันไม่เกินสองขนาดใช้แฟคเตอร์ 1/2

ความยาวของรอยเจาะรูปวงรี (B) = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อแยก

= d_I



รูปที่ 3.45
รอยเจาะรูปวงรีบนท่อเมน เมื่อต้องการเจาะท่อแบบขอบตรง (ล่าง) แสดงผนังท่อเมนด้านข้างส่วนที่ขึ้นรูปให้เสมอกับผิวท่อ ณ จุด I และ II (บน)

ลำดับขั้นการเจาะขึ้นรูปแบบขอบตรงมีดังนี้

1. คำนวณหาขนาดวงรีที่จะต้องตัดเจาะออกจากท่อเมน
2. นำค่าที่คำนวณได้ไปถ่ายขนาดบนท่อเมนตรงจุดที่ต้องการเจาะต่อท่อแยกเขียนรูปวงรี
3. ใช้เหล็กนำศูนย์ตอกทำเครื่องหมายตามเส้นรอบรูปวงรีที่เขียนไว้ แต่ละจุดห่างกันประมาณ 5 มิลลิเมตร
4. ใช้เปลวไฟแก๊สตัดเจาะวงรีตามที่ได้ตอกนำศูนย์เป็นเครื่องหมายไว้ ตบแต่งรอยเจาะให้เรียบร้อย

5. เตาให้ความร้อนบริเวณด้านข้างของรูปวงรี (บริเวณพื้นที่แลเงาในรูปที่ 3.45 รูปล่าง) ใช้เครื่องมือขึ้นรูปท่อหรือตอขนาดเล็กงัดผนังท่อเมนด้านข้างให้สูงขึ้น ขณะนี้รอยเจาะจะกว้างออกจากเดิมทำเช่นนี้ทีละข้าง
6. รอยเจาะจะเริ่มเปลี่ยนจากรูปวงรีเป็นวงกลม ขณะเดียวกันขอบผนังด้านข้างรอยเจาะวงรี ทั้งสองข้างจะสูงขึ้นในแนวใกล้เคียงกันโดยรอบ หรือต่ำกว่าเล็กน้อย
7. เผาบริเวณผนังโดยรอบรอยเจาะอีกครั้งหนึ่ง ใช้ท่อขนาดเล็กสอดลงไปในรูเจาะ พร้อมกับใช้คัดคนเคาะท่อนั้นตบแต่งผนังรอยเจาะ ให้มีลักษณะกลมและมีขนาดเท่ากับท่อแยกที่จะนำมาเชื่อมต่อ
8. ตบแต่งขอบรอยเจาะให้เรียบเสมอกัน โดยใช้คะไบหรือหินเจียระไน

3.6.3 รอยเจาะแบบยกขอบสูง

มีลักษณะคล้ายรอยเจาะแบบขอบตรง ต่างกันเฉพาะผนังโดยรอบรอยเจาะ จะเคาะขึ้นรูปยกขอบให้สูงขึ้นจากผนังท่อเดิมโดยรอบเป็นวงกลมขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อแยกที่จะนำมาเชื่อมต่อ และขอบสูงเสมอกันโดยรอบ การเจาะท่อเมนเป็นรูปวงรีจะเล็กกว่าวงรีของรอยเจาะแบบขอบตรงเล็กน้อย เท่ากับความสูงของขอบที่ต้องการเคาะขึ้นรูป โดยปกติขอบท่อที่ยกสูงขึ้นนั้นจะสูงไม่เกิน 10 มิลลิเมตร เมื่อวัดจากศูนย์กลางของรูเจาะ

ความกว้างของรอยเจาะรูปวงรี (A) $= \frac{2}{3}$ คูณ $\frac{1}{2}$ × ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อแยก −2 × ความสูงขอบท่อ

$\frac{2}{3}$ คูณ $\frac{1}{2} \times d_I - (2 \times h)$

ท่อเมนและท่อแยกที่มีขนาดต่างกันสองขนาดหรือมากกว่าใช้ค่าแฟคเตอร์ 2/3 ถ้าขนาดต่างกันไม่เกินสองขนาด ใช้แฟคเตอร์ 1/2

ความยาวของรอยเจาะรูปวงรี (B) = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อแยก − 2 × ความสูงขอบท่อ

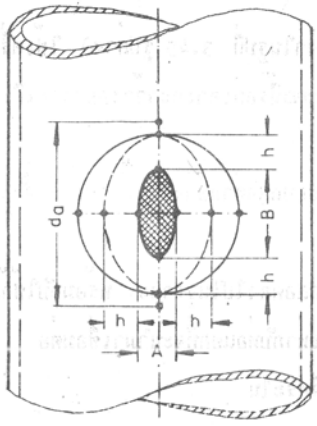
$= d_I - (2 \times h)$

เมื่อกำหนด A = ความกว้างของรอยเจาะรูปวงรี

B = ความยาวของรอยเจาะรูปวงรี

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดในของท่อแยก

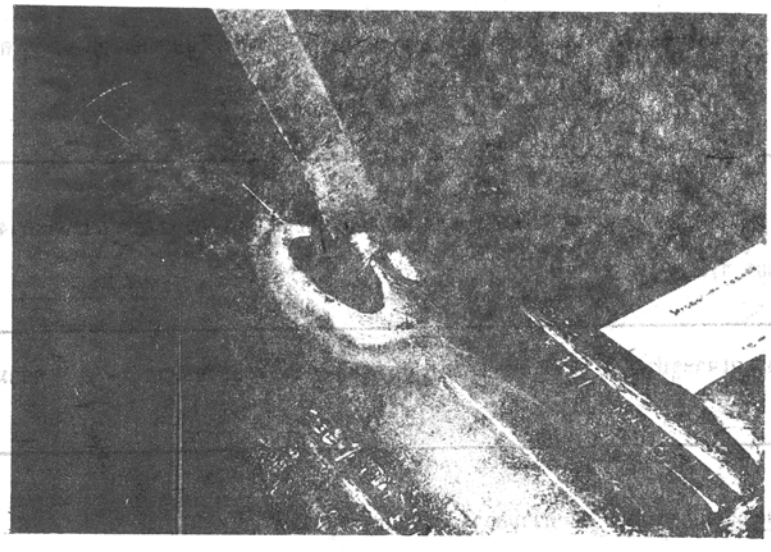
h = ความสูงขอบท่อวัดจากผิวท่อบริเวณกึ่งกลางรอยเจาะ



รูปที่ 3.46

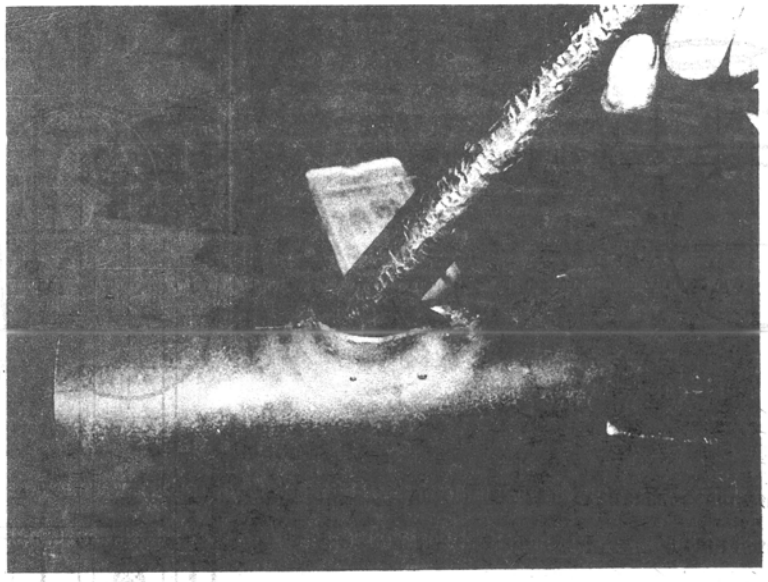
รอยเจาะรูบ่วงรีบนท่อเมน เมื่อต้องการเจาะท่อแยกแบบยกขอบสูง

ลำดับขั้นการขึ้นรูปรอยเจาะแบบยกขอบสูงเช่นเดียวกับการขึ้นรูปรอยเจาะแบบขอบตรง แต่แบบยกขอบสูงจะมีขอบสูงเสมอกันโดยรอบ ตามระยะยกขอบ (h) ที่คำนวณไว้ และผนังท่อบริเวณด้านล่างของขอบ ที่ยกสูงจะโค้งเป็นรัศมีโค้งกว้างกว่าปากขอบวงกลมเล็กน้อย ซึ่งจะช่วยให้การไหลของของไหลจากท่อเมนมายังท่อแยกได้สะดวกขึ้น



รูปที่ 3.47

ขณะใช้เครื่องมือจัดผนังรอยเจาะบนท่อเมนให้สูงขึ้น สังเกตปลายเหล็กงัดซึ่งมีลักษณะเป็นสองแฉก

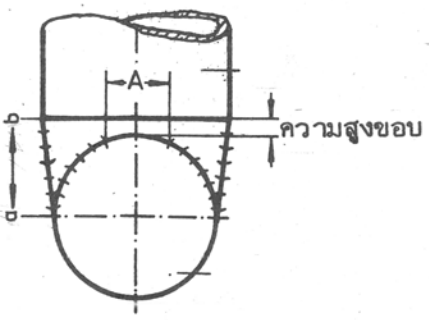


รูปที่ 3.48 การงัดขึ้นรูปผนังรอยเจาะบนท่อเมนโดยใช้แท่งเหล็กกลมหรือท่อขนาดเล็ก

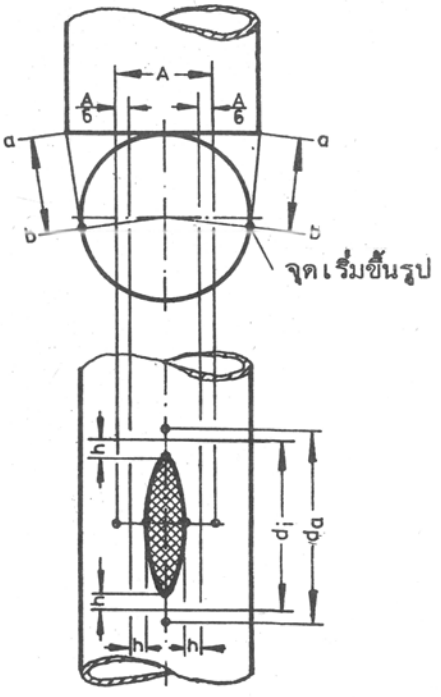
เนื่องจากรอยเจาะลักษณะนี้ต้องยกขอบสูง ดังนั้นท่อเมนที่จะนำมาเจาะเพื่อขึ้นรูป ต้องเป็นท่อผนังหนาจึงจะขึ้นรูปท่อได้โดยไม่มีข้อบกพร่องบริเวณรอยเจาะ ถ้าเป็นท่อผนังบางขอบที่ยกสูงอาจแตกหรือฉีกขาดได้

3.6.4 รอยเจาะท่อแยกที่มีขนาดใหญ่กว่าท่อเมน

ในบางครั้งจำเป็นต้องเจาะท่อแยกออกจากท่อเดิมซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ลักษณะของขอบรอยเจาะจะขยายกว้างขึ้นจากท่อเดิม ดังรูป อาจเป็นการเจาะแบบขอบตรงหรือแบบยกขอบก็ได้ การคำนวณหาขนาดวงรีที่จะต้องตัดเจาะออกเช่นเดียวกับรอยเจาะท่อแยกที่มีขนาดเล็กกว่า ดังบรรยายแล้ว ต่างกันเฉพาะขนาดความกว้างของรูปวงรีซึ่งจะแคบกว่าเดิม อาจใช้หลักการเทียบขนาดความกว้างรูปวงรี (A) จากภาพด้านหน้าขอบรอยเจาะดังแสดงในรูป 3.49 หรือวัดขนาดจากการคำนวณดังรูป 3.50 ซึ่งความกว้างของรูปวงรีจะแคบกว่าความกว้างของรูปวงรีสำหรับงานเจาะท่อแยกซึ่งมีขนาดเล็กกว่าท่อเมนประมาณ $\frac{1}{3}$ ของความกว้างทั้งหมด เมื่อแบ่งออกเป็น 2 ข้างจะได้ระยะข้างละ $\frac{1}{6}$ หรือ $\frac{A}{6} + h$



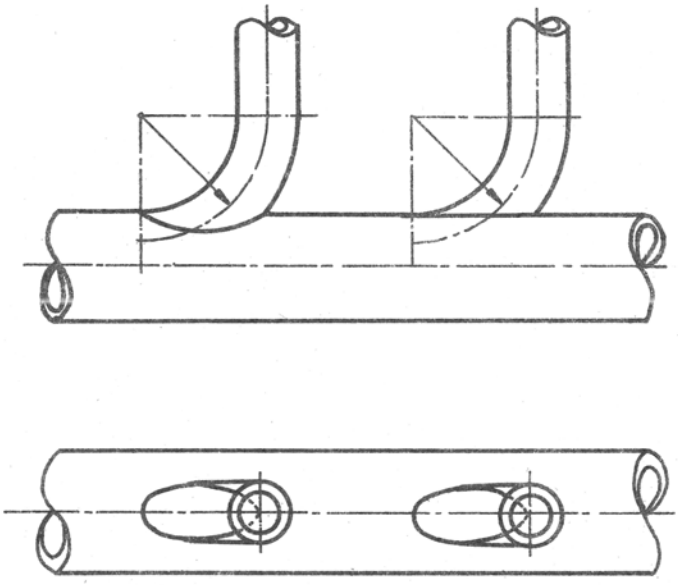
รูปที่ 3.49
การเทียบขนาดความกว้างของรูปวงรี (A)
จากเส้นรอบวงของท่อเมน



รูปที่ 3.50
การหาขนาดรูปวงรีส่วนที่ต้องเจาะออก เมื่อต้องการ
เจาะท่อแยกขนาดใหญ่กว่าท่อเดิม สังเกตว่าจุดที่เริ่มขึ้นรูปขยายออกจะต่ำกว่าจุดศูนย์กลางท่อเล็กน้อย

3.7 งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉาก

งานเจาะขึ้นรูปท่อเมนเพื่อต่อท่อแยกโค้งตั้งฉากมี 2 ลักษณะ ได้แก่ รอยเจาะแบบอานม้า และรอยเจาะแบบขอบตรง ลักษณะของรอยเจาะบนท่อเมนถ้าดูจากด้านบนจะมีลักษณะคล้ายรูปรองเท้า บางครั้งอาจเรียกว่าเจาะท่อแยกรูปรองเท้า ท่อแยกที่จะนำมาต่อกับรอยเจาะนี้จะตัดโค้งมุม 90 องศามาก่อน เมื่อต้องการประกอบก็จะตัดส่วนโค้งออกให้มีลักษณะเป็นโค้งปลายแหลมเพื่อให้รับกับลักษณะของรอยเจาะ ท่อแยกโค้งตั้งฉากนี้ของไหลภายในจะไหลได้เรียบ สะดวก และเกิดการไหลหมุนวนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับงานขึ้นรูปท่อแยกลักษณะอื่น ๆ

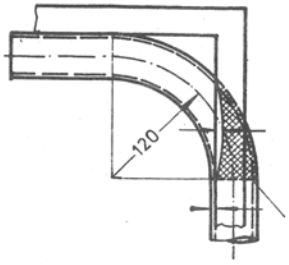


รูปที่ 3.51
รอยเจาะชิ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉาก แบบอานม้า (ซ้าย) และแบบขอบตรง (ขวา) มองจากด้านบนจะมีลักษณะคล้ายรองเท้า

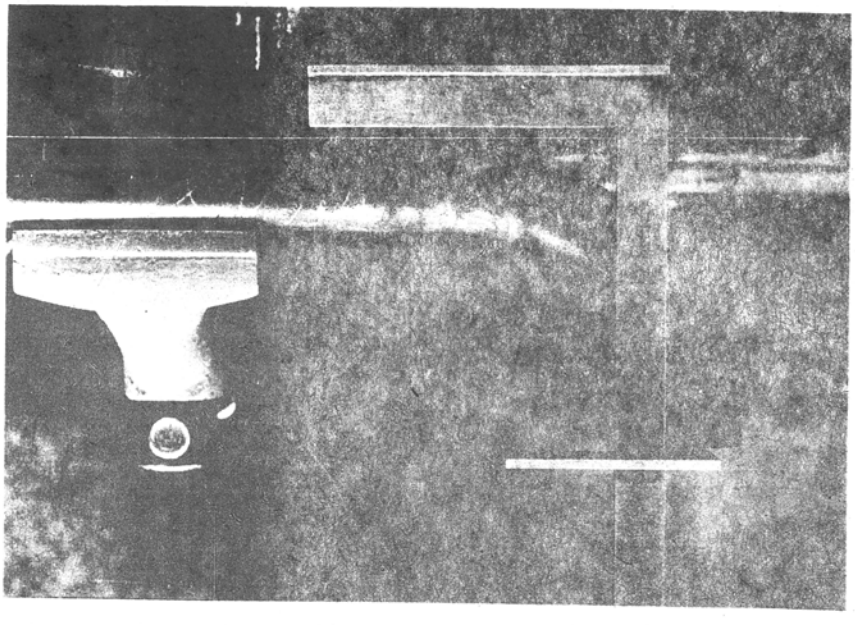
3.7.1 รอยเจาะแบบอานม้า

รอยเจาะลักษณะนี้ทำได้ง่าย ๆ โดยการเจาะท่อเมนบริเวณที่ต้องการเจาะท่อแยกให้เป็นรูกว้าง ถ้าดูจากด้านบนรอยเจาะจะมีลักษณะเป็นรูปวงรี การหาตำแหน่งรูเจาะรูปวงรีต้องวัดถ่ายขนาดจากท่อแยก ซึ่งมีลักษณะโค้ง จึงจะได้ระยะของชิ้นงานตามต้องการ หรือมิฉะนั้นต้องเขียนแบบด้านข้างของชิ้นงานแล้ววัดขนาดจากแบบนั้นเมื่อเจาะรูรูปวงรีตามขนาดกำหนดแล้ว ถ้าดูจากด้านข้างจะมีลักษณะโค้งคล้ายรูปอานม้า และถ้าประกอบกับท่อแยกและดูจากด้านบนจะมีลักษณะคล้ายรองเท้า การเจาะรูบนท่อเมนรูปวงรีจะเจาะโดยใช้เปลวไฟแกส แล้วตบแต่งรอยเจาะให้เรียบร้อย

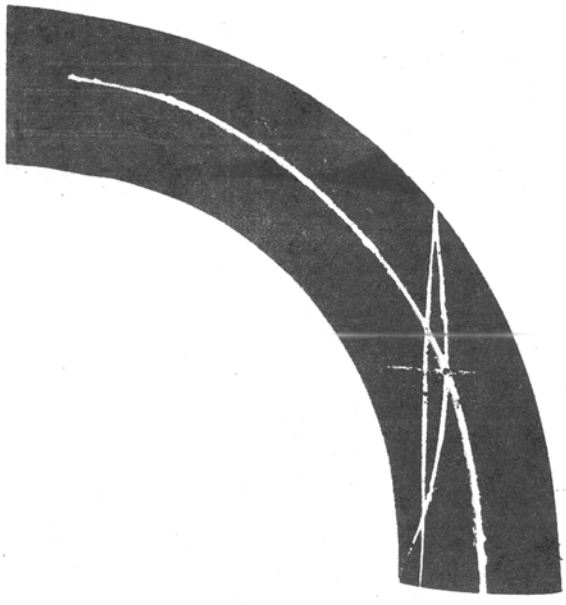
ปลายท่อแยกซึ่งจะนำมาต่อกับรอยเจาะแบบอานม้า ต้องตัดปลายโค้งให้รับกับรอยเจาะ โดยใช้เหล็กฉากทาบกับท่อที่ตัดโค้งมุม 90 องศา ซึ่งจะใช้เป็นท่อแยกนั้นขีดเส้นตรงทำเครื่องหมายไว้ แล้วเขียนส่วนโค้งให้รับกับส่วนโค้งรูปอานม้า ระยะโค้ง (ระยะ h) ที่ได้อาจวัดจากรูปด้านข้างหรือถ้าเป็นท่อขนาดเล็กอาจใช้วิธีประมาณได้ เมื่อเขียนส่วนโค้งบริเวณที่จะตัดเรียบร้อยแล้ว ให้ใช้เปลวไฟแกสตัดตามที่ทำเครื่องหมายไว้ ดังรูป



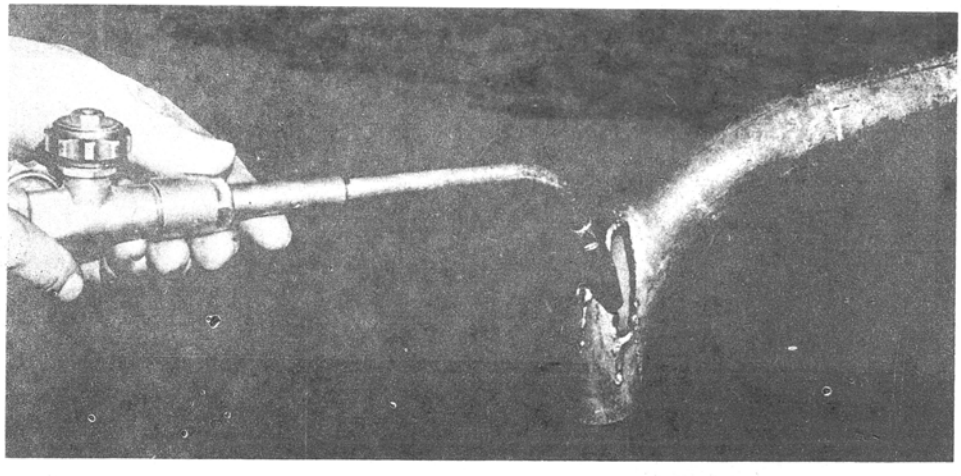
รูปที่ 3.52
ใช้เหล็กฉากวัดกับท่อโค้ง 90 องศา ที่ต้องการนำมาประกอบกับรอยเจาะแบบอานม้า



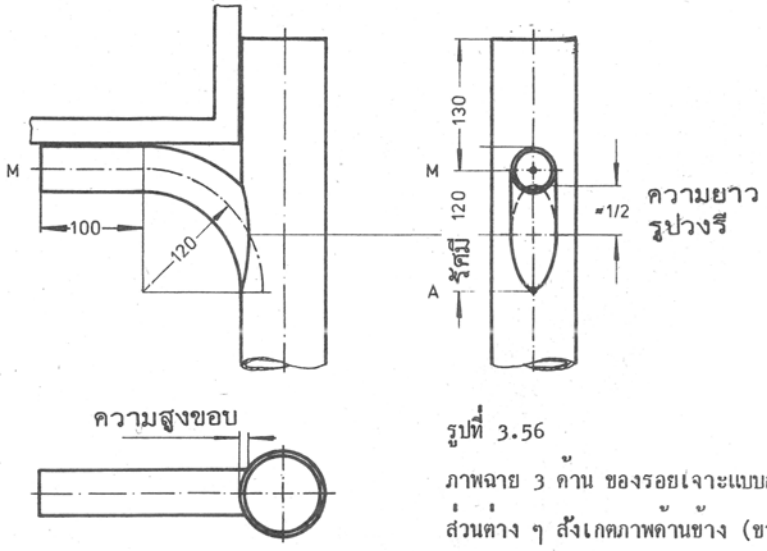
รูปที่ 3.53
ขณะวัดท่อโค้งที่ต้องการตัดเพื่อนำมาประกอบรอยเจาะแบบอานม้าสังเกตการใช้เหล็กฉากประกอบ



รูปที่ 3.54
เขียนส่วนโค้งรอยที่จะตัดเพื่อให้รับกับรอยเจาะรูปอานม้า ซึ่งจะมีส่วนโค้งที่ด้านข้างทั้งสองข้าง

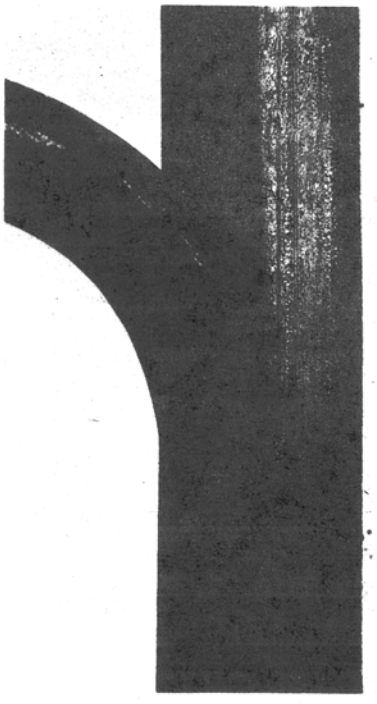


รูปที่ 3.55 ขณะตัดบริเวณส่วนโค้งโดยใช้หัวเชื่อมแกสขนาดใหญ่ตามรอยโค้ง ที่ทำเครื่องหมายไว้



รูปที่ 3.56

ภาพฉาย 3 ด้าน ของรอยเจาะแบบอานม้า แสดงลักษณะการวัดขนาดส่วนต่าง ๆ สังเกตภาพด้านข้าง (ขวา) มีลักษณะคล้ายรูปรองเท้า

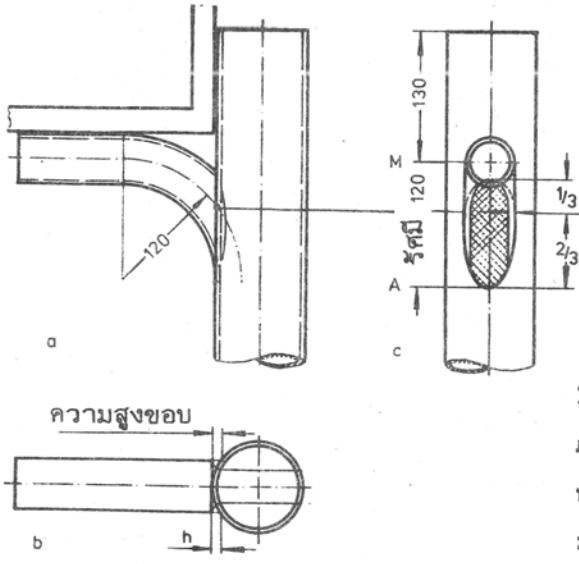


รูปที่ 3.57

แสดงลักษณะของรอยต่อของท่อแยกโค้งตั้งฉาก ขณะเชื่อมจุดยึดกับรอยเจาะแบบอานม้า

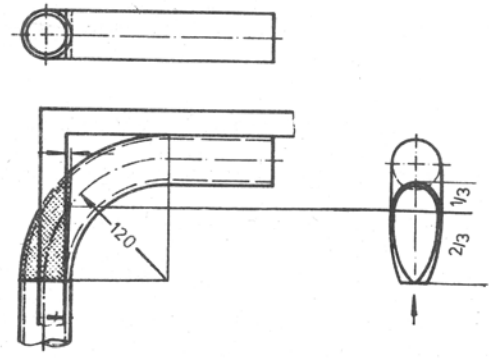
3.7.2 รอยเจาะแบบขอบตรง

รอยเจาะแบบขอบตรงมีลักษณะคล้ายรอยเจาะแบบอานม้า ต่างกันเฉพาะบริเวณรอยเจาะรูปวงรี จะแคบกว่ารอยเจาะแบบอานม้าเล็กน้อย (เท่ากับระยะ h) ทั้งนี้เพราะเมื่อเจาะท่อเมนรูปวงรีแล้ว จะต้องเผาบริเวณผนังด้านข้างของรูปวงรีและงัดผนังขึ้นให้มีขอบสูงขึ้นจากเดิม ขณะนี้วงรีจะขยายกว้างออกเท่ากับขนาดของท่อแยกและขอบผนังด้านบนจะสูงเสมอกัน ไม่มีส่วนเว้าตามลักษณะของความโค้งท่อเช่นเดียวกับแบบอานม้า



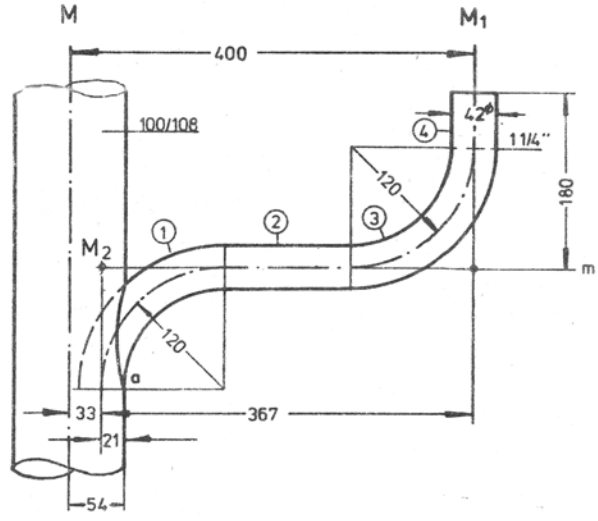
รูปที่ 3.58
ภาพฉาย 3 ด้านของท่อแยกโค้งตั้งฉากแบบรอยเจาะขอบตรง สังเกตระยะ h ซึ่งจะต้องขึ้นรูปให้สูงขึ้นมาจากผนังท่อเดิม

ปลายท่อแยกโค้งซึ่งจะต่อกับรอยเจาะแบบขอบตรงนั้น ให้ใช้เหล็กฉากทาบกับท่อที่ตัดโค้งมุม 90 องศา เพื่อหาระยะที่จะตัดขณะที่ขีดหาเครื่องหมาย ให้ขีดเอียงจากขอบเหล็กฉากที่วัดประมาณเท่ากับความหนาของผนังท่อ (เพื่อสะดวกในการนำไปเชื่อมต่อ) แล้วใช้เลื่อยตัดตรงตามรอยที่ขีดไว้เมื่อตัดได้ท่อโค้งส่วนที่จะต่อเป็นท่อแยกแล้วให้ใช้ตะไบตบแต่งปลายด้านแหลมให้มีลักษณะดังรูป ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการนำไปประกอบกับรอยเจาะเช่นกัน



รูปที่ 3.59
ขณะใช้เหล็กฉากวัดหาระยะที่ต้องตัดบนส่วนโค้งมุม 90 องศา

การวัดระยะต่าง ๆ เพื่อประกอบท่อแยกให้ได้ขนาดตามต้องการนั้น ถ้าเป็นท่อแยกที่กำหนดระยะจากปลายด้านหนึ่ง หรือถ้าระยะห่างระหว่างส่วนโค้ง (ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางท่อถึงศูนย์กลางท่อดังรูป) เพื่อตัดโค้งก่อนที่จะนำมาตัดและเชื่อมประกอบกับรอยเจาะ จะใช้ขนาดแตกต่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเมน และท่อแยกเป็นเกณฑ์



รูปที่ 3.60
แสดงการวัดระยะต่าง ๆ เมื่อต้องการประกอบท่อแยกให้ได้ขนาดตามต้องการ จะใช้ระยะจาก M ถึง M_1 เป็นเกณฑ์

จากรูปถ้าต้องการระยะห่างระหว่างศูนย์กลางท่อเมน ถึงศูนย์กลางปลายท่อโค้งอีกปลายหนึ่งของท่อแยกที่นำมาประกอบ 400 มิลลิเมตร จะต้องตัดโค้งปลายท่อแยกทั้งสองปลายห่างกันเท่าใด (ในขณะนี้ยังไม่ทราบค่าระยะ 367 มม.)

จากรูปจะเห็นว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเมน 108 มิลลิเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางท่อแยก 42 มิลลิ – เมตร ดังนั้นขนาดที่แตกต่างกันระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางท่อทั้งสอง โดยคิดเพียงครึ่งเดียวจะมีค่า 54 – 21 = 33 มิลลิเมตร นำค่าแตกต่างที่ได้นี้ไปหักลบจากระยะห่างระหว่างศูนย์กลางท่อเมน ถึงศูนย์กลางปลายโค้งท่อแยก ที่นำมาประกอบ (400 – 33) จะได้ระยะห่าง 367 มิลลิเมตร ค่าที่ได้นี้เป็นระยะห่างระหว่างปลายท่อด้านที่ตัดโค้ง ของท่อแยกทั้งสองปลาย โดยวัดในแนวขนาน ซึ่งจะต้องตัดโค้งให้เสร็จทั้งสองข้างมีระยะห่าง 367 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจึงนำมาตัดปลายโค้งเพื่อประกอบกับรอยเจาะบนท่อเมนตามต้องการ

การคำนวณหาความยาวของท่อแยกตามรูป 3.60 ก่อนนำมาตัด และการกำหนดช่วงเผาเพื่อตัดโค้งทั้งสองปลาย มีวิธีคำนวณได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ใช้ความยาวส่วนโค้งเป็นหลักและใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลักดังนี้

ใช้ความยาวส่วนโค้งเป็นหลัก

1. ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา รัศมี 120 มม. (โค้งที่ 1)

ความยาวส่วนโค้ง = $120 \times 1.5 + \frac{120 \times 1.5}{20}$ = 189 มม.

2. ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นโค้งของส่วนโค้งทั้งสอง

$367 - (2 \times 120)$ = $367 - 240$ = 127 มม.

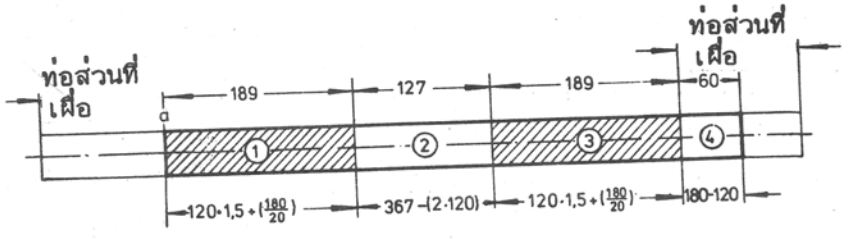
3. ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา รัศมี 120 มม. (โค้งที่ 2)

จะยาวเท่ากับโค้งที่ 1 = 189 มม.

4. ความยาวปลายท่อที่เหลือจากโค้งที่ 2 = 180 - 120 = 60 มม.

รวมความยาวทั้งสิ้น 565 มม.

ความยาวจากจุดเริ่มโค้งที่ 1 ถึงปลายท่อฉัดจากโค้งที่ 2 ยาว 565 มม. ในทางปฏิบัติจะต้องเผื่อความยาวท่อด้านโค้งที่ 1 สำหรับบรรจุทรายใช้จุกอุดเพื่อดัดโค้งประมาณ 100 - 120 มม. ส่วนปลายที่เหลือด้านโค้งที่ 2 นั้นไม่จำเป็นต้องเผื่อความยาวไว้อีก เพราะจากแบบกำหนดได้เผื่อความยาวไว้แล้ว 60 มิลลิเมตร หรืออาจเผื่อความยาวไว้เล็กน้อย



รูปที่ 3.61 ช่วงเผาของท่อแยกตามรูปที่ 3.60 เมื่อคำนวณโดยใช้ความยาวส่วนโค้งเป็นหลัก

ใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลัก

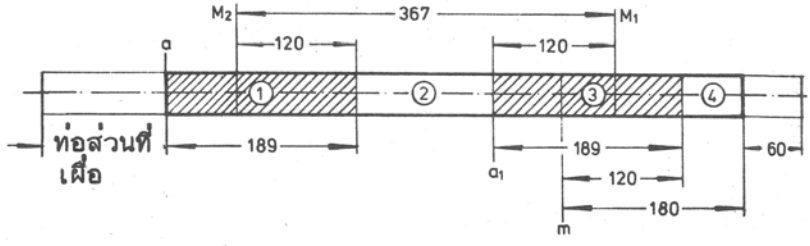
ให้จุดเริ่มต้นโค้งของส่วนโค้งที่ 1 เป็นจุด a

1. จากจุด a วัดระยะไปทางปลายท่ออีกด้านหนึ่งให้ได้ความยาวเท่ากับความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา (โค้งที่ 1) ซึ่งยาว 189 มิลลิเมตร

2. จากจุดปลายความยาวส่วนโค้งที่ 1 วัดระยะย้อนกลับมาทางจุด a เท่ากับรัศมีความโค้ง (120 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_2
3. จากจุด M_2 วัดระยะไปทางปลายท่อที่เหลือเท่ากับความยาวระหว่างส่วนโค้งที่โจทย์กำหนด (367 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_1
4. จากจุด M_1 วัดระยะย้อนกลับมาทางจุด M_2 เท่ากับรัศมีความโค้ง (120 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด a_1
5. จากจุด a_1 วัดระยะไปทางจุด M_1 เท่ากับความยาวส่วนโค้งที่ 2 (189 มม.)
6. จากจุดปลายความยาวส่วนโค้งที่ 2 วัดระยะย้อนกลับมาทางจุด a_1 เท่ากับรัศมีความโค้งของส่วนโค้งที่ 2 (120 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด m
7. จากจุด m วัดระยะไปทางปลายท่อที่เหลือเท่ากับระยะที่โจทย์กำหนด (180 มม.)

ในทางปฏิบัติต้องเหลือปลายท่อทั้งสองด้านไว้เพื่อบรรจุทรายและใช้จุกอุดระยะที่เผื่อไว้ประมาณ 100–120 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้จุกอุดไหม้เมื่อเผาบริเวณท่อเพื่อดัดโค้ง และเพื่อใช้เป็นส่วนตรงสำหรับจับดัดโดยตรงหรือสำหรับสวมท่อที่ใช้จับดัดอีกครั้งหนึ่ง

ไม่ว่าจะเลือกใช้การคำนวณโดยใช้ความยาวส่วนโค้งเป็นหลัก หรือใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลัก ก็จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะ ขนาด เช่นเดียวกัน แต่จากลำดับขั้นที่แสดงไว้ทั้งสองวิธีนี้จะเห็นว่าการใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลักจะยุ่งยากกว่า

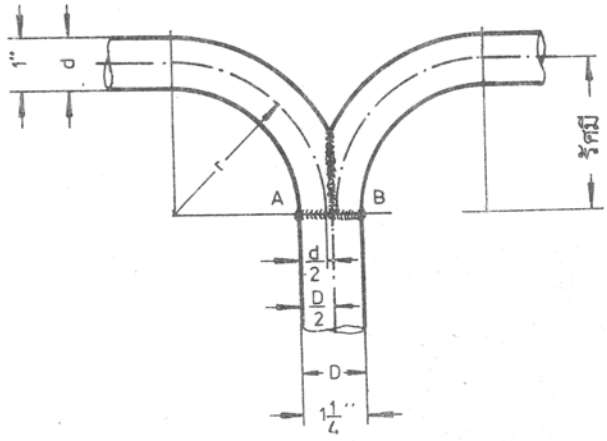


รูปที่ 3.62

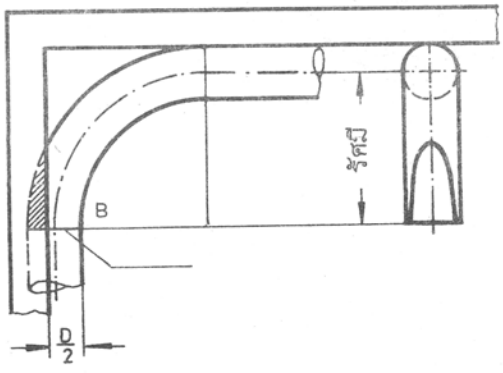
ช่วงเผาของท่อแยกตามรูป 3.60 เมื่อคำนวณโดยใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลัก

3.8 งานขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที

งานขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งทำได้โดยตัดท่อโค้งมุม 90 องศาสองชิ้น นำมาตัดส่วนโค้งออกชิ้นละประมาณครึ่งหนึ่งแล้วประกอบเข้าด้วยกัน ปลายท่อด้านที่ประกอบเข้าด้วยกันนั้นเชื่อมประกอบกับท่อขนาดใหญ่กว่าซึ่งเป็นท่อรวม ท่อที่ตัดโค้งมุม 90 องศาทั้งสองชิ้นนั้นต้องมีขนาดเล็กกว่าท่อรวมเสมอ แต่ถ้าวัดความยาวเส้นรอบวงของท่อโค้งทั้งสองชิ้นรวมกันต้องยาวกว่าเส้นรอบวงของท่อรวม ดังนั้นส่วนที่ตัดออกจากความโค้งของท่อตัดโค้งมุม 90 องศา ก่อนที่จะนำมาประกอบกัน จะเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดท่อเล็กน้อย ดังรูปที่ 3.63



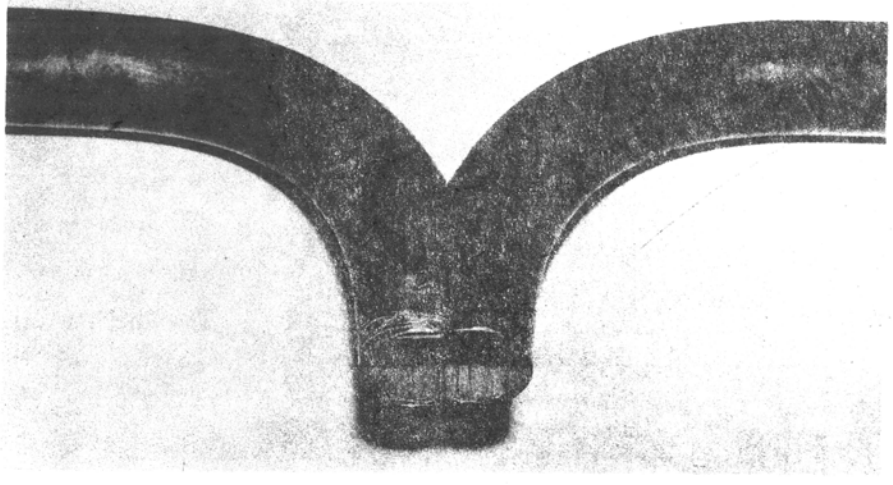
รูปที่ 3.63
ท่อแยกสามทางโค้งตัวที เมื่อท่อรวมมีขนาดใหญ่กว่าท่อโค้ง



รูปที่ 3.64
แสดงการวัดระยะส่วนโค้ง เพื่อตัดออกก่อนที่จะนำไปประกอบเข้าด้วยกันเป็นสามทางโค้งตัวที

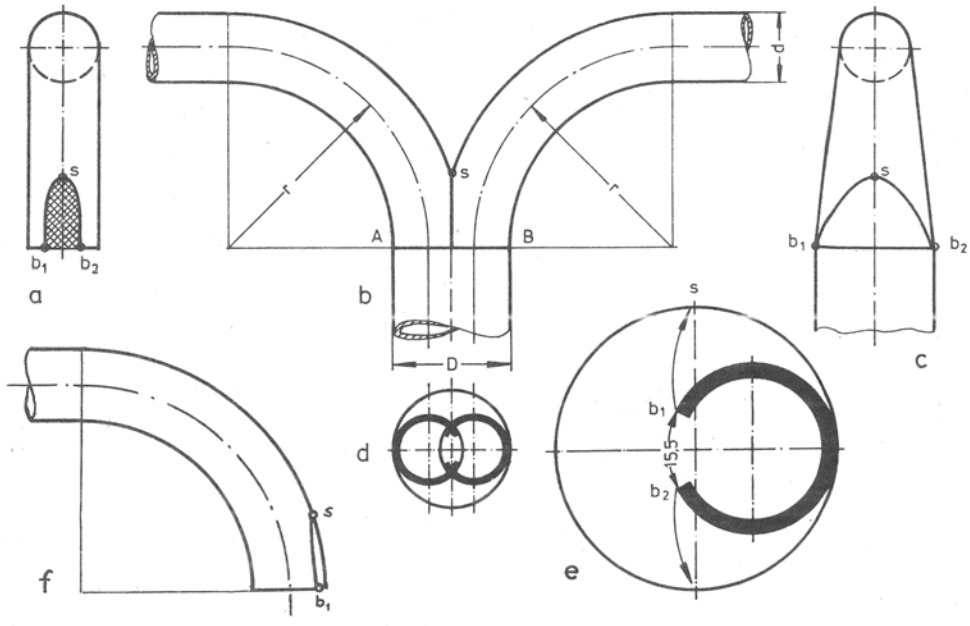
งานขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที สำหรับท่อขนาดเล็กไม่จำเป็นต้องคำนวณหาค่าใด ๆ เพราะสามารถวัดถ่ายขนาดจากท่อได้โดยตรง ซึ่งมีลำดับขั้นดังนี้

1. ตัดท่อขนาดเล็กสองชิ้นที่จะนำมาประกอบเป็นท่อแยกให้โค้งมุม 90 องศาทั้งสองชิ้น ตามวิธีการตัดโค้งที่บรรยายไว้แล้ว
2. หาขนาดส่วนโค้งที่ต้องตัดออกจากท่อโค้งมุม 90 องศา ทั้งสองชิ้น ท่อโค้งมุม 90 องศาที่ต้องนำมาประกอบเข้าด้วยกัน จะมีขนาดเท่ากับครึ่งหนึ่งของขนาดท่อรวม ($\frac{D}{2}$) โดยใช้เหล็กฉากหาบกับท่อโค้งเพื่อวัดระยะ ดังรูปที่ 3.64 ขีดทำเครื่องหมายไว้
3. เลื่อยส่วนโค้งที่ต้องตัดออกตามที่ได้ขีดทำเครื่องหมายไว้ทั้งสองชิ้น
4. นำชิ้นงานทั้งสองมาประกอบเข้าด้วยกัน เชื่อมรอยต่อโดยรอบ
5. เผาให้ความร้อนบริเวณปลายท่อส่วนที่ต้องต่อกับท่อรวม เคาะตบแต่งให้ปากกลมมีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อรวม



รูปที่ 3.65
ท่อแยกสามทางโค้งตัวที ขณะที่ตัดส่วนโค้งของท่อโค้งทั้งสองออกแล้ว ก่อนที่จะนำมาประกอบเข้าด้วยกัน

ถ้าเป็นงานชิ้นรูปซึ่งใช้ท่อรวมขนาดใหญ่ ต้องคำนวณหาระยะต่าง ๆ ของท่อโค้งส่วนที่ต้องตัดออกเพื่อให้ได้ขนาดใกล้เคียงกับขนาดท่อรวม เมื่อตัดผนังบางส่วนของท่อโค้งออกแล้วผนังท่อโค้งส่วนที่เหลือจะมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นรอบวงของท่อรวม เมื่อรวมกันสองชิ้นแล้วจะมีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับความยาวเส้นรอบวงของท่อรวม ดังรูปที่ 3.66



รูปที่ 3.66 ท่อแยกสามทางโค้งตัวทีซึ่งใช้ท่อรวมขนาดใหญ่ ต้องคำนวณหาระยะต่าง ๆ ของส่วนที่ต้องตัดออกตามตัวอย่าง 3.5

ตัวอย่าง 3.5

ต้องการประกอบขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที โดยใช้ท่อโค้งขนาด 1 นิ้ว และท่อรวมขนาด 51/57 จงอธิบายลำดับขั้นการทำงาน

1. คำนวณหาค่าต่าง ๆ

- ความยาวเส้นรอบวงท่อรวม

ความยาวเส้นรอบวง = D × 3.14

= 57 × 3.14

= 179 มม.

- ครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นรอบวง = $\frac{179}{2}$

= 89.5 มม.

- ความยาวเส้นรอบวงท่อแยกโค้ง (ท่อ 1 นิ้ว)

ความยาวเส้นรอบวง = d × 3.14

= 33.5 × 3.14

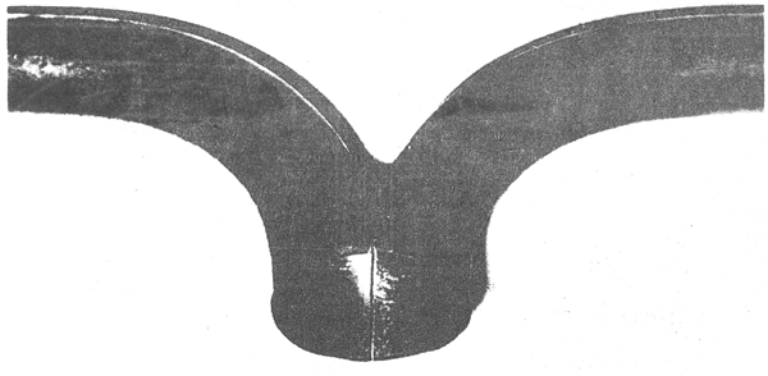
= 105 มม.

- ความยาวเส้นรอบวงของผนังท่อโค้งส่วนที่ต้องตัดออกแต่ละชิ้น

105 – 89.5 = 15.5 มม.

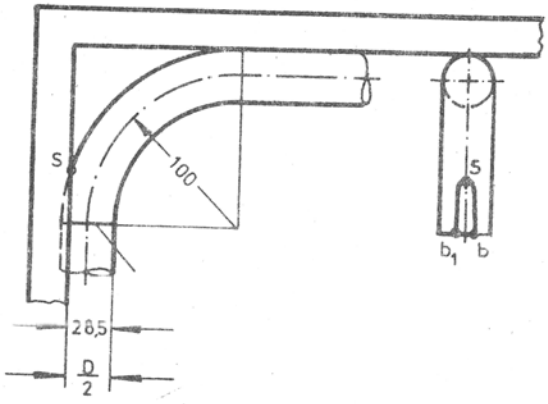
ต้องตัดผนังท่อโค้งออกชิ้นละ 15.5 มม.

2. นำค่าความยาวของผนังท่อโค้งส่วนที่ต้องตัดออก (15.5 มม.) ไปถ่ายขนาดบนชิ้นงานจริง ขีดเส้นทำเครื่องหมายไว้ โดยใช้เหล็กฉากทาบประกอบ
3. ใช้เลื่อย ๆ ส่วนโค้งออกตามรอยขีด
4. นำชิ้นงานทั้งสองที่ตัดผนังบางส่วนออกแล้วเชื่อมจุดยึดติดกัน
5. เผาให้ความร้อนบริเวณปลายท่อส่วนที่ต้องใช้ต่อกับท่อรวม เคาะตบแต่งให้กลม



รูปที่ 3.67

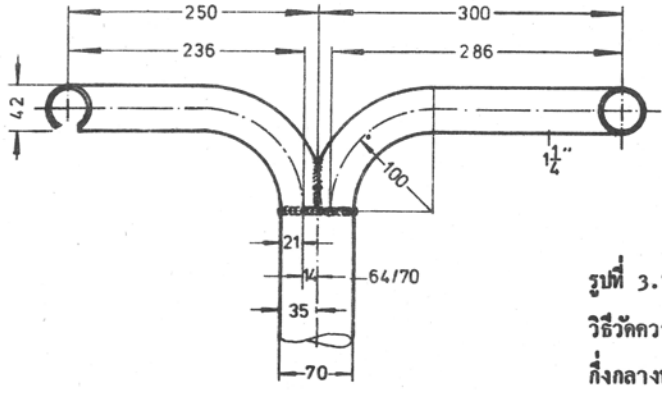
ชิ้นงานตามตัวอย่าง 3.5 ขณะเคาะขึ้นรูปแล้ว



รูปที่ 3.68 แสดงการวัดระยะส่วนโค้งที่ต้องตัดออก
โดยใช้เหล็กฉากประกอบในการวัด

รูปที่ 3.69
เปรียบเทียบรอยตัดส่วนโค้งที่ใช้การคำนวณหาระยะสำหรับงานที่ใช้ท่อรวมขนาดใหญ่
กับรอยที่ทำเครื่องหมายไว้ (ด้านซ้าย) ที่ไม่ได้หารอยตัด โดยการคำนวณ

ในกรณีที่เป็นงานชิ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที โดยกำหนดความยาวระหว่างปลายท่อโค้งที่เหลือ ทั้งสองข้าง ก่อนนำมาประกอบชิ้นรูปเป็นท่อแยกสามทางโค้งตัวที ต้องตัดท่อโค้งทั้งสองให้มีลักษณะ ขนาด ตามกำหนดให้เรียบร้อยก่อน การหาระยะห่างระหว่างส่วนโค้ง มีวิธีการกำหนด ดังรูป 3.70



รูปที่ 3.70
วิธีวัดความยาวชิ้นงานโดยกำหนดระยะจาก
กึ่งกลางท่อรวมถึงกึ่งกลางส่วนโค้งปลายท่อแยก

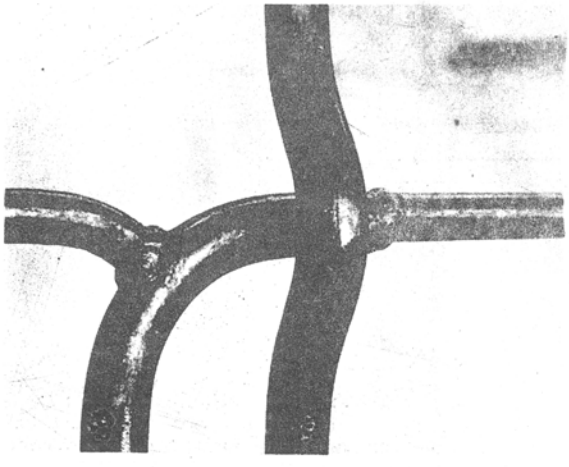
- กำหนดระยะจากกึ่งกลางท่อรวมถึงกึ่งกลางส่วนโค้งปลายท่อแยก 250 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่แตกต่างกันระหว่างท่อรวมและท่อแยก คิดเพียงครึ่งเดียว $= \frac{70}{2} - \frac{42}{2}$

  $= 14$ มม.
- ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางท่อแยกจากปลายโค้งข้างหนึ่งถึงปลายโค้งอีกข้างหนึ่ง

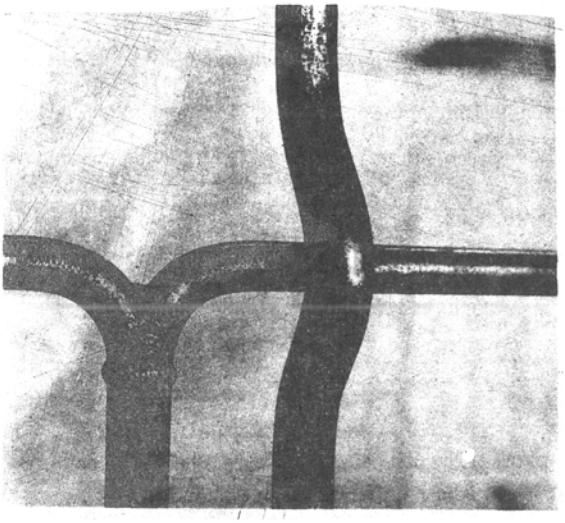
  ข้อโค้งด้านซ้าย $= 250 - 14 = 236$ มม.

  ข้อโค้งด้านขวา $= 300 - 14 = 286$ มม.
- ดังนั้นก่อนขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที ต้องตัดมุมโค้งท่อแยกทั้งสองข้าง ให้มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางท่อข้างหนึ่งถึงข้างหนึ่ง ยาว 236 มม. และ 286 มม. เมื่อตัดเสร็จแล้ว จึงนำท่อโค้งทั้งสองชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน ตามวิธีการต่อไป

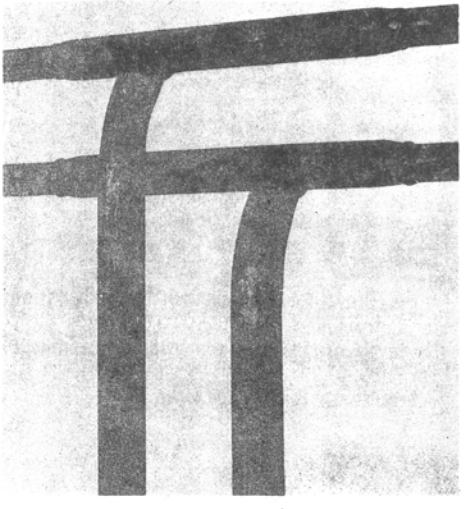
ลักษณะการนำท่อแยกสามทางโค้งรูปตัวที ไปใช้งานได้แสดงเปรียบเทียบไว้ ในรูป 3.71 – 3.74 จากรูปที่เปรียบเทียบ จะเห็นว่าในงานจริงนั้นงานเดินท่อและขึ้นรูปท่ออาจทำได้หลายลักษณะ แต่ควรเลือกวิธีที่ง่ายสะดวกต่อการทำงาน และขั้นตอนไม่ยุ่งยากนัก รวมทั้งพิจารณาลักษณะการไหลของของไหลในท่อด้วย



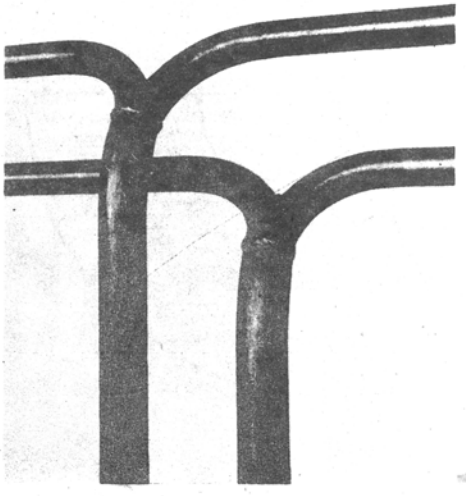
รูปที่ 3.71
งานเดินท่อ โดยวิธีเจาะท่อแยกออกด้านข้าง
ลักษณะงานที่ต้องทำ ได้แก่ เจาะท่อแยก เคาะขึ้นรูปข้อลดและเชื่อมรอบ 2 แนว



รูปที่ 3.72
งานเดินท่อ โดยใช้ท่อแยกสามทางโค้งตัวที
ลักษณะงานที่ต้องทำ ได้แก่ การประกอบท่อ
แยกสามทางโค้งตัวที และเชื่อม 2 แนว



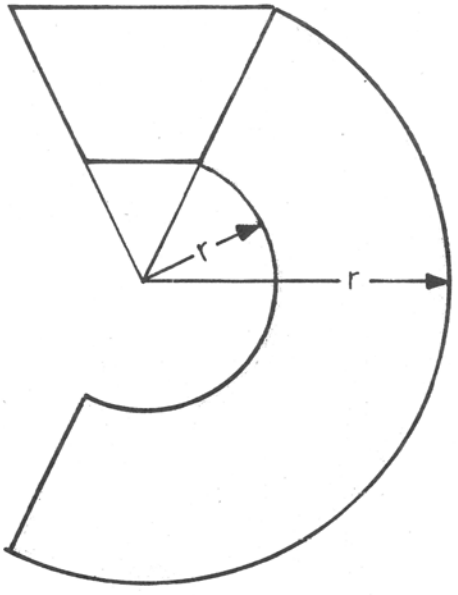
รูปที่ 3.73
งานเดินท่อ โดยวิธีเจาะท่อแยกออกด้านข้าง
ลักษณะงานที่ต้องทำ ได้แก่ เจาะท่อแยก เคาะ
ขึ้นรูปขอลด และเชื่อม 3 แนว



รูปที่ 3.74
งานเดินท่อ โดยใช้ท่อแยกสามทางโค้งตัวที
ลักษณะงานที่ต้องทำ ได้แก่ การประกอบท่อ
แยกสามทางโค้งตัวที และเชื่อม 2 แนว

3.9 งานขึ้นรูปกรวย

ในงานขึ้นรูปกรวยจะต้องเขียนแบบแผ่นคลี่ของกรวยนั้นก่อน อาจเขียนลงบนแผ่นโลหะที่จะนำมาขึ้นรูปกรวยโดยตรงหรือเขียนบนกระดาษ แล้วนำมาถ่ายขนาดลงบนแผ่นโลหะอีกครั้งหนึ่งก็ได้ การเขียนแบบแผ่นคลี่จำเป็นต้องรู้ขนาด รูปร่างของกรวยที่ถูกต้อง แล้วจึงเขียนแบบรูปด้านข้างและคลี่แบบจากรูปด้านข้างนั้น แผ่นคลี่ของรูปกรวยจะมีลักษณะเป็นส่วนของพื้นที่วงกลม (Sector) จะมีขนาดเป็นกี่ส่วนของพื้นที่วงกลมขึ้นอยู่กับขนาดมุมยอดแหลมของกรวย เช่น กรวยที่มีมุมยอด 60 องศา แผ่นคลี่จะมีขนาดประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่วงกลม ซึ่งมีความยาวรัศมีเท่ากับความสูงเอียงของกรวยเมื่อลากเส้นด้านข้างของกรวยไปตัดกันที่จุดศูนย์กลางดังรูป

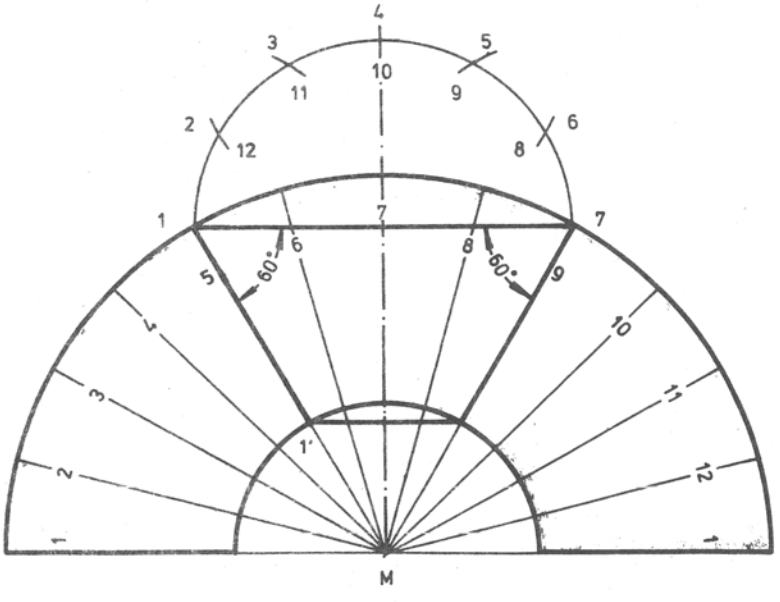


รูปที่ 3.75
การเขียนแบบภาพคลี่รูปกรวย โดยใช้วิธีถ่ายขนาดจากรูปด้านข้างโดยตรง แผ่นคลี่จะมีลักษณะเป็นส่วนของพื้นที่วงกลม

การเขียนแบบแผ่นคลี่รูปกรวยอาจใช้วิธีคำนวณเพื่อหาขนาดความยาวของปากกรวย หรือใช้วิธีวัดถ่ายขนาดจากแบบโดยตรงก็ได้ ซึ่งมีลำดับขั้นดังนี้

1. เขียนภาพด้านข้างของรูปกรวยตามลักษณะ ขนาด ที่กำหนด
2. ลากเส้นตรงต่อจากเส้นขอบรูปด้านข้างของกรวยทั้งสองข้าง เส้นตรงสองเส้นนี้จะไปตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง กำหนดเป็นจุด M

3. ใช้จุด M เป็นจุดศูนย์กลางเขียนส่วนโค้งวงกลมสองวง โดยใช้รัศมีเท่ากับระยะจากจุด M ถึงมุมขอบด้านบนของกรวยวงหนึ่ง และระยะจากจุด M ถึงขอบด้านล่างของกรวยอีกวงหนึ่ง เขียนส่วนโค้งประมาณครึ่งวงกลมก็เพียงพอ
4. แบ่งครึ่งความยาวเส้นตรงที่เป็นปากกรวย ใช้จุดแบ่งครึ่งเป็นศูนย์กลางเขียนส่วนโค้งครึ่งวงกลมบนเส้นปากกรวย ปากกรวยรูปนี้จะมีขนาดเท่ากับวงกลมวงนี้
5. ใช้วงเวียนกางรัศมีเท่ากับครึ่งหนึ่งของรัศมีปากกรวย ตามข้อ 4 แบ่งส่วนโค้งครึ่งวงกลมเป็น 6 ส่วนเท่ากัน จุดแบ่งแต่ละส่วนกำหนดเป็นจุดที่ 1 ถึง 12 หมายเลขที่ 1 ถึง 7 กำหนดไว้ด้านนอกส่วนโค้ง ส่วนหมายเลข 8 จะอยู่ซ้อนกับจุดหมายเลข 6 หมายเลข 9 ซ้อนกับหมายเลข 5 เรียงไปตามลำดับ ดังรูป



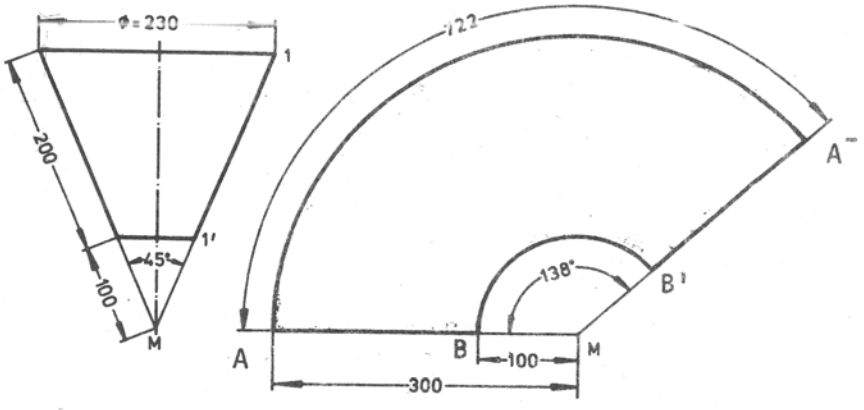
รูปที่ 3.76 การเขียนแบบภาพคลี่รูปกรวย โดยวิธีถ่ายขนาดจากรูปด้านข้าง

6. ใช้วงเวียนกางรัศมีเท่าเดิม (ตามข้อ 5) แบ่งเส้นโค้งครึ่งวงกลมที่เขียนไว้ ตามข้อ 3 ออกเป็น 12 ส่วนเท่ากัน จุดแบ่งส่วนแต่ละส่วนกำหนดเป็นจุดที่ 1 ถึง 12 ขณะนี้จุดที่ 1 จะมี 2 จุด คือจุดแรกและจุดสุดท้าย ลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลาง M ไปยังจุดที่ 1 ทั้งสองข้าง
7. พื้นที่ส่วนโค้งของวงกลมจากจุดที่ 1 – 2 – 3 ... 12 – 1 เป็นแผ่นคลี่รูปกรวยตามต้องการ

นอกจากการเขียนแบบแผ่นคลี่รูปกรวย ซึ่งหาเส้นรอบวงปากกรวยโดยวิธีถ่ายขนาดจากแบบโดยตรง ดังกล่าวแล้ว อาจใช้วิธีคำนวณหาความยาวเส้นรอบวงปากกรวยดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง 3.6

ต้องการขึ้นรูปกรวยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากกรวย 230 มม. สูงเอียง 200 มม. มุมยอดกรวย 45° โดยใช้แผ่นเหล็ก 3 มม. จงแสดงลำดับขั้นการเขียนแบบแผ่นคลี่รูปกรวยนี้



รูปที่ 3.77 การเขียนแบบภาพคลี่รูปกรวย โดยการคำนวณหาความยาวเส้นรอบวง

ลำดับขั้น

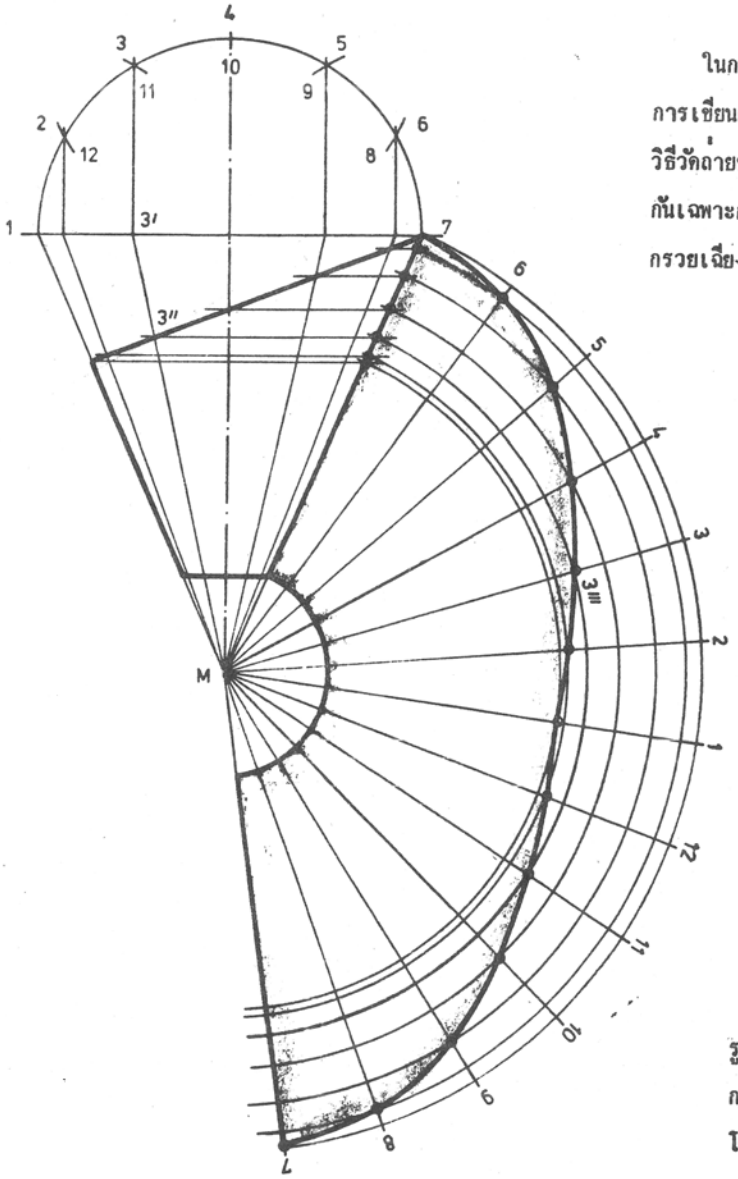
1. เขียนภาพด้านข้างรูปกรวยตามขนาด ดังรูป
2. ลากเส้นตรงต่อเส้นขอบด้านข้างรูปกรวยทั้งสองข้างไปตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง กำหนดเป็นจุด M
3. เขียนส่วนโค้งวงกลม 2 วง โดยกำหนดจุด M เป็นจุดศูนย์กลาง วงกลมวงนอกใช้รัศมีเท่ากับระยะจากจุด M ถึงมุมขอบด้านบนรูปกรวย (300 มม.) วงกลมวงในใช้รัศมีเท่าระยะจากจุด M ถึงมุมขอบด้านล่างรูปกรวย (100 มม.) โดยเขียนส่วนโค้งประมาณครึ่งวงกลมก็เพียงพอ
4. ลากเส้นตรงแนวระดับจากจุด M ตัดเส้นส่วนโค้งวงกลมทั้งสองวง กำหนดให้เป็นจุด A และ B
5. คำนวณหาความยาวเส้นรอบวงปากกรวย

เส้นรอบวงปากกรวย = d × 3.14

= 230 × 3.14

= 722 มม.

6. วัดความยาวส่วนโค้งวงกลมวงนอกจากจุด A ไปตามส่วนโค้งให้ได้ระยะตามที่คำนวณได้ 722 มม. กำหนดเป็นจุด A´ จากจุด A´ ลากเส้นตรงมายังจุด M จุดที่เส้นตรงตัดกับส่วนโค้งวงกลม วงใน กำหนดเป็นจุด B´ (อาจใช้วงเวียนกางรัศมี 10 มม. จากจุด A ใช้วงเวียนแบ่งส่วนโค้งวงกลมวงนอกเป็น 72 ส่วน)
7. ส่วนโค้งรูป A – A´ – B´ – B เป็นรูปแผ่นคลี่ตามต้องการ



ในกรณีที่กรวยมีลักษณะเป็นกรวยปากเฉียง การเขียนแบบแผ่นคลี่จะใช้หลักการแรก โดยใช้วิธีวัดถ่ายขนาดจากแบบโดยตรงมีส่วนที่แตกต่างกันเฉพาะการคลี่แบบบริเวณปากกรวย ซึ่งเป็นกรวยเฉียง มีลำดับขั้นตอนดังนี้

รูปที่ 3.78
การเขียนแบบภาพคลี่รูปกรวยปากเฉียง โดยถ่ายขนาดจากรูปด้านข้าง

1. เขียนภาพด้านข้างของรูปกรวยตามลักษณะ ขนาดที่มองเห็นจริงจากด้านข้าง
2. ลากเส้นตรงต่อจากเส้นขอบรูปด้านข้างของกรวยทั้งสองข้าง เส้นตรงสองเส้นนี้จะไปตัดกันที่จุดๆ หนึ่ง กำหนดเป็นจุด M
3. ลากเส้นตรงต่อรูปกรวยให้มีลักษณะเป็นกรวยตรง ตามปกติ
4. ใช้ M เป็นจุดศูนย์กลางเขียนส่วนโค้งวงกลมสองวง โดยใช้รัศมีเท่ากับระยะจากจุด M ถึงมุมขอบบนปากกรวยวงหนึ่ง และระยะจากจุด M ถึงมุมขอบล่างของปากกรวยอีกวงหนึ่ง เขียนส่วนโค้งประมาณครึ่งวงกลมก็เพียงพอ
5. แบ่งครึ่งความยาวเส้นปากกรวย ตรงตามข้อ 3 ใช้จุดแบ่งครึ่งเป็นศูนย์กลางเขียนส่วนโค้งครึ่งวง – กลม
6. ใช้วงเวียนกางรัศมีเท่ากับครึ่งหนึ่งของรัศมี ตามข้อ 5 แบ่งส่วนโค้งครึ่งวงกลมปากกรวยเป็น 6 ส่วนเท่ากัน จากจุดแบ่งส่วนกำหนดให้เป็นจุดที่ 1 ถึง 12 หมายเลข 1 ถึง 7 จะอยู่ด้านนอก หมายเลข 8 จะซ้อนกับจุดหมายเลข 6 หมายเลข 9 ซ้อนกับหมายเลข 5 เรียงไปตามลำดับ
7. ใช้วงเวียนกางรัศมีเท่ากับข้อ 6 นำมาแบ่งเส้นส่วนโค้งวงกลมวงนอก ตามข้อ 4 เป็น 12 ส่วน และกำหนดหมายเลขเรียงไปตามลำดับจากจุดหมายเลข 7 – 12 และจากหมายเลข 12 เรียงตามลำดับ ลงมาถึงเลข 7 ขณะนี้หมายเลข 7 จะมีสองจุด ลากเส้นรัศมีจาก M ถึงจุด 1 – 12 นั้น
8. จากจุดหมายเลข 1 ถึง 6 ตามข้อ 6 ลากเส้นตรงให้ขนานกับเส้นศูนย์กลางของกรวยลงมาตัดเส้นขอบปากกรวย กำหนดเป็นจุดหมายเลข $2'$ ถึง $6'$ ตามลำดับ
9. จากจุด $2'$ ถึง $6'$ ลากเส้นไปพบกันที่จุดศูนย์กลาง M จุดที่เส้นต่าง ๆ เหล่านี้ตัดกับเส้นเฉียงปาก–กรวย กำหนดเป็นจุด $2'$ ถึง $6'$
10. จากจุด $2'$ ถึง $6'$ ลากเส้นตรงในแนวระดับตั้งฉากกับเส้นศูนย์กลางของกรวย ให้เส้นเหล่านี้มาตัดกับเส้นขอบกรวยด้านข้าง กำหนดเป็นจุด $2''$ ถึง $6''$
11. ใช้ M เป็นจุดศูนย์กลางเขียนส่วนโค้งครึ่งวงกลม 5 วง โดยใช้รัศมีเท่ากับระยะ $M - 2'''$ ถึง $M - 6'''$ ส่วนโค้งเหล่านี้จะตัดกับเส้นรัศมีจากจุด M มายังจุด 1 – 12 ตามข้อ 7 จุดตัดทั้งหมดจะเป็นจุดที่ใช้กำหนดเป็นแผ่นคลี่ เริ่มต้นจากจุด 7 ซึ่งเป็นจุดขอบปากกรวย
12. จุดตัดระหว่างเส้น $M - 6$ กับส่วนโค้งวงกลมตามรัศมี $M - 6'''$ กำหนดเป็นจุด 6
13. จุดตัดระหว่างเส้น $M - 5$ กับส่วนโค้งวงกลมตามรัศมี $M - 5'''$ กำหนดเป็นจุด 5

กำหนดจุดแผ่นคลี่ในลักษณะนี้เรียงไปตามลำดับ จนถึงจุดที่ 1 ซึ่งขณะนี้จะเท่ากับแผ่นคลี่ครึ่งหนึ่งของรูปกรวย

14. จุดตัดระหว่างเส้น M – 12 กับส่วนโค้งวงกลมรัศมี M – 12‴ กำหนดเป็นจุด 12

15. จุดตัดระหว่างเส้น M – 11 กับเส้นโค้งวงกลมรัศมี M – 11‴ (ขณะนี้เป็นเส้นเดียวกับเส้น M – 3 แต่อยู่คนละด้าน) กำหนดเป็นจุด 11

กำหนดจุดแผ่นคลี่ในลักษณะนี้เรียงตามลำดับจนถึงจุดที่ 7

16. ลากเส้นโค้งต่อจุดตัดต่าง ๆ คือ 7 – 6 – 5 – จนถึง 1 และย้อนกลับไปทางปลายอีกข้างหนึ่งจนถึงจุด 7 พื้นที่ภายใต้ส่วนโค้งนี้ เป็นแผ่นคลี่กรวยปากเฉียง ตามต้องการ

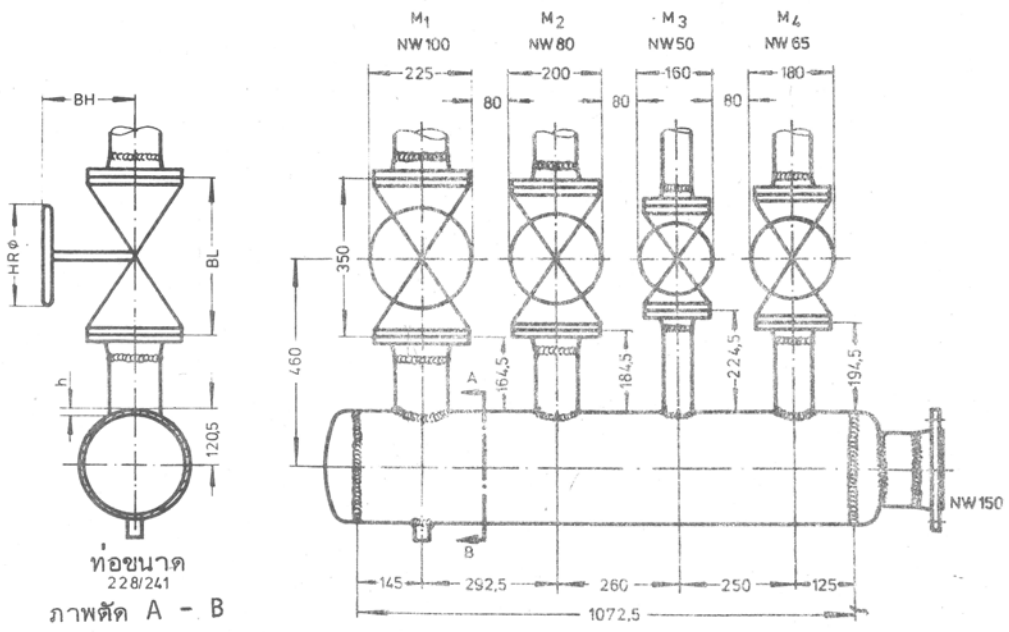
เมื่อเขียนแบบแผ่นคลี่ของรูปกรวยเรียบร้อยแล้ว ให้ถ่ายขนาดแบบแผ่นคลี่ลงบนแผ่นเหล็กที่จะนำมาขึ้นเป็นรูปกรวย ตัดแผ่นเหล็กโดยใช้เปลวไฟแก๊สตามที่ได้ถ่ายขนาดนั้น ตบแต่งรอยตัดให้เรียบร้อย แล้วนำมาขึ้นรูปกรวยโดยใช้ค้อนไม้เคาะตบแต่งบนทั่งปลายเรียวหรือบนปลายท่อ จนได้รูปร่างตามต้องการ ถ้าเป็นแผ่นเหล็กหนาอาจต้องเคาะขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนช่วย โดยเผาแผ่นเหล็กให้ร้อนแดงแล้วเคาะขึ้นรูปด้วยค้อนเหล็กบนทั่งปลายเรียวเช่นกัน

3.10 งานขึ้นรูปท่อหัวจ่าย

งานเดินท่อที่จำเป็นต้องแยกจ่ายของไหลภายใน เพื่อไปใช้หลาย ๆ จุดหรือแยกเป็นหลายสาย จะใช้หัวจ่าย (Header) เป็นจุดกลางเพื่อควบคุมการไหลของท่อแต่ละสาย และช่วยให้แรงดันของ ๆ ไหล ที่จะจ่ายไปตามท่อแยกแต่ละสายนั้นไม่แตกต่างกัน

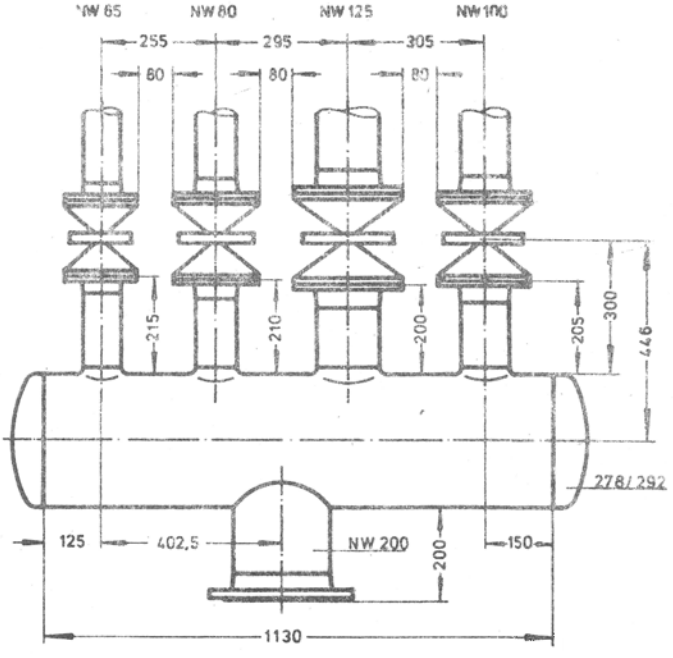
หัวจ่ายจะทำจากท่อขนาดใหญ่มีความยาวต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับจำนวนท่อที่แยกออกจากหัวจ่ายนั้น ปลายท่อทั้งสองด้านจะเชื่อมแผ่นปิดรูปกะทะไว้ ท่อขนาดเล็กที่แยกออกจากหัวจ่ายจะเรียงกันอยู่ข้างหนึ่ง ส่วนด้านตรงข้ามจะเป็นท่อสำหรับจ่ายของไหลเข้าไปภายในหัวจ่าย ซึ่งเป็นท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าท่อแยกไปใช้งาน บางครั้งท่อจ่ายของไหลเข้าไปยังหัวจ่ายอาจอยู่ที่ปลายของท่อจ่ายด้านใดด้านหนึ่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะงานและสถานที่ ๆ ติดตั้ง

ท่อขนาดเล็กที่แยกออกจากหัวจ่ายนั้นจะมีวาวล์ (Valve) ควบคุมการไหลของของไหล ภายในประกอบอยู่ด้วยใกล้กับตัวหัวจ่าย การติดตั้งวาวล์จะให้วาวล์ทุกตัวไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่อยู่ในแนวและระดับเดียวกันหมด หัวจ่ายบางอันจะมีช่องข้อต่อสำหรับติดตั้งวาวล์ขนาดเล็ก เพื่อใช้เป็นวาวล์สำหรับตรวจสอบของไหล หรือใช้เป็นวาวล์สำหรับระบายอีกด้วย



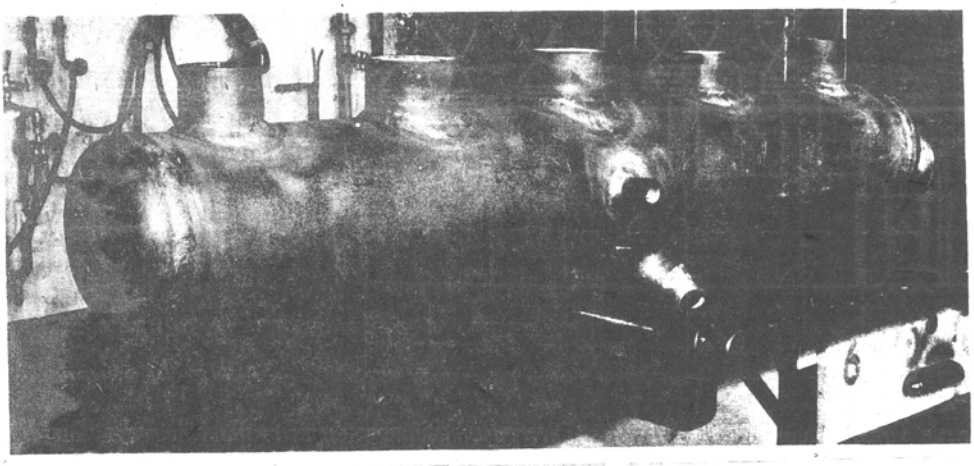
รูปที่ 3.79 หัวจ่ายที่เจาะขึ้นรูปท่อแยกแบบอานม้า การติดตั้งวาวล์กับหัวจ่ายใช้แบบหน้าแฟลนจ์ สังเกตข้อต่อสำหรับติดตั้งวาวล์ขนาดเล็ก (ด้านล่าง)

งานขึ้นรูปท่อหัวจ่ายมีลักษณะงานขึ้นรูปรวมกันหลายอย่าง ได้แก่งานเคาะขึ้นรูปแผ่นปิดปลายท่อรูปกะทะงานเจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉาก อาจเป็นงานเจาะแบบอานม้า แบบขอบตรงหรือแบบยกขอบสูง ขึ้นอยู่กับ

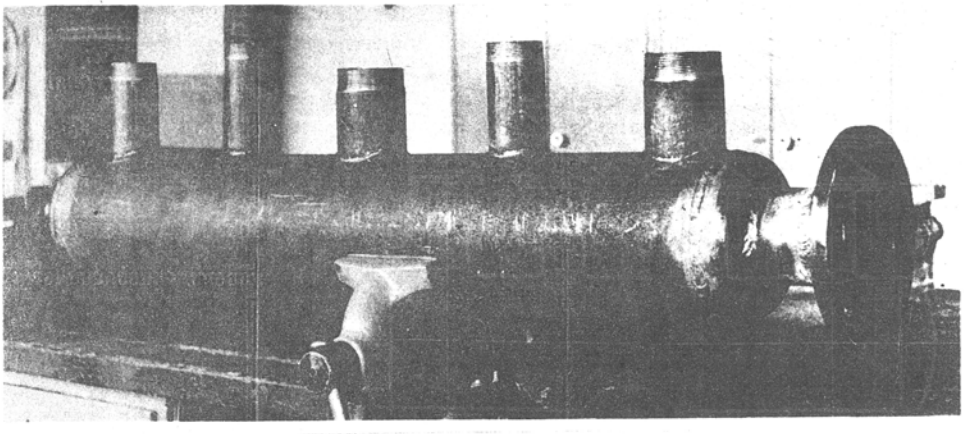


รูปที่ 3.80
หัวจ่ายที่เจาะขึ้นรูปแบบยกขอบสูงเชื่อมแผ่นปิดปลายท่อรูปกะทะทั้งสองข้าง

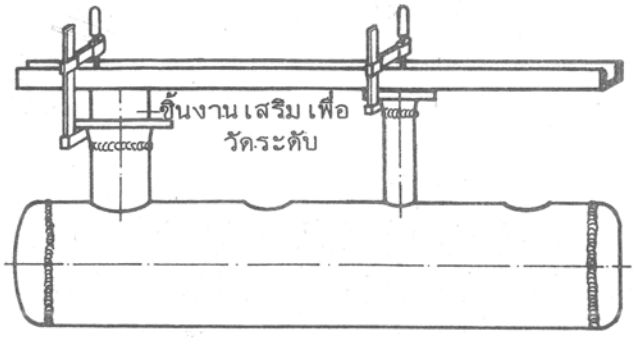
ข้อพิจารณาอื่น ๆ บางครั้งอาจมีงานเจาะขึ้นรูปหน้าแฟลนจ์ปลายท่อส่วนที่ใช้ติดตั้งวาวล์ ท่อแยกตรงตั้งฉากที่แยกจากหัวจ่ายอาจเชื่อมยึดติดกัน หรืออาจเชื่อมข้อต่อซึ่งมีเกลียวด้านใน หรือเชื่อมท่อซึ่งมีเกลียวนอกที่ปลายสำหรับยึดติดกับวาวล์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของวาวล์ที่จะนำมาติดตั้งด้วย แต่ไม่ว่าจะเป็นวาวล์ชนิดใดหรือติดตั้งโดยวิธีใดก็ตาม ในการติดตั้งจะให้ศูนย์กลางวาวล์อยู่ในระดับเดียวกันทั้งหมด



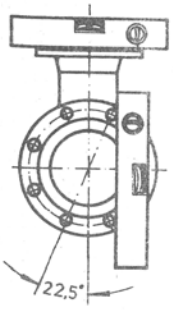
รูปที่ 3.81 หัวจ่ายที่เจาะขึ้นรูปแบบอานม้าและใช้ข้อต่อตรงมีเกลียวด้านใน เชื่อมประกอบไว้สำหรับต่อท่อออกไปโดยใช้เกลียว



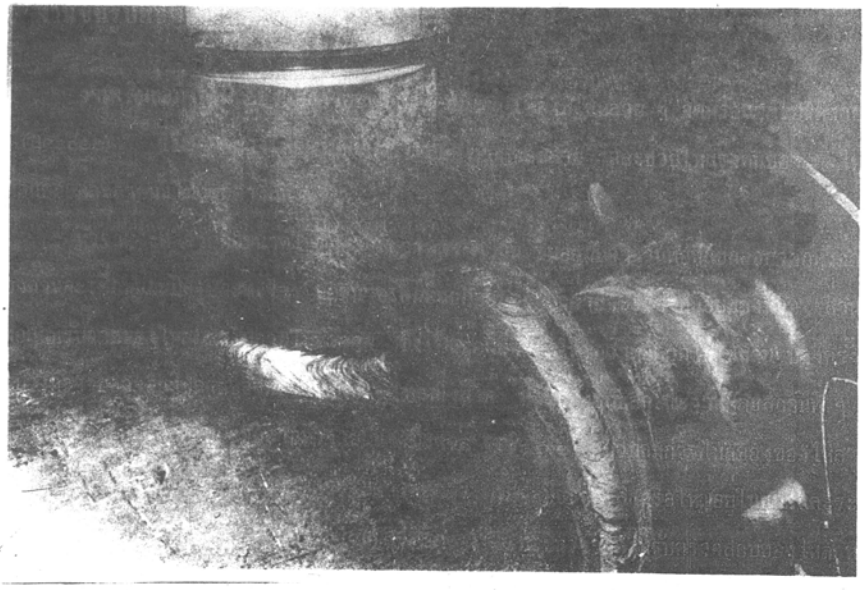
รูปที่ 3.82 หัวจ่ายที่เจาะขึ้นรูปแบบอานม้าใช้ท่อที่มีเกลียวที่ปลายเชื่อมประกอบไว้ สำหรับติดตั้งวาวล์โดยใช้เกลียว (สังเกตปลายท่อซึ่งสูงไม่เท่ากัน)



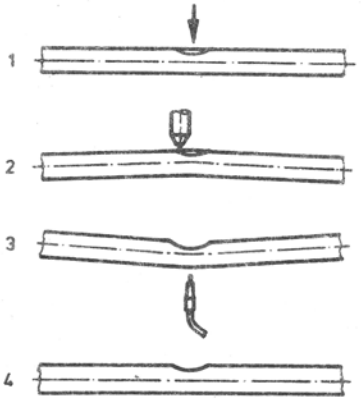
รูปที่ 3.83
ขณะติดตั้งท่อแยกซึ่งปลายด้านหนึ่งเชื่อมหน้าแฟลนจ์ไว้แล้ว ให้อยู่ในแนวที่จะติดตั้งวาวล์ได้ ในระดับเดียวกันสังเกตชิ้นงานท่อที่ใช้วางเสริมเพื่อวัดระยะและความเที่ยงตรงของหน้าแฟลนจ์



รูปที่ 3.84
การติดตั้งหน้าแฟลนจ์ที่ทำมุมฉากกันสองด้าน ให้ใช้ระดับน้ำช่วยตรวจสอบในการติดตั้งเพื่อแน่ใจว่าหน้าแฟลนจ์ทั้งสองตั้งฉากกันจริง และรูสำหรับร้อยนัต-สกรูยึดหน้าแฟลนจ์อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง สังเกตการใช้ระดับน้ำวัดตำแหน่งของรูเจาะ ซึ่งขณะนี้ทำมุมเอียง 22.5 องศา กับแนวดิ่ง



งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกบนท่อเมนจะทำให้ท่อเมนนั้นโค้งงอไปจากเดิมบริเวณที่เจาะท่อแยกทุกจุด ทั้งนี้เนื่องจากผนังท่อได้รับความร้อนเพียงข้างเดียว วิธีแก้ไขทำได้โดยใช้เปลวไฟเผาผนังท่อด้านตรงข้าม ปล่อยทิ้งไว้เมื่อเย็นตัวแล้วท่อเมนนั้นจะงอกลับอยู่ในแนวตรงเช่นเดิม ดังรูป 3.86

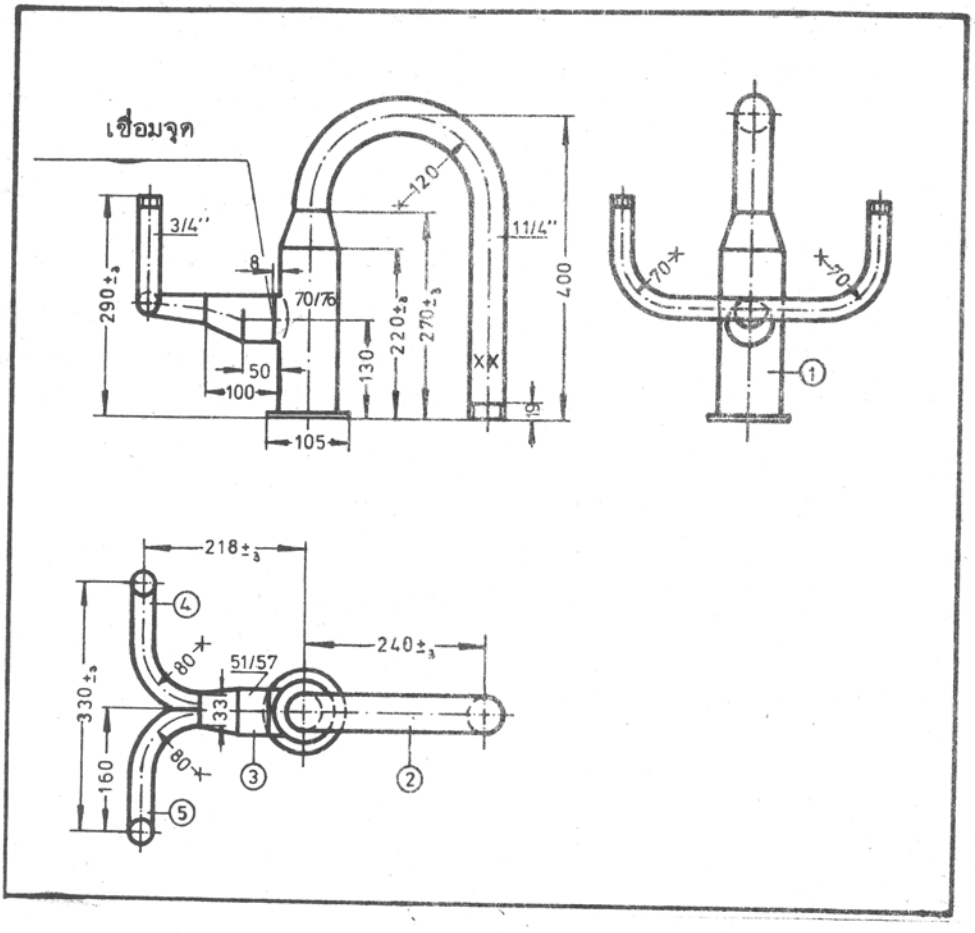


1. ขณะที่เจาะท่อแยกโดยใช้ความร้อนบริเวณที่เจาะ
2. ส่วนที่เผาให้ความร้อนจะขยายตัวออก ทำให้ท่อโค้งงอ
3. เมื่อเย็นตัวส่วนที่เผาให้ความร้อนนั้นจะหดตัวลงมากกว่าเดิม ทำให้ท่อโค้งงอไปในทิศทางตรงข้ามกับครั้งแรก ให้ใช้เปลวไฟเผาให้ความร้อนจุดที่โค้งงอนั้น
4. ชิ้นงานจะหดตัวลง ทำให้งอกลับอยู่ในแนวตรงเช่นเดิม

รูปที่ 3.86
ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเจาะท่อแยก

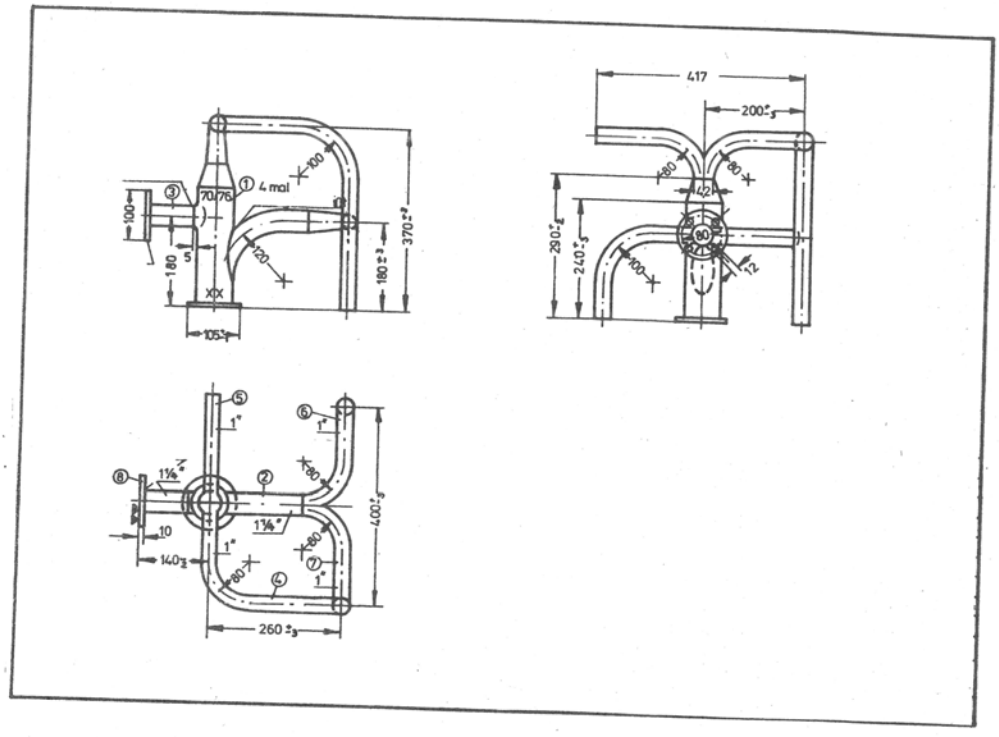
3.11 แบบยึกหัดงานตัดท่อ และประกอบขึ้นรูปท่อ

1. ชิ้นงานตามแบบ จงคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นในการตัดท่อและขึ้นรูปท่อของชิ้นส่วนทุกชิ้น และกำหนดระยะเผา



รูปโจทย์ แบบฝึกหัดข้อ 1

2. ชิ้นงานตามแบบ จงคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นในการตัดท่อและขึ้นรูปท่อของชิ้นส่วนทุกชิ้น และกำหนดระยะเผา



รูปโจทย์ แบบฝึกหัดข้อ 2

4. ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบงานตัดท่อ และประกอบขึ้นรูปท่อ

4.1 ชิ้นงานทดสอบเพื่อรับประกาศนียบัตร "หัวหน้าช่าง" [1]

ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบต่อไปนี้เป็นตัวอย่างงานตัดท่อ และประกอบขึ้นรูปท่อเพื่อรับประกาศนียบัตร "หัว-หน้าช่าง" สาขาช่างท่อในประเทศเยอรมัน งานทดสอบนี้โดยทั่วไปจะใช้เวลาปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง หรือ 1 วัน แต่ถ้าเป็นชิ้นงานที่ต้องมีการคำนวณจะใช้เวลา 12 ชั่วโมง หรือ $1\frac{1}{2}$ วัน

ลักษณะการปฏิบัติงาน	เวลาปฏิบัติงาน	
1. ตัดหน้าแฟลนจ์สี่เหลี่ยม เจาะรู ตบแต่ง	1	ชั่วโมง
2. ตัดท่อโค้งแบบจีบ	1/2	ชั่วโมง
3. ตบแต่งท่อโค้ง บัดกรีติดกับหน้าแฟลนจ์	1/2	ชั่วโมง
4. ขึ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์	1	ชั่วโมง
5. เคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์	1/2	ชั่วโมง
6. ตัดท่อโค้ง 90 องศา 2 โค้ง และขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที	$1\frac{1}{2}$	ชั่วโมง
7. เจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉากและเชื่อมประกอบสามทาง	1	ชั่วโมง
8. เชื่อมประกอบท่อโค้งแบบจีบกับข้อลดเยื้องศูนย์	1	ชั่วโมง
รวม	7	ชั่วโมง

---

[1] บุญยศักดิ์ ใจจงกิจ ศจ. "เทคโนโลยีอาชีวศึกษาช่างอุตสาหกรรม" โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า 2519 หน้า 56 ให้คำแปลว่า "หัวหน้าช่าง" ได้แก่ผู้สำเร็จหลักสูตร Master Mechanic ที่มีเวลาเรียน $1-1\frac{1}{2}$ ปี ผู้ที่จะเข้าศึกษาได้จะต้องได้รับประกาศนียบัตรช่างชำนาญงาน (ช่างเทคนิค 1) หลักสูตร $3\frac{1}{2}$ ปีมาแล้ว และปฏิบัติงานในวิชาชีพนั้น ๆ เป็น Journeyman อีกไม่น้อยกว่า 5 ปี และจะต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 25 ปีบริบูรณ์ด้วย

วัสดุ

1.	ท่อขนาด 82/89	ยาว 250 มม.	1	ชิ้น
2.	ท่อขนาด 40/44	ยาว 750 มม.	1	ชิ้น
3.	ท่อขนาด 1 นิ้ว	ยาว 700 มม.	1	ชิ้น
4.	แผ่นเหล็ก 130 × 130 × 10 มม.		1	ชิ้น
5.	ลวดเชื่อมทองเหลือง (บัดกรีแข็ง) 3 มม.ϕ		1	เส้น

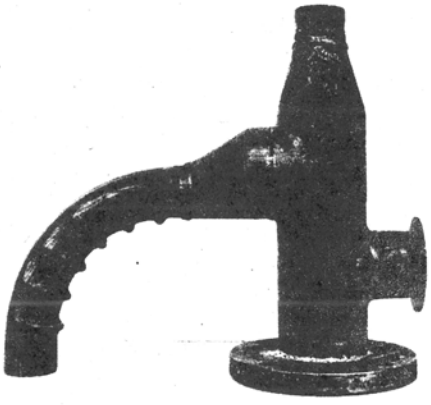
ชิ้นงานทดสอบที่ 1 เวลาปฏิบัติงานประมาณ 7 ชั่วโมง

ลักษณะการปฏิบัติงาน

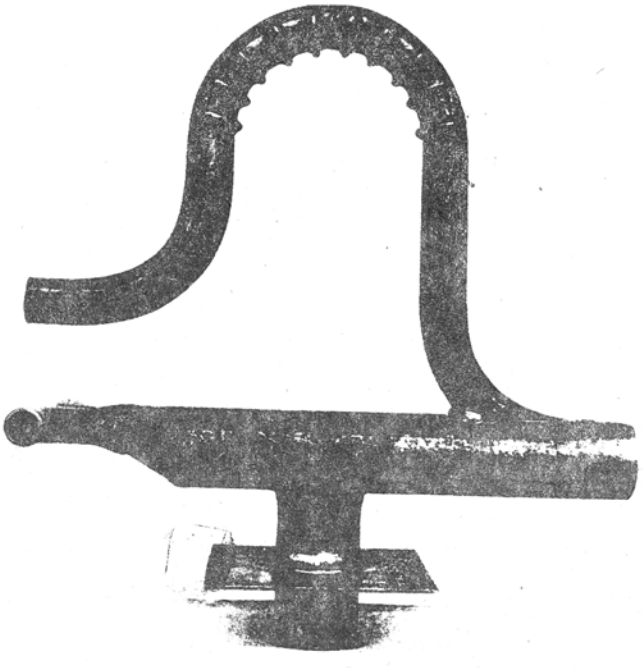
1.	ขึ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์	3/4 ชั่วโมง
2.	ขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์ (ใช้ท่อชิ้นเดียวกับข้อลดเยื้องศูนย์)	3/4 ชั่วโมง
3.	เจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉากแบบยกขอบ	3/4 ชั่วโมง
4.	เจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉากแบบอานม้า	1/2 ชั่วโมง
5.	ตัดท่อส่วนที่ขึ้นรูปข้อลดออกจากกัน ตบแต่งให้เรียบร้อย	1/2 ชั่วโมง
6.	ตัดหน้าแฟลนจ์ เจาะรู ตบแต่ง	1 $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง
7.	ตัดท่อโค้งแบบจีบ	1/2 ชั่วโมง
8.	เชื่อมประกอบท่อโค้งแบบจีบ ข้อลดเยื้องศูนย์กับท่อเมน	3/4 ชั่วโมง
9.	ขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์ ประกอบกับรอยเจาะขึ้นรูป	1 ชั่วโมง
10.	ประกอบหน้าแฟลนจ์กับท่อเมน บัดกรีแข็ง	1 ชั่วโมง
	รวม	8 ชั่วโมง

วัสดุ

1.	ท่อขนาด 70/76	ยาว 400 มม.	1	ชิ้น
2.	ท่อขนาด 51/57	ยาว 200 มม.	1	ชิ้น
3.	ท่อขนาด 40/44	ยาว 600 มม.	1	ชิ้น
4.	แผ่นเหล็ก 180 × 180 × 10 มม.		1	ชิ้น
5.	ลวดเชื่อมทองเหลือง (บัดกรีแข็ง) 3 มมϕ		1	เส้น

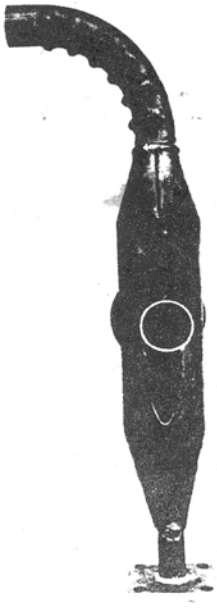


ชิ้นงานทดสอบ ที่ 2 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 7 ชั่วโมง

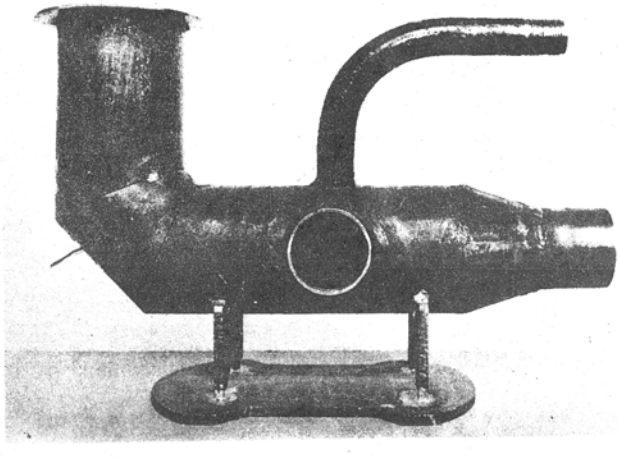


ชิ้นงานทดสอบที่ 3 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 8 $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

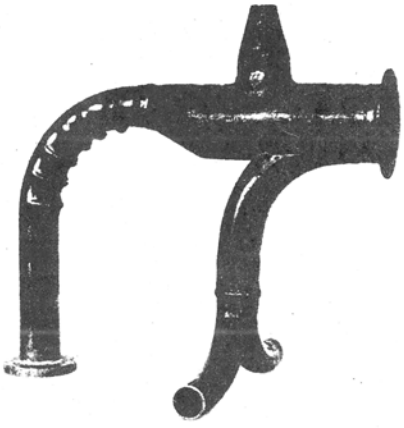
ลักษณะการปฏิบัติงาน	เวลาปฏิบัติงาน
1. ขึ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์	3/4 ชั่วโมง
2. ขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์	1/2 ชั่วโมง
3. เจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉากแบบยกขอบสูง	3/4 ชั่วโมง
4. ตัดเจาะขึ้นรูปแผ่นเหล็ก เชื่อมประกอบกับท่อ	1 1/2 ชั่วโมง
5. ประกอบท่อแยกตรงตั้งฉากกับรอยเจาะยกขอบสูง เชื่อม	1/2 ชั่วโมง
6. ดัดท่อโค้ง 90 องศา 2 โค้ง และขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที	1 1/2 ชั่วโมง
7. ดัดท่อโค้ง 90 องศา 2 โค้ง เททรายออกแล้วดัดโค้งแบบจีบ	2 ชั่วโมง
8. เจาะขึ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉาก ประกอบท่อแยกตามแบบ	1 ชั่วโมง
รวม	8 1/2 ชั่วโมง



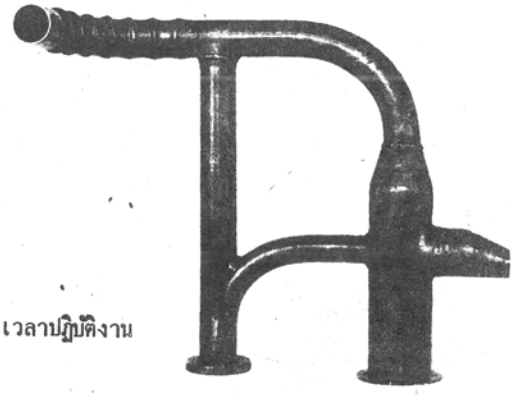
ชิ้นงานทดสอบที่ 4 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 8 ชั่วโมง



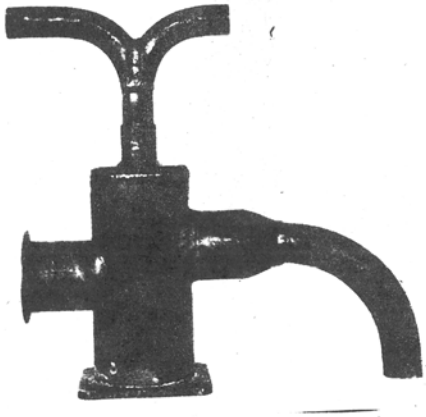
ชิ้นงานทดสอบที่ 5 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 10 ชั่วโมง



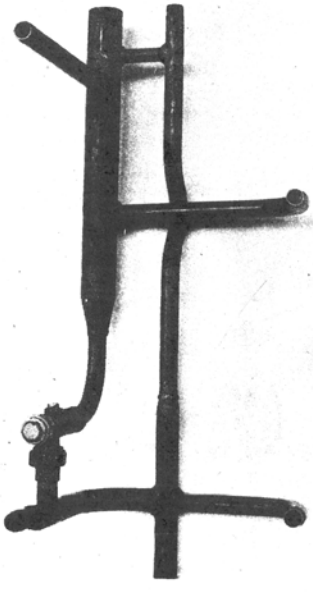
ชิ้นงานทดสอบที่ 6 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 6 ชั่วโมง



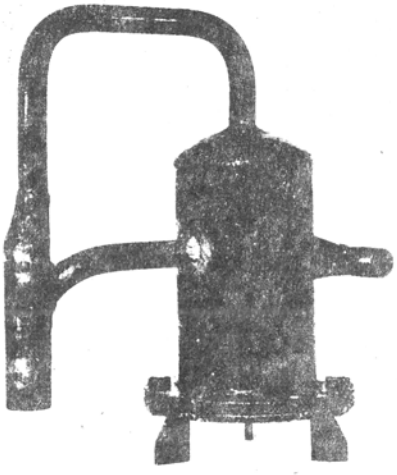
ชิ้นงานทดสอบที่ 7 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 7 ชั่วโมง



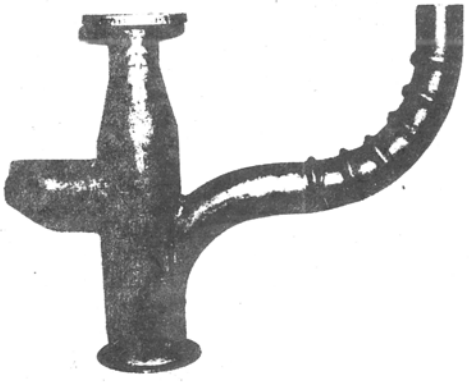
ชิ้นงานทดสอบที่ 8 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 12 ชั่วโมง



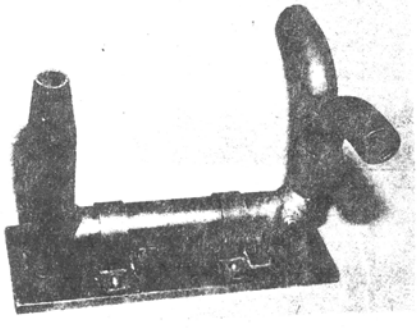
ชิ้นงานทดสอบที่ 9 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 8 ชั่วโมง



ชิ้นงานทดสอบที่ 10 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 8 ชั่วโมง



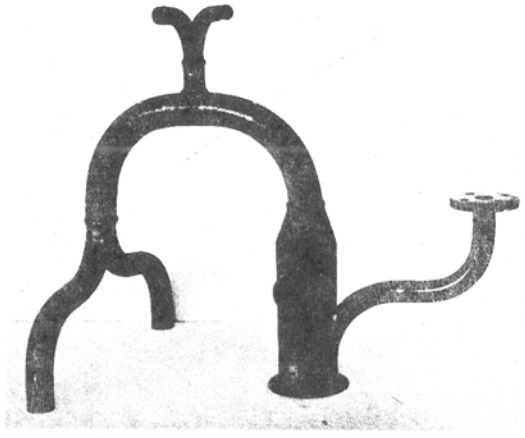
ชิ้นงานทดสอบที่ 11 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 7 ชั่วโมง



ชิ้นงานทดสอบที่ 12 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 12 ชั่วโมง

ชิ้นงานทดสอบที่ 13 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 10 ชั่วโมง

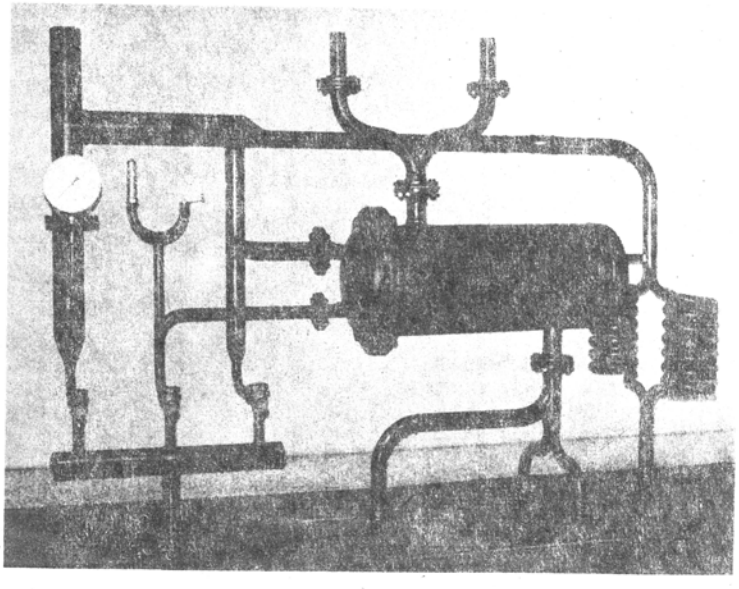
ชิ้นงานทดสอบที่ 14 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 11 ชั่วโมง



ชิ้นงานทดสอบที่ 15 เวลาปฏิบัติงาน
ประมาณ 12 ชั่วโมง

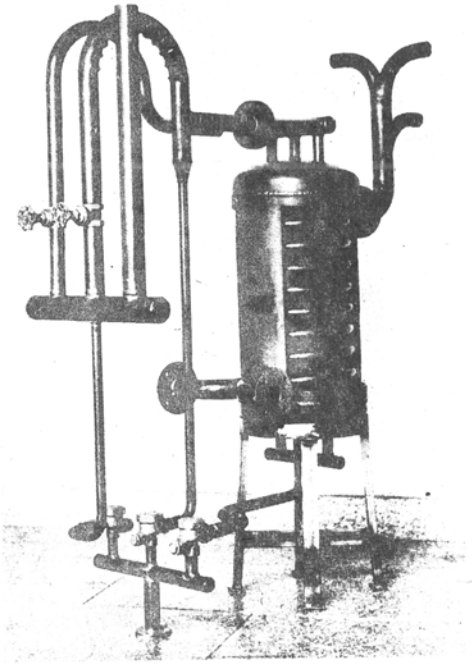
4.2 ชิ้นงานแข่งขันงานดัดท่อและขึ้นรูปท่อ

จากการแข่งขันทางวิชาชีพช่างท่อในงานดัดและขึ้นรูปท่อของหอการค้ารัฐบาลสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันที่ผ่าน ๆ มา ได้มีผู้เข้าร่วมแข่งขันแสดงผลงานดัด-

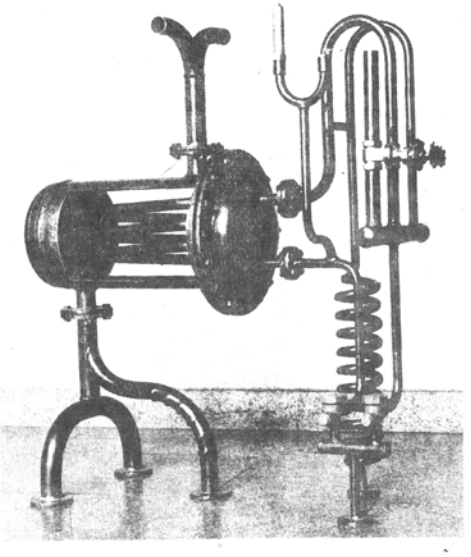


ผลงานของเออร์วิน วิลเฟอร์
(Erwin Wilfer)

ท่อและขึ้นรูปท่อไว้จำนวนมาก ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นผลงานของผู้ชนะจากการแข่งขันในระดับต่าง ๆ ผ่านขึ้นมาโดยลำดับ ตั้งแต่ระดับของหอการค้า ระดับเมือง และจนกระทั่งถึงระดับชาติ

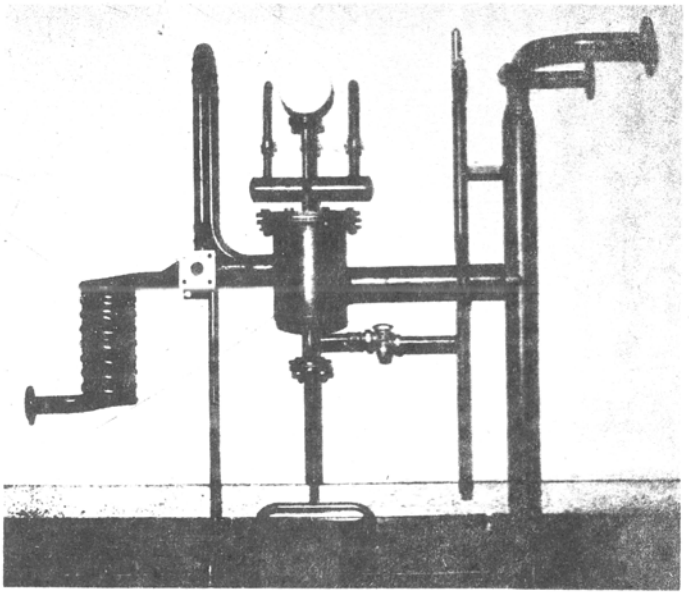


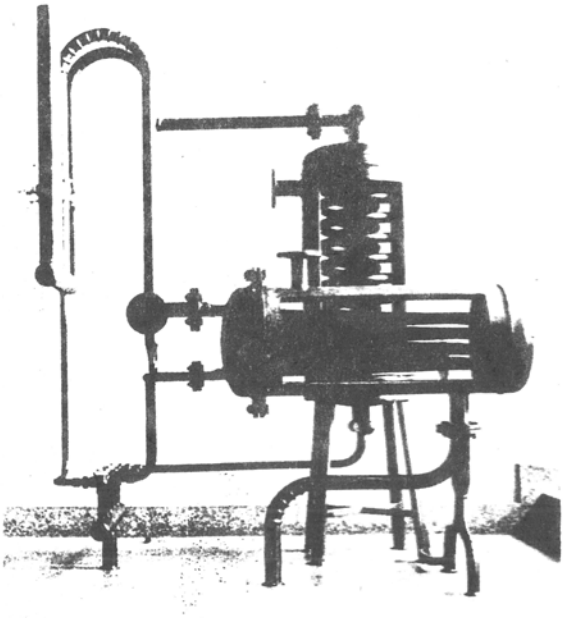
ผลงานของซีฟรีลด์ มูลเลอร์
(Siefried Müller)



ผลงานของโจเซฟ คีนซ์
(Josef Kaincz)

ผลงานของฮานซ์ ซึลส์เลย์
(Hans Sülzle)





ผลงานของเกอร์ฮาร์ด เอลเซ่เซ่อร์
(Gerhard Elsässer)

5. ตารางท่อ

ตารางที่ 3 ขนาดและน้ำหนักของท่อเหล็กประเภทที่ 1 ท่อเหล็กแบบมีตะเข็บ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทไทย มอก.26-2516)

ขนาดระบุ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก		ความหนาของผนังท่อ	น้ำหนัก
	ต่ำสุด มิลลิเมตร	สูงสุด มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	กิโลกรัมต่อเมตร
8	13.2	13.6	1.8	0.517
10	16.7	17.1	1.8	0.674
15	21.0	21.4	2.0	0.952
20	26.4	26.9	2.35	1.41
25	33.2	33.8	2.65	2.01
32	41.9	42.5	2.65	2.58
40	47.8	48.4	2.9	3.25
50	59.6	60.2	2.9	4.11
65	75.2	76.0	3.25	5.80
80	87.9	88.7	3.25	6.81
100	113.0	113.9	3.65	9.89

มอก. ๒๗๖—๒๕๒๐

ตารางที่ 4 ขนาดและน้ำหนักของท่อเหล็กประเภทที่ 2

ขนาดระบุ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก		ความหนาของผนังท่อ	น้ำหนัก
	ต่ำสุด มิลลิเมตร	สูงสุด มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	กิโลกรัมต่อเมตร
8	13.2	14.0	2.35	0.650
10	16.7	17.5	2.35	0.852
15	21.0	21.8	2.65	1.22
20	26.5	27.3	2.65	1.58
25	33.3	34.2	3.25	2.44
32	42.0	42.9	3.25	3.14
40	47.9	48.8	3.25	3.61
50	59.7	60.8	3.65	5.10
65	75.3	76.6	3.65	6.51
80	88.0	89.5	4.05	8.47
100	113.1	115.0	4.5	12.1
125	138.5	140.8	4.85	16.2
150	163.9	166.5	4.85	19.2

มอก. ๒๓๖—๒๕๒๑

ตารางที่ 5 ขนาดและน้ำหนักของท่อเหล็กประเภทที่ 3

ขนาดระบุ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก		ความหนาของผนังท่อ	น้ำหนัก
	ต่ำสุด มิลลิเมตร	สูงสุด มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	กิโลกรัมต่อเมตร
15	21.0	21.8	3.25	1.45
20	26.5	27.3	3.25	1.90
25	33.3	34.2	4.05	2.97
32	42.0	42.9	4.05	3.84
40	47.9	48.8	4.05	4.43
50	59.7	60.8	4.5	6.17
65	75.3	76.6	4.5	7.90
80	88.0	89.5	4.85	10.1
100	115.1	113.1	5.4	14.4
125	138.5	140.8	5.4	17.8
150	163.9	166.5	5.4	21.2

มอก. ๒๓๖—๒๕๒๑

ตารางที่ 6 รายละเอียดท่อเหล็กปลายมีเกลียวชนิดหนาปานกลางตามมาตรฐานเยอรมัน DIN 2440

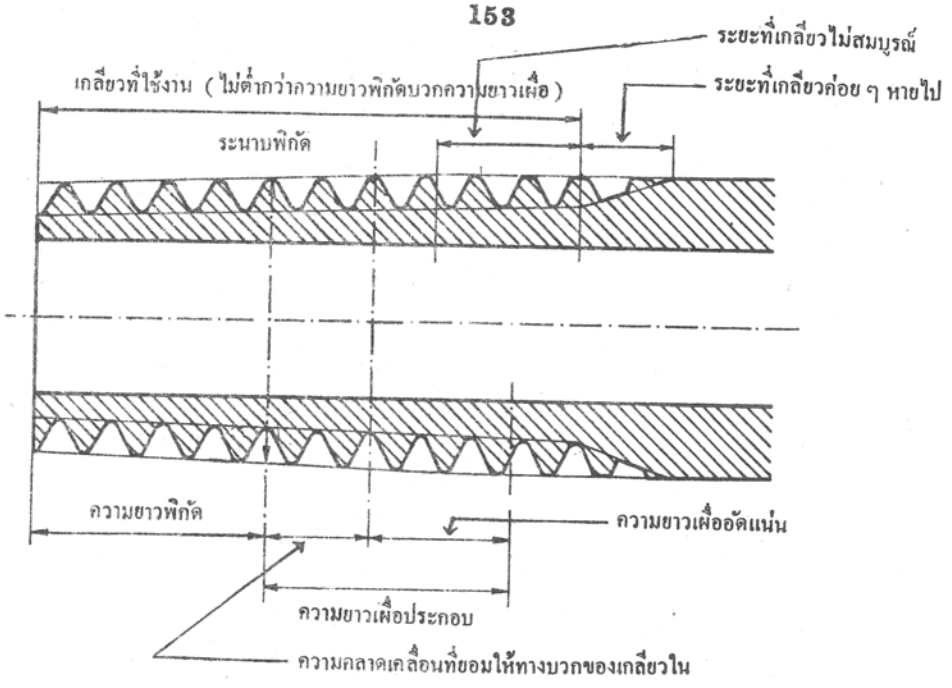
ขนาดระบุ นิ้ว	ขนาดระบุ มม.	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก d_1 mm	ความหนา s mm	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน d_2 mm	พื้นที่ผิวนอกท่อ A m^2/m	พื้นที่หน้าตัด F cm^2	ปริมาตรภายในท่อ V //m	มวล G kg/m	ความยาวเกลียว mm
1/8"	6	10,2	2,0	6,2	0,032	0,30	0,03	0,407	7
1/4"	8	13,5	2,35	8,8	0,042	0,61	0,06	0,650	10
3/8"	10	17,2	2,35	12,5	0,054	1,23	0,12	0,852	10
1/2"	15	21,3	2,65	16,0	0,067	2,02	0,20	1,22	13
3/4"	20	26,9	2,65	21,6	0,084	3,66	0,37	1,58	15
1"	25	33,7	3,25	27,2	0,106	5,80	0,58	2,44	17
1 1/4"	32	42,4	3,25	35,9	0,133	10,2	1,02	3,14	19
1 1/2"	40	48,3	3,25	41,8	0,152	13,8	1,38	3,61	19
2"	50	60,3	3,65	53,0	0,189	22,1	2,21	5,10	24
2 1/2"	65	76,1	3,65	68,8	0,239	37,2	3,72	6,51	27
3"	80	88,9	4,05	80,8	0,279	51,4	5,14	8,47	36
4"	100	114,3	4,5	105,3	0,358	87,2	8,72	12,1	40

ตารางที่ 7 รายละเอียดท่อเหล็กปลายมีเกลียวชนิดหนามากตามมาตรฐานเยอรมัน DIN 2441

ขนาดระบุ นิ้ว	ขนาดระบุ มม.	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก d_1 mm	ความหนา s mm	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน d_2 mm	พื้นที่ผิวนอกท่อ A m^2/m	พื้นที่หน้าตัด F cm^2	ปริมาตรภายในท่อ V //m	มวล G kg/m	ความยาวเกลียว mm
1/8"	6	10,2	2,65	4,9	0,032	0,19	0,02	0,493	7
1/4"	8	13,5	2,9	7,7	0,042	0,47	0,05	0,769	10
3/8"	10	17,2	2,9	11,4	0,054	1,02	0,10	1,02	10
1/2"	15	21,3	3,25	14,8	0,067	1,72	0,17	1,45	13
3/4"	20	26,9	3,25	20,4	0,084	3,28	0,33	1,90	15
1"	25	33,7	4,05	25,6	0,106	5,15	0,52	2,97	17
1 1/4"	32	42,4	4,05	34,3	0,133	9,25	0,93	3,84	19
1 1/2"	40	48,3	4,05	40,2	0,152	12,7	1,27	4,43	19
2"	50	60,3	4,5	51,3	0,189	20,7	2,07	6,17	24
2 1/2"	65	76,1	4,5	67,1	0,239	35,5	3,55	7,90	27
3"	80	88,9	4,85	79,2	0,279	49,5	4,95	10,1	36
4"	100	114,3	5,4	103,5	0,358	84,4	8,44	14,4	40

ตารางที่ 8 รายละเอียดท่อเหล็กไม่มีตะเข็บตามมาตรฐานเยอรมัน DIN 2449

ขนาดระบุ		เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	ความหนา	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	พื้นที่ผิวนอกท่อ	พื้นที่หน้าตัด	ปริมาตรภายในท่อ	มวล
มม.	มม.	d_1 mm	s mm	d_2 mm	A m^2/m	F cm^2	V //m	G kg/m
25	25/30	30	2,5	25	0,09	4,91	0,49	1,70
32	33/38	38	2,5	33	0,12	8,55	0,86	2,19
40	40/44	44,5	2,5	39,5	0,14	12,25	1,23	2,59
	46/51	51	2,6	45,8	0,16	16,5	1,65	3,12
50	51/57	57	2,75	51,5	0,18	20,8	2,08	3,68
	57/64	63,5	2,9	57,7	0,20	26,1	2,61	4,36
	64/70	70	3	64	0,22	32,2	3,22	4,96
65	70/76	76	3	70	0,24	38,5	3,85	5,40
	76/83	83	3,25	76,5	0,26	46,0	4,60	6,93
80	82/89	89	3,25	82,5	0,28	53,5	5,35	6,87
	88/95	95	3,5	88,0	0,30	60,8	6,08	7,90
	95/102	102	3,5	95	0,32	70,1	7,01	8,50
100	100/108	108	3,75	100,5	0,34	79,3	7,93	9,64
	113/121	121	4	113	0,38	100,3	10,0	11,5
125	125/133	133	4	125	0,42	122,7	12,3	12,7
	137/146	146	4,5	137	0,46	148,0	14,8	15,7
150	150/159	159	4,5	150	0,50	176,7	17,7	17,2
	180/191	191	5,25	180,5	0,60	255,9	25,6	24,0
200	204/216	216	6	204	0,68	327	32,7	31,1
	228/241	241	6,25	228,5	0,76	410	41,0	36,1
250	254/267	267	6,5	254	0,84	507	50,7	41,8
	278/292	292	7	278	0,92	607	60,7	49,2
300	303/318	318	7,5	303	1,00	721	72,1	57,4
	327/343	343	8	327	1,08	840	84,0	66,1
350	352/368	368	8	352	1,16	973	97,3	71,0
400	400/419	419	9,5	400	1,32	1257	125,7	95,9
500	498/521	521	11,5	498	1,64	1948	194,8	144,0



รูปที่ 9 ส่วนกำหนดระบุของเกลียวท่อ

ตารางที่ 10 มิติและส่วนระบุของเกลียวท่อ

1	2	3	4	5	6	7
ชื่อขนาดของท่อ	จำนวนเกลียวท่อ 25 มิลลิเมตร	พิกัดช่วงเกลียว	ความลึกของเกลียว	เส้นผ่าศูนย์กลาง ณ ระนาบพิกัด		
				เส้นผ่าศูนย์กลางของสันเกลียว	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย	เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเกลียว
มิลลิเมตร	เกลียว	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร
8	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445
10	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950
15	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631
20	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117
25	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291
32	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952
40	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845
50	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656
65	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226
80	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926
100	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072
125	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472
150	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872

มอก. ๒๙–๒๕๑๖

ตารางที่ 10(ต่อ) มิติและส่วนกำหนดระบุของเกลียวท่อ

ชื่อขนาดของท่อ	8	9	10	11	12	13	14	15
	ความยาวพิกัด							
	จำนวน	ความยาว	ความคลาดเคลื่อน		ค่าสูงสุด		ค่าต่ำสุด	
มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร
8	4 1/2	6.0	1	1.3	5 1/2	7.3	3 1/2	4.7
10	4 3/4	6.4	1	1.3	5 3/4	7.7	3 3/4	5.1
15	4 1/2	8.2	1	1.8	5 1/2	10.0	3 1/2	6.4
20	5 1/4	9.5	1	1.8	6 1/4	11.3	4 1/4	7.7
25	4 1/2	10.4	1	2.3	5 1/2	12.7	3 1/2	8.1
32	5 1/2	12.7	1	2.3	6 1/2	15.0	4 1/2	10.4
40	5 1/2	12.7	1	2.3	6 1/2	15.0	4 1/2	10.4
50	6 7/8	15.9	1	2.3	7 7/8	18.2	5 7/8	13.6
65	7 9/16	17.5	1 1/2	3.5	9 1/16	21.0	6 1/16	14.0
80	8 15/16	20.6	1 1/2	3.5	10 7/16	24.1	7 7/16	17.1
100	11	25.4	1 1/2	3.5	12 1/2	28.9	9 1/2	21.9
125	12 3/8	28.6	1 1/2	3.5	13 7/8	32.1	10 7/8	25.1
150	12 3/8	28.6	1 1/2	3.5	13 7/8	32.1	10 7/8	25.1

หมายเหตุ 1. ความยาวพิกัดที่กำหนดในตารางเทียบเป็นจำนวนรอบของเกลียวมูลฐาน และคิดความยาวตามแนวแกนเป็นมิลลิเมตร ปัดเศษถึง 0.1 มิลลิเมตร

2. หน่วยเมตริกต่าง ๆ ตามตารางนี้เช่นเดียวกับ ISO/R7 — 1954 (E)

มอก. 55-2533

ตารางที่ 10(ต่อ) มิติและส่วนระบุของเกลียวท่อ

ชื่อขนาดของท่อ	16	17	18	19	20	21
	เกลียวที่ใช้งาน ไม่ต่ำกว่า					
	ตามความยาว		ค่าสูงสุด		ค่าต่ำสุด	
มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร
8	7 1/4	9.7	8 1/4	11.0	6 1/4	8.4
10	7 1/2	10.1	8 1/2	11.4	6 1/2	8.8
15	7 1/4	13.2	8 1/4	15.0	6 1/4	11.4
20	8	14.5	9	16.3	7	12.7
25	7 1/4	16.8	8 1/4	19.1	6 1/4	14.5
32	8 1/4	19.1	9 1/4	21.4	7 1/4	16.8
40	8 1/4	19.1	9 1/4	21.4	7 1/4	16.8
50	10 1/8	23.4	11 1/8	25.7	9 1/8	20.1
65	11 9/16	26.7	13 1/16	30.2	10 1/16	23.2
80	121 5/16	29.8	14 7/16	33.3	11 7/16	26.3
100	15 1/2	35.8	17	39.3	14	32.3
125	17 3/8	40.1	18 7/8	43.6	15 7/8	36.6
150	17 3/8	40.1	18 7/8	43.6	15 7/8	36.6

มอก. 55-2533

ตารางที่ 10 (ต่อ) มิติและส่วนกำหนดระบุของเกลียวท่อ

มอก. 283-2516

ชื่อขนาดของท่อ มิลลิเมตร	22	23	24	25
	ความยาวเผื่อประกอบ		ความยาวเผื่ออัดแน่น	
	รอบ	มิลลิเมตร	รอบ	มิลลิเมตร
8	2 3/4	3.7	1 1/2	2.0
10	2 3/4	3.7	1 1/2	2.0
15	2 3/4	5.0	1 1/2	2.7
20	2 3/4	5.0	1 1/2	2.7
25	2 3/4	6.4	1 1/2	3.5
32	2 3/4	6.4	1 1/2	3.5
40	2 3/4	6.4	1 1/2	3.5
50	3 1/4	7.5	2	4.6
65	4	9.2	2 1/2	5.8
80	4	9.2	2 1/2	5.8
100	4 1/2	10.4	3	6.9
125	5	11.5	3 1/2	8.1
150	5	11.5	3 1/2	8.1

ตารางที่ 11 รายละเอียดท่อตามมาตรฐานอเมริกัน A.S.A

(Reproduced by permission: *Piping Design and Engineering*, copyright 1951, Grinnel Company, Providence, R.I.)

The following formulas were used in the computation of the values shown in the table:

† Weight of pipe per foot (pounds) $= 10.6802t\,(D - t)$
Weight of water per foot (pounds) $= 0.3405d^2$
Square feet outside surface per foot $= 0.2618D$
Square feet inside surface per foot $= 0.2618d$
Inside area (square inches) $= 0.785d^2$
Area of metal (square inches) $= 0.785\,(D^2 - d^2)$
Moment of inertia (inches^4) $= 0.0491\,(D^4 - d^4)$
$= A_M R_\varphi^2$

Section modulus (inches^3) $= \dfrac{0.0982\,(D^4 - d^4)}{D}$

Radius of gyration (inches) $= 0.25\,\sqrt{D^2 + d^2}$

A_M = Area of Metal (square inches)
d = Inside Diameter (inches)
D = Outside Diameter (inches)
R_φ = Radius of Gyration (inches)
t = Pipe Wall Thickness (inches)

NOTE: a. A.S.A. B 36.10 Steel Pipe Schedule Numbers.
b. A.S.A. B 36.10 Steel Pipe Nominal Wall Thickness Designations.
c. A.S.A. B 36.19 Stainless Steel Pipe Schedule Numbers.

† The ferritic stainless steels may be about 5% less, and the austenitic stainless steels about 2% greater than the values shown in this table which are based on weights for carbon steel.

Nominal Pipe Size *Outside Diameter*, in.	Schedule Number* a	b	c	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in^4	Section Modulus, in.^{3}	Radius Gyration, in.
⅛ *0.405*	—	—	10S	0.049	0.307	0.0740	0.0548	0.106	0.0804	0.186	0.0321	0.00088	0.00437	0.1271
	40	Std	40S	0.068	0.269	0.0568	0.0720	0.106	0.0705	0.245	0.0246	0.00106	0.00525	0.1215
	80	XS	80S	0.095	0.215	0.0364	0.0925	0.106	0.0563	0.315	0.0157	0.00122	0.00600	0.1146
¼ *0.540*	—	—	10S	0.065	0.410	0.1320	0.0970	0.141	0.1073	0.330	0.0572	0.00279	0.01032	0.1694
	40	Std	40S	0.088	0.364	0.1041	0.1250	0.141	0.0955	0.425	0.0451	0.00331	0.01230	0.1628
	80	XS	80S	0.119	0.302	0.0716	0.1574	0.141	0.0794	0.535	0.0310	0.00378	0.01395	0.1547
⅜ *0.675*	—	—	10S	0.065	0.545	0.2333	0.1246	0.177	0.1427	0.423	0.1011	0.00586	0.01737	0.2169
	40	Std	40S	0.091	0.493	0.1910	0.1670	0.177	0.1295	0.568	0.0827	0.00730	0.02160	0.2090
	80	XS	80S	0.126	0.423	0.1405	0.2173	0.177	0.1106	0.739	0.0609	0.00862	0.02554	0.1991
½ *0.840*	—	—	10S	0.083	0.674	0.357	0.1974	0.220	0.1765	0.671	0.1547	0.01431	0.0341	0.2692
	40	Std	40S	0.109	0.622	0.304	0.2503	0.220	0.1628	0.851	0.1316	0.01710	0.0407	0.2613
	80	XS	80S	0.147	0.546	0.2340	0.320	0.220	0.1433	1.088	0.1013	0.02010	0.0478	0.2505
	160	—	—	0.187	0.466	0.1706	0.383	0.220	0.1220	1.304	0.0740	0.02213	0.0527	0.2402
	—	XXS	—	0.294	0.252	0.0499	0.504	0.220	0.0660	1.714	0.0216	0.02425	0.0577	0.2192
¾ *1.050*	—	—	5S	0.065	0.920	0.665	0.2011	0.275	0.2409	0.684	0.2882	0.02451	0.0467	0.349
	—	—	10S	0.083	0.884	0.614	0.2521	0.275	0.2314	0.857	0.2661	0.02970	0.0566	0.343
	40	Std	40S	0.113	0.824	0.533	0.333	0.275	0.2157	1.131	0.2301	0.0370	0.0706	0.334
	80	XS	80S	0.154	0.742	0.432	0.435	0.275	0.1943	1.474	0.1875	0.0448	0.0853	0.321
	160	—	—	0.218	0.614	0.2961	0.570	0.275	0.1607	1.937	0.1284	0.0527	0.1004	0.304
	—	XXS	—	0.308	0.434	0.1479	0.718	0.275	0.1137	2.441	0.0641	0.0579	0.1104	0.2840
1 *1.315*	—	—	5S	0.065	1.185	1.103	0.2553	0.344	0.310	0.868	0.478	0.0500	0.0760	0.443
	—	—	10S	0.109	1.097	0.945	0.413	0.344	0.2872	1.404	0.409	0.0757	0.1151	0.428
	40	Std	40S	0.133	1.049	0.864	0.494	0.344	0.2746	1.679	0.374	0.0874	0.1329	0.421
	80	XS	80S	0.179	0.957	0.719	0.639	0.344	0.2520	2.172	0.311	0.1056	0.1606	0.407
	160	—	—	0.250	0.815	0.522	0.836	0.344	0.2134	2.844	0.2261	0.1252	0.1903	0.387
	—	XXS	—	0.358	0.599	0.2818	1.076	0.344	0.1570	3.659	0.1221	0.1405	0.2137	0.361
1¼ *1.660*	—	—	5S	0.065	1.530	1.839	0.326	0.434	0.401	1.107	0.797	0.1038	0.1250	0.564
	—	—	10S	0.109	1.442	1.633	0.531	0.434	0.378	1.805	0.707	0.1605	0.1934	0.550
	40	Std	40S	0.140	1.380	1.496	0.669	0.434	0.361	2.273	0.648	0.1948	0.2346	0.540
	80	XS	80S	0.191	1.278	1.283	0.881	0.434	0.335	2.997	0.555	0.2418	0.2913	0.524
	160	—	—	0.250	1.160	1.057	1.107	0.434	0.304	3.765	0.458	0.2839	0.342	0.506
	—	XXS	—	0.382	0.896	0.631	1.534	0.434	0.2346	5.214	0.2732	0.341	0.411	0.472
1½ *1.900*	—	—	5S	0.065	1.770	2.461	0.375	0.497	0.463	1.274	1.067	0.1580	0.1663	0.649
	—	—	10S	0.109	1.682	2.222	0.613	0.497	0.440	2.085	0.962	0.2469	0.2599	0.634

* See note at top of table for definitions of columns a, b, and c.

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Nominal Pipe Size *Outside Diameter*, in.	Schedule Number* a	b	c	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in.^{4}	Section Modulus, in.^{3}	Radius Gyration, in.
	40	Std	40S	0.145	1.610	2.036	0.799	0.497	0.421	2.718	0.882	0.310	0.326	0.623
1½	80	XS	80S	0.200	1.500	1.767	1.068	0.497	0.393	3.631	0.765	0.391	0.412	0.605
1.900	160	—	—	0.281	1.338	1.406	1.429	0.497	0.350	4.859	0.608	0.483	0.508	0.581
	—	XXS	—	0.400	1.100	0.950	1.885	0.497	0.288	6.408	0.412	0.568	0.598	0.549
	—	—	5S	0.065	2.245	3.96	0.172	0.622	0.588	1.601	1.716	0.315	0.2652	0.817
	—	—	10S	0.109	2.157	3.65	0.776	0.622	0.565	2.638	1.582	0.499	0.420	0.802
2	40	Std	40S	0.154	2.067	3.36	1.075	0.622	0.541	3.653	1.455	0.666	0.561	0.787
2.375	80	XS	80S	0.218	1.939	2.953	1.477	0.622	0.508	5.022	1.280	0.868	0.731	0.766
	160	—	—	0.343	1.689	2.240	2.190	0.622	0.442	7.444	0.971	1.163	0.979	0.729
	—	XXS	—	0.436	1.503	1.774	2.656	0.622	0.393	9.029	0.769	1.312	1.104	0.703
	—	—	5S	0.083	2.709	5.76	0.728	0.753	0.709	2.475	2.499	0.710	0.494	0.988
	—	—	10S	0.120	2.635	5.45	1.039	0.753	0.690	3.531	2.361	0.988	0.687	0.975
2½	40	Std	40S	0.203	2.469	4.79	1.704	0.753	0.646	5.793	2.076	1.530	1.064	0.947
2.875	80	XS	80S	0.276	2.323	4.24	2.254	0.753	0.608	7.661	1.837	1.925	1.339	0.924
	160	—	—	0.375	2.125	3.55	2.945	0.753	0.556	10.01	1.535	2.353	1.637	0.894
	—	XXS	—	0.552	1.771	2.464	4.03	0.753	0.464	13.70	1.067	2.872	1.998	0.844
	—	—	5S	0.083	3.334	8.73	0.891	0.916	0.873	3.03	3.78	1.301	0.744	1.208
	—	—	10S	0.120	3.260	8.35	1.274	0.916	0.853	4.33	3.61	1.822	1.041	1.196
3	40	Std	40S	0.216	3.068	7.39	2.228	0.916	0.803	7.58	3.20	3.02	1.724	1.164
3.500	80	XS	80S	0.300	2.900	6.61	3.02	0.916	0.759	10.25	2.864	3.90	2.226	1.136
	160	—	—	0.437	2.626	5.42	4.21	0.916	0.687	14.32	2.348	5.03	2.876	1.094
	—	XXS	—	0.600	2.300	4.15	5.47	0.916	0.602	18.58	1.801	5.99	3.43	1.047
	—	—	5S	0.083	3.834	11.55	1.021	1.047	1.004	3.47	5.01	1.960	0.980	1.385
3½	—	—	10S	0.120	3.760	11.10	1.463	1.047	0.984	4.97	4.81	2.756	1.378	1.372
4.000	40	Std	40S	0.226	3.548	9.89	2.680	1.047	0.929	9.11	4.28	4.79	2.394	1.337
	80	XS	80S	0.318	3.364	8.89	3.68	1.047	0.881	12.51	3.85	6.28	3.14	1.307
	—	—	5S	0.083	4.334	14.75	1.152	1.178	1.135	3.92	6.40	2.811	1.249	1.562
	—	—	10S	0.120	4.260	14.25	1.651	1.178	1.115	5.61	6.17	3.96	1.762	1.549
4	40	Std	40S	0.237	4.026	12.73	3.17	1.178	1.054	10.79	5.51	7.23	3.21	1.510
4.500	80	XS	80S	0.337	3.826	11.50	4.41	1.178	1.002	14.98	4.98	9.61	4.27	1.477
	120	—	—	0.437	3.626	10.33	5.58	1.178	0.949	18.96	4.48	11.65	5.18	1.445
	160	—	—	0.531	3.438	9.28	6.62	1.178	0.900	22.51	4.02	13.27	5.90	1.416
	—	XXS	—	0.674	3.152	7.80	8.10	1.178	0.825	27.54	3.38	15.29	6.79	1.374
	—	—	5S	0.109	5.345	22.44	1.868	1.456	1.399	6.35	9.73	6.95	2.498	1.929
	—	—	10S	0.134	5.295	22.02	2.285	1.456	1.386	7.77	9.53	8.43	3.03	1.920
5	40	Std	40S	0.258	5.047	20.01	4.30	1.456	1.321	14.62	8.66	15.17	5.45	1.878
5.563	80	XS	80S	0.375	4.813	18.19	6.11	1.456	1.260	20.78	7.89	20.68	7.43	1.839
	120	—	—	0.500	4.563	16.35	7.95	1.456	1.195	27.04	7.09	25.74	9.25	1.799
	160	—	—	0.625	4.313	14.61	9.70	1.456	1.129	32.96	6.33	30.0	10.80	1.760
	—	XXS	—	0.750	4.063	12.97	11.34	1.456	1.064	38.55	5.62	33.6	12.10	1.722
	—	—	5S	0.109	6.407	32.2	2.231	1.734	1.677	5.37	13.98	11.85	3.58	2.304
	—	—	10S	0.134	6.357	31.7	2.733	1.734	1.664	9.29	13.74	14.40	4.35	2.295
6	40	Std	40S	0.280	6.065	28.89	5.58	1.734	1.588	18.97	12.51	28.14	8.50	2.245
6.625	80	XS	80S	0.432	5.761	26.07	8.40	1.734	1.508	28.57	11.29	40.5	12.23	2.195
	120	—	—	0.562	5.501	23.77	10.70	1.734	1.440	36.39	10.30	49.6	14.98	2.153
	160	—	—	0.718	5.189	21.15	13.33	1.734	1.358	45.30	9.16	59.0	17.81	2.104
	—	XXS	—	0.864	4.897	18.83	15.64	1.734	1.282	53.16	8.17	66.3	20.03	2.060
	—	—	5S	0.109	8.407	55.5	2.916	2.258	2.201	9.91	24.07	26.45	6.13	3.01
	—	—	10S	0.148	8.329	54.5	3.94	2.258	2.180	13.40	23.59	35.4	8.21	3.00
8	20	—	—	0.250	8.125	51.8	6.58	2.258	2.127	22.36	22.48	57.7	13.39	2.962
8.625	30	—	—	0.277	8.071	51.2	7.26	2.258	2.113	24.70	22.18	63.4	14.69	2.953
	40	Std	40S	0.322	7.981	50.0	8.40	2.258	2.089	28.55	21.69	72.5	16.81	2.938
	60	—	—	0.406	7.813	47.9	10.48	2.258	2.045	35.64	20.79	88.8	20.58	2.909
	80	XS	80S	0.500	7.625	45.7	12.76	2.258	1.996	43.39	19.80	105.7	24.52	2.878

* See note on page 48 for definitions of columns a, b, and c

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Nominal Pipe Size *Outside Diameter*, in.	Schedule Number* a	b	c	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in.⁴	Section Modulus, in.³	Radius Gyration, in.
	100	—	—	0.593	7.439	43.5	14.96	2.258	1.948	50.87	18.84	121.4	28.14	2.847
	120	—	—	0.718	7.189	40.6	17.84	2.258	1.882	60.63	17.60	140.6	32.6	2.807
8	140	—	—	0.812	7.001	38.5	19.93	2.258	1.833	67.76	16.69	153.8	35.7	2.777
8.625	—	XXS	—	0.875	6.875	37.1	21.30	2.258	1.800	72.42	16.09	162.0	37.6	2.757
	160	—	—	0.906	6.813	36.5	21.97	2.258	1.784	74.69	15.80	165.9	38.5	2.748
	—	—	5S	0.134	10.482	86.3	4.52	2.815	2.744	15.15	37.4	63.7	11.85	3.75
	—	—	10S	0.165	10.420	85.3	5.49	2.815	2.728	18.70	36.9	76.9	14.30	3.74
	20	—	—	0.250	10.250	82.5	8.26	2.815	2.683	28.04	35.8	113.7	21.16	3.71
	—	—	—	0.279	10.192	81.6	9.18	2.815	2.668	31.20	35.3	125.9	23.42	3.70
	30	—	—	0.307	10.136	80.7	10.07	2.815	2.654	34.24	35.0	137.5	25.57	3.69
10	40	Std	40S	0.365	10.020	78.9	11.91	2.815	2.623	40.48	34.1	160.8	29.90	3.67
10.750	60	XS	80S	0.500	9.750	74.7	16.10	2.815	2.553	54.74	32.3	212.0	39.4	3.63
	80	—	—	0.593	9.564	71.8	18.92	2.815	2.504	64.33	31.1	244.9	45.6	3.60
	100	—	—	0.718	9.314	68.1	22.63	2.815	2.438	76.93	29.5	286.2	53.2	3.56
	120	—	—	0.843	9.064	64.5	26.24	2.815	2.373	89.20	28.0	324	60.3	3.52
	140	—	—	1.000	8.750	60.1	30.6	2.815	2.291	104.13	26.1	368	68.4	3.47
	160	—	—	1.125	8.500	56.7	34.0	2.815	2.225	115.65	24.6	399	74.3	3.43
	—	—	5S	0.165	12.420	121.2	6.52	3.34	3.25	19.56	52.5	129.2	20.27	4.45
	—	—	10S	0.180	12.390	120.6	7.11	3.34	3.24	24.20	52.2	140.5	22.03	4.44
	20	—	—	0.250	12.250	117.9	9.84	3.34	3.21	33.38	51.1	191.9	30.1	4.42
	30	—	—	0.330	12.090	114.8	12.88	3.34	3.17	43.77	49.7	248.5	39.0	4.39
	—	Std	40S	0.375	12.000	113.1	14.58	3.34	3.14	49.56	49.0	279.3	43.8	4.38
12	40	—	—	0.406	11.938	111.9	15.74	3.34	3.13	53.53	48.5	300	47.1	4.37
12.750	—	XS	80S	0.500	11.750	108.4	19.24	3.34	3.08	65.42	47.0	362	56.7	4.33
	60	—	—	0.562	11.626	106.2	21.52	3.34	3.04	73.16	46.0	401	62.8	4.31
	80	—	—	0.687	11.376	101.6	26.04	3.34	2.978	88.51	44.0	475	74.5	4.27
	100	—	—	0.843	11.064	96.1	31.5	3.34	2.897	107.20	41.6	562	88.1	4.22
	120	—	—	1.000	10.750	90.8	36.9	3.34	2.814	125.49	39.3	642	100.7	4.17
	140	—	—	1.125	10.500	86.6	41.1	3.34	2.749	139.68	37.5	701	109.9	4.13
	160	—	—	1.312	10.126	80.5	47.1	3.34	2.651	160.27	34.9	781	122.6	4.07
	10	—	—	0.250	13.500	143.1	10.80	3.67	3.53	36.71	62.1	255.4	36.5	4.86
	20	—	—	0.312	13.376	140.5	13.42	3.67	3.50	45.68	60.9	314	44.9	4.84
	30	Std	—	0.375	13.250	137.9	16.05	3.67	3.47	54.57	59.7	373	53.3	4.82
	40	—	—	0.437	13.126	135.3	18.62	3.67	3.44	63.37	58.7	429	61.2	4.80
	—	XS	—	0.500	13.000	132.7	21.21	3.67	3.40	72.09	57.5	484	69.1	4.78
	—	—	—	0.562	12.876	130.2	23.73	3.67	3.37	80.66	56.5	537	76.7	4.76
14	60	—	—	0.593	12.814	129.0	24.98	3.67	3.35	84.91	55.9	562	80.3	4.74
14.000	—	—	—	0.625	12.750	127.7	26.26	3.67	3.34	89.28	55.3	589	84.1	4.73
	—	—	—	0.687	12.626	125.2	28.73	3.67	3.31	97.68	54.3	638	91.2	4.71
	80	—	—	0.750	12.500	122.7	31.2	3.67	3.27	106.13	53.2	687	98.2	4.69
	—	—	—	0.875	12.250	117.9	36.1	3.67	3.21	122.66	51.1	781	111.5	4.65
	100	—	—	0.937	12.126	115.5	38.5	3.67	3.17	130.73	50.0	825	117.8	4.63
	120	—	—	1.093	11.814	109.6	44.3	3.67	3.09	150.67	47.5	930	132.8	4.58
	140	—	—	1.250	11.500	103.9	50.1	3.67	3.01	170.22	45.0	1127	146.8	4.53
	160	—	—	1.406	11.188	98.3	55.6	3.67	2.929	189.12	42.6	1017	159.6	4.48
	10	—	—	0.250	15.500	188.7	12.37	4.19	4.06	42.05	81.8	384	48.0	5.57
	20	—	—	0.312	15.376	185.7	15.38	4.19	4.03	52.36	80.5	473	59.2	5.55
	30	Std	—	0.375	15.250	182.6	18.41	4.19	3.99	62.58	79.1	562	70.3	5.53
	—	—	—	0.437	15.126	179.7	21.37	4.19	3.96	72.64	77.9	648	80.9	5.50
	40	XS	—	0.500	15.000	176.7	24.35	4.19	3.93	82.77	76.5	732	91.5	5.48
16	—	—	—	0.562	14.876	173.8	27.26	4.19	3.89	92.66	75.4	813	106.6	5.46
16.000	—	—	—	0.625	14.750	170.9	30.2	4.19	3.86	102.63	74.1	894	112.2	5.44
	60	—	—	0.656	14.688	169.4	31.6	4.19	3.85	107.50	73.4	933	116.6	5.43
	—	—	—	0.687	14.626	168.0	33.0	4.19	3.83	112.36	72.7	971	121.4	5.42
	—	—	—	0.750	14.500	165.1	35.9	4.19	3.80	122.15	71.5	1047	130.9	5.40
	80	—	—	0.843	14.314	160.9	40.1	4.19	3.75	136.46	69.7	1157	144.6	5.37

* See note on page 48 for definitions of columns a, b, and c.

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Nominal Pipe Size *Outside Diameter*, in.	Schedule Number* a	b	c	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in.^{4}	Section Modulus, in.^{3}	Radius Gyration, in.
	—	—	—	0.875	14.250	159.5	41.6	4.19	3.73	141.35	69.1	1193	154.1	5.36
16	100	—	—	1.031	13.938	152.6	48.5	4.19	3.65	164.83	66.1	1365	170.6	5.30
16.000	120	—	—	1.218	13.564	144.5	56.6	4.19	3.55	192.29	62.6	1556	194.5	5.24
	140	—	—	1.437	13.126	135.3	65.7	4.19	3.44	223.50	58.6	1760	220.0	5.17
	160	—	—	1.593	12.814	129.0	72.1	4.19	3.35	245.11	55.9	1894	236.7	5.12
	10	—	—	0.250	17.500	240.5	13.94	4.71	4.58	47.39	104.3	549	61.0	6.28
	20	—	—	0.312	17.376	237.1	17.34	4.71	4.55	59.03	102.8	678	75.5	6.25
	—	Std	—	0.375	17.250	233.7	20.76	4.71	4.52	70.59	101.2	807	89.6	6.23
	30	—	—	0.437	17.126	230.4	24.11	4.71	4.48	82.06	99.9	931	103.4	6.21
	—	XS	—	0.500	17.000	227.0	27.49	4.71	4.45	93.45	98.4	1053	117.0	6.19
	40	—	—	0.562	16.876	223.7	30.8	4.71	4.42	104.75	97.0	1172	130.2	6.17
18	—	—	—	0.625	16.750	220.5	34.1	4.71	4.39	115.98	95.5	1289	143.3	6.15
18.000	—	—	—	0.687	16.626	217.1	37.4	4.71	4.35	127.03	94.1	1403	156.3	6.13
	60	—	—	0.750	16.500	213.8	40.6	4.71	4.32	138.17	92.7	1515	168.3	6.10
	—	—	—	0.875	16.250	207.4	47.1	4.71	4.25	160.04	89.9	1731	192.8	6.06
	80	—	—	0.937	16.126	204.2	50.2	4.71	4.22	170.75	88.5	1834	203.8	6.04
	100	—	—	1.156	15.688	193.3	61.2	4.71	4.11	207.96	83.7	2180	242.2	5.97
	120	—	—	1.375	15.250	182.6	71.8	4.71	3.99	244.14	79.2	2499	277.6	5.90
	140	—	—	1.562	14.876	173.8	80.7	4.71	3.89	274.23	75.3	2750	306	5.84
	160	—	—	1.781	14.438	163.7	90.7	4.71	3.78	308.51	71.0	3020	336	5.77
	10	—	—	0.250	19.500	298.6	15.51	5.24	5.11	52.73	129.5	757	75.7	6.98
	—	—	—	0.312	19.376	294.9	19.30	5.24	5.07	65.40	128.1	935	93.5	6.96
	20	Std	—	0.375	19.250	291.0	23.12	5.24	5.04	78.60	126.0	1114	111.4	6.94
	—	—	—	0.437	19.126	287.3	26.86	5.24	5.01	91.31	124.6	1286	128.6	6.92
	30	XS	—	0.500	19.000	283.5	30.6	5.24	4.97	104.13	122.8	1457	145.7	6.90
	—	—	—	0.562	18.876	279.8	34.3	5.24	4.94	116.67	121.3	1624	162.4	6.88
	40	—	—	0.593	18.814	278.0	36.2	5.24	4.93	122.91	120.4	1704	170.4	6.86
	—	—	—	0.625	18.750	276.1	38.0	5.24	4.91	129.33	119.7	1787	178.7	6.85
20	—	—	—	0.687	18.626	272.5	41.7	5.24	4.88	141.71	118.1	1946	194.6	6.83
20.000	—	—	—	0.750	18.500	268.8	45.4	5.24	4.84	154.20	116.5	2105	210.5	6.81
	60	—	—	0.812	18.376	265.2	48.9	5.24	4.81	166.40	115.0	2257	225.7	6.79
	—	—	—	0.875	18.250	261.6	52.6	5.24	4.78	178.73	113.4	2409	240.9	6.77
	80	—	—	1.031	17.938	252.7	61.4	5.24	4.70	208.87	109.4	2772	277.2	6.72
	100	—	—	1.281	17.438	238.8	75.3	5.24	4.57	256.10	103.4	3320	332	6.63
	120	—	—	1.500	17.000	227.0	87.2	5.24	4.45	296.37	98.3	3760	376	6.56
	140	—	—	1.750	16.500	213.8	100.3	5.24	4.32	341.10	92.6	4220	422	6.48
	160	—	—	1.968	16.064	202.7	111.5	5.24	4.21	379.01	87.9	4590	459	6.41
	10	—	—	0.250	23.500	434	18.65	6.28	6.15	63.41	188.0	1316	109.6	8.40
	—	—	—	0.312	23.376	430	23.20	6.28	6.12	78.93	186.1	1629	135.8	8.38
	20	Std	—	0.375	23.250	425	27.83	6.28	6.09	94.62	183.8	1943	161.9	8.35
	—	—	—	0.437	23.126	420	32.4	6.28	6.05	109.97	182.1	2246	187.4	8.33
	—	XS	—	0.500	23.000	415	36.9	6.28	6.02	125.49	180.1	2550	212.5	8.31
	30	—	—	0.562	22.876	411	41.4	6.28	5.99	140.80	178.1	2840	237.0	8.29
24	—	—	—	0.625	22.750	406	45.9	6.28	5.96	156.03	176.2	3140	261.4	8.27
24.000	40	—	—	0.687	22.626	402	50.3	6.28	5.92	171.17	174.3	3420	285.2	8.25
	—	—	—	0.750	22.500	398	54.8	6.28	5.89	186.24	172.4	3710	309	8.22
	60	—	—	0.968	22.064	382	70.0	6.28	5.78	238.11	165.8	4650	388	8.15
	80	—	—	1.218	21.564	365	87.2	6.28	5.65	296.36	158.3	5670	473	8.07
	100	—	—	1.531	20.938	344	108.1	6.28	5.48	367.40	149.3	6850	571	7.96
	120	—	—	1.812	20.376	326	126.3	6.28	5.33	429.39	141.4	7830	652	7.87
	140	—	—	2.062	19.876	310	142.1	6.28	5.20	483.13	134.5	8630	719	7.79
	160	—	—	2.343	19.314	293	159.4	6.28	5.06	541.94	127.0	9460	788	7.70
30	10	—	—	0.312	29.376	678	29.1	7.85	7.69	98.93	293.8	3210	214	10.50
30.000	20	—	—	0.500	29.000	661	46.3	7.85	7.59	157.53	286.3	5040	336	10.43
	30	—	—	0.625	28.750	649	57.6	7.85	7.53	196.08	281.5	6220	415	10.39

* See note on page 48 for definitions of columns a, b, and c.

เฉลยแบบฝึกหัดงานตัดท่อ 2.18

1) ความยาวส่วนโค้งของงานตัดท่อ

1.1 ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 120 \times 1.5 + \frac{120 \times 1.5}{20}$

$= 189$ มม.

1.2 งานตัดโค้งมุม 90 องศา เมื่อไม่กำหนดรัศมี ทางปฏิบัติจะใช้รัศมี 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

$r = 3 \times d$

$= 3 \times 26.9$

≈ 80 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= 80 \times 1.5 + \frac{80 \times 1.5}{20}$

$= 126$ มม.

1.3 ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา $= D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$

$= 200 \times 1.5 + \frac{200 \times 1.5}{20}$

$= 315$ มม.

1.4 ทางปฏิบัติเมื่อไม่กำหนดรัศมีมาให้ จะใช้รัศมี 3 d

$r = 3 \times 42$

≈ 120 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา $= 240 \times 1.5 + \frac{240 \times 1.5}{20}$

$= 378$ มม.

1.5 ทางปฏิบัติเมื่อไม่กำหนดรัศมีมาให้ จะใช้รัศมี 3 d

$r = 3 \times 26.9$

≈ 80 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา = รัศมีโค้ง

= 80 มม.

1.6 ทางปฏิบัติเมื่อไม่กำหนดรัศมีมาให้ จะใช้รัศมี 3 d

$r = 3 \times 48$

≈ 140 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา = รัศมีโค้ง

= 140 มม.

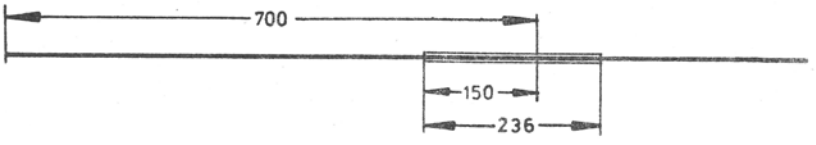
2) ความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผา

2.1 ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 150 \times 1.5 + \frac{150 \times 1.5}{20}$

= 236 มม.

กำหนดช่วงเผา



2.2 รัศมีความโค้ง (r) = 3 d

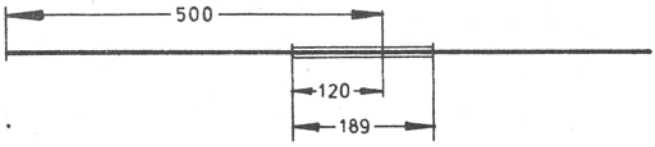
$= 3 \times 42$

≈ 120 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= 120 \times 1.5 + \frac{120 \times 1.5}{20}$

= 189 มม.

กำหนดช่วงเผา

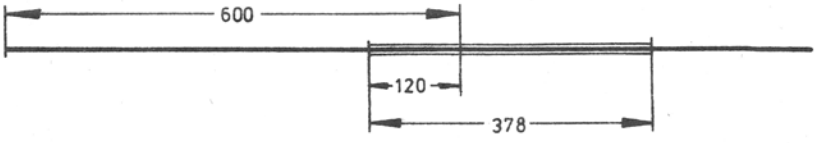


2.3 ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา $= D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$

$= 240 \times 1.5 + \frac{240 \times 1.5}{20}$

$= 378$ มม.

กำหนดช่วงเผา



2.4 รัศมีความโค้ง (r) $= 3\ d$

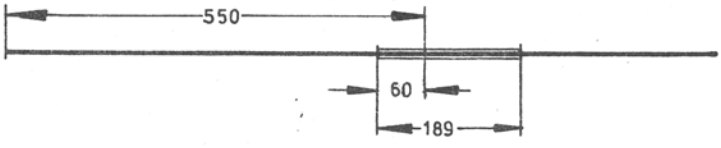
$= 3 \times 21$

≈ 60 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา $= 120 \times 1.5 + \frac{120 \times 1.5}{20}$

$= 189$ มม.

กำหนดช่วงเผา

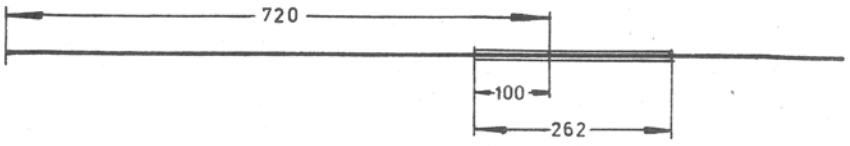


2.5 ความยาวส่วนโค้งมุม 150 องศา $= \frac{r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}}{90} \times 150$

$= \frac{100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20}}{90} \times 150$

≈ 262 มม.

กำหนดช่วงเผา



3) ความยาวส่วนโค้งความยาวท่อ และกำหนดช่วงเผาจากรูป

ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา = $D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$

= $260 \times 1.5 + \frac{260 \times 1.5}{20}$

= 409.5 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา = $r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

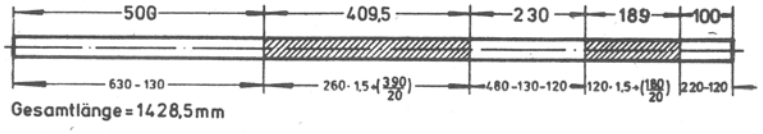
= $120 \times 1.5 + \frac{120 \times 1.5}{20}$

= 189 มม.

ความยาวท่อทั้งหมด = (630 - 130) + 409.5 + (480 - 130 - 120) + 189 + (220 - 120)

= 1428.5 มม.

กำหนดช่วงเผา



4) ความยาวส่วนโค้ง ความยาวท่อ และกำหนดช่วงเผาจากรูป

ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา = $D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$

= $240 \times 1.5 + \frac{240 \times 1.5}{20}$

= 378 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20}$

$= 157$ มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา เมื่อไม่กำหนดรัศมี (ทางปฏิบัติใช้ $r = 3d$)

$r = 3\,d$

$= 3 \times 26.9$

≈ 80 มม.

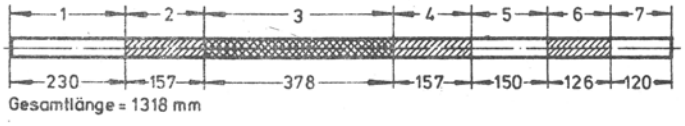
$= 80 \times 1.5 + \frac{80 \times 1.5}{20}$

$= 126$ มม.

ความยาวท่อทั้งหมด $= 230 + 157 + 378 + 157 + 150 + 126 + 120$

$= 1318$ มม.

กำหนดช่วงเผา



5) คำนวณค่าต่าง ๆ และกำหนดช่วงเผางานดัดท่อโค้งข้ามท่อดังรูป

5.1 รัศมีความโค้งมุม 90 องศา (r) $= D + \frac{d}{2} + a$

$= 48 + \frac{28}{2} + 10$

$= 72$ มม.

5.2 ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 72 \times 1.5 + \frac{72 \times 1.5}{20}$

$= 113.4$ มม.

5.3 ความยาวส่วนโค้งมุม 45 องศา = รัศมีความโค้งมุม 90 องศา

= 72 มม.

5.4 ช่วงสูงหลบ = D + a

= 48 + 10

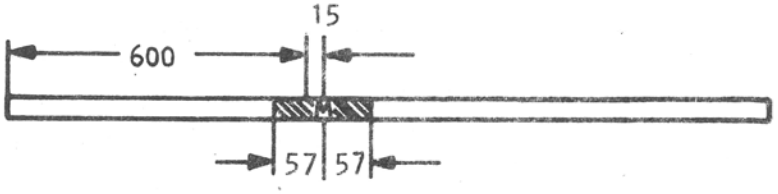
= 58 มม.

5.5 ความยาวชดเชย (Z) = $\frac{\text{ช่วงสูงหลบ}}{4}$

= $\frac{58}{4}$

≈ 15 มม.

กำหนดช่วงเผา



6) คำนวณหาความยาวส่วนโค้งและกำหนดช่วงเผางานดัดท่อโค้งเพื่อประกอบงานเจาะชิ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉากดังรูป คำนวณโดยใช้ความยาวส่วนโค้งเป็นหลักและใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลัก

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา = $r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

= $120 \times 1.5 + \frac{120 \times 1.5}{20}$

= 189 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา = $D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$

= $260 \times 1.5 + \frac{260 \times 1.5}{20}$

= 409.5 มม.

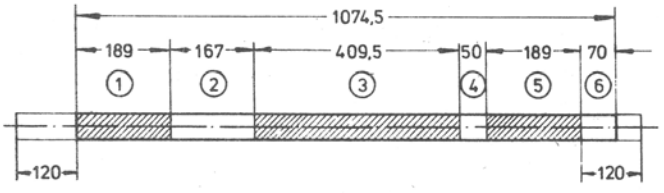
กำหนดช่วงเยาโดยใช้ความยาวส่วนโค้งเป็นหลัก

1. ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา รัศมี 120 มม. (โค้งที่ 1) 189 มม.
2. ความยาวระหว่างจุดเริ่มต้นโค้งของส่วนโค้งทั้งสอง (ช่วงที่ 2)

   [(300 + 150) - 33] - (120 + 130)] = 167 มม.
3. ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา รัศมี 130 มม. (โค้งที่ 3) 409.5 มม.
4. ความยาวระหว่างจุดเริ่มต้นโค้งของส่วนโค้งทั้งสอง (ช่วงที่ 4)

   300 - (130 + 120) = 50 มม.
5. ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา (โค้งที่ 5) = 189 มม.
6. ความยาวปลายท่อที่เหลือ 70 มม.

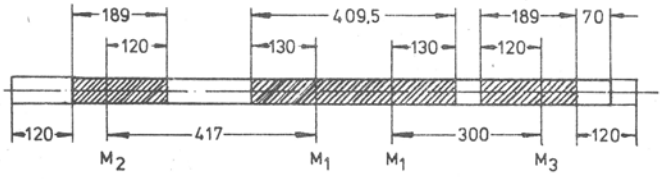
   รวมความยาวท่อทั้งหมด = 1074.5 มม.
7. เผื่อความยาวท่อด้านปลายโค้งที่ 1 สำหรับดัดประมาณ 120 มม.



กำหนดช่วงเยาโดยใช้ระยะห่างระหว่างส่วนโค้งเป็นหลัก

1. จากปลายท่อด้านที่จะดัดโค้งที่ 1 วัดระยะไปยังปลายด้านตรงข้ามเท่ากับความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา (189 มม.)
2. จากจุดปลายความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา วัดระยะย้อนกลับมาเท่ากับรัศมีความโค้ง (120 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_2
3. จากจุด M_2 วัดระยะไปยังปลายด้านที่เหลือเท่ากับช่วงห่างระหว่างส่วนโค้งที่ 3 (300 + 150 - 33 = 417 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_1
4. จากจุด M_1 วัดระยะย้อนกลับมาทางจุด M_2 เท่ากับรัศมีความโค้งของส่วนโค้งมุม 180 องศา (130 มม.)

5. จากจุดเริ่มต้นส่วนโค้งมุม 180 องศา (โค้งที่ 3) วัดระยะไปยังปลายด้านที่เหลือเท่ากับ ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา (409.5 มม.)
6. จากจุดปลายส่วนโค้งมุม 180 องศา (โค้งที่ 3) วัดระยะย้อนกลับมาเท่ากับความยาวรัศมีความโค้งมุม 180 องศา (130 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_1
7. จากจุด M_1 วัดระยะไปยังปลายด้านที่เหลือเท่ากับช่วงห่างระหว่างส่วนโค้งมุม 180 องศา (โค้งที่ 3) และส่วนโค้งมุม 90 องศา (โค้งที่ 5) (300 มม.) ทำเครื่องหมายไว้ กำหนดเป็นจุด M_3
8. จากจุด M_3 วัดระยะย้อนกลับมาทางจุด M_1 เท่ากับรัศมีความโค้งของส่วนโค้งมุม 90 องศา (โค้งที่ 5)
9. จากจุดเริ่มต้นส่วนโค้งมุม 90 องศา (โค้งที่ 5) วัดระยะไปยังปลายด้านที่เหลือเท่ากับ ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา (189 มม.)
10. จากจุดปลายส่วนโค้งมุม 90 องศา (โค้งที่ 5) วัดระยะไปยังปลายด้านที่เหลือเท่ากับโจทย์ กำหนด (70 มม.)
11. เผื่อความยาวปลายท่อด้านโค้งที่ 1 สำหรับตัดประมาณ 120 มม. และเผื่อความยาวปลายท่อด้านโค้งที่ 5 สำหรับตัดประมาณ 50 มม. (รวมกับปลายท่อเดิม 70 มม. = 50 + 70 = 120 มม.)



7) คำนวณค่าต่าง ๆ และกำหนดจุดเผางานตัดท่อโค้งแบบจีบมุม 140 องศา

7.1 รัศมีความโค้งที่ใช้คำนวณงานตัดท่อโค้งแบบจีบ $= r + \frac{d}{4}$

$$r_{FB} = 170 + \frac{57}{4}$$

$$\approx 184 \text{ มม.}$$

7.2 ความยาวส่วนโค้งมุม 140 องศา $= \frac{\text{ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา} \times 140}{90}$

$$= \frac{r_{FB} \times 1.5 + \frac{r_{FB} \times 1.5}{20}}{90} \times 140$$

$$= \frac{184 \times 1.5 + \frac{184 \times 1.5}{20}}{90} \times 140$$

$$\approx 451 \text{ มม.}$$

7.3 จำนวนช่วงรอยจีบ $= \frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ}}$

$$= \frac{451 - 20}{\sim 50}$$

$$\approx 9 \text{ ช่วง}$$

7.4 จำนวนรอยจีบ = จำนวนช่วงรอยจีบ + 1

$$= 9 + 1$$

$$= 10 \text{ จีบ}$$

7.5 ระยะห่างระหว่างช่วงรอยจีบ $= \frac{\text{ความยาวส่วนโค้ง} - \text{ความกว้างรอยจีบ}}{\text{จำนวนช่วงรอยจีบ}}$

$$= \frac{451 - 20}{9}$$

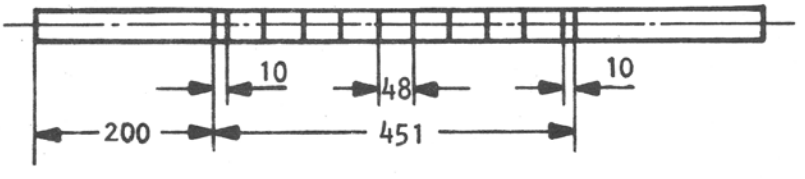
$$= 47.8 \approx 48 \text{ มม.}$$

7.6 มุมระหว่างรอยจีบ $= \frac{\text{มุมส่วนโค้งที่ต้องการดัด}}{\text{จำนวนรอยจีบทั้งหมด}}$

$$= \frac{140}{10}$$

$$= 14 \text{ องศา}$$

กำหนดจุดเผา



เฉลยแบบฝึกหัดงานตัดท่อ และประกอบขึ้นรูปท่อ 3.11

1) แบบฝึกหัดข้อ 1 มีชิ้นงาน 5 ชิ้น ซึ่งใช้วัสดุดังนี้

หมายเลข 1 ท่อขนาด 70/76 ยาว 320 มม.

หมายเลข 2 ท่อขนาด $1\frac{1}{4}$ นิ้ว ยาว 800 มม.

หมายเลข 3 ท่อขนาด 51/57 ยาว 250 มม.

หมายเลข 4 ท่อขนาด 3/4 นิ้ว ยาว 900 มม.

หมายเลข 5 ท่อขนาด 3/4 นิ้ว ยาว 900 มม.

ชิ้นงานหมายเลข 1

มีลักษณะงานดังนี้

1. งานเคาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์
2. งานเคาะขึ้นรูปข้อลดขนาดท่อ
3. งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉากแบบยกขอบสูง

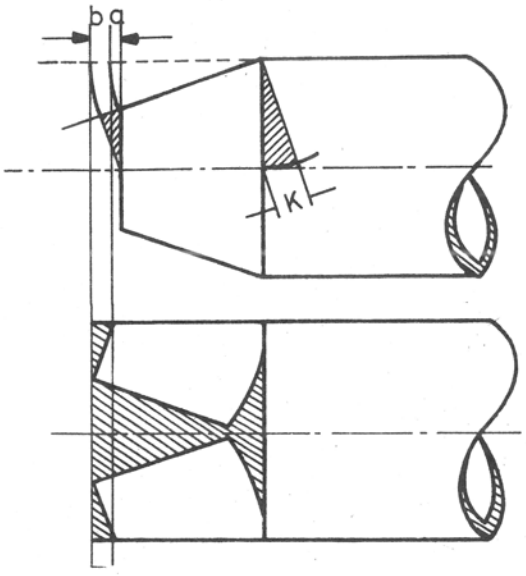
คำนวณค่าต่าง ๆ

1. ความกว้างขอบหน้าแฟลนจ์ $= \frac{D_1 - d}{2}$

$= \frac{105 - 70}{2}$

$= 17.5$ มม.

2. เคาะขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์ โดยวิธีตัดเชื่อมเป็นสองส่วน เขียนรูปด้านข้างเพื่อหาขนาดต่าง ๆ



วัดระยะ a b และ K จากรูปด้านข้าง เพื่อนำไปถ่ายขนาดลงบนชิ้นงานจริงคล้ายรูปด้านล่าง ส่วนที่เขียนด้วยเส้นเฉียงเป็นส่วนที่ต้องตัดออก ดูรายละเอียด จากรูปที่ 3.15 – 3.18 ส่วนโค้งบนชิ้นงานจริงจะต่างจากส่วนโค้งในรูปเล็กน้อย เพราะชิ้นงานจริงจะมีลักษณะเป็นท่อโค้ง

3. เจาะชิ้นรูปท่อแยกแบบยกขอบสูง หาขนาดรอยเจาะรูปวงรี

ความกว้างรอยเจาะ (A) = $\frac{2}{3}$ ถึง $\frac{1}{2} \times d_I - (2 \times h)$

= $\frac{2}{3} \times 51 - (2 \times 8)$

≈ 23 มม.

ความยาวรอยเจาะ (B) = $d_I - (2 \times h)$

= $51 - (2 \times 8)$

= 35 มม.

ชิ้นงานหมายเลข 2

งานตัดท่อโค้งมุม 180 องศา ทำเกลียวที่ปลาย โดยตัดท่อให้เรียบร้อยแล้วจึงนำไปทำเกลียวในภายหลัง

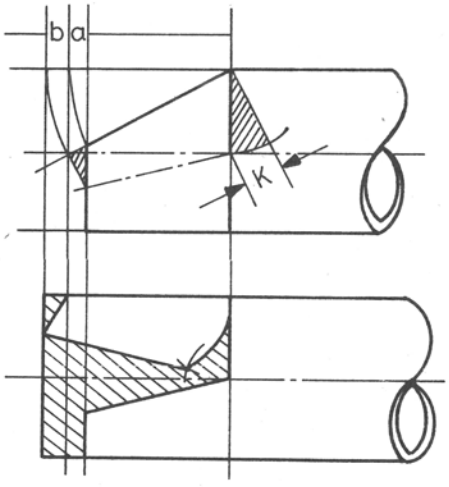
ความยาวส่วนโค้งมุม 180 องศา = $D \times 1.5 + \frac{D \times 1.5}{20}$

= $240 \times 1.5 \quad \frac{240 \times 1.5}{20}$

= 378 มม.

ชิ้นงานหมายเลข 3

งานชิ้นรูปข้อลดเยื้องศูนย์ โดยวิธีตัดเชื่อมเป็นสองส่วน โดยเขียนรูปด้านข้างเพื่อหาขนาดต่าง ๆ



วัดระยะ a b และ K จากรูปด้านข้าง (รูปบน) เพื่อนำไปถ่ายขนาดลงบนชิ้นงานจริงคล้ายรูปด้านล่าง ส่วนที่เขียนด้วยเส้นเฉียงเป็นส่วนที่ต้องตัดออก ดูรายละเอียด รูปที่ 3.7 – 3.14

ชิ้นงานหมายเลข 4 และ 5

งานตัดท่อโค้งมุม 90 องศา แบบปลายมีเกลียวทั้งสองชิ้น แต่ละชิ้นจะตัดโค้งมุม 90 องศา สองโค้งแล้วนำมาประกอบขึ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที โดยต้องทำเกลียวที่ปลายท่อทั้งสองชิ้นให้เรียบร้อยก่อนนำไปตัด

คำนวณค่าต่าง ๆ

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา รัศมี 70 มิลลิเมตร และ 80 มิลลิเมตร

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

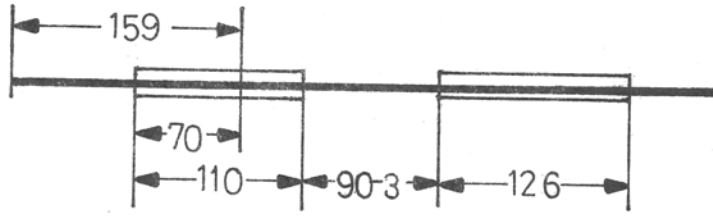
$= 70 \times 1.5 + \frac{70 \times 1.5}{20}$

$\approx$ 110 มม.

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= 80 \times 1.5 + \frac{80 \times 1.5}{20}$

$=$ 126 มม.

ประกอบชิ้นรูปท่อแยกสามทางโค้งตัวที่ตามหัวข้อ 3.8 โดยใช้ตัวอย่างรูปที่ 3.63 เป็นหลักและกำหนดระยะเผา ดังรูปข้างล่างนี้



2) แบบฝึกหัดข้อ 2 มีชิ้นงาน 8 ชิ้น ซึ่งใช้วัสดุดังนี้

หมายเลข 1	ท่อขนาด	70/76	ยาว 330 มม.	
หมายเลข 2	ท่อขนาด	$1\frac{1}{4}$ นิ้ว	ยาว 500 มม.	
หมายเลข 3	ท่อขนาด	$1\frac{1}{4}$ นิ้ว	ใช้ส่วนที่เหลือจากหมายเลข 2	
หมายเลข 4	ท่อขนาด	1 นิ้ว	ยาว 1250 มม.	
หมายเลข 5	ท่อขนาด	1 นิ้ว	ใช้ส่วนที่เหลือจากหมายเลข 4	
หมายเลข 6	ท่อขนาด	1 นิ้ว	ยาว 750 มม.	
หมายเลข 7	ท่อขนาด	1 นิ้ว	ใช้ส่วนที่เหลือจากหมายเลข 6	
หมายเลข 8	แผ่นเหล็ก	120 × 120 × 10	1 ชิ้น	

ขั้นงานหมายเลข 1

มีลักษณะงานดังนี้

1. งานเจาะขึ้นรูปขอบหน้าแฟลนจ์
2. งานขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์
3. งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกตรงตั้งฉากแบบยกขอบสูง
4. งานเจาะขึ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉาก

คำนวณค่าต่าง ๆ

1. ความกว้างขอบหน้าแฟลนจ์ $= \frac{D_1 - d}{2}$

$= \frac{105 - 70}{2}$

$= 17.5$ มม.

2. งานขึ้นรูปข้อลดร่วมศูนย์ โดยวิธีตัดเชื่อมเป็นสี่ส่วน

ความยาวข้อลด 50 มม.

ส่วนกว้างรูปลิ่มที่ต้องตัดออก $= \frac{(D - d) \times 3.14}{4}$

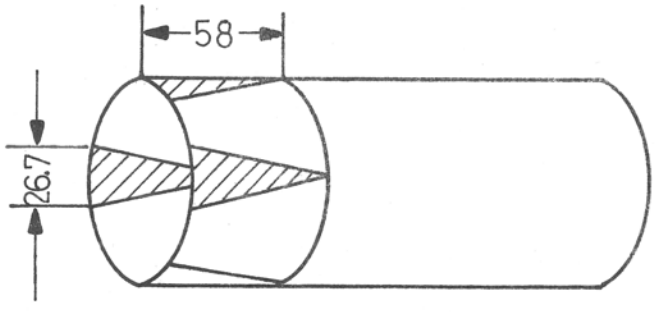
$= \frac{(76 - 42) \times 3.14}{4}$

$= 26.7$ มม.

ความยาวรูปลิ่ม = ความยาวข้อลด + $\frac{1}{6}$ ความยาวข้อลด

$= 50 + (\frac{1}{6} \times 50)$

≈ 58 มม.



3. เจาะชิ้นรูปท่อแยกแบบยกขอบสูง

หาขนาดรอยเจาะรูปวงรี

ความกว้างรอยเจาะ (A) = $\frac{2}{3}$ ถึง $\frac{1}{2} \times d_I - (2 \times h)$

= $\frac{2}{3} \times 33 - (2 \times 5)$

≈ 15 มม.

ความยาวรอยเจาะ (B) = $d_I - (2 \times h)$

= $33 - (2 \times 5)$

= 23 มม.

4. เจาะชิ้นรูปท่อแยกโค้งตั้งฉาก แบบอานม้า

ตัดท่อโค้งที่จะนำมาประกอบท่อแยกและตัดปลายโค้งตบแต่งให้เข้ากับส่วนโค้งท่อ ก่อนจึงเจาะชิ้นรูป (ท่อจากชิ้นงานหมายเลข 2)

ชิ้นงานหมายเลข 2

งานตัดท่อโค้งมุม 90 องศา แล้วตัดปลายโค้ง ตบแต่ง ให้เข้ากับส่วนโค้งของท่อ ที่จะเจาะชิ้นรูป

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา = $r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

= $120 \times 1.5 + \frac{120 \times 1.5}{20}$

= 189 มม.

ชิ้นงานหมายเลข 3

ท่อบัดกรีแข็งติดกับหน้าแฟลนจ์หมายเลข 8

ชิ้นงานหมายเลข 4

งานตัดท่อโค้งมุม 90 องศา 3 โค้ง แล้วเจาะท่อแยกด้านข้างเพื่อเชื่อมยึดกับชิ้นงานหมายเลข 7 นำไปประกอบท่อแยกสามทางโค้งตัวที่ ร่วมกับชิ้นงานหมายเลข 5

คำนวณค่าต่าง ๆ

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา รัศมี 80 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 80 \times 1.5 + \frac{80 \times 1.5}{20}$

$= 126$ มม.

ความยาวส่วนโค้งที่ 1 และโค้งที่ 2 มุม 90 องศา รัศมีโค้ง 80 มิลลิเมตร จะยาวส่วนโค้งละ 126 มิลลิเมตร

ความยาวส่วนโค้งมุม 90 องศา $= r \times 1.5 + \frac{r \times 1.5}{20}$

$= 100 \times 1.5 + \frac{100 \times 1.5}{20}$

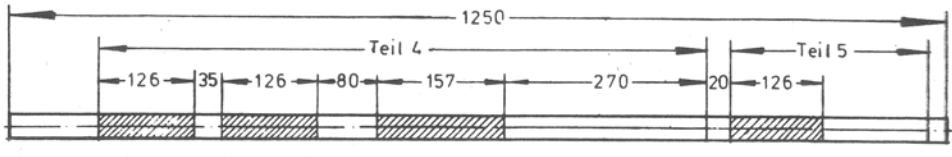
≈ 157 มม.

กำหนดระยะเผาชิ้นงานหมายเลข 4 ร่วมกับชิ้นงานหมายเลข 5 ดังรูปข้างล่าง

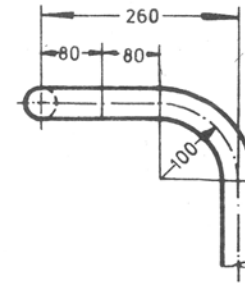
ชิ้นงานหมายเลข 5

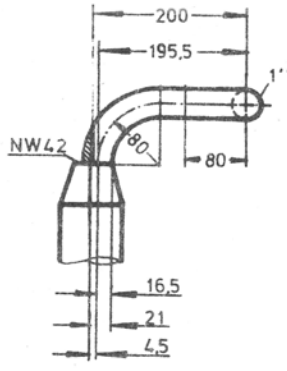
งานตัดท่อโค้งมุม 90 องศา รัศมีโค้ง 80 มิลลิเมตร โดยใช้ท่อเส้นเดียวกับชิ้นงานหมายเลข 4 ซึ่งความยาวส่วนโค้งจะยาว 126 มิลลิเมตร เช่นกัน

การกำหนดระยะเผาชิ้นงานหมายเลข 5 จะกำหนดบนชิ้นงานชิ้นเดียวกับหมายเลข 4 ดังรูป



ลักษณะชิ้นงานหมายเลข 4 แสดงส่วนโค้งที่ 2 รัศมี 80 มม. และส่วนโค้งที่ 3 รัศมี 100 มม.





แสดงลักษณะการตัดส่วนโค้งที่ 1 ของชิ้นงานหมายเลข 4 เพื่อประกอบท่อแยกสามทางโค้งตัวที ร่วมกับชิ้นงานหมายเลข 5 และเชื่อมประกอบกับข้อลดชิ้นงานหมายเลข 1

ชิ้นงานหมายเลข 6

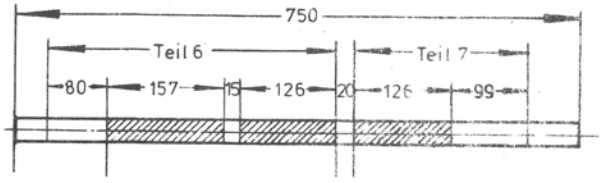
งานดัดท่อโค้งมุม 90 องศา รัศมีโค้ง 80 มิลลิเมตร 1 โค้ง และรัศมีโค้ง 100 มิลลิเมตร อีก 1 โค้ง ความยาวส่วนโค้งเช่นเดียวกับชิ้นงานหมายเลข 4 รัศมีโค้ง 80 มิลลิเมตร ความยาวส่วนโค้ง 126 มิลลิเมตร รัศมีโค้ง 100 มิลลิเมตร ความยาวส่วนโค้ง 157 มิลลิเมตร

การกำหนดระยะเผาชิ้นงานหมายเลข 6 จะรวมกับชิ้นงานหมายเลข 7 ดังรูปข้างล่าง

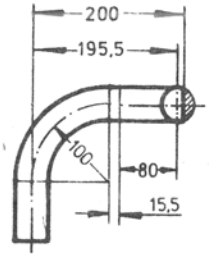
ชิ้นงานหมายเลข 7

งานดัดท่อโค้งมุม 90 องศา รัศมีโค้ง 80 มิลลิเมตร โดยใช้ท่อเส้นเดียวกับชิ้นงานหมายเลข 6 ความยาวส่วนโค้ง 126 มิลลิเมตร เช่นกัน

การกำหนดระยะเผาชิ้นงานหมายเลข 7 จะกำหนดบนชิ้นงานชิ้นเดียวกับหมายเลข 6 ดังรูป



กำหนดระยะเผาชิ้นงานหมายเลข 6 และ 7 ร่วมกันบนท่อเดียว

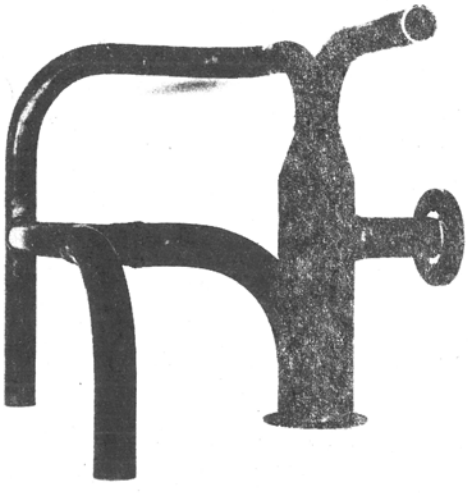


ลักษณะชิ้นงานหมายเลข 6 แสดงส่วนโค้งที่ 1 รัศมี 100 มม. สังเกตส่วนโค้งที่ 2 ที่จะต้องตัดออกเพื่อประกอบท่อแยกสามทางโค้งตัวที

ชิ้นงานหมายเลข 8

งานตัดหน้าแฟลนจ์ด้วยเปลวไฟแกส เจาะรู และตบแต่ง เพื่อบัดกรีแข็งติดกับชิ้นงานหมายเลข 3

ชิ้นงานแบบฝึกหัดข้อ 2 เมื่อเชื่อมประกอบเข้าด้วยกันแล้วจะมีลักษณะ ดังรูป



ชิ้นงานแบบฝึกหัดงานตัดท่อและประกอบชิ้นรูปท่อ ข้อ 2 เมื่อเชื่อมประกอบเสร็จแล้ว

หนังสืออ้างอิง

1. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
"มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อเหล็กกล้าอาบและไม่อาบสังกะสีชนิดต่อด้วยเกลียว มอก. 26-2516"
โรงพิมพ์สำนักทำเนียบนายกรัฐมนตรี, 2516

2. Geiger, Rolf und Heuberger, Josef. "Arbeitstechniken im Heizungsbau"
Julius Hoffmann Stuttgart, zweite, erweiterte Auflage, 1977

3. Lamit, Louis G. "Piping systems Drafting and Design" Prentice-Hall, Inc.,
Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1981

4. Rase, Howard F. "Piping Design for Process Plants. John Wiley & Sons,
Inc., New York. London, 1963

อภิธานศัพท์

กราฟไฟท์ (Graphite)	เป็นคาร์บอนบริสุทธิ์ที่เกิดเองตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีคุณสมบัติหล่อลื่นที่ดีที่สุดอย่างหนึ่ง กราฟไฟท์ที่ใช้มักเป็นผง
เกจวัดความดัน (Pressure gauge)	อุปกรณ์ใช้วัดความดันภายในท่อ ถังหรือภาชนะใด ๆ ซึ่งอ่านค่าเป็นตัวเลขได้
เกจวัดมุม	แผ่นโลหะที่ตัดเป็นมุมตามต้องการ เพื่อใช้วัดเทียบกับมุมของชิ้นงาน
กับดัก (Trap)	ท่อที่ดัดโค้งเป็นรูปตัวยูหรือวงกลม หรือรูปร่างอื่น ๆ เพื่อให้อากาศหรือของเหลวขังตัวอยู่ภายในได้
กึ่งกลางส่วนโค้ง	จุดกึ่งกลางความโค้งในแนวที่ลากเส้นจากแนวแกนท่อโค้งทั้งสองด้านมาตัดกัน
ขนาดระบุ (Nominal size)	หรือชื่อขนาดหมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเหล็ก โดยประมาณ ท่อเหล็กที่มีขนาดระบุเดียวกันจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากัน
ของไหล (Fluid)	วัสดุที่สามารถไหลตามท่อได้รวมถึง อากาศ น้ำ ของเหลว และของแข็ง ลักษณะเป็นเม็ดละเอียดที่ไหลตามท่อได้
ข้อต่อขยาย (Expansion Joint)	ข้อต่อท่อที่สามารถยืดหดตัวได้เล็กน้อย ใช้ต่อร่วมภายในระบบท่อเพื่อป้องกันอันตราย ที่อาจเกิดขึ้นจากการขยายตัวและหดตัวของท่อ มีรูปร่างต่าง ๆ กัน

ข้อต่อท่อ (Fitting)	อุปกรณ์ที่ใช้ต่อท่อเหล็กสองเส้นหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน โดยการขันเกลียว ข้อต่อมีเกลียวในหมุนเวียนทางเดียวกันตลอดหรือเป็นแบบไม่ใช่เกลียวมีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน
ข้อลดร่วมศูนย์ (Concentric reducer)	ข้อต่อท่อที่ใช้ต่อท่อซึ่งมีขนาดไม่เท่ากัน แต่มีศูนย์กลางท่อทั้งสองข้างอยู่ในแนวเดียวกัน
ข้อลดเยื้องศูนย์ (Eccentric reducer)	ข้อต่อท่อที่ใช้ต่อท่อซึ่งมีขนาดไม่เท่ากัน และมีศูนย์กลางท่อทั้งสองข้างไม่อยู่ในแนวเดียวกัน
ความเค้น (Stress)	แรงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ
ความยาวชดเชย	ความยาวส่วนที่ต้องเพิ่มเผื่อไว้ เนื่องจากงานดัดท่อในช่วงอื่นที่ซึ่งจะทำให้ความยาวที่กำหนดไว้สั้นลงจากเดิมหรือความยาวส่วนที่ต้องเผื่อไว้สำหรับเส้นความยาวจริง
ช่วงสูงหลบ	ช่วงสูงของส่วนโค้งมุม 90 องศา ที่ต้องดัดหลบท่ออื่น ๆ ในงานดัดท่อข้ามท่อ
ชุดทำเกลียว (Die)	เครื่องมือสำหรับตัดเกลียวนอกบริเวณปลายท่อ
เชื่อมชน (Butt welding)	การเชื่อมชอบชิ้นงานสองชิ้น โดยที่ชิ้นงานทั้งสองอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน
เชื่อมมุม (Corner welding)	การเชื่อมชอบชิ้นงานสองชิ้น โดยที่ชิ้นงานทั้งสองไม่อยู่ในแนวเดียวกัน
ด้ามดัด	ท่อที่ทำเกลียวและต่อกับข้อต่อตรงไว้ปลายหนึ่ง ส่วนอีกปลายหนึ่งเชื่อมปิด สำหรับต่อกับท่อที่ต้องการนำมาดัดโค้ง โดยมีเกลียวที่ปลายด้านหนึ่ง ก่อนที่จะนำไปบรรจุทรายเพื่อดัด

ดัดร้อน (Hot bending)	งานดัดท่อโดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน ในขณะดัด
ดัดเย็น (Cold bending)	งานดัดท่อโดยไม่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน
ท่อหัวจ่าย (Header)	ท่อขนาดใหญ่ที่ต่อแยกเป็นท่อเล็กหลาย ๆ ท่อ เพื่อใช้ควบคุมแรงดันและอัตราไหลของของไหล ในท่อเล็ก ๆ เหล่านั้น
ท่อมีตะเข็บ (Seam pipe)	ท่อที่ผลิตโดยวิธีม้วนแผ่นเหล็กเป็นรูปท่อ แล้วเชื่อมรอยต่อ
ท่อไม่มีตะเข็บ (Seamless pipe)	ท่อที่ผลิตโดยไม่มีรอยต่อท่อลักษณะของท่อ จะเป็นโลหะเนื้อเดียวกันโดยตลอด
ท่อเหล็ก (Steel pipe)	ท่อเหล็กกลวงตรงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในสม่ำเสมอกัน - ตลอด
แนวแกนท่อ (Neutral axis)	แนวแกนท่อส่วนที่ไม่ยืดหรือหดตัวเลยในขณะดัดและความเค้นที่แกนนั้นเท่ากับศูนย์
ปากกามือ (Hand vice)	เครื่องมือขนาดเล็กที่ใช้ปีบยึดชิ้นงานเข้าด้วยกัน โดยใช้แรงอัดตัวจากเกลียวสกรู
แผ่นแบบดัดท่อ (Bending tables)	แผ่นเหล็กหนาขนาดใหญ่ มีรูเจาะเป็นระยะ ๆ ทั่วทั้งแผ่น สำหรับใส่สลักในขณะดัดท่อขนาดใหญ่ โดยใช้ความร้อน
ระยะเผาเผื่อ	ช่วงเผาให้ความร้อนท่อ ให้ยาวกว่าความยาวส่วนโค้งหรือระยะเผาที่คำนวณได้ ทั้งนี้เพราะในขณะดัดชิ้นงาน จะเย็นตัวลงเล็กน้อย ทำให้ได้ตามระยะที่คำนวณไว้พอดี
วาวล์ (Valve)	อุปกรณ์สำหรับใช้ควบคุมการไหลของ ๆ ไหลภายในท่อ มีรูปร่างลักษณะและขนาดต่าง ๆ กัน

ไหลหมุนวน (Turbulent)	ของไหลภายในท่อไหลไม่เรียบ ไม่ขนานไปตามแนวแกนท่อ ซึ่งอาจเกิดจากความเร็วการเปลี่ยนทิศทางไหลความขรุขระของผนังภายในและสาเหตุอื่น ๆ

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

นายอำนาจ ซื่อตรง ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา

ISBN 974-620-066-6