บทที่ 3

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษารอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยวิธีราดิโอกราฟี เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้จะมีดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์รังสีเอ็กซ์
2. อุปกรณ์รังสีแกมมา
3. ซองใส่ฟิล์มและฟิล์มรังสีเอ็กซ์
4. น้ำยาล้างฟิล์ม
5. พีนีตรามิเตอร์และสิ่งจำเป็นอื่น ๆ
6. ชิ้นงาน (เหล็กกล้าไร้สนิม)
7. ลวดเชื่อมและเครื่องเชื่อม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>อุปกรณ์รังสีเอ็กซ์</u>

อุปกรณ์รังสีเอ็กที่ใช้ได้รับความร่วมมือและช่วยเหลือจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) มีรายละเอียดของเครื่องมือคือ.-

ชนิดของเครื่อง – ANDREX

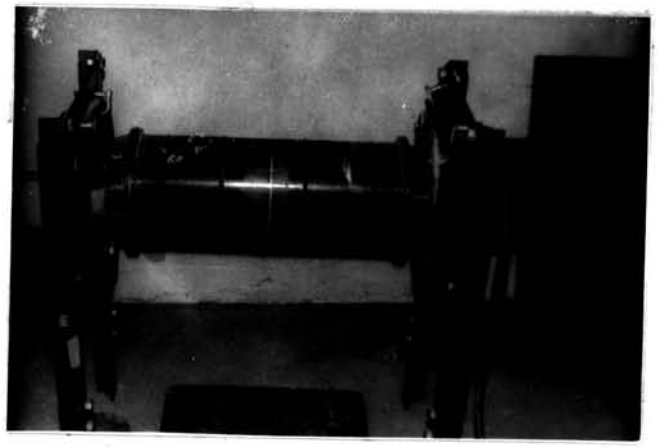
ขนาดของเครื่อง – 200 กิโลโวลท์สูงสุด, 0–9 นาที, 0–5 มิลลิแอมป์

อุปกรณ์ประกอบ – 1) เครื่องควบคุมระยะไกล เป็นตัวควบคุมการเดินเครื่องรังสีเอ็กซ์ ภายนอกฉากกำบังรังสีซึ่งเป็นคอนกรีต ประกอบไปด้วยตัวปรับโวลท์, แอมแปร์ และปรับเวลาที่ใช้ในการถ่ายรังสี

2) Header อยู่ในฉากกำบังรังสีเป็นตัวกำเนิดรังสีเอ็กซ์ออกมา เป้าที่ใช้ได้แก่ โลหะทังสเตน เป็นโลหะที่มีอะตอมมิกนัมเบอร์สูง ทนความร้อน การสึกกร่อนได้ดี เป้าจะระบายความร้อนด้วยน้ำมัน ระบบไหลวนแบบปิด

อุปกรณ์รังสีเอ็กซ์ที่ใช้ในวิธีการราดิโอกราฟี

เครื่องควบคุมโวล์ทเตจและกระแส



หลอดรังสีเอ็กซ์

อุปกรณ์รังสีแกมมา

อุปกรณ์รังสีแกมมาที่ใช้ได้รับความร่วมมือและช่วยเหลือจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) มีรายละเอียดของเครื่องมือ คือ

ชนิดของเครื่อง – Tech Ops

Sorce – Ir-192 Portable gamma source

Shield – Lead and Depleted Uranium (100 Ci shielding)

Activity – 40 Ci (October 1979)

อุปกรณ์ประกอบ –

1) Projector หัวรับ source จาก shield ซึ่งผ่านมาโดยสายนำ source

2) สายต่อบังคับเป็นสายที่ต่อระหว่าง shield และเครื่องบังคับระยะใกล้เพื่อไปบังคับสายนำ source ให้พา source ไปสู่ Projector

3) สายนำ source เป็นสายที่ต่อระหว่าง shield และ Projector เพื่อนำ source จาก shield ไปสู่ Projector

4) หัว Probe ไม่ได้ใช้ในการวิจัยนี้

5) เครื่องบังคับระยะใกล้เป็นเครื่องหมุนสายต่อบังคับให้ source วิ่งออกจาก shield ไปยัง Projector

ซองใส่ฟิล์มและฟิล์มรังสีเอ็กซ์

ฟิล์มที่ใช้ในการทำราดิโอกราฟีเป็นฟิล์มของบริษัทโกดักแบบ เอเอ ขนาดกว้าง 4 นิ้ว ยาว 17 นิ้ว

ลักษณะของฟิล์ม – ความไวปานกลางเทียบได้กับฟิล์มแบบที่ 2 ตามหน้าที่
– ขนาดของเกรนละเอียดมาก
– ความคมชัดสูง

อุปกรณ์รังสีแกมมาที่ใช้ในวิธีการราดิโอกราฟี

Shield, สายนำสารรังสี, Projector, เครื่องบังคับระยะไกล

Projector

ซองใส่ฟิล์มจะเป็นซองพลาสติคสีดำ ขนาดหนาทั้งซองนอกและซองใน ภายในซองในจะมีฉากตะกั่วภายในหนา 0.006 และ 0.004 นิ้ว หาบอยู่ระหว่างฟิล์มเพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของรังสีไม่ให้โดนฟิล์มมากเกินไป อันจะทำให้ฟิล์มเกิดความไม่คมชัดขึ้นได้

น้ำยาล้างฟิล์ม

น้ำยาล้างฟิล์ม, น้ำยาฟิกเซอร์ และน้ำยาสำหรับเติมเป็นน้ำยาของบริษัทโกดัก มีรายละเอียด (ตามลักษณะการค้า) คือ KODAK X-RAY (KIX DEV.)Developer and Fix Liquid Solution and Replenisher

พีนีตรามิเตอร์และสิ่งจำเป็นอื่น ๆ

พีนีตรามิเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นมาตรฐานของ Deutsche Industrial Norm (DIN) โดยใช้ลวดนัมเบอร์ 6 – 12 และ 10 – 16 เป็นจำนวน 2 ชุด เพื่อใช้ตรวจความไวของการทำราดิโอกราฟี นอกจากนั้นสิ่งช่วยเหลืออื่น ๆ ได้แก่ ตัวอักษรและเครื่องหมายที่ทำด้วยตะกั่วเพื่อใช้สำหรับชี้บอกชิ้นงานชนิดต่าง ๆ กัน, ทำครั้งที่เท่าไร, มีความหนาขนาดเท่าไร

ชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัยเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปคือ ชนิด AISI 304 austenitic stainless steel มีความหนาขนาด $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$ และ $\frac{1}{2}$ นิ้ว ขอบด้านหนึ่งของเหล็กกล้าไร้สนิมจะนำมาใสให้เป็นมุม 30° จากนั้นจึงนำมาตัดให้มีความยาวประมาณ $4\frac{1}{2}$ นิ้ว นำด้านที่เป็นมุมมาชนกันเพื่อจะเชื่อมโดยเว้นช่องว่างของชิ้นงานไว้ประมาณ 2 – 3 มม.

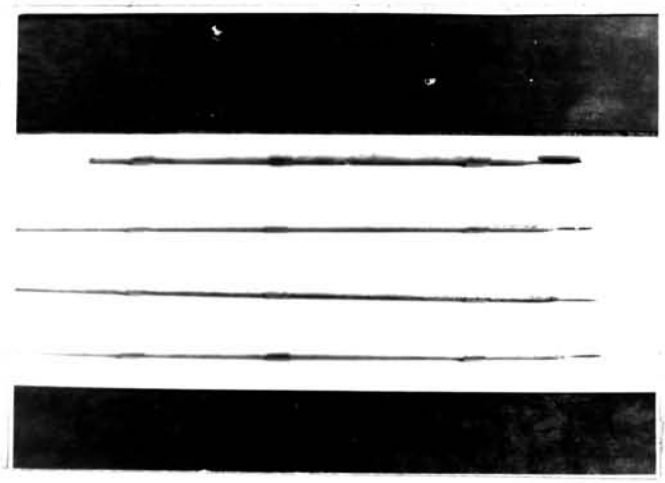
Specification of Austenitic Stainless Steel AISI 304

Analysis % :	
Carbon	0.08 Max.
Chromium	18.0 - 20.0
Nickel	8.0 - 11.0
Other elements	-
Representative Mechanical Properties - Annealed :	
Yield Strength kg/mm^2 (0.2% offset)	26.7
Ultimate Strength kg/mm^2	59.7
Elongation % in 2"	50
Reduction in Area-%	65
Modulus of Elasticity in Tension kg/mm^2	19,700
Anneal Hardness :	
Brinell	150
Rockwell	B-80
Impact Values IZOD M-kg	15.23
Creep Strength :	
1 % Flow in 10,000 Hrs. at 538 °C kg/mm^2	12.2
Heat Resistance - Maximum Operating Temperature :	
Intermittent Service °C	870
Continuous Service °C	925

ลวดเชื่อมและเครื่องเชื่อม

ลวดเชื่อมที่จะใช้เชื่อมชิ้นงานเป็นลวดเชื่อมแบบ Shield Metal Arc Welding ที่ใช้เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยเฉพาะมี 4 ชนิด ตามนัมเบอร์ของลวดเชื่อม คือ เบอร์ 308, 308R, 347, 608 นัมเบอร์ของลวดนี้เป็นนัมเบอร์ของลวดที่ขายอยู่ในท้องตลาด ดังนั้นนัมเบอร์อาจจะไม่ตรงกับนัมเบอร์ของเหล็กกล้าไร้สนิม ตามมาตรฐาน AISI ก็ได้

เครื่องเชื่อมที่ใช้เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ให้ไฟฟ้ากระแสตรงเพียงอย่างเดียวแบบ HOBART U.S.A. รุ่น M-300, Rated Output 300 Amps., 40 Volts. D.C. Reverse and Straight Polarity



ลวดเชื่อมที่ใช้ในการวิจัยจากบนมาล่าง 308, 308R, 347, 608

ลวดเชื่อม	308	บริษัทญี่ปุ่น		เส้นผ่าศูนย์กลาง		4.0	มม.
"	308R	"	Nittetsu	"	"	2.5	"
"	347	"	Nittetsu	"	"	2.5	"
"	608	ไม่ทราบบริษัทชื่อเต็ม	MWA	608	"	2.5	"

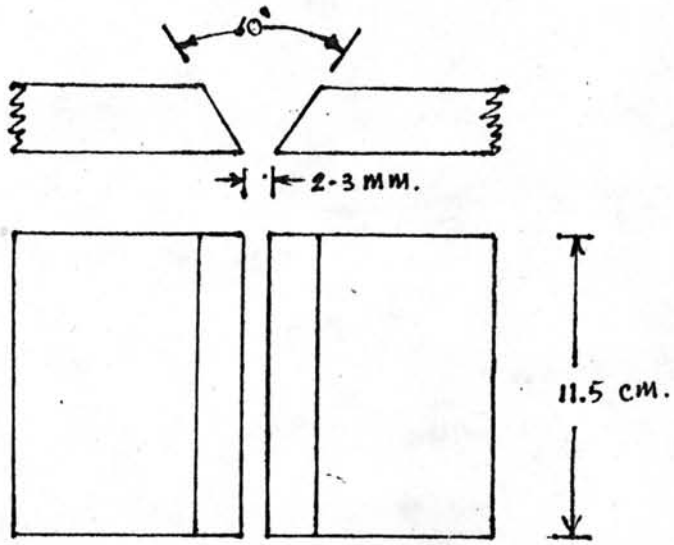
การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย การศึกษารอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยวิธีราดิโอกราฟีจะมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 3 ความหนา โดยใช้ลวดเชื่อม 4 ชนิดในแต่ละความหนา โดยวิธี Shield Metal Arc Welding
2. การทำเอ็กซ์โพเซอะกราฟสำหรับรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา
3. การพิจารณาคุณภาพของภาพด้วยพีนีตรามิเตอร์
4. การทำราดิโอกราฟีชิ้นงานด้วยรังสีเอ็กซ์
5. การทำราดิกราฟีชิ้นงานด้วยรังสีแกมมา
6. การล้างฟิล์ม
7. การอ่านผลฟิล์มที่ได้

การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมโดยวิธี Shield Metal Arc Welding

ดังที่กล่าวในบทที่แล้ว เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้เป็นชิ้นงานในการวิจัยจะมีความหนาอยู่ 3 ขนาด คือ $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$ และ $\frac{1}{2}$ นิ้ว ขอบด้านหนึ่งของชิ้นงานจะนำมาใสให้เป็นมุม 30° จากนั้นจึงนำมาตัดให้มีความยาวประมาณ $4\frac{1}{2}$ นิ้ว ดังรูป



ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้คือ เบอร์ 308, 308R, 347, 608 เป็นลวดเชื่อมแบบ Shield Metal Arc Welding หรือในทางช่างจะเรียกว่า ลวดเชื่อมไฟฟ้า ส่วนลวดเชื่อมแบบ Tungsten Inert Gas (Argon Gas) นั้น ในทางช่างจะเรียกว่า ลวดเชื่อมแก๊ส

การเชื่อมชิ้นงานด้วยลวดเชื่อมที่กำหนดจะเริ่มเชื่อมตั้งแต่ด้านล่างสุดของชิ้นงาน ไล่ตามแนวยาวแล้วจึงมาตั้งต้นเริ่มเชื่อมชิ้นใหม่ต่อไปจนเต็มผิวหน้าของชิ้นงาน ขั้นตอนในการเชื่อมชิ้นงานมีดังต่อไปนี้

1. ชิ้นงานความหนา $\frac{1}{4}$ นิ้ว เชื่อมด้วยลวดเชื่อมเบอร์ 308, 308R, 347, 608
2. ชิ้นงานความหนา $\frac{3}{8}$ นิ้ว เชื่อมด้วยลวดเชื่อมเบอร์ 308, 308R, 347, 608
3. ชิ้นงานความหนา $\frac{5}{8}$ นิ้ว เชื่อมด้วยลวดเชื่อมเบอร์ 308, 308R, 347, 608

การทำเอ็กซ์โพเชอะกราฟสำหรับรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา

เอ็กซ์โพเชอะกราฟสำหรับรังสีเอ็กซ์

ก่อนการทำราดิโอกราฟีกับเครื่องรังสีเอ็กซ์หนึ่ง ๆ ควรจะต้องมีการทำเอ็กซ์โพเชอะกราฟของเครื่องที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่จะทำเสมอ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ step wedge ที่เป็นเหล็กกล้า (เนื่องจากในการทำเอ็กซ์โพเชอะกราฟ ความหนาแน่นของฟิล์มที่วัดได้จะไม่แตกต่างกันมากนัก) แทนเหล็กกล้าไร้สนิม ขั้นตอนในการทำเอ็กซ์โพเชอะกราฟ มีดังต่อไปนี้

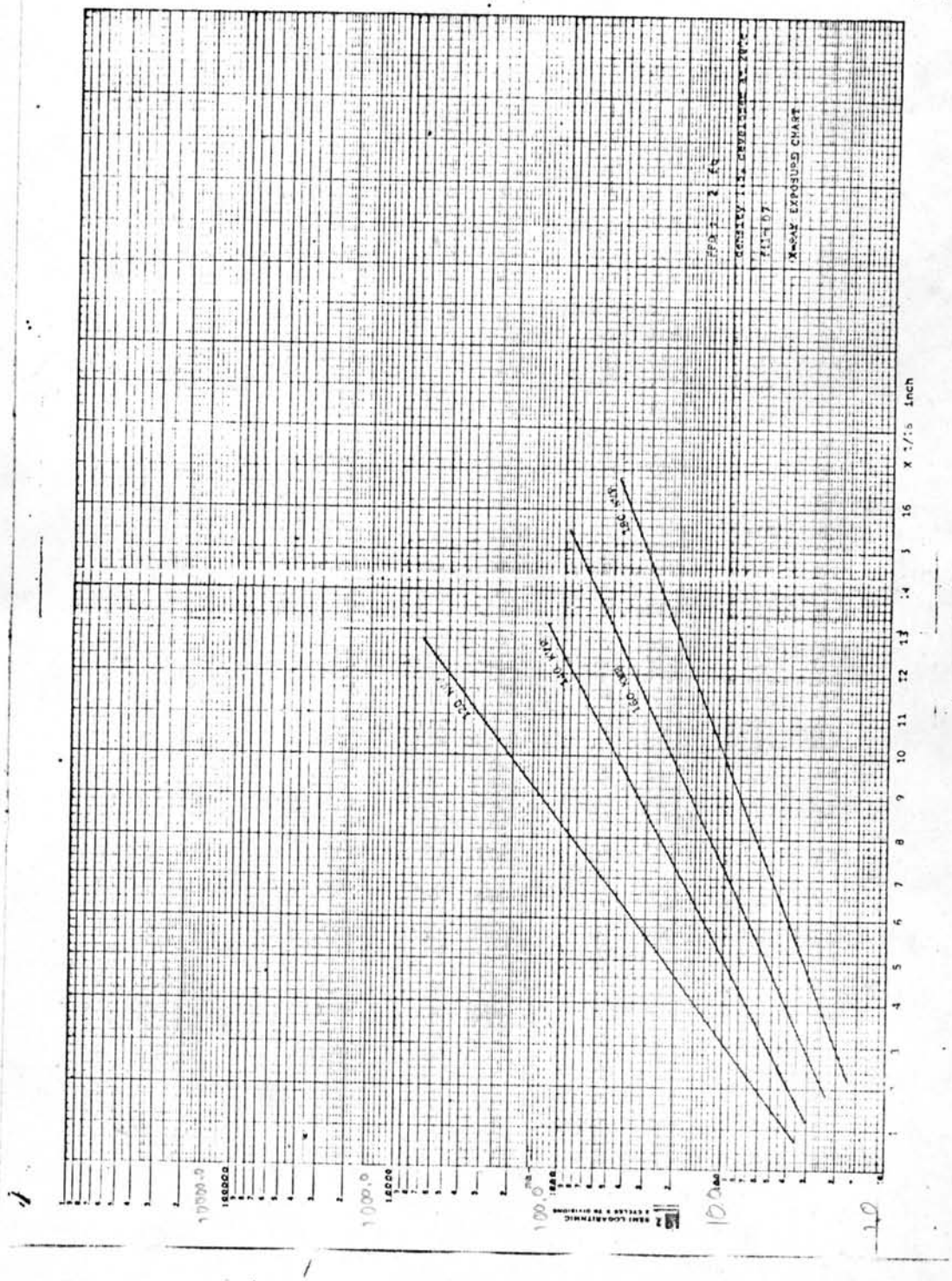
1. ถาย step wedge ด้วยรังสีเอ็กซ์โวล์ทเตจต่าง ๆ กัน และกระแสไฟฟ้าต่างกันด้วย เช่น ถาย step wedge ที่ 120 KVP. 8 mA-min, 120 KVP. 30 mA-min, 140 KVP. 8 mA-min, 140 KVP. 30 mA-min, 160 KVP. 8 mA-min และ 160 KVP. 30 mA-min เป็นต้น

2. ล้างฟิล์มทั้งหมดโดยให้มีสภาพการล้างเหมือนกันหมด

3. วัดความหนาแน่นของฟิล์ม ตามตำแหน่งของ step wedge ต่าง ๆ กันด้วยเดนซิโตมิเตอร์

4. เขียนค่าความหนาของ step wedge ที่มีความหนาแน่นฟิล์ม 1.5 สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า – เวลา โดยที่โวล์ทเตจคงที่ค่าต่าง ๆ กัน บนกระดาษกราฟเซมิลอก

เอ็กซ์โพเชอะกราฟของเครื่องรังสีเอ็กซ์ที่ พปส. จะมีลักษณะดังนี้



เอ็กซ์โพเชอะกราฟสำหรับรังสีแกมมา

การทำเอ็กซ์โพเชอะกราฟของรังสีแกมมาคล้ายคลึงกับการทำเอ็กซ์โพเชอะกราฟของรังสีเอ็กซ์ แต่หน่วยมิลลิแอมป์-นาที ที่ใช้ในรังสีเอ็กซ์จะเปลี่ยนเป็นหน่วยคูรี-นาทีในรังสีแกมมา ขั้นตอนในการทำเอ็กซ์โพเชอะกราฟของรังสีแกมมามีดังต่อไปนี้

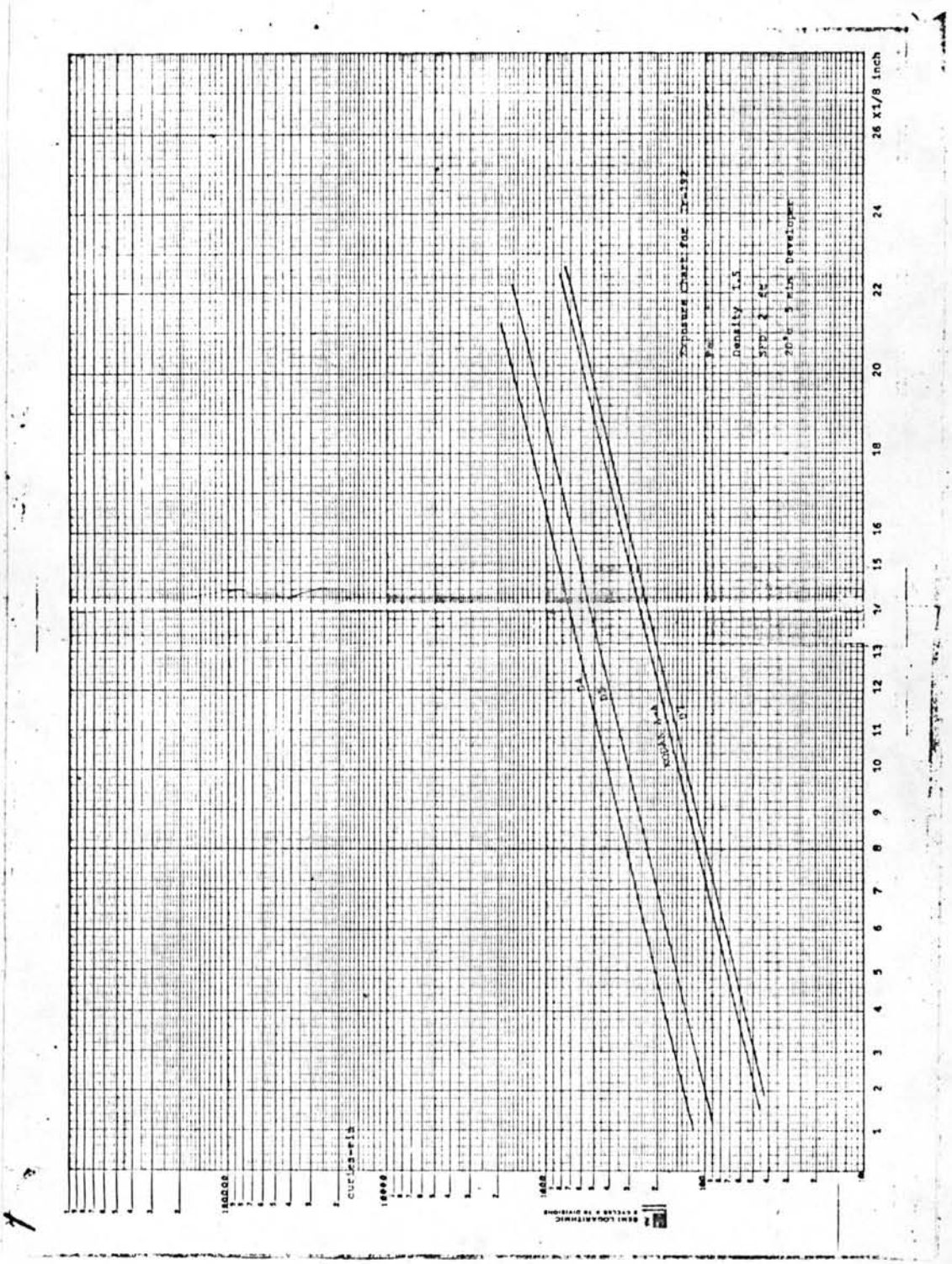
1. ถ่าย step wedge ด้วยรังสีแกมมา คูรี-นาที ค่าต่าง ๆ กัน เช่น 40 คูรี-นาที, 75 คูรี-นาทีเป็นต้น โดยมีระยะทางแหล่งรังสีไปยังชิ้นงานค่าหนึ่ง เช่น 2 ฟุต

2. ล้างฟิล์มทั้งหมดโดยให้มีสภาพการล้างเหมือนกันหมด

3. วัดความหนาแน่นของฟิล์มตามตำแหน่งของ step wedge ต่าง ๆ กันด้วยเดนซิโตมิเตอร์

4. เขียนค่าความหนาของ step wedge ที่มีความหนาแน่นฟิล์ม 1.5 สัมพันธ์กับคูรี-นาที โดยระยะทางแหล่งรังสีไปยังชิ้นงานมีค่าหนึ่ง ลงบนกระดาษกราฟเซมิลอก

เอ็กซ์โพเชอะกราฟของเครื่องรังสีแกมมาที่ พปส. จะมีลักษณะดังนี้



การหาความไวในการทำราดิโอกราฟีด้วยพีนีตรามิเตอร์

เป็นที่ทราบจากทฤษฎีว่าพีนีตรามิเตอร์จะใช้เป็นตัวกำหนดความไวของการทำราดิโอกราฟี เพื่อที่จะทำให้ทราบว่า จะสามารถตรวจจับสิ่งบกพร่องขนาดเล็กได้แค่ไหน (sensitivity) โดยปกติ ในการทำราดิโอกราฟีที่ดี จะมีความไวในการตรวจจับสิ่งบกพร่องที่มีขนาด 2% ของความหนา ซึ่งเราจะสามารถทราบได้หรือไม่โดยดูจากพีนีตรามิเตอร์ ในการวิจัยนี้ พีนีตรามิเตอร์เป็นมาตรฐานของ Deutsche Industrial Norm (DIN) การพิจารณาเลือกลวดเบอร์ที่เหมาะสมจะดูจากความหนาของรอยเชื่อมของชิ้นงานที่จะทำราดิโอกราฟี มีค่าเท่าไร จากนั้นจึงเปิดดูตารางของ DIN เพื่อหาขนาดของเส้นลวดที่จะต้องตรวจพบ ซึ่งพบว่า

1. ความหนาชิ้นงาน $\frac{1}{4}$ นิ้ว มีความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{4}$ นิ้ว จะต้องเห็นขนาดเส้นลวดเบอร์ BZ 14 เป็นอย่างน้อย

2. ความหนาชิ้นงาน $\frac{3}{8}$ นิ้ว มีความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{4}$ นิ้ว จะต้องเห็นขนาดเส้นลวดเบอร์ BZ 14 เป็นอย่างน้อย

3. ความหนาชิ้นงาน $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีความหนารอยเชื่อม $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$ นิ้ว จะต้องเห็นขนาดเส้นลวดเบอร์ BZ 12, BZ 11 เป็นอย่างน้อย

ดังนั้น พีนีตรามิเตอร์ที่จะใช้จึงมี 2 ชุด คือ ชุดที่มีลวดนัมเบอร์ 6 – 12 และ 10 – 16 เมื่อทำการราดิโอกราฟีแล้ว เห็นลวดตามเบอร์ที่กำหนดแสดงว่าความไวในการตรวจสิ่งบกพร่องดี แต่ถ้าเห็นเส้นลวดเบอร์มากกว่าที่กำหนด แสดงว่าความไวของการทำจะไวมากจนสามารถเห็นสิ่งบกพร่องที่มีขนาดน้อยกว่า 2% ของความหนาได้

รูปการวางรูปแบบของพีนีคราบิเคอร์บนชิ้นงาน

การทำราดิโอกราฟีชิ้นงานด้วยรังสีเอกซ์

ในการทำราดิโอกราฟีหนึ่ง ๆ อุปกรณ์ที่จะต้องใช้ได้แก่

1. อุปกรณ์ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์และอุปกรณ์ควบคุม
2. ชิ้นงานที่จะถ่าย
3. ฟิล์มตรามิเตอร์และ identification marker
4. ฟิล์มรองรับภาพที่เกิดจากการถ่ายราดิโอกราฟี
5. สถานที่ที่จะทำต้องสามารถป้องกันรังสีได้ดี

การทำราดิโอกราฟีชิ้นงานด้วยรังสีเอกซ์นั้น จะถ่ายชิ้นงานความหนาเท่ากันทั้งหมดในแต่ละครั้ง ในกรณีที่มีรอยเชื่อมหนาเท่ากันด้วย ถ้ารอยเชื่อมมีความหนาไม่เท่ากัน การทำราดิโอกราฟีก็จำเป็นต้องแตกต่างกัน จากการเชื่อมชิ้นงานแล้วพบว่า

1. ชิ้นงานขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{4}$ นิ้วทั้ง 4 ชิ้น
2. ชิ้นงานขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{4}$ นิ้วทั้ง 4 ชิ้น
3. ชิ้นงานขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ความหนารอยเชื่อม $\frac{3}{8}$ นิ้ว 3 ชิ้น และ $\frac{5}{8}$ นิ้ว 1 ชิ้น

ดังนั้นก่อนการทำราดิโอกราฟีจึงต้องเปิดเอกซ์โพเชอะกราฟของรังสีเอกซ์ เพื่อหาดูว่าความหนาของรอยเชื่อม $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$ นิ้ว จะต้องใช้ exposure time (mA-min) เท่าไร โดยเลือกใช้โวล์ทเตจค่าหนึ่งที่เหมาะสม ซึ่งพบว่า

ความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{4}$ นิ้ว ใช้ exposure time 2 x 2.5 mA-min ที่ 140 kvp.
ความหนารอยเชื่อม $\frac{3}{8}$ นิ้ว ใช้ exposure time 2 x 6 mA-min ที่ 140 kvp.
ความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{2}$ นิ้ว ใช้ exposure time 2 x 4 mA-min ที่ 180 kvp.

5/8

ค่า mA-min ที่ได้เป็นค่า mA x min เนื่องจากเวลาของเครื่องที่มีอยู่ภายใน 9 นาที จำเป็นต้องเลือกหาเวลาที่เหมาะสม เช่น 4 นาที จะทำให้ได้ค่า mA ที่แน่นอนค่าหนึ่งได้

การกำหนด identification marker ในการถ่ายราดิโอกราฟีจะกำหนดดังนี้

1. ชิ้นงานความหนา $\frac{1}{4}$ นิ้ว กำหนดเป็นครั้งที่ 1
2. ชิ้นงานความหนา $\frac{3}{8}$ นิ้ว กำหนดเป็นครั้งที่ 2
3. ชิ้นงานความหนา $\frac{1}{2}$ นิ้ว. กำหนดเป็นครั้งที่ 3
4. ชิ้นงานที่ใช้ลวดเชื่อม เบอร์ 308 กำหนดเป็น A
5. ชิ้นงานที่ใช้ลวดเชื่อม เบอร์ 308R กำหนดเป็น B
6. ชิ้นงานที่ใช้ลวดเชื่อม เบอร์ 347 กำหนดเป็น C
7. ชิ้นงานที่ใช้ลวดเชื่อม เบอร์ 608 กำหนดเป็น D

ดังนั้นการทำราดิโอกราฟีในครั้งนี้ จึงมี identification marker คือ

ครั้งที่ 1 A, B, C, D ใช้ exposure time 2 x 2.5 mA-min ที่ 140 kvp.
ครั้งที่ 2 A, B, C, D ใช้ exposure time 2 x 2.5 mA-min ที่ 140 kvp.
ครั้งที่ 3 A, C, D ใช้ exposure time 2 x 6 mA-min ที่ 140 kvp.
ครั้งที่ 3 B ใช้ exposure time 2 x 4 mA-min ที่ 180 kvp.

ระยะทางจากแหล่งรังสีไปยังชิ้นงานจะเท่ากับ 2 ฟุต

รูปการทำราดิโอกราฟีด้วยรังสีเอ็กซ์

การทำราดิโอกราฟชิ้นงานด้วยรังสีแกมมา

ในการทำราดิโอกราฟีด้วยรังสีแกมมา อุปกรณ์ที่ใช้คล้ายคลึงกับการทำด้วยรังสีเอ็กซ์ ได้แก่

1. สารรังสีแกมมา และอุปกรณ์ควบคุม
2. ชิ้นงานที่จะถ่าย
3. พีนีตรามิเตอร์และ identification marker
4. ฟิล์มรองรับภาพที่เกิดจากการถ่ายราดิโอกราฟี
5. สถานที่ที่จะทำต้องสามารถป้องกันรังสีได้ดี

วิธีการทำราดิโอกราฟีด้วยรังสีแกมมา จะเหมือนกับการทำด้วยรังสีเอ็กซ์เกือบทุกประการ ยกเว้นแต่ ต้นกำเนิดรังสีและอุปกรณ์ควบคุม, เอ็กซ์โพเชอะกราฟที่ใช้ในการทำเท่านั้น

เมื่อเปิดเอ็กซ์โพเชอะกราฟของ Ir-192 ที่ใช้ในการทำราดิโอกราฟีของความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$ นิ้ว โดยมีระยะทางจากแหล่งกำเนิดรังสีไปยังฟิล์ม 2 ฟุต จะได้ exposure time สำหรับชิ้นงานขนาดต่าง ๆ ดังนี้

ความหนารอยเชื่อม $\frac{1}{4}$ นิ้ว	ใช้ exposure time	47	คูรี-นาที
ความหนารอยเชื่อม $\frac{3}{8}$ นิ้ว	ใช้ exposure time	54	คูรี-นาที
ความหนารอยเชื่อม $\frac{5}{8}$ นิ้ว	ใช้ exposure time	72	คูรี-นาที

การทำราดิโอกราฟีของชิ้นงานขนาด $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$ นิ้ว เมื่อ 1 สิงหาคม 2523
การทำราดิโอกราฟีของชิ้นงานขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว เมื่อ 1 กันยายน 2523

เนื่องจากความแรงของ Ir-192 ตอนเริ่มต้นเมื่อตุลาคม 2522 จะ = 40 Ci

ดังนั้นความแรงของ Ir-192 เมื่อ 1 สิงหาคม 2523 จะ = 2.2 Ci

1 กันยายน 2523 จะ = 1.5 Ci

(โดยคิดจากสูตร $A = A_o e^{-0.693\ t/T_{\frac{1}{2}}}$ เมื่อ A, Ao = ความแรงของสารรังสี เวลาใด ๆ และเริ่มตนตามลำดับ

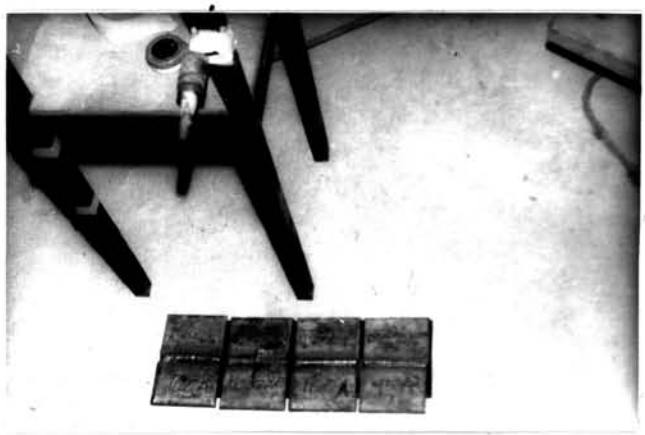
t = เวลาจากตอนเริ่มต้นจนถึงเวลาสุดท้าย

$T_{\frac{1}{2}}$ = ครึ่งชีวิตของสารรังสีหรือ 74 วันเมื่อเป็น Ir-192)

ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการทำราดิโอกราฟีด้วยรังสีแกมมา

ชิ้นงานขนาด	$\frac{1}{4}$	นิ้ว	ความหนารอยเชื่อม	$\frac{1}{4}$	นิ้ว	จะใช้เวลา	$\frac{47}{1.5}$	= 31.3	นาที
"	$\frac{3}{8}$	"	"	$\frac{1}{4}$	"	"	$\frac{47}{2.2}$	= 21.4	"
"	$\frac{1}{2}$	"	"	$\frac{3}{8}$	"	"	$\frac{54}{2.2}$	= 24.5	"
"	$\frac{1}{2}$	"	"	$\frac{5}{8}$	"	"	$\frac{72}{2.2}$	= 32.7	"

รูปการทำราดิโอกราฟีด้วยรังสีแกมมา



การล้างฟิล์ม

หลังจากการทำราดิโอกราฟีด้วยรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมาเสร็จแล้ว ฟิล์มที่ได้จากราดิโอกราฟีจำนำมาล้างเพื่อดูผลที่เกิดขึ้น การล้างฟิล์มในการวิจัยครั้งนี้จะไม่ใช้ stop bath หรือกรดอาซิติก แต่มีขั้นตอนล้างด้วยน้ำหลังจากน้ำยาล้างฟิล์มแทน

ขั้นตอนในการล้างฟิล์มจะเป็นดังนี้

1. จุ่มฟิล์มลงในน้ำยาล้างฟิล์มเป็นเวลา 5 นาที
2. เสร็จจากน้ำยาล้างฟิล์มจุ่มฟิล์มลงในน้ำสะอาดทันที 2 นาที
3. เสร็จจากล้างฟิล์มด้วยน้ำสะอาดจุ่มฟิล์มลงในฟิกเซอร์ทันที 6 นาที
4. เสร็จจากฟิกเซอร์ล้างฟิล์มด้วยน้ำสะอาดอีก 20 นาที
5. เป่าฟิล์มให้แห้งเป็นเวลา 15 นาที

รายละเอียดของการล้างฟิล์มจะปรากฏอยู่ในทฤษฎีเป็นส่วนมาก ส่วนที่อยู่ในบทนี้เป็นการล้างฟิล์มเฉพาะที่ทำการวิจัยเท่านั้น

การอ่านผลของฟิล์ม

ฟิล์มที่ได้หลังจากล้างแล้ว จะนำมาส่องด้วยไฟฟลูออเรสเซนต์ เพื่ออ่านผลจากการถ่ายรังสี โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำฟิล์มมาส่องด้วยไฟฟลูออเรสเซนต์ เพื่อให้เห็นชัดเจนแต่ถ้าฟิล์มเห็นได้ชัดเจนอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องนำมาส่องด้วยไฟฟลูออเรสเซนต์

2. ตรวจดูว่าเห็นเส้นลวดของพีนีตรามิเตอร์ ตามที่คาดคิดไว้หรือไม่ ถ้าเห็นตามที่คาดไว้แสดงว่า สิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้นจะมีขนาดอย่างน้อย 2 % ของความหนาชิ้นงาน แต่ถ้าเห็นเส้นลวดของพีนีตรามิเตอร์เล็กกว่าที่คาดไว้ยอมแสดงว่าวิธีราดิโอกราฟีในครั้งนี้ให้ผลได้ดีมากกล่าวคือ สามารถตรวจสิ่งบกพร่องที่มีขนาดน้อยกว่า 2 % ของความหนาชิ้นงานได้ ในทางกลับกันถ้าเห็นเส้นลวดของพีนีตรามิเตอร์ใหญ่กว่าที่คาด สิ่งบกพร่องที่เห็นย่อมมีขนาดมากกว่า 2 % ของความหนาชิ้นงาน

3. ตรวจดูสิ่งบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน เพื่อวิเคราะห์ดูว่าเป็นผลเกิดมาจากอะไร อันตรายแค่ไหน

การทำวิธีการมัคโคร

เมื่อทราบว่าลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดไหนที่ให้ผลดีที่สุดและเสียที่สุด (โดยทราบจากวิธีการราดิโอกราฟี) แล้ว นำเอาชิ้นงานทั้ง 3 ความหนาที่เชื่อมด้วยลวดเบอร์ที่ให้ผลดีที่สุดและเสียที่สุด มาตัดขวางเพื่อดูแนวหรือผลของรอยเชื่อมโดยวิธีการมัคโคร ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตัดชิ้นงานทั้ง 3 ความหนาที่เชื่อมด้วยลวดเบอร์ที่ให้ผลดีที่สุดและเสียที่สุด
2. ต้มชิ้นงานที่ตัดได้ในกรดเกลือเข้มข้น 50% เป็นเวลาพอสมควร (ไม่เกิน 15 นาที)
3. นำชิ้นงานที่ต้มในกรดเสร็จแล้วมาล้างด้วยน้ำ และทำให้แห้ง เพื่อดูผลของรอยเชื่อม ถ้ายังไม่เห็นโครงสร้างหรือแนวอย่างชัดเจนก็สามารถต้มซ้ำอีกได้