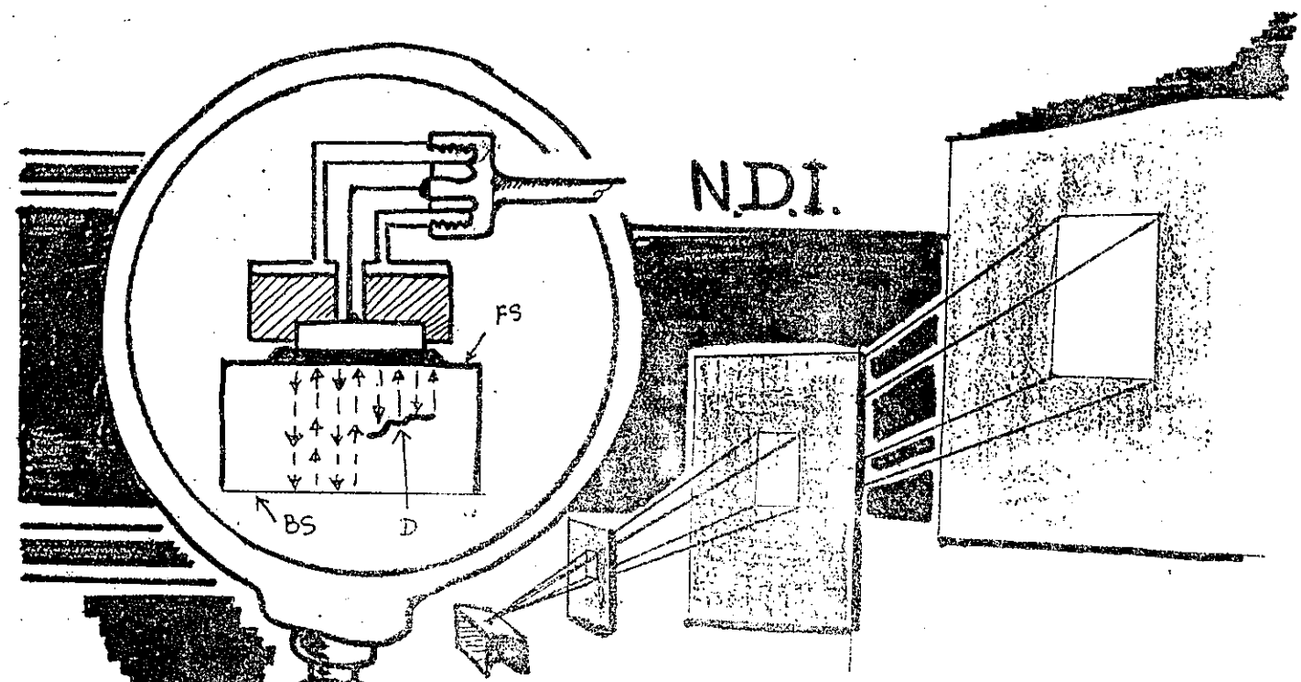


วิธี...

การตรวจสอบรอยร้าว

โดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ

(NONDESTRUCTIVE INSPECTION METHOD)

รร.เหล่าทหารช่างอากาศที่ ๒๑.๒๐.

แนวการศึกษา

หลักสูตรนายทหารช่างอากาศ

วิชา การตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ (NONDESTRUCTIVE INSPECTION METHOD)

ความมุ่งหมาย เพื่อศึกษาถึงชนิด ลักษณะของความไม่สมบูรณ์และรอยตำหนิให้สามารถจดจำข้อดีและข้อเสียของการตรวจแต่ละแบบ

เอกสารอ้างอิง T.O. 33 B - 1 - 1

NONDESTRUCTIVE TESTING HANDBOOK (MC MASTERS)

ฯ ล ฯ

หลักการเบื้องต้น

๑. กล่าวโดยทั่วไป

ก. สิ่งสำคัญ ๆ ของการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุแบบต่าง ๆ นั้น ได้แก่

๑.๑ วิธีการที่ใช้การตรวจหรืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจ

๑.๒ การตรวจโดยใช้เครื่องมือตรวจสอบที่เหมาะสม

๑.๓ การแปล กลับไปอยู่ในรูปที่เหมาะสมเพื่อตีความหมาย

๑.๔ การตีความหมายของสิ่งที่ตรวจพบ

ข. ในบางกรณีอาจมีสิ่งอื่นที่จะต้องนำมาร่วมในการพิจารณา ได้แก่ สิ่งที่รู้ ๆ กันอย่างดีแล้วในหมู่ช่าง และคำจำกัดความของศัพท์เทคนิคของวิชานี้

๒. ศัพท์เทคนิค

เมื่อมีการถกปัญหาเกี่ยวกับการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ สิ่งที่เกี่ยวข้องอย่างมากได้แก่ คำศัพท์และความหมายที่จะใช้เพื่อเกิดความเข้าใจและมีความหมายเกี่ยวข้องกัน คำต่อไปนี้เป็นศัพท์บางคำที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป

INDICATION เครื่องหมาย เป็นสิ่งที่ทิ้งไว้ให้สามารถเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า อาจเนื่องมาจากผลของการตรวจที่อยู่ในรูปของการจัดตัวกันของผงเหล็กขณะที่ทำการตรวจด้วยวิธีใช้สารแม่เหล็กอยู่ในรูปของสารเรืองแสงภายใต้แสงมืดขณะที่ทำการตรวจด้วยวิธีใช้น้ำยาเรืองแสง อยู่ในรูปของสีแห้งตามรอยร้าวขณะที่ทำการตรวจด้วยวิธี ดายเพนเนแต้น อยู่ในรูปของแสงในหลอดคาโทด ที่อ่านค่าได้ขณะที่ทำการตรวจด้วยวิธี อัลตราโซนิค อยู่ในรูปของฟิล์มเอกซ์เรย์ ขณะที่ทำการตรวจด้วยการฉายรังสี เครื่องหมายที่ปรากฏอยู่นั้นไม่ใช่จะชี้ว่าเป็นรอยบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์ของชิ้นงานเสมอไป อาจเกิดจากการปฏิบัติไม่ถูกต้อง การที่ได้เครื่องหมายมาผิด ๆ ทำให้เกิดการเข้าใจผิดต่อชิ้นงานที่ทำการตรวจทดลองนั้น เครื่องหมายรูปแปลก ๆ ที่ปรากฏมาจากการตรวจแต่ละแบบนั้น จะได้กล่าวในรายละเอียดขณะที่กำลังศึกษาวิธีการนั้น ๆ ต่อไป

DISCONTINUITY ความไม่สมบูรณ์ เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปร่างปกติของโครงสร้างทางฟิสิคส์ของชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างของความไม่สมบูรณ์ได้แก่ CRACKS, LAPS, SEAMS, INCLUSIONS, POROSITY และสิ่งอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้าย ๆ กันนั้น ความไม่สมบูรณ์นี้อาจเป็นชนิดหรือใหญ่มากปนอยู่ในเนื้อโลหะก็ได้

DEFECT รอยตำหนิ (ข้อบกพร่อง) เป็นความไม่สมบูรณ์อย่างหนึ่งซึ่งขัดต่อการใช้งานของวัตถุชิ้นนั้น ความไม่สมบูรณ์ที่ปรากฏอยู่นั้นจะจัดว่าเป็นรอยตำหนิหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับประวัติการใช้งานของวัตถุนั้น ๆ การได้รับแรงเค้นมากหรือน้อย ตำบลที่วัตถุนั้นถูกนำไปใช้งาน และการเปรียบเทียบกับความไม่สมบูรณ์ในรูปอื่น ๆ

หมายเหตุ เป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ให้ถูกต้องเสียก่อนว่า INDICATION ที่พบนั้นอาจไม่ได้หมายความว่าต้องเป็น DISCONTINUITY เสมอไป DISCONTINUITY ก็ไม่จะเป็นจะต้องเป็น DEFECT และการตรวจพบว่ามี DISCONTINUITY ก็ไม่ใช่สิ่งที่จะนำมาพิจารณาว่าชิ้นงานนั้นใช้ไม่ได้หรือต้องจำหน่ายเสมอไป

FORROUS หมายถึงสารเหล็ก โลหะผสมที่มีเหล็กเป็นสารผสมหลักเรียกว่า FERROUS METALS

NONFERROUS METALS คือโลหะผสมที่มีธาตุอื่นผสมเป็นหลักอยู่มากกว่าธาตุเหล็ก โลหะผสมเหล่านี้รวมถึง อลูมินั่ม. แมกนีเซียม, ทองแดง, สังกะสี, ทอง ฯลฯ

๓. สาเหตุของการเกิดรอยตำหนิ

เพื่อที่จะให้เข้าใจถึงสาเหตุของการเกิดรอยตำหนิ จะเป็นที่จะต้องรู้ถึงกรรมวิธีการแปรสภาพของสินแร่ต่าง ๆ ในโรงถลุงแร่จนกลายเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ รู้ถึงกรรมวิธีผลิตและการประดิษฐ์สิ่งต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม จะช่วยให้เข้าใจปัญหาที่จะต้องทำการตรวจได้ดีขึ้น

การรู้ว่าชิ้นงานนั้น ๆ สร้างมาจากกรรมวิธีอะไร ทำให้ผู้ทำการตรวจทราบประวัติของชิ้นงานนั้นดีขึ้น เพื่อจะได้หาจุดอ่อนได้ง่ายและสามารถตีความหมายของความไม่สมบูรณ์ที่ตรวจพบได้ถูกต้อง

ความไม่สมบูรณ์และรอยตำหนิ

๑. ชนิดของรอยตำหนิ ชิ้นส่วนต่าง ๆ อาจถูกใช้หรือถูกแผนแบบมาอย่างเหมาะสม แต่ก็อาจเกิดข้อบกพร่องขึ้นได้ เช่น การถูกแรงเค้นเพิ่มขึ้น ๆ จนวิเคราะห์สของมันแตกแยกออก รอยตำหนิต่าง ๆ ที่ตรวจพบด้วยกรรมวิธีของการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุนั้น สามารถแบ่งออกเป็นสามชนิดใหญ่ ๆ ตามสาเหตุและการกำเนิดของมันดังนี้ คือ INHERENT DEFECTS, PROCESSING DEFECTS และ SERVICE DEFECTS

๑.๑ INHERENT DEFECTS รอยตำหนิตามธรรมชาติ, เป็นรอยตำหนิที่เกิดขณะโลหะหลอมละลายและเริ่มการแข็งตัวเป็นแท่งของโลหะ ขณะที่ทำการเทโลหะฟองแก๊สและขี้โลหะอาจเข้าไปรวมอยู่ในแท่งโลหะนั้น ถ้าทำให้หลุดออกไปไม่ได้มันก็จะเป็นตัวทำให้ชิ้นส่วนที่ทำมาจากโลหะแท่งนั้นเสีย

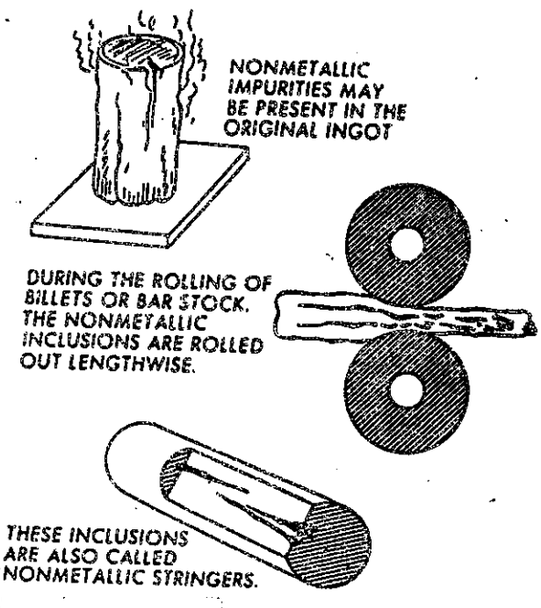
ค่าความแข็งแรงไปเนื่องจากมีฟองแก๊สและสิ่งโลหะอยู่ในนั้น อย่างน้อย ๆ ความไม่สมบูรณ์ที่รวมอยู่ในแท่งโลหะจะตรวจพบได้ภายหลังจากที่ผลิตชิ้นส่วนสำเร็จเรียบร้อยแล้วก็ได้ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ไม่ได้ทำให้เกิดการแตกร้าวเสมอไป ในทางตรงกันข้าม ส่วนมากของสิ่งเหล่านั้นไม่เป็นอันตรายอะไรเลย และผู้ทำการตรวจที่มีความชำนาญก็สามารถแยกความแตกต่างระหว่างรอยตำหนิที่มีอันตรายและไม่มีอันตรายไว้ได้หมด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นรอยตำหนิตามธรรมชาติที่พบกันเสมอ ๆ ในชิ้นส่วน

ก. INCLUSIONS

เป็นสิ่งสกปรกที่ไม่ใช่โลหะ เช่น SLAG, OXIDES, SULPHIDES และวัตถุคล้าย ๆ กันนั้นผสมอยู่ในแท่งโลหะ ในกรรมวิธี ROLLING เพื่อทำให้โลหะเป็นแผ่นบาง ๆ หรือเป็นแท่ง โลหะจะถูกกลิ้งไปตามยาวทำให้เกิดรอยตามยาวหรือเส้นของโลหะแปลกปลอมขึ้น การทำแท่งโลหะด้วยกรรมวิธี FORGING มักเกิด NONMETALLIC INCLUSION หรือ NONMETALLIC STRINGERS ขึ้นตามรูป ๑

INCLUSION ในแท่งโลหะจะพบเป็นเส้นขนานไปตามแกนยาวของโลหะ มักพบเป็นเส้นละเอียดติด ๆ กันเป็นเส้นสั้น ๆ และอยู่เป็นกลุ่ม ๆ มักพบที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ในกรรมวิธี FORGINGS จะพบขนานไปกับแนวของเกรนโลหะ ที่พบเหล่านี้โดยปกติแล้วยังใช้งานได้ ยกเว้นแต่ว่าชิ้นงานนั้นต้องนำไปใช้รับแรงเค้นมากหรือเกิดที่บริเวณสำคัญหรือเกิดมากผิดปกติ

ข. GASHOLES คือรูแก๊สและโพรง เกิดขึ้นจากแก๊สที่ไม่ละลายในขณะที่โลหะหลอมตัวและกลายเป็นช่องขณะที่โลหะนั้นเย็นตัว ขณะที่แท่งโลหะถูกนำไปทำเป็นชิ้นส่วน ช่องว่างของแก๊สเหล่านั้นก็จะเรียวยาวขึ้นและเข้ามาติดกันมากขึ้น เมื่อผลิตชิ้นส่วนสำเร็จแล้วมักพบอยู่ในรูปของรอยทะเข็บหรือการลอกออกเป็นเกล็ด ๆ



รูปที่ ๑ How Nonmetallic Inclusions are Made.

ค. PIPE เกิดจากการยุบตัวของโพรงที่บริเวณผิวหน้าของแท่งโลหะและอาจขยายเข้าไปภายในบ้าง ถ้าไม่กำจัดเสียก่อนที่จะนำไปทำชิ้นส่วน ก็จะทำให้เกิดรอยตำหนิ ทำให้ชิ้นส่วนนั้นเสียหายได้ขณะใช้งาน ถ้าเกิดขึ้นขณะใช้ทำชิ้นส่วนมักเกิดภายใต้ผิว

ง. SEGREGATIONS

เนื้อแท่งโลหะแข็งตัว สารประกอบหรือธาตุต่าง ๆ ก็จะกระจายกันออกไป โดยปกติแล้วจะไม่จัดตัวกันเป็นระเบียบตลอดเนื้อสารนั้น อาจทำให้เกิดรอย SEGREGATIONS ขึ้น เมื่อแท่งโลหะถูกนำไปทำกรรมวิธี FORGING และ ROLLING รอย SEGREGATIONS เหล่านี้จะยาวเรียวขึ้นและมีพื้นที่หน้าตัดลดลง ภายหลังผ่านกรรมวิธีหมดแล้วอาจพบเป็นเส้นบาง ๆ หรือแถบบาง ๆ รู้จักกันในชื่อของ BANDING

SEGREGATIONS ชนิดที่รุนแรงมักพบจากการหล่อโลหะ ซึ่งสภาพเดิมของโลหะผสมยังคงรูปอยู่เมื่อเสร็จสิ้นกรรมวิธีแล้ว และ SEGREGATIONS ที่ปรากฏก็ยังอยู่ในรูปของโลหะเดิม ขนาดอาจแตกต่างกันออกไป แต่รูปร่างมักผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดบนหรือใต้ผิวก็ได้

จ. CASTING DEFECTS

กรรมวิธีของการหล่อก็คือ การหลอมโลหะแล้วเทลงไปในแบบที่มีรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ เช่น ทำเป็นแท่งเหล็กก็ต้องหล่อมาจากการหลอมเหล็กให้บริสุทธิ์ในเตาถลุงเหล็ก รอยตำหนิตามธรรมชาติหลาย ๆ ชนิดมักพบจากการหล่อ COLD SHUNTS มักจะเกิดขึ้นจากการหล่อเมื่อเริ่มเทโลหะลงในแบบ แล้วโลหะนั้นกลับแข็งตัวขณะที่กำลังเทแบบอยู่ซึ่งทำให้มันรวมตัวกันไม่ได้

๑.๒ PROCESSING DEFECTS รอยตำหนิจากกรรมวิธีเกิดขึ้นจากการแต่งหรือขณะทำการประดิษฐ์ รอยตำหนิเหล่านี้แบ่งออกเป็นสองสาเหตุใหญ่ ๆ คือ หนึ่ง จากกรรมวิธีขั้นแรก คือ เมื่อมีรอยตำหนิจากกรรมวิธี CASTING, ROLLING, FORGING และ DRAWING สอง จากกรรมวิธีขั้นสุดท้าย รอยตำหนิอาจเกิดจากการตกแต่งขั้นสุดท้าย เช่นการขัด การอบชุบและการเคลือบ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ก. CRACKS

รอยแตกร้าวอาจขยายตัวขึ้นมาขณะที่ผ่านกรรมวิธี FORGING, ROLLING, DRAWING, BENDING และการเชื่อม ขณะทำกรรมวิธีร้อนมักเกิดการหดตัว ขณะที่โลหะเย็นตัวลงทำให้รอยแยกขยายตัวออกไป รอยแตกจากการหดตัวหรือ HOT TEARS จะเกิดขึ้นขณะโลหะแข็งตัว เนื่องจากการแตกต่างของอุณหภูมิการเย็นตัวและค่าความเค้นทำให้โลหะเกิดแยกตัวออก

ข. FORGING

เป็นกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะโดยให้ความร้อนจนถึงสภาพพลาสติค แล้วทำการตีหรืออัดให้ได้รูปร่างตามแบบที่ต้องการ มักพบรอยตำหนิต่าง ๆ กัน คือ

ข.๑ FORGING LAPS เป็นผลมาจากการที่โลหะถูกพับและอัดที่ผิว เพื่อให้เป็นชิ้นเดียวโดยไม่มีการเชื่อม อาจเนื่องมาจากการคำนวณแบบผิด แบบกว้างเกินไปหรือการสอดชิ้นงานเข้าแบบไม่ถูกต้อง ซึ่งพบได้เสมอ ๆ ขณะทำกรรมวิธี FORGING

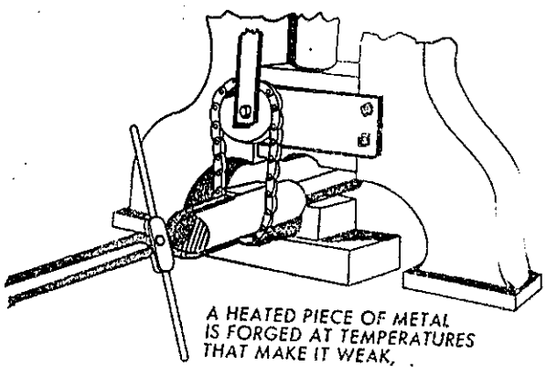
ข.๒ TWIST CRACKS พบเสมอ ๆ ใน CRANKSHAFT FORGING เกิดขึ้นขณะที่เพลาถูกบิดไปยังตำแหน่งต่าง ๆ โดยผ่านคลับลูกปืน มักพบที่บริเวณผิวของส่วนที่ถูกบิด

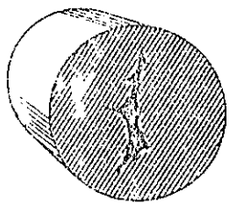
ข.๓ SURFACE TEARS เกิดรอยแยกที่ผิว เนื่องจากความสกปรกและการประกบแบบไม่พอเหมาะ

ข.๔ BURSTS เป็นรอยแยกที่เกิดจากกรรมวิธี FORGING ที่ใช้อุณหภูมิสูงเกินไป มักจะขยายตัวมากขึ้นจากการใช้งาน ส่วนมากเกิดภายใต้ผิว

ข.๕ FLAKES เป็นรอยแยกที่เกิดภายในเหมือนกันพบในโลหะผสมพวกเหล็กเท่านั้น เกิดจากขณะที่เย็นตัว และสามารถตรวจได้โดยใช้วิธีการตรวจแบบสารแม่เหล็ก

ค. ROLLING กรรมวิธีการ ROLLING เหล็กให้เป็นท่อนหรือเป็นแผ่นอาจทำให้เกิดรอยต่างนี้ แต่จะไม่เกิดขึ้นขณะทำเป็นแท่งโลหะตามกรรมวิธีขั้นแรก





รูปที่ ๖ How Forging Bursts are Made.

ค.๑ SEAMS เป็นความไม่สมบูรณ์ของผิว มักเป็นแนวยาว ตรงและขนานไปตามแกนยาวของแท่งโลหะ ดังรูป ๓ , SEAMS เป็นความไม่สมบูรณ์ของเหล็กขณะที่กำลังประดิษฐ์ขึ้นมามีสาเหตุจาก BLOWHOLES , CRACKS , SPLITS และ TEARS ซึ่งความไม่สมบูรณ์ขั้นแรกนี้ต้องกำจัดออกไปในกรรมวิธีต่อ ๆ ไป จนกระทั่งรอยนั้นเล็กที่สุด

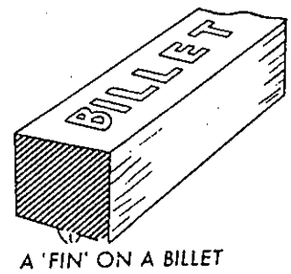
ค.๒ LAMINATIONS เป็นรอยชิดยาว ๆ พบในแผ่นเหล็กหรือชิ้นเหล็กเป็นผลมาจาก GAS INCLUSION หรือ PIPE ใน INGOT

ค.๓ LAPS เป็นรอยคล้าย ๆ กับตะเข็บเกิดเนื่องจากทำกรรมวิธี ROLLING ไม่ถูกต้องตามรูป ๔ ในขณะทำเป็นแท่ง บริเวณมุมอาจพับมากเกินไป หรือเศษเล็ก ๆ ของโลหะถูกบีบออกไปขณะที่กลิ้งไปทำให้ทับแท่งนั้นเกิดเป็นรอยขึ้น มักเป็นรอยตรงและขนานไปตามแนวยาวกับแกนคล้ายตะเข็บแต่มักเกิดที่บริเวณมุมและไม่เกิดที่ผิว

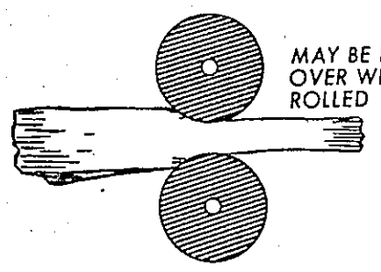
ง. <u>GRINDING CHECKS</u> การเจียผิวแข็ง ๆ บ่อย ๆ จะทำให้เกิดการแตกขึ้นได้คล้ายกับการอบชุบ ซึ่งการแตกแบบนี้จะได้กล่าวต่อไป การเจียจะทำให้เกิดความร้อนสูงเกินไป เมื่อหินเจียไปสัมผัสผิวเร็วเกินไป รอยแตกมักจะเกิดเป็นมุมตั้งฉากกับหินเจีย แม้ว่าโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะพบการแตกแยกของผิวเป็นชิ้น ๆ ดังรูป ๕

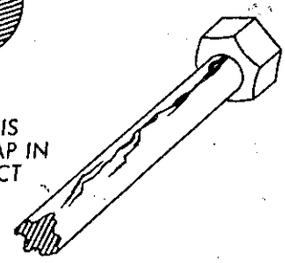
ง.๑ GRINDING CRACKS จะพบเป็นรอยคื้น ๆ แผ่กระจายไปทั่วชิ้นงานและเป็นรอยคมที่รูจานซึ่งมักจะเป็นสาเหตุของการแตกร้าวหรือรอยตำหนิคล้าย ๆ กันนั้น

ง.๒ CASE HARDENED ทำให้ชิ้นส่วนนั้นไม่เหมาะสำหรับการเจียและมักจะทำให้เกิดรอยแตกได้ ถ้าเจียไม่ดีพอ

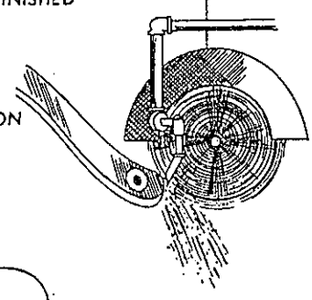


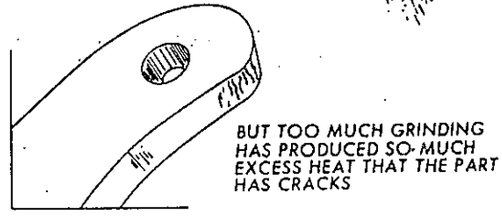
A 'FIN' ON A BILLET





รูปที่ ๔ How Rolling Laps are Made.

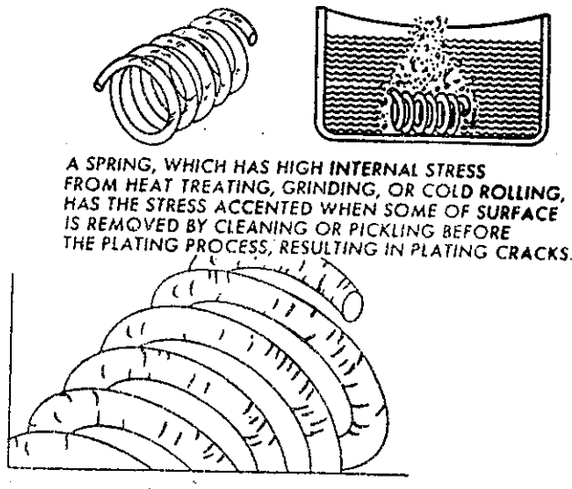




รูปที่ ๕ How Grinding Cracks are Made.

จ. PICKLING AND ETCHING CRACKS

จ.๑ ในการกำจัดคราบสะเก็ดต่าง ๆ ด้วยวิธีเคมี การทำความสะอาดก่อนเคลือบผิว จะทำให้มีไฮโดรเจนเกาะอยู่ที่ผิวนั้น ซึ่งจะก่อให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ขึ้นมาได้ แล้วก็จะขยายใหญ่ขึ้น รอยแตกชนิดนี้อาจเกิดจากการเคลือบผิวโลหะให้แข็งขึ้นด้วยการอบชุบหรือใช้กรรมวิธีเย็น ตัวอย่างได้แก่สปริงตามรูป ๖. จะเกิดรอยแตกเล็กทั่วไป เนื่องจากความเค้นภายในขยายออกมา



รูปที่ ๖ Plating Cracks.

จ.๒ รอยแตกที่อาจเกิดขึ้นหรือขยายตัวออกเมื่อถูกสารเคมีขณะทำความสะอาด หรือขณะเคลือบผิว ซึ่งโดยปกติมักไม่ได้ตรวจสอบ เนื่องจากขณะนั้นยังไม่ปรากฏออกมาหรือมีขนาดเล็กน้อย หรือถูกคราบสะเก็ดปิดไว้ ดังนั้นชิ้นงานที่เคลือบผิวไว้จึงจำเป็นที่จะต้องตรวจทั้งที่ผิวและใต้ผิว

ฉ. MACHINING TEARS

เมื่อชิ้นงานนำไปใช้กับเครื่องมือต่าง ๆ หรือตัดลึกลงไปมาก ๆ โลหะจะไม่แตกออกไปหมด จะมีสิ่งสกปรกและเศษติดอยู่ที่ผิว เมื่อตรวจดูอย่างละเอียดจะพบว่าผิวบริเวณนั้นมีรอยร้าวเล็ก ๆ มากมาย ซึ่งสามารถจัดอยู่ในจำพวกรอยแตกได้ MACHINING TEARS อาจเป็นรอยลึกจนไม่สามารถทำความสะอาดรอยนั้นได้หมด ซึ่งจะปิดไม่ให้แปรงและน้ำยาขัดผิวเพื่อทำความสะอาดจะเข้าไปถึง แต่สิ่งเหล่านี้สามารถตรวจได้ด้วยวิธีการใช้สารแม่เหล็ก

ช. HEAT TREATING ขณะทำการอบชุบโลหะจะถูกเผาแล้วทิ้งให้เย็นลงภายใต้สภาพการควบคุม เพื่อให้โลหะแข็งขึ้นหรือทำให้เกรนโครงสร้างมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ รอยแตกจะเกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นที่มีผลมาจากความร้อนและความเย็น รอยแตกมักเป็นรอยลึกและกระจายออกไปทั่วชิ้นงาน QUENCHING CRACKS มักเกิดกับชิ้นงานที่มีหน้าตัดบาง ๆ หรือตำแหน่งที่โลหะหนาและบางเชื่อมติดกัน รอยแตกแบบนี้มักเป็นอันตรายและควรทำการจำหน่ายเสีย

ข. WELDING การเชื่อม คือ กรรมวิธีการรวมโลหะโดยให้ความร้อนหรือกระแสไฟฟ้า (ประกาย) จนปลายที่ต้องการเชื่อมนั้นละลายรวมเป็นจุดเดียวกัน การเชื่อมโลหะมักจะใช้ลวดเชื่อมเพื่อละลายลงระหว่างช่องว่างของปลายทั้งสองที่ต้องการเชื่อม แล้วทิ้งไว้ให้เย็นลง เมื่อโลหะนั้นกลายเป็นชิ้นเดียวกันแล้ว

ข.๑ SURFACE SHRINK CRACKS เป็นรอยตำหนิที่พบกันเสมอ ๆ ในการเชื่อม มักจะพบโดยผู้ทำการเชื่อมเมื่อยกลวดเชื่อมออกจากรอย จะทำให้เนื้อโลหะบริเวณนั้นบางกว่า ทำให้เย็นและหดตัวได้เร็วกว่าและอาจเกิดรอยแตกขึ้นได้ จะเกิดเป็นรอยแหลมวิ่งออกไปจากศูนย์กลางของจุดนั้น บางครั้งก็เป็นรอยเดียว รอยแตกตามแกนยาวที่ศูนย์กลางของรอยเชื่อมที่อยู่ใกล้กับขอบ สามารถมองเห็นได้ชัด

ข.๒ CRACKS IN PARENT METAL โลหะชิ้นหลักจะพบว่ามีรอยแตกอยู่บ่อย ๆ ที่จุดที่อยู่ชิดกับรอยเชื่อม เมื่อเชื่อมติดกับเหล็กแข็งมาก ๆ รอยแตกนี้เกิดจากแรงเค้นที่เกิดภายในโลหะแล้วขยายตัวออก เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยน

ข.๓ LACK OF FUSION มักจะพบในรอยเชื่อมซึ่งอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะละลายโลหะหลักที่อยู่ชิดกับรอยเชื่อมหรือการให้ความร้อนในการเชื่อมไม่ถูกต้อง ทำให้เนื้อไม่ละลายติดกัน

ข.๔ LACK OF COMPLETE PENETRATION สาเหตุนี้เกิดจากผิวของโลหะที่จะทำการเชื่อม เกิดการแตกก่อนที่เนื้อของลวดเชื่อมจะซึมเข้าไปที่จุดนั้นได้หมดก่อนแข็งตัว

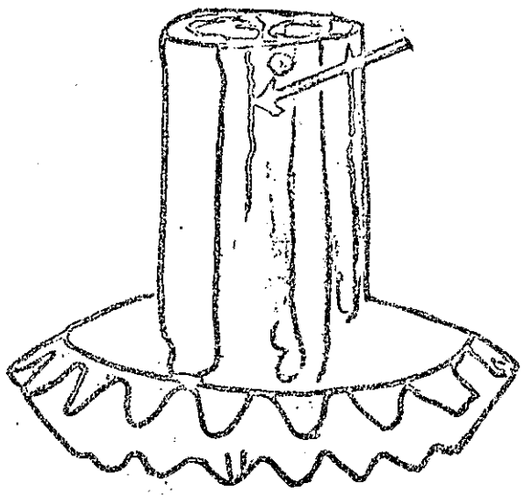
ข.๕ OVERLAPPING เกิดจากการทิ้งให้ปลายของแผ่นโลหะซ้อนกันแต่ไม่ได้ละลายติดกัน

ข.๖ SLAG AND GAS INCLUSION เกิดเนื่องจากความสกปรกขณะที่โลหะเริ่มแข็งตัว

๑.๓ SERVICE DEFECTS รอยตำหนิเนื่องจากการใช้งาน หรือรอยตำหนิจากอาการล้า เป็นรอยแตกที่สำคัญที่สุด สำหรับผู้ทำการตรวจเกี่ยวกับอุปกรณ์ของกองทัพอากาศ ชิ้นอุปกรณ์ที่กำลังใช้งานอยู่อาจมีรอยตำหนิเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากการล้า การไม่สมบูรณ์จากการใช้งาน จะทำให้เกิดรอยร้าวขยายตัวขึ้นขณะได้รับแรงเค้น ปกติจะเป็นรอยแตกชนิดใดชนิดหนึ่งในสองชนิด คือ การแตกเนื่องจากอาการล้าซึ่งเริ่มจากแรงเค้น หรือไม่ก็เกิดรอยแตกจากถูกความเค้นสูง ๆ ซ้ำลงไปบริเวณรอยแตกเดิม รอยแตกจากการใช้งานบางครั้งก็มีสาเหตุมาจากการสร้าง จากโรงงานหรือการถูกกระทำกรรมวิธีต่าง ๆ หลาย ๆ หน

ก. FATIQUE CRACKS ตามรูป ๗ ปกติจะเกิดขึ้นที่บริเวณได้รับแรงเค้นเสมอ ๆ หรือข้าง ๆ บริเวณนั้น รวมทั้งบริเวณรูหล่อลื่น ชิ้นบาง ๆ ข้อต่อ รูสลักและสายบังคับ ปกติบริเวณเหล่านี้แผนแบบไว้ให้รับแรงเค้นตามที่กำหนดไว้ ถ้าคำนวณผิด เช่น รูของหล่อลื่นที่มีขอบคม หรือบางเกินไป จะทำให้เกิดแรงเค้นสูงกว่าที่คาดไว้ ไม่ช้าไม่นานก็จะเกิดความไม่สมบูรณ์ขึ้นที่บริเวณนั้น ทำให้แตกออกเนื่องจากการล้าได้

ข. FATIQUE FAILURE จะขยายตัวออกไปจากอนุภาคเล็ก ๆ ที่มันเริ่มต้นทำให้เกิดรอยร้าว และจะขยายออกไปเรื่อย ๆ เมื่อได้รับแรงเค้นซ้ำ ๆ กัน การขยายตัวจะดำเนินต่อไปจนที่สุดหน้าตัดของวัตถุนั้นลดลงจนถึงขั้นการแตกออกเมื่อได้รับแรงเพียงเล็กน้อย เมื่อมีรอยร้าวปรากฏขึ้น มันก็จะขยายเพิ่มขึ้นด้วยแรงเค้นจากรอยแตกของมันเอง เป็นที่น่าสังเกตุว่า อัตราการขยายตัวของรอยแตกจะเปลี่ยนไปตามภาพของแรงเค้น บางขณะรอยแตกจะขยายตัวช้า ดูได้จากสลักลูกสูบที่มีรอยร้าวอยู่ แล้วก็ยังใช้งานได้ต่ออีกหลายชั่วโมง ทั้ง ๆ ที่ได้รับแรงเค้นสูง ผิดกับโลหะที่เปราะเมื่อมีรอยร้าว อาจหักได้ในทันที



รูปที่ ๗ Fatigue Crack in Pinion Shank.

ค. ขณะที่รอยร้าวในชิ้นส่วนสามารถซ่อมแซมได้อย่างน่าพอใจนี่เอง การตรวจหารอยร้าวในขณะที่การซ่อมบำรุงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุด ขณะที่ บ.ทำการบิน ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วและชิ้นส่วนของลูกสูบเครื่องยนต์ การสั่นสะเทือนของอากาศยานทำให้โครงสร้างได้รับแรงเค้นซ้ำ ๆ กัน อัตราและขนาดของแรงเค้นขณะที่ทำการบินจะเปลี่ยนไปตามเหตุการณ์ เช่นจะมีความเค้นสูงมากขณะที่เครื่องบินขึ้น ดำดิ่ง และถูกกระแสลมปะทะ สภาพของแรงเค้นนี้จะทำให้เกิดความล้าในชิ้นส่วนต่าง ๆ อาจทำให้ชิ้นส่วนนั้นแตกออกเนื่องจากแผลแบบไว้ไม่ดีหรืออะไร ๆ ทำนองนั้น ในทำนองเดียวกัน รอยบกพร่องที่ตรวจพบในชิ้นส่วนควรทำการประเมินค่าที่ตามต่อไปเพื่อหาอันตรายต่าง ๆ ที่มีอยู่ในนิวเคลียสของโลหะเพื่อกันการเกิดการแตกร้าวจากการล้า

ง. อาจกล่าวได้ว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นที่อนุภาพเล็กๆ ภายในนั้นสามารถตรวจพบได้ด้วยวิธีใช้สารแม่เหล็กทันทีที่รอยร้าวนั้นมีความยาว เช่น รอยร้าวยาว ๑/๔" อาจทำให้ผู้ตรวจสงสัย เนื่องจากเครื่องหมายที่ปรากฏนั้นเล็กมาก การตรวจจึงต้องละเอียดมาก กล่าวถึงว่ารอยแตกเนื่องจากการล้าของชิ้นส่วนนั้น ควรจำหน่ายชิ้นส่วนนั้นเสีย ยกเว้นชิ้นส่วนนั้นสามารถซ่อมได้ โดยที่อย่างหนึ่งที่รอยแตกเนื่องจากการล้าสามารถตรวจได้ในทิศทางที่สัมพันธ์กับการให้แรงเค้น เช่น รอยตำหนิของเพลาก็อกะเช็บจะมีแนวไปตามเกรนของมัน แต่รอยร้าวจะพบในทิศทางตรงข้ามกับแนวของเกรน

จ. รอยร้าวยาวในเพลาของเฟือง ตามรูป ๗ เป็นตัวอย่างหนึ่งของรอยร้าวจากการล้า ซึ่งเริ่มมีรอยร้าวมาจากขอบของข้อต่อบนศูนย์กลางด้านใน แล้วขยายความหนาของเพลาออกมา

๑.๔ <u>ความสัมพันธ์ของความไม่สมบูรณ์กับอาการล้าของโลหะ</u> ควรพิจารณาสภาพเหล่านี้เพราะเป็นตัวเกี่ยวข้องกับอาการล้า

ก. <u>บริเวณผิวหรือใต้ผิว</u> รอยไม่สมบูรณ์บนผิวของโลหะพบได้ง่ายกว่าที่อยู่ใต้ผิวโลหะ รอยตำหนิใต้ผิวแสดงถึงอันตรายที่เพิ่มขึ้นเมื่อมันปรากฏขึ้นมาที่ผิว รอยร้าวที่พบบนผิวที่รุนแรงที่สุดได้แก่ รอย CRACKS, LAPS และ SEAMS

ข. <u>ความยาว</u> รอยตำหนิยาว ๆ จะตรวจพบได้ง่ายกว่ารอยสั้น ๆ ควรจำไว้ว่ารอยร้าวจากเครื่องมือ เมื่อทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ขึ้นที่อนุภาคของเกรนเมื่อมีแรงเค้นมากระทำก็ทำให้นิวเคลียสของโลหะนั้นแตกแยกได้

ค. <u>ความลึก</u> ความไม่สมบูรณ์ที่ปรากฏขึ้นที่ผิวมักเพิ่มขึ้นเนื่องจากความลึก อย่างไรก็ดี เนื่องจากรอยร้าวที่เกิดจากการล้ามักเกิดที่ผิวก่อน อาจไม่ทราบความลึกจนกระทั่งชิ้นวัสดุนั้นแตกแยกออกแล้วจึงตรวจพบภายหลัง

ง. <u>การกระจาย</u> ความไม่สมบูรณ์ ถ้าพบรวมกันอยู่เป็นแนวหรือเป็นเส้นจะมีอันตรายมากกว่าที่แยกตัวหรือกระจัดกระจายกันออกไป เนื่องจากการรวมตัวกันทำให้ดูเป็นรอยตำหนิใหญ่รอยเดียว

จ. <u>ตำแหน่งที่เกิด</u> ความไม่สมบูรณ์เมื่อเกิด ณ ตำบลที่รับแรงเค้นสูงจะเป็นอันตรายได้มากกว่าตำบลที่รับแรงเค้นต่ำ ถ้าขยายออกไปยังรู มุมเพลา บริเวณของ ร่องหรือบริเวณที่มีแรงเค้นเข้าไปเกี่ยวข้องมากก็จะมีเครื่องหมายแสดงให้เห็นชัด

ฉ. <u>หน้าที่ของชิ้นส่วน</u> ชิ้นส่วนที่ถูกแรงเค้นมาก ๆ มักพบว่าเกิดความเสียหายได้มากกว่าชิ้นที่ไม่ได้รับแรง เมื่อพบรอยของความไม่สมบูรณ์บนเพลาหรือเฟืองเกียร์ที่รับแรงสูง ๆ ก็เป็นสัญญลักษณ์ให้ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนนั้นแล้ว

<u>หลักการทั่วไปของการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ</u>

ความมุ่งหมายของการศึกษาวิชาการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุก็เพื่อให้ทราบถึงเทคนิคของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจ และเพื่อให้ทหารช่างอากาศที่จะต้องรับผิดชอบในการตรวจชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของกองทัพอากาศเลือกใช้เจ้าหน้าที่ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งศึกษาถึงการเตรียมชิ้นส่วนเพื่อทำการตรวจ กรรมวิธีการปฏิบัติในการตรวจแบบ OPTICAL INSPECTION, MAGNATIC PARTICLE, PENETRANT, ULTRASONIC, EDDY CURRENT และ RADIOGRAPHIC INSPECTION ชนิดสาเหตุ คุณลักษณะของความไม่สมบูรณ์และรอยตำหนิ สภาพที่จำเป็นต้องทำการตรวจรอยร้าว การตีความหมายและประเมินค่าของเครื่องหมายที่ตรวจพบด้วยวิธีต่าง ๆ

ในระหว่าง ๓๐ ปีที่ผ่านมานี้เราได้พบว่ามีการเพิ่มการใช้ อุณหภูมิ ความดันและความเร็วสูงขึ้นเป็นอัตราที่คงที่อยู่ตลอดเวลา สิ่งเหล่านี้เองเป็นสาเหตุให้เกิดแรงเค้นสูงขึ้นและทำให้โลหะและอุปกรณ์ต่าง ๆ เสียหายมากขึ้น เมื่อมีความเร่งต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ในอุตสาหกรรมบางอย่างก็อาจเกิดการบาดเจ็บและล้มตายต่อผู้ที่ปฏิบัติงานกับชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่มีการแตกร้าวอยู่ภายในก่อนแล้ว

จนกระทั่งถึงปี ๑๙๒๐ การตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุก็ถูกนำมาใช้ในงานที่แยกไว้ต่างหากเป็นพิเศษ แต่ผลการตรวจไม่ละเอียดพอ ชิ้นงานที่สำคัญ ๆ จะถูกทดสอบโดยใช้น้ำหนักถ่วง บางทีก็ถ่วงน้ำหนักมากเกินไป ผลที่ได้รับจากการทดลองก็จะกลายเป็นว่า ถ้าชิ้นงานหรือโครงสร้างสามารถรับแรงในแกนเดียวนี้ด้วยน้ำหนักขนาดนั้นได้ ชิ้นงานนั้นก็จะปลอดภัยเพียงพอที่จะนำไปใช้ราชการได้

ในปัจจุบันนี้ เราทราบแล้วว่าแรงหรือน้ำหนักในแกนเดียวนี้ไม่เป็นการเพียงพอ มีชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่ได้รับแรงซ้ำ ๆ หรือกลับไปกลับมาอยู่เช่นนั้นตลอดเวลา อาจทำให้การแตกร้าวขยายตัวออกไป ทำให้เกิดรอยร้าวใหญ่ขึ้นจนในที่สุดพื้นที่หน้าตัดที่เหลืออยู่ไม่สามารถจะรับแรงได้ต่อไป ชิ้นส่วนก็จะแตกออก การขยายตัวของรอยร้าวแบบนี้เรียกว่า FATIGUE FAILURE รอยร้าวแบบนี้สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีแรงเค้น ๓๐ ถึง ๔๐ เปอร์เซนต์ ต่ำกว่าแรงสูงสุดของโลหะที่ใช้ทำชิ้นงานนั้น

ผู้แผนแบบในปัจจุบันนี้ใช้ STRESS ANALYSIS ในการทดลอง โดยการหาค่าความเปราะของผิวเคลือบ หรือค่าความต้านทานจาก STRAIN GAGES เพื่อให้ได้การแผนแบบที่ส่วนและโครงสร้างที่ดีที่สุด การตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุได้ถูกนำมาใช้ตรวจชิ้นส่วนต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนเหล่านั้นจะไม่มีรอยตำหนิที่จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการล้าในเนื้อจนร้าวได้ เฉพาะชิ้นงานที่ต้องการคุณภาพเท่านั้นที่ผ่านการตรวจด้วยวิธีนี้ แต่การแตกร้าวก็มิได้จำกัดอยู่เฉพาะชิ้นส่วนของเครื่องจักรเท่านั้น

ได้กล่าวมาแล้วว่าการแตกร้าวอาจขยายตัวออกไป เนื่องจากการแผนแบบไม่ถูกต้องหรือเกิดจากรอยตำหนิในโลหะที่ใช้ทำชิ้นงาน การขยายตัวของสาเหตุทั้งสองนี้เอง อาจทำให้เกิดการแตกร้าวในชิ้นส่วนที่แผนแบบมาแล้วอย่างดีและได้รับการตรวจด้วยคลื่นเสียงอย่างเหมาะสมแล้วก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าบางครั้งชิ้นส่วนได้รับแรงถ่วงมากเกินไป โดยที่ผู้แผนแบบไม่ได้คำนวณเผื่อไว้ แรงเกินเกณฑ์เหล่านี้อาจเกิดจากการใช้งานหรือรอยร้าวในส่วนประกอบของระบบที่มีผลทำให้แรงเปลี่ยนไป การตรวจรอยร้าวต่อชิ้นส่วนที่กำลังใช้งานระยะเวลาก็เพื่อหารอยแตกร้าวที่กำลังปรากฏขึ้นก่อนที่มันจะถึงขั้นการแตกหรือแยกตัวของชิ้นส่วน

การตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุเป็นวิธีการขั้นแรกในงานอุตสาหกรรม เพื่อจะลดราคาการผลิต เพิ่มคุณภาพของสินค้าและคงค่าของคุณภาพให้อยู่ในระดับเดียวกัน ทำให้มีบทบาทในการแข่งขันเพื่อชิงตำแหน่งของโรงงานอุตสาหกรรมขึ้น การขยายตัวอย่างรวดเร็วของการตรวจระบบร้าวแบบนี้ เนื่องมาจากความต้องการของวงการอุตสาหกรรม ที่จะพัฒนาคุณภาพและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความต้องการในสนามของ บ.เจ็ต จรวด และพลังนิวเคลียร์ ทุกวันนี้ความต้องการก็จะเพิ่มมากขึ้น ๆ ตามวัตถุเหล่านี้

จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ผู้ที่ผ่านการอบรมแล้ว เพื่อทำการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ ซึ่งเข้าใจหลักการและกรรมวิธีการตรวจแบบต่าง ๆ กัน ทั้งผู้ปฏิบัติจะต้องไม่คลุมเครือถึงชีดความสามารถของการ

ตรวจแบบนี้ที่จะต้องเพิ่มขึ้นอย่างมากตามความก้าวหน้าของกองทัพอากาศ ที่สำคัญก็คือ จะต้องรู้ถึงข้อดี ข้อเสีย และขีดจำกัดของเทคนิคของวิธีการแต่ละแบบแต่ละชนิด เพื่อจะได้เลือกใช้อย่างเหมาะสม

สำหรับการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ ที่จะได้กล่าวต่อไปนี้ มีวิธีการอยู่ตามหัวข้อต่าง ๆ คือ

๑. OPTICAL INSPECTION

๒. PENETRANT INSPECTION

๓. MAGNETIC PARTICLE INSPECTION

๔. ULTRASONIC INSPECTION

๕. EDDY CURRENT INSPECTION

๖. RADIOGRAPHY

<u>การตรวจด้วยสายตา</u> (OPTICAL INSPECTION)

การตรวจด้วยสายตา เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดของการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ เป็นวิธีที่เร็วและประหยัดมาก เพื่อหารอยร้าวเล็ก ๆ ก่อนที่มันจะขยายตัวออกไปจนชิ้นวัสดุแตก วิธีการนี้จะมีประโยชน์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์ของช่างผู้ตรวจ ที่จะต้องรู้ว่าจะหารอยร้าวในโครงสร้างได้อย่างไร และต้องจำบริเวณที่รอยร้าวถูกพบเสมอ ๆ

รอยตำหนิที่ไม่สามารถตรวจพบด้วยตาเปล่าสามารถตรวจพบได้ด้วย เครื่องช่วยสายตา เครื่องช่วยสายตานี้ใช้เพื่อ .-

๑. ขยายรอยตำหนิที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า

๒. ทำให้สามารถมองเห็นบริเวณซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้

การตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุด้วยวิธีการตรวจด้วยสายตา คือการใช้เครื่องช่วยสายตาเพื่อขยายหรือหารอยตำหนิชนิดต่าง ๆ บนผิวของวัสดุก่อนที่จะขยายตัวออกไปถึงขั้นแตกหรือหัก เครื่องช่วยสายตาที่ใช้ในการตรวจ หมายถึง แว่นขยาย (MAGNIFYING GLASS มีกำลังขยายอย่างน้อย ๑๐ เท่า), BORESCOPES และ MICROSCOPES (STEREOZOOM)

<u>MAGNIFYING GLASSES</u>แว่นขยายใช้เพื่อตรวจรอยร้าวและรอยขนาดเล็ก ๆ เมื่อทำการตรวจอย่างใกล้ชิด มีอยู่หลายแบบ แบบที่ใช้ในการตรวจรอยตำหนิ ชนิดที่มีกำลังสูงต้องใช้ด้วยความระวังมาก เพราะว่ายิ่งเพิ่มการมองเห็นได้ไวก็จะลดพื้นที่การมองเห็นให้น้อยลง

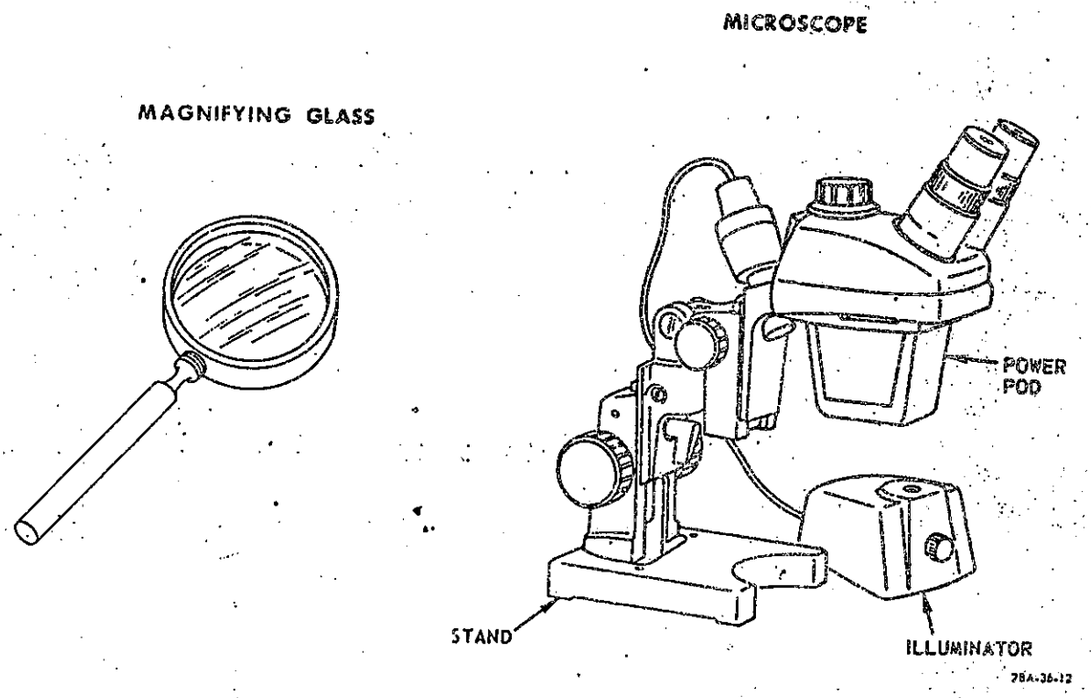
ปกติแล้วแว่นขยายใช้สำหรับตรวจรอยตำหนิที่พบอยู่แล้วจากการตรวจโดยวิธี NDI อื่น ไม่ใช่ใช้สำหรับหารอยตำหนิ

BORESCOPES บอสโคปเป็นเครื่องช่วยสายตาที่ให้ผลอย่างแน่นอน มีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ภายในตัวเอง มีใช้ในรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน ใช้สำหรับตรวจภายในผิวและรูที่สายตาเรามองเข้าไปไม่เห็น แผ่นแบบมาใช้ในรูปร่างและขนาดต่าง ๆ ตามความเหมาะสมกับงานและชิ้นส่วนที่จะรับการตรวจ

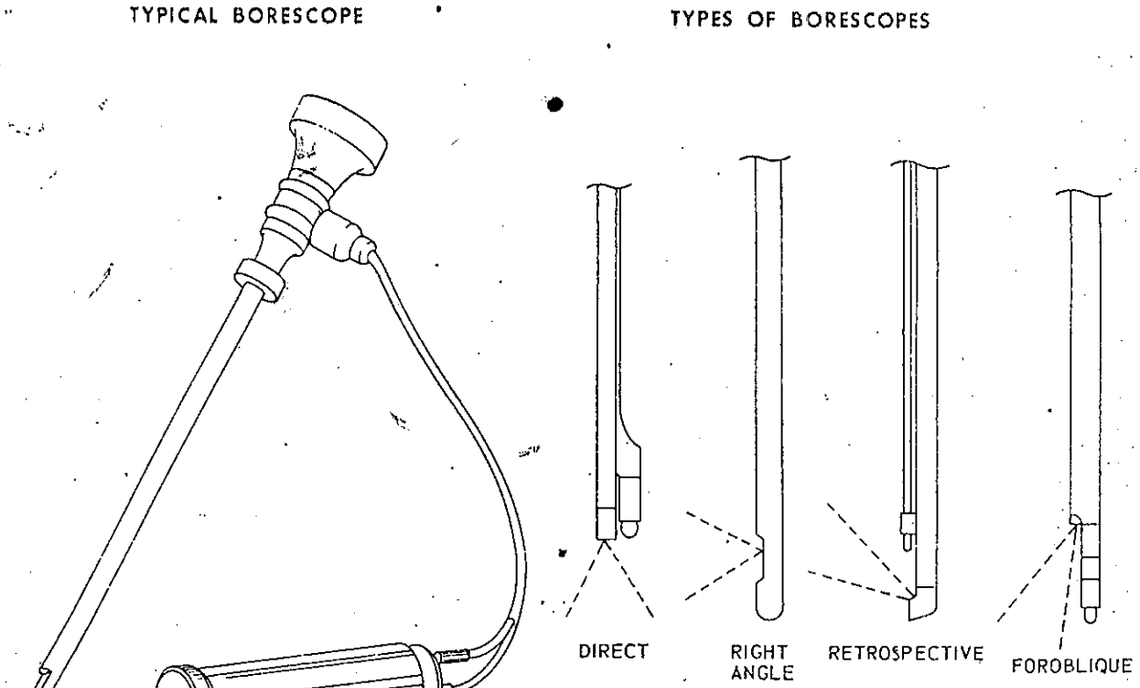
MICROSCOPES ไม่โครสโคปที่ใช้ในงาน NDI เป็นชนิดที่มีกำลังขยายขนาดกลาง มีเลนซ์ขยายสองอัน เพื่อทำให้ได้ภาพขยายของรอยความลึกต่าง ๆ คล้ายของจริงทำให้สามารถชี้ตำแหน่งและวินิจฉัยรอยตำหนิได้ในรูปสามมิติ แสงสว่างที่ใช้ในกล้องไมโครสโคป ได้มาจากหลอดไฟภายในตัวเครื่องหรือแสงสว่างจากภายนอกก็ได้

เทคนิคของการตรวจด้วยสายตา ก่อนทำการตรวจ ผู้ตรวจจะทราบถึงเนื้อโลหะชนิดและบริเวณต่าง ๆ ที่รอยตำหนินั้น ๆ เคยเกิดขึ้นมา ควรทราบว่ารอยแตกเกิดจากบริเวณใด และลักษณะการขยายตัวจุดที่จะเกิด CONCENTRATED STRESS เช่น บริเวณมุมหรือโค้งมากและบริเวณรู โดยปกติแล้วการตรวจด้วยสายตากระทำตามขั้นตอนดังนี้

๑. จัดระบบแสงสว่างให้พอเหมาะ
๒. ทำความสะอาดผิวของชิ้นงานก่อนที่จะทำการตรวจ
๓. ตรวจสอบบริเวณต่าง ๆ ทั่ว ๆ ไปเพื่อหารูปร่างที่อาจแปรเปลี่ยนไป เครื่องยูนิตต่าง ๆ ที่อาจคลาย หรือรอยตำหนิต่าง ๆ ที่จะมี
๔. ตรวจเฉพาะบริเวณที่ต้องการตรวจตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องช่วยสายตาชนิดต่าง ๆ ตามความจำเป็น
๕. ทำเครื่องหมายรอยตำหนิต่าง ๆที่ตรวจพบ เพื่อกันลืมหรืออาจใช้วิธีการ NDI อื่น ๆ ตรวจซ้ำให้ชัดอีกครั้ง



รูปที่ ๘ Optical Devices



รูปที่ ๙

PENETRANT INSPECTION

ตอนที่ ๑

๑. การตรวจด้วย DYE PENETRANT (การย้อมสี) เป็นวิธีที่รวดเร็วและแน่นอน เป็นกรรมวิธีการตรวจโดยไม่ทำลายชิ้นงาน ใช้ตรวจหารอยความไม่สมบูรณ์ต่าง ๆ ซึ่งเปิดขึ้นบนผิวของชิ้นวัสดุหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีเนื้อไม่ร่วนซุยหรือ ซึมซับ (NONPOROUS MATERIAL) วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของสารเหลว (PENETRANT) ที่จะแทรกซึมเข้าไปในรอยตำหนิของชิ้นงานที่นำมาตรวจ

กรรมวิธีการตรวจด้วย PENETRANT นั้นขึ้นอยู่กับลำดับขั้นมูลฐานต่าง ๆ ๕ ประการได้แก่

๑.๑ ชิ้นงานต้องมีความสะอาดจริง ๆ จากการทำความสะอาดด้วยวิธีที่ถูกต้อง ห้ามทำความสะอาดชิ้นงานด้วยวิธีเชิงกล

๑.๒ การใช้การ PENETRANT ทา จุ่ม ฉีด หรือ พ่น ลงบนผิวชิ้นงาน แล้วทิ้งให้สารนั้นอยู่บนผิวชิ้นงานนั้นชั่วระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้สาร PENETRANT ซึมซาบเข้าไปในรอยความไม่สมบูรณ์ซึ่งอาจจะมีอยู่ จนครบกำหนดเวลา

๑.๓ ทำการล้างสาร PENETRANT ที่อยู่บนผิวชิ้นงานนั้นออกด้วยน้ำหรือตัวทำละลาย (SOLVENT) การล้างนี้จะทำให้ผิวชิ้นงานสะอาดแต่ยังคงทิ้งสาร PENETRANT ไว้ในรอยความไม่สมบูรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่บนผิวชิ้นงาน

๑.๔ ใช้สารดูดซับที่เรียกว่า DEVELOPER ทา, จุ่ม, ฉีดหรือ พ่น ลงบนผิวของชิ้นงาน DEVELOPER จะทำหน้าที่ซับและดึงสาร PENETRANT ที่ตกค้างขึ้นมาจากรอยความไม่สมสมบูรณ์บนผิวของชิ้นงาน แต่ละรอย ๆ ไป แล้วทำให้เกิดเป็นเครื่องหมาย (INDICATION) ขึ้นมา

๑.๕ เมื่อทำการตรวจชิ้นงานก็จะพบเครื่องหมายที่เกิดจาก สาร PENETRANT จะมีสีตัดกับ DEVELOPER ที่เป็นสีพื้น การตรวจอาจใช้แสงไฟ, แสงธรรมชาติ สำหรับ VISIBI DYE PENETRANT หรือ แสง อุลตราไวโอเล็ต (BLACK LIGHT) กับ FLUORESCENT PENETRANT

๒. การตรวจด้วยวิธีนี้ จะตรวจพบรอยความไม่สมบูรณ์ต่าง ๆ เช่น

- CRACKS
- POROSITY
- COLD SHUTS
- FATIQUE CRACKS
- HEAT TREAT CRACKS
- SEAMS
- FORGING LAPS
- FORGING BURSTS
- THROUGH LEAKS
- INTERGRANULAR - COROSION
- STRESS DEFECTS

หมายเหตุ รายการรอยความไม่สมบูรณ์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนี้เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น รอยตำหนิอื่น ๆ อาจจะเกิดขึ้นได้โดยไม่มีขอบเขตจากการเตรียมงานด้านโลหะหรืออโลหะในขณะทำการขึ้นรูปและผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ ทางวัสดุ

๓. การตรวจด้วยการย้อมสีที่นำมาใช้จะสามารถให้ความไว้วางใจได้ในความแน่นอนกับวัสดุที่ไม่มีการดูดซับดังนี้

- ๓.๑ ALUMINUM
- ๓.๒ MAGNESIUM
- ๓.๓ BRASS
- ๓.๔ GOPPER
- ๓.๕ TITANIUM
- ๓.๖ BRONZE
- ๓.๗ CAST IRON
- ๓.๘ STAINLESS

๓.๙ NON - MAGNETIC ALLOYS

๓.๑๐ CERAMICS - CERMETS

๓.๑๑ HERD RUBBER

๓.๑๒ PLASTIC

๓.๑๓ GLASS

ข้อควรระวัง โดยที่ ปราสติก, ยาง และสารสังเคราะห์ บางชนิด อาจจะทำปฏิกริยากับน้ำยา ฉะนั้นจำเป็นจะต้องทำการทดสอบ ก่อนที่จะทำการตรวจด้วยวิธีนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงความชำรุดเสียหาย แก่ชิ้นส่วน ๆ

๔. วิธีการตรวจด้วยสาร PENETRANT โดยทั่ว ๆ ไป ทำเป็นขั้น ๆ ดังนี้

๔.๑ ขั้นที่ ๑ การเลือกวิธีการตรวจด้วยสาร PENETRANT แต่ละวิธี จะต้องคำนึงถึงความง่ายและสะดวกสบายเท่าที่จะทำได้ ชนิดและจำนวนของชิ้นงานที่จะนำมาตรวจ และผลลัพธ์ที่ตรงตามความต้องการ (ดูตอนที่ II)

๔.๒ ขั้นที่ ๒ PRE - TEST :- ถ้าวัสดุที่นำมาตรวจอาจจะทำปฏิกริยากับน้ำมันกำมะถันและหล่อลื่น จะต้องทำการทดสอบให้แน่ใจได้ว่าชิ้นงานนั้นจะไม่ชำรุดเสียหายเมื่อทำการตรวจด้วยวิธี PENETRANT นี้ (ดูตอนที่ III)

๔.๓ ขั้นที่ ๓ PRE - CLEAN:- ชิ้นที่จะทำการตรวจจะต้องทำความสะอาดเสียก่อนเพื่อที่การตรวจจะได้บรรลุผลสำเร็จ (ดูตอนที่ III)

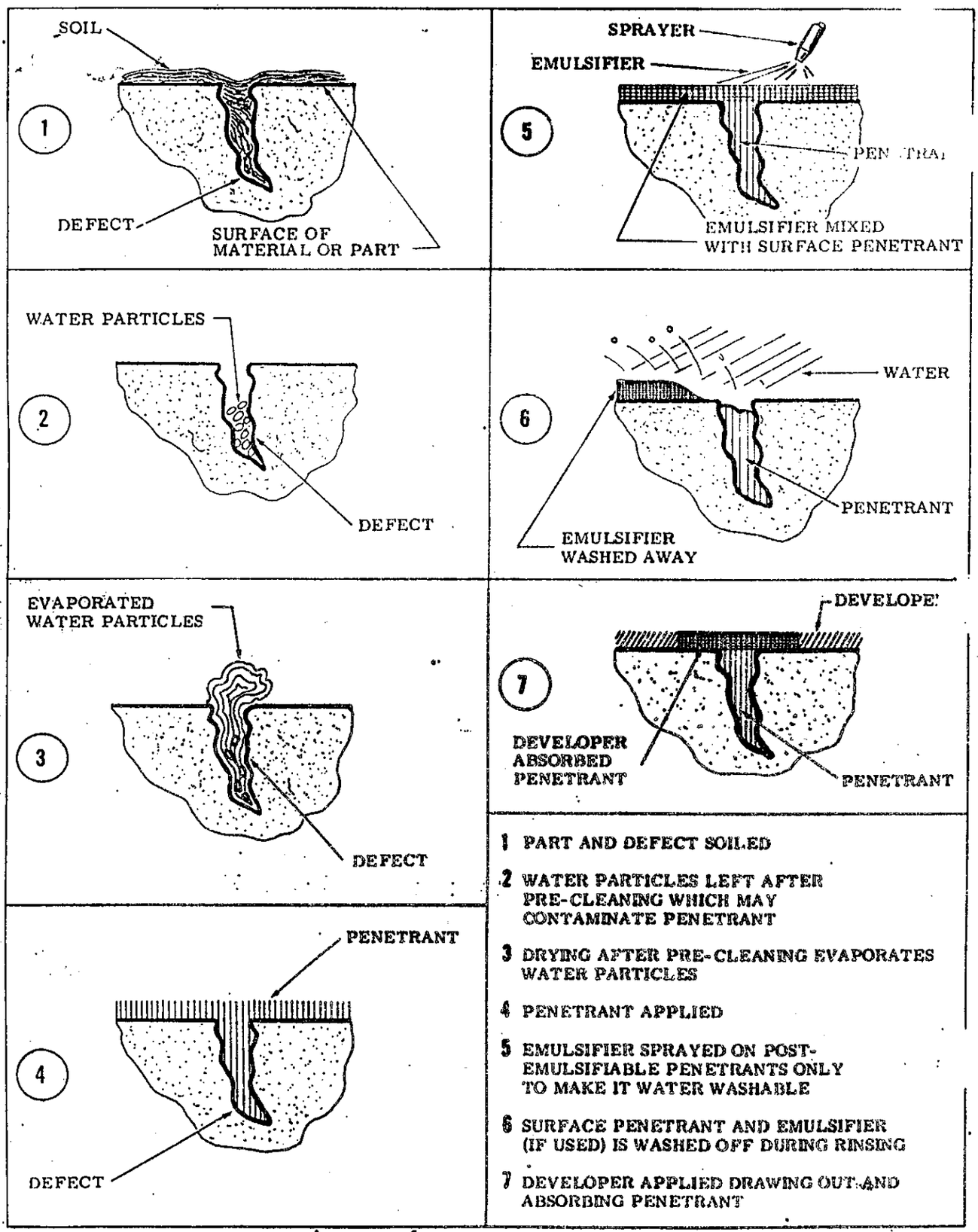
๔.๔ ขั้นที่ ๔ PRE - DRYING:ภายหลังจากทำความสะอาดแล้วจะต้องทำให้ชิ้นงานแห้งสนิท

๔.๕ ขั้นที่ ๕ PENETRANT APPLICATION : - ใช้สาร PENETRANT ทา, จุ่ม ฉีดหรือพ่น ตามที่ได้เลือกไว้เพื่อความง่ายและเหมาะสมกับชนิดของชิ้นงานนั้น แล้วปล่อยไว้(DWELL TIME) เพื่อให้สาร PENETRANT ได้ซึมซาบอย่างเต็มที่ตามเวลาที่กำหนด (ดูตอนที่ III)

๔.๖ ขั้นที่ ๖ PENETRANT REMOVAL :- ล้างหรือเช็ดสาร PENETRANT ที่อยู่บนผิวออกด้วยน้ำหรือตัวทำละลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ PENETRANT ที่ใช้

๔.๗ ขั้นที่ ๗ DEVELOPER APPLICATION:- ใช้ DEVELOPER ทา จุ่ม ฉีด หรือ พ่น ลงบนผิวชิ้นงานให้เป็นไปตามกรรมวิธีที่กำหนดไว้ให้เหมาะสมกับลักษณะโครงสร้างของชิ้นงาน ปล่อยทิ้งไว้ในเวลาที่พอเพียง (DWELL TIME) เพื่อจะได้ผลที่ดีที่สุด

๔.๘ ขั้นที่ ๘ INSPECTION&INTERPRETATION:- ทำการตรวจหาเครื่องหมายที่แสดงถึงความไม่สมบูรณ์ และตีความเครื่องหมายนั้น ๆ การตรวจจะใช้แสงสว่างจากไฟฟ้าหรือธรรมชาติสำหรับการใช้สาร PENETRANT แบบ VISIBLE DYE PENETRANT และใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (BLACK LIGHT) สำหรับสาร PENETRANT แบบ FLUORESCENT DYE PENETRANT



รูปที่ ๑๑ Inspection Process

๔.๔ ขั้นที่ ๔ POST - CLEANING ภายหลังจากการตรวจเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำความสะอาด เอา DEVELOPER ออก แล้วส่งชิ้นงานไปใช้งานต่อไป

การเลือกใช้กรรมวิธีการตรวจด้วย PENETRANT

ตอนที่ ๒

๑. องค์ประกอบในการเลือก การเลือกใช้วิธีการตรวจด้วย PENETRANT วิธีหนึ่งวิธี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ ๆ ๗ ข้อ ด้วยกัน คือ

๑.๑ ต้องมีเอกสาร, รูปที่แสดงถึงส่วนประกอบ หรือรายละเอียดในการตรวจที่ได้ตรวจครั้งก่อน ๆ มาแล้ว หรือบันทึกการตรวจที่ได้เคยทำการตรวจชิ้นส่วนชนิดเดียวกัน

๑.๒ ความต้องการชนิดความไวของสาร PENETRANT

๑.๓ สภาพผิวของชิ้นงานที่จะนำมาตรวจ

๑.๔ รูปร่างของชิ้นงานที่จะนำมาตรวจ

๑.๕ จำนวนชิ้นงานที่จะนำมาตรวจ

๑.๖ ความสะดวกในการตรวจและเครื่องมือที่มีอยู่

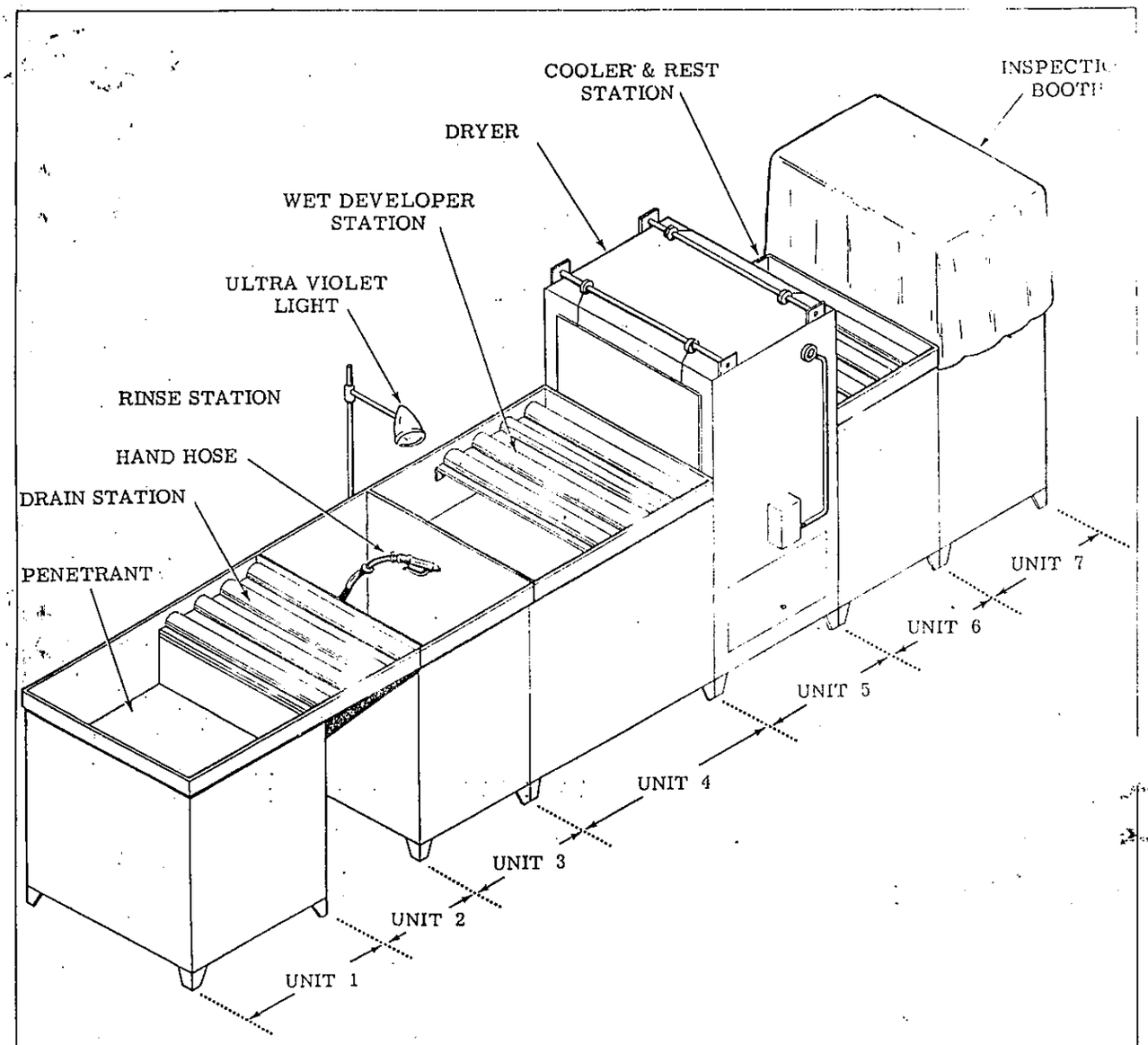
๑.๗ ผลเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อสาร PENETRANT ซึ่งเป็นสารเคมีทำปฏิกริยากับชิ้นงานหรือระบบในการตรวจ

๒. ชนิดสาร PENETRANT และวิธีการตรวจ การตรวจด้วย PENETRANT นั้นมีสาร penetrant ๒ ชนิด คือ

ชนิดที่ ๑ (TYPE I) สาร PENETRANT เป็นแบบ FLUORESCENT และชนิดที่ ๒ (TYPE II) สาร PENETRANT เป็นแบบ VISIBLE DYE PENETRANT นอกจากนั้นทั้งสองชนิดยังแบ่งออกเป็นวิธีการ (METHODS) อีกชนิดละ 3 METHOD ได้แก่ A,B, และ C ตามตารางที่ ๑ จากชนิดและวิธีการต่าง ๆ นี้ประกอบด้วยวัสดุ ๗ ๗ กลุ่ม (GROUP) ด้วยกัน ได้แก่กลุ่ม I ถึง กลุ่ม VII ซึ่งเป็นไปตาม MILITARY SPECIFICATION MIL - I - 25135

TYPE	METHOD	PENETRANT USED	MIL-I-25135 MATERIAL GROUP USED	FAMILY OF ITEMS IN GROUP
I	A	Water-washable fluorescent dye	Group IV	Consists of a water-washable fluorescent penetrant and a dry, wet, or non-aqueous wet developer
I	B	Post-emulsifiable fluorescent dye	Group V	Consists of a post-emulsifiable fluorescent penetrant, an emulsifier, and a dry, wet or non-aqueous wet developer.
			Group VI	Consists of a high-sensitivity post-emulsifiable fluorescent penetrant, an emulsifier, and a dry, wet, or non-aqueous wet developer
I	C	Solvent-removable fluorescent dye	Group VII	Consists of a solvent-removable fluorescent penetrant, a penetrant remover (solvent) and a non-aqueous wet developer
II	A	Water-washable visible dye	Group III	Consists of a water-washable visible dye penetrant and a dry, wet, or non-aqueous wet developer
II	B	Post-emulsified visible dye	Group II	Consists of a post-emulsifiable visible dye penetrant, an emulsifier, and a dry, wet, or non-aqueous wet developer
II	C	Solvent-removable visible dye	Group I	Consists of a solvent-removable visible dye penetrant, a penetrant remover (solvent), and a dry, wet, or non-aqueous wet developer

ตารางที่ Penetrant Inspection Types, Methods, and Associated Material Groups. (Sheet 2 of 2.)

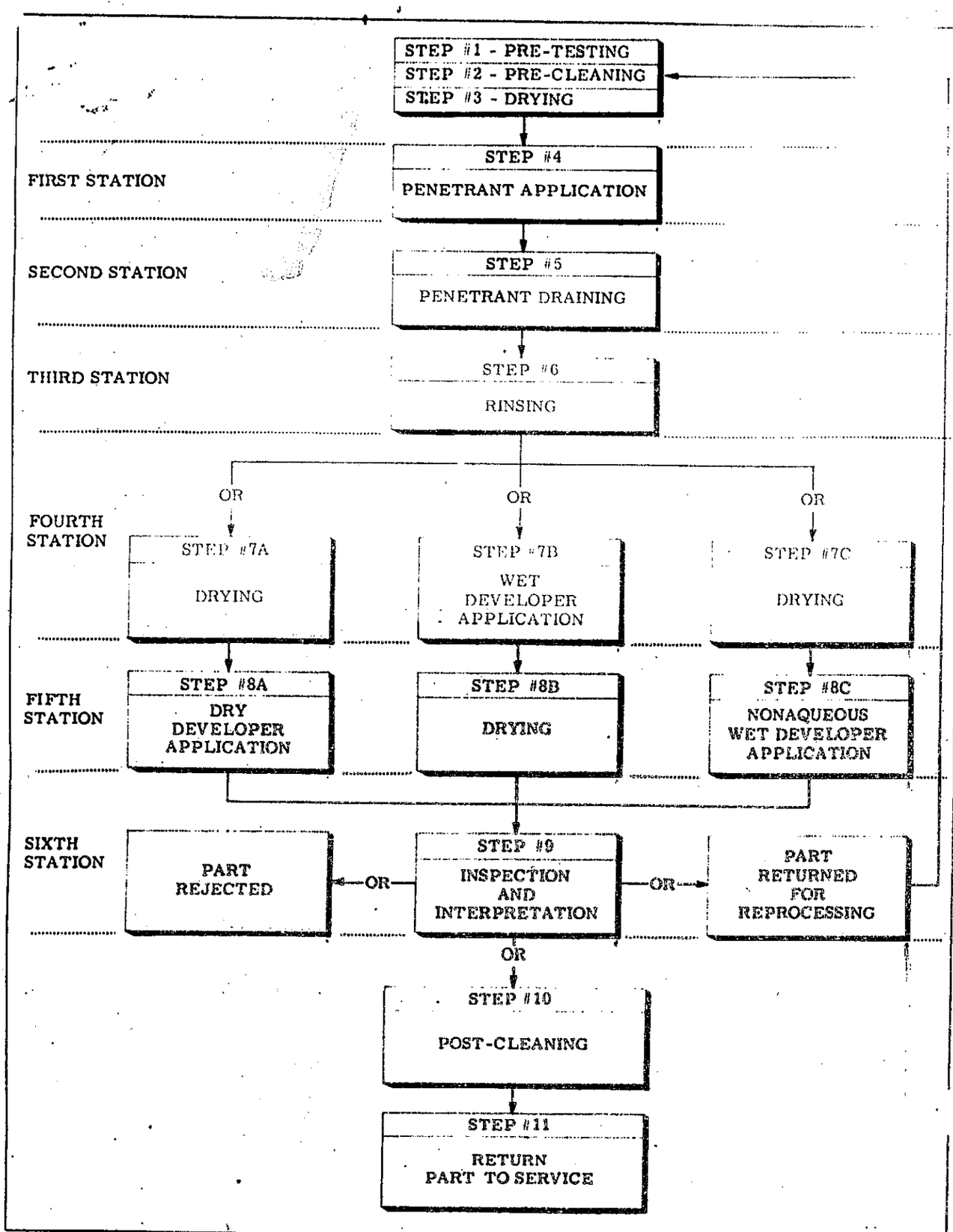


NOTE:

WHEN THIS EQUIPMENT IS USED WITH TYPE I, METHOD B INSPECTION PROCESS, AN EXTRA TANK FOR THE GROUP V OR VI EMULSIFIER SHALL BE ADDED BETWEEN UNITS 2 AND 3.

WHEN USING GROUP IV, V, OR VI DRY DEVELOPER, UNIT 4 SHALL BE MOVED BETWEEN UNITS 5 AND 6.

รูปที่ ๑๑ Typical Medium Size Parts Inspection Equipment



รูปที่ ๑๒ Type I, Method A Equipment Setup and Procedural Steps

ชนิดของ PENETRANT

TYPE I	TYPE II
- METHOD A (GROUP IV)	- METHOD A(GROUP III)
- METHOD B (GROUP V, VI)	- METHOD B(GROUP II
- METHOD C (GROUP VII)	- METHOD C(GROUP I

ดูรูป ๑๑

๓. วิธีการตรวจ TYPE I, METHOD A

๓.๑ สาร PENETRANT,TYPE I METHOD A ใช้น้ำยา GROUP IV(MILITARY SPECIFICATION MIL - I - 25 - 135) ซึ่งประกอบด้วย

- WATER - WASHABLE FLUORESCENT PENETRANT
- DRY, WET ,OR NON - AQUEOUS WET DEVELOPER

สาร PENETRANT แบบนี้จะมีคุณสมบัติเป็นเมือก เพื่อทำให้ล้างด้วยน้ำได้ง่าย

๓.๒ ขั้นตอนการตรวจกระทำได้ดังนี้ หลังจากทำความสะอาดและปล่อยให้ชิ้นงานแห้งสนิทดีแล้ว ก็ใช้น้ำยา PENETRANT GROUP IV ทา หรือฉีด หรือพ่น ลงบนผิวชิ้นงานแล้วทิ้งไว้ให้น้ำยาซึมซาบช่วงระยะเวลาหนึ่ง (ดูตารางที่ ๔) หลังจากนั้นก็ขจัดน้ำยา PENETRANT ส่วนเกินออกด้วยน้ำเย็นที่มีความดันต่ำ (20 - 30 PSI) ฉีดล้างออก และแล้วก็ใช้ DEVELOPER ทา , ฉีด หรือ พ่น ลงบนผิวชิ้นงาน DEVELOPER จะดูดซับสาร PENETRANT ที่ฝังอยู่ในรอยความไม่สมบูรณ์ขึ้นมาแสดงให้เห็นในลักษณะที่เป็นสีเรืองแสงที่ตัดกับสีขาวของ DEVELOPER ภายหลังที่ส่องด้วยแสง BLACK LIGHT ดูรูป ๑๒

๔. ใช้วิธีการตรวจ TYPE I METHOD A เมื่อ

๔.๑ ในกรณีที่ทำการตรวจชิ้นงานจำนวนมาก ๆ

๔.๒ รอยความไม่สมบูรณ์ จะต้องไม่มีรอยเปิดกว้างกว่าความลึก

๔.๓ ผิวชิ้นงานขรุขระมาก ๆ เช่น SAND CASTING, ROUGH WELDMENTS

๔.๔ ตรวจบริเวณกว้าง ๆ

๔.๕ ตรวจร่องเกลียวและร่องริ้ม

๔.๖ เป็นสาร PENETRANT แบบ FLUORESCENT ที่มีความไวต่ำซึ่งเพียงพอที่จะตรวจหารอยตำหนิ ตามธรรมชาติ (INHERENT DEFECT)

๔.๗ การขจัดสาร PENETRANT ส่วนเกินออก อาจจะมีความลำบากเนื่องจากผิวขรุขระ

๔.๘ สาร SULPHONATES ใน EMUSIFING AGENT จะไม่กระทบกระเทือนต่อตลับรองลื่นที่ทำจาก NICKLE STEEL

หมายเหตุ WATER - WASHABLE FLUORESCENT PENETRANT (TYPE I METHOD A) จะไม่สามารถตรวจพบรอยตำหนิเล็ก ๆ เช่น INTERGRANULAS CORROSION หรือ STRESS CORROSION.

ข้อดีและข้อเสียของ TYPE I METHOD A

ข้อดี	ข้อเสีย
๑. การใช้สารเรืองแสง (FLUORESCENT) มีความแน่นอนในการมองเห็นร่องรอยความไม่สมบูรณ์ได้ดีกว่า	๑. ต้องการบริเวณที่เป็นที่มืด
๒. วิธีการนี้สามารถนำมาพิจารณาในการตรวจครั้งเดียว (ONE-STEP PROCESS) ฉะนั้นจึงเป็นวิธีที่รวดเร็วและประหยัด	๒. วิธีนี้ไม่เหมาะที่จะใช้ตรวจหารอยความไม่สมบูรณ์ที่เกิดจากการชุดขีด หรือรอยคัน ๆ
๓. เป็นวิธีการที่ตรวจสารรอยตำหนิต่างๆ ได้กว้างมากมาย	๓. สาร PENETRANT ทำปฏิกริยากับACIDS และCHROMATES
๔. สาร PENETRANT สามารถที่ล้างออกด้วยน้ำได้อย่างง่ายดาย	๔. วิธีนี้จะไม่ได้ผลกับชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธี ANODIZED
๕. เป็นวิธีที่ง่ายในการตรวจชิ้นงานจำนวนมาก ๆ	๕. การขจัดสาร PENETRANTส่วนเกินด้วยวิธีล้างมากเกินไปหรือใช้วิธีไม่ถูก จะทำให้การตรวจไม่ได้ผล (OVER WASHING)
๖. ชิ้นงานที่มีผิวขรุขระตรวจด้วยวิธีนี้ได้ดีเช่นเกลียวและร่องลิ่ม	๖. น้ำที่เปรอะเปื้อนอาจจะไปทำลายหรือชะล้างสาร ที่ฝังอยู่ในรอยความไม่สมบูรณ์ออกได้
๗. เป็นวิธีที่ประหยัด	๗. ไม่เหมาะสำหรับรอยตำหนิที่มีผิวเปิดกว้างกว่าความลึก

๕. วิธีการตรวจ TYPE I METHOD B

๕.๑ วิธีการตรวจด้วย PENETRANT TYPE I METHOD B ใช้น้ำยา GROUP V และ VI

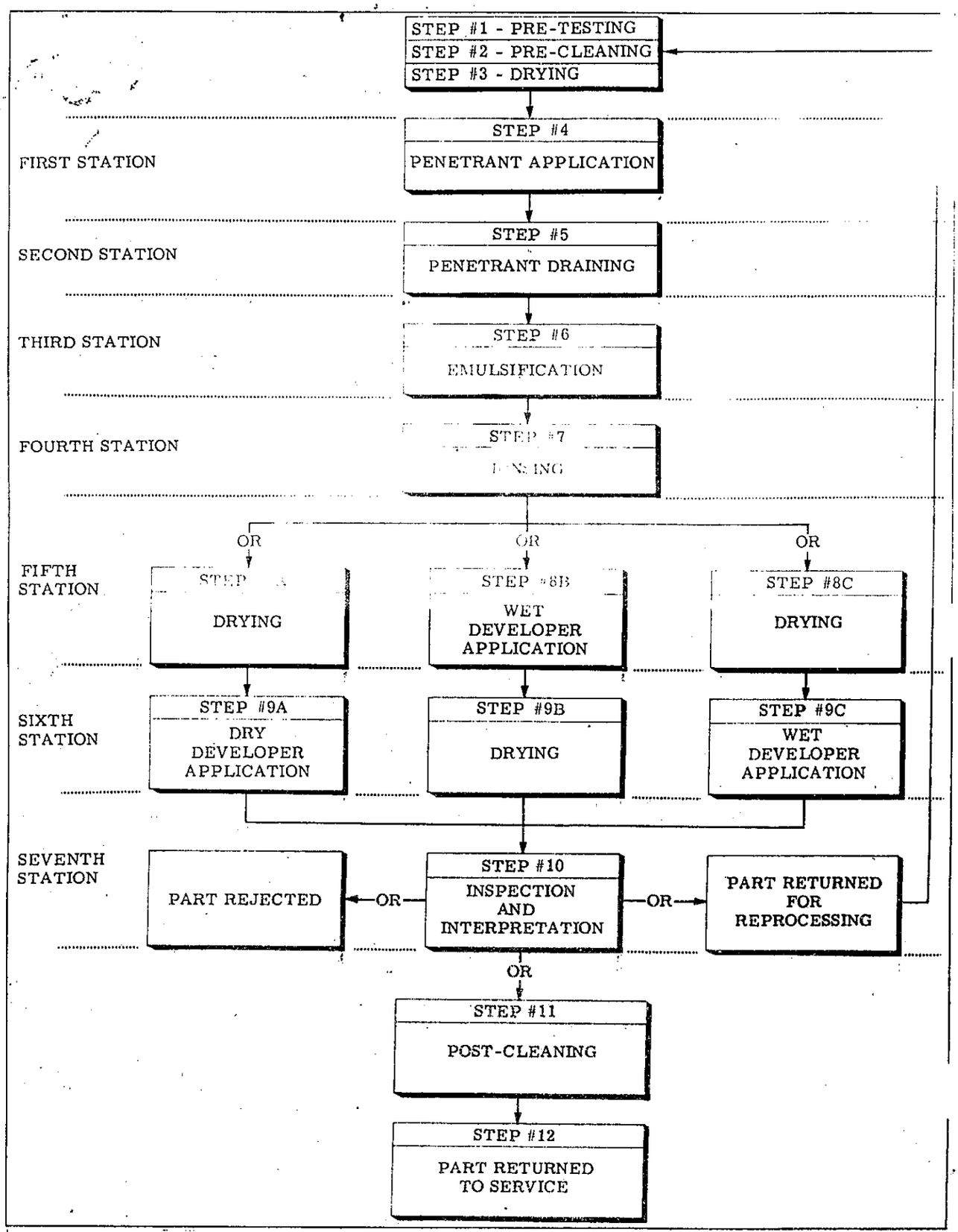
๕.๑.๑ น้ำยา GROUP V ประกอบด้วย

- POST EMUSIFIABLE FLUORESCENT PENETRANT
- EMUSIFIER
- DRY, WET, OR NON - AQUEOUS WET DEVELOPER

๕.๑.๒ น้ำยา GROUP VI มีส่วนประกอบเช่นเดียวกันกับ GROUP V แต่ POST - EMUSIFIABLE FLUORESCENT PENETRANT เป็นแบบที่ให้ความไวสูงกว่า (HIGHT SENSITIVE)

น้ำยาที่ใช้ในกรรมวิธีนี้จะคล้ายกับน้ำยาใช้ใน TYPE I METHOD A ถังที่ได้

กล่าวมาแล้ว แต่สาร PENETRANT เป็นแบบ NON SELF - EMUSIFIABLE



รูปที่ ๑๓ Type I, Method B Equipment Setup and Procedural Steps.

๕.๒ ขั้นตอนการตรวจ ภายหลังจากทำความสะอาดและทำให้แห้งแล้วก็ใช้น้ำยา PENETRANT GROUP V หรือ VI ทา หรือฉีด หรือ พ่น ลง บริเวณผิวชิ้นงาน แล้ว ปล่อย ทิ้งไว้ให้น้ำยา PENETRANT ซึมซาบเข้าไปในรอยความไม่สมบูรณ์ ช่วงระยะเวลาหนึ่ง(ดังตารางที่ ๒) ต่อจากนั้นก็ใช้ EMUSIFIER พ่น , หรือ ฉีด ลงบนผิวชิ้นงานที่ปกคลุมด้วย PENETRANT แล้วล้างด้วยน้ำเย็นที่มีความดันต่ำ (30 - 40 PSI) แล้วทำชิ้นงานให้แห้งสนิทดีแล้วจึงใช้ DEVELOPER DEVELOPER จะดูดซับ สาร PENETRANT ที่ฝังตัวอยู่ในรอยความไม่สมบูรณ์ ออกมาให้เห็นด้วยสายตาในลักษณะเรืองแสงเมื่อใช้ BLASH LIGHT ส่อง

หมายเหตุ ความไวหรือความแน่นอนในการตรวจหารอยตำหนิด้วยกรรมวิธีนี้ จะควบคุมได้โดยการเลือกใช้ชนิดของสาร PENETRANT ระยะเวลาที่ปล่อยให้ PENETRANT ซึมซาบ ระยะเวลาของ EMUSIFIER เทคนิคการล้าง และการควบคุมอุณหภูมิและเวลาการอบให้แห้งอย่างใกล้ชิด ดูรูป ๑๓

๖. ใช้วิธีการตรวจ TYPE I METHOD B เมื่อ

๖.๑ ทำการตรวจชิ้นงานจำนวนมาก ๆ

๖.๒ มีความไวกว่า TYPE I METHOD A (GROUP IV)

หมายเหตุ สาร PENETRANT GROUP V มีความไวกว่า สาร PENETRANT GROUP IV ใน TYPE I METHOD A และ PENETRANT GROUP VI มีความไวกว่า สาร PENETRANT GROUP V

๖.๓ ชิ้นงานที่เปรอะเปื้อนกรดหรือน้ำยาเคมีอื่น ๆ จะทำอันตรายต่อ WATER EASHABLE PENETRANTS แต่จะไม่ทำปฏิกริยากับ TYPE I METHOD B

๖.๔ รอยความไม่สมบูรณ์ที่ผิวเปิดกว้างกว่าส่วนลึก

๖.๕ สามารถปรับความไวได้ แต่ต้องอยู่ในความควบคุม ดังนั้นจึงไม่ทำลายรอยความไม่สมบูรณ์ที่มีอยู่ และไม่ต้องคำนึงถึงว่าจะตรวจหารอยความสมบูรณ์ที่มีอยู่ไม่พบ

๖.๖ ชิ้นงานที่อาจจะมีรอยตำหนิแต่มีสิ่งสกปรกเปื้อน ปิดฝังอยู่

๖.๗ ใช้ตรวจหา STRESS CRACKS หรือ INTERGRANULAR -CORROSION

หมายเหตุ น้ำยา GROUP VI เท่านั้นที่สามารถตรวจ STRESS CRACK หรือ INTERGRANULAS - CORROSION

๖.๘ ตรวจหารอยร้าวที่เกิดจากการเจียรไน (GRINDING CRACK)

๖.๙ ต้องการ การมองเห็นรอยความไม่สมบูรณ์ได้ดี (HIGH VISIBILITY IS REQUIRED)

ข้อดีและเสียของ TYPE I METHOD B

ข้อดี	ข้อเสีย
๑. สารเรืองแสง(FLUORESCENT) ที่ใช้ในกรรมวิธีให้ความสดใสกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ฉะนั้นจึงแน่ใจได้ว่าจะสามารถมองเห็นได้ชัดกว่าเมื่อได้รับแสงจาก BLACK LIGHT	๑. เป็นวิธีที่ช้ากว่า TYPE I METHOD
๒. มีความไวสูงสำหรับรอยตำหนิเล็กมาก ๆ	๒. ต้องการอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับ EMUSIFIER
๓. ตรวจได้ดีกับรอยตำหนิที่เปิดกว้างกว่าความลึก	๓. เป็นวิธีที่ไม่เหมาะในการตรวจของเกลียว, ร่องลิ่ม และ ผิวขรุขระ
๔. ทำการชำระล้าง PENETRANT ได้ง่ายกว่าเมื่อใช้ EMUSIFIER	๔. จะต้องใช้วัสดุเพิ่มเติมฉะนั้นค่าการใช้งานสูงขึ้น
๕. เป็นกรรมวิธีที่ดีสำหรับสายการผลิตที่มีชิ้นงานจำนวนมาก ๆ โดยเฉพาะกับชิ้นงานใหญ่	๕. ระยะเวลาของ EMUSIFIER(DWELL TEME) วิกฤตมาก
๖. เป็นกรรมวิธีที่ ไม่มีผลกระทบกระเทือน เนื่องมาจาก ACIDS,CHROMATES และ ANODIZING	
๗. เป็นกรรมวิธีที่ การล้างเพื่อขจัด PENETRANT ส่วนเกินด้วยน้ำมากเกินไป(OVER WASH) จะไม่มีผลกระทบกระเทือน PENETRANT ที่ฝังตัวอยู่ในรอยความไม่สมบูรณ์	

๗. วิธีตรวจTYPE I METHOD C

๗.๑ วิธีการตรวจ PENETRANT TYPE I , ใช้น้ำยา GROUP VII ซึ่งประกอบด้วย METHOD C

- SOLVENT - REMOVABLE FLUORESCENT
- PENETRANT REMOVER OR CLEANER (SOLVENT)
- NONAQUEOUS WET DEVELOPER

PENETRANT ไม่เป็นแบบล้างด้วยน้ำ (WATER - WASHABLE) แต่จะใช้สารทำละลาย (SOLVENT) แทนในการขจัด PENETRANT ส่วนเกินออก

๗.๒ ขั้นตอนการตรวจ - หลังจากทำความสะอาดชิ้นงานและทำให้แห้งแล้ว ใช้ PENETRANT GROUP VII พ่น, ทา, จุ่ม ลงบนผิวชิ้นงาน แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้น้ำยาซึมซาบ (DEWELL TIME) ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วขจัด PENETRANT ส่วนเกินที่เกาะบนผิวชิ้นงานออกให้หมดโดยใช้ผ้า

ชุบ REMOVER พอหมาด ๆ เช็ดบริเวณผิวชิ้นงาน แล้วปล่อยให้ชิ้นงานแห้ง จากนั้นจึงใช้ DEVELOPER พ่น, ทา,หรือจุ่ม สาร PENETRANT ที่ฝังตัวอยู่ในรอยความไม่สมบูรณ์ จะถูกดูดซับขึ้นมาแสดงเป็นเครื่องหมาย (INDICATION) ให้เห็นด้วยสายตาในลักษณะเรืองแสงเมื่อใช้ BLACK LIGHT ส่อง

๔. ใช้วิธีการตรวจ TYPE I METHOD C เมื่อ –

๔.๑ ต้องการตรวจเฉพาะตำบลเป็นจุด ๆ

๔.๒ การตรวจด้วยวิธีล้างด้วยน้ำ (WATER RINSING) ไม่สะดวก เนื่องจากขนาดของชิ้นงานมีขนาดใหญ่มาก, น้ำหนักมาก, สภาพผิว, ไม่สามารถหาน้ำได้, ไม่มีความร้อนที่จะทำให้ชิ้นงานแห้ง หรือใช้ในชั้นสนาม

หมายเหตุ เมื่อต้องการจะตรวจหา FATIQUE CRACK , STRESS และ INTERGRANULAR CORROSION จะต้องใช้ GROUP VI หรือ VII เท่านั้น

ข้อดีและข้อเสียของ TYPE I METHOD C

ข้อดี	ข้อเสีย
๑. เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสำหรับตรวจเป็นจุดหรือตำบลกับชิ้นงานใหญ่ ๆ ๒. เป็นวิธีที่ใช้เมื่อ กรรมวิธีล้างด้วยน้ำ(WATER RINSING)ไม่มีความสะดวก	๑. การใช้ REMOVER (SOLVENT) เพื่อขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกจะมีข้อจำกัดในการตรวจในพื้นที่กว้าง ๆ ๒. ความไวจะลดลงเมื่อใช้ REMOVER จำนวนมากเกินไป

๕. วิธีการตรวจ TYPE II METHOD A

๕.๑ วิธีการตรวจด้วย PENETRANT TYPE II METHOD A ใช้น้ำยา GROUP III ซึ่งประกอบด้วย

- WATER - WASHABLE VISIBLE DYE PENETRANT
- DRY, WET OR NON - AQUEOUS WET DEVELOPER

น้ำยา PENETRANT เป็นของเหลวซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเมือกในตัว (SELF - EMUSIFYING), ล้างออกได้ด้วยน้ำและมีสีแดง

๕.๒ ขั้นตอนการปฏิบัติ – ภายหลังจากทำความสะอาดและทำชิ้นงานให้แห้งดีแล้วใช้น้ำยา PENETRANT GROUP III ทา, ชุบ, พ่น,หรือฉีด ลงบนบริเวณผิวชิ้นงาน แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ PENETRANT ซึมซาบเข้าไปตามรอยความไม่สมบูรณ์ที่อาจจะมีขึ้น ตามระยะเวลาหนึ่งจากนั้นล้าง PENETRANT ส่วนเกินออกด้วยน้ำเย็นที่มีความดันต่ำ (20 - 30 PSI) แล้วทำให้แห้ง

ต่อไปใช้ DEVELOPER ทา, ชุบ, พ่น หรือลาด ลงบริเวณผิวชิ้นงาน DEVELOPER จะดูดซับ PENETRANT ที่ซึมเข้าไปในรอยตำหนิขึ้นมา ตามลักษณะของรอยความไม่สมบูรณ์นั้น ๆ จะสามารถมองเห็นได้เมื่อมีแสงจากไฟฟ้าหรือธรรมชาติ เครื่องหมายที่เกิดขึ้นจะเป็นสีเข้มจาก PENETRANT ซึ่งจะตัดกับสีขาวของ DEVELOPER

๑๐. ใช้วิธีการตรวจ TYPE II METHOD A เมื่อ.-

๔.๑ มีความไวต่ำที่สุดคือเพียงพอที่จะตรวจหารอยตำหนิที่เกิดตามธรรมชาติ(INHERENT DEFECT) หรือ รอยตำหนิที่เกิดจากกรรมวิธีขั้นต้น

๔.๒ ใช้ตรวจชิ้นงานที่มีจำนวนมาก ๆ

๔.๓ รอยความไมาสมบูรณ์ที่เปิดขึ้นบนผิวต้องไม่กว้างกว่าสวนลึก

๔.๔ ใช้กับชิ้นงานที่มีผิวขรุขระมาก ๆ ได้แก่ SAND CASTINGS, ROUGH WELDMENT, PITTED AREAS

๔.๕ ตรวจเป็นบริเวณกว่าง ๆ

๔.๖ ตรวจร่องเกลียวและร่องลิ่ม

๔.๗ การขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกอาจจะทำได้ยากกับชิ้นงานที่มีผิวขรุขระ

หมายเหตุ WATER - WASHABLE VISIBLE DYE PENETRANT จะไม่สามารถตรวจหารอยตำหนิเล็ก ๆ ที่เกิดจาก INTERGRANULAR CORROSION และ FATIQUE CRACK

ข้อดีและข้อเสียของกรรมวิธี TYPE II METHOD A

ข้อดี	ข้อเสีย
๑. ไม่ต้องการ BLACK LIGHT ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องการสถานที่ ที่มีความมืด	๑. เป็นกรรมวิธีที่ไม่ให้ความแน่นอนในการตรวจหารอยความไม่สมบูรณ์ที่เกิดจากการชุดขีดและรอยคั้น ๆ
๒. เป็นกรรมวิธีที่สามารถตรวจหารอยตำหนิได้หลายชนิด	๒. PENETRANT จะทำปฏิกริยากับ ACID,CHROMATE.
๓. สาร PENETRANT ที่นำมาใช้สามารถล้างออกได้โดยง่ายด้วยน้ำ	๓. มีความไวต่ำมากสำหรับรอยตำหนิเล็ก ๆ
๔. เป็นกรรมวิธีที่ง่ายเหมาะสำหรับชิ้นงานจำนวนมาก ๆ	๔. มีขีดจำกัดในการมองเห็นเครื่องหมายที่อาจมีขึ้น
๕. กรรมวิธีที่ดีเลิศสำหรับชิ้นงานที่มีผิวขรุขระ ร่องลิ่มและเกลียว	๕. ชิ้นงานจะต้องใช้ DEVELOPER ชนิดสีขาวเป็นพื้นเพื่อการมองเห็นเครื่องหมายได้ชัดเจน
๖. เป็นกรรมวิธีประหยัด	

ข้อดี	ข้อเสีย
๗. เป็นกรรมวิธีที่สามารถหอบหิ้วไปทำการตรวจได้ดี (HIGHLY PORTABLE)	๖. การล้างเพื่อขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกมากเกินไปจะมีผลต่อการตรวจ
๘. เหมาะสำหรับตรวจเป็นจุดๆหรือเฉพาะตำบล	๗. คราบน้ำอาจจะทำลายสาร PENETRANT ที่ซึมเข้าไปในรอยตำหนิได้
๙. ใช้ตรวจได้กับชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธี ANODIZE	๘. ไม่ดีสำหรับรอยตำหนิที่เปิดกว้างและตื้น

๑๑. วิธีการตรวจ TYPE II METHOD B

๑๑.๑ วิธีการตรวจ PENETRANT TYPE II METHOD B ใช้น้ำยา GROUP II ซึ่งประกอบด้วย

- POST - EMUSIFIABLE VISIBLE DYE PENETRANT
- EMUSIFIER
- DRY, WET OR NON - AQUEOUS WET DEVELOPER

กรรมวิธีนี้ น้ำยาที่ใช้คล้ายคลึงกับน้ำยาของ TYPE II METHOD A ต่างกันตรงที่จะต้องใช้ EMUSIFIER พ่น หรือลาดทับบน PENETRANT แล้วจึงล้างออกด้วยน้ำ

๑๑.๒ ขั้นตอนการปฏิบัติ.- หลังจากได้ทำความสะอาด และทำชิ้นงานให้แห้งดีแล้วก็ใช้ PENETRANT GROUP II ทา, พ่น, ฉีด หรือลาด ลงบนบริเวณผิวของชิ้นงานแล้วปล่อยไว้ให้น้ำยาซึมซาบในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงให้ EMUSIFIER พ่น หรือ ฉีด ทับลงบน PENETRANT สาร EMUSIFIER จะรวมตัวกับ PENETRANT บนผิวชิ้นงานทำให้ล้างออกได้ง่าย จากนั้นก็ล้างด้วยน้ำเย็นที่มีความดันต่ำ (30 - 40 PSI) แล้วจึงใช้ DEVELOPER DEVELOPER จะดูดซับเอา PENETRANT ที่ฝังตัวอยู่ในรอยความไม่สมบูรณ์ต่าง ๆ ขึ้นมาให้เห็นเป็นเครื่องหมายในลักษณะสีเข้มที่ตัดกับพื้นสีขาวของ DEVELOPER เมื่อใช้แสงไฟส่อง

๑๒. ใช้วิธีการตรวจ TYPE II METHOD B เมื่อ.-

๑๒.๑ ใช้ตรวจชิ้นงานที่มีจำนวนมาก ๆ

๑๒.๒ มีความไวกว่า TYPE II METHOD A, GROUP III ซึ่งเมื่อเทียบกับ GROUP IV แล้วจะมีความไวพอ ๆ กัน

๑๒.๓ ชิ้นงานที่เปื้อน กรด หรือสารเคมีอื่น ๆ จะเป็นอันตรายต่อ WATER - WASHABLE PENETRANTS

๑๒.๔ ตรวจหารอยความไม่สมบูรณ์ที่เปิดกว้างกว่าความลึก

๑๒.๕ ชิ้นงานที่นำมาตรวจอาจจะมีรอยตำหนิ แต่ ถูกสิ่งสกปรกปิดบังอยู่

๑๒.๖ ตรวจงานที่ผ่านการตบแต่งผิวมาแล้ว หรือใช้ในการตรวจสิ่งอื่น ๆ ได้ทั่ว ๆไป

หมายเหตุ ถึงแม้ว่าน้ำยาที่ใช้ในกรรมวิธีนี้จะมีความไวที่สุดใน TYPE II ด้วยกัน แต่ก็ไม่สามารถตรวจหารอยตำหนิเล็ก ๆ เช่น INTERGRANULAR CORROSION และ STRESS CORROSION ได้

ข้อดีและข้อเสียของกรรมวิธี TYPE II METHOD B

ข้อดี	ข้อเสีย
๑. มีความไวกว่า TYPE II METHOD A ๒. ใช้ได้ดีกับรอยตำหนิที่เปิดกว้างและตื้น ๓. ทำการขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกได้ง่าย เมื่อใช้ EMUSIFIER พ่นทับ ๔. เป็นกรรมวิธีนี้ ACIDS, CROMATES และ ANODIZING ไม่มีผลต่อ PENETRANT ๕. ไม่ต้องใช้ BLACK LIGHT ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้สถานที่มืด ๆ ๖. เป็นวิธีที่สามารถหอบหิ้วไปทำการตรวจที่อื่น ๆ ได้ดี	๑. เป็นกรรมวิธีที่ไม่เหมาะที่ใช้ตรวจหาร[illegible] ตำหนิเล็ก ๆ ๒. ไม่เหมาะในการตรวจ ร่องลึ่ม เกลี[illegible] และผิวขรุขระ ๓. มีขีดจำกัดในการมองเห็นเครื่องหมายที่อาจมีขึ้น ๔. ชิ้นงานจะต้องใช้ DEVELOPER สีขาว เป็นพื้นเพื่อให้ตัดกับสีของเครื่องหมายที่เกิดขึ้น

๑๓. วิธีการตรวจ TYPE II METHOD C

๑๓.๑ วิธีการตรวจ PENETRANT TYPE II METHOD C โดยใช้น้ำยา GROUP I ซึ่งประกอบด้วย

- SOLVENT - REMOVABLE DYE PENETRANT
- PENETRANT REMOVER (SOLVENT)
- DRY, WET NON - AQUEOUS WET DEVELOPER

สาร PENETRANT ไม่ได้เป็นแบบล้างด้วยน้ำ (WATER - WASHABLE) แต่ใช้ตัวทำละลาย (SOLVENT) เป็น PENETRANT REMOVER

๑๓.๒ ขั้นตอนการปฏิบัติ :- หลังจากที่ได้ทำความสะอาดและทำชิ้นงานให้แห้งดีแล้วก็ใช้ PENETRANT GROUP I พ่น ทา หรือฉีดลากลงบนบริเวณผิวชิ้นงาน แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้น้ำยาซึมซาบช่วงระยะเวลาหนึ่ง ใช้ผ้าชุบ REMOVER (SOLVENT) พอหมาด ๆ เช็ด PENETRANT ที่อยู่บนผิวของชิ้นงานออกให้หมด เมื่อผิวชิ้นงานแห้งดีแล้ว ใช้ DEVELOPER พ่น, ทา หรือ ฉีดลาก DEVELOPER จะดูดซับ PENETRANT ที่ซึมเข้าไปในรอยความไม่สมบูรณ์ขึ้นมาให้เห็นเมื่อใช้แสงไฟธรรมดา เครื่องหมายที่เกิดขึ้นจะมีสีตัดกับสีขาวของ DEVELOPER ทำให้สามารถตีความในเครื่องหมายนั้น ได้

ข้อดีและข้อเสียของกรรมวิธี TYPE II METHOD C

ข้อดี	ข้อเสีย
๑. เป็นกรรมวิธีที่สามารถตรวจเป็นจุด ๆ หรือเฉพาะตำบลกับชิ้นงานขนาดใหญ่ ๆ ๒. กรรมวิธีนี้จะนำมาใช้เมื่อ กรรมวิธีที่ใช้น้ำในการล้าง PENETRANT ไม่อาจกระทำได้ ๓. ไม่จำเป็นต้องใช้ BLACK LIGHT ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้สถานที่มืด ๔. เป็นกรรมวิธีที่สามารถหอบหิ้วไปทำการตรวจที่อื่นๆ ได้ดี	๑. การใช้ REMOVER(SOLVENT) เพื่อขจัด PENETRANT ส่วนเกินออก จะมีขีดจำกัดในการตรวจบริเวณกว้าง ๆ ๒. มีขีดจำกัดในการมองเห็นเครื่องหมายที่อาจมีขึ้น ๓. ชิ้นงานจะต้องใช้ DEVELOPER สีขาวเป็นพื้นเพื่อให้ตัดกับสีขาวเครื่องหมายที่เกิดขึ้น ๔. เป็นกรรมวิธีที่ไม่เหมาะที่จะนำมาตรวจกับรอยตำหนิเล็ก ๆ

MATERIAL	FORM	TYPE OF DISCONTINUITY	WATER-WASHABLE PENETRATION TIME (MINUTES)*	POST EMULSIFIED PENETRATION TIME (MINUTES)*
Aluminum	Castings	Porosity	5 to 15	5 **
		Cold shuts	5 to 15	5 **
	Extrusions and forgings	Laps	N/R	10
	Welds	Lack of fusion	30	5
		Porosity	30	5
	All	Cracks	30	10
		Fatigue cracks	N/R	30
Magnesium	Castings	Porosity	15	5 **
		Cold shuts	15	5 **
	Extrusions and forgings	Laps	N/R	10
	Welds	Lack of fusion	30	10
		Porosity	30	10
	All	Cracks	30	10
	All	Fatigue cracks	N/R	30
Steel	Castings	Porosity	30	10 **
		Cold shuts	30	10 **
	Extrusions and forgings	Laps	N/R	10
	Welds	Lack of fusion	60	20
		Porosity	60	20
	All	Cracks	30	20
	All	Fatigue cracks	N/R	30
Brass and bronze	Castings	Porosity	10	5 **
		Cold shuts	10	5 **
	Extrusions and forgings	Laps	N/R	10
	Brazed parts	Lack of fusion	15	10
		Porosity	15	10
	All	Cracks	30	10
Plastics	All	Cracks	5 to 30	5
Glass	All	Cracks	5 to 30	5
Carbide-tipped tools		Lack of fusion	30	5
		Porosity	30	5
		Cracks	30	20
Titanium and high temperature alloys	All		N/R	20 to 30
All metals	All	Stress or intergranular corrosion	N/R	240

*For parts having a temperature of 60°F or higher. N/R = Not Recommended

ตารางที่ 6 Minimum Penetration Time For Penetrants (Sheet 2 of 2)

INSPECTION CONSIDERATIONS	APPROPRIATE INSPECTION METHODS					
	Type I, Method A	Type I, Method B	Type I, Method C	Type II, Method A	Type II, Method B	Type II, Method C
PART VOLUME:						
1. Inspecting large volume of parts	X	X		X	X	
2. Inspecting small volume of parts			X			
AREA TO BE INSPECTED:						
1. Inspecting large areas	X			X		
2. Spot Inspection			X			X
PENETRANT SENSITIVITY REQUIRED:						
1. The lowest penetrant sensitivity is sufficient to detect the defect inherent to the part	X			X		
2. A higher penetrant sensitivity than Type I, Method A gives, is desired		X	X			
3. Variable, but controlled, sensitivities are necessary so that nondetrimental discontinuities can be passed over while harmful discontinuities are detected		X	X			
4. Lowest sensitivity is desired				X		
5. A higher penetrant sensitivity than Type II, Method A gives, is desired	X	X	X		X	X
SURFACES TO BE INSPECTED:						
1. Surface very rough (i.e., sand castings)	X					
2. Threads and keyways	X					
3. Porous castings	X			X		
4. Rough weldments	X			X		
5. Machine	X	X	X	X	X	X
6. Rolled	X	X	X	X	X	X
7. Forged	X	X		X	X	X
8. Invested	X	X		X	X	X
9. Permanent mold	X	X		X	X	X
10. Anodized		X	X	X	X	X
11. Pitted	X	X	X	X		X
12. Finished	X	X	X	X	X	X
DISCONTINUITY TYPES:						
1. Discontinuities are not wider than their depth	X	X	X	X	X	X
2. Discontinuities are wider than their depth		X	X		X	
3. Stress or intergranular corrosion			X			
4. Grinding cracks		X	X			
5. Turbine blade cracks*		X	X			
PRODUCTION RATES:						
1. High	X	X		X	X	
2. Low			X			X
OTHER:						
1. The part is contaminated with acid or other chemicals that will harm water-washable penetrants		X	X		X	X
2. Inspecting parts which may have defects that are contaminated with in-service soils		X	X			
3. Water-rinsing method not feasible because of part size, weight, and surface condition			X			X
4. Removal of excess penetrant may be a problem	X			X		
5. Short penetration time		X			X	

*Recommended but refer to Applicable Technical Order.

ตารางที่ ๓ Inspection Method Comparison Chart. (Sheet 2 of 2)

PRE - TEST (PRE - CLEANING, DRYING, APPLICATION AND REMOVAL METHODS AND PROCEDURES)

ตอนที่ III

๑. วิธีการ PRE - TESTING

๑.๑ ความมุ่งหมาย:- การ PRE - TEST มีความมุ่งหมายเพื่อที่จะให้เกิดความแน่ใจว่างานที่จะนำมาตรวจจะไม่เสียหาย อันเนื่องมาจากน้ำยาหรือการปฏิบัติการในการตรวจด้วยวิธีนี้รวมทั้งการทดสอบระยะเวลาของการใช้ EMUSIFIER

๑.๒ วิธีการ:- การ PRE - TESTจะต้องกระทำดังต่อไปนี้

๑. เลือก สาร PENETRANT ที่จะใช้ในการตรวจด้วยวิธี DYE PENETRANT เพื่อจะนำมาทดสอบ

๒. เลือกชิ้นงานชนิดเดียวกันกับชิ้นที่จะนำมาตรวจ

๓. ดำเนินกรรมวิธีการตรวจกับชิ้นที่ได้เลือกมานั้น ในขั้นตอนที่ ๒ ซึ่งทำให้เหมือนกับปฏิบัติงานจริง ๆ

๔. รวมถึงขั้นตอนที่ ๓ และขั้นตอนต่อ ๆ ไป จนเสร็จสิ้นตามกรรมวิธีนั้น ๆ จึงตรวจดูความชำรุดเสียหายซึ่งอาจจะเกิดขึ้นกับชิ้นทดลองนั้น ๆ

หมายเหตุ ชิ้นตัวอย่างที่จะนำมาทดลองจะต้องเป็นชนิดเดียวกันกับชิ้นงานที่จะนำไปตรวจด้วยวิธีนี้

๕. ถ้าเกิดการชำรุดเสียหายกับชิ้นทดลอง หรือมีสิ่งที่ส่อว่าจะเกิดผิดปกติกับชิ้นทดลองนั้น กรรมวิธีการตรวจนี้จะใช้ไม่ได้

๒. วิธีการ PRE - CLEANING :- การตรวจหาเครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากรอยตำหนิ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการไหลซึมของ PENETRANT ถึงแม้ว่ารอยตำหนินั้นจะเป็นรอยร้าวจะเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ปรากฏว่าบางครั้ง PENETRANT ไม่สามารถที่จะไหลซึมเข้าไปในรอยร้าวได้เนื่องจากมีเศษคาร์บอน, หล่อลื่น, วานิส, สิ่งสกปรก, คราบน้ำ, สี, สนิม และ การเคลือบผิวเข้าไปขวางกั้นหรืออุดตันรอยตำหนินั้น ฉะนั้นถ้าปราศจากการทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกแปลกปลอมออกให้สะอาดดีแล้ว อาจจะเกิดการสับสนในเครื่องหมาย (INDICATION) นั้นได้และเป็นการแน่นอนว่าการตรวจก็จะไม่สัมฤทธิ์ผล

๒.๑ ความมุ่งหมาย:- ความมุ่งหมายของการทำความสะอาดก็เพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากชิ้นงาน ซึ่งจะเป็นการป้องกันการสับสนหรือผิดพลาดจากเครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากรอยตำหนินั้น ๆ การทำความสะอาดจะสัมฤทธิ์ผลได้ดีนั้นจะต้องทำตาม T.O. ดังต่อไปนี้ T.O. 1 - 1 - 1 , T.O. 42C2 - 1 - 7 และ T.O. 2J - 1 - 13

๒.๒ การเลือกวิธีทำความสะอาด (CLEANING METHOD) การทำความสะอาดมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทำความสะอาด เทคนิคและวิธีการทำความสะอาดที่จะใช้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

๑. ชนิดของสิ่งสกปรก

๒. ชนิดของการเคลือบผิว

๓. ชนิดของวัสดุที่จะนำมาตรวจ

๔. หรือทั้งสามรายการที่ได้กล่าวมารวมกัน

๒.๓ <u>ชนิดของการทำความสะอาด</u> (TYPICAL CLEANING METHODS)

วิธีทำความสะอาดที่ใช้ได้ผลซึ่งอาจจะนำมาใช้ทำความสะอาดสิ่งสกปรกหรือคราบเปรอะเปื้อนที่ติดอยู่บริเวณผิวของชิ้นงาน ชิ้นวัสดุและรอยตำหนิต่าง ๆ มีหลายวิธีด้วยกันคือ

๒.๓.๑ ALKALINE - CLEANING :- เป็นสารละลายผสมกับน้ำไม่ติดไฟ มีส่วนผสมพิเศษสำหรับทำให้สิ่งสกปรกทั้งหลายละลาย, มีการแทรกซึมดี, มีลักษณะเป็นเมือกและลื่นหล่อลื่นอยู่ เมื่อทำการล้างออกด้วยน้ำ มันจะทำให้คราบน้ำที่เกาะอยู่ตามผิวของชิ้นงานแยกตัว ซึ่งทำให้ชิ้นงานสะอาดทั้งทางด้านเคมีและฟิสิกส์ เนื่องจากว่ามีพลังละลายสิ่งสกปรกได้ดีเป็นพิเศษมันจึงดึง - สิ่งเปรอะเปื้อนที่ฝังอยู่ในรอยตำหนิออกมา และพร้อมที่จะยอมให้สาร PENETRANT ซึมเข้าไปแทนที่ได้ดี

๒.๓.๒ WATER CLEANING WITH DETERGENTS:-เครื่องมือทำความสะอาดชนิดที่ใช้น้ำร้อนและ<u>สิ่งที่ช่วยทำความสะอาดอื่น</u> ๆ อาจนำมาใช้ทำความสะอาดชิ้นงาน อย่างไรก็ตามการใช้วิธีนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งสกปรกเป็นอย่างมาก การทำความสะอาดหล่อลื่นและไขที่อุดตันรอยตำหนิ ด้วยวิธีนี้จะไม่เป็นการดีนัก

<u>หมายเหตุ</u> เมื่อทำความสะอาดด้วยวิธีนี้จะต้องทำชิ้นงานให้แห้งโดยใช้ความร้อนซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นมากที่จะขจัดน้ำออกจากรอยตำหนิ (ซึ่งน้ำนี้อาจจะเป็นสิ่งกีดขวางมิให้ PENETRANT ซึมเข้าไปในรอยตำหนิได้) และจากผิวของชิ้นงาน (ซึ่งอาจจะทำให้เปลี่ยนต่อ PENETRANT ได้)

๒.๓.๓ STEAM CLEANING คือการใช้กำลังดันไอจากถังน้ำร้อนมาฉีดล้างชิ้นงานอาจจะนำเอา ALKALINE - CLEANING มาใช้ร่วมได้ เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ ๆที่ทำความสะอาดด้วยวิธีอื่น ๆ ได้ยาก

๒.๓.๔ VAPOR DEGREASING เป็นวิธีการที่ให้ความแน่นอนสูงในกรรมวิธีทำความสะอาดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อหล่อลื่นและไขที่ปิดบังรอยตำหนิ ปกติสิ่งเปรอะเปื้อนที่เป็นสารอนินทรีย์จะใช้การทำความสะอาดด้วยวิธี ALKALINE - CLEANING ดีที่สุด แต่สำหรับสารอินทรีย์แล้วต้องทำความสะอาดด้วยวิธี VAPOR DEGREASING จะดีกว่า

๒.๓.๕ ULTRASONIC CLEANING, เมื่อสิ่งเปรอะเปื้อนชนิดแข็ง ๆ เช่น คาร์บอนวานิช, ออกไซด์ อุดตามรอยตำหนินั้น ๆ จึงอาจจะต้องใช้ ULTRASONIC CLEANING เพื่อทำให้สิ่งเปรอะเปื้อนนั้นแตกตัวออก ทำให้สาร PENETRANT ซึมเข้าไปในรอยตำหนินั้นได้

๒.๓.๖ SOLVENT CLEANING จะเลือกใช้วิธีทำความสะอาดด้วยวิธีนี้เป็นพิเศษ <u>โดยการเช็ดชิ้นงาน</u> ต่อเมื่อ VAPOR DEGREASING, ALKALINE HOT TANK และ STEAM CLEANING ไม่สามารถนำมาใช้ได้เท่านั้น การใช้ SOLVENT ด้วยมือจะต้องมีความระมัดระวังมากเพื่อให้แน่ใจว่าสิ่งสกปรกถูกขจัดออกหมดจากรอยตำหนิและบริเวณผิวของชิ้นงาน

๒.๓.๗ MECHANICAL CLEANING การพ่นทรายอาจจะนำมาใช้ในการทำความสะอาดกับชิ้นงานประเภทโลหะโดยเฉพาะ ถ้าผิวของโลหะชนิดนั้นจะไม่อ่อนตัวจะทำให้ปิดบังรอยความไม่สมบูรณ์โดยตัวมันเอง หรืออาจจะถูกอุดตันด้วยวัสดุที่ทำผงทรายที่ใช้ในกรรมวิธี

หมายเหตุ การลอกสีไม่ควรกระทำด้วยวิธีนี้ ยกเว้นเหล็กที่ผ่านการอบชุบแล้วมี TENSILE STRENGTH ตั้งแต่ 220,000.- PSI ขึ้นไป

๒.๔ การลอกสี / (PAINT REMOVAL) การขจัดสีบริเวณผิวของชิ้นงานโดยใช้วิธีการลอกซึ่งควรปฏิบัติตามคู่มือของการใช้น้ำยาเคมีนั้น การขจัดสีโดยวิธีทำให้เนื้อสีร่อนนั้นกระทำได้ด้วยวิธีใช้สารทำละลาย (SOLVENT PAINT STRIPPER) หรือวิธีทำให้สารละลายด้วย น้ำยาลอกสีและน้ำร้อน (DISSOLVING - TYPE HOT - TANK - PAINT STRIPPERS)

หมายเหตุ เป็นที่รับรองกันว่าภายหลังจากการลอกสีแล้วจะต้องทำความสะอาดด้วยกรรมวิธี VAPOR DEGREASING อีกครั้งหนึ่ง

๒.๕ การทำความสะอาดด้วยน้ำยาเคมี (CHEMICAL CLEANING)

๒.๕.๑ ETCHING โลหะอ่อนที่ผ่านเครื่องมือกลจะต้องใช้กรดกัด (ETCHED) เพื่อขจัดคริบหรือสะเก็ด เหล็กและโลหะอื่น ๆ ที่ผ่านการอบชุบจะต้องใช้กรดกัดคริบหรือสะเก็ดออกก่อนที่จะไปทำการตรวจ ยกเว้นเหล็กที่ผ่านการอบชุบเพิ่มความแข็งแรงเกิน 220,000 PSI

ข้อควรระวัง กรดและโครเมท จะทำปฏิกริยากับ WATER WASHABLE FLUORESCENT PENETRANT และ WATER WASHABLE VISIBLE PENETRANT แต่จะไม่ทำปฏิกริยากับ VISIBLE DYE PENETRANT (GROUP I,III และน้ำยา PENETRANT GROUP V , VI,VII

๒.๕.๒ ACID OR ALKALINE BATHS, ใช้ในบางกรณีเพื่อขจัดสนิม, คลาบสนิม หรือ โครเมท (RUST, SURFACE SCALE, OR CHROMATES) หลังจากผ่านกรรมวิธีนี้แล้วจะต้องทำความสะอาดด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสมต่อไป

๒.๖ สิ่งที่ควรระวังล่วงหน้าในการทำความสะอาด (CLEANING PRECAUSION)

๑. วิธีทำความสะอาดนั้น ๆ อาจจะเป็นสิ่งสกปรกเปรอะเปื้อนปกคลุมรอยตำหนิเสียเอง

๒. ควรระมัดระวัง เมื่อปฏิบัติต่อ สารทำความสะอาดที่ไวไฟ, มีกลิ่นฉุน หรือเป็นอันตรายต่อผิวหนัง

๓. ชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาดตามกรรมวิธีแล้วจะต้องล้างและทำให้แห้งสนิท

๒.๗ DRYING PROCESS

๑. HAND WIPING

๒. COMPRESSED AIR DRYING

๓. ROOM - AIR - DRYING

๔. WARM - AIR - DRYING

๕. OVEN DRYING

๖. RECIRCULATING HOT AIR DRYING

๒.๘ การเลือกใช้ชนิดของ PENETRANT การเลือกสาร PENETRANT ให้เหมาะสมกับการตรวจด้วยวิธี PENETRANT ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น คุณสมบัติการซึมซาบ ความสามารถมองเห็นได้ การค้นหารอยตำหนิที่เฉพาะเจาะจงลงไป สภาพผิวของชิ้นงาน รูปร่างของชิ้นงาน ความสะดวกสบายและชนิดของเครื่องมือที่มีอยู่
การเลือกใช้ PENETRANT ที่ถูกต้องนั้น ไม่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงชนิดความไวของน้ำยา PENETRANT ที่ใช้ ความไวของน้ำยา PENETRANT ในที่นี้จะถูกจำกัดขอบเขตความสามารถของตัวมันเองทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการที่ใช้ตรวจและน้ำยาอื่น ๆ ในกลุ่ม (GROUP) เดียวกัน

ข้อควรระวัง VISIBLE DYE PENETRANT, TYPE II GROUP I, II และ III มีความไวในการตรวจหารอยความไม่สมบูรณ์ต่ำกว่าแบบ FLUORESCENT PENETRANT เนื่องจากความไวที่ต่ำกว่านี้จึงเป็นจุดวิกฤตเมื่อจะตรวจรอยตำหนิที่เกิดจากการใช้งาน(SERVICE DEFECTS) ของชิ้นส่วนยานอากาศยาน เครื่องยนต์และขีปนาวุธ

ฉะนั้น VISIBLE DYE PENETRANTS จึงไม่สมควรที่จะนำมาใช้ในการตรวจกับอากาศยาน เครื่องยนต์ หรือขีปนาวุธ หรือ ส่วนประกอบอื่น ๆ ยกเว้นได้มีการรับรองเป็นพิเศษทางด้านวิศวกรรมจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นงานนั้น ๆ เป็นราย ๆ ไป

๒.๘.๑ วิธีการใช้ PENETRANT สาร PENETRANT ทั้ง TYPE I และ II สามารถใช้ วิธีหนึ่งวิธีใดได้ดังต่อไปนี้

๑. จุ่มหรือจุ่มชิ้นงานลงไป
๒. ฉีดพ่นลงบนชิ้นงาน
๓. พู่กันลงบนชิ้นงาน
๔. ทาที่ผิวของชิ้นงาน
๕. หรือวิธีอื่น ๆ ที่สามารถทำให้ PENETRANT ปกคลุมผิวชิ้นงานได้

๒.๘.๒ การใช้ความร้อน(HEAT APPLICATION) :- ชิ้นงานอาจจะต้องผ่านความร้อน (ปกติไม่เกิน 150°F) ก่อนที่จะใช้ PENETRANT เพื่อที่จะเพิ่มความไวของ PENETRANT เมื่อนำชิ้นงานแช่ลงใน PENETRANT แล้วปล่อยให้เย็นลงแล้วอุณหภูมิของชิ้นงานจะต้องไม่สูงเกินกว่าที่บริษัทผู้ผลิต น้ำยา PENETRANT นั้นกำหนด

๒.๘.๓ DRAING :- ภายหลังที่ได้ใช้ PENETRANT แล้วจะต้องปล่อยให้ชิ้นงาน สะเด็ดจาก PENETRANT

๒.๘.๔ PENETRANT TIME :- เวลาที่ปล่อยให้ PENETRANT ซึมซาบเข้าไปในรอยความไม่สมบูรณ์ ตามตารางที่ ๒ บางครั้งอาจมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มเวลาให้นานขึ้นหรือใช้ PENETRANT ชำลงไปอีก กับชิ้นงานที่น่าสงสัยหรือเพื่อความแน่ใจในเครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากรอยตำหนินั้น ๆ

๒.๔ การใช้ EMUSIFIER การใช้ EMUSIFIER TYPE I และ II,METHOD B สามารถเลือกใช้วิธีดังต่อไปนี้

๑. จุ่มหรือชุบชิ้นงานลงไป

๒. ฉีกลาดลงบนชิ้นงาน

๓. พ่นลงบนชิ้นงาน

๔. หรือวิธีอื่น ๆ ที่สามารถทำให้ EMUSIFIER ปกคลุมชิ้นงานได้รวดเร็ว

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้ EMUSIFIER โดยใช้แปรงทาน[illegible] ระ ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนดหรือไม่ได้กำหนดเวลา และไม่จำเป็นที่ต้องการความแน่นอนมาก.....

ภายหลังจากใช้ EMUSIFIER พ่น ฉีดหรือ จุ่ม ทับผิวชิ้นงานที่ปกคลุมไว้ด้วย PENETRANT แล้ว จะต้องนำชิ้นงานนั้นไปล้างและในช่วงนี้อาจจะปล่อยพักไว้(EMUSION-DWELL TIME) ช่วงระยะเวลาหนึ่งจึงใช้น้ำล้างออก

๒.๔.๑ EMUSIFIER DWELL TIME :- กระทำดังต่อไปนี้

๑. EMUSIFIER ของ TYPE I METHOD B :- การหาช่วงระยะเวลาที่ดีที่สุดที่ปล่อย EMUSIFIER ไว้ ก่อนที่จะทำการล้างออกนั้นจะต้องทำการทดลองกับชิ้นส่วนชนิดเดียวกันกับที่จะนำมาตรวจ หรือเป็นวัสดุชนิดเดียว ซึ่งกระทำดังนี้

ก. ช่วงระยะเวลาที่น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เพื่อขจัด PENETRANT ส่วนเกินออก ในการตรวจหารอยตำหนิที่ส่วนผิวเปิดกว้างกว่าความลึก

ข. ช่วงระยะเวลาที่น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เพื่อขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกจากรอยที่เกิดจากเครื่องจักร รอยบุ๋ม หรือรอยความขรุขระต้น ๆ ในการตรวจหารอยแตกร้าวเล็ก ๆ

ค. ช่วยระยะเวลาที่มากที่สุดซึ่งไม่ทำให้เกิด " OVER EMUSIFICATION"

หมายเหตุ ช่วงระยะเวลาที่มากที่สุดที่ปล่อย EMUSIFIER TYPE I METHOD B ทิ้งไว้ก่อนทำการล้างออกนั้นไม่ควรเกิน ๕ นาที

๒. EMUSIFIER ของ TYPE II METHOD B :- การหาช่วงระยะเวลาที่ดีที่สุดที่ปล่อย EMUSIFIER ทิ้งไว้ก่อนทำการล้างออก สำหรับชนิดนี้เหมือนกับ TYPE I METHOD B แต่จะใช้ช่วงระยะเวลาที่น้อยที่สุดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

๒.๑๐ การใช้ DEVELOPER DEVELOPER ชนิด แห้ง, เปียก และชนิดของเหลวที่ไม่ใช่น้ำสามารถนำไปใช้ได้วิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

๑. ชนิดของเหลว (AQUEOUS WET DEVELOPER)

ก. โดยการจุ่มชิ้นงานลงไป (DIPPING) เป็นวิธีที่ใช้กันทั่ว ๆไป

ข. โดยการฉีกลาด (FLOW - ON)

ค. การพ่น (SPRAYING) สำหรับชิ้นงานที่ต้องการความไวในการตรวจหารอยตำหนิสูง

๒. ชนิดของเหลวไม่ใช่น้ำ (NON - AQUEOUS WET DEVELOPER)

ก. โดยการพ่น (จะใช้ต่อเมื่อจำเป็น)

ข. โดยใช้แปรงทา (เป็นวิธีที่ไม่สมบูรณ์นัก)

๓. ชนิดแห้งหรือผง (DRY DEVELOPER)

ก. โดยการจุ่มชิ้นงานลงไป (DIPPING)

ข. โดยวิธีเป่าด้วยผงฝุ่นของ DEVELOPER (DUSTING)

ค. โดยวิธีเทลาดลงไป (FLOW - ON)

๒.๑๑ การให้ความร้อน (HEATED APPLICATION) :- WET DEVELOPER ทั้ง TYPE I และ TYPE II จะสามารถพ่นลงบนชิ้นงานที่เพิ่งนำออกมาจากเตาอบในขณะที่มันยังร้อนอยู่ซึ่งจะทำให้ DEVELOPER แห้งได้เร็วขึ้น วิธีนี้จะเพิ่มความไว (SENSITIVITY) ในการตรวจหารอยตำหนิได้ดีขึ้น

สำหรับ NON - AQUEOUS WET DEVELOPER นั้น ไม่สมควรที่จะนำมาใช้กับชิ้นงานที่ยังคงร้อนอยู่ เพราะ DEVELOPER ชนิดนี้บางแบบมีจุดติดไฟประมาณ150° F

๒.๑๒ DEVELOPER DWELL TIME:- ช่วงระยะเวลาที่ปล่อย DEVELOPER ไว้ ขึ้นอยู่กับชนิดของ PENETRANT , ชนิดของ DEVELOPER และ ชนิดของรอยตำหนิ การให้เวลาที่พอเพียงก็จะทำให้ DEVELOPER ดูดซับทำให้เกิดเครื่องหมายขึ้นมา แต่ในกรณีที่ใช้ DEVELOPER น้อยเกินไปก็จะไม่สามารถดูดซับเอา PENETRANT ที่ฝังตัวอยู่ในรอยความไม่สมบูรณ์ขึ้นมาได้ เป็นเหตุให้ไม่มีเครื่องหมายเกิดขึ้น

๒.๑๓ การขจัด PENETRANT ส่วนเกินออก :- น้ำยา PENETRANT TYPE I และ II METHOD C เมื่อจะขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกจากผิวของชิ้นงานนั้นจะต้องใช้มือเช็ดออกโดยใช้ SOLVENT REMOVER ซึ่งกระทำดังนี้

๑. ภายหลังจาก ปล่อยให้ PENETRANT ซึมซาม ตามช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วนั้นที่ทำการขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกโดยใช้ผ้าขาวสะอาดเช็ด

๒. นำผ้านั้นชุบ SOLVENT REMOVER พอหมาด ๆ เช็ด PENETRANT ที่ผิวของชิ้นงานออก

๓. ในขณะที่เช็ด PENETRANT ออกนั้นอาจจะต้องใช้ BLACK LIGHT ช่วยส่อง (สำหรับ TYPE I) ในบริเวณมืด ๆ หรือมีเงาบัง

๒.๑๔ SOLVENT REMOVER

การนำตัวทำละลาย (SOLVENT) มาใช้กับ VISIBLE DYE (TYPE II METHOC C) และ FLUORESCENT PENETRANT (TYPE I METHOD C)จะพบบ่อย ๆ ว่า SOLVENT REMOVER หมดก่อนน้ำยาชนิดอื่น ๆในชุดเดียวกัน ฉะนั้นอาจจะนำ SOLVENT ที่ได้กล่าวต่อไปนี้มาใช้แทน SOLVENT ในชุดที่หมดไป คือ

๑. TRICHLOROETHYLENE, SPEC. MIL - T - 27602,FSC6810 (ตาม T.O. 33B - 1 - 1 , PAGE 6 - 34)

๒. 1,1,1, TRICHLOROETHYLENE, SPEC O - T - 620, FSC 6810 (ตาม T.O. 33B - 1 - 1, PAGE 6 - 34)

<u>คำเตือน</u> การใช้ SOLVENT REMOVER อาจเกิดอันตรายได้ฉะนั้น : -

๑. บริเวณที่ใช้จะต้องมีอากาศถ่ายเทดี

๒. หลีกเลี่ยงการหายใจเอาไอระเหยของ SOLVENT เข้าไปนาน ๆ

๓. หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับผิวหนังเป็นเวลานาน ๆ

๔. ห้ามรับประทาน

- - - - - - - - - - -

การแยกประเภทเครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากรอยตำหนิ

(FLAW INDICATION CATEGORIES)

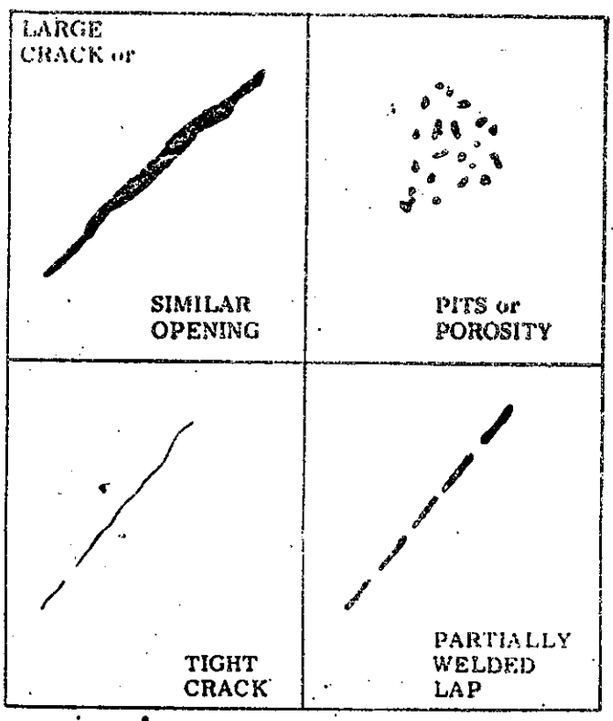
๑. เส้นยาว (CONTINUOUS LINE) อาจจะเป็นเครื่องหมายของ CRACK, COLD SHUTS, FORGING LAP , รอยร้าวจะปรากฏเป็นเส้นคดไปมาอาง ๆ เส้นตรง หรือเส้นปะ ส่วน COLD SHUTS จะปรากฏเป็นเส้นตรงเรียบ, เส้นตรงตื้น ๆ รอยรูพรุนจะปรากฏเป็นเส้นตรง แต่จะสามารถมองเห็นเป็นร่องของรอยนั้น ๆ

๒. เส้นปะ (INTERMITTEN LINE) อาจจะเป็นรอยตำหนิชนิดเดียวกับรอยตำหนิที่ปรากฏเป็นเส้นตรง แต่ปรากฏเป็นเส้นปะ ทั้งนี้เนื่องมาจากรอยตำหนินั้นไม่ติดต่อกันหรืออาจจะเกิดจากรอยตำหนิบางส่วนถูกปิดบังในขณะผ่านกรรมวิธีด้วยเครื่องจักร, FORGING, EXTRUDING, PEENING, GRINDING และอื่น ๆ

๓. เป็นกลุ่ม ๆ (ROUNDED AREAS) รอยตำหนิชนิดนี้บ่งถึงลักษณะของการพรุนอันเนื่องมาจากโพรงแกสหรือรอยเจาะ หรือแสดงถึงสภาพผิวที่พรุนของวัสดุชนิดนั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขอบเขตของเครื่องหมาย รอยร้าวซึ่งเกิดจากการเชื่อมโลหะจะปรากฏเป็นเครื่องหมายชนิดนี้บ่อย ๆ เพราะว่าเกิดจากสาร PENETRANT ที่มีจำนวนมากซึมถึงกัน

๔. จุดเล็ก ๆ (SMALL DOTS) รอยตำหนิซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากความพรุนของผิววัสดุ เช่นว่าเครื่องหมายที่เกิดขึ้นเป็นจุดเล็ก ๆ เป็นกลุ่มอาจเกิดจากชิ้นหล่อมีผิวหยาบหรือเป็นรอยเจาะเล็ก ๆ หรืออาจจะสาเหตุจากการหดตัว (MICRO SHRINKAGE) ของเนื้อโลหะผสมที่นำมาหล่อ

๕. เป็นรอยกระจัดกระจายหรือไม่ชัด (DIFFUSE OR WEAK) ลักษณะอาจจะเป็นสาเหตุจากผิวพรุน การทำความสะอาดไม่เพียงพอ ขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกไม่หมด หรือใช้ DEVELOPER มากเกินไป เครื่องหมายลาง ๆ ที่ขยายครอบคลุมพื้นที่กว้าง ๆ อาจจะทำให้เกิดความไม่แน่ใจขึ้นได้ เมื่อลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นผู้ปฏิบัติจะต้องกระทำซ้ำอีกเพื่อให้เกิดความแน่ใจ



รูปที่ ๔ Types of Defect Indications

เทคนิคการตรวจ

๑. การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนตรวจ ควรเลือกใช้วิธีเหมาะสม ไม่ควรใช้วิธี เชิงกล (MECHANICAL CLEANINGS)

๒. ควรใช้น้ำยา PENETRANT มากกว่า ๑ ครั้ง โดยเฉพาะ METHOD C

๓. สำหรับ อากาศยาน เครื่องยนต์ และชิ้นงานวุธ และชิ้นส่วนสำคัญ ๆ ควรเลือกใช้น้ำยา PENETRANT ที่มีคุณสมบัติซึมซาบสูง (TYPE I, METHOD B OR C)

๔. ช่วงระยะเวลาให้ PENETRANT ซึมซาบ (DWELL TIME) ขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน (ดูตารางที่ ๒)

๕. การขจัด PENETRANT ส่วนเกินออก ต้องทำให้หมดจริง ๆ เพื่อป้องกันการเข้าใจผิดอาจจะต้องใช้BLACK LIGHT ช่วย

๖. PENETRANT DWELL TIME นานเกินไป ก็จะทำให้น้ำยาแห้ง

๗. การใช้ DEVELOPER ไม่ควรให้หนาเกินไป

๘. ความเข้มของ BLACK LIGH ต้องพอเหมาะ (ประมาณ 100 FOOT CANDLE โดยใช้หลอด MERCURY , 100 WATT)

๙. สายตาของผู้ตรวจ ควรหลับตาก่อนตรวจแต่ละครั้ง (เฉพาะ TYPE I)

๑๐. ห้องที่ใช้ตรวจต้องมืดที่สุด (TYPE I)

๑๑. น้ำยาที่ใช้แต่ละ GROUP ต้องผลิตจากบริษัทเดียวกัน ห้ามใช้น้ำยาต่างบริษัทมาใช้ร่วมกัน

๑๒. PENETRANT TYPE II ทุก ๆ GROUP มีความไวต่ำ ไม่ควรนำมาตรวจหารอยตำหนิที่เกิดจากการใช้งาน (SERVICE DEFECT) หรือกับชิ้นส่วน อ. , ย. และ ชิ้นวุธ

๑๓. ไม่ควรใช้ PENETRANT ในขณะที่ชิ้นงานมีอุณหภูมิสูงมาก

๑๔. กรดและโครเมท จะทำปฏิกริยากับ น้ำยา PENETRANT TYPE I METHOD A

๑๕. ห้ามพ่น SOLVENT REMOVER (CLEANER) เพื่อขจัด PENETRANT ส่วนเกินออกควรใช้ผ้าขาวสะอาดชุบ SOLVENT REMOVER เช็ด

๑๖. การใช้น้ำยาแบบ SPRAY CAN ควรเขย่าก่อนทุกครั้ง

๑๗. SPRAY CAN อาจจะระเบิดขึ้นได้เมื่อได้รับความร้อนเกิน 120°F

๑๘. BLACK LIGHT ต้องมี FILTER.

ขีดจำกัดของการตรวจด้วย PENETRANT

๑. ชิ้นงานที่เป็นเหล็ก ควรตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE

๒. ตรวจหาได้เฉพาะรอยตำหนิที่เปิดขึ้นบนผิวเท่านั้น

๓. จะต้องคำนึงถึงวัสดุของชิ้นงานว่า น้ำยาจะทำอันตรายหรือไม่

๔. ไม่สามารถหราบได้ว่ามีรอยตำหนิอยู่ใต้ผิวของชิ้นงานหรือไม่

๕. ความชำนาญของผู้ตรวจ

MAGNETIC PARTICLE INSPECTION

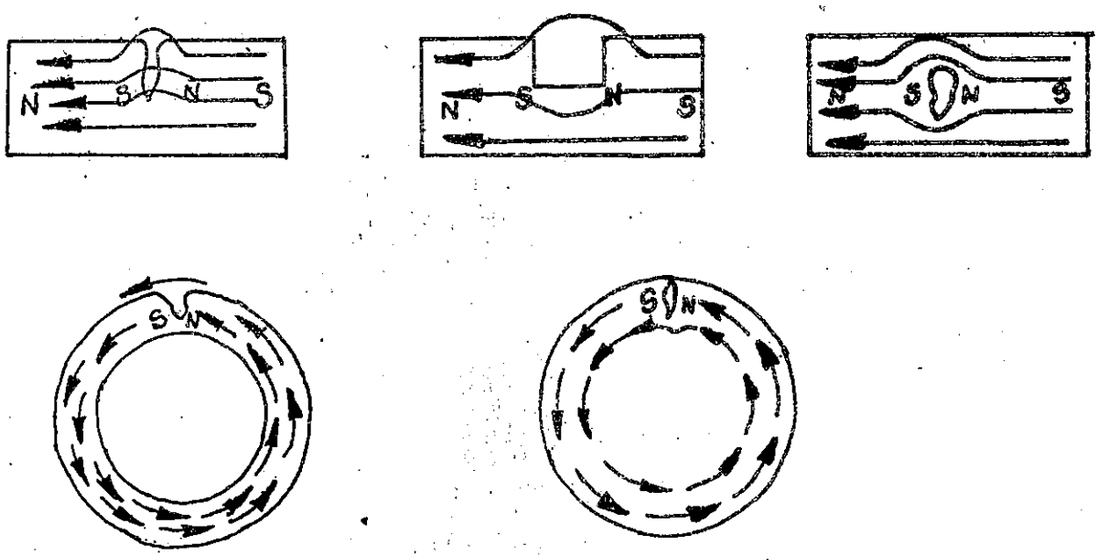
๑. กล่าวโดยทั่วไป

การตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE เป็นการตรวจเพื่อหารอยความไม่สมบูรณ์ต่าง ๆ ในชิ้นงานที่เป็นสารแม่เหล็ก (FERROMAGNETIC) เท่านั้น ชิ้นงานที่ต้องการตรวจจะถูกนำมาทำให้เป็นแม่เหล็ก (หรืออยู่ในสนามแม่เหล็ก) ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่ชิ้นงานนั้น ๆ รอยความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นขวางกับสนามแม่เหล็ก จะก่อให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นบนแต่ละด้านของรอยตำหนิ เมื่อทำการพ่นหรือทาผงเหล็ก (ชนิดเปียกหรือแห้ง) ลงบนชิ้นงานขั้วแม่เหล็กก็จะทำการดึงดูดสารแม่เหล็กไว้ ทำให้เกิดเครื่องหมายขึ้นมาบนรอยความไม่สมบูรณ์นั้น ๆ

วิธีนี้จะสามารถตรวจหารอยร้าวหรือรอยความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นบนผิวและใต้ผิวตื้น ๆ กับชิ้นงานภายหลังที่ทำให้เป็นแม่เหล็กหรืออยู่ในสนามแม่เหล็กแล้ว ส่วนมากจะใช้ตรวจหารอยตำหนิกับส่วนประกอบของ LANDING GEARS, STELL FASTENERS , FORGINGS และ FITTINGS

๒. หลักการเบื้องต้น

ถ้าหักแท่งแม่เหล็กออกเป็น ๒ ส่วน จะเกิดขั้นแม่เหล็กขึ้นใหม่ตรงรอยหักนั้นทั้งสองข้าง (หรือจะได้แท่งแม่เหล็กเป็น ๒ แท่ง) และในทำนองเดียวกันถ้ามีรอยแตกร้าวหรือรอยความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นก็จะเกิดขั้วแม่เหล็กทั้งสอง (ขั้วเหนือและใต้) ตรงรอยนั้น ๆ ได้ ถึงแม้ว่ารอยตำหนินั้นจะเกิดขึ้นภายใต้ผิวก็ตามเส้นแรงแม่เหล็ก ณ ตำบลนั้นจะบิดเบี้ยว (FLUX LEAKAGE) ตามรูปที่ ๑ เมื่อใช้ผงเหล็ก (ผงตะไบเหล็ก) โรยลงไปก็จะเกาะติดตรงบริเวณที่เป็นร้าวหรือรอยร้าวทั้งบนผิวและใต้ผิวทำให้เป็นเครื่องหมายให้เห็น

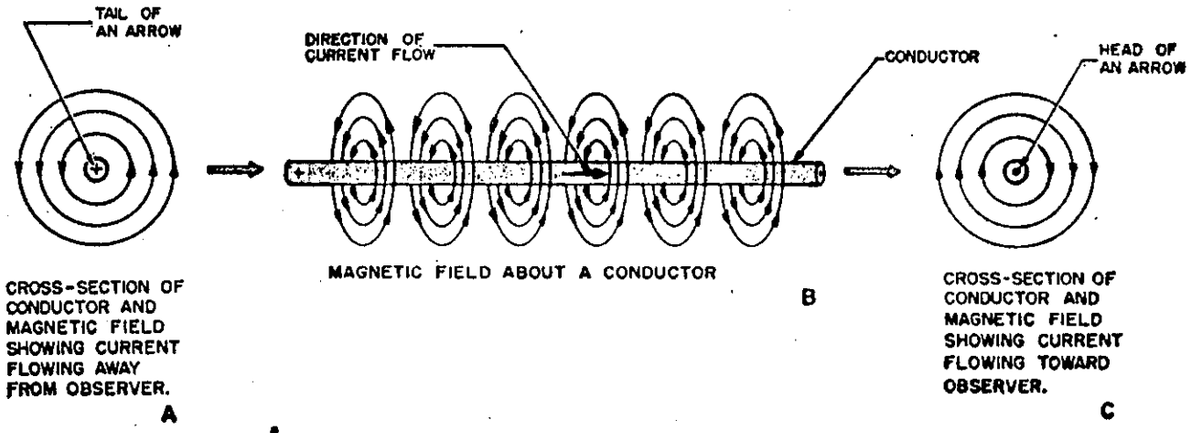


รูปที่ ๑ FLUX LEAKAGE

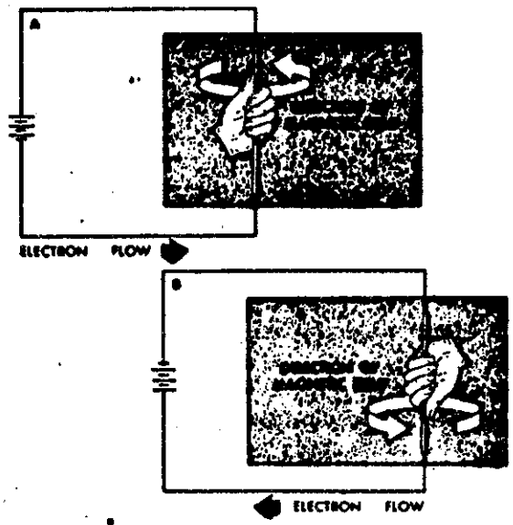
๓. <u>การทำให้เป็นแม่เหล็กด้วยวิธีทั่ว ๆ ไป</u>

๓.๑ <u>โดยการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็ก</u> เมื่อนำชิ้นงานที่เป็นเหล็กมาเกาะติดกับแม่เหล็กถาวรก็จะเหนี่ยวนำชิ้นงานนั้นให้เป็นแม่เหล็กได้เหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดเล็กหรือทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่าย (HIGH PERMEABILITY)

๓.๒ <u>โดยใช้กระแสไฟฟ้า</u> เมื่อให้กระแสไฟผ่านตัวนำไฟฟ้าก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆ ตัวนำ (ดูรูป ๒) ซึ่งทิศทางของสนามแม่เหล็กจะเป็นไปตาม " กฎมือซ้าย " ดังรูปที่ ๓ นิ้วหัวแม่มือแสดงทิศทางไหลของ ELECTRON และนิ้วทั้งสี่แสดงถึงทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

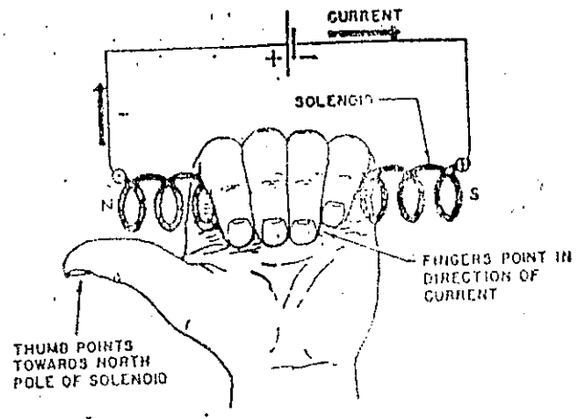


รูปที่ ๒ Magnetic Field About a Conductor.



รูปที่ ๓ . Left-Hand Rule of Direction of Magnetic Flux About a Current-Carrying Conductor.

ในทางกลับกันถ้าให้กระแสไฟผ่านขดลวดตัวนำก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในขดลวดตัวนำนั้น ซึ่งทิศทางของสนามแม่เหล็กก็จะเป็นไปตาม " กฎมือซ้าย " เช่นเดียวกัน ดังรูป (๔) นิ้วหัวแม่มือแสดงถึงทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และนิ้วทั้งสี่แสดงทิศทางของ ELECTRON ที่ส่งผ่านขดลวดตัวนำ



รูปที่ ๔ Left-Hand Rule For A Coil or Solenoid.

กระแสไฟฟ้าที่ใช้นั้นให้เลือกใช้ทั้ง กระแสไฟตรง (DC) , กระแสไฟสลับ (AC) และ HALF WAVE RECTIFIED (PULSATING D.C.)

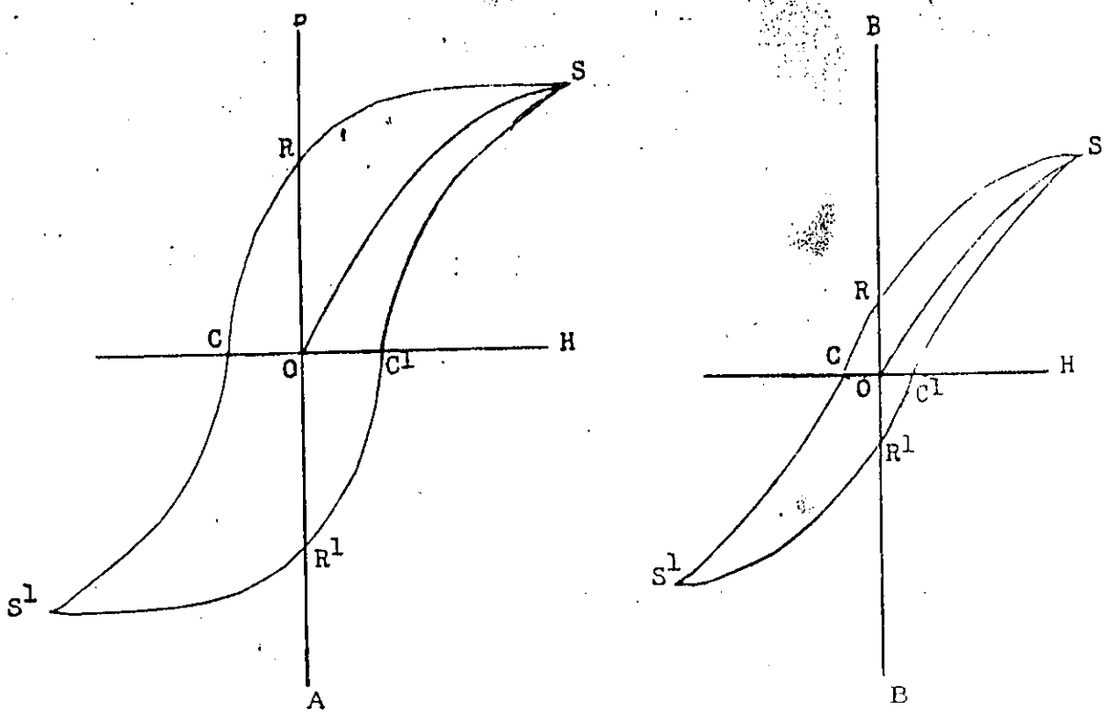
๓.๓ นอกจาก ๒ วิธีดังกล่าวแล้ว การใช้ฆ้อนตีที่ปลายด้านหนึ่งด้านใดของแท่งเหล็กก็สามารถทำให้เป็นแม่เหล็กได้ โดยการใช้ฆ้อนตีนี้เองจะทำให้โมเลกุลของเหล็กเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ วิ้นเหล็กนั้นก็จะกลายเป็นแม่เหล็ก

๔. <u>คุณลักษณะของโลหะและโลหะผสม ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก</u>

๔.๑ ผู้ตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE จะต้องทำนึงว่าชิ้นงานนั้นสามารถทำให้เป็นแม่เหล็กได้หรือไม่ ก่อนที่จะดำเนินการตามขั้นตอนต่อไป คุณลักษณะที่แสดงตามมาว่าชิ้นงานนั้นจะทำให้เป็นแม่เหล็กได้ก็คือไหนนั้นได้แก่ PERMEABILITY, RETENTIVITY และ HYSTERESIS

- PERMEABILITY คือคุณสมบัติของโลหะที่ยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กซึมผ่านได้
- RETENTIVITY คือความสามารถของโลหะที่สามารถรักษาอำนาจแม่เหล็กไว้ได้

๔.๒ ตัวอย่างแสดงถึงชนิดของ HYSTERESIS CURVES สำหรับสารเหล็กที่ถูกทำให้เป็นแม่เหล็กดังแสดงในรูป (๕) รูป ๕ – ก แสดงถึง HYSTERESIS CURVE ที่กว้างกว่า ซึ่งได้แก่เหล็กแข็งหรือ HIGH CARBON ALLOY STEEL รูป ๕ – ข เป็น CURVE ของเหล็กอ่อน หรือ LOW CARBON ALLOY STEEL โลหะที่ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่ายจะมีอำนาจแม่เหล็กคงค้างน้อย



รูปที่ ๕ Typical B-H Hysteresis Curves for Ferromagnetic Material.

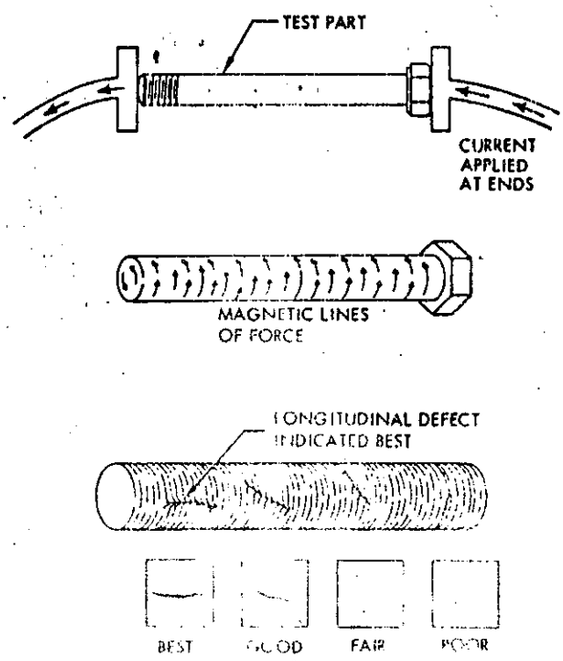
๕. <u>วิธีการตรวจด้วย MAGNETIC PARTICLE</u> สามารถกระทำได้สองวิธีคือ

๕.๑ CIRCULAR MAGNETIZATION กระทำได้โดยผ่านกระแสไฟฟ้าให้สัมผัสปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานโดยตรง หรือใช้คล้องเข้าไปในแกนตัวนำไฟฟ้า (BAR CONDUCTOR) สำหรับชิ้นงานที่เป็นท่อ หรือการใช้ หัวแตะ (PROBE) สัมผัสกับชิ้นงานโดยตรง เมื่อกระแสผ่านชิ้นงานเข้าไปแล้ว ก็สามารถตรวจพบรอยความไม่สมบูรณ์ที่อยู่ขนานกับความยาวของชิ้นงานได้ง่าย การตรวจด้วยวิธีนี้ควรให้จุดสัมผัสแนบกับหน้าตัดของชิ้นงานจริง ๆ เพื่อป้องกันการเสียหายต่อชิ้นส่วนที่อาจเกิดจากการอาร์ค ดูรูป (๖)

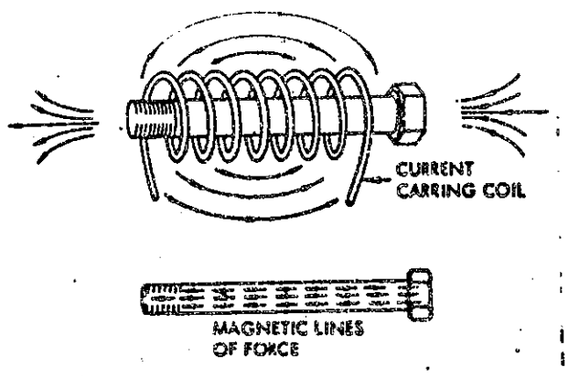
๕.๒LONGITUDINAL MAGNETIZATION เมื่อกระแสไฟไหลผ่านขดลวดที่พันไว้รอบชิ้นงาน จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นตามแกนยาว (ดูรูป (๗) กับชิ้นงานนั้น การทำสนามแม่เหล็กตามแกน (LONGITUDINAL MAGNETIZATION) ให้เกิดขึ้นกับชิ้นงานสามารถกระทำได้โดย วางชิ้นงานไว้ในขดลวดแบบติดตั้งอยู่กับเครื่องแบบประจำที่ หรือใช้สายไฟพันรอบชิ้นส่วนด้วยเครื่องมือแบบ PORTABLE หรือวางชิ้นงานระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสอง (ใช้การเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กถาวรหรือจาก CONTOUR PROBE ดังรูปที่ ๗) วิธีการนี้สามารถตรวจหารอบตำหนิหรือรอยความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นตั้งฉาก (หรือใกล้เคียง) กับแนวแกนของขดลวด

๖. <u>ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กกับขนาดของชิ้นงาน</u>

๖.๑ กำลังของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานนั้นขึ้นกับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะต้องหาค่าความเข้มหรือกำลังของสนามแม่เหล็กให้เหมาะสม <u>องค์ประกอบที่มีผลต่อกำลังสนามแม่เหล็กได้แก่ ขนาด รูปร่างและชนิดวัสดุของชิ้นงาน</u> ถึงแม้ว่าความเข้มของสนามแม่



รูปที่ ๖ , Circular Magnetism.



รูปที่ ๗ **Longitudinal Magnetism.**

แม่เหล็กจะเป็นเพียงองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องการเพื่อความสำเร็จในการตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE ก็ตาม แต่ถ้าความเข้มออนไปหรือสูงไปก็จะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของเส้นแรงแม่เหล็ก (FLUX LEAKAGE) น้อยเกินไปหรือมากเกินไปได้ ณ บริเวณรอยความไม่สมบูรณ์นั้น ทิศทางของสนามแม่เหล็กมีความสำคัญมากกว่าความเข้ม ในทางปฏิบัติจริง ๆ ความเข้มของสนามแม่เหล็กไม่สามารถคำนวณหาได้ แต่ได้จากการหาค่าได้อย่างใกล้เคียงโดยการประมาณหรือหาได้จากการทดลองซึ่งก็มีความเที่ยงตรงพอควร

ลักษณะของผงเหล็กในรูปของเครื่องหมายที่ปรากฏขึ้นบนผิวของชิ้นงานในขณะทำการตรวจนั้น ขึ้นอยู่กับกำลังของเส้นแรงแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำหรือปริมาณของกระแสไฟที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานนั้นเป็นแม่เหล็ก ผงเหล็กที่ใช้ดังกล่าวมักจะเป็นแบบแห้งหรือเป็นแบบเปียกที่สังเกตุเห็นได้ง่าย สำหรับแบบผงแห้งนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กแรงเกินไปจะทำให้ผงเหล็กติดแน่นกับผิวมากและเคลื่อนตัวยาก ฉะนั้นมันจึงไม่เคลื่อนตัวไปเกาะติดตรงรอยตำหนิแต่จะเกาะติดตรงบริเวณปลายทั้งสองของชิ้นงานตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ในทางตรงกันข้ามถ้าสนามแม่เหล็กอ่อนเกินไปหรือใช้กระแสไฟไม่เพียงพอก็จะไม่สามารถมองเห็นเครื่องหมายได้เลย

ปกติการเผ้าสังเกตุรูปแบบของผงเหล็กที่เกาะติดบนผิวของชิ้นงาน เพื่อเป็นแนวทางในการทดสอบหาความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กที่ถูกต้อง (ในลักษณะของปริมาณแอมแปร์ที่ปรากฏบน AMMETER) นั้นมักจะใช้แบบผงแห้ง

TABLE I. MAGNETIZING CURRENT FOR CIRCULAR MAGNETIZATION

SOLID PARTS		TUBULAR PARTS (On Central Conductor)	
Greatest Width or Diameter in Inches	Magnetizing Current (approx) in Amperes	Maximum Outside Diameter in Inches *	Magnetizing Current (approx) in Amperes
1/2	500	1/2	500
3/4	750	3/4	750
1	1000	1	1000
1-1/2	1500	1-1/2	1500
2	2000	2	2000
2-1/2	2500	2-1/2	2500
3	3000	3	3000
3-1/2	3500	3-1/2	3500
4	4000	4	4000

* Measurement of tubular parts must be made on the outside diameter, since amperage determines the effective field surrounding a conductor.

๖.๒ กระแสไฟที่ใช้สำหรับ CIRCULAR MAGNETIZATION จำนวนกระแสไฟที่พอเพียงเท่านั้นจึงจะสามารถตรวจพบรอยความสมบูรณ์ด้วยวิธีนี้ได้ ถ้ากระแสไฟแรงเกินไปก็อาจจะแสดงเครื่องหมายต่าง ๆ ที่ไม่จำเป็นขึ้นมาให้เห็น สำหรับจำนวนกระแสที่ดีที่สุดนั้นได้จากชิ้นตัวอย่าง

ที่ให้เครื่องหมายอย่างชัดเจน ซึ่งได้บันทึกไว้จากการตรวจครั้งก่อน ๆ

จำนวนกระแสไฟที่ใช้กับชิ้นงานส่วนใหญ่เป็นที่ยอมรับกันนั้นคือ ๔๐๐ ถึง ๑๐๐ แอมแปร์/เส้นผ่าศูนย์กลาง ๑ นิ้ว (AMPERE/INCS DIA.) ตัวอย่างเช่น ชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นท่อนกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑ " จะต้องใช้กระแสไฟ ๔๐๐ – ๑๐๐๐ แอมแปร์ ไหลผ่านส่วนความยาวของชิ้นงานจะไม่มีผลกระทบกระเทือนค่าประมาณนี้ ยกเว้นความต้านทานต่อกระแสสำหรับชิ้นที่ยาวมากจะลดจำนวนกระแสที่ไหลผ่านมันบ้างเล็กน้อย ถ้าชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๒ " จะต้องใช้กระแสไฟ ๑๖๐๐ – ๒๐๐๐ แอมแปร์ ดังตารางที่ ๑ แสดง ถึงจำนวนกระแสไฟและชิ้นงานขนาดต่าง ๆ แต่สำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างที่ผิดไปจากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นตารางนี้ก็อาจจะไม่ถูกต้องนัก

TABLE II. TYPICAL COIL SHOT AMPERAGES USING A FIVE TURN COIL

Part Length in Inches	Part Diameter in Inches	L/D Ratio	Ampere Turns Required	Amperes Required
8	4	2	22,500	4,500
12	3	4	11,250	2,250
12	2	6	7,500	1,500
16	2	8	5,625	1,125
10	1	10	4,500	900
18	1-1/2	12	3,750	750
14	1	14	3,214	643

๖.๓ <u>กระแสไฟที่ใช้สำหรับ LONGITUDINAL MAGNETIZATION</u> กระแสไฟที่ใช้ (หรือการตั้ง AMMETER) เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กตามแกนที่เกิดจากเครื่องมือแบบติดตั้งอยู่กับที่นั้นจะต้องใช้ให้น้อยลงกว่าที่ใช้สำหรับ CIRCULAR MAGNETIZATION สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวด (COIL) จะหาได้โดยนำจำนวนกระแสไฟที่ยอมรับคูณกับจำนวนรอบของขดลวด ตัวอย่างเช่น กระแสไฟจำนวน ๑๐๐๐ แอมแปร์ไหลผ่านขดลวดที่พันเป็นจำนวน ๔ รอบ ฉะนั้นจะได้เส้นแรงแม่เหล็ก ๔๐๐๐ แอมแปร์ – รอบ(AMPERE – TURNS) ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องทราบจำนวนรอบของขดลวดเพื่อที่จะคำนวนหาเส้นแรงแม่เหล็ก (MAGNETIZING FORCE) เครื่องมือแบบติดตั้งอยู่กับที่บางบริษัทจะทำเครื่องหมายจำนวนรอบของขดลวดไว้ที่ตัวเครื่อง

สำหรับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด (LONGITUDINAL MAGNETIZATION) ชิ้นงานจะต้องมีความยาวอย่างน้อยเป็น ๒ หรือ ๓ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้คือ

ความยาวของชิ้นงาน/เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน หรืออัตราส่วนของ L/D เมื่อเราทราบอัตราส่วนของ L/D และจำนวนรอบของขดลวดก็จะสามารถหาจำนวนกระแสไฟที่จะใช้ได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรง การทำชิ้นงานให้เป็นแม่เหล็กด้วยขดลวด (COIL SHOT) นั้นจะต้องกระทำตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

๑. พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานจะต้องไม่ใหญ่กว่า ๑/๑๐ ของพื้นที่ของวงขดลวด (COIL

๒. ชิ้นงานหรือส่วนของชิ้นงานที่จะทำให้เป็นแม่เหล็กนั้นจะต้องมีความยาวไม่เกิน ๑๘ นิ้ว

๓. ชิ้นงานที่วางบนผิวด้านในของ COIL จะต้องไม่วางตั้งบนผิวด้านในของ COIL นั้น

๔. อัตราส่วนระหว่าง L/D จะต้องอยู่ระหว่าง ๒ ถึง ๑๕

๕. จะต้องวางชิ้นงานให้ความยาวขนานกับแนวสนามแม่เหล็ก

๖. ถ้าเป็นไปตามที่ได้กล่าวมาแล้ว (ข้อ ๑ – ๕) จะใช้สูตรเพื่อคำนวนหากระแสไฟที่จะใช้ให้ถูกต้องต่อไปดังนี้

$$\text{AMPERE TURNS} = \frac{45{,}000}{L/D}$$

<u>ตัวอย่าง</u> สมมุติใช้ COIL ที่มีจำนวน ๕ รอบ ชิ้นงานมีความยาว ๘ นิ้วและเส้นผ่าศูนย์กลางโต ๒ นิ้ว จงคำนวณหากระแสไฟที่จะใช้

$L = 8$ นิ้ว , $D = 2$ นิ้ว

ฉะนั้น $L/D = 8/2 = 4$ นิ้ว

จากสูตร $$\text{AMPERE - TURNS} = \frac{45{,}000}{L/D}$$

$$= \frac{45{,}000}{4} = 11{,}250$$

แต่ขดลวดมีจำนวน ๕ รอบ

∴ จะต้องใช้กระแสไฟ = 11,250 AMPERE - TURNS / 5 TURNS

= 2,250 - AMPERES.

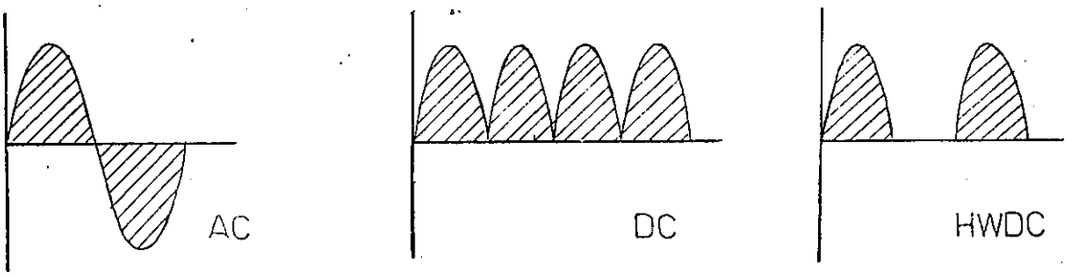
๖ฉ. <u>ชนิดของกระแสไฟที่ใช้ทำให้เป็นแม่เหล็ก</u> (MAGNETIZING CURRENT)

กระแสไฟที่ใช้มีอยู่ ๓ ชนิด คือ DIRECT CURRENT ALTERNATING CURRENT และ HALF -WAVE RECTIFIED CURRENT การเลือกใช้ชนิดของกระแสไฟนั้นขึ้นอยู่กับชิ้นงานและลักษณะของรอยความไม่สมบูรณ์ที่ต้องการจะตรวจหา กระแสชนิดหนึ่งอาจจะเหมาะสำหรับตรวจหารอยตำหนิชนิดหนึ่งแต่จะไม่เหมาะกับรอยตำหนิชนิดอื่น ๆ หรือเหมาะสำหรับลักษณะของชิ้นงานหนึ่ง ๆ แต่จะไม่เหมาะกับชิ้นงานอื่น ๆ ที่ตัวเครื่องมือ MAGNETIC PARTICLE INSPECTION UNIT. จะบอกถึงชนิดของกระแสที่ผลิตได้ไว้ที่แผ่นป้าย (NAME PLATE) เครื่อง ๆ บางชนิดสามารถผลิตกระแสไฟได้หลายอย่างแต่บางเครื่องอาจผลิตกระแสไฟได้เพียงอย่างเดียวฉะนั้นการเลือกใช้กระแสไฟจึงขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่อง ๆ ด้วย การพิจารณาเลือกชนิดของกระแสไฟสามารถกระทำได้ดังนี้

๖ ก.๑ ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC.) ไฟกระแสสลับจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กบริเวณผิวเท่านั้น ด้วยเหตุนี้เองมันจึงมีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะตรวจหารอยตำหนิที่เกิดใต้ผิว ฉะนั้นจึงใช้ตรวจหารอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนผิวและรวมถึงรอยแตกร้าวที่เกิดจากการล้าด้วย (FATIQUE CRACK)

๖ ก.๒ ไฟฟ้ากระแสตรง (DC.) ไฟกระแสตรงมีอำนาจทะลุทะลวงสูงและให้เส้นแรงแม่เหล็กตกค้างได้มากกว่ากระแสไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ เหมาะสำหรับตรวจหารอยตำหนิทั้งที่ผิวและใต้ผิว มันมีความไว (SENSITIVITY) ในการตรวจหารอยตำหนิเล็ก ๆ บนชิ้นงานบางชนิดได้ดีกว่ากระแสสลับ ข้อดีของมันคือให้กำลังของเส้นแรงแม่เหล็กที่สูงกว่าฉะนั้น เมื่อนำมาผ่านขดลวด ( ) จึงใช้กระแสไฟที่น้อยกว่าไฟกระแสสลับ

ไฟกระแสตรง (DC.) นี้นิยมติดตั้งกับเครื่อง ๆ ชนิดติดตั้งอยู่กับที่และใช้ผงเปียก (WET - HORIZONTAL UNITS) และใช้ตรวจกับชิ้นงานที่เป็นชิ้นส่วนของ ย.



รูปที่ ๑๓

๖ ก.๓ HWDC (HALF WAVE DIRECT CURRENT OR PULSATING DC.) ได้แก่กระแสไฟสลับที่ผ่านการกรองกระแสเพียงครึ่งจังหวะ (CYCLE) ดูรูป B มีคุณสมบัติเหมือนกับไฟกระแสสลับแต่มันสามารถตรวจรอยตำหนิใต้ผิวได้ดีที่สุดเมื่อใช้กับผงแห้ง HWDC นี้นิยมติดตั้งกับเครื่อง ๆ ชนิดเคลื่อนที่ได้ (MOBILITY) และใช้ผงเหล็กแบบผงแห้ง มันใช้ตรวจหารอยตำหนิจากการเชื่อม ชิ้นหล่อ หรือชิ้นงานที่ต้องการตรวจหารอยตำหนิใต้ผิว

หมายเหตุ HWDC เป็นกระแสที่ดีที่สุดในการตรวจหารอยตำหนิที่ผิวและใต้ผิวเมื่อใช้กับผงเหล็กแบบผงแห้ง (จาก T.O. 33 B - 1 - 1)

๗. ชนิดของผงเหล็ก (TYPE OF PARTICLES)

ขณะที่ชิ้นงานถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก รอยความไม่สมบูรณ์ที่มีอยู่ก็จะสามารถมองเห็นได้ชัดขึ้นด้วยผงเหล็กที่เกาะติดอยู่ตามแนวของรอยความไม่สมบูรณ์นั้น ผงเหล็กที่ใช้มีอยู่ ๒ ชนิด คือ ชนิดเปียก (WET PARTICLE) และชนิดแห้ง (DRY PARTICLE)

๗.๑ ชนิดผงเปียก (WET PARTICLE) ประกอบด้วยผงเหล็กที่ผสมอยู่ในน้ำมันปิโตรเลี่ยมใสหรือน้ำมันเครื่องใส มีสีตัดกับสีของชิ้นงานที่นำมาตรวจเพื่อให้สามารถมองเห็นได้ชัดขึ้น ผงเหล็กบางชนิดอาจจะมีสารเรืองแสง (FLUORESCENT) เคลือบไว้เมื่อส่องด้วย BLACK LIGHT) จะทำให้มองเห็นชัดเจนขึ้นมากกว่า การใช้ชนิดผงเปียกนี้ปฏิบัติโดยการพ่นหรือฉีดราดลงบนชิ้นงาน และมักจะใช้กับเครื่องมือแบบติดตั้งอยู่กับที่ (STATIONARY UNIT)

น้ำมันปิโตเลี่ยมหรือน้ำมันเครื่องใสจะต้องมีส่วนประกอบของกำมะถันต่ำและมีจุดวาบไฟ (FLASH POINT) สูง ที่ใช้กันอยู่ในขณะนี้ได้แก่น้ำมัน KEROSENES ตามMILITARY SPECIFICATION MIL - I - 6868 หรือ P - D - 680 หรือ VV - K - 220 หรือตาม T.O. 33B - 1 - 1 SECTION III

ตารางที่ ๓ REQUIRED OIL CHARACTERISTICS

Viscosity ..... (kinematic at 100°F (38°C))	3 centistokes (max)
Flash Point (tag closed cup) .	135°F (57°C) (min)
Initial Boiling Point	390°F (199°C) (min)
End Point	500°F (260°C) (max)
Color (Saybolt)	plus 25
Low Sulphur Available (Copper Test - ASTM-D129-52)	

(แสดงถึงคุณสมบัติของน้ำมันตาม T.O. 33B - 1 - 1 ,SECTION III)

การเตรียมถังใส่ผงเปียกของเครื่องมือ MAGNETIC PARTICLE นั้น จะต้องทำความสะอาดภายในถังให้พอเพียง แล้วจึงใส่ส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับผงเหล็กลงไป

๓.๑.๑ การผสมผงเหล็ก (PASTE PARTICLES) กับน้ำมันกระทำได้ดังนี้

๑. ใช้ผงเหล็กสีแดงหรือดำ ๑ - ๒ ออนซ์ ต่อน้ำมัน ๑ แกลลอน และใช้ผงเหล็กแบบเรืองแสง (FLUORESCENT) ๒ ออนซ์ต่อน้ำมัน ๑ แกลลอน การผสมจะต้องใช้ภาชนะต่างหาก ห้ามผสมในถังของเครื่องมือ

๒. เติมน้ำมันจากถังลงในภาชนะที่ตวงผงเหล็กใส่ไว้แล้ว ผสมให้เข้ากันจากนั้นเติมน้ำมันเพิ่มขึ้นอีกจนให้ส่วนผสมบางลง

๓. เปิดสวิทช์ปั๊มที่เครื่องฯ แล้วค่อย ๆ เทส่วนผสมจากภาชนะลงในถังเครื่องเดินปั๊มหลาย ๆ นาที แล้วจึงเปิดก๊อกที่ปลายท่อสักพักหนึ่ง

๔. ทดสอบความเข้มข้นของส่วนผสมว่าถูกต้องหรือไม่

๓.๑.๒ การทดสอบความเข้มข้นของผงเปียก ถ้าความเข้มข้นของผงเปียก (ส่วนผสม) ไม่อยู่ในระดับที่ถูกต้องแล้วการตรวจก็จะไม่สามารถไว้ใจได้ ส่วนผสมของผงเปียกจะต้องได้รับการตรวจภายหลังจากที่ได้ผสมใหม่ ๆ หรือ ทุกวันหลังจากนั้นมา วิธีการตรวจกระทำดังนี้

๑. เดินปั๊มประมาณ ๑๐ นาที เพื่อที่จะกวนให้ส่วนผสมของผงกับน้ำมันเข้ากันดี

๒. เปิดวาล์วที่ปลายท่อให้ส่วนผสมไหลผ่านประมาณ ๒ - ๓ นาที เพื่อทำความสะอาดภายในท่อ

๓. เติมลงไปในหลอดแก้ว CENTRIFUGE ให้อยู่ในระดับ 100 c.c ดังรูป ๑๑

๔. ตั้งหลอดแก้ว CENTRIFUGE บนขาตั้ง และวางไว้ในที่ไม่มีการสั่นสะเทือน

๕. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ ๓๐ นาที เพื่อให้ผงเหล็กตกตะกอน

๖. หลังจาก ๓๐ นาทีผ่านไปแล้วจึงอ่านระดับผงเหล็กที่ตกตะกอนนั้นดังนี้

ก. 1.7 - 2.4 c.c สำหรับผงสีดำหรือแดง

ข. 0.1 - 0.5 c.c สำหรับผงแบบเร็องแสง (อาจจะใช้ 0.1 c.c สำหรับในกรณีพิเศษ)

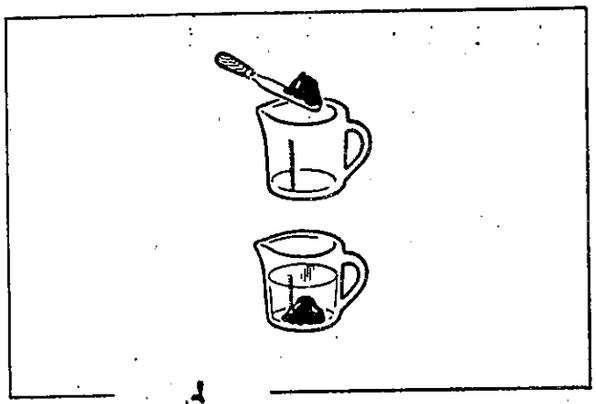
๗. ถ้าระดับสูงกว่าให้เติมน้ำมัน และถ้าระดับต่ำกว่าที่กำหนดให้เติมผงเหล็กลง

๘. การเติมผงเหล็กให้กระทำเหมือนกับการผสมครั้งแรก (ดู 7.1.1)

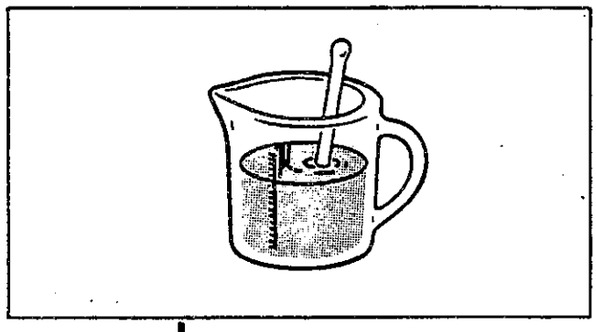
<u>หมายเหตุ</u> ห้ามใส่ส่วนผสมที่สกปรกลงไปในหลอด CENTRI FUGE เพราะจะทำให้การทดสอบไม่ได้ผล

๗.๑.๓ <u>การเปลี่ยนผงเปียกในถังเครื่องมือ</u> ส่วนผสมของผงเปียกในถังเครื่องมือจะต้องทำการเปลี่ยนทุก ๆ ๖ เดือน ก่อนที่จะใส่ส่วนผสมของผงเปียกลงไป จะต้องถ่ายของเดิมออกแล้วทำความสะอาดภายในถัง ท่อ ปั๊ม และท่อทางต่าง ๆ เสียก่อน

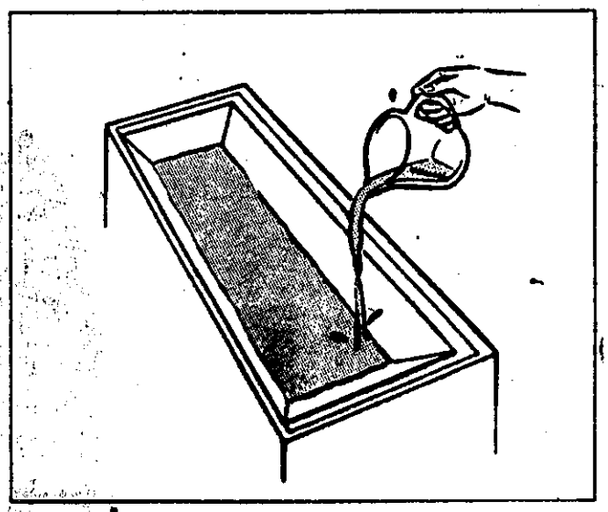
๗.๑.๔ <u>BLACK LIGHT</u> BLACK LIGHT เป็นชื่อเรียกกันทั่วไปสำหรับแสงที่มองไม่เห็น (INVISIBLE LIGHT) มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับ แสงอัลตราไวโอเล็ต ถึงแม้ว่า BLACK LIGHT จะไม่ใช่เป็นของใหม่ก็ตาม แต่ก็เป็นที่รู้จักนำมาใช้ประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวางถึงคุณลักษณะของมัน แสงของBLACK LIGHT ไม่สามารถมองเห็นโดยตรงได้ แต่เมื่อกระทบกับสารเรืองแสง (FLUORESCENT) จะทำให้สารเรืองแสงแจ่มขึ้น และง่ายต่อการมองเห็น



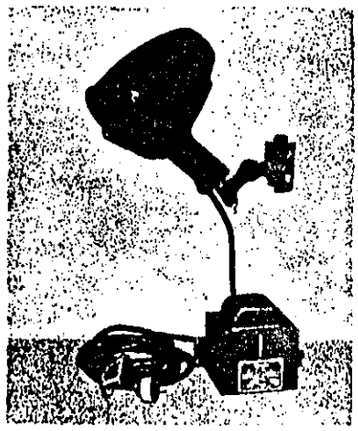
รูปที่ ๘ Measuring Paste Into Clean Container



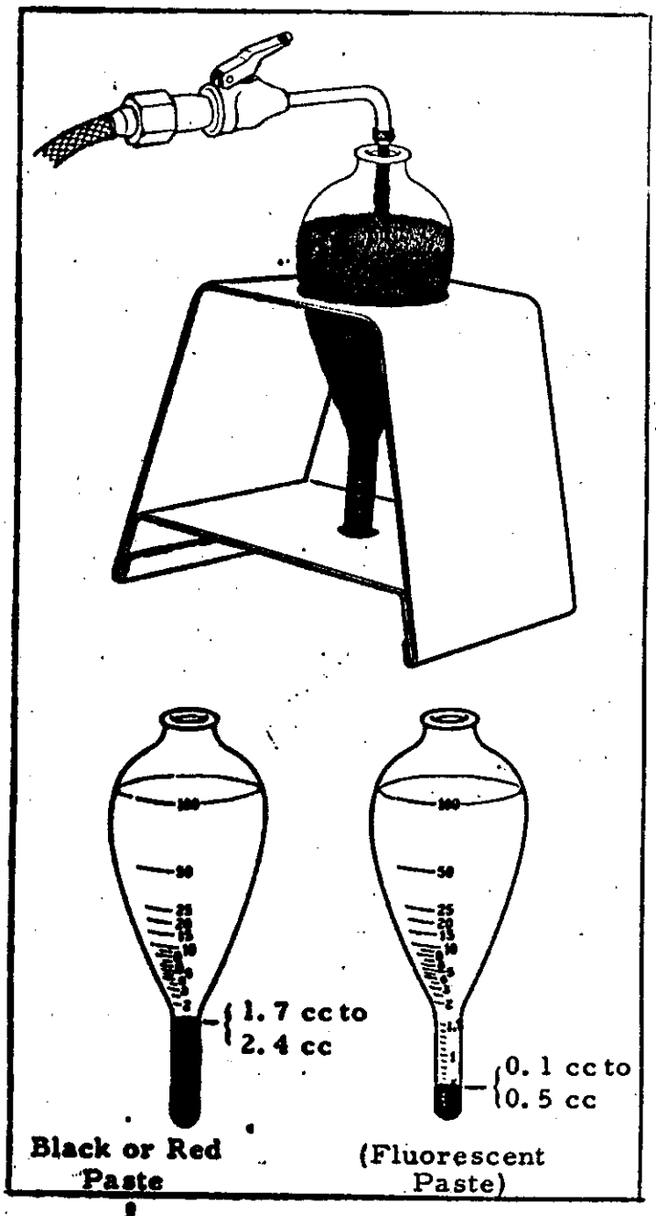
รูปที่ ๙ Mixing Paste in Oil



รูปที่ ๑๐ Pouring Mixed Paste Into Tank



รูปที่ ๑๑ Black Light Unit.



รูปที่ ๑๒ Equipment for Checking Bath Strength.

BLACK LIGHT ที่นำมาใช้กับการตรวจด้วย MAGNETIC PARTICLE จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดกล่าวคือ จะต้องมีกำลัง 100 WATT., เป็นหลอด MERCURY - VAPOR ULTRAVIOLET พร้อมด้วยแผ่นกรองแสงที่ทนต่อความกดดันสูง, และติดตั้งกับเบ้าที่พอเหมาะแผ่นกรองแสง (FILTER) จะต้องเป็นแก้วที่ทนต่อความร้อนได้ ซึ่งจะตัดแสงที่มองเห็นได้ (VISIBLE LIGHT) ออกไป VISIBLE LIGHT มีความยาวคลื่นเกิน (4000 ANGSTRONG UNIT) แต่ยอมให้แสงอัลตราไวโอเล็ตหรือแสงที่มองไม่เห็นมีความยาวคลื่นประมาณ ๓,๖๕๐ ANGSTRONG UNIT. และความเข้มของ BLACK LIGHT จะต้องไม่น้อยกว่า ๑๐๐ ฟุต – เทียน (FOOT - CANDLE)

<u>หมายเหตุ</u> ห้ามใช้ BLACK LIGHT ที่ไม่มีแผ่นกรองแสง หรือแผ่นกรองแสงแตกร้าวหรือชำรุด

๗.๑.๕ หลอดไฟที่ใช้ใน BLACK LIGHT อาจจะดับลงถ้ากระแสไฟจากแหล่งกำเนิดลดลงเพียงไม่กี่เปอร์เซ็น ฉะนั้นในวงจรของ BLACK LIGHT จะมีกระแสไฟที่คงที่เท่าที่จะทำได้ ดังนั้นจึงนิยมติดตั้ง VOLTAGE REGULATOR ในวงจรนี้

๗.๑.๖ การตรวจโดยผงเปียกแบบเรืองแสง (FLUORESCENT WET PARTICLE) นั้นจะได้ผลดีมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับบริเวณที่ตรวจจะต้องมีความมืดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ผู้ตรวจจะต้องให้สายตาเคยชินกับความมืดเสียก่อนแล้วจึงมองหาเครื่องหมายบนชิ้นงานและจะต้องหลีกเลี่ยงการให้สายตาสัมผัสกับที่สว่างบ้างมืดบ้างโดยที่สายตายังไม่ปรับตัวเข้ากับความมืดได้

๗.๒ <u>ชนิดผงแห้ง</u> ผงเหล็กแบบนี้มีลักษณะเป็นแป้งฝุ่น มีสีต่าง ๆ เช่น แดง ดำ (น้ำเงิน) และ ขาว (เทา) การเลือกใช้สีใดนั้นขึ้นอยู่กับสีของชิ้นงานจะต้องให้มีสีตัดกันเพื่อง่ายต่อการมองเห็น การปฏิบัติใช้วิธีการโปรยด้วยมือ, การใช้เครื่องพ่น, เกาะผ่านตะแกรงหรือรูเล็ก ๆ

๗.๓ <u>ขั้นตอนการปฏิบัติ (SEQUENCE OF OPERATION)</u> โดยทั่ว ๆ ไปการตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE จะต้องกระทำเป็นขั้นตอนดังนี้

๑. การใช้เส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำชิ้นงานหรือทำชิ้นงานให้เป็นแม่เหล็ก

๒. การใช้ผงเหล็ก

๓. การตรวจดูเครื่องหมายที่เกิดจากการเกาะติดของผงเหล็ก

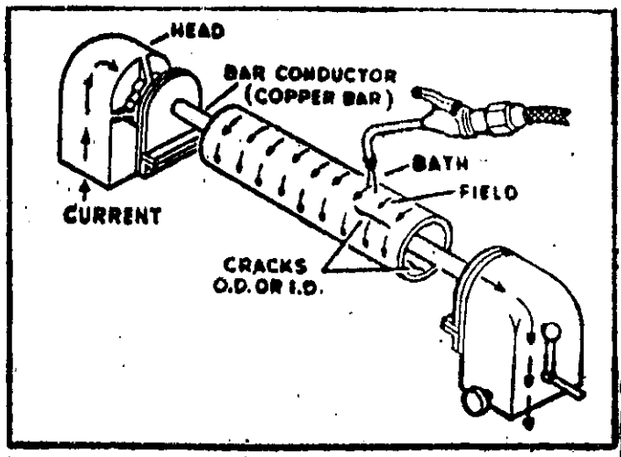
องค์ประกอบสองข้อแรกนั้นการปฏิบัติจะขึ้นอยู่กับชนิดของรอยตำหนิที่ต้องการตรวจหา ส่วนผสมของเนื้อโลหะ และ ความไว (SENSITIVITY) ในการตรวจหารอยตำหนิที่ต้องการ ในขณะที่กำลังใช้กระแสไฟเหนี่ยวนำชิ้นงานนั้น เส้นแรงแม่เหล็กในช่วงนี้จะมีกำลังมากที่สุด เมื่อตัดกระแสไฟออกกำลังของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะลดลง ชิ้นงานที่ทำด้วยเหล็กแข็ง (HIGH CABON STEEL) จะมี RETENTIVITY สูงกว่า แต่จะต้องใช้กระแสไฟมากกว่าด้วย

๔. <u>วิธีการใช้ผงเหล็กในการตรวจชิ้นงาน</u> (METHOD OF APPLYING THE IRON PARTICLE BEING INSPECTED) ได้กล่าวมาแล้วตอนต้นว่าผงเหล็กมี ๒ ชนิดได้แก่ ผงเปียก และผงแห้ง วิธีการใช้ผงเหล็กทั้งสองชนิดนี้จะกระทำได้ดังนี้

๔.๑ <u>CONTINUOUS METHOD</u> เป็นกรรมวิธีที่ใช้ผงเหล็กลงบนชิ้นงานในขณะที่กำลังทำงานให้เป็นแม่เหล็กด้วยกระแสไฟ <u>สำหรับแบบผงเปียกสามารถปฏิบัติเป็นขั้นตอนคือ</u>

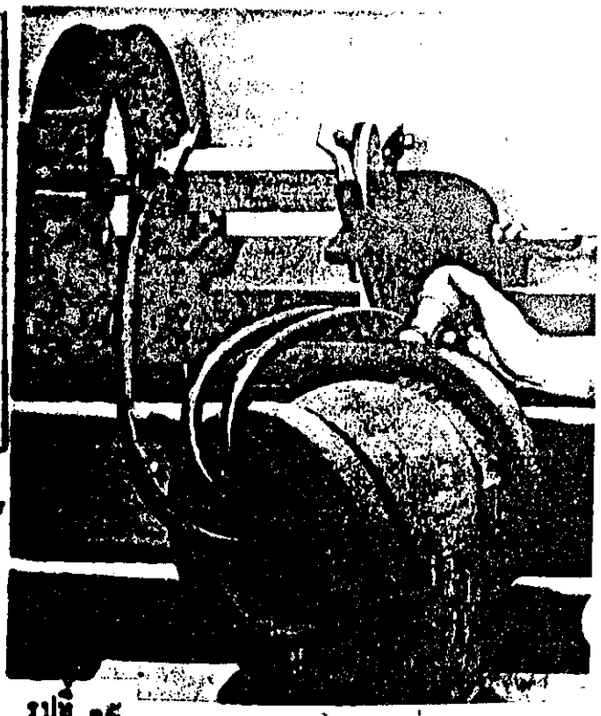
๑. ฉีดละอองผงเปียกลงบนชิ้นงานให้เปียกทั่วบริเวณที่จะตรวจ (การฉีดละอองกระทำโดยเปิดก๊อกที่ปลายท่อของเครื่องมือแบบติดตั้งอยู่กับที่) ดูรูป (๑๔)

๒. หยุดการใช้ผงเปียกพร้อมกับกดปุ่มสวิทช์ให้กระแสไฟไหลผ่าน ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กที่ชิ้นงาน ผงเหล็กจะเกาะติดตรงบริเวณรอยตำหนิที่มีอยู่



A CENTRAL CONDUCTOR USED FOR CIRCULAR MAGNETIZATION TO FIND LENGTHWISE DEFECTS. THE MAGNETIC FIELD IS SET UP AT A RIGHT ANGLE TO THE FLOW OF CURRENT. THE BATH CONTAINS THE MAGNETIC PARTICLES.

รูปที่ ๑๔ . Use of Circular Magnetization.



รูปที่ ๑๕ Use of Contact Block for Cable Take-Off on Stationary Unit - Cable Wrapping of Hollow Part

<u>ข้อควรระวัง</u> ห้ามฉีดละอองผงเปียกภายหลังที่ใช้กระแสไฟแล้ว เพราะว่าจะไปล้างเอาผงเหล็กที่เกาะติดอยู่ตามรอยตำหนิออกไป โดยเหตุนี้เองการใช้กระแสไฟจะต้องกระทำภายหลังที่หยุดฉีดละอองผงเปียกทันทีทันใด

<u>การใช้ผงแห้งกับ CONTINUOUS METHOD</u> นั้นกระทำดังนี้ <u>ในขณะที่ให้กระแสไฟไหลผ่านชิ้นงานโดยวิธีแตะสัมผัส</u> (CONTACT OR CLAMP) หรือผ่านขดลวด (COIL)

ให้ใช้ผงแห้งโรยลงบนชิ้นงานตรงบริเวณที่ทำการตรวจ ผงเหล็กส่วนเกินจะถูกเป่าออกด้วยลมอ่อน ๆ ควรหลีกเลี่ยงการใช้ลมเป่าเอาผงเหล็กส่วนเกินออกภายหลังจากหยุดจ่ายกระแสไฟแล้ว

๔.๒ RESIDUAL METHOD วิธีนี้จะต้องทำให้ชิ้นงานมีสนามแม่เหล็กก่อนแล้วจึงใช้ผงเหล็กฉีดพ่น (แบบเปียก) หรือ โรย (แบบแห้ง) ลงบนชิ้นงานบริเวณที่ทำการตรวจ กรรมวิธีนี้จะใช้เส้นแรงแม่เหล็กตกค้างกับชิ้นงาน เมื่อใช้ผงเหล็กก็จะไปเกาะติดตรงบริเวณรอยความไม่สมบูรณ์นั้น ๆ วิธีนี้สามารถกระทำเป็นขั้นตอนดังนี้

๑. ให้กระแสไหลผ่านชิ้นงาน หรือขดลวด เพื่อทำให้มันเป็นแม่เหล็ก

๒. หยุดจ่ายกระแสไฟ

๓. ใช้ผงเหล็ก โดยวิธีฉีดพ่น , จุ่ม (สำหรับแบบเปียก) และใช้โรย , เกาะผ่านตะแกรงหรือรูเล็ก ๆ (แบบแห้ง) ลงบนตรงบริเวณที่ตรวจ

ชิ้นงานที่นำมาตรวจด้วยกรรมวิธีนี้จะต้องมีความคงตัวสูง (HIGH RETENTIVITY) ได้แก่พวก เหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอนสูง, เหล็กแข็ง ซึ่งต้องมีกำลังเพียงพอที่จะดูดติดผงเหล็กเพื่อให้เกิดเป็นเครื่องหมายขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ลืมว่า เส้นแรงแม่เหล็กตกค้างจะต้องน้อยกว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่ได้จากกระแสไฟ เพราะฉะนั้น RESIDUAL METHOD จะให้ความไว (SENSITIVITY) ในการตรวจหารอยตำหนิเล็ก ๆ น้อยกว่าแบบ CONTINUOUS METHOD เครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากรอยความไม่สมบูรณ์ภายใต้ผิวจะปรากฏได้ยากเมื่อตรวจด้วยวิธีนี้

หมายเหตุ บางครั้งเราไม่ทราบว่าเครื่องหมายที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากรอยความไม่สมบูรณ์ที่ผิวหรือใต้ผิว ในการพิสูจน์ทราบความไม่แน่ใจนี้กระทำได้โดย ทำให้เครื่องหมายเกิดขึ้นด้วยวิธี CONTINUOUS แล้วเช็ดเครื่องหมายนั้นออก จากนั้นใช้ผงเหล็กฉีดพ่นหรือโรยลงบนบริเวณนั้น ถ้ามีเครื่องหมายปรากฏขึ้นมาแสดงว่าเป็นรอยตำหนิที่ผิว ถ้าไม่มีแสดงว่าเป็นรอยตำหนิใต้ผิว

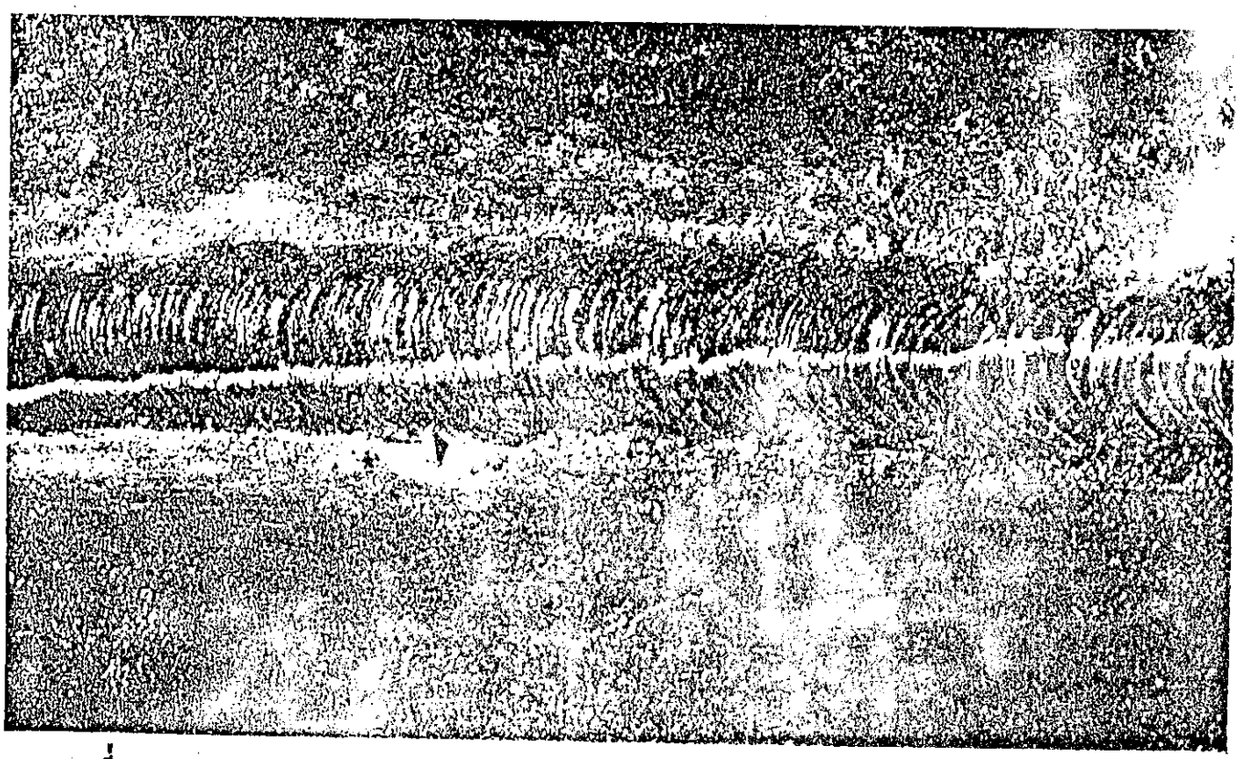
๔. การตีความเครื่องหมายจากการตรวจ (INTERPRETATION OF INDICATION)

เครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากการตรวจด้วย MAGNETIC PARTICLE จะแสดงออกมาในรูปของผงเหล็กที่เกาะรวมตัวกันบนผิวชิ้นงานในขณะที่ทำการตรวจ, และ การตีความก็คือ การค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดเครื่องหมายนั้น ๆ ดังนี้จึงต้องทำการตัดสินใจภายหลังการตรวจดูเครื่องหมายว่าเกิดขึ้นจากรอยตำหนิจริง ๆ หรือเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่น ถ้าเครื่องหมายนั้นไม่ใช่รอยตำหนิก็ส่งชิ้นงานไปใช้งานต่อไปโดยที่ไม่จำเป็นต้องตรึกตรองต่อไปอีก แต่ถ้าเครื่องหมายนั้นพิจารณาได้ว่าเป็นรอยตำหนิก็จะต้องทำการตรึกตรองและ " ให้คำ " ของรอยตำหนินั้นต่อไป

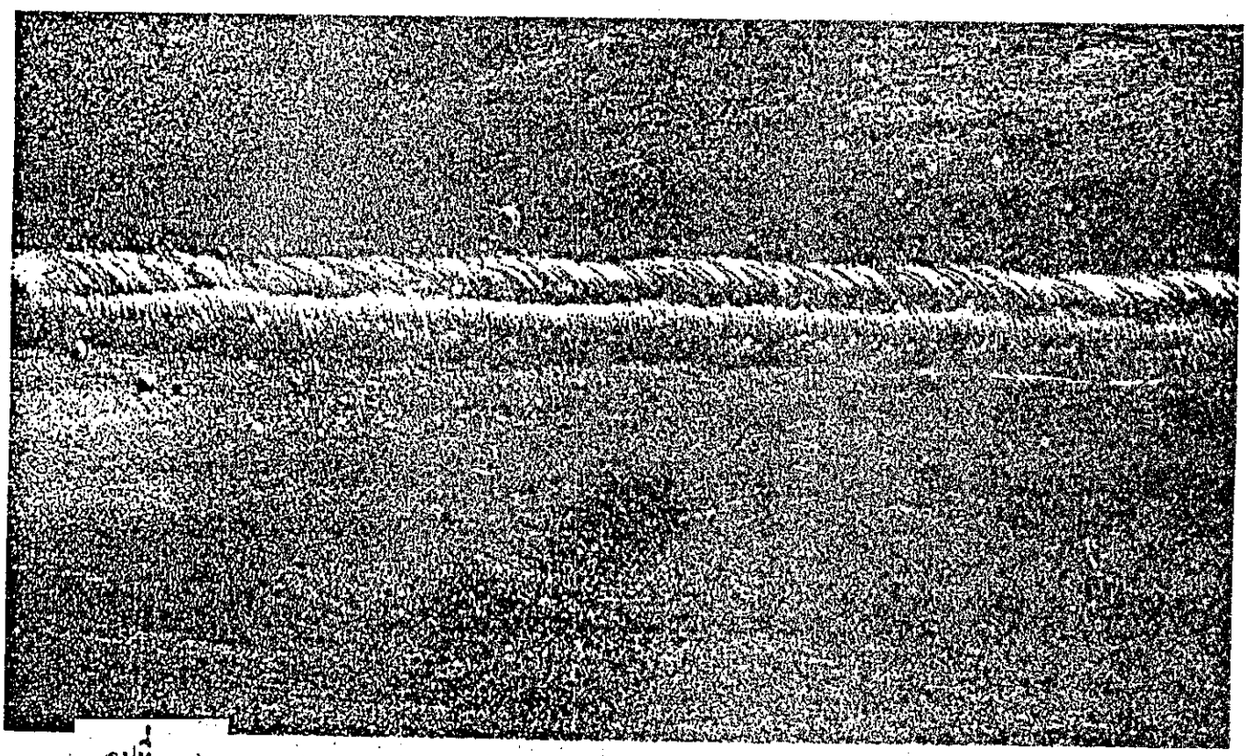
๑๐. องค์ประกอบที่ช่วยการตัดสินใจในการตีความเครื่องหมาย (DETERMINING FACTOR IN INTERPRETATION OF INDICATIONS)

๑๐.๑ การตรวจด้วย MAGNETIC PARTICLE อาจแบ่งได้เป็น ๓ ขั้นตอน วิธีการตรวจทั้งหมดจะต้องผ่านกรรมวิธีดังนี้

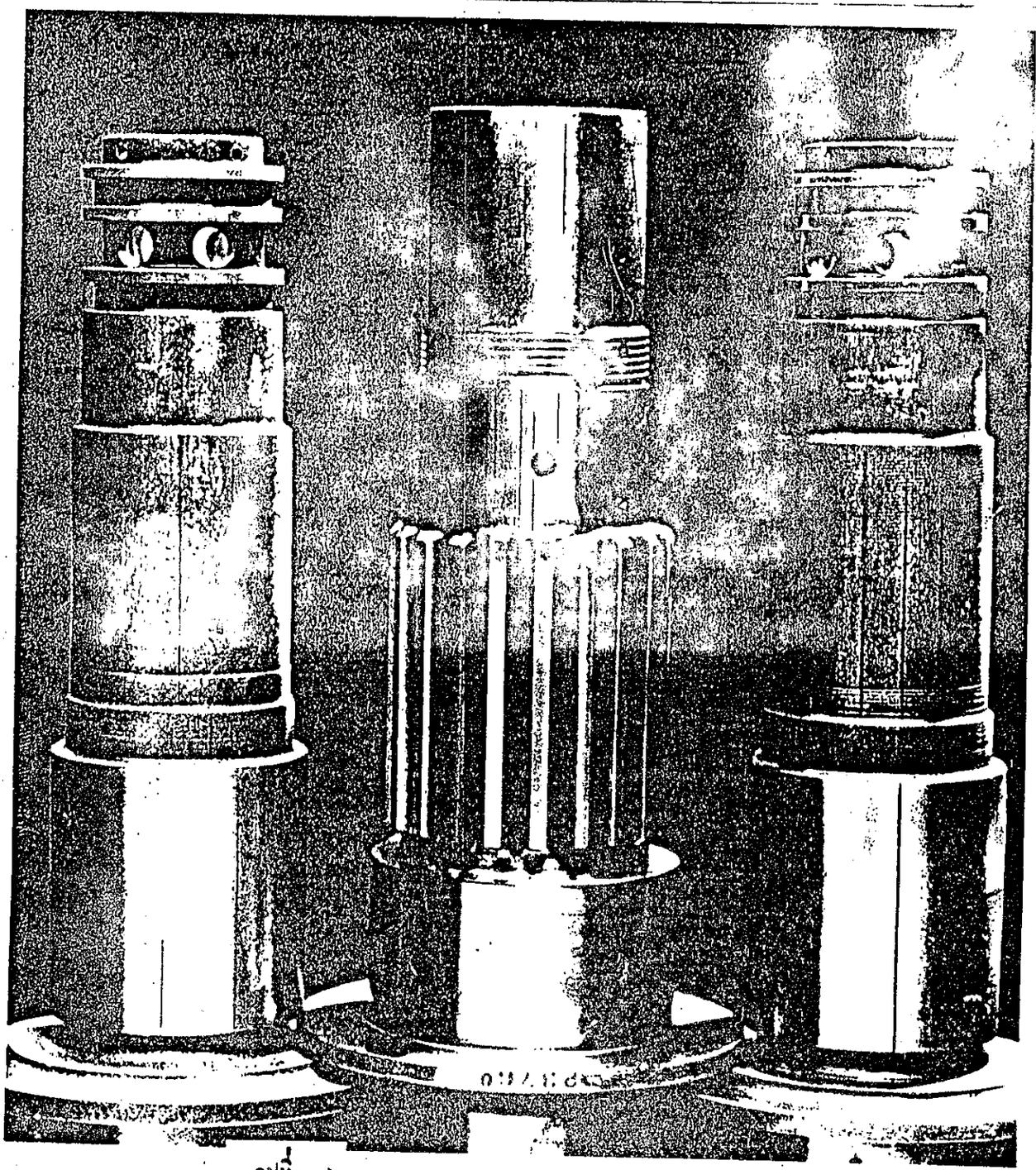
๑. การทำให้เกิดเครื่องหมายในรูปของผงเหล็ก (PRODUCTION OF THE MAGNETIC PARTICLE INDICATION)



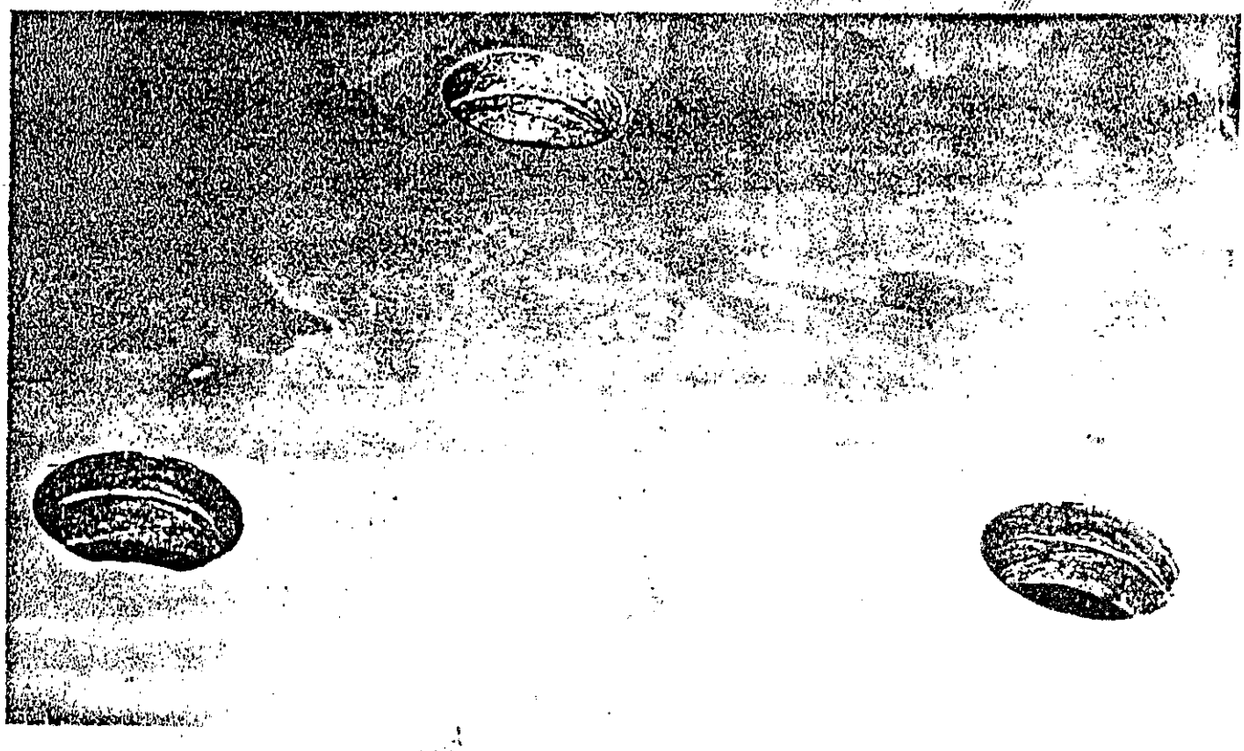
รูปที่ ๑๑b Indication of Surface Discontinuity in a Weld - Particle Build-Up is Sharp and Well Defined



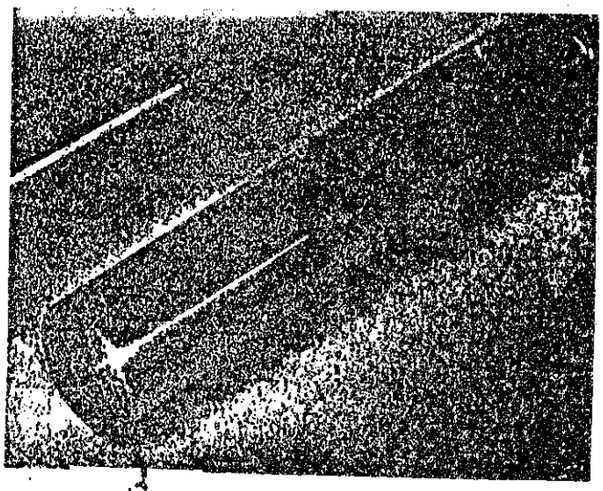
รูปที่ ๑๑c Indication of Subsurface Discontinuity in a Weld - Particle Accumulation is Broad



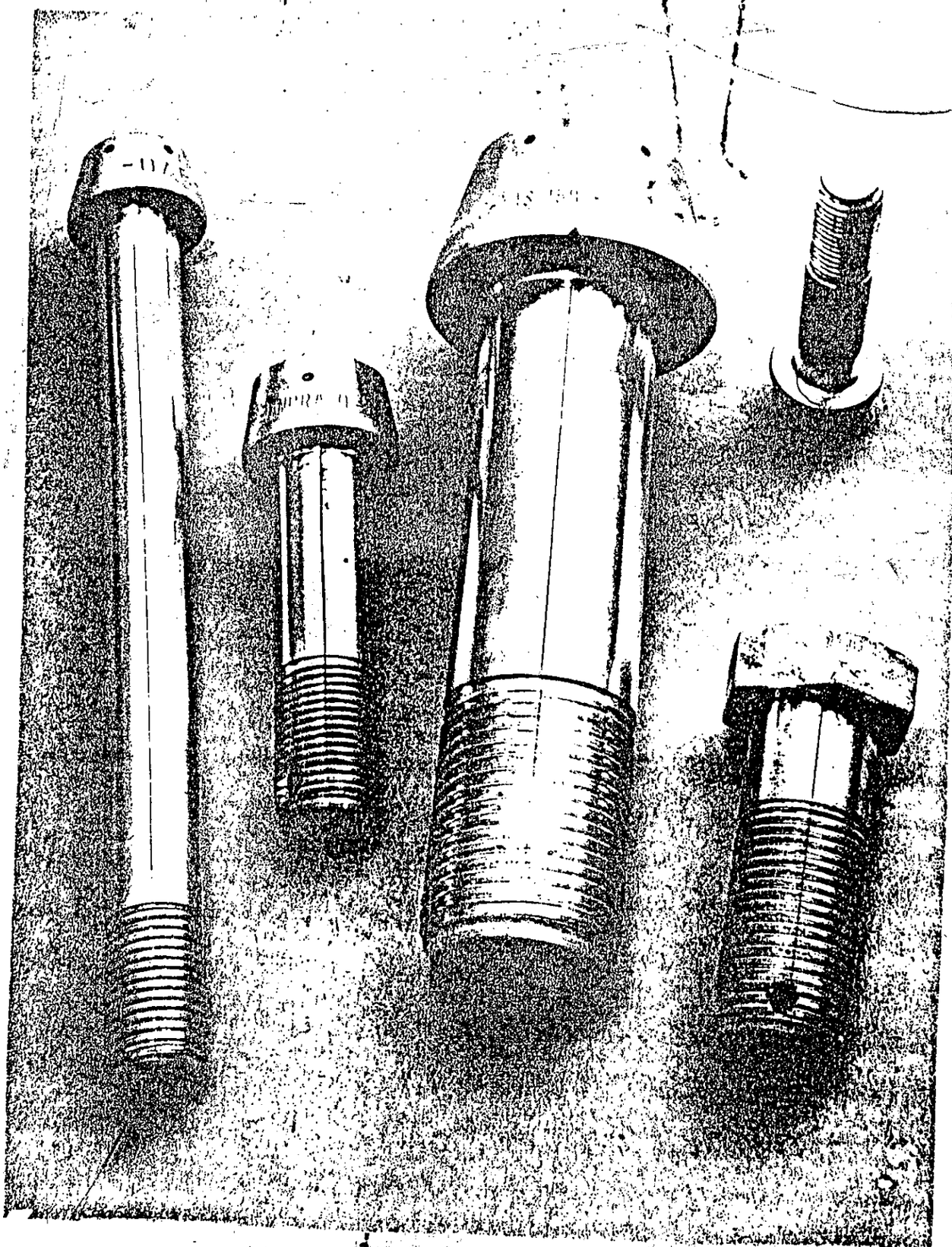
รูปที่ ๑๘ Stringers Brought to the Surface by Machining



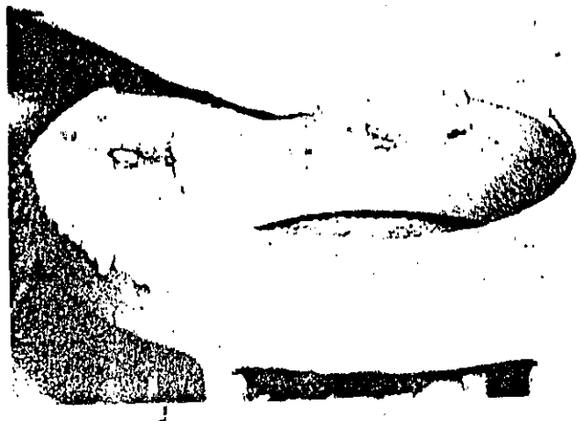
รูปที่ ๖๐ ...nations in Bottle Plate



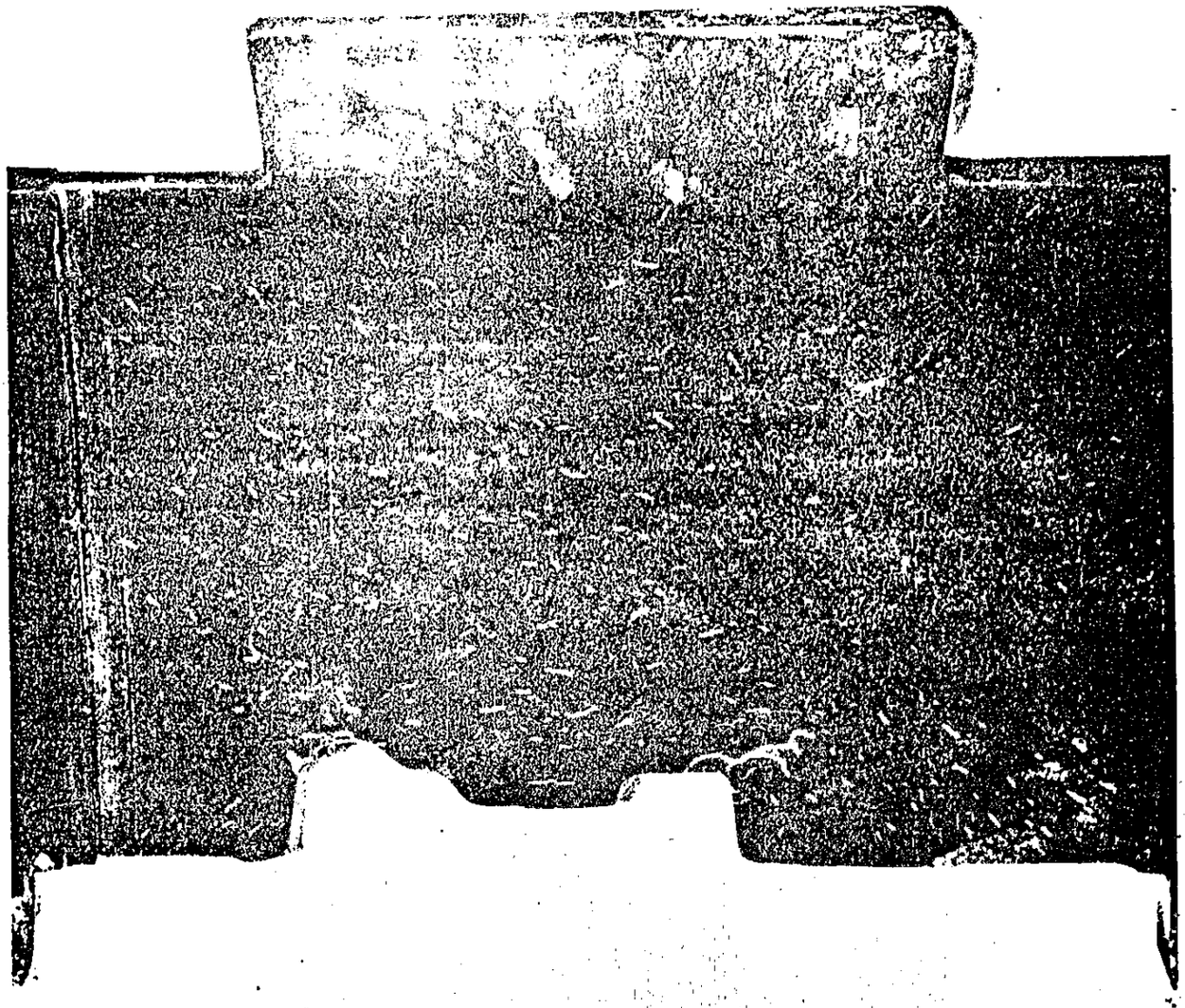
รูปที่ ๖๐ Seam in a Pin - Note Depth
Shown by Indication on End



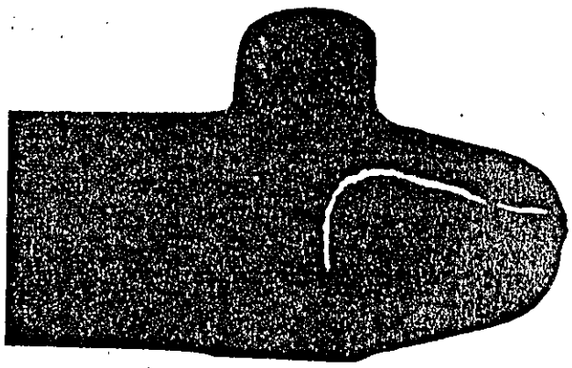
รูปที่ ๒๐ Indications of Seams



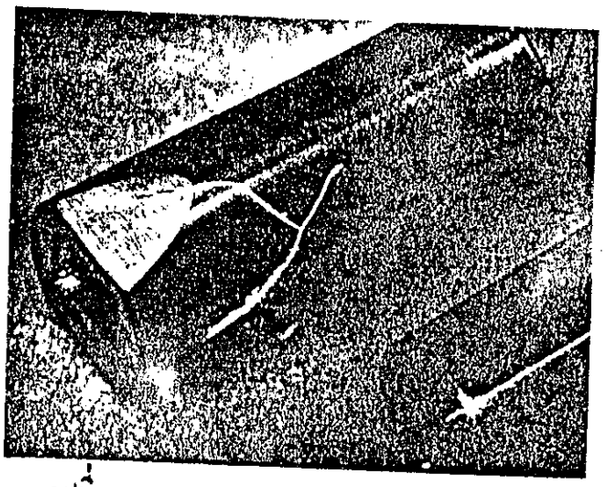
รูปที่ ๒๐ Blow Holes in a Casting



รูปที่ ๒๑ Forging Flakes Shown in Section Through a Forging



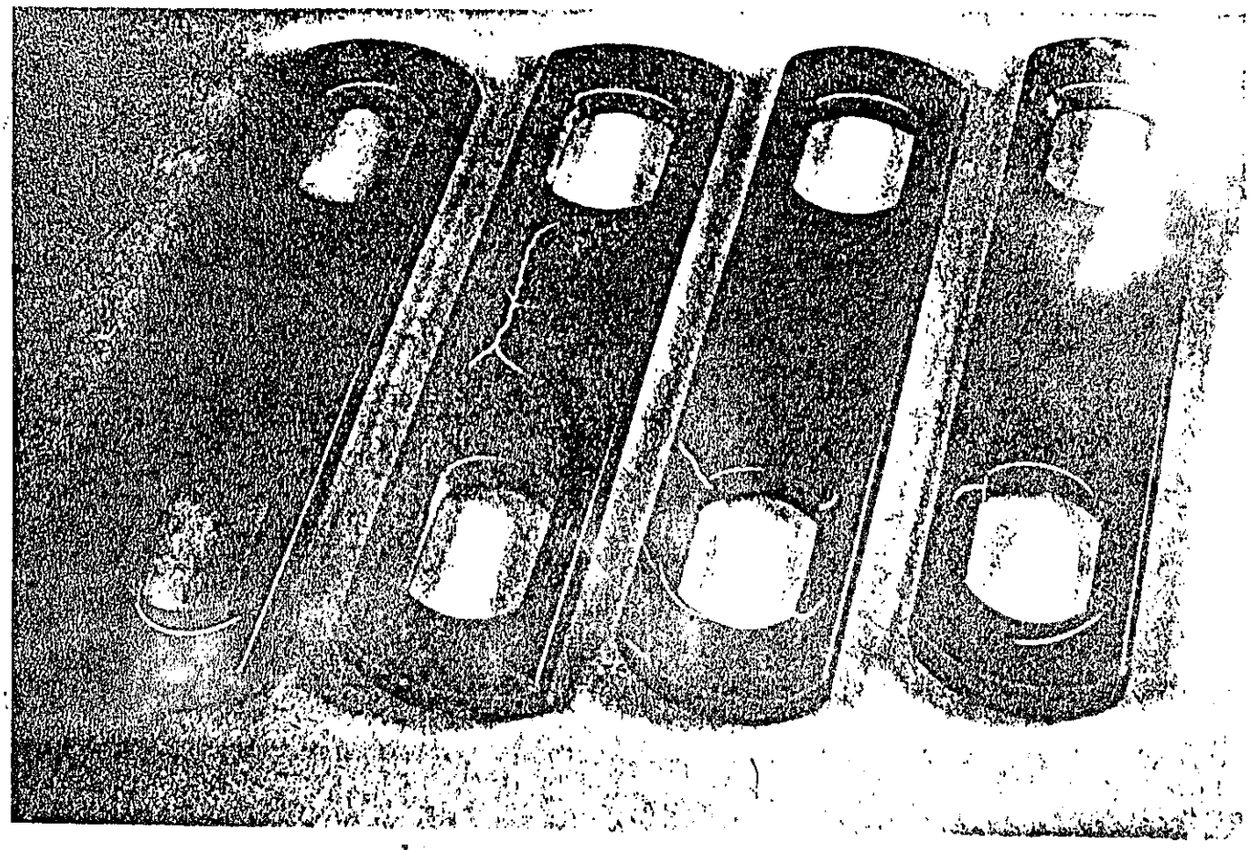
รูปที่ ๒๔ . Forging Lap Indication



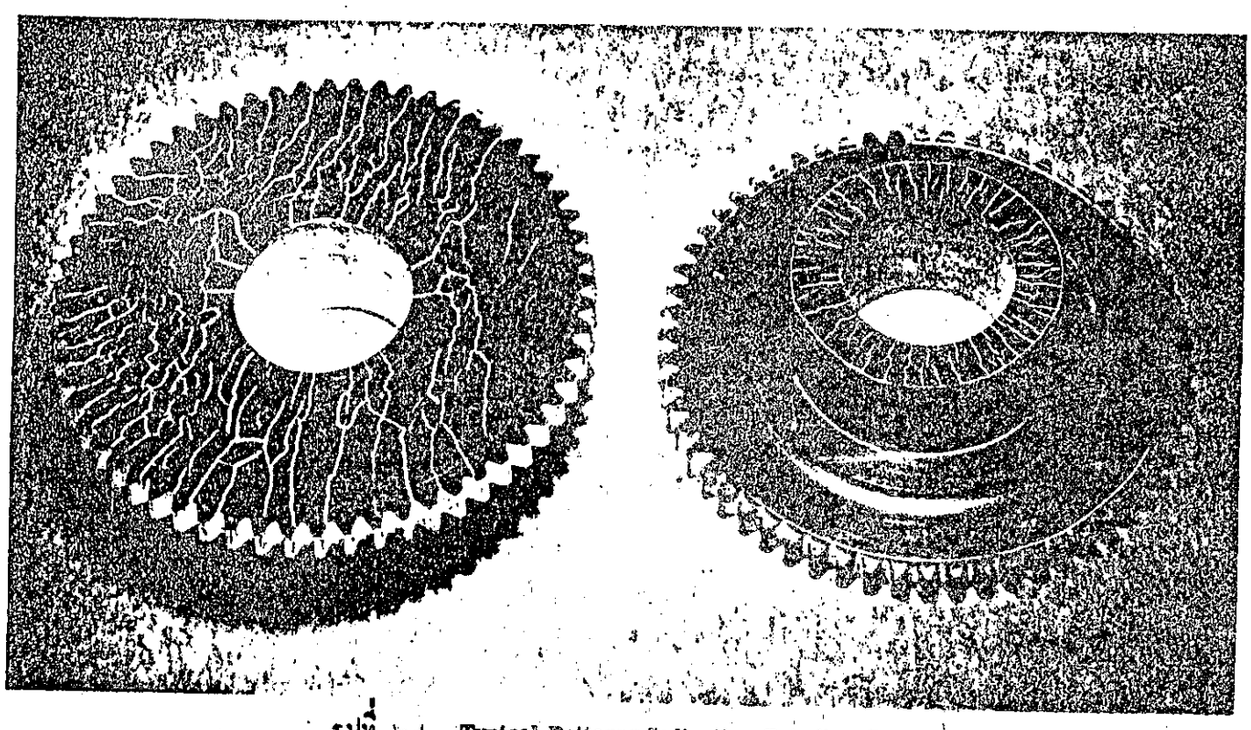
รูปที่ ๒๕ . Heat Treat Cracks in a Small Pin

รูปที่ ๒๖ Heat Treat Cracks
Under Head of Bolt

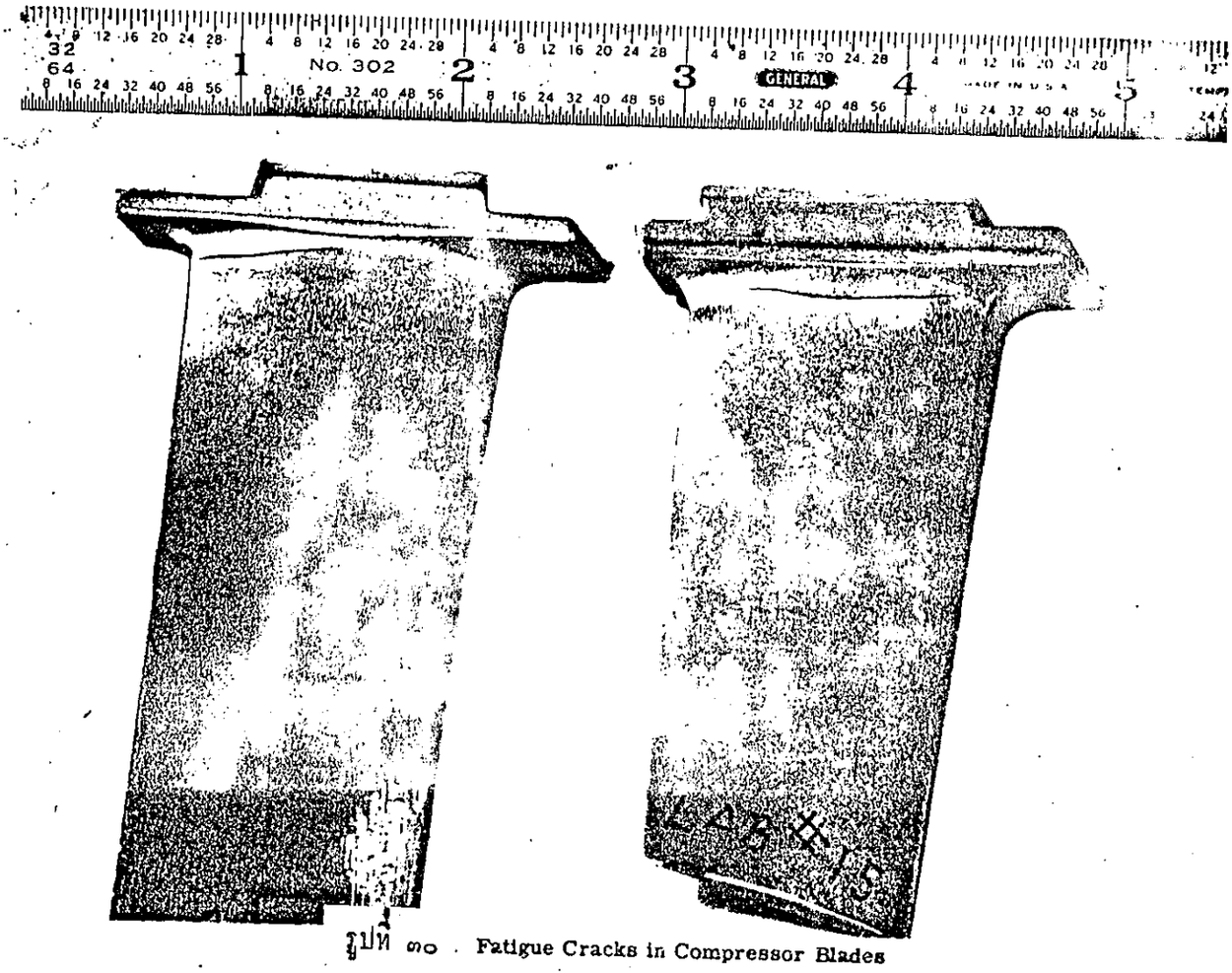
รูปที่ ๒๗ Fatigue Cracks in a Gear



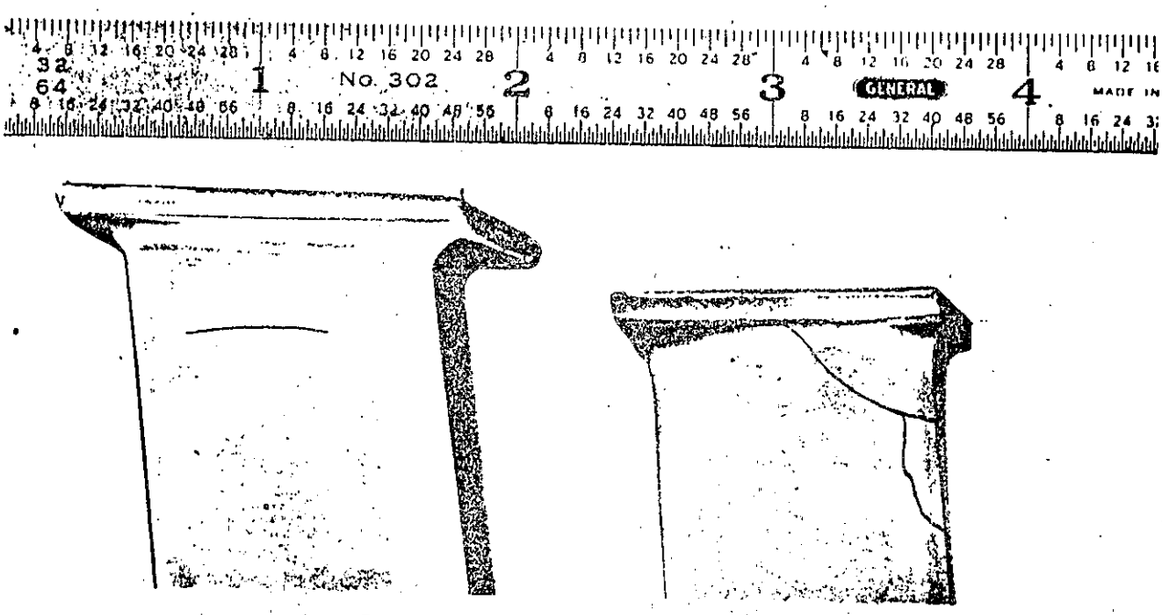
รูปที่ ๒๙ Heat Treat Cracks in Conveyor Links



รูปที่ ๒๘ Typical Patterns Indicating Grinding Cracks



รูปที่ ๓๐ . Fatigue Cracks in Compressor Blades



Fatigue Cracks in Other Compressor Blades

๒. การตีความของเครื่องหมาย (INTERPRETATION OF THE INDICATION)

๓. การให้ค่าของรอยความไม่สมบูรณ์นั้น (EVALUATION OF THE DISCONTINUITY)

๑๐.๒ ในขั้นที่ ๑ การทำให้เกิดเครื่องหมาย ฯ นั้นได้กล่าวไว้โดยละเอียดแล้วตอนต้น ต่อไปนี้จะได้พูดถึงความสนใจเฉพาะสองขั้นตอนหลัง ซึ่งองค์ประกอบดังต่อไปนี้จะช่วยให้ผู้ตรวจได้พิจารณาถึงสาเหตุทั้งหลายของการเกิดรอยตำหนิและสามารถตีความได้ง่ายขึ้น

๑. ชนิดของวัสดุที่นำมาทำชิ้นงาน วัสดุที่มีส่วนผสมต่างชนิดกันจะแสดงรอยตำหนิต่างกัน เช่น รอยร้าวที่เกิดจากความเครียด ณ ตำบลผุกร่อน (STRESS CORROSION CRACK)ในโลหะแมกเนเซี่ยมผสม หรือรอยร้าวที่เกิดจากการเจียร ฯ (GRINDING CRACK) ในเหล็กแข็งที่มีเปอร์เซ็นคาร์บอนสูง

๒. ประวัติกรรมวิธีการผลิต ผู้ตรวจจะต้องรู้ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับ MELTING , CASTING, FORGING, ROLLING และ EXTRUDING ที่โลหะนั้น ๆ ผ่านกรรมวิธีดังกล่าว ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจถึงสาเหตุของรอยตำหนิที่อาจเป็นไปได้

๓. การตบแต่งผิว ได้แก่ชิ้นงานที่ผ่านเครื่องมือกล, เจียรไน การชุบผิว((PLATING) ผลที่ได้รับจากกรรมวิธีนี้อาจทำให้ปิดบัง รอยตำหนิที่อาจจะปรากฏขึ้น

๔. กรรมวิธีการอบชุบ อุณหภูมิอบชุบที่แตกต่างกันอาจจะมีผลทำให้เกิดรอยตำหนิในรูปแบบต่าง ไม่เหมือนกัน

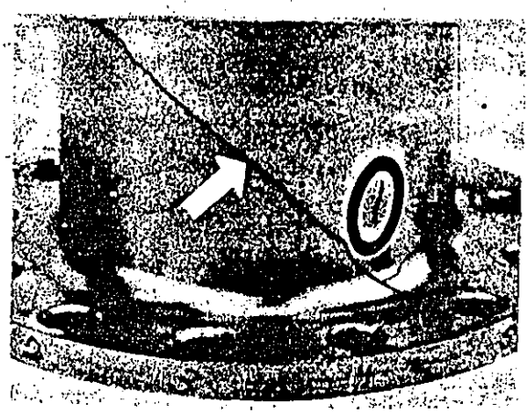
๕. ทำไมและอย่างไรโลหะจึงชำรุด ในที่นี้อาจพิจารณารวมถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยตำหนิดังได้กล่าวไว้แล้วใน ๔ ข้อแรก กับความรู้เกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นของกรรมวิธีโลหะและอีกอย่างหนึ่งที่นับว่าจะช่วยให้การตีความเครื่องหมายนั้นได้ดีก็คือ ความชำนาญ

๖. จากประสบการณ์ที่ผ่านมากับชิ้นส่วนที่เหมือนกัน การตรวจชิ้นงานแต่ละแบบควรจะทำสำเนารายละเอียดการตรวจไว้ เพื่อการตรวจชิ้นที่เหมือน ๆ กันครั้งต่อไปจะได้สะดวกและง่ายขึ้น

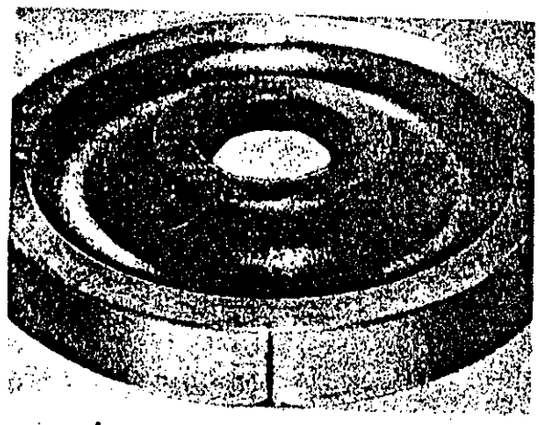
๑๐. ลักษณะพิเศษของเครื่องหมาย (CHARACTERISTICS OF INDICATIONS) ผู้ปฏิบัติจะต้องทำความคุ้นเคยกับลักษณะพิเศษของเครื่องหมายที่เกิดขึ้นในขณะทำการตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE

๑๐.๑ รอยแตกร้าวหรือรอยตำหนิอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นบนผิว เครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของผงเหล็ก จะมีลักษณะเป็นเส้นคมและชัดเจน การเกาะติดของผงเหล็กบริเวณผิวแน่น ทั้งนี้เนื่องจากสนามแม่เหล็กตรงบริเวณรอยตำหนิสูง ดูรูปที่ ๓๑

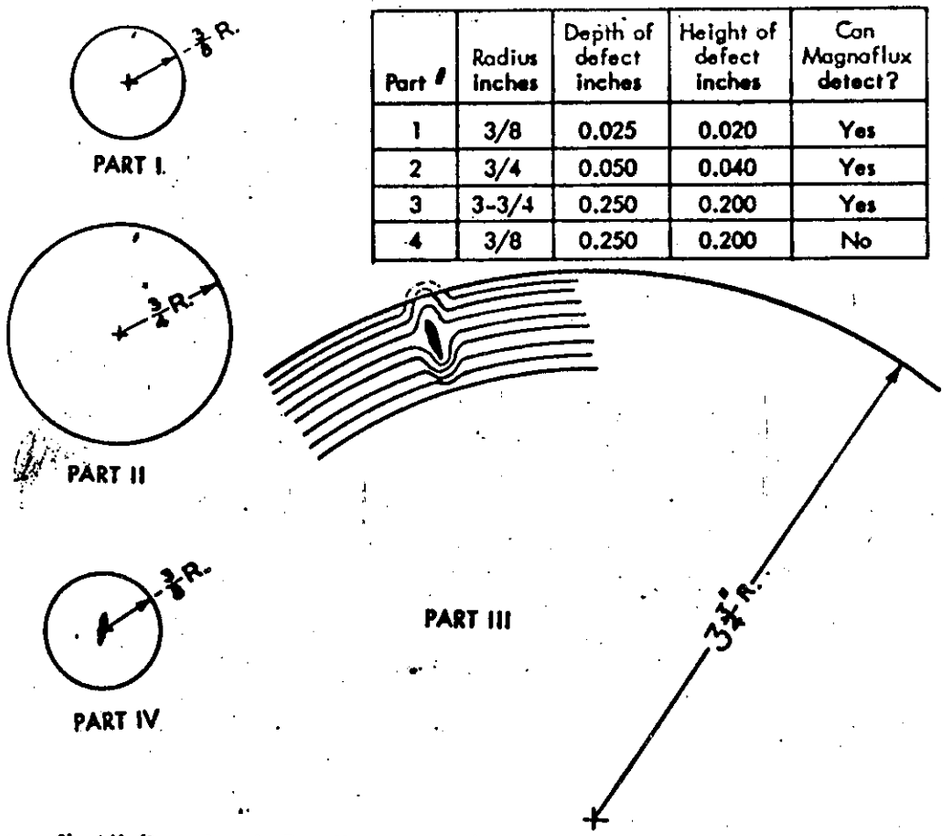
๑๐.๒ รอยตำหนิที่เกิดใต้ผิว เครื่องหมายที่ปรากฏจะมีลักษณะเลือนลางไม่เป็นเส้นคม และการเกาะติดของผงเหล็กไม่ค่อยแน่น ทั้งนี้เนื่องจากสนามแม่เหล็กตรงบริเวณผิวที่ผงเหล็กเกาะติดนั้นอ่อนกำลัง (เพราะต้นเหตุเกิดสนามแม่เหล็กอยู่ใต้ผิว) ดังรูป ๓๒ และ รูปที่ ๓๓



รูปที่ ๓๑ Surface Defects.



รูปที่ ๓๒ Subsurface Defects.



Part #	Radius inches	Depth of defect inches	Height of defect inches	Can Magnaflux detect?
1	3/8	0.025	0.020	Yes
2	3/4	0.050	0.040	Yes
3	3-3/4	0.250	0.200	Yes
4	3/8	0.250	0.200	No

Note 1) All dimensions in Part II are twice those in Part I

2) All dimensions in Part III are ten times those in Part I

3) Defect size and depth in Part IV are same as Part III but placed in Part with radius equal to Part I

รูปที่ ๓๓ . Depth of Detectable Subsurface Defects.

แสดงถึง ขนาดของรอยตำหนิ ความลึกที่สามารถตรวจพบและขนาดของชิ้นงาน

๑๒. <u>เทคนิคการตรวจ</u> ก่อนที่จะนำชิ้นงานมาตรวจ จะต้องทำความสะอาดบริเวณผิวขจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น คลาบน้ำมัน, หล่อลื่น , สนิม, และคลาบสีแตก ในการตรวจชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธี HOT ROLLED หรือชิ้นดีชิ้นรูปที่มีผิวขรุขระไม่จำเป็นต้องขจัดคลาบสกปรกติดแน่น ที่ผ่านกรรมวิธีดังกล่าว และคลาบสีบาง ๆที่ติดแน่นก็ไม่ต้องขจัดออกเช่นกัน

๑๒.๑ <u>การตรวจโดยใช้ผงเปียก (WET METHOD)</u>

๑. ตรงบริเวณหน้าสัมผัสของชิ้นงานกับหน้าสัมผัสของเครื่องจะต้องสะอาด

๒. ยึดชิ้นงานหรือแกนตัวนำ (CONDUCTOR) ระหว่างหน้าสัมผัสทั้งสอง

<u>หมายเหตุ</u> การใช้แกนตัวนำ (CONDUCTOR) นั้น ชิ้นงานจะเป็นท่อหรือวงแหวนโดยคล้องอยู่กับแกนตัวนำ เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเป็น CIRCULAR MAGNETIZATION เหมือนกับการแตะสัมผัสชิ้นงานโดยตรง

๓. ปรับจำนวนกระแสไฟที่ใช้ทำให้เป็นแม่เหล็กตามจำนวนที่ต้องการ

ในตอนนี้จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษถ้าหน้าสัมผัสไม่แน่นแล้วจะเกิดการอาร์ค ชิ้นงานจะร้อนมากทำให้ชำรุดได้

๔. ฉีดลากผงเปียกลงบนชิ้นงานให้ทั่วบริเวณที่ทำการตรวจ

๕. กดปุ่มสวิทช์ให้กระแสไฟไหลผ่านชิ้นงานในทันทีที่หยุดใช้ผงเหล็กถ้าทิ้งระยะเวลาระหว่างที่ใช้ผงเหล็กกับกดปุ่มสวิทช์นานเกินไปอาจทำให้ผงเหล็กตกค้างบนชิ้นงานน้อยเกินไป เครื่องหมายที่ปรากฏจะไม่ดี แต่ถ้าใช้ผงเหล็กหลังจากได้กดปุ่มสวิทช์ไปแล้ว ของเหลวที่เป็นส่วนผสมของผงเปียกจะไปล้างเครื่องหมายที่ไม่ติดแน่นออกโดยเฉพาะเครื่องหมายที่เกิดจากรอยตำหนิใต้ผิว

๖. คลายชิ้นงานออกจากหัวสัมผัส (CONTACT) และทำการตรวจด้วยสายตาทั่วบริเวณที่ทำการตรวจ ในขณะนี้ต้องระวังอย่าแตะต้องบริเวณผิวของชิ้นงานโดยไม่จำเป็น

๗. ในกรณีที่พบรอยตำหนิที่เกิดขึ้นจากการตรวจครั้งแรกนี้ให้วางชิ้นงานตั้งฉากกับรอยๆนั้นแล้วนำไปวางไว้ในวงของขดลวด (COIL) ที่บริเวณด้านล่าง หรือข้างของ COIL ซึ่ง ๗. ตำบลดังกล่าวเป็นย่านที่เกิดเส้นแรงแม่เหล็กสูง

๘. ใช้ผงเปียกฉีดลากชิ้นงานจนทั่วบริเวณ

๙. กดปุ่มสวิทช์ให้กระแสไหลผ่าน COIL ในทันทีที่ใช้ผงเหล็กแบบเปียก

๑๐. หลังจากปล่อยให้กระแสผ่าน COIL แล้วรอสัก ๒ – ๓ วินาทีเพื่อให้ผงเปียกสะเด็ดดีแล้วจึงนำชิ้นงานมาตรวจ ถ้าใช้ผงเปียก แบบ VISIBLE จะต้องมีแสงสว่างอย่างเพียงพอ ถ้าใช้ผงเปียกแบบเรืองแสง (FLUORESCENT) บริเวณนั้นต้องมืดพอควรและใช้ BLACK LIGHT ช่วยส่อง ในขณะทำการตรวจด้วยสายตานี้จะใช้แว่นขยายประมาณ ๑๐ เท่า ช่วยทำให้ลดอาการเมื่อยล้าของสายตาลงได้

<u>ข้อควรระวัง</u> ในขณะใช้สายตาตรวจชิ้นงานอยู่นั้นห้ามใส่แว่นกันแดด (SUN GLASS) หรือแว่นสายตาที่ตัดแสง โดยเฉพาะกับการตรวจโดยใช้ผงเปียกแบบเรืองแสง

ในการตรวจซ้ำนี้ เพื่อให้แน่ใจว่า รอยตำหนิที่เกิดนั้น ดังข้อ ๗ เป็นรอยตำหนิจริงๆ

๑๑. แล้วทำการคลายอำนาจแม่เหล็ก (DEMAGNETIZATION)

๑๒.๒ <u>การปฏิบัติภายหลังการตรวจ</u> ภายหลังจากการตรวจจะมีคลาบบาง ๆ ของน้ำมันที่เป็นส่วนผสมของผงเปียกติดอยู่บนผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับชิ้นงานที่มีผิวเรียบมาก ๆ สำหรับชิ้นงานที่ไม่มีผิวเรียบ คลาบบาง ๆ นี้จะไม่มีผลอะไรนักแต่ถ้าเป็นชิ้นงานที่มีผิวเรียบมาก ๆ เช่น ตลับรองลื่นน่าจะต้องปฏิบัติเป็นพิเศษเพราะผงเหล็กที่เกาะติดกับคลาบ ๆ นั้นจะไปขัดสีคลับรองรื่นหรือชิ้นส่วนที่หมุนให้สึกหลอเร็วกว่าที่ควร กรรมวิธีคลายอำนาจแม่เหล็กที่ดีจึงจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อช่วยการทำความสะอาดได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การทำความสะอาดภายหลังจากที่ได้คลายอำนาจแม่เหล็กแล้วอาจใช้แปรงช่วยภายหลังจากชิ้นงานแห้งสนิทดีแล้ว หรือจะใช้วิธีแช่ย่าในน้ำมัน (เหมาะสำหรับชิ้นเล็ก) ก็จะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

๑๓. <u>ผลกระทบกระเทือนของผิวเคลือบกับการตรวจ</u> (EFFECT OF SURFACE COATING)

๑๓.๑ <u>การเคลือบผิวเพื่อป้องกันการผุกร่อน</u> (ANTICORROSION PROJECTIVE COATINGS) มีบ่อยครั้งที่เราจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE กับชิ้นที่เคลือบผิวไว้ด้วยสิ่งเคลือบผิวต่าง ๆ เช่น สีรองพื้น, สีแห้งเร็ว, สีแห้งช้า, สีกันสนิม ฯลฯ สิ่งเคลือบผิวเหล่านี้ปกติจะมีความหนาตามกำหนดและจะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อเครื่องหมายที่อาจจะเกิดขึ้น ชิ้นส่วน เช่น แท่น ย. ฐานล้อ รอยเชื่อม ชิ้นที่ขึ้นรูปส่วนมากจะพ่นฉาบไว้ด้วย ซินค์โครเมท ก่อนจะนำมาตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE สิ่งเคลือบผิวเหล่านี้จะไม่รบกวนการตรวจแต่จะเป็นสีพื้นทำให้มีสีตัดกันได้ดีกับเครื่องหมายที่เกิดขึ้น การเคลือบผิวด้วยยางที่ใช้ป้องกันชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ก็ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการตรวจเช่นกัน

๑๓.๒ <u>การเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า</u> (ELECTROPLATING COATINGS)

ผิวเคลือบที่ผ่านกรรมวิธี ELECTROPLATING ที่มีความหนาตามปกติแล้วจะไม่มีผลกระทำกระเทือนต่อการตรวจด้วยวิธีนี้ ยกเว้นมันอาจเกิดขึ้นได้กับการเคลือบผิวด้วย โครเมี่ยม หรือ นิคเกิลโครเมี่ยมและนิคเกิลนี้จะปิดบังรอยความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นในเนื้อเดิมของชิ้นงาน ซึ่งการปิดบังจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของผิวเคลือบ ถึงแม้ว่ามีรอยแตกร้าวที่ผิวเคลือบโครเมี่ยมเองก็อาจจะตรวจไม่พบ

ชิ้นงานที่เคลือบผิวโครเมี่ยมหนา ๆ เพื่อนำไปใช้งานอย่างหนึ่งอย่างใด เช่นการปรับปรุงชิ้นงานนั้นใหม่ด้วยการเคลือบผิวโครเมี่ยม และผิวเคลือบนี้จะไปปกคลุมรอยความไม่สมบูรณ์ที่อาจมีขึ้น ฉะนั้นจึงควรจะทำการตรวจก่อนและหลังเคลือบผิวจากนั้นถ้าต้องเจียรไนผิวโครเมี่ยมอีกควรจะตรวจอีกครั้ง ผิวเคลือบนิกเกิลก็เช่นเดียวกันควรทำการตรวจก่อนและหลังทำการเคลือบผิว ฯ

๑๓.๓ <u>การเคลือบผิวโดยวิธีพ่นผงโลหะ</u> (SPRAYED, METAL COATING)

การเคลือบผิวโดยการพ่นอลูมินั่มหรือโลหะที่คล้ายคลึงกันนี้จะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการตรวจ ถ้าผิวที่เคลือบนั้นไม่หนาจนเกินไป

๑๔. <u>การตรวจชิ้นส่วน บ.</u> (INSPECTION OF TYPICAL AIRCRAFT PARTS)

เพราะว่าการทำให้ชิ้นงานเกิดสนามแม่เหล็กทั้งแบบ CIRCULAR และ LONGITUDINAL และการเลือกใช้ปริมาณกระแสไฟกับชิ้นงานแต่ละชิ้นที่มีรูปร่างลักษณะไม่เหมือนกันจะต้องกระทำในลักษณะที่แตกต่างกัน ดังภาพที่แสดงต่อไปนี้ แต่อย่างไรก็ตามไม่อาจที่จะแสดงรายละเอียดกับชิ้นส่วนทั้งหมดได้ ถึงอย่างไรก็ตามมันอาจเป็นแนวความคิดเพื่อใช้ตรวจกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้

๑๕. <u>การคลายอำนาจแม่เหล็ก DEMAGNETIZATION)</u> ภายหลังจากการหยุดจ่ายกระแสไฟเพื่อทำชิ้นงานให้ชิ้นงานเป็นแม่เหล็กแล้ว ชิ้นงานนั้นยังมีเส้นแรงแม่เหล็กเหลืออยู่บางส่วน จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟที่ใช้ และชนิดของโลหะ เช่น ความแข็ง เป็นต้น เส้นแรงแม่เหล็กตกค้างกับชิ้นงานบางชิ้นมีมากจนสามารถดูดติดชิ้นเหล็กอื่น ๆ ได้

และในชิ้นงานบางชิ้นก็อาจไม่มีเส้นแรง ฯ ตกค้างเลยสำหรับการขจัดอำนาจแม่เหล็กตกค้างนั้นเรียกว่า " DEMAGNETIZATION "

๑๕.๑ ชิ้นงานที่จำเป็นต้องคลายอำนาจแม่เหล็กมีสาเหตุดังนี้

๑. อาจมีผลกระทบกระเทือนต่อความเที่ยงตรงของเครื่องวัดประกอบการบินเมื่อนำชิ้นนั้นไปติดตัว

๒. อาจรบกวนการทำงานของเครื่องจักรในภายหลังเนื่องจากการเกาะติดของเศษผง

๓. อาจรบกวนการตรวจชิ้นงานด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE โดยเฉพาะเมื่อใช้กระแสไฟที่ต่ำกว่าหรือกลับทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กใหม่

๔. ขัดต่อการทำความสะอาด เอาผง แล้วออกอย่างมาก ภายหลังจากการตรวจ

๕. ผงเหล็กจากการตรวจอาจเกาะติดบริเวณผิวสัมผัสที่ต้องเคลื่อนไหวตัวอยู่เสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับชิ้นงานที่เคลื่อนที่อยู่ในหล่อลื่น เป็นสาเหตุกระสุกหลอ เร็วกว่ากำหนด

๖. หรืออาจจะใช้วิธีคลายอำนาจแม่เหล็ก กับชิ้นงานที่มีเส้นแรงแม่เหล็กแรงเกินไป เพื่อให้ได้เส้นแรง ฯที่เหมาะสมในขณะทำการตรวจ

๑๕.๒ ชิ้นงานที่ไม่จำเป็นต้องคลายอำนาจแม่เหล็กได้แก่

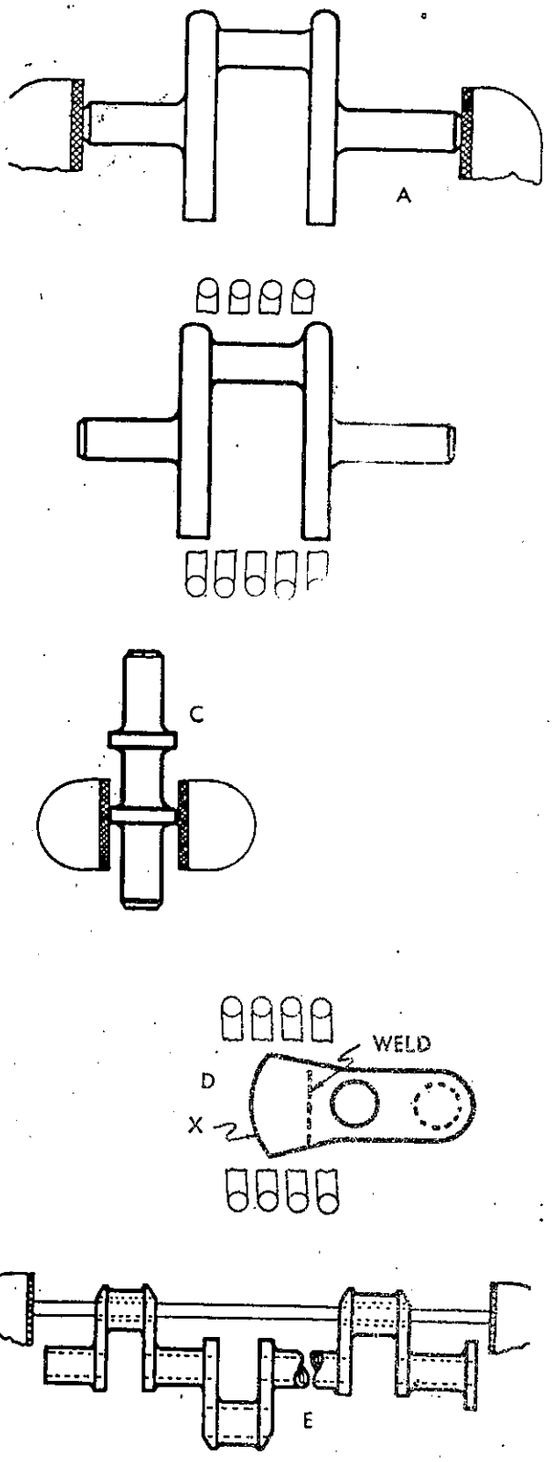
๑. ชิ้นงานนั้นจะต้องนำไปอบชุบที่มีอุณหภูมิเกิน ๘๐๐° F

๒. ชิ้นงานนั้นจะนำไปทำให้เป็นแม่เหล็กหรือ นำไปใช้งานกับสนามแม่เหล็ก

๓. ชิ้นงานนั้นจะทำให้เป็นแม่เหล็กในทิศทางอื่นต่อไป หรือ ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่เหนือกว่าที่เป็นอยู่

๑๖. <u>กรรมวิธีคลายอำนาจแม่เหล็ก</u>

๑๖.๑ <u>การคลายอำนาจแม่เหล็กด้วยขดลวดกระแสไฟสลับ</u> (AC. COIL DEMAGNETIZATION) เป็นอุปกรณ์คลายอำนาจแม่เหล็กที่ใช้กับทั่วไป ซึ่งประกอบด้วยขดลวดที่ทำเป็นช่องอุโมงแล้วให้กระแสไหลผ่านขดลวดนั้น ขดลวดนี้จะติดตั้งติดด้านหนึ่งด้านใดของโต๊ะที่มีขนาดพอเหมาะที่จะทำงานได้สะดวก



Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through end-to-end	2500 - 4000
B	In coil	1000
C	Through each crank pin check	2500
D	In coil where crank has welded counterweights	1000
E	Through central conductor	2500 - 4000

Notes

1. In multiple crankshafts, method B must be repeated along the entire length, magnetizing each 8 to 10 inches along shaft length.

2. Method E applies where the shaft is hollow bored. A copper bar may be placed through the main bearings; inspection should be repeated with the bar through each crank pin.

รูปที่ ๓๘ Method of Magnetizing Crankshafts

Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through without cap	2000 - 4000
B	In coil	1500 - 3000
C	Through central conductor through crank pin bearing with cap held in place	1500 - 4000
D	Through central conductor through piston pin bearing	1500 - 3000
E	On master rods, through central conductor through knuckle pin bearing. (Repeat for each knuckle pin bearing.)	2000
F	Through crank pin end, side-to-side	1000 - 2500

Note

This method applies to master rods, articulated rods, and in-line engine rods.

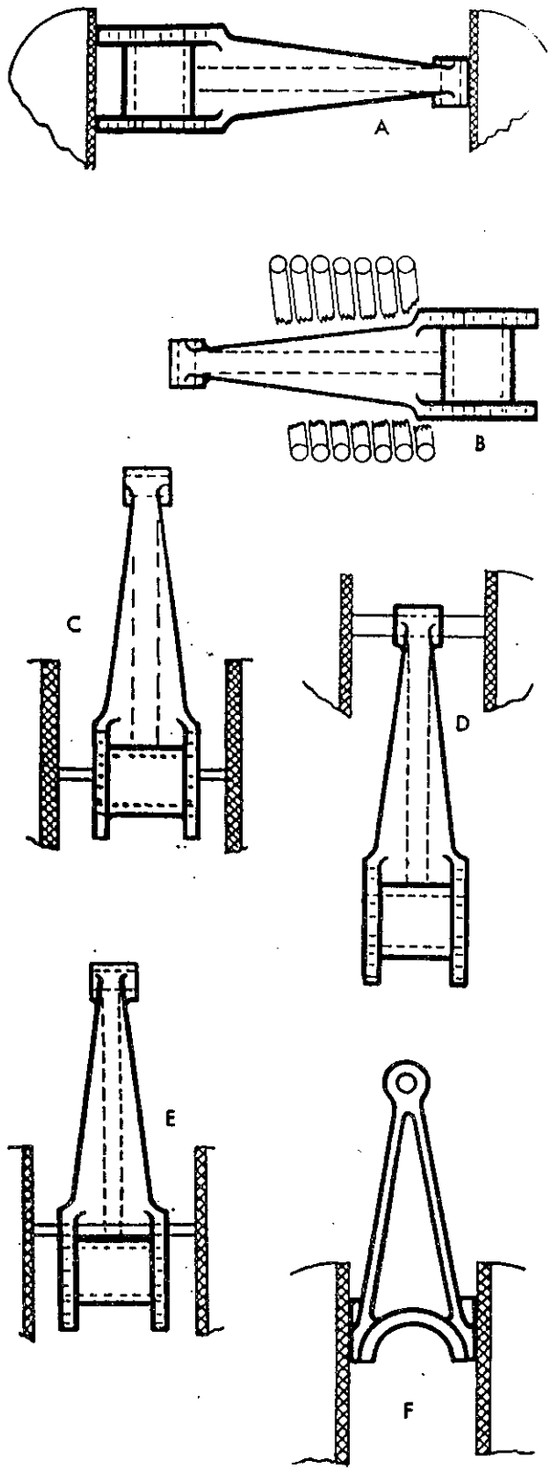
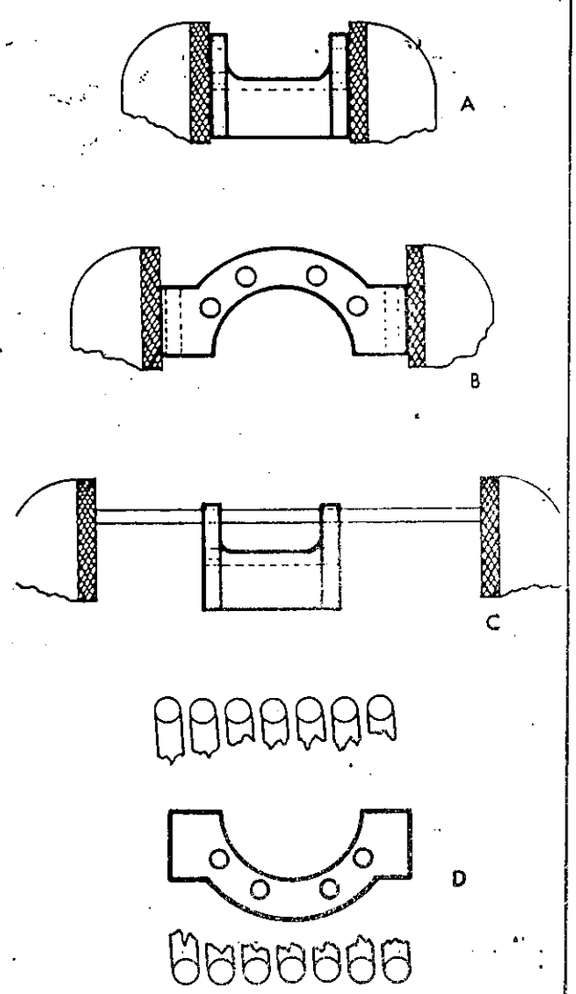


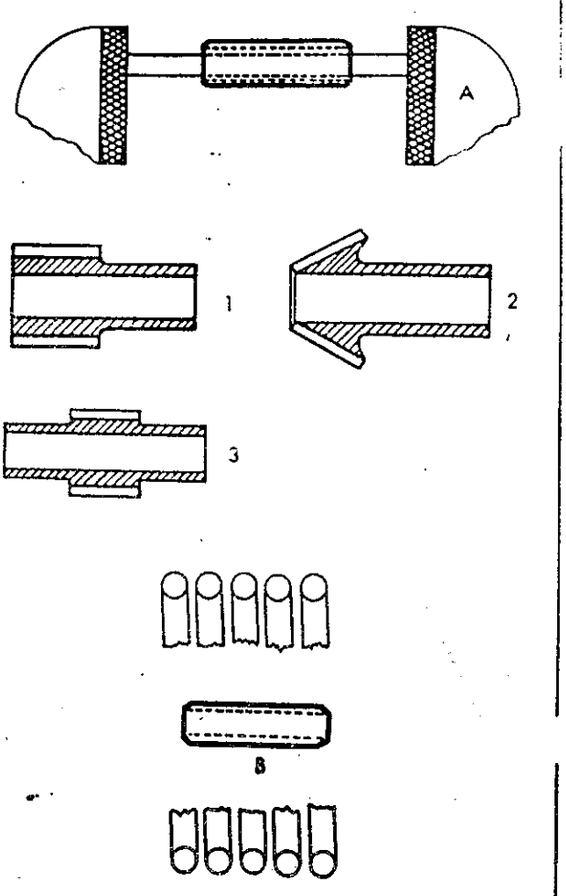
Figure 1. Method of Magnetizing Connecting Rods



Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through from end-to-end (This operation not necessary if cap was inspected with rod.)	2500
B	Through from side-to-side of crank pin bearing	2500
C	Through central conductor through each knuckle pin bearing	2000
D	In coil	1000 - 1500

Fig. 4b Method of Magnetizing Connecting Rod Caps



Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through central conductor through part	1000 - 2500
B	In coil	1000

Note

This method is recommended for piston and hollow pins and other hollow parts, such as gears, where the length is at least two or three times greater than the diameter. See 1, 2 and 3 for examples.

Fig. 4c Method of Magnetizing Piston Pins and Other Hollow Parts

Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through from end-to-end	200 - 1500
B	In coil	200 - 1000
C	Through across head	200 - 1500
D	Through copper bar through bore	500 - 1500

Notes

1. Method C is usually used to verify transverse indications under head located by Method B. Do not use this shot on valves.
2. Use Method D for nuts, rollers and washer-like parts.
3. The roots of threads should be thoroughly cleaned before inspection of threaded areas. A fine steel brush is recommended for this purpose.
4. When inspecting threaded areas using the wet continuous method, dip the part in some clean vehicle of the same type used in mixing the bath after magnetizing and prior to inspection. This will remove accumulations of particles not magnetically held in the threads and if done gently will not remove an indication.

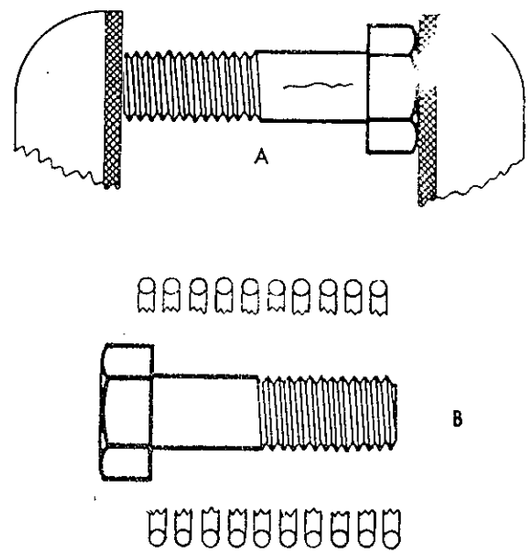
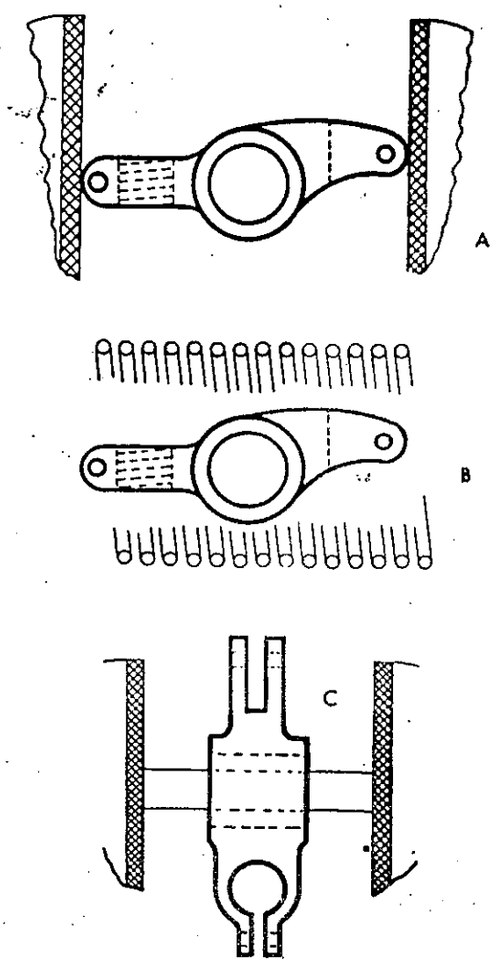


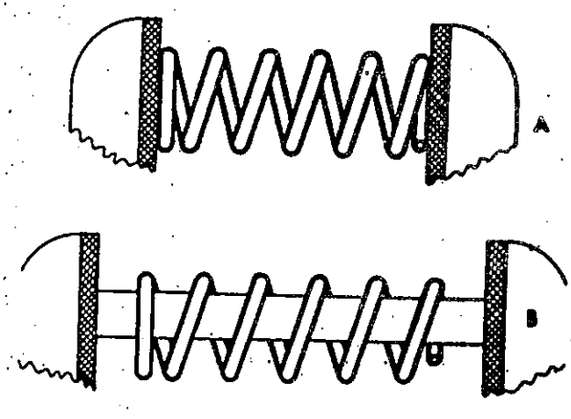
Fig. 2-41 Method of Magnetizing Bolts, Studs, Valves, Pins, and Valve Tappets



Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through from end-to-end	750 - 1500
B	In coil	750
C	Through central conductor through shaft hole	500 - 1500

Method of Magnetizing Rocker Arms



Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through from end-to-end for seams in the wire	200 - 500
B	Through central conductor through spring for defects transverse to the wire	500 - 1000

รูปที่ ๓๔ **Method of Magnetizing Coil Springs**

Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through central conductor through bore of gear, or through gear from face-to-face, if bore is blind or shaft solid	1000 - 4000
B	Through gear across teeth	1000 - 4000
C	Through gear across teeth after rotating gear 90° on axis	1000 - 4000

Note

Parts such as B and C can also be magnetized using the induced current method with approximately 5000 ampere turns or more. (See paragraphs 2-31 through 2-34 and 2-47.)

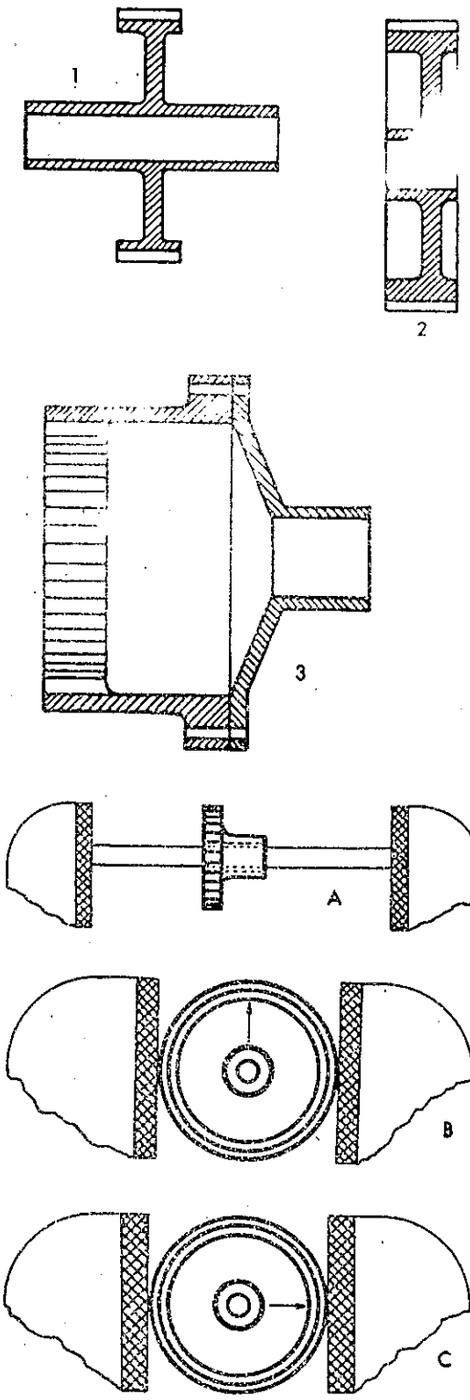
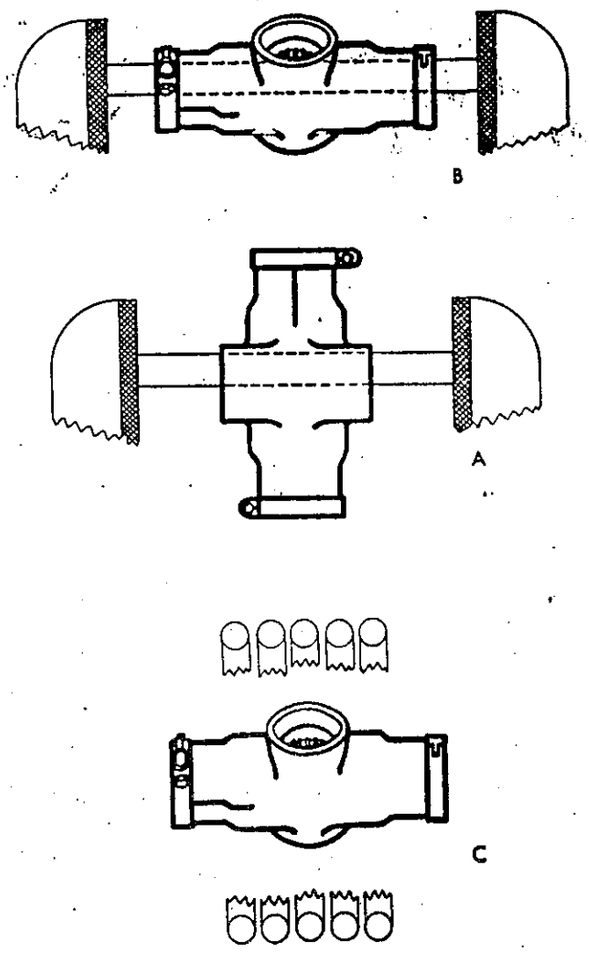


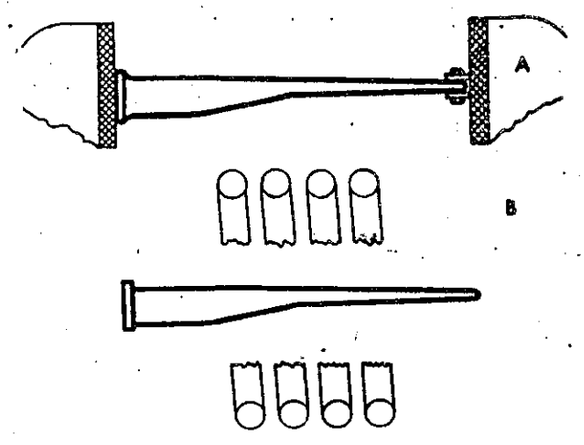
Fig. 60. Method of Magnetizing Gears Which Are Wheel Shaped, Similar to 1, 2 or 3



Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through central conductor through propeller shaft bore	2500 - 4000
B	Through central conductor through propeller blade bore	2500 - 4000
C	In coil	1000

รูปที่ ๔๔ . Method of Magnetizing Two-Blade Propeller Hubs



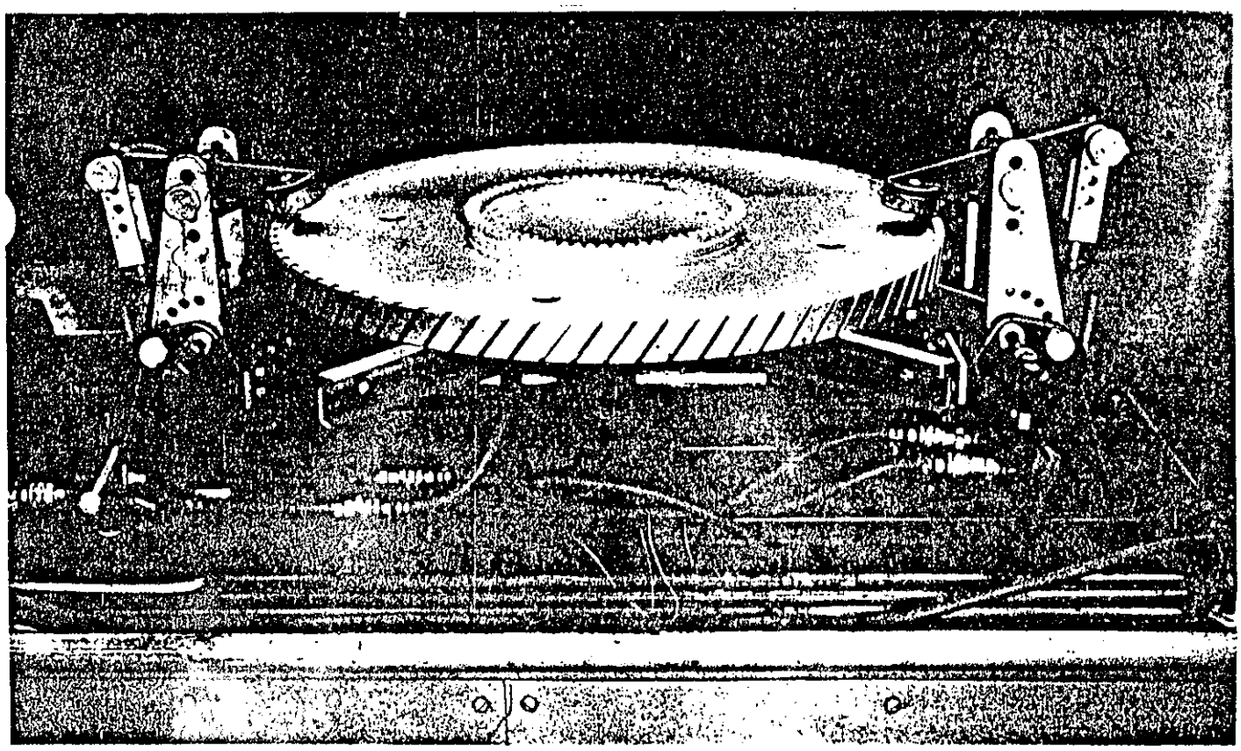
Recommended Magnetizing Current

View	Current Path	Value in Amperes
A	Through propeller blade from hub to tip (special rotating fixture is used to clamp tip and prevent arcing	3000 - 4000
B	In coil (shots and application of bath repeated at 12 - 18-inch intervals along length of blade to give adequate field)	1000

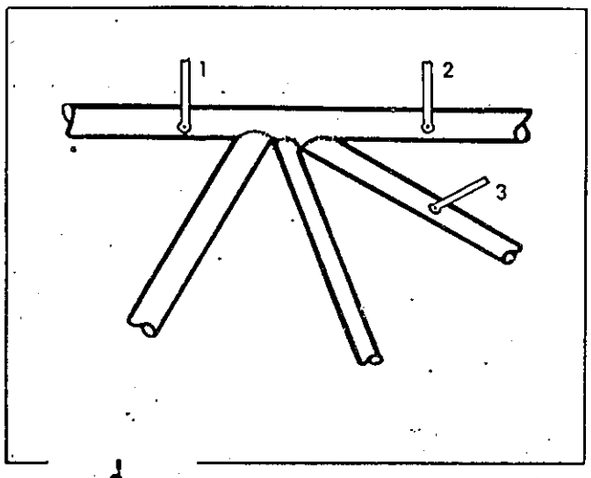
Note

Propeller inspection is covered in detail in paragraphs 5-33 thru 5-37.

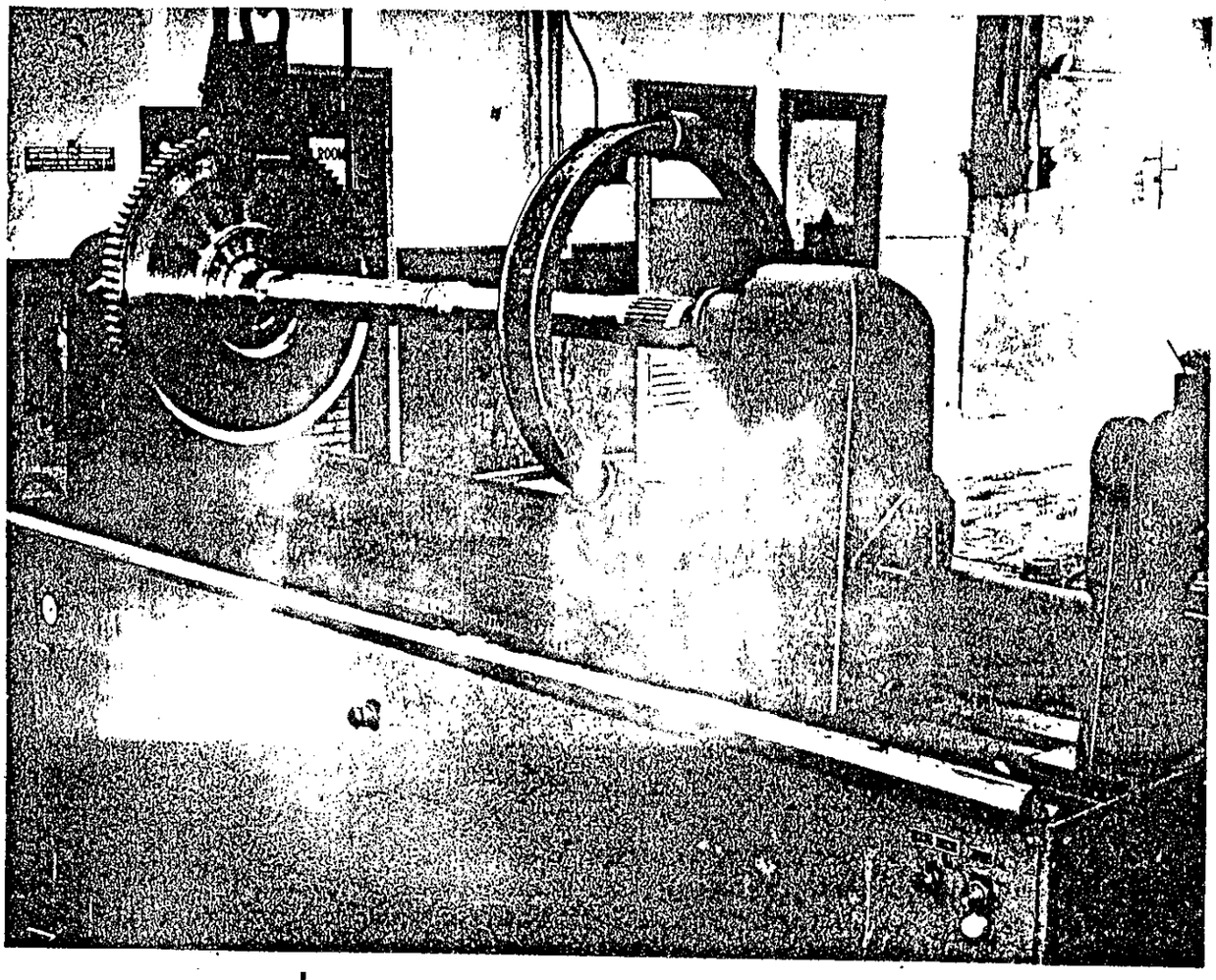
รูปที่ ๔๕ . Method of Magnetizing Propeller Blades



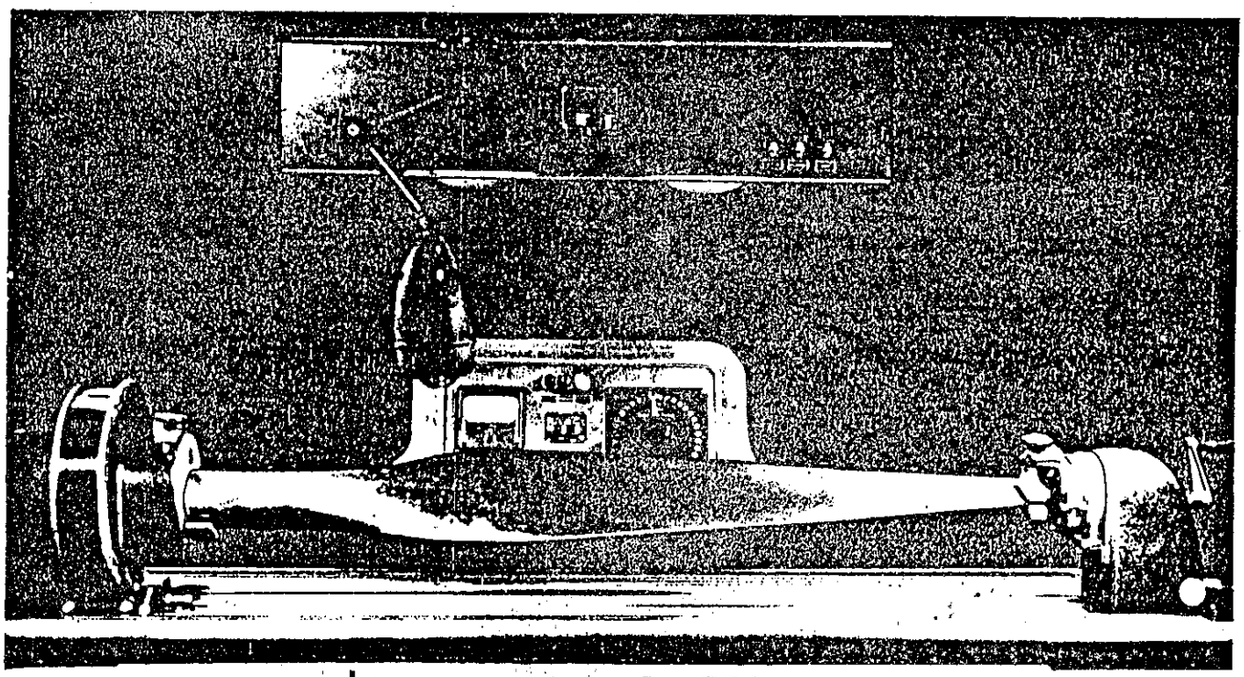
รูปที่ ๘๖ Special Clamping Device for Magnetizing Thin-Sectioned Rings



รูปที่ ๘๗ Method of Magnetizing Engine Mounts and Welded-Structures

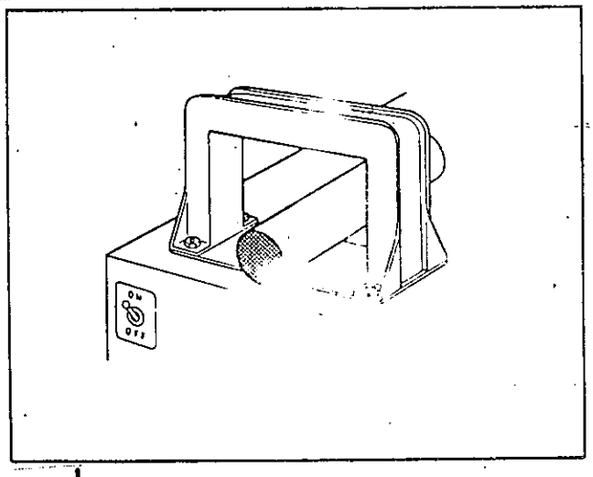


รูปที่ ๕๐ . Raised Head Unit for Inspection of Compressor Shafts

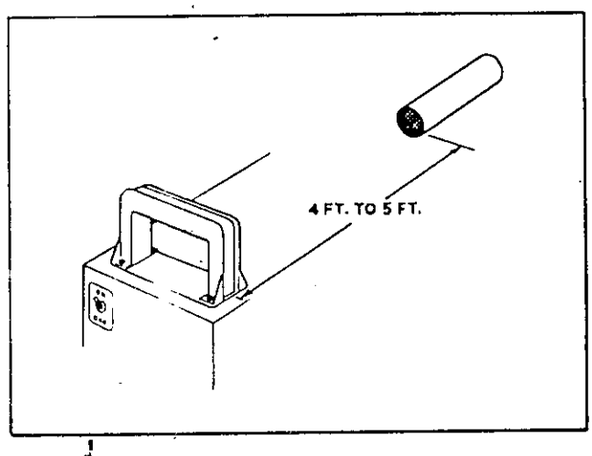


รูปที่๕๑ . Propeller Blade in Fixture Ready for Inspection

การคลายอำนาจแม่เหล็กด้วยขดลวดไฟกระแสสลับดังแสดงในรูป (๕๒) เมื่อนำชิ้นงานวางในวงของขดลวดพร้อมกับเปิดสวิทช์ให้กระแสไฟไหลผ่าน ขณะที่ยังเปิดสวิทช์อยู่นั้นค่อย ๆ ดึงชิ้นงานให้ห่างออกไปจากขดลวดประมาณ ๔ – ๕ ฟุต (ดังรูป ๕๓) แล้วจึงปิดสวิทช์ไฟ แนวของชิ้นงานต้องขนานกับช่องของขดลวด (ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก) สำหรับชิ้นงานที่มีหลายรูปลักษณะในชิ้นเดียวกัน การคลายอำนาจแม่เหล็กอาจจะต้องกระทำต่อไปอีก โดยหมุนชิ้นงาน ๙๐° กับการทำครั้งแรก



รูปที่ ๕๒ Part in Demagnetizer Coil - Switch On



รูปที่ ๕๓ Part Withdrawn from Coil - Switch Remains On

เพื่อความเหมาะสมในการปฏิบัติ วงของขดลวดจะต้องมีขนาดที่ใหญ่พอที่จะบรรจุชิ้นงานเข้าไปได้ และเมื่อจะคลายอำนาจแม่เหล็กกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ๆ ให้นำชิ้นงานนั้นชิดกับขดลวด เพราะตรงบริเวณนั้นจะให้กำลังของเส้นแรงแม่เหล็กที่สูงกว่า

สำหรับชิ้นงานที่ใหญ่เกินไปกว่าวงขดลวดที่มีอยู่ ก็จะสามารถปฏิบัติได้โดยนำชิ้นงานมาค้านตรงข้ามของขดลวด (มุมโต๊ะ) โดยถือชิ้นงานไว้ให้ชิดกับขดลวดแล้วปล่อยให้กระแสไฟไหลผ่านขดลวดจากนั้นจึงค่อย ๆ หมุนชิ้นงานให้ได้รอบ พร้อมกับถึงชิ้นงานให้ห่างออกมา ๔ – ๕ ฟุต แล้วปิดสวิทช์ วิธีดังกล่าวสามารถกระทำได้กับชิ้นงานเพียงชิ้นสองชิ้นเท่านั้น ถ้าชิ้นงานจำนวนหนา ๆ จะต้องหาวิธีอื่นที่เหมาะสมกว่านี้

๑๖.๒ <u>การคลายอำนาจแม่เหล็กด้วยกระแสไฟสลับและกระแสไฟตรงที่มีอยู่ในเครื่องมือตรวจ</u> DEMAGNETIZATION WITH AC. AND DC. INSPECTION EQUIPMENT)

ก. <u>เครื่องมือชนิดติดตั้งอยู่กับที่</u> (STATIONARY EQUIPMENT) เครื่องมือตรวจจะเป็นแบบติดตั้งอยู่กับที่หรือแบบเคลื่อนที่ได้ก็ตามที่ใช้กระแสไฟสลับสามารถนำมาคลายอำนาจแม่เหล็กภายหลังจากการตรวจได้ทั้งนั้น การปฏิบัติก็สามารถกระทำได้หลายอย่างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูป

ร่างลักษณะของชิ้นงาน เครื่องมือชนิดติดตั้งอยู่กับที่ ที่มีขดลวด (COIL) อยู่บนรางเลื่อน เมื่อผ่านกระแสไฟสลับไปยังมันก็จะกลายเป็น " ขดลวดคลายอำนาจแม่เหล็ก " (DEMAGNETIZING COIL) ฉะนั้นเมื่อจะคลายอำนาจแม่เหล็กก็เพียงแต่นำชิ้นงานนั้นผ่านเข้าไปในวงของขดลวดในลักษณะเดียวกันกับที่ปฏิบัติกับ AC. COIL DEMAGNETIZATION แต่จะต้องไม่ลืมว่า ปิดสวิทช์ไฟภายหลังที่นำชิ้นงานห่างออกไปจนได้ระยะแล้ว

ในเครื่องมือชนิดเดียวกันนี้ จะสามารถคลายอำนาจแม่เหล็กได้อีกวิธีหนึ่งกล่าวคือในเครื่องมือนั้นจะมีตัวควบคุมกระแสไฟเป็นขั้น ๆ รวม ๓๐ ขั้นด้วยกัน (AC. 30 POINT STEP DOWN. DEMAGNETIZATION) จากมากไปหาน้อย ผู้ปฏิบัติสามารถที่จะเลือกใช้จำนวนกระแสไฟโดยหมุนปุ่มสวิทช์ได้ตามต้องการ สวิทช์นี้จะทำงานโดยมอร์เตอร์ไฟฟ้า เมื่อผู้ปฏิบัติกดปุ่มสวิทช์คลายอำนาจแม่เหล็ก (DEMAG. SWITCH) จะทำให้มอร์เตอร์ไฟฟ้าทำงานแล้วหมุนพาสวิทช์ที่ตั้งกระแสไฟไว้ลดลงเป็นขั้น ๆ จนไม่มีกระแสไฟไหล วิธีนี้กระทำได้โดยให้กระแสไฟผ่านขดลวด (LONGITUDINAL DEMAGNETIZATION) หรือให้ผ่านชิ้นงานโดยตรง (CIRCULAR DEMAGNETIZATION)

ข. <u>เครื่องมือชนิดเคลื่อนที่ได้</u> (PORTABLE EQUIPMENT) ที่นำมาใช้ในกองทัพอากาศนั้นเป็นแบบกระแสไฟสลับและ HALF WAVE DIRECT CURRENT การคลายอำนาจแม่เหล็กด้วยกระแสไฟสลับกระทำได้โดยใช้สายไฟที่มีอยู่กับเครื่องนั้น ๆ ปฏิบัติดังต่อไปนี้

๑. ม้วนสายไฟเส้นเดียวกันกับที่ใช้ทำชิ้นงานให้เป็นแม่เหล็ก ประมาณ ๓ – ๔ รอบ แล้วตั้งกระแสไฟให้สูงกว่าที่ใช้ในการตรวจทั้ง AC และ HWDC นำชิ้นงานวางในวงสายไฟ (COIL) แล้วปิดสวิทช์พร้อมกับดึงชิ้นงานให้ห่างจาก COIL ๔ – ๕ ฟุต แล้วปิดสวิทช์ (ปฏิบัติเหมือนกับ AC.COIL DEMAGNETIZATION) หรือถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากก็สามารถนำวง COIL พันรอยชิ้นงานแล้วจึงเปิดสวิทช์ไฟพร้อมกับดึง COIL ห่างออกตามแนวแกนของชิ้นงานนั้น ๔ – ๕ ฟุต แล้วปิดสวิทช์ไฟ

๒. ม้วนสายไฟ ๓ – ๔ รอบ ตั้งกระแสไฟให้สูงกว่าที่ใช้ในการตรวจชิ้นงานนั้น ๆ วางชิ้นงานภายในวง COIL แล้วกดปุ่มสวิทช์ " DEMAG " เครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติลดกระแสไฟลงเป็นขั้น ๆ จนครบวงจร ชิ้นงานก็จะถูกคลายอำนาจแม่เหล็กจนหมด

๓. การใช้หัวแตะสัมผัสหรือหัวหนีบ (PRODS OR CLAMPS) แตะหรือหนีบเข้ากับชิ้นงานตรงบริเวณที่ผ่านการตรวจ ปรับกระแสไฟให้สูงกว่าที่ใช้ตรวจชิ้นงานนั้น ๆ แล้วกดปุ่ม " DEMAG " เครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติลดกระแสลงเป็นขั้น ๆ จนครบวงจรชิ้นงานก็จะถูกคลายอำนาจแม่เหล็กจนหมด

ค. <u>การคลายอำนาจแม่เหล็กด้วยกระแสไฟตรง</u> (DC. DEMAGNETIZATION) เนื่องจากกระแสไฟสลับไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านลงไปจากผิวของชิ้นงานได้ลึก ๆ ชิ้นงานบางชิ้นยากแก่การคลายอำนาจแม่เหล็กให้สมบูรณ์ได้ด้วยกระแสไฟสลับ โดยเฉพาะอย่าง

ยิ่งกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ และมีรูปร่างแปลก ๆ เราสามารถนำกระแสไฟตรงมาใช้ในการคลายอำนาจแม่เหล็กได้ดีกว่าโดยจัดให้มีตัวควบคุมกระแสไฟที่สามารถควบคุมได้ระเอียด และพร้อมกับกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟ การคลายอำนาจแม่เหล็กด้วยกระแสไฟตรงนี้ปกติจะให้ผลที่สมบูรณ์และแน่นอน

การปฏิบัติกระทำได้โดยวางชิ้นงานภายในวงของ COIL (LONGITUDINAL DEMAGNETIZATION) หรือโดยใช้หัว CONTACT แตะสัมผัสชิ้นงาน (CIRCULAR DEMAGNETIZATION) ปรับกระแสไฟอย่างน้อยให้มากกว่าที่ใช้เนื่องขณะทำการตรวจจากนั้นก็ทำการกลับขั้วทิศทางการไหลของกระแสไฟโดยปิดสวิทช์ที่ " DEMAG " เมื่อกดปุ่ม " START " เครื่องก็จะทำงานโดยอัตโนมัติ ให้กระแสไฟไหลทวนทิศทางเดิมพร้อมกับลดจำนวนกระแสลงเป็นขั้น ๆ จนเหลือกระแสไฟน้อยที่สุดเครื่องจะหยุดโดยอัตโนมัติชิ้นงานก็จะถูกคลายอำนาจแม่เหล็กอย่างสมบูรณ์

ในเครื่องมือ MAGNETIC PARTICLE UNIT ปัจจุบันให้ความสะดวกมากในการเลือกใช้กระแสไฟทั้ง AC และ DC. ที่ใช้คลายอำนาจแม่เหล็ก และจะทำงานโดยอัตโนมัติ

ง. <u>เทคนิคในการคลายอำนาจแม่เหล็ก</u>

๑. ชิ้นงานบางชิ้นยากแก่การคลายอำนาจแม่เหล็ก สามารถทำได้โดยถือชิ้นงานให้อยู่ในวงของ DEMAGNETIZANG COIL แล้วเปิดสวิทช์ให้กระแสไฟไหลผ่าน COIL ในขณะนั้นใช้ฆ้อนหรือโลหะเคาะสั่นสะเทือนด้านหนึ่งด้านใดของชิ้นงาน พร้อมกับดึงชิ้นงานออกจาก COIL จนได้ระยะห่าง ๔ – ๕ ฟุต จึงหยุดเคาะแล้วตัดสวิทช์

ข้อควรระวังในการเคาะก็คือต้องไม่ทำให้ชิ้นงานนั้นชำรุด

๒. ถ้าวาง DEMAGNETIZING COIL ให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจาก COIL ชี้ไปทางทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก จะมีประสิทธิภาพดีกว่าวางให้ชี้ไปทิศเหนือและใต้ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของเส้นแรงแม่เหล็กโลก

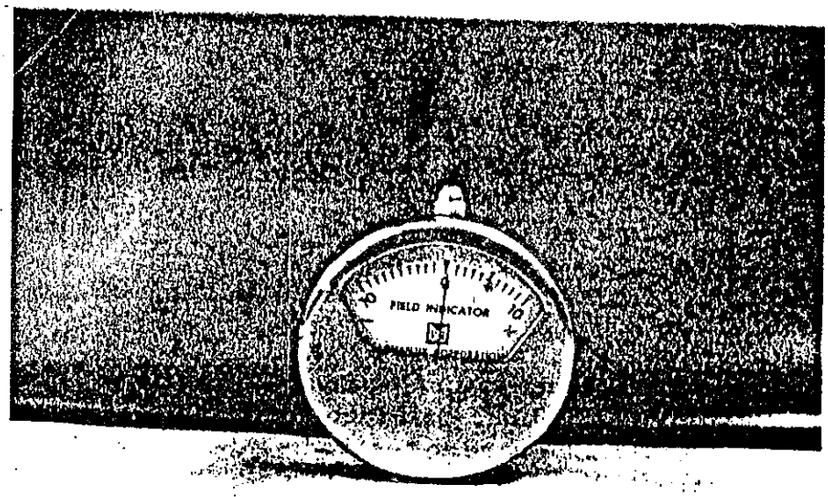
๓. วิธีขจัดเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างที่ดีอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นเทคนิคที่เรียกกันว่า " TRANSIENT METHOD " กระทำได้โดย วางชิ้นงานในวงของ COIL แล้วปิดเปิดสวิทช์ ๕ – ๑๐ ครั้ง ในขณะที่กระแสไฟเข้า ๆ ออกอยู่นี้ก็เคลื่อนชิ้นงานออกห่างจากวงของ COIL

๑๗. <u>การทดสอบการคลายอำนาจแม่เหล็ก</u> (DEMAGNETIZATION TEST)

สนามแม่เหล็กตามแกน (LONGITUDINAL FIELD) ที่เกิดขึ้นสามารถตรวจพบได้ง่ายโดยวิธีต่าง ๆส่วน CIRCULAR FIELD ที่เกิดขึ้นไม่สามารถที่จะตรวจพบได้ ยกเว้นสนามแม่เหล็กนั้นรวมตัวกันจนทำให้เกิดขั้วขึ้นบนชิ้นงานจึงจะตรวจพบได้ ปกติการตรวจจะทำ CIRCULAR MAGNETIZATION ก่อนแล้วจึงทำ LONGITUDINAL MAGNETIZATION ภายหลัง วิธีนี้เราจึงสามารถตรวจพบสนามแม่เหล็กได้และให้ความแน่ใจในการคลายอำนาจแม่เหล็กกับชิ้นงานนั้น ๆ ปกติแล้ววิธีตรวจพบสนามแม่เหล็กจะไม่สามารถวัดออกมาเป็นค่าที่แท้จริงของความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ แต่ค่าที่ได้นั้นแสดงถึงค่าความสัมพันธ์

๑๗.๑ FIELD INDICATORS ดูรูป ๕๔ เป็น FIELD INDICATOR,MODEL 2480 เครื่องวัดนี้จะใช้วัดกำลังดึงดูด (MAGNETIZING FORCE) ที่ไหลออกนอกทิศทาง (LEAK FIELD) ผ่านตัวมันมากกว่าที่จะวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก (FLUX DENSITY) ความสัมพันธ์ระหว่างช่องแบ่งเสกลและกำลังดึงดูดมีหน่วยเป็น OERSTEDS ดังนี้

ก. 1 ช่องแบ่งจาก 0 = 1.5 OERSTEDS.
ข. 5 ช่องแบ่งจาก 0 = 6.5 OERSTEDS.
ค. 10 ช่องแบ่งจาก 0 = 12.3 ODRSTEDS.



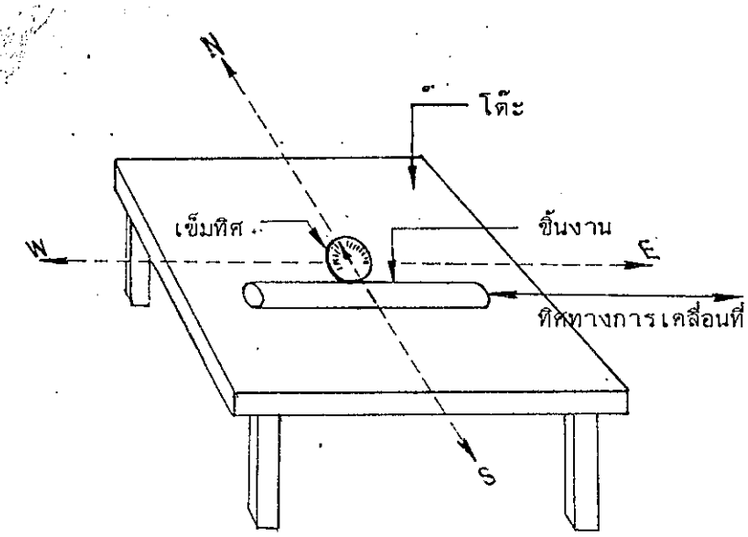
รูปที่ ๕๔ Field Indicator.

การวัดให้นำด้านตรงข้ามกับปลายเข้มของเครื่องวัดห่างจากผิวของชิ้นงานประมาณ ๑๑/๑๖"

ข้อควรระวัง ในขณะทำการตรวจห้ามนำ FIELD INDICATOR ใกล้บริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็ก เพราะอาจทำให้เข็มเครื่องวัดเหวี่ยงตัวอย่างแรงจนหก

๑๗.๒ เข็มทิศ เข็มทิศสามารถนำมาใช้แทน FIELD DICATOR ได้ ขนาดของเข็มทิศที่นำมาใช้ทดสอบการคลายอำนาจแม่เหล็กในชิ้นงานนั้นต้องมีตัวเข็มยาวประมาณ ๑ ๑/๒" และตัวเรือนขนาด ๑ ๕/๘ - ๑ ๗/๘" ไม่ควรนำเข็มทิศที่เข็มฝืดมาใช้ การใช้นั้นนำมาใช้ตรวจกับชิ้นงานทุกชนิด ถ้าเข็มทิศไม่กระดิกตัวจากแนวตั้งแสดงว่าการคลายอำนาจแม่เหล็กกับชิ้นงานนั้นใช้ได้

ก. <u>วิธีการทั่ว ๆ ไป</u> (GENERAL METHOD)
ให้วางเข็มทิศบนโต๊ะไม้ แล้วนำชิ้นงานชิดกับเข็มทิศโดยให้อยู่ในแนวแกนของทิศตะวันออก – ตะวันตก เลื่อนชิ้นงานตามแนวแกนดังกล่าวไปมาทั้งสองด้าน สังเกตดูเข็มทิศถ้าไม่กระดิก แสดงว่าการคลายอำนาจแม่เหล็กนั้นใช้ได้



ข. <u>วิธีการสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่และหนัก</u> (METHOD FOR LARGE OR HEAVY PARTS.) ให้วางชิ้นงานนั้นตามแนวแกนของทิศตะวันออก – ตะวันตกบนโต๊ะไม้ ณ ตำบลที่สนามแม่เหล็กโลกจะไม่ทำให้เข็มทิศเบี่ยงเบนต่างกัน ๑๐° และนำเข็มทิศมาชิดกับผิวของชิ้นงานทางด้านทิศเหนือและใต้ของชิ้นงานแล้วเลื่อนเข็มทิศตามแนวชิ้นงานนั้น

ค. <u>วิธีการสำหรับชิ้นงานท่อนกลม</u> (METMOD FOR CIRCULAR PARTS) ให้วางเข็มทิศบนโต๊ะไม้ แล้วนำชิ้นงานมาชิดกับเข็มทิศ ตามแนวแกนทิศเหนือ – ใต้พร้อมกับหมุนชิ้นงานโดยรอบ (๓๖๐°)

๑๗.๓ <u>การทดสอบโดยวิธีอื่น ๆ</u> สามารถนำ STEEL FEELER GAUGE ที่มีความหนา .๐๐๒ " – .๐๐๓ " มาแตะกับชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานเกาะติดก็แสดงว่ายังคงมีอำนาจแม่เหล็กดูดค้าง หรือถ้าจะนำคลิปหนีบกระดาษมาแตะกับชิ้นงานก็ได้โดยสังเกตุการเกาะติดกับชิ้นงานนั้นในลักษณะเดียวกัน FEELER GAUGE

สรุป

๑. การตรวจด้วยวิธี MAGNETIC PARTICLE สามารถตรวจได้เฉพาะชิ้นงานที่เป็นสารแม่เหล็กเท่านั้น ก่อนตรวจอาจจะต้องทำความสะอาดคลายสกปรกต่าง ๆ เช่น น้ำมันหล่อลื่น ไขหล่อลื่น คลายสี คลายสนิม และภายหลังจากการตรวจจะต้องคลายอำนาจแม่เหล็ก และทำความสะอาดเอาคลายผงเหล็กจากการตรวจออก

๒. กระแสไฟที่นำมาใช้ในการตรวจมี ๓ ชนิด

๒.๑ กระแสไฟสลับ (AC.) ตรวจหารอยตำหนิบริเวณผิวและ FATIGUE CRACK

๒.๒ กระแสไฟตรง (DC.) ตรวจหารอยตำหนิทั้งที่ผิวและใต้ผิว

๒.๓ HALF WAVE DC. ตรวจหารอยตำหนิบริเวณผิวและใต้ผิวได้ดีที่สุดเมื่อใช้กับผงแห้ง

๓. วิธีการตรวจมี ๒ วิธี

๓.๑ LONGITUDINAL MAGNETIZATION

๓.๒ CIRCULAR MAGNETIZATION

๔. ชนิดของผงเหล็ก

๔.๑ ผงแห้ง มีสี แดง, ดำ และ ขาว

๔.๒ ผงเปียก มีแบบ VISIBLE และ FLUORESCENT

๕. การใช้ผงเหล็ก

๕.๑ CONTINUEOUS METHOD ใช้ผงเหล็กแล้วจึงปล่อยกระแสไฟ

๕.๒ RESIDVAL METHOD ปล่อยกระแสไฟแล้วจึงใช้ผงเหล็ก

๖. การคลายอำนาจแม่เหล็ก คือการขจัดอำนาจแม่เหล็กตกค้างบนชิ้นงานให้หมดไป

๖.๑ การคลายอำนาจแม่เหล็ก ด้วย AC. COIL

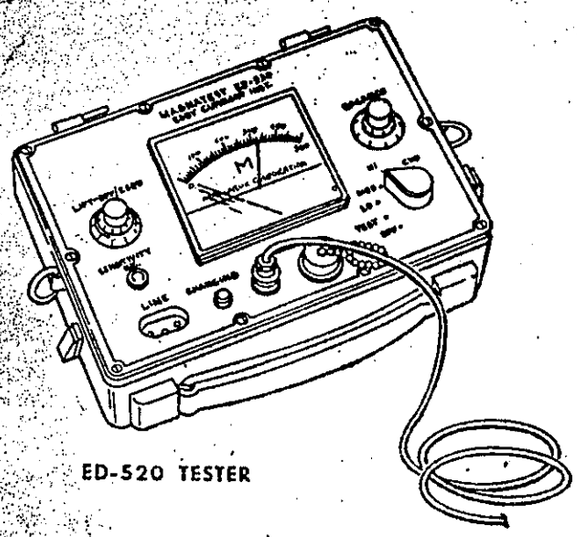
๖.๒ การคลายอำนาจแม่เหล็กด้วยกระแสไฟตรงและสลับที่มีอยู่ในเครื่องแบบติดตั้งอยู่กับที่และ แบบเคลื่อนที่ได้

๗. การทดสอบการคลายอำนาจแม่เหล็ก

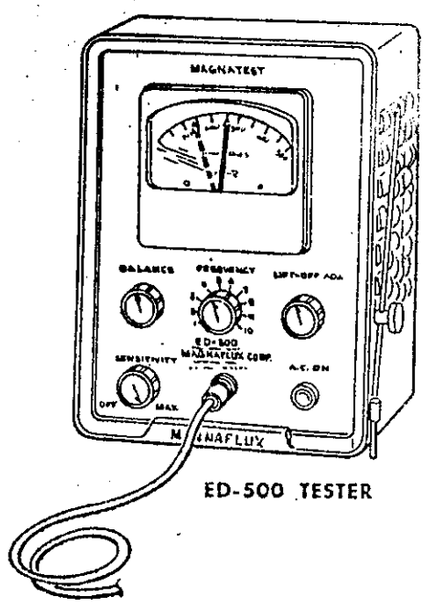
๗.๑ FIELD INDICATOR

๗.๒ เข็มทิศ

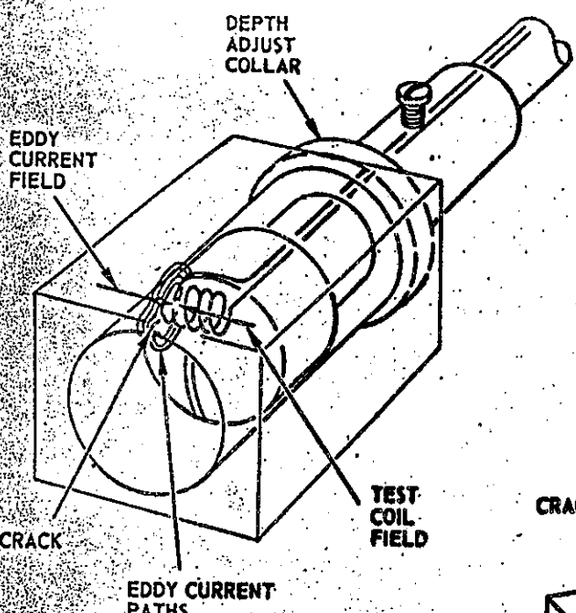
๗.๓ ด้วยวิธีอื่น ๆ



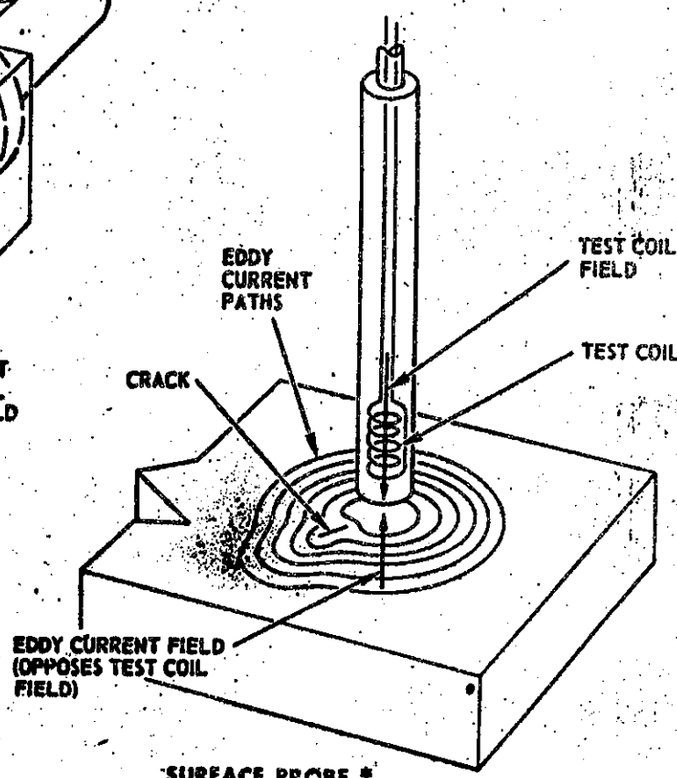
ED-520 TESTER



ED-500 TESTER



HOLE PROBE *
(ENLARGED FOR CLARITY)



SURFACE PROBE *
(ENLARGED FOR CLARITY)

* MAY BE USED WITH EITHER ED-500 OR ED-520 TESTER

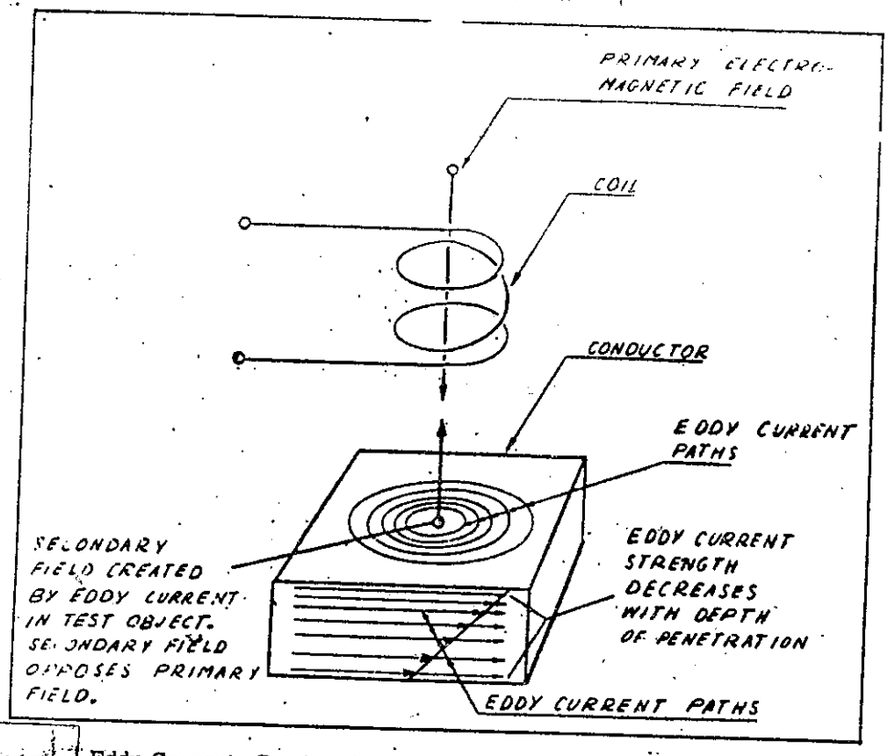
28A-36-16

Figure [illegible] Eddy Current Principles

การตรวจด้วยกระแสไหลวน

(EDDY CURRENT INSPERTION)

1. <u>กระแสไหลวน</u> (EDDY CURRENT) คือ การเคลื่อนตัวของอิเลคตรอนอิสระในลักษณะเป็นวงกลมในตัวนำ ภายใต้การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การตรวจหารอยตำหนิหรือการวิเคราะห์โลหะด้วย (EDDY CURRENT) นั้น จะใช้กระแสไฟสลับให้ไหลในขดลวดเล็ก ๆ หรือที่เรียกว่า PROBE ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในวงของขดลวดนี้ เมื่อนำขดลวดนี้ไปสัมผัสหรือเข้าใกล้ผิวของชิ้นงานที่เป็นตัวนำไฟฟ้า สนามแม่เหล็กในขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟไหลบนผิวชิ้นงาน กระแสที่เกิดขึ้นนี้จะไหลเป็นวงกลม หรือเรียกว่า "กระแสไหลวน" (EDDY CURRENT) ดังรูปที่ 1 แสดงถึงการเกิดกระแสไหลวนโดยการเหนี่ยวนำจากเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากขดลวดเล็ก ๆ



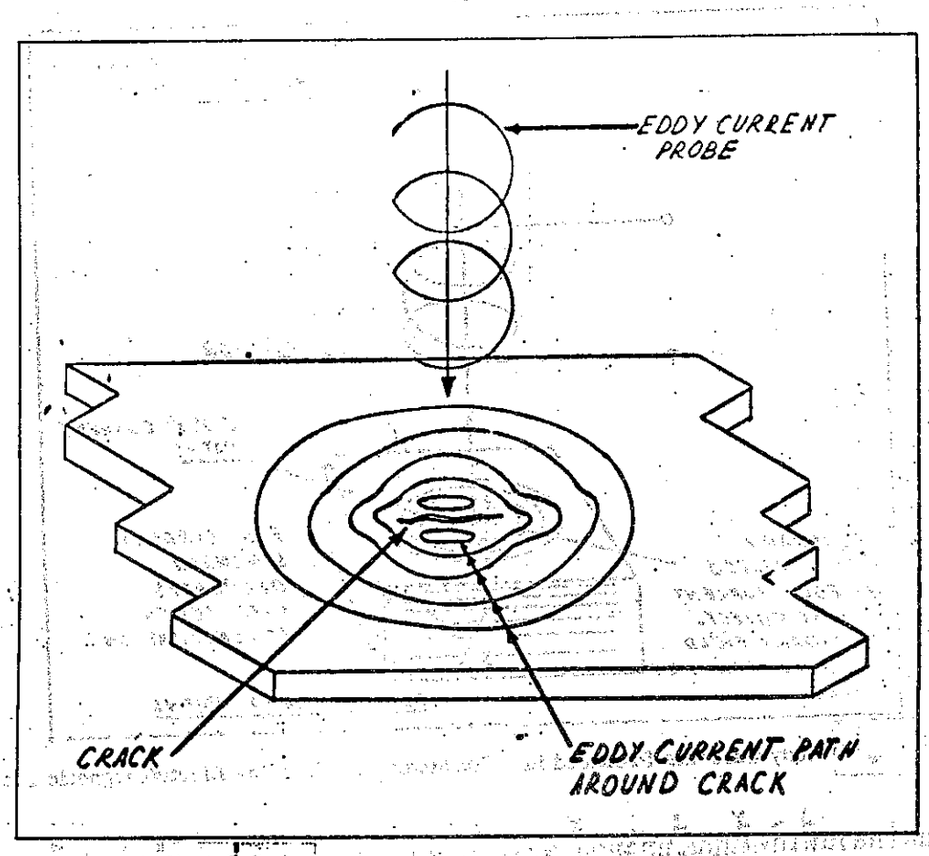
รูปที่ 1 Eddy Currents Produced in a Conductor by a Varying Electromagnetic Field

กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนชิ้นตัวนำนี้ จะเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมาอีกต่อหนึ่งในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจาก PROBE ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลวนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ลักษณะรูปร่าง ความเป็นตัวนำไฟฟ้า (CONDUCTIVITY) และการยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้ง่าย (MAGNETIC PERMEABILITY) ของชิ้นตัวนำ การที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจาก PROBE นี้เอง ก็จะหักล้างกัน และค่าความต้านทานของขดลวดใน PROBE เปลี่ยนแปลงไป และโดยการต่อเครื่องวัด MICROMETER หรือ OSCILLOSCOPE ขนิดอ่านค่าได้เข้าไป ทำให้สามารถอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ จากการปรับเครื่องมือ EDDY CURRENT ให้พอเหมาะ

/และการวิเคราะห์....

และการวิเคราะห์ค่าความเปลี่ยนแปลงที่อ่านออกมา จะสามารถทราบข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับการเปลี่ยนสภาพ หรือสถานะ เช่น ALLOY TYPE, HARDNESS, HEAT TREAT CONDITION THICKNESS, CRACK ฯลฯ

รอยแตกราวที่เกิดขึ้นบนผิวหรือใกล้ผิวจะเป็นสาเหตุให้กระแสไหลวนเสียรูป และแยกตัวออก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างสนามแม่เหล็กทั้งสอง (PRIMARY AND SECONDARY ELECTROMAGNETIC FIELDS) ฉะนั้น จึงสามารถตรวจพบรอย ๆ นั้น ๆ ได้ ดูรูปที่ 2 แสดงถึงการแยกตัวของกระแสไหลวนอันเนื่องมาจากรอยร้าว จำนวนการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏบนเครื่องวัดของเครื่อง EDDY CURRENT จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความไม่สมดุลย์ระหว่าง PRIMARY และ SECONDARY ELECTRO MAGNETIC FIELD และความไม่สมดุลย์อันนี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้รูปแบบของกระแสไหลวนเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความยาว ความกว้าง และความลึกของรอยร้าว

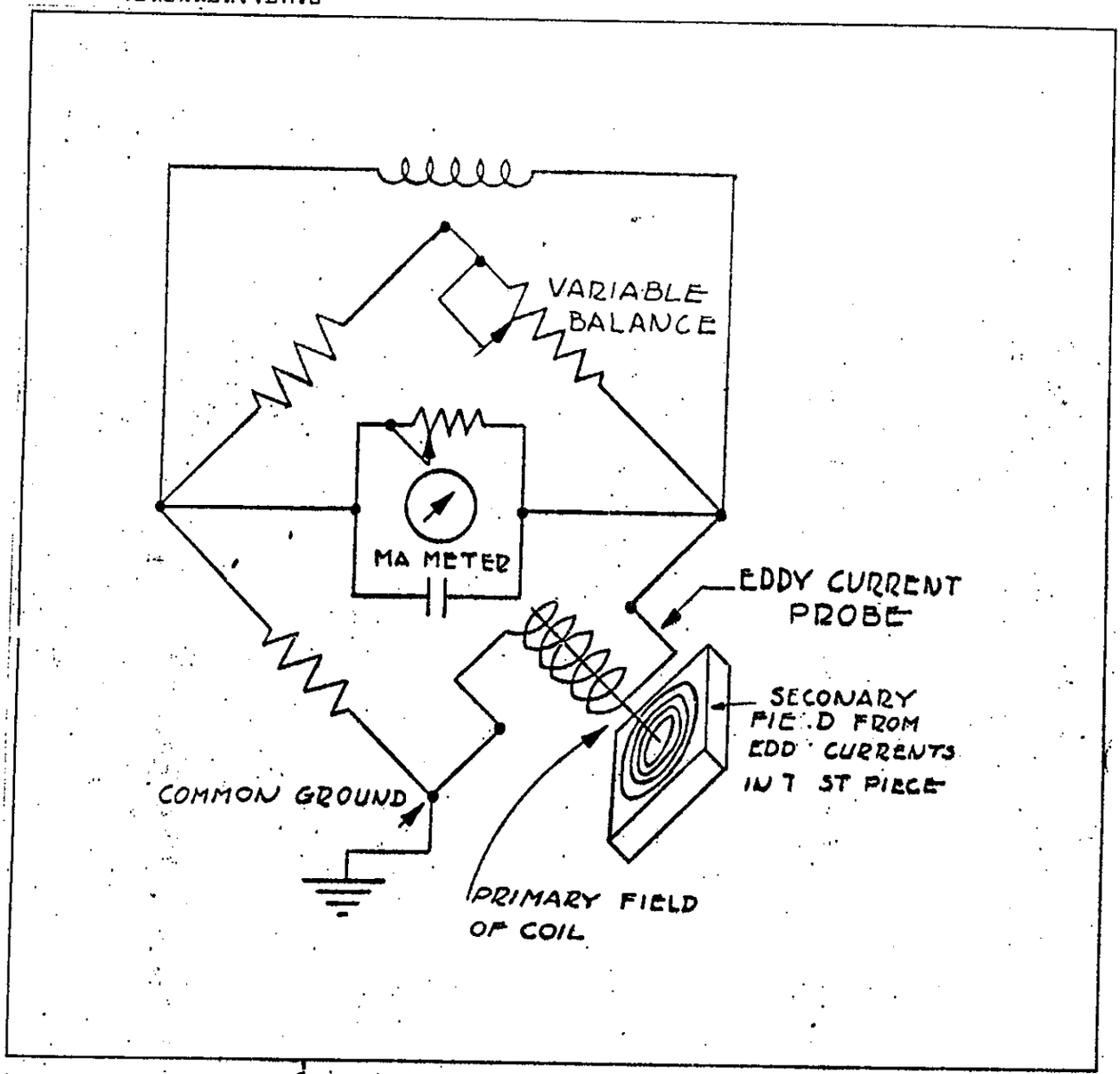


รูปที่ ๒ Path of Eddy Currents Around a Crack

2. เครื่องมือ EDDY CURRENT วงจรอิเลคโทรนิคเบื้องต้นที่ใช้กับเครื่องมือ EDDY CURRENE เพื่อตรวจหารอยร้าวนั้นเป็นวงจร BALANCE BRIDGE และ PROBE เป็นส่วนหนึ่งหรือขาหนึ่งของวงจร ๆ ซึ่ง PROBE นี้ จะต้องได้รับการออกแบบให้มีความต้านทาน (IMPEDANCE) ตามข้อกำหนดอย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดการสมดุลย์ทางไฟฟ้า

/ขึ้นในวงจร.....

ขึ้นในวงจร BRIDGE อาการไม่สมดุลย์ของวงจร BRIDGE จะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากชิ้นงาน (SECONDARY ELECTROMAGNETIC FIELD) อันเนื่องมาจากอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นจาก PROBE (PRIMARY ELECTROMAGNETIC FIELD) ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนค่าความต้านทานภายในขดลวดของ PROBE และสภาวะการไม่สมดุลย์นี้ จะสามารถอ่านค่าออกมาได้ด้วยระบบเครื่องวัดที่มีอยู่ ดังรูปที่ 3 แสดงถึงวงจร BALANCE BRIDGE ของเครื่องมือ EDDY CURRENT ในวงจรนี้ ถ้าความต้านทานภายในขดลวดของ PROBE แปรเปลี่ยนไป จะมีผลทำให้กระแสไฟที่ไหลผ่านเปลี่ยนแปลงไปด้วย



รูปที่ 3 Eddy Current Instrument Balanced Bridge Circuit

เครื่องมือ EDDY CURRENT สำหรับตรวจหารอยร้าว ส่วนใหญ่จะมีลักษณะและส่วนประกอบดังนี้.-

/2.1 .....

2.1 PORTABILITY เครื่องมือ EEDDY-CURRENT ส่วนมากจะเป็นแบบกระเป๋าหิ้ว เพื่อที่จะนำไปใช้งานตรวจโครงสร้าง อ.ได้สะดวก ระบบไฟใช้ BATTERY เพื่อเพิ่มความสะดวกในการนำพาได้ง่ายขึ้น

2.2 SENSITIVITY ในการตรวจชิ้นงานที่รับแรงอย่างสูงหรือเป็นชิ้นวิกฤต เครื่องมือจะต้องมีความไวต่อรอยตำหนิเป็นพิเศษ เพื่อตรวจหารอยร้าวเล็ก ซึ่งมีขนาดความยาว 0.02 นิ้ว ที่เกิดขึ้นบนผิวของชิ้นงานนั้น เครื่องมือจะต้องแสดงให้รู้ว่ามีรอยร้าวดังกล่าวอย่างเด่นชัด โดยปราศจากการรบกวนจากกำลังขยายของเครื่องมือ หรือจากแหล่งอื่น ๆ

2.3 FREQUENCY ความถี่ที่ใช้ต้องไม่ต่ำเกินไปจนเป็นเหตุให้สูญเสียความไวต่อการตรวจรอยร้าวเล็ก ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่ปกคลุมพื้นที่กว้างมาก และเมื่อเทียบอัตราส่วนแล้ว รอยร้าวเล็ก นี้มีอิทธิพลต่อสนามแม่เหล็กน้อยมาก และในทางตรงกันข้าม ความถี่จะต้องสูงเกินไป จนผ่านผิวของชิ้นงานลงไปได้น้อย ฉะนั้น รอยร้าวที่ไม่ได้เปิดขึ้นบนผิวอันเนื่องมาจากถูกปิดบังโดยผิวของมันเอง, หรือถูกฉาบไว้ด้วยผิวเคลือบอาจตรวจไม่พบ ความถี่ที่เหมาะสมและใช้กันทั่ว ๆ ไป กับเครื่องมือตรวจรอยร้าว EDDY CURRENT จะอยู่ประมาณ 50 – 5,000 KHZ การเลือกใช้ความถี่เพื่อให้ได้ปฏิกริยาโต้กลับ จากรอยร้าวให้มากที่สุด และการรบกวนจากเครื่องมือเองน้อยที่สุด อาจเพิ่มความไวต่อรอยร้าวได้ยิ่งขึ้น

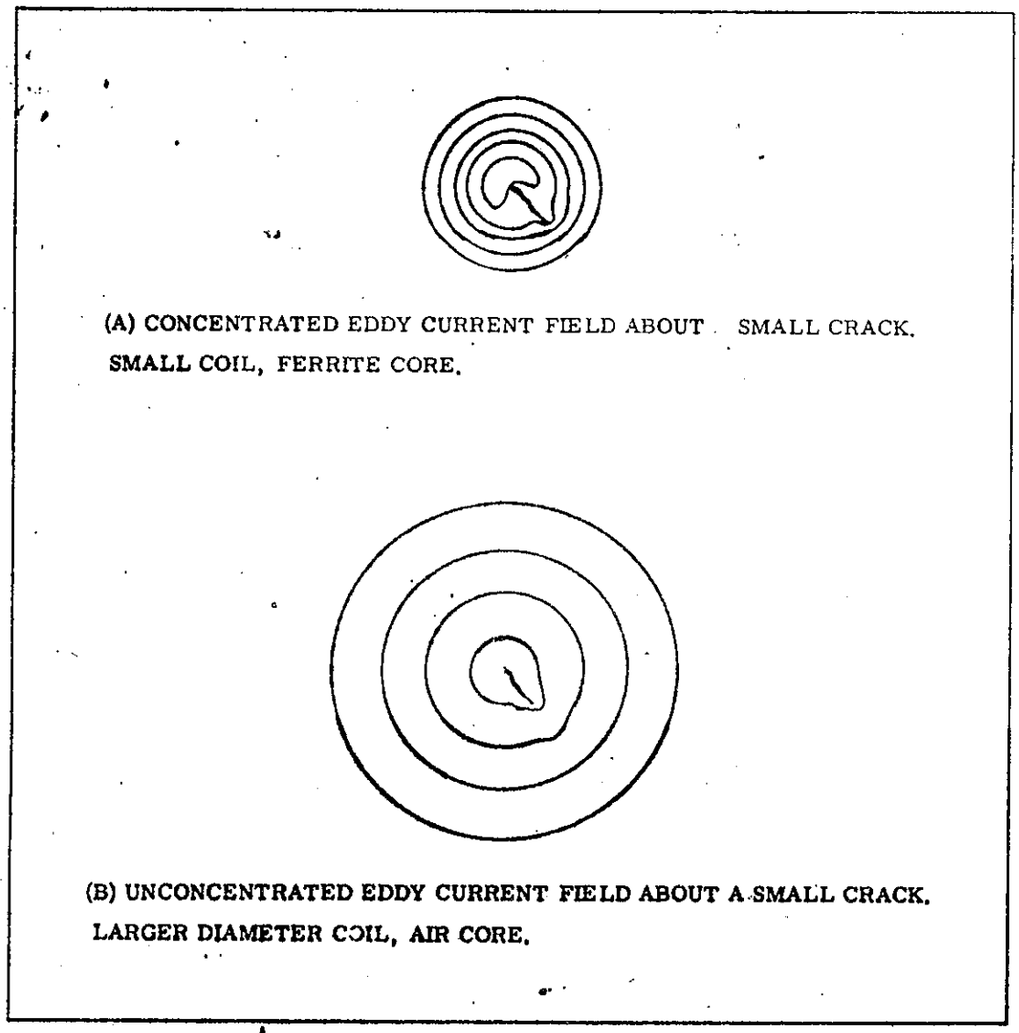
2.4 SURFACE PROXIMITY OR LIFT – OFF ADJUSTMENT (การปรับระยะห่างระหว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงาน) สิ่งสำคัญที่ทำให้ปฏิกริยาโต้กลับจากกระแสไหลวนแปลเปลี่ยนไป ได้แก่ระยะห่าง และมุมระหว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงาน ระยะห่างหรือมุมที่เปลี่ยนแปลงนี้ อาจจะทำให้ปฏิกริยาโต้กลับ จากรอยร้าวหรือสิ่งที่น่าสงสัยถูกละเลยไป การปรับชุดควบคุมที่ประกอบอยู่กับเครื่องมือ (LIFT - OFF COMPENSATION) จะช่วยให้ผลที่เกิดจากระยะห่างระหว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 0.001 " นั้นลดน้อยลงได้

3. PROBE ของเครื่องมือตรวจรอยร้าว EDDY CURRENT ความเที่ยงตรงและแม่นยำเป็นจุดมุ่งหมายของ PROBE ขดลวดภายใน PROBE จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า และเนื่องจากอิทธิพลของเส้นแรงแม่เหล็กนี้เอง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในขดลวด เพื่อให้แน่ใจว่า PROBE มีประสิทธิภาพสูงสุด ที่จะทำให้ภารกิจสำเร็จสมตามความมุ่งหมายของงานเฉพาะอย่าง ๆ ไป ดังนั้น จึงต้องออกแบบให้เหมาะสมตามข้อกำหนดกับงานนั้น ๆ

ในงานตรวจรอยร้าว สนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นจาก PROBE จะต้องมีขนาดเล็กและมีกำลังแรง สนามแม่เหล็กที่เล็กจะให้อัตราส่วนการยุบตัว เนื่องจากรอยร้าวเล็ก ๆ ได้มากกว่า

/สนามแม่เหล็ก.....

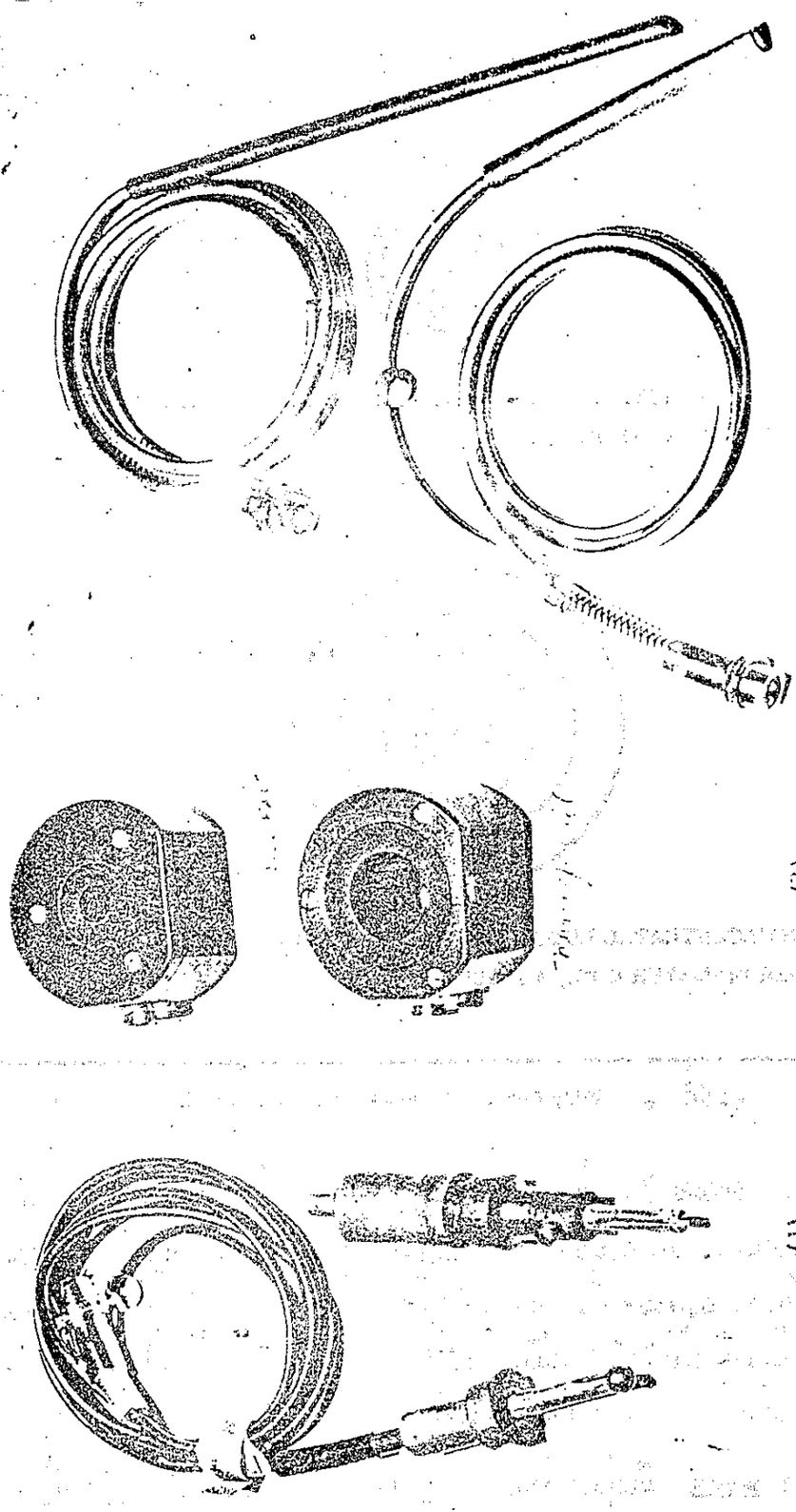
สนามแม่เหล็กที่ใหญ่กว่า ดังรูปที่ 4 แสดงถึงการเสียรูปของสนามแม่เหล็กขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่ เมื่อรอยร้าวเท่า ๆ กัน



รูปที่ ๔ Eddy Current Field About a Small Crack

ขดลวดภายใน PROBE ใช้เส้นลวดขนาดเล็ก ๆ พันรอบอยู่บนแกน (CORE) เล็ก ๆ ลวดที่ใช้เป็นลวดทองแดงขนาด 0.0031 " (AWG NO.40) , และเส้นผ่าศูนย์กลาง CORE มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.050" ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้งานได้ดี การเลือกวัสดุที่ใช้ทำ CORE ให้ถูกต้อง จะทำให้ได้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มสูง แกน CORE ที่นิยมใช้กัน ได้แก่แกน FERRITE ซึ่งเป็นส่วนผสมของเหล็กและออกไซด์

รูปลักษณะของ PROBE มีอยู่หลายแบบ ขึ้นอยู่กับงานและลักษณะการใช้ ดังรูปที่ 5 แสดงถึง BOLT HOLE PROBE (1), THROUGH COIL PROBE (2) และ SURFACE PROBE (3)



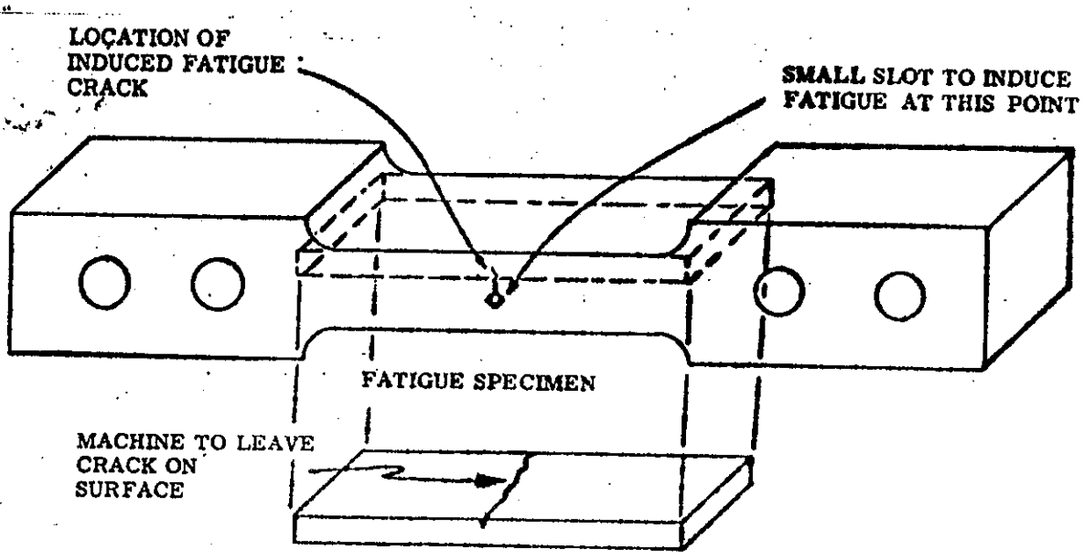
รูปที่ ๕ *Types of Sensing Elements.*

4. ชิ้นมาตรฐาน EDDY CURRENT (EDDY CURRENT CRACK STANDARD)

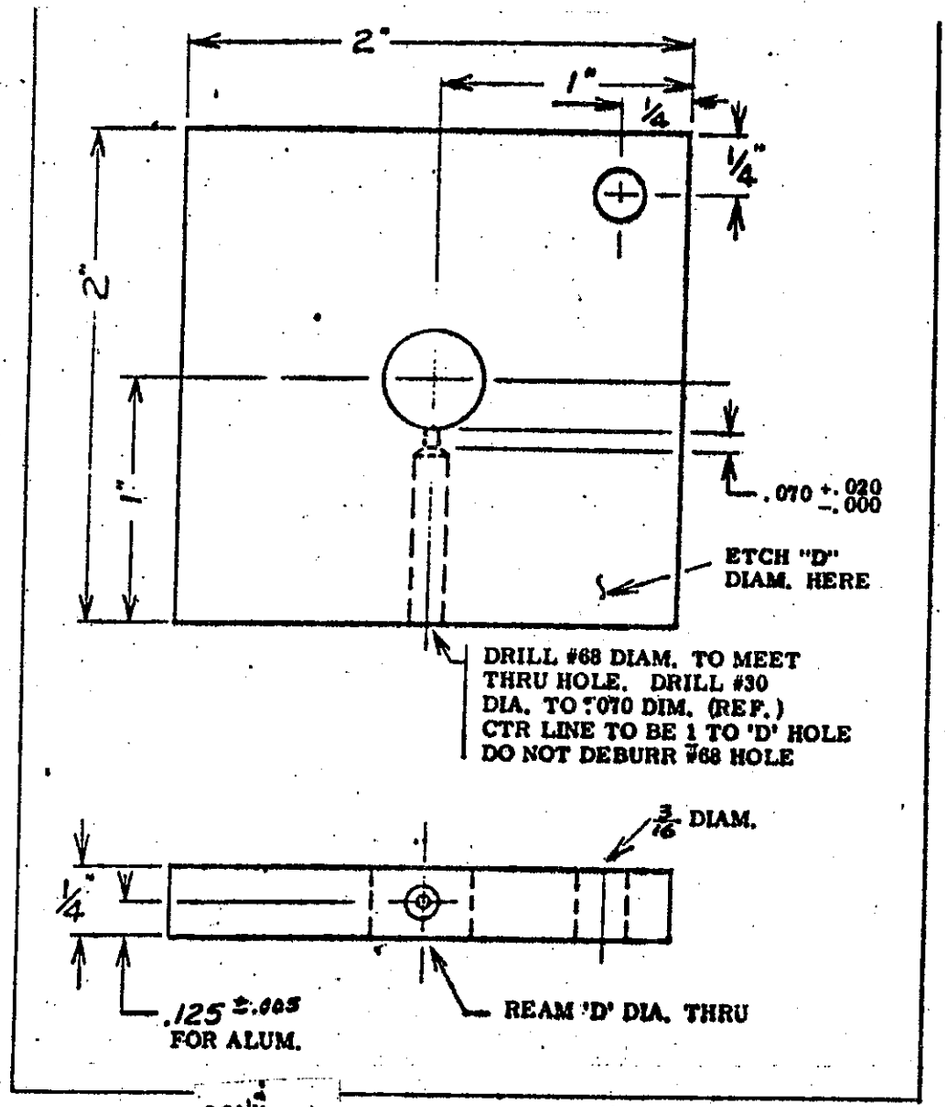
ชิ้นมาตรฐานเป็นชุดประกอบเครื่องมือชิ้นหนึ่งที่มีความสำคัญ เพื่อที่จะให้แน่ใจว่า การปรับเครื่องมือได้ผลแน่นอน และมีความไวเพียงพอในการตรวจหารอยร้าวเล็ก ๆ การปรับเครื่องมือให้ถูกต้องกับชนิดของวัสดุของชิ้นงาน รวมถึงระยะห่างระหว่าง PROBE กับผิวของ

/ชิ้นงานและอื่น ๆ....

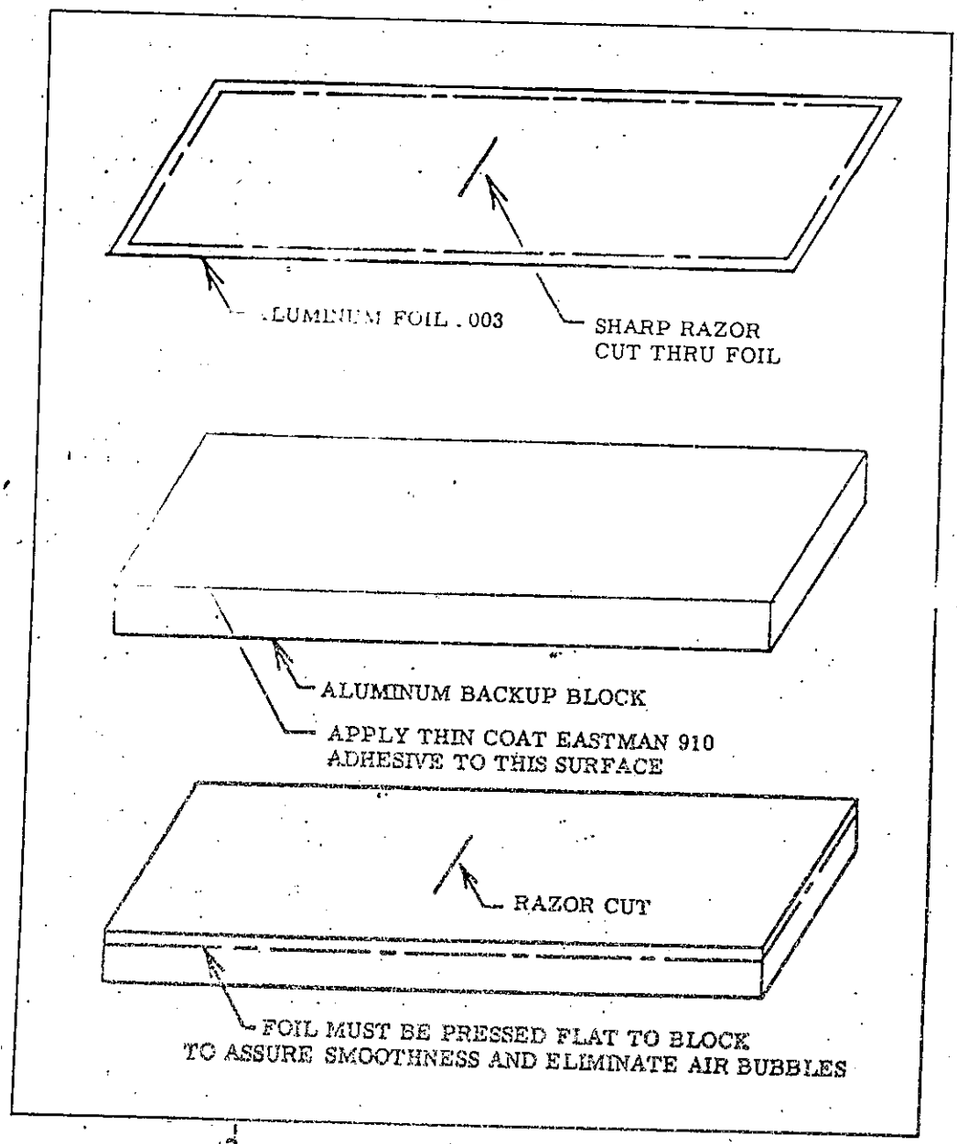
ชิ้นงานและอื่น ๆ ฉะนั้น จึงมีความจำเป็นจะต้องปรับเครื่องมือกับชิ้นมาตรฐานที่เหมาะสม ดังรูป 6 – 8



รูปที่ ๖ Eddy Current Natural Crack Standard Made From Fatigue Crack Induced in the Fatigue Specimen



รูปที่ ๗ Eddy Current Drilled Hole Standard for Hole or Surface Probes



รูปที่ ๔ Artificial Eddy Current Crack Standard

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการตรวจด้วย EDDY CURRENT

มูลฐานเบื้องต้นที่ต้องคำนึงถึงของการตรวจด้วย EDDY CURRENT มีอยู่ ๒ ประการ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับการรบกวน (SIGNAL AND NOISE RATIO) และการเลือกใช้ความถี่ (CHOIST OF TEST FREQUENCY)

การคำนวณที่นำมาใช้ในการตรวจด้วย EDDY CURRENT นี้ ค่อนข้างจะสับสนยุ่งยาก เอกสารอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณและสูตรคำนวณต่าง ๆ ได้แก่ NON DESTRUCTIVE TESTING HAND BOOK

ปัญหาการตรวจอื่น ๆ ไม่สามารถที่จะคำนวณออกมาเป็นตัวเลขได้ ทั้งนี้ เนื่องจากสภาพผิวของชิ้นงานนั้น ๆ กฎต่าง ๆ ที่คล้ายคลึงกันได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจด้วย EDDY CURRENT นี้ เพื่อที่จะให้ความสะดวกสบายในข้อมูลต่าง ๆ ทั้งนี้ โดยการเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทราบลักษณะและสภาพวัสดุดีแล้ว

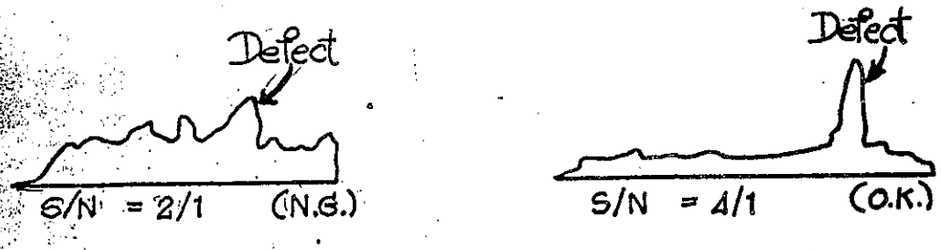
ความสามารถในการตรวจที่จะแยกความแตกต่างของเครื่องหมายที่แสดงถึงรอยที่น่าสงสัยกับรอยที่ไม่น่าสงสัย เป็นสิ่งจำเป็นมากที่จะต้องเกิดความมั่นใจในการตรวจ

1. อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับการรบกวน (SIGNAL AND NOISE RATIO)

ความสำเร็จในการตรวจรอยตำหนิประการหนึ่งอาจขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณและการรบกวน (S/N) ถ้าอัตราส่วน (S/N) ไม่ถูกต้องแล้วอาจจะทำให้เกิดการสับสนและเป็นสาเหตุที่จะต้องจำหน่ายชิ้นงานชิ้นนั้น ๆ ได้

ในอัตราส่วน S/N นั้น สัญญาณเป็นส่วนที่ต้องการ และการรบกวนเป็นส่วนที่ไม่ต้องการ (การรบกวนเกิดขึ้นจากสภาพผิวที่ไม่ดี) นับว่าเป็นการยากที่จะขจัดการรบกวนให้หมดไปได้ โดยเฉพาะในขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า PEMEABILITY ของวัสดุประเภท FERROUS

ในอัตราส่วน S/N อย่างน้อยจะต้องประมาณ 3/1 หรือมากกว่า (สัญญาณ 3 ส่วน และการรบกวน 1 ส่วน) จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะทำการตรวจ ดังรูป 9



รูปที่ ๙ Signal/Noise Ratio

ในการพิสูจน์ทราบว่าS/N ดีหรือไม่นั้น กระทำได้ดังนี้ เคลื่อน PROBE ที่ใช้ในการตรวจไปมาบนผิวของชิ้นงานหรือชิ้นทดลอง โดยใช้ความเร็วกว่าปกติ และสังเกตุดูการเปลี่ยนแปลงของเข็มเครื่องวัด ถ้าเข็มเครื่องวัดกระดิกเพียงเล็กน้อย หรือไม่กระดิกเลย แสดงถึงอัตราส่วน S/N อยู่ในเกณฑ์ดี

เทคนิคในการทำให้อัตราส่วน S/N ดีขึ้น การที่จะทำให้อัตราส่วนของ S/N ดีขึ้นในการตรวจด้วย EDDY CURRENT นั้น อย่างหนึ่งได้แก่ การชดเชยผลกระทบกระเทือนที่เกิดจากระยะทางระหว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงาน ซึ่งเรียกกันว่า LIFT - OFF การปรับเครื่องวัดจะช่วยลดผลกระทบกระเทือน และการปรับอย่างถูกต้องจึงมีความสำคัญที่สุดต่อผลการตรวจ เมื่อขณะเดิน PROBE ไปบนผิวของชิ้นงาน ระยะ LIFT - OFF จะต้องคงที่ตลอดการตรวจ ระยะว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงานสามารถที่จะปรับหรือชดเชยได้ด้วย LIFT - OFF แต่มุมของ PROBE ของอุปกรณ์เดิม ลักษณะนี้ควรใช้ชิ้นพลาสติก "SHOES" ประกอบเข้า PROBE จึงอาจลดความแตกต่างระหว่างมุมลงได้ ปกติการชดเชยระยะ LIFT - OFF ไม่เกิน 0.013" โดยประมาณสำหรับวัสดุประเภท NON - FERROUS

การเลือกใช้ [illegible] OPTIMUM FREQUENCY จะช่วยทำให้อัตราส่วนดีขึ้น การใช้ความถี่ที่ดีที่สุดที่สามารถทำได้ และผลกระทบกระเทือนจากสภาพผิว SKIN EFFECT ไม่มากนัก จะทำให้ความไวในการตรวจหารอยตำหนิได้ดีขึ้น (GOOD SENSITIVITY)

การขจัดสิ่งรบกวนต่าง ๆ เช่น การไม่คงที่ของกระแสไฟ การสั่นสะเทือน และอื่น ๆ ก็จะทำให้อัตราส่วน S/N ดีขึ้นได้เช่นกัน

" DOUBLE SORT " (คือการใช้การตรวจ NDI วิธีอื่น ๆ มาช่วย) ก็สามารถทำให้การวิเคราะห์หาสิ่งบอกเหตุอื่น ๆ เพิ่มเติมขึ้นได้

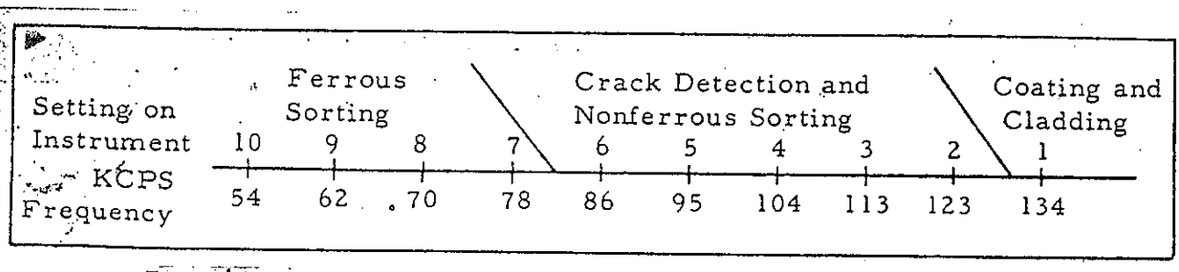
"เทคนิคพิเศษ" สำหรับวัสดุประเภท FERROMAGNETIC อาจทำ MAGNETIZATION หรือ DEMAGNETIZATION ก่อนทำการตรวจ ทั้งนี้ เพื่อลดผลที่จะกระทบกระเทือนจาก PERMEABILITY กระแสไฟตกค้างก็ต้องขจัดออกเช่นกัน เพื่อคุณสมบัติทาง PERMEABILITY ส่วนชิ้นงานที่ผ่าน COLD WORK หรือทำให้เกิด STREES ขึ้นภายในเนื้อวัสดุ จะไม่มีผลต่อความต้านทานภายใน COIL ของ EDDY CURRENT และก็ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการรบกวนเช่นกัน

2. การเลือกใช้ความถี่ (CHOICE OF TEST FREQUENCY)

ความถี่ที่เหมาะสมที่สุด ที่จะเลือกใช้ในการตรวจแต่ละครั้ง จะหาได้โดยการทดลองหรือทางทฤษฎี ถ้าความถี่สูงขึ้นจะทำให้ SKIN EFFECT ลดลง (SKIN EFFECT ได้แก่ความลึกที่ EDDY CURRENT ผ่านลงไปใต้ผิว) แต่จะเพิ่มความไวในการตรวจพบรอยตำหนิเล็ก ๆ

/ได้ดี.....

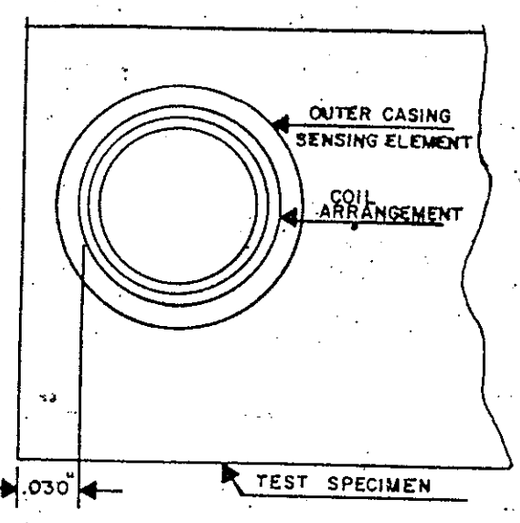
ได้ดี ดูรูป 10 แสดงถึงช่วงความถี่โดยประมาณที่ใช้ในการตรวจทั่วไป



รูปที่ ๑๐ *Spectrum of Electromagnetic Test Frequencies.*

ความลึกที่ EDDY CURRENT ทะลุทะลวงผ่านลงไป (SKIN EFFECT) ได้แก่ระยะที่วัดเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจาก PROBE ผ่านผิวของชิ้นงานลงไป ปกติระยะดังกล่าวจะอยู่ประมาณ 36.8 % ของวง COIL ใน PROBE ความลึกที่มากไปกว่านี้จะไม่สามารถตรวจหารอยตำหนิได้ หรือในกรณีที่จะวิเคราะห์หรือวัดความหนาที่ความลึกเกิน 36.8 % ของวง COIL ก็จะไม่ได้ผลเช่นกัน เมื่อจะทำการตรวจสอบค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า ความหนาของวัสดุที่นำมาตรวจจะต้องไม่น้อยกว่า 2 – 3 เท่าของความลึกของ EDDY CURRENT ที่ผ่านลงไป ทั้งนี้เพื่อป้องกันการอ่านค่าผิดพลาด

ความลึกโดยประมาณที่ EDDY CURRENT ทะลุผ่านลงไป จะสามารถหาได้โดยเคลื่อน PROBE ไปยังขอบของชิ้นงานหรือชิ้นที่นำมาทดลอง แล้วสังเกตุดูการเปลี่ยนแปลงของเข็มเครื่องวัด เมื่อมันเริ่มเปลี่ยนไปให้วัดระยะทางจากขอบของวง COIL ถึงขอบของชิ้นงาน ระยะนี้เป็นระยะที่ใกล้เคียงกับความลึกที่มันสามารถทะลุทะลวงผ่านลงไป ดูรูป 11



รูปที่ ๑๑ *Effective Depth of Eddy Current Penetration.*

ED - 520 FLAW DETECTOR

ชุดเครื่องมือ EDDY CURRENT, MODEL ED-520 เป็นแบบกระเป๋าหิ้ว มีน้ำหนักเบา ใช้ตรวจหารอยแตกร้าวหรือรอยตำหนิของชิ้นส่วน และโครงสร้างอากาศยาน

เครื่องมือนี้ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลท์ หรือ 220 โวลท์ หรือจากแบตเตอรี่ 6 โวลท์ ที่สามารถประจุไฟได้ มีหูหิ้วยึดติดกับตัวเรือน และยังมีหูสำหรับใช้สายสะพายตัวเรือนเครื่องมือ ใช้วัสดุที่คงทนต่อสภาพอากาศ และมีช่องว่างภายในพอสำหรับใส่ PROBE สายไฟ และอุปกรณ์อื่น ๆ

ข้อกำหนดและส่วนประกอบของ ED - 520

1. ข้อกำหนด (SPECIFICATION)

ก. FREQUENCY RANGE 55 - 200 KH_3

ข. ย่านอุณภูมิใช้งาน (OPERATING TEMPETATURE RANGE) 0 - 120 $^{\circ}$F

ค. ย่านการตรวจ ตรวจหารอยตำหนิใน NON MAGNETIC MATERIALS รวมถึงอลูมิเนียม, แมกนีเซียม และติตาเนียม

ง. การเปลี่ยนแปลงความหนา ไม่ต้องทำการปรับเครื่องใหม่เมื่อนำไปตรวจกับอลูมินัมที่มีความหนาเปลี่ยนแปลง ซึ่งความหนาเดิม 0.04 " หรือมากกว่า

จ. แหล่งพลัง ใช้ 115 VAC, 50/60 HZ และแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลท์ 2 ก้อน ติดตั้งอยู่ในเครื่อง และสามารถประจุไฟใหม่ได้

ฉ. ที่ประจุแบตเตอรี่ (BATT. CHARGER) เป็นหม้อแปลงไฟที่ประกอบอยู่ในเครื่อง

ช. ชนิดของแบตเตอรี่ EVEREADY N.67 หรือ BERGESS CD 30

2. ส่วนประกอบและอุปกรณ์

ก. PROBE ชนิด GENERAL PURPOSE, PENCIL TYPE

ข. สายไฟ เป็นสายชนิดสามเส้น ยาว 8 ฟุต

ค. ALUMINUM TEST BLOCK มี 2 แบบ.-

1. ขนาด $2\frac{1}{2}" \times 1\frac{1}{4}" \times \frac{1}{4}"$ ทำเป็นร่องขนาด 0.006 " ลึก 0.015"
2. ขนาด $3\frac{1}{8}" \times 1\frac{3}{8}" \times \frac{5}{16}"$ ประกอบด้วยร่องขนาด 0.006" 3 ร่อง มีความลึก 0.008", 0.020" และ 0.040"

ลักษณะและรูปร่างของ ED - 520

ปุ่มปรับและขั้วต่อสายทั้งหมดของ ED - 520 อยู่บนหน้าปัทม์ และรายละเอียดดังต่อไปนี้แสดงถึงปุ่มปรับต่าง ๆ แต่ละตัวไป

/1. .....

1. LIFT OFF/FREQ CONTROL เป็นปุ่มปรับหมุนได้ 10 รอบ มีสเกลแบ่ง และมีก้านสำหรับล็อกกันเคลื่อน สามารถหมุนปรับความถี่ 55 - 200 KH_3ตามต้องการ เพื่อให้เหมาะสมกับ LIFT OFF ADJUST ด้วย

2. BALANCE CONTROL เป็นปุ่มปรับหมุนได้ 10 รอบ มีสเกลแบ่ง และมีก้านล็อกกันเคลื่อน ทำหน้าที่ปรับให้เข็มเครื่องวัดขึ้นบนหน้าปัทม์

3. FUNCTION SWITCH เป็นปุ่มบิก 6 ตำแหน่ง ได้แก่ OFF, TEST, LO MED, HI และ CHG ในตำแหน่ง TEST เข็มเครื่องวัดจะแสดงถึงสถานะภาพของแบตเตอรี่ ตำแหน่ง LO,MED และ HI สำหรับเลือก SENSITIVITY แต่ละตำแหน่งจะมีSENSITIVITY ต่างกันประมาณ 2 หน่วย

4. SENSITIVITY INCREASE CONTROL เป็นสูตรปรับ หมุนตามเข็มนาฬิกาสุดจะได้ความไวสูงสุด

5. PROBE RECEPTACLES ประกอบด้วยหัวเสียบ 2 ตัว เป็นแบบหัวเสียบตัวเมีย 2 ขา (TWO PIN MICROPHONE)) และแบบ BNC CONNECTOR

6. CHARGING LAMP. จะแสดงถึงการใช้ไฟมาประจุแบตเตอรี่ ไฟชาร์ดจะติดเมื่อ FUNCTION SWITCH อยู่ในตำแหน่ง CHG, LOW, MED และ HI และในขณะนั้นก็จะทำหน้าที่ประจุแบตเตอรี่

7. METER เป็นหน้าปัทม์สี่เหลี่ยม ขนาด 3 $\frac{1}{2}$" มีสเกลแบ่งจาก 0 - 500 MICRO AMPERE การเบี่ยงเบนเข็มเครื่องวัดจะแสดงถึงคุณสมบัติทางโลหะที่นำมาตรวจทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการตั้งหรือปรับ FUNCTION SWITCH และการเพิ่ม SENSITIVITY และยังแสดงถึงสถานภาพของแบตเตอรี่ด้วย

<u>การใช้งาน</u> (OPERATION)

ก่อนที่จะนำเครื่องมือ EDDY CURRENT, ED - 520 ไปใช้งาน จะต้องปิดปุ่ม FUNCTION SWITCH มาที่ TEST เข็มเครื่องวัดจะต้องชี้เหนือขีดสีแดงบนหน้าปัทม์ ถ้าเข็มต่ำกว่าขีดแดง แสดงว่าต้องทำการประจุแบตเตอรี่ใหม่ (การประจุใช้เวลา 16 ชั่วโมงสูงสุด) แบตเตอรี่ที่ประจุไฟเต็มแล้วเข็มเครื่องวัดจะชี้เกินขีดแดงและนิ่ง หรือจะอยู่ในตำแหน่งประมาณ 450 บนสเกลเครื่องวัด เพื่อความแน่นอนและเที่ยงตรง ไม่ควรนำมาใช้ตรวจเมื่อเข็มเครื่องวัดต่ำกว่าขีดแดง หรือเข็มกระดิกตลอดเวลา เมื่อ FUNCTION SWITCH อยู่ในตำแหน่ง TEST

/วิธีการปฏิบัติ.....

วิธีการปฏิบัติดังขั้นตอนดังต่อไปนี้.-

1. ต่อ PROBE หรือ TEST COIL เข้ากับหัวต่อข้างหนึ่งข้างใดของเครื่องมือตามแต่ชนิดของหัวตอนั้น ๆ

2. หมุน FUNCTION SW. (SELECTOR SW.) มาตำแหน่ง LO,MED หรือ HI. ตามต้องการ

3. ในขั้นแรกอาจปรับ FUNCTION SW. มาตำแหน่งLO ก่อน เพื่อเลือกหา FREQUENCY ที่เหมาะสม เมื่อได้ FREQUENCY ได้แล้วจึงปรับ SELECTOR SW. ไปยังตำแหน่งสูงต่อไป

4. หมุน LIFT OFF/FREQ. และปุ่ม BALANCE มายัง 0 (ทวนเข็มนาฬิกาสุด)

5. สัมผัส PROBE กับผิวของชิ้นงานที่จะตรวจ และหมุน BALANCE ให้เข็มเครื่องวัดขึ้นบนสเกล

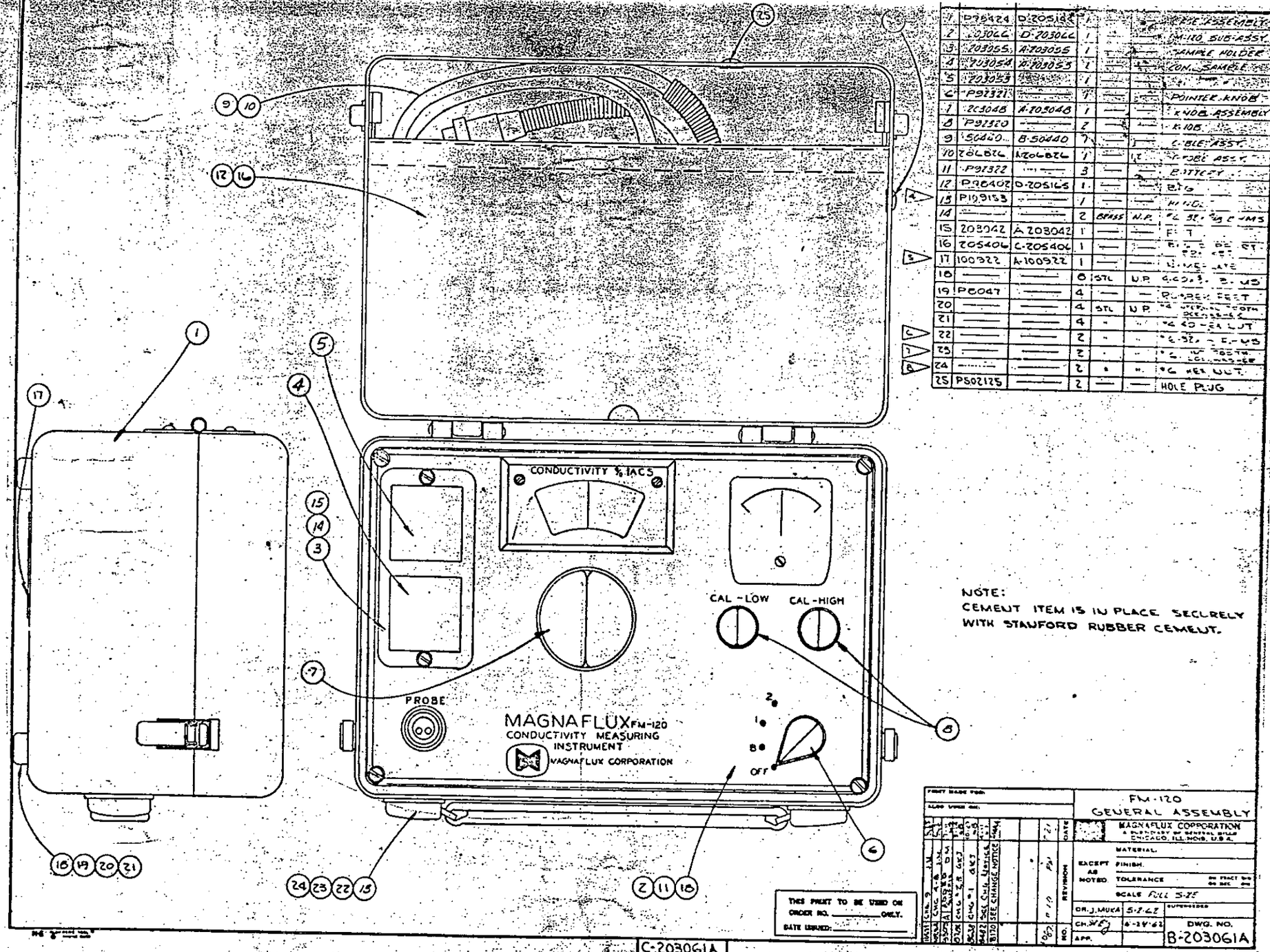
6. ถ้าในขั้นตอนที่ 5 ไม่สามารถนำเข็มขึ้นบนสเกลได้ ให้ปรับ BALANCE มายัง 0 ตามเดิม แล้วหมุนปรับ LIFT OFF/FREQ. มายังตำแหน่งที่สูงกว่า คือประมาณ 200 ขีด บนปุ่มปรับ แล้วทำขั้นตอนที่ 5 ซ้ำ ให้เข็มเครื่องวัดขึ้นสเกล

7. ใช้แผ่นกระดาษขาว (กระดาษบันทึกข้อความ) ขั้นระหว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงาน สังเกตุดูความเปลี่ยนแปลงของเข็มเครื่องวัด แล้วปรับ LIFT OFF/FREQ. ให้เข็มอยู่กึ่งกลางสเกล และเมื่อเอากระดาษออกในขณะที่ PROBE ยังคงแตะบนผิวของชิ้นงานตามเดิม สังเกตุเข็มเครื่องวัด แล้วปรับ BALANCE ให้เข็มขึ้นกึ่งกลางสเกล กระทำจนกระทั่งเข็มเครื่องวัดอยู่ในตำแหน่งเดิม เมื่อมีกระดาษขั้นกับมีกระดาษขั้นระหว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงาน และขณะนั้นเครื่องมือพร้อมที่จะนำไปใช้งานได้ต่อไป

การปรับเครื่องมือ ED - 520 ดังได้กล่าวมาแล้วข้างบนนี้ เป็นการปรับเพื่อชดเชยระหว่าง PROBE กับผิวของชิ้นงาน (เรียกว่า LIFT - OFF หรือ INTERMEDIATE LAYER COMPERSATION) ซึ่งปกติจะเหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีสภาพผิวธรรมดา นอกจากนี้ในชิ้นงานที่มีผิวเรียบมาก ๆ การปรับด้วยวิธีนี้ยังใช้ตรวจเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีสายการผลิตเดียวกัน (เปรียบเทียบความเหมือน) ได้ดีอีกด้วย

การปรับ LIFT OFF COMPENSATION นี้สามารถหมุนปุ่มปรับ LIFT OFF/FREQ. ได้มากกว่าหนึ่งตำแหน่ง สำหรับการปรับเพื่อให้ได้ SENSITIVITY ที่ดีที่สุดนั้น จะต้องหมุนปุ่มปรับ LIFT OFF/FREQ. ให้น้อย (ตัวเลขต่ำ)

ในการปรับ LIFT OFF COMPENSATION เพื่อตรวจหารอยร้าว หรือการแยกตัวกับชิ้นงานประเภท NON - MAGNETIC นั้น เข็มเครื่องวัดจะตีลงมาทาง 0 และจะตีขึ้น (ตามเข็มนาฬิกา) กับชิ้นงานประเภท FERRO MAGNETIC



1	P99424	D-205168	1			FM-120 ASSEMBLY
2	203066	D-203066	1			FM-120 SUB-ASSY
3	203055	A-203055	1			SAMPLE HOLDER
4	203054	A-203053	1			CON. SAMPLE
5	203053		1			
6	P97321		1			POINTER KNOB
7	203048	A-203048	1			KNOB ASSEMBLY
8	P97320		2			KNOB
9	50440	B-50440	1			CABLE ASST.
10	206826	A-206826	1			PROBE ASST.
11	P97322		3			FITTING
12	P96402	D-205165	1			BASE
13	P109153		1			HINGE
14			2	BRASS	N.P.	6-32 x 3/8 C'SINK
15	203042	A-203042	1			FOOT
16	205406	C-205406	1			PANEL DECAL
17	100322	A-100322	1			NAMEPLATE
18			8	STL	U.P.	6-32 x 3/8 F.H.S.
19	P6047		4			RUBBER FOOT
20			4	STL	U.P.	#6 LOCKWASHER
21			4	"	"	#6-40 HEX NUT
22			2	"	"	6-32 x 5/8 F.H.S.
23			2	"	"	#6 LOCKWASHER
24			2	"	"	#6 HEX NUT
25	PS02125		2			HOLE PLUG

NOTE:
CEMENT ITEM 15 IN PLACE SECURELY WITH STAUFFER RUBBER CEMENT.

THIS PRINT TO BE USED ON ORDER NO. _____ ONLY.
DATE ISSUED: _____

FM-120
GENERAL ASSEMBLY

MAGNAFLUX CORPORATION
A DIVISION OF SPERTRY RAND
CHICAGO, ILL. U.S.A.

MATERIAL
EXCEPT AS NOTED: FINISH, TOLERANCE
SCALE FULL 5-25
DR. J. MUKA 5-7-62 SUPERSEDED
CH. WG 6-29-62
APP.
DWG. NO. B-203061A

C-203061A

ALSO SEE SIZE "C" DWG.

506

การวัดค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า

(CONDUCTIVITY MEASUREMENT)

สิ่ง ๆ หนึ่งที่มีผลทำให้ EDDY CURRENT เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ความเป็นตัวนำไฟฟ้าของชิ้นงาน สำหรับวัสดุที่เป็น NON- FERRO MAGNETIC เช่น อลูมินั่ม ทองเหลือง ทองแดง และติตาเนียม ฯลฯ คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้สามารถตรวจหาได้อย่างแน่นอน (แต่ไม่เที่ยงตรง) แมนยำโดยการวัดค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น สภาพการอบชุบ การทำ COLD WORK กับชิ้นอลูมินั่มหรือติตาเนียม และค่าความเป็นตัวนำความร้อนของทองแดง เป็นต้น สามารถที่ตรวจหาหรือแยกประเภทโลหะผสมที่แตกต่างกันได้อย่างรวดเร็ว โดยการเปรียบเทียบค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าของมัน

ในการนำเครื่องมือ EDDY CURRENT CONDUCTIVITY METER มาใช้งานด้านการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนอากาศยานและชิ้นงานนั้น ได้แก่ การตรวจ HEAT DAMAGE กับผิวบุและโครงสร้างที่ทำจาก NON - FERRO MAGNETIC โดยวัดสภาพการอบชุบที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และทำการเปลี่ยนชิ้นที่พบว่าชำรุดนั้นใหม่

ชุดเครื่องมือ EDDY CURRENT ที่ให้ความสัมพันธ์ในการวัดความแตกต่างระหว่างความเป็นตัวนำไฟฟ้า ในลักษณะของเครื่องวัดค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า CONDUCTIVITY METER (โดยใช้หลักการของ EDDY CURRENT) ซึ่งสามารถที่จะปรับให้อ่านค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าเป็นเปอร์เซนต์ IACS. (INTERNATIONAL ANNEALED CUPPER STANDARD AT 20°C) เมื่อปรับเครื่องให้ถูกต้องแล้ว เครื่องมือชนิดนี้จะคลาดเคลื่อนเพียง 3 % เท่านั้น

FM - 120 CONDUCTIVITY METER

FM - 120 เป็นเครื่องมือทาง EDDY CURRENT โดยใช้ปรากฏการณ์ของแม่เหล็กไฟฟ้ามาทำให้เกิดกระแสไหลวน (EDDY CURRENT) และนำมาใช้ตรวจวัดความเป็นตัวนำไฟฟ้าของโลหะ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

PROBE ที่นำมาใช้ต่อเข้ากับ FM - 120 นี้จะได้รับกระแสไฟสลับ 60 KH_3 ที่ผลิตขึ้นจากวงจรภายในเครื่อง และจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นบนชิ้นงานที่จะตรวจวัด กระแสที่เกิดขึ้นนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเป็นตัวนำไฟฟ้า และมีปฏิกริยาโต้กลับไปยัง PROBE แล้วผ่านชุด AMPLIFIED แสดงออกมาให้เห็นบนเครื่องวัด(METER) เมื่อปฏิกริยาโต้กลับที่แสดงออกมาทางเครื่องวัดนี้ ถูกปรับให้อยู่ในสภาพสมดุลย์อย่างถูกต้องแล้ว เข็มจะชี้ที่ O I (กึ่งกลางสเกล) ก็จะสามารถอ่านค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าได้โดยตรงบนหน้าปัทม์

ย่านค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าของเครื่องมือชนิดนี้จะอยู่ระหว่าง 8 - 107 % IACS
ความเที่ยงตรง = 3 %

FM-120 Being Calibrated,

Meter Deflection with Conductivity Knob Random by Set.

FM - 120 ใช้กำลังไฟจากแบตเตอรี่ 1 $\frac{1}{2}$ โวลท์ ขนาด "ซี" มีชั่วโมงการใช้งาน 300 ชั่วโมง เมื่อใช้งานวันละ 7 ชั่วโมง

สิ่งที่ทำหน้าที่ควบคุมบนเครื่องมือ CONDUCTIVITY METER, FM - 120 ประกอบด้วย 4 อย่างด้วยกัน

1. ZERO - CENTERED METER
2. CONDUCTIVITY DIAL
3. TWO CALIBRATION CONTROLS (CAL - HIGH; CAL LOW)
4. TWO CALIBRATION SAMPLE

<u>การใช้งาน</u>

ก่อนที่จะนำเครื่องมือ FM - 120 ไปใช้งานจะต้องทำการปรับให้ได้มาตรฐานก่อน ถ้าในกรณีที่ใช้งานเป็นระยะเวลานาน ๆ การปรับ ฯ จะต้องกระทำเป็นระยะ ๆ โดยใช้ชิ้นมาตรฐานที่มีอยู่กับตัวเครื่องชุด ๆ นั้น

<u>การปรับเครื่องก่อนที่จะนำไปใช้งานกระทำได้ดังนี้</u>.-

1. สวิชอยู่ในตำแหน่ง OFF ให้สังเกตดูเข็มเครื่องวัด ถ้าไม่อยู่ในตำแหน่ง 0 (กึ่งกลางสเกล) ให้ใช้ไขควงเล็ก ๆ หมุนปรับสกรูที่อยู่ข้างล่างของ METER โดยตรง จนเข็มอยู่ในตำแหน่ง 0

2. หมุนปุ่มสวิชมายังตำแหน่ง B (ไม่จำเป็นต้อง WARM UP เครื่อง) ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่ง BATT TEST ถ้าเข็มเครื่องวัดอยู่ในแถบดำ แสดงว่าสภาพของแบตเตอรี่ใช้ได้ ถ้าไม่ถึงแถบดำจะต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่

3. หมุนสวิชมาตำแหน่ง 1 เป็นตำแหน่งที่มีความไว SENSITIVITY ต่ำกว่า ในตำแหน่งนี้ใช้วัดค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าโดยประมาณ และใช้เป็นตำแหน่งปรับเครื่องโดยประมาณ

4. การปรับเครื่องด้านค่าสูง (CALIBRATION AT HIGH - END OF DIAL)

4.1 หมุนปุ่มสเกลบนหน้าปัทม์ของเครื่อง ให้ขีดสีแดงบนสเกลด้านค่าสูงตรงกับขีดนี้ที่หน้าปัทม์

4.2 สัมผัส PROBE กับชิ้นมาตรฐาน (ประกอบอยู่ด้านซ้ายของตัวเรือน) ด้าน HIGH CONDUCTIVITY ให้กระชับและแนบสนิท

4.3 หมุนปุ่ม CAL - HIGH ให้เข็มเครื่องวัดอ่านที่ 0

/5. การปรับ.....

5. การปรับด้านค่าต่ำ (CALIBRATION AT LOW - END OF DIAL)

5.1 หมุนปุ่มสเกลบนหน้าปัทมของเครื่อง ให้ขีดแดงบนเสกลด้านต่ำตรงกับขีดที่หน้าปัทม

5.2 สัมผัส PROBE กับชิ้นมาตรฐาน ด้าน LOW CONDUCTIVITY ให้กระชับและแนบสนิท

5.3 หมุนปุ่ม CAL - LOW ให้เข็มเครื่องวัดอ่านที่ 0

6. ปรับในขั้นที่ 4 และ 5 จนเข็มเครื่องวัดชี้ที่ 0 ทั้งด้าน และ

7. หมุนสวิชมายังตำแหน่ง 2 (HIGH SENSITIVITY) แล้วปรับขั้นที่ 4 และ 5 อีกครั้ง เป็นการปรับครั้งสุดท้าย และขณะนี้เครื่องมือพร้อมที่จะใช้งานได้ต่อไป

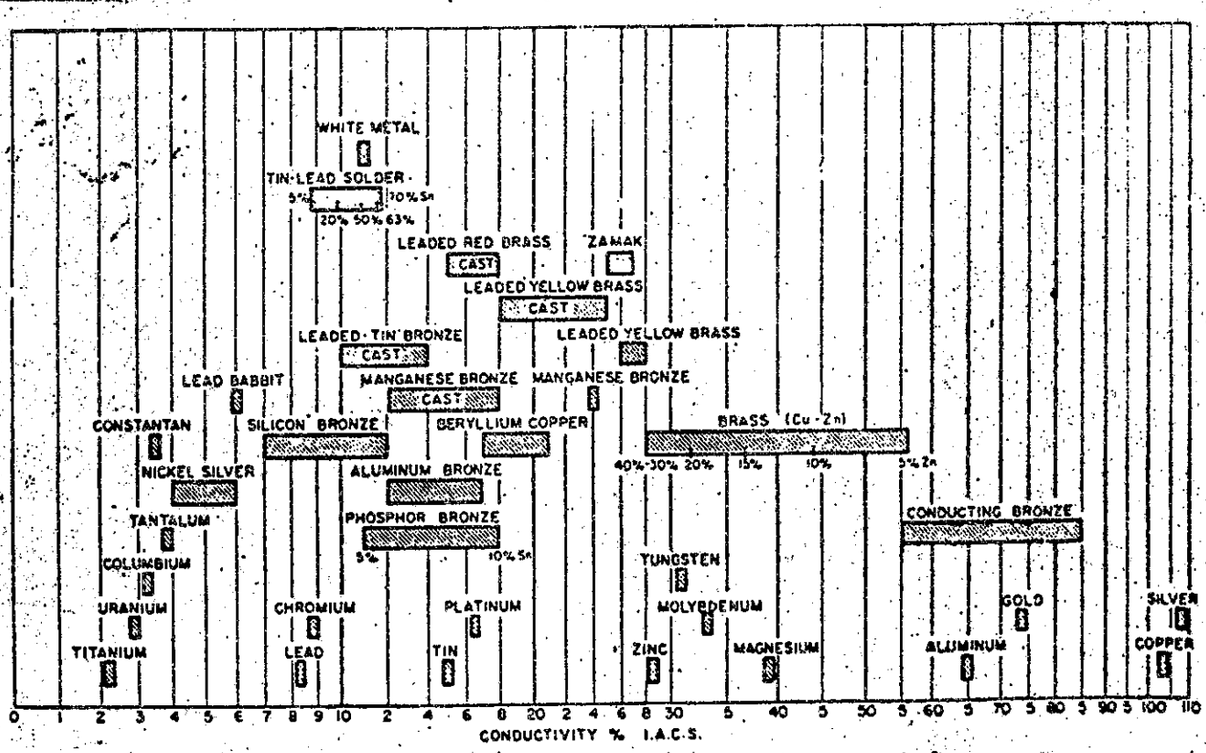
หมายเหตุ ถ้าจะปรับข้ามขั้นมายังขั้นตอนที่ 7 เลยก็ได้ โดยให้ขั้นที่ 7 ไปแทนขั้นที่ 3 แล้วกระทำตามขั้นตอน 4, 5 และ 6 ต่อไป

ในการใช้เครื่องวัด CONDUCTIVITY METER อาจปฏิบัติได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ

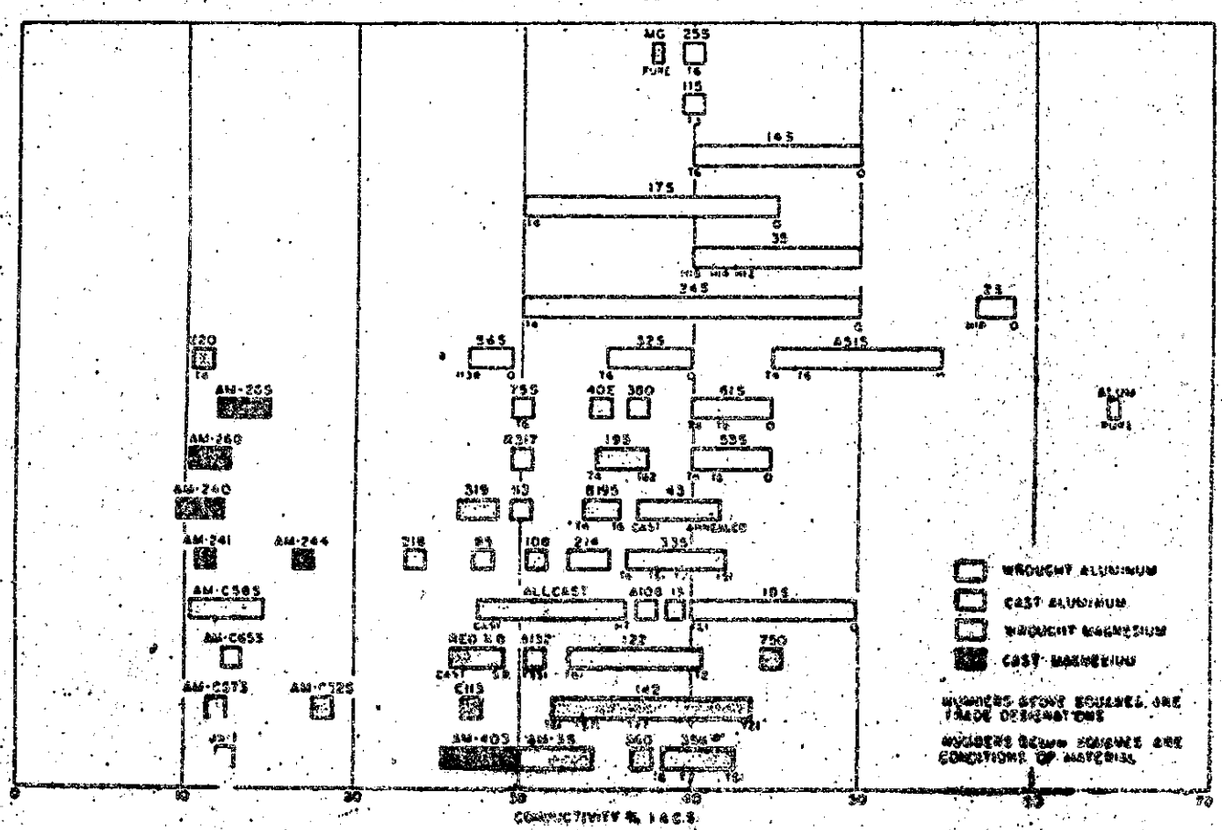
1. ABSOLUTE MEASUREMENT เมื่อต้องการหาค่า CONDUCTIVITY ที่แน่นอน (ABSOLUTE) ให้แตะสัมผัส PROBE เข้ากับชิ้นงานบริเวณที่มีผิวเรียบ และมีพื้นที่สัมผัสพอควร จากนั้นหมุนปุ่มหน้าปัทมจนกระทั่งเข็มเครื่องวัดชี้ที่ 0 ก็สามารถอ่านค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า (ELECTRIC CONDUCTIVITY) ได้โดยตรงที่หน้าปัทม ค่าที่อ่านจะตรงกับเส้นขีด HAIR LINE บนหน้าปัทม

2. RELATIVE MEASUREMENT ในบางกรณีการตรวจแบบอ่านค่าที่แน่นอนไม่มีความจำเป็นนัก เช่น ในการแยกประเภทวัสดุ หรือการทดสอบความแข็ง เหล่านี้ ส่วนมากมักจะต้องการที่จะทราบว่า ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้ามากหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ หรืออยู่ระหว่างค่าที่กำหนดไว้หรือไม่เท่านั้น ดังนั้น การปรับเครื่องให้เข็มชี้ที่ 0 ตลอดเวลากับชิ้นงานจำนวนมาก ๆ นั้น จึงสิ้นเปลืองเวลามาก ในกรณีเช่นนี้ให้เลือกชิ้นตัวอย่างที่มีค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าอย่างต่ำและสูง อย่างละ 1 ชิ้น แล้วปรับเครื่องวัดกับชิ้นตัวอย่างทั้งสองนี้ จนเข็มเครื่องวัดเบี่ยงเบนไปทางบวกและลบเท่า ๆ กัน และให้สังเกตุดูการเบี่ยงเบนเข็มเครื่องวัดว่าอยู่ตรงเสกอะไรทั้งสองค่า และเมื่อปิดสวิชมายังตำแหน่ง 2 (ซึ่งมีความไวกว่า) สังเกตุดูว่า เข็มเครื่องวัดจะเบี่ยงเบนไปมากกว่าที่ตำแหน่ง 1 ในขณะนี้เครื่องมือพร้อมที่จะใช้ทดสอบชิ้นงานได้ต่อไป

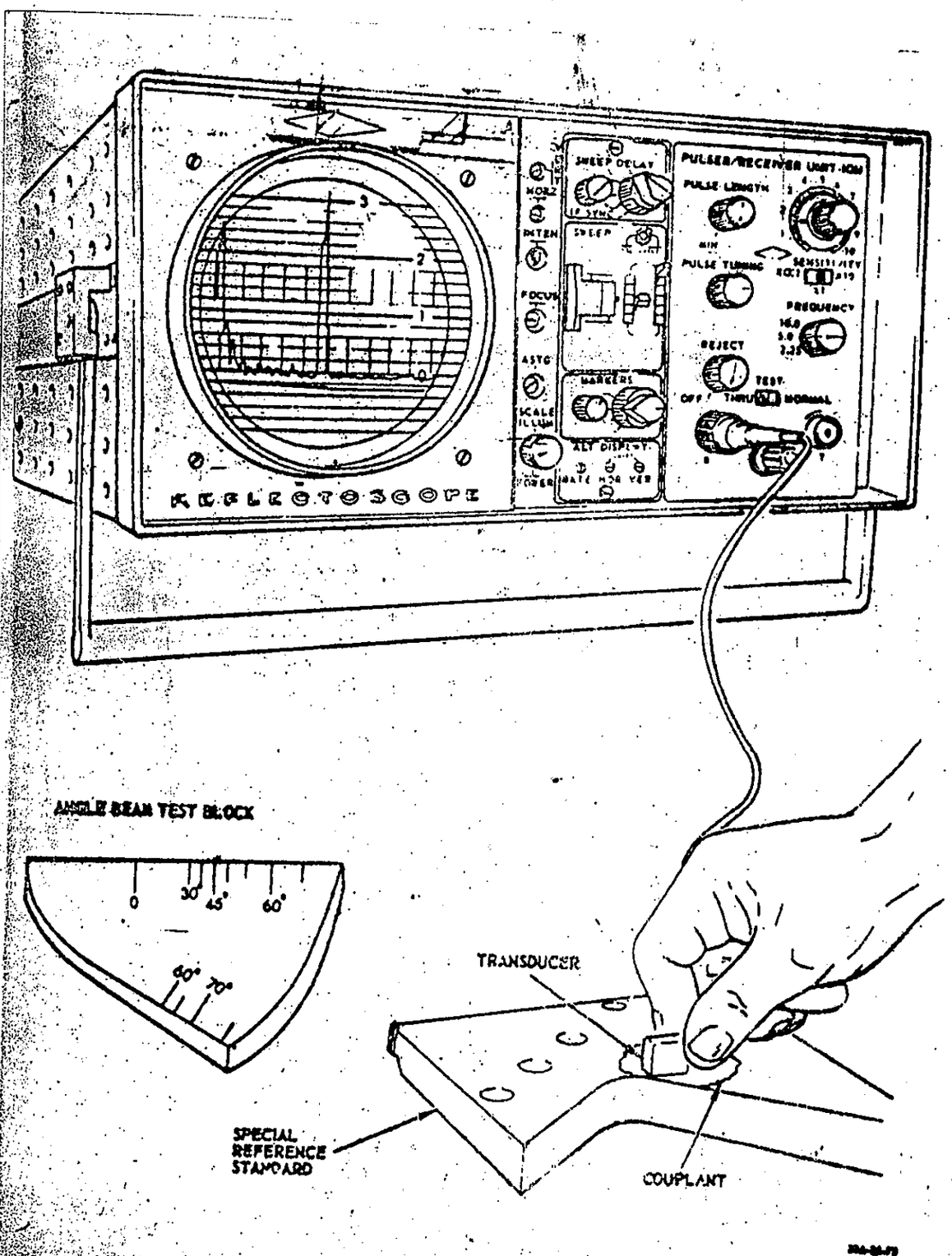
ในการวัดชิ้นงานนั้น ไม่จำเป็นต้องปรับเครื่องอีกต่อไป ให้สัมผัส PROBE กับชิ้นงาน แล้วดูการเบี่ยงเบนของเข็มเครื่องวัดว่าอยู่ในค่าบวก และลบ ตามที่เราปรับกับชิ้นตัวอย่างหรือไม่ ถ้าได้ค่าที่เกินกว่าก็แสดงว่า ชิ้นงานชิ้นนั้นไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้.



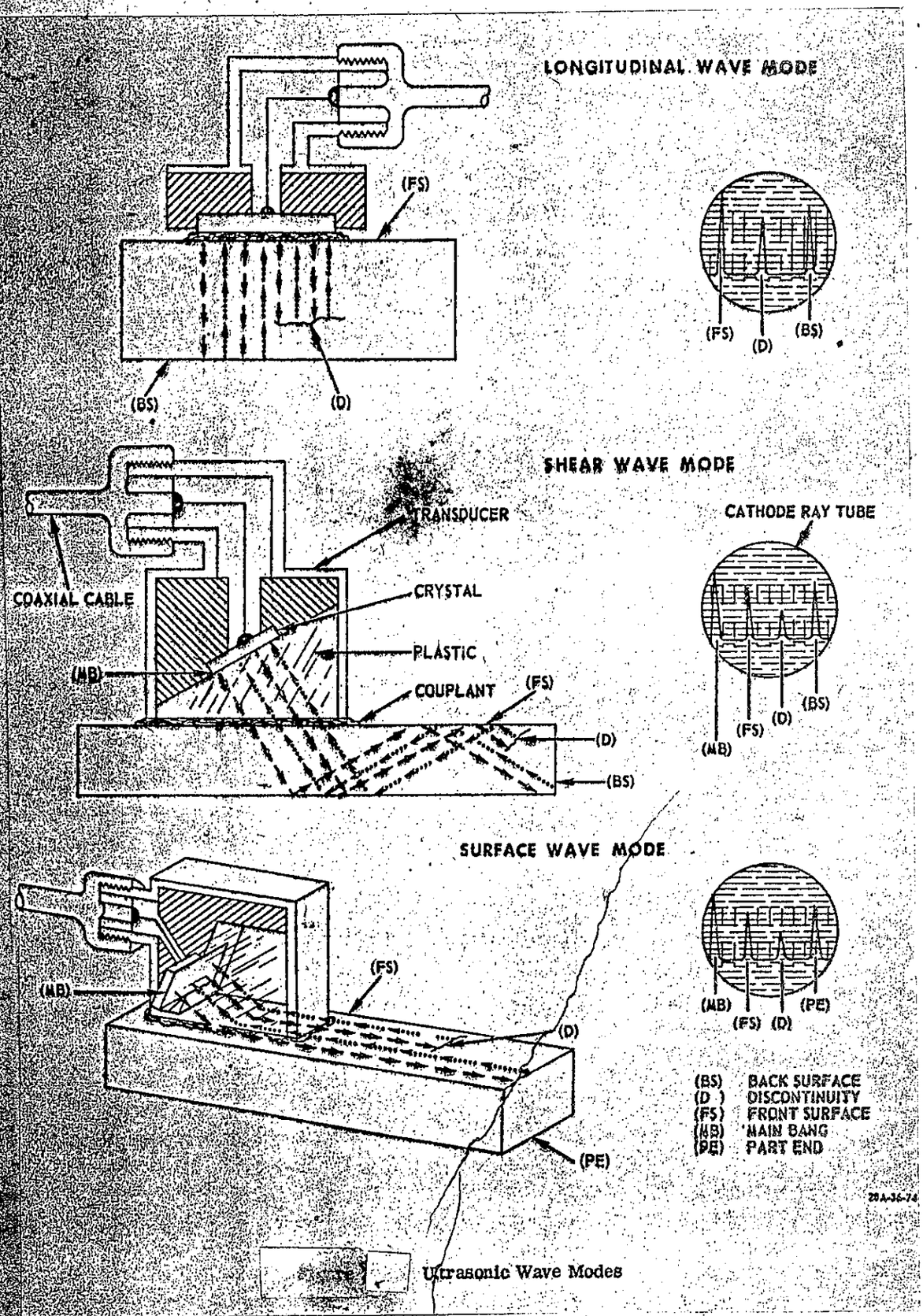
Electrical Conductivity of Various Metals and Alloys.



Electrical Conductivity of Aluminum and Magnesium Alloys.



Ultrasonic Inspection Basic Components



Ultrasonic Wave Modes

การตรวจด้วยคลื่นเสียงอัลตรา

(ULTRASONIC INSPECTION)

หลักการเบื้องต้น คลื่นเสียงอัลตรา คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยินได้ ปกติเสียงจะเกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ ตัวอย่างเช่น เมื่อเราตีกลอง ส่วนบนของกลองจะสั่นสะเทือนเป็นเหตุให้อนุของอากาศรอบ ๆ บริเวณนั้นสั่นสะเทือน ซึ่งก็จะทำให้อวัยวะภายในหู (EAR DRUM) สั่นสะเทือน และเกิดการได้ยินเสียงกลองนั้นได้ ฉะนั้น จึงกล่าวได้ว่า เสียงเกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนโดยทางกล (MECHANICAL VIBRATION) หูมนุษย์จะรับสัญญาณเสียงได้ในระหว่าง 16 – 16,000 CPS. คลื่นเสียงอัลตราเริ่มจาก 18,000 CPS. แต่โดยทั่ว ๆ ไปจะเริ่มตั้งแต่ 20,000 CPS. สำหรับหน่วยวัดความถี่ที่จะศึกษากันต่อไปนี้เป็น HERTZ (HZ) กล่าวคือ 1 HZ= 1 CPS.

แหล่งกำเนิดเสียงจะผลิตคลื่นเสียง และจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังตัวกลาง การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง เป็นเหตุให้โมเลกุลของอากาศรอบ ๆ บริเวณสั่นกลับไปกลับมาจากตำแหน่งเดิม อนุแต่ละอนุจะทำหน้าที่ถ่ายทอดการเคลื่อนตัวไปยังอีกอนุหนึ่งในลักษณะต่อเนื่องกัน และกลับเข้ามาอยู่ในตำแหน่งเดิมของมัน (ดูรูป 1) ถึงแม้ว่าคลื่นเสียงจะแผ่ขยายออกจากแหล่งกำเนิดในลักษณะที่ต่อเนื่องกัน แต่อนุของอากาศก็ยังคงอยู่ ณ สถานที่เดิมที่มันเคยอยู่ อุปมาได้กับการโยนก้อนหินลงในสระน้ำ ถึงแม้ว่าโมเลกุลของน้ำจะสั่นกลับไปกลับมาในพื้นที่แคบ ๆ แต่ลูกคลื่นก็ยังคงขยายตัวออกทุกทิศทุกทางอยู่นั่นเอง

สำหรับการตรวจด้วยคลื่นเสียงอัลตรา ก็คือ การส่งคลื่นเสียงอัลตราผ่านไปในชิ้นงานด้วยเครื่องมืออิเลคโทรนิค แล้วเฝ้าสังเกตุคลื่นเสียงนั้นทางจอเครื่องรับ

รูปที่ 1 *Propagation of Sound From Particle to Particle.*

ระดับความถี่ของคลื่นเสียงอัลตรา (ULTRASONIC VIBRATION)

ระดับความถี่ของคลื่นเสียงอัลตรา ก็เหมือนกับความถี่ของคลื่นเสียงที่ได้ยินกันตามธรรมชาติ แต่จะมีความถี่สูงกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยินได้ เครื่องมืออัลตราโซนิคที่ใช้ในการตรวจหารอยตำหนิ จะตั้งความถี่ไว้ประมาณ ½ – 25 MHz คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจะมีความยาวคลื่น (WAVE LENGTH) สั้นกว่า และมีกำลังน้อยกว่าที่จะส่งผ่านละไปยัง

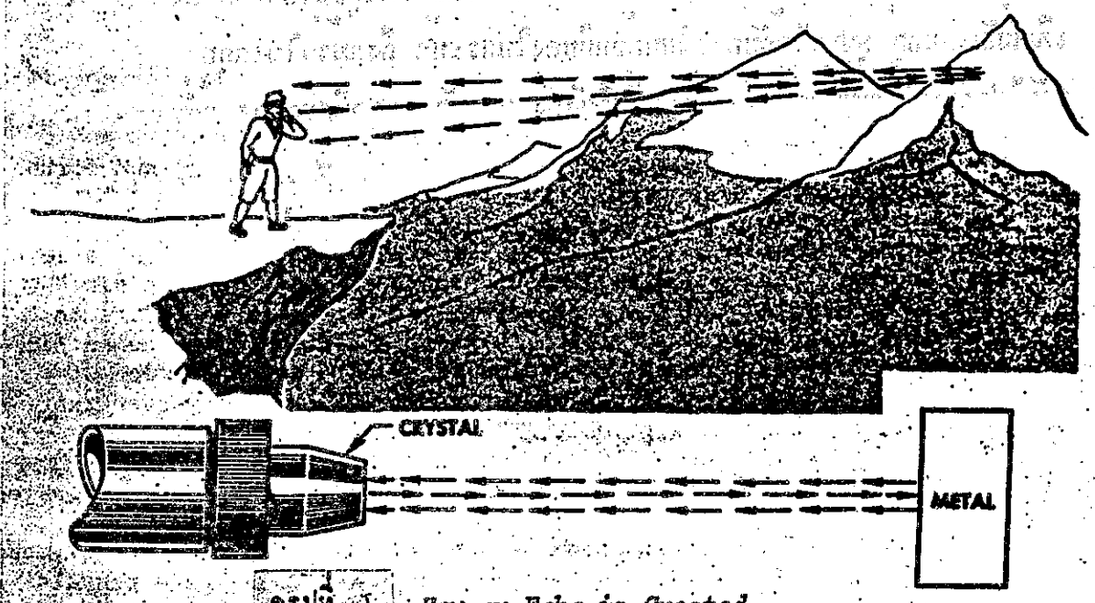
/ชิ้นวัสดุ.....

ชิ้นวัสดุ และจะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อชิ้นงานนั้น ๆ

คลื่นเสียงอัลตราอาจจะผลิตขึ้นจาก MAGNETOSTRICTIVE ELEMENT หรือ PIEZOELECTRIC ELEMENT ส่วน MAGNETOSTRICTIVE ELEMENT ไม่นิยมใช้กัน เพราะมีย่านความถี่จำกัด มีความไวต่ออุณหภูมิ และไม่สามารถปรับค่าความถี่ได้ ฉะนั้น จึงนิยมใช้ PIEZOELECTRIC ELEMENT เป็นตัวผลิตคลื่นเสียงอัลตรา ซึ่งมีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับ MEGNETOSTRICTIVE ELEMENT

คลื่นเสียงอัลตรามีคุณสมบัติคล้าย ๆ กับ กรวยของลำแสง มันจะเดินทางเป็นเส้นตรง ซึ่งจะเป็นไปในลักษณะเดียวกับลำแสงของไฟฉาย มันจะสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับผิวด้านใน (INNER BOUNDARY) ของชิ้นงาน ในลักษณะที่คล้าย ๆ กับแสงที่สะท้อนกระจก คลื่นเสียงเหล่านี้จะหักเหเมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน ก็เปรียบได้กับแสงที่ผ่านตัวกลางเช่นเดียวกัน การหักเหของคลื่นเสียงก็มีลักษณะคล้าย ๆ กับการหักเหของแสง

ถ้าเรายืนยนที่สูงในบริเวณหุบเขา แล้วตะโกนเสียงออกไป ก็จะได้ยินเสียงสะท้อนกลับ (ECHO) ในการตรวจด้วยวิธี ULTRASONIC ก็เช่นเดียวกัน เราส่งคลื่นเสียงแล้วรับการสะท้อนกลับของเสียงนั้น ๆ ดูรูปที่ 2



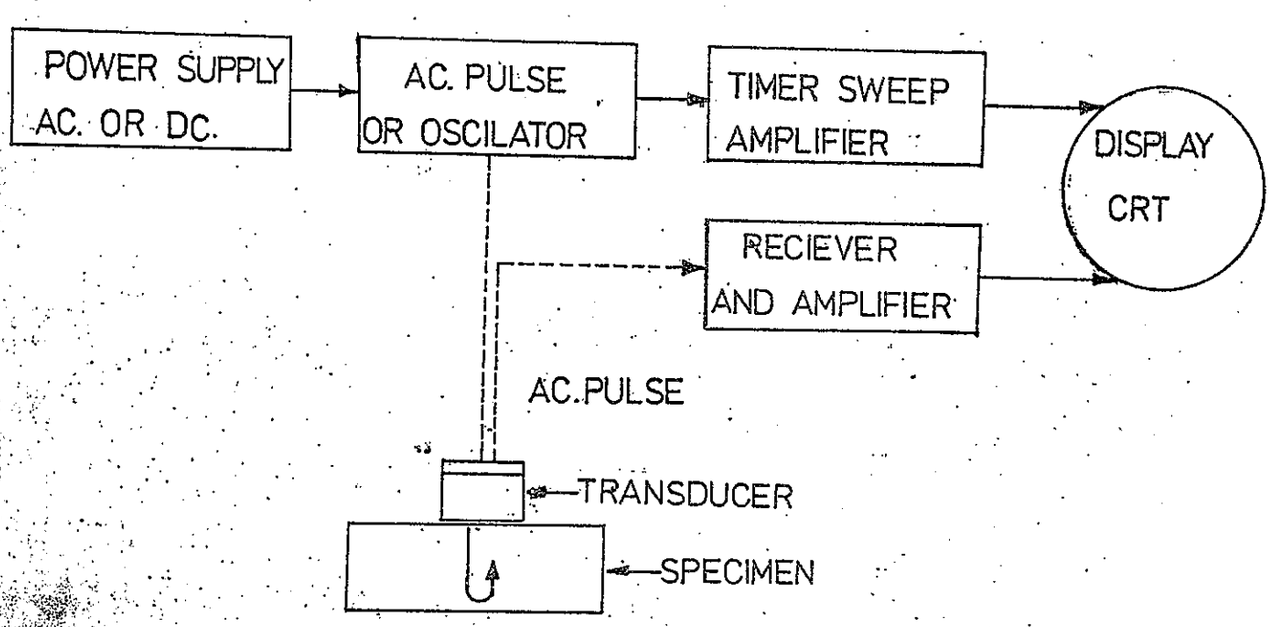
รูปที่ ๒ *How an Echo is Created.*

AC 110-15

คลื่นเสียงอัลตราที่นำมาใช้จะมีกำลังต่ำ แต่มีความถี่สูง และจะถูกส่งผ่านเข้าไปยังชิ้นงาน มันจะสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับผิวด้านในของชิ้นงานที่มีรูปร่างตามเรขาคณิต หรือจากของภายในอื่น ๆ เช่น CRACK, LACK OF FUSION, SLAG INCLUSIONS, POROSITY และอื่น ๆ โดยหลักการทั่วไปแล้ว การตรวจด้วย ULTRASONIC นี้คล้าย ๆ กับหลักการของ SONAR และ RADAR - ECHO ที่นำมาใช้ในสงครามโลกครั้งที่สอง

/ชุดเครื่องมือ.....

ชุดเครื่องมือ ULTRASONIC นี้ ส่วนมากนิยมใช้หลักการของ PULSE ECHO ซึ่งประกอบด้วยวงจรทางอิเลคโทรนิค และแปลกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าบนจอเครื่องรับ ตัว TRANSDUCER เป็นส่วนประกอบของวงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียง (MECHANICAL VIBRATION) และในทางกลับกันมันจะเปลี่ยนคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับเข้ามายังตัวมันเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (คือมันจะทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวส่งและตัวรับ) แล้วผ่านเข้ามายังวงจรขยายสัญญาณ แสดงออกมาทางจอเครื่องรับนั้น ดูรูปที่ 3 ประกอบ



รูปที่ ๓ BASIC OPERATING PRINCIPLES

คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจะมีข้อดีในการตรวจด้วยวิธีนี้ เพราะว่ามันให้ความยาวคลื่น (WAVE LENGTH) ที่สั้นกว่า รอยตำหนิที่จะตรวจพบจะต้องมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าความยาวคลื่น ความถี่ของคลื่นเสียงที่สูงกว่าจะมีความยาวคลื่นสั้นกว่า และสามารถตรวจหารอยตำหนิที่เล็ก ๆ กว่าความถี่ต่ำกว่า ความยาวคลื่นจะยาวกว่า และอาจจะพลาดจากการตรวจพบรอยตำหนิเล็ก ๆ ได้

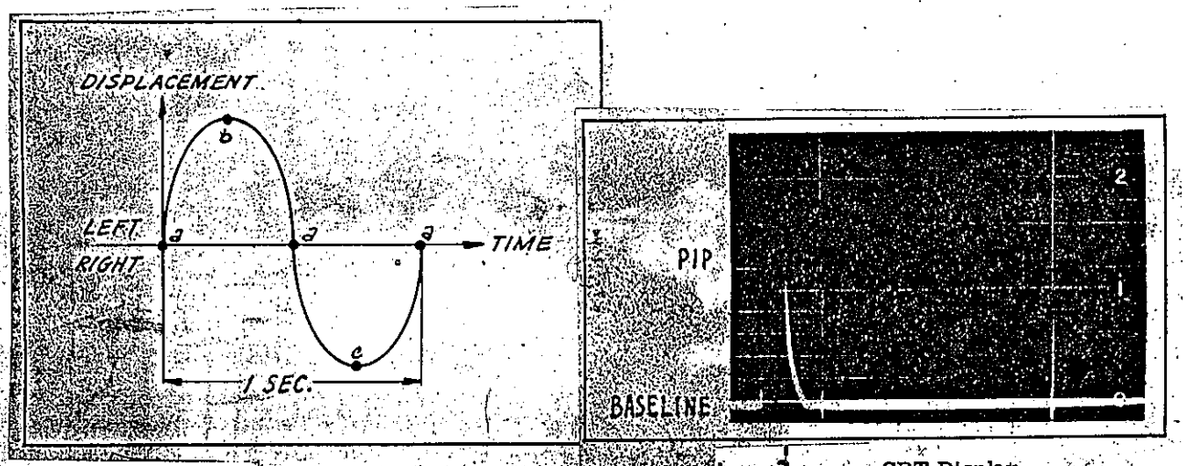
ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ความยาวคลื่น และความเร็วเสียงของวัสดุแต่ละชนิด สามารถแสดงได้ดังนี้

ความยาวคลื่น (WAVE LENGTH)(λ) = $\frac{\text{ความเร็ว (VELOCITY)}(V)}{\text{ความถี่ (FREQUENCY)}(F)}$

<u>ความถี่</u> คือ จำนวนคลื่นสมบูรณ์ที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่ง ในช่วงระยะเวลาหนึ่งมีหน่วยเป็น MH_3

<u>ความเร็ว</u> คือ อัตราเร็วของเสียงที่ผ่านตัวกลาง มีหน่วยเป็น CM/SECOND

<u>ความยาวคลื่น</u> คือ ระยะระหว่างจุดหนึ่งจุดใดของคลื่น ถึงอีกจุดหนึ่ง ซึ่งมีจุดสัมผัสแนวนอนเดียวกัน หรือจะกล่าวได้ว่า คือระยะระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายของคลื่นสมบูรณ์ ส่วนมากจะใช้สัญลักษณ์เป็นอักษรกรีก เรียกว่า แลมดา (λ) มีหน่วยเป็น CM.



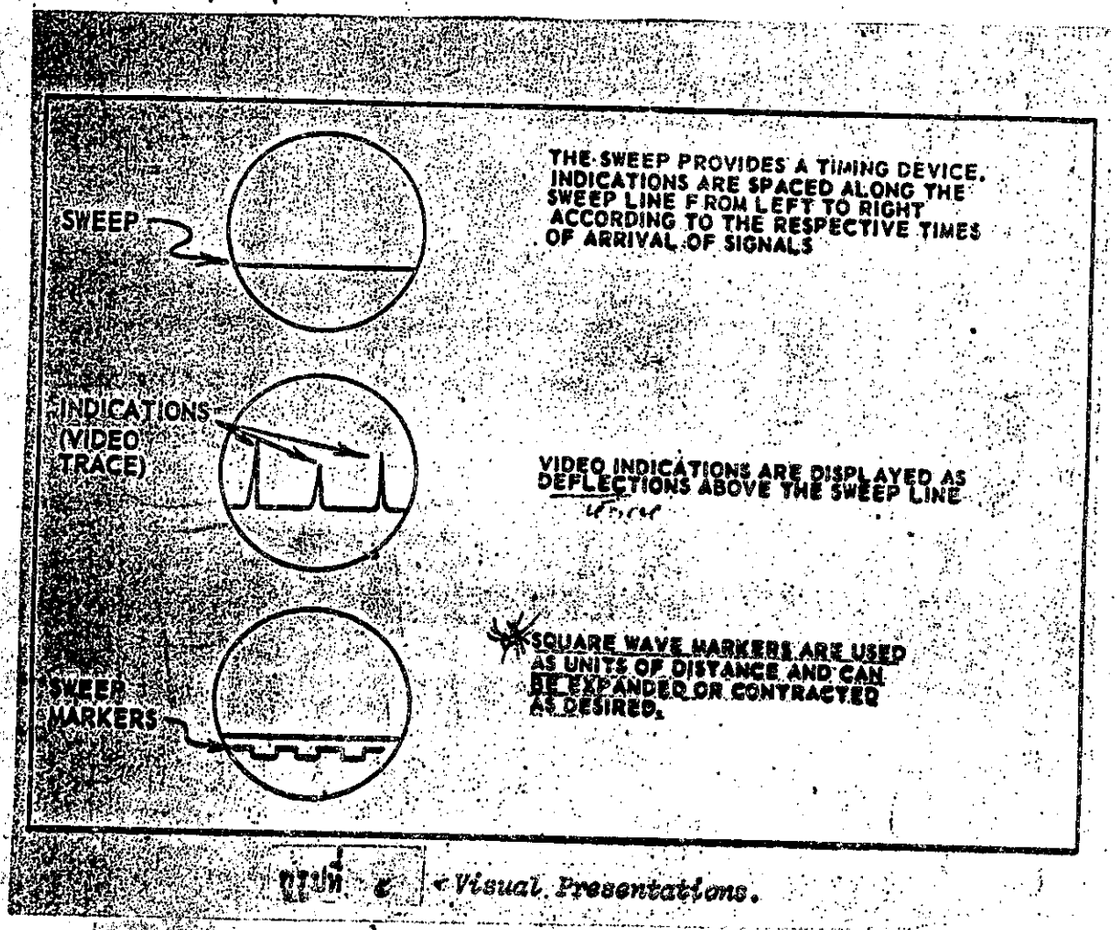
ภูรูปที่ ๔ CRT Display

ภาพและข้อมูลที่ปรากฏบนจอ CRT ของเครื่องมือ ULTRASONIC ประกอบด้วย 3 อย่างด้วยกัน ได้แก่ SWEEP หรือ BASELINE, RANGE MARKER และ PIP เส้นที่แสดงเป็นฐานแนวนอนเรียกว่า BASELINE (ดูรูป 4) เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วของอิลคตรอนผ่านจอภาพ CRT จากซ้ายไปขวา ความเร็วในการเคลื่อนที่สามารถควบคุมได้โดย SWEEP GENERATOR (การควบคุม SWEEP นี้ ถ้าใช้ระยะเวลาสั้น ช่วงของ BASELINE จะหดเข้า ถ้าใช้ระยะเวลานานกว่า BASELINE จะยืดออก) จุดเริ่มต้นของ SWEEP จะเริ่มจากทางซ้ายของจอหลอดภาพและเคลื่อนตัวไปทางขวา ระยะเวลาดังกล่าวสามารถควบคุมได้ และจะจัดไว้อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือประมาณ 3 – 4,000 μSEC. ปุ่มปรับ SWEEP DELAY ทำหน้าที่ควบคุมให้ SWEEP ปรากฏที่จอภาพในตำแหน่งที่ต้องการ คือจะปรับให้อยู่ทางซ้ายหรือขวาของจอหลอดภาพตามต้องการ ปุ่มปรับ SWEEP LENGTH ใช้ปรับให้ภาพขยายออก หรือหดสั้นเข้าในทางแนวนอน ปุ่มดังกล่าวจะทำให้ผู้ปฏิบัติสามารถเลือกส่วนหนึ่งส่วนใดของสัญญาณภาพที่เกิดจากการสะท้อนกลับ (ECHO PIP) ของคลื่นเสียงได้ตามต้องการ หรือสามารถที่จะขยายส่วนของภาพบนจอ CRT ได้ตามต้องการด้วย

/ภาพที่ปรากฏ.....

ภาพที่ปรากฏเป็นยอดแหลมบน CRT เรียกว่า PIP (SHORT HIGH PITCH TONE) เกิดจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้าไปยัง CRT แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เกิดจาก INITIAL PULSE และจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมายัง TRANSDUCER ช่องระหว่าง PIP หนึ่ง ถึงอีก PIP หนึ่ง ที่ปรากฏบน BASELINE คือช่วงระยะเวลาของสัญญาณที่เครื่องรับได้ PIP ของ ECHO แรกจะอยู่ทางซ้ายมือ และ ECHO ต่อ ๆ ไป จะปรากฏขึ้นทางขวา ระยะระหว่างมันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อช่วงเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง แต่เนื่องจากว่าเสียงที่เดินทางผ่านเข้าไปในวัสดุจะมีความเร็วคงที่ ระยะห่างของ PIP จึงนำมาพิจารณาเปรียบเทียบเป็นระยะทางได้ ความสัมพันธ์ในด้านสัดส่วนของระยะห่างระหว่างPIP กับช่วงเวลาของคลื่นเสียงเดินทางไป สามารถจะปรับได้ตามต้องการ ตัวอย่าง เช่น SWEEP ยาว 1" สามารถที่จะนำมาแสดงถึงความหนาของวัสดุจาก $\frac{3}{8}$" ถึง 1 ฟุต

RANGE MARKER ทำให้เกิดขึ้นได้โดยวงจรอีกเลคโทรนิคในชุดเครื่องมือ ใช้สำหรับทำเครื่องหมายแสดงเปรียบเทียบระยะตามแนวเส้น BASELINE ระยะของมันปรับได้ตามต้องการ เพื่อสะดวกสบายในการแบ่งระยะ SWEEP และเราสามารถทำการปรับโดยไม่ไปรบกวนวงจรอื่น ๆ เลย (ดังรูปที่ 5) ,1 ช่องฟันอาจจะเปรียบเทียบหรือแสดงถึงระยะ 1 นิ้ว, 1 ฟุต หรือ 1 หลา เป็นต้น



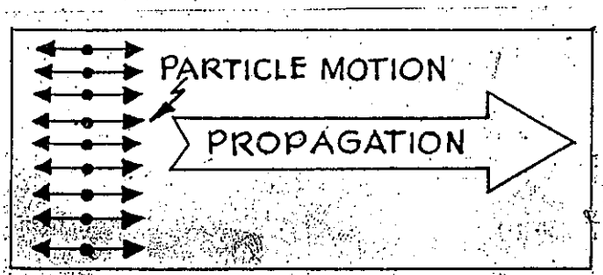
รูปที่ ๕ < Visual Presentations.

แบบของคลื่นเสียง

(MODE OF VIBRATION)

รูปแบบของคลื่นเสียงอัลตราที่เดินทางผ่านเข้าไปชิ้นวัสดุมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ที่สำคัญมีดังต่อไปนี้ คือ

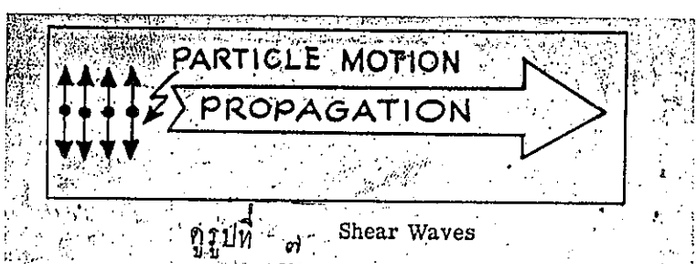
1. LONGITUDINAL OR COMPRESSION WAVES อนุของตัวกลางจะถูกแทนที่หรือเปลี่ยนทิศทางในทางเดียวกันกับการเดินของเสียงอัลตรา (ดังรูป 6) LONGITUDINAL WAVES นี้ผลิตขึ้นได้ง่าย และง่ายต่อการตรวจพบ และมีความเร็วในการเคลื่อนตัวในชิ้นวัสดุได้สูงกว่า คลื่นชนิดนี้จะให้ WAVE LENGTH ที่สั้นกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของ TRANSDUCER ขนาดเดียวกัน เพราะฉะนั้น ในลักษณะนี้จึงอาจควบคุมคลื่นให้เป็นลำกรวยเล็ก ๆ และปลายของลำคลื่นบานออกเล็กน้อยเท่านั้น



ดูรูปที่ ๖ Longitudinal Waves

สำหรับการผลิต LONGITUDINAL WAVES จาก CRYSTAL ให้มีคุณภาพที่ดีที่สุดนั้น จะต้องออกแบบให้คลื่นเสียงอัลตราที่ส่งเข้าไปตั้งฉากกับผิวของชิ้นงาน

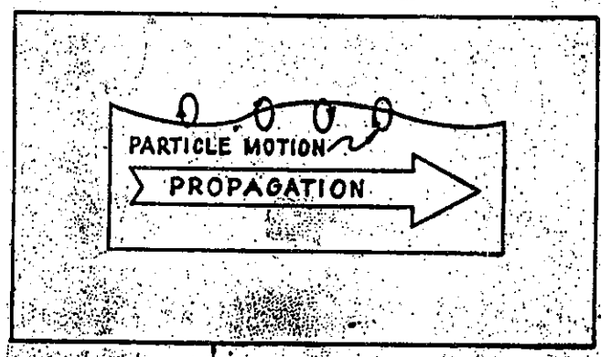
2. SHEAR OR TRANSVERSE WAVES อนุของตัวกลางจะถูกแทนที่หรือเปลี่ยนทิศทางในแนวตั้งฉากกับทางเดินทางเสียงอัลตรา (ดูรูป 7) ความเร็วของคลื่นชนิดนี้เป็นกึ่งหนึ่งของ LONGITUDINAL WAVES เพราะว่ามีความเร็วที่ต่ำกว่านี้เอง มันจึงมี WAVE LENGTH สั้นกว่า LONGITUDINAL WAVES ในกรณีที่มีความถี่เท่า ๆ กัน การที่มี WAVE LENGTH ที่สั้นกว่านี้เอง SHEAR WAVES จึงมีความไวในการตรวจพบ (SENSITIVITY) รอยตำหนิเล็ก ๆ ได้ดีกว่า และผลที่ตามมาก็คือ มันจะหักเหได้ง่ายกว่า



ดูรูปที่ ๗ Shear Waves

ในการที่จะทำ SHEAR WAVES ให้ผ่านเข้าไปยังชิ้นงาน จะต้องมีลิ่ม (ปกติจะทำด้วย LUCITE) ที่ทำมุมที่ถูกต้องวางระหว่างผลึก CRYSTAL ชนิด LONGITUDINAL WAVES กับวัสดุที่นำมาตรวจ และ SHEAR WAVES ดังกล่าวมานี้ก็คือการส่งคลื่นเสียงทำมุมต่าง ๆ กับชิ้นงาน

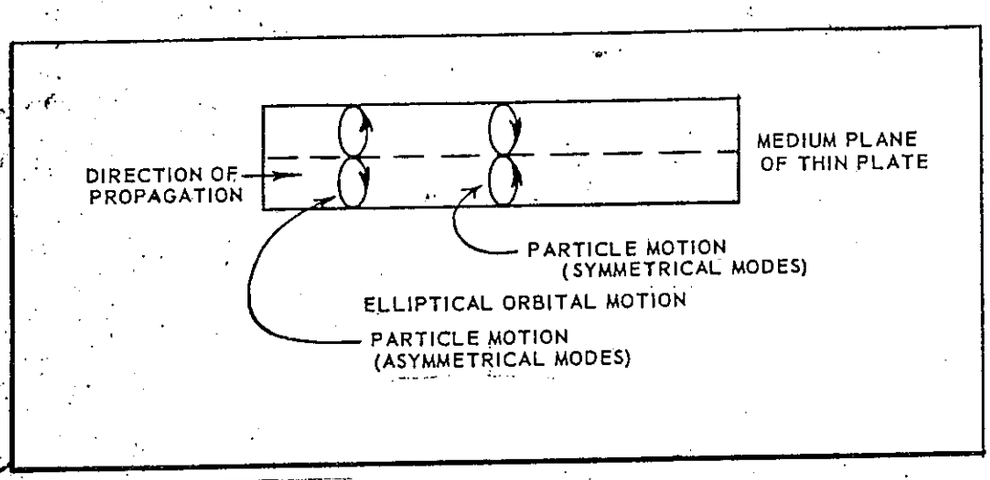
3. SURFACE OR RAYLEIGH WAVES คลื่นชนิดนี้จะเคลื่อนตัวไปบนผิวชั้นงาน โดยที่จะไม่ได้รับประโยชน์ในการเคลื่อนตัวใต้ผิวของมันเลย เหมือนกับลูกคลื่นน้ำที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำ ความเร็วในการเคลื่อนที่ในตัวกลางขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และประมาณ $\frac{9}{10}$ เท่า (90 – 95 %) ของความเร็ว SHEAR WAVES ความลึกของ SHEAR WAVES ที่ผ่านชิ้นงานลงไปจะประมาณได้เท่ากับความลึกของ WAVE LENGTH WAVE LENGTH ของ SURFACE WAVES จะประมาณเท่ากับ 0.9 เท่าของ SHEAR WAVES การเคลื่อนที่ของอนุภาคของคลื่นชนิดนี้เกิดขึ้นอย่างสับสน กล่าวคือ จะประกอบด้วยทั้งลักษณะของ LONGITUDINAL และ SHEAR WAVES (ดังรูป 8) แสดงถึงการเดินของ SURFACE WAVES บนชิ้นงาน



รูปที่ ๘ Surface Waves

ในการทำให้เกิด SURFACE WAVES นั้นจะต้องใช้ลิ่ม LUCITE เพื่อจัดมุมตกกระทบให้พอเหมาะที่จะเกิดคลื่นชนิดนี้ มุมของลิ่มที่ใช้นี้จะจัดให้มุมตกกระทบอยู่ระหว่าง 60 – 64 จึงจะทำให้คลื่นเสียงเกิดขึ้นตามผิวพอดี SURFACE WAVESจะเดินทางไปได้น้อยกว่าคลื่นเสียงชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ดี ความลึกที่มันผ่านเข้าไปในชิ้นงานจะประมาณ 1 ช่วง ความสูงของคลื่น หรือน้อยกว่าเท่านั้น

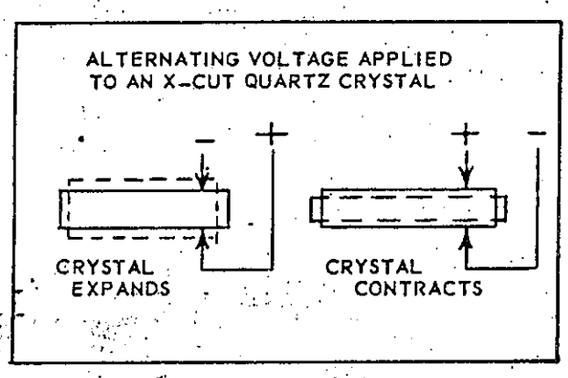
4. LAMB WAVES OR PLATE WAVES เป็นคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่เฉพาะชิ้นงานหรือโครงสร้างบาง ๆ ในกรณีที่ SHEAR WAVES ไม่สามารถที่จะเดินทางไปในวัสดุชิ้นบาง ๆ ได้ จึงต้องใช้ LAMB WAVES ซึ่งมีความสามารถเดินผ่านวัสดุชิ้นบาง ๆ ได้ดี คลื่นชนิดนี้จะรวมการเคลื่อนตัวของอนุภาคเข้าด้วยกัน ในทางปฏิบัติมันจะเดินทางและสะท้อนกลับเหมือนกับคลื่นเสียงชนิดอื่น ๆ มันจะแผ่ปกคลุมตลอดความหนาของชิ้นงานในขอบเขตที่จำกัด ตามลำกระบวนของลำคลื่น และจะสะท้อนกลับเมื่อกระทบผิวด้านตรงข้ามของชิ้นงาน นอกจากนั้นมันยังสะท้อนกลับเมื่อพบกับรอยตำหนิ ความเร็วของคลื่นชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ ความหนาของชิ้นงาน และมุมของความเร็วที่ตกกระทบ LAMB WAVES มี 2 ชนิด ได้แก่ แบบ SYMMETRICAL กับ ASYMMETRICAL (ดังรูป ๙)



รูปที่ ๙ *Lamb Waves Propagation.*

TRANSDUCERS

TRANSDUCERS มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นคลื่นเสียงอัลตรา (MECHANICAL VIBRATION) มันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งคลื่นเสียงไปยังชิ้นงาน และรับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับเข้ามา TRANSDUCERS ที่ใช้ในการตรวจด้วยคลื่นเสียงอัลตรานั้น ปกติจะประกอบด้วยวัสดุ PIEZOELECTRIC หรือ FERROELECTRIC (ส่วนมาก FERROELECTRIC MATERIAL จะใช้กับ MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCER) เมื่อผ่านแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปยัง TRANSDUCERS จะทำให้มันเปลี่ยนขนาด โดยปกติแล้วมันจะขยายตัวออกและหดเข้าตลอดทั้งแท่ง มันจะให้ความถี่อย่างคงที่ และจะเป็นอัตราส่วนกับความถี่ไฟฟ้า (ดังรูป 10)

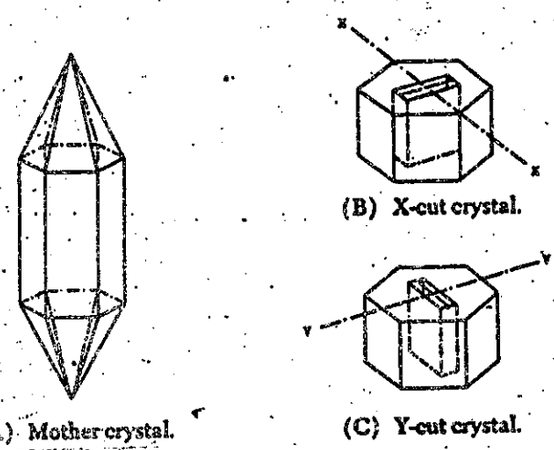


รูปที่ ๑๐ *Generation of Ultrasonic Vibrations.*

ลักษณะของ TRANSDUCER เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปเปรียบได้เหมือนระฆังที่ถูกตี ซึ่งทำให้วงระฆังเสียรูปเดิมและเกิดเสียงขึ้น ต่อเมื่อวงระฆังเข้าที่เดิม เสียงก็จะเบาลง และหยุดในที่สุด

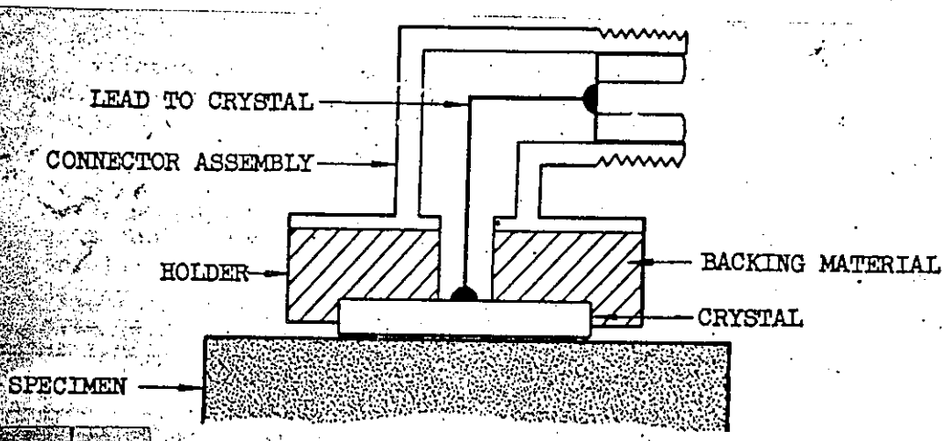
ปกติระยะเวลาที่กระแสไฟไหลเข้าไปกระทบกับ TRANSDUCER นั้นสั้นมาก กล่าวคือ ช่วงระยะเวลาจะไม่เกิน1 MICROSECOND ในช่วงนี้ TRANSDUCER จะสั่นตัวและยังคงสั่นต่อไปจนกว่าไม่มีการขจัดพลังงานนี้ออกไปจึงจะหมด การขจัดการสั่นต่อเนื่องใน TRANSDUCERS นี้ กระทำได้โดยใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติหยุ่นตัวที่เหมาะสม (DAMPING MATERIAL) มารองรับที่ผิวด้านหลัง อย่างไรก็ดีการขจัดการสั่นต่อเนื่องอันนี้ จะไม่มีผลไปถึงบริเวณผิวด้านหน้าของ TRANSDUCERS ในขณะที่กำลังทำการตรวจชิ้นงาน ช่วงระยะเวลาของคลื่นเสียงจะต้องสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้น เสียงที่สะท้อนกลับจากผิวด้านในที่ต่างระดับใกล้ ๆ กัน ในชิ้นงานชิ้นนั้น ๆ ก็จะทำให้ปรากฏเป็นเครื่องหมาย (PIP ที่แยกกันอย่างเด่นชัด และทำให้ผู้ปฏิบัติจะได้ทราบข้อมูลเพิ่มเติม และการตีความก็จะสมบูรณ์มากขึ้น การสั่นตัวของ TRANSDUCER ที่มากเกินควรนี้ อาจจะชักนำให้รวมกันกับสัญญาณบริเวณใกล้ ๆ กัน และเกิดเป็นสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ (SIGNAL BULBOUS) ปรากฏบนจอหลอดภาพได้ เป็นเหตุให้ข้อมูลที่จะได้ลดลงไป

PIEZOELECTRIC TRANSDUCER ชิ้นแรกได้แก่ QUARTZ ผลึกของ QUARTZ ผลิตขึ้นจากการตัดชิ้นผลึกหลัก "MOTHER " ออกเป็นชิ้นบาง ๆ ชิ้นผลึกหลักมีลักษณะเป็นแท่งปริซึม 6 เหลี่ยม ปลายทั้งสองข้างเป็นยอดแหลมคล้ายกับปิรามิด (ดูรูป 11) มันประกอบด้วยแกนหลัก 3 แกน และคุณสมบัติเฉพาะขึ้นอยู่กับว่าจะตัดออกมาตามแนวแกนอะไร แกนทั้งสามได้แก่ แกน X, Y และ Z ผลึกตามแนวแกน X (X CUT) นี้ส่วนมากนิยมใช้กันมาก เพราะมันให้ LONGITUDINAL WAVES ที่ดีที่สุด และเป็นผลึกที่นำมาใช้กันเป็นครั้งแรก



(A) Mother crystal. (B) X-cut crystal. (C) Y-cut crystal.

รูปที่ ๑๑ Quartz Crystals.



รูปที่ ๑๒ *Crystal Mounting for Longitudinal Wave Generation.*

รูปที่ 12 แสดงถึงการสร้าง TRANSDUCER วัสดุที่นำมาทำ PIEZOELECTRIC ได้แก QUARTZ, LITHIUM SULPHATE, BARIUM TITANATE, LEAD METIONIABATE LEAD ZIRCONATE TITANATE

การเลือกใช้ TRANSDUCER

สิ่งสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาเลือก TRANSDUCERS มี 2 ประการ ได้แก่ ขนาดและย่านความถี่ใช้งาน ความถี่สูงกว่าจะให้ความไวในการตรวจพบรอยตำหนิเล็ก ๆ ได้ดีกว่า แต่ถ้าจะใช้ความถี่ต่ำกว่าผลที่ได้รับก็จะกลับกัน คือ มันจะทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุได้ลึกกว่า เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีความหนา และมีโครงสร้างหยาบ ๆ (COARSE GRAINES) ผลึกที่ใช้กับ TRANSDUCER ที่มีความถี่สูง จะมีขนาดบางมาก สึกกร่อนได้เร็ว และแตกง่าย ฉะนั้น โดยเหตุนี้เอง TRANSDUCER ที่มีความถี่เกิน 10MHz จึงนิยมใช้กับกรรมวิธี IMMERSION

ในการตรวจด้วยวิธี ULTRASONIC วัสดุที่ใช้ผลิตคลื่นเสียงอัลตราที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดได้แก วัสดุประเภท PIEZOELECTRIC วัสดุชนิดนี้จะหดและขยายตัวที่แน่นอน เมื่อได้รับอิทธิพลจากกระแสไฟฟ้า ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ส่งผ่านมายังมันเปลี่ยนแปลง ขนาดของตัวมันจะเปลี่ยนแปลงตาม ทั้งนี้จะเป็นไปตามสัดส่วนกัน และในทางตรงกันข้าม ถ้าตัวมันได้รับแรงในทางกลที่บริเวณผิวหน้า มันจะผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมา แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะให้ความถี่เดียวกันกับ MECHANICAL VIBRATION

บริษัทผู้ผลิตกล่าวว่า LITHIUM SULPHATE จะมีความไวเป็น 20 เท่าของ QUARTZ และ LEAD ZIRCONATE TITANATE มีความไวมากกว่า LITHIUM SULPHATE อย่างน้อย 10 เท่า

ชิดจากัดหรือบริเวณที่การตรวจเข้าไม่ถึง (DEAD PR NO-TEST ZONE)

ในกรรมวิธีการตรวจแบบแตะสัมผัส (CONTACT) มีพื้นที่บางตำบลภายใต้ TRANSDUCER ที่ไม่สามารถตรวจสอบรอยตำหนิได้ ซึ่งไม่สามารถที่จะสังเกตุเห็นเครื่องหมายที่สะท้อนกลับเข้ามาเนื่องจากรอยตำหนินั้น ๆ เพราะว่า INITIAL PULSE ที่ปรากฏบนจอ CRT กว้างเกินไป และถ้ารอยตำหนิอยู่ใกล้กับผิวมาก ถ้าสะท้อนกลับของเสียงไปยัง TRANSDUCER ก็จะเร็วเกินไป ซึ่งในขณะนั้นสัญญาณจากการส่งก็ยังไม่จบสิ้น ก็ไม่สามารถเห็นสัญญาณจากการสะท้อนกลับได้

สาเหตุเหล่านี้เกิดขึ้นตามธรรมชาติกับเครื่องมือ ULTRASONIC เกือบทุกชนิด ซึ่งเรียกว่า " DEAD OR NO-TEST ZONE " ในเครื่องมือบางชนิด DEAD ZONE จะไม่ปรากฏชัดมากนัก ทั้งนี้ เพราะว่าความยาวคลื่นที่ส่งไปสามารถควบคุมได้ โดยอุปกรณ์ทางอิเลคโทรนิคเราสามารถหา DEAD ZONE ได้โดยการทดสอบกับ IIW REFERANCE BLOCK

ปกติแล้ว คลื่นเสียงที่สั้น (SHORT WAVELENGTH หรือมีความถี่สูง DEAD ZONE จะต้นกว่า))

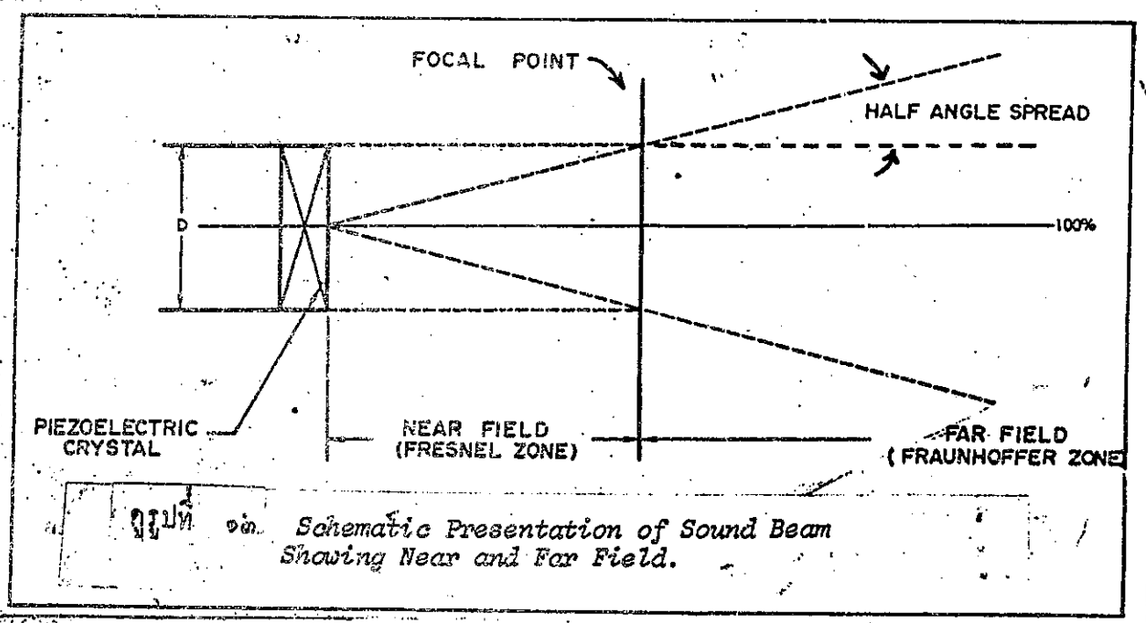
NEAR FIELD คือช่วงระยะที่กลวยลำคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงความเข้ม มันจะเริ่มจาก TRANSDUCER ถึง FOCAL POINT ระยะนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

เมื่อ $\frac{D^2}{4\lambda}$ L = ระยะ NEAR FIELD

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของ TRANSDUCER

λ = ความยาวคลื่น

ในระยะ NEAR FIELD นี้ กลวยลำคลื่นจะไม่บานออก (ดังรูป 13)



รูปที่ ๑๓ *Schematic Presentation of Sound Beam Showing Near and Far Field.*

FAR FIELD เป็นระยะที่ถัดจาก NEAR FIELD ออกไป ลำคลื่นจะขยายตัวออกจาก FOCAL POINT การบานออกของกลวยลำคลื่นนี้ คำนวณได้โดยคิดเป็นกึ่งหนึ่งของมุมกลวยลำคลื่น โดยใช้สูตร $\sin\theta = \frac{1.22\lambda}{D}$

โดยที่ $\sin\theta$ = $\frac{1}{2}$ ของมุมกลวยคลื่น

1.22 = CONSTANT

λ = ความยาวคลื่น

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของ TRANSDUCER

(ดังรูป 13) แสดงถึงกลวยลำคลื่นที่เกิดจาก TRANSDUCER

สิ่งแปรเปลี่ยนทางฟิสิกซ์ที่มีอิทธิพลเหนือการถ่ายทอดเสียง

(PHYSICAL VARIABLES AFFECTING TRANSMISSION OF SOUND)

สภาพโครงสร้างภายใน (INTERNAL STRUCTURE) โครงสร้างของเนื้อวัสดุที่หยาบกว่า จะดูดกลืนและทำให้พลังงานเสียงกระจัดกระจาย ฉะนั้น มันจะทะลุทะลวงลงไปได้น้อย โครงสร้างของเนื้อวัสดุที่ละเอียดกว่า จะยอมให้เสียงเดินผ่านได้ง่าย และมีการดูดกลืนน้อย

สภาพการตกแต่งผิว (SURFACE FINISH) ผิวเรียบจะถ่ายทอดคลื่นเสียงได้ดีกว่าผิวที่ขรุขระ ถึงแม้ว่าจะใช้ COUPLANT ที่มีความหนาแน่นสูง สำหรับการตรวจด้วยกรรมวิธีแบบ CONTACT สภาพความขรุขระของผิวจะประมาณ 250RMS.(ROOT MEAN SQUARE) แต่เป็นที่ยอมรับกันว่า ผิวที่ตกแต่งเรียบร้อยแล้วจะมีความขรุขระประมาณ 125 RMS หรือน้อยกว่า ผิวที่ขรุขระจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหรือการกระจัดกระจายของพลังงานเสียง และเป็นเหตุให้เกิดอาการ " GRASS " บนจอหลอด CRT ซึ่งจะทำให้ปิดบัง หรือปกปิดรอยตำหนิที่บริเวณใกล้กับผิว นอกจากนั้นมันยังเป็นสาเหตุให้เกิดการสึกกร่อนอย่างผิดปกติกับ TRANSDUCER ด้วย

รูปร่างลักษณะของชิ้นงาน (GEOMETRY OF PART) การตรวจด้วย ULTRASONIC ที่แน่นอนและไว้ใจได้นั้น คลื่นเสียงที่ส่งเข้าไปยังชิ้นงานจะต้องสะท้อนกลับเข้ามายัง TRANSDUCER สมมุติว่า ถ้าลักษณะผิวของชิ้นงานไม่ขนานกัน เมื่อใช้ลำคลื่นแบบ LONGITUDINAL มันจะไม่สะท้อนกลับเข้ามายัง TRANSDUCER การตรวจก็จะไม่ได้ผล ฉะนั้น รูปร่างลักษณะของชิ้นงาน จึงมีความสำคัญที่สุด และจะต้องนำมาพิจารณา และต้องระลึกไว้เสมอถ้าทำการตรวจด้วย ULTRASONIC นั้

การแอบแฝงของรอยตำหนิ (ORIENTATION OF THE DEFECT)

ในการตรวจบางครั้งอาจจะพลาดจากการตรวจพบรอยตำหนิที่อยู่ภายในได้ ทั้งนี้ เนื่องจากมันเกี่ยวกันกับทิศทางของลำคลื่นที่ส่งเข้าไปในชิ้นงานนั้น ๆ ตำบลที่สงสัยและการตรวจใน

/ทิศทาง.....

ทิศทางหนึ่งทิศทางใดไม่ครบ อาจจะต้องทำการตรวจตำบลนั้นซ้ำ โดยส่งคลื่นเสียงในทิศทางอื่นที่เป็นไปได้ ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า " DOUBLE CHECK " ยิ่งครั้งที่ครั้งมากยิ่งมาย...ถึง รอยความไม่สมบูรณ์ที่ปรากฏบนจอ CRT มีขนาดเล็กมาก การใช้คลื่นเสียงหลาย ๆ แบบจึงสามารถตรวจพบและตีความรอยความไม่สมบูรณ์นั้น ๆ ได้ถูกต้อง เช่น ขนาดรูปร่างและตำแหน่งของมัน

<u>ความต้านทานเสียงจำเพาะ</u> (SPECIFIC ACOUSTIC IMPEDANCE)

มูลฐานทั้งหมดของการตรวจด้วย ULTRASONIC ก็คือคุณสมบัติการต้านทานเสียงของรอยตำหนิ เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านเข้าไปถึงผิวด้านตรงข้าม (หรือผิวด้านใน) ณ ที่นั้นจะมีตัวกลางที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน 2 ชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติในการเดินของเสียงต่างกัน พลังงานเสียงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับมา และอีกส่วนหนึ่งจะเดินทางผ่านไปยังตัวกลางตัวที่ 2 เปอร์เซ็นของเสียงที่สะท้อนกลับขึ้นอยู่กับ SPECIFIC ACOUSTIC IMPEDANCE ของตัวกลางนั้น ๆ

ถ้าจำเป็นจะต้องส่งคลื่นเสียงผ่านตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง จะต้องใช้สิ่งต่อสัญญาณเสียง (COUPLANT) ถ้าไม่ใช้ COUPLANT แล้ว เสียงก็ไม่สามารถเดินผ่านลงไปยังชิ้นงานได้ COUPLANT ที่ดีที่สุดนั้นจะต้องมีค่า SPECIFIC ACOUSTIC IMPEDANCE สูง

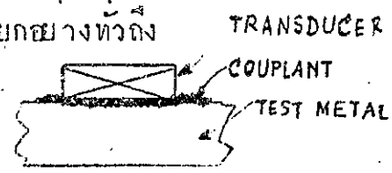
<u>สภาวะของเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปมีอิทธิพลเหนือการส่งผ่านคลื่นเสียง</u>

(ACOUSTIC VARIABLE AFFECTING SOUND TRANSMISSION)

<u>FREQUENCY</u> ถ้าความถี่สูง (ความยาวคลื่นสั้น) จะให้ความไวในการตรวจหารอยตำหนิเล็ก ๆ ได้ดีกว่า หรือให้ความมั่นใจมากกว่า เพราะฉะนั้นในการตรวจกับชิ้นส่วนอากาศยานจึงใช้ความถี่สูง และสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาก็คือ ความลึกของคลื่นเสียงที่ลงไปใต้ผิวลดลง ซึ่งส่วนมากชิ้นงานดังกล่าวมีขนาดค่อนข้างบางและเล็ก

<u>COUPLANT</u> เยื่อบาง ๆ ของของเหลวที่นำมาใช้ทำ COUPLANT จะมาแทนที่อากาศระหว่าง TRANSDUCER กับผิวของชิ้นงาน ของเหลวทุกชนิดที่มีคุณสมบัติส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถนำมาทำ COUPLANT ได้ ส่วนมากที่นิยมกัน ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นใส ๆ กลีเซอรีนและน้ำ และในบางกรณีอาจใช้ไขหล่อลื่น (GREASE) หรือของเหลวเหนียว ๆ เมื่อนำมาใช้ตรวจชิ้นงานตั้งหรือด้านผิวล่างของชิ้นงาน COUPLANT ที่ใช้ควรเลือกให้มีลักษณะดังนี้

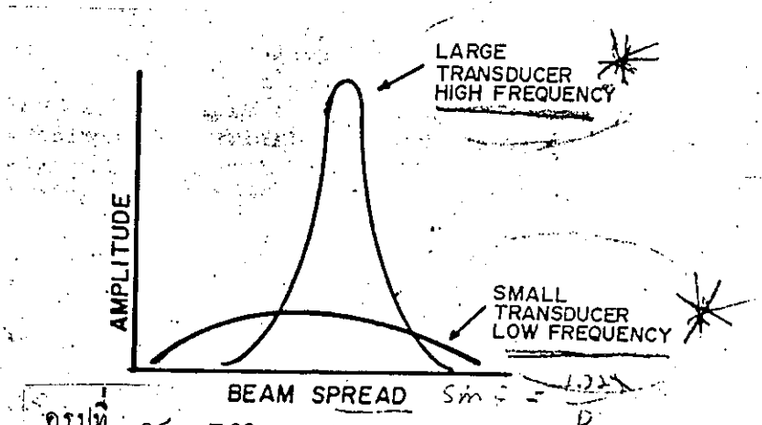
1. ต้องทำให้ผิวของ TRANSDUCER และผิวของชิ้นงานเปียกอย่างทั่วถึง
2. ไม่ทำให้เกิดการผุกร่อนภายหลัง หรือมีกลิ่นฉุน
3. สามารถนำมาใช้งานและชำระล้างออกง่ายด้วย
4. มีเนื้อแน่น และไม่มีฟองอากาศ
5. มีความต้านทานเสียง โดยประมาณกึ่งหนึ่งของ TRANSDUCER และของชิ้นงาน
6. มีความหนืดอย่างเพียงพอเพื่อมิให้ไหลเร็วเกินไป เมื่อขณะทำการตรวจ



Couplant for Contact Testing.

/การบานออก.....

<u>การบานออกของกลวยคลื่นเสียง</u> (BEAM DIVERGENCE) องค์ประกอบของการบานออกของกลวยคลื่นเสียง ได้แก่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ TRANSDUCER และความถี่ของมัน, เมื่อคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงแผ่ขยายเข้าไปในวัสดุแท่งทึบ คลื่นนี้จะผ่านเข้าไปในลักษณะเป็นลำกลวย (" BEAM ") ส่วนที่มีกำลังสูงที่สุดของเสียงจะอยู่ตามแนวแกนของกลวยลำคลื่น และจะค่อย ๆ จางลงเมื่อแผ่กว้างออกไปจากแนวแกน (ดังรูป 14) แสดงถึงความสัมพันธ์ของการขยายตัวของกลวยลำคลื่น กับขนาดของ TRANSDUCER ความถี่และความกว้างของสัญญาณ (AMPLITUDE)



รูปที่ ๑๔ *Effect of Transducer Size, Frequency and Amplitude of Signal on Beam Spread.*

จากรูป 14 อาจกล่าวได้ว่า จำนวนพลังงานเสียงที่ส่งผ่านไปยังวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของ CRYSTAL ดังนั้น จึงควรใช้ CRYSTAL ที่มีขนาดใหญ่ เพื่อเสียงจะได้เดินผ่านเข้าไปในชิ้นวัสดุได้ลึกกว่า บริษัทผู้ผลิตหลาย ๆ บริษัทได้ตกลงกันที่จะเลือกใช้ TRANSDUCER ให้เหมาะสมขนาดของมันนั้นขึ้นอยู่กับ วิธีการเลื่อน (SCANNING) อัตรากรเลื่อน และ " OVER LAP " ระหว่างรอยเลื่อน, TRANSDUCER ที่มีขนาดเล็ก ลำคลื่นจะขยายหรือบานออกมากกว่า และจุดเริ่มต้นของกลวยลำคลื่นจะทำให้เป็นจุดเล็ก ๆ (PIN POINT) ได้ยาก แต่จะให้การปกคลุมของเสียงได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของมัน

<u>การเปลี่ยนรูปแบบของคลื่นเสียง</u>

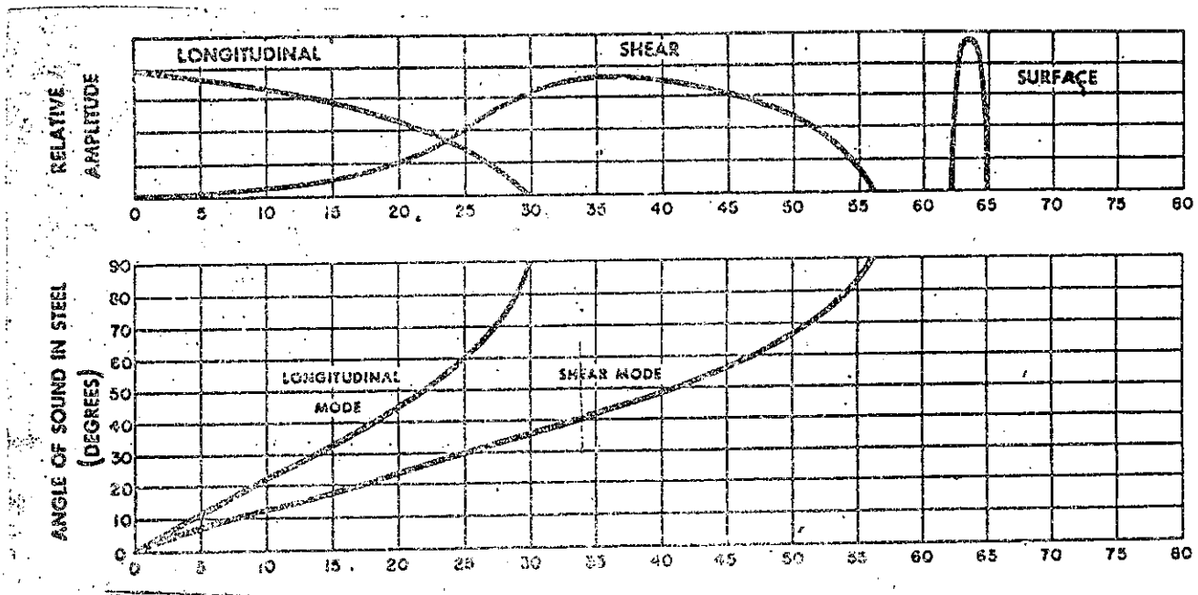
(MODE CONVERSION)

เมื่อคลื่นเสียงผ่านเข้าไปในชิ้นงานในลักษณะตั้งฉาก มันจะผ่านเข้าไปในชิ้นงานนั้นเป็นเส้นตรง หรือในลักษณะของ LONGITUDINAL WAVES ถ้าส่งคลื่นเสียงเข้าไปยังชิ้นงานในลักษณะเป็นมุม จะเกิดการสะท้อนหรือหักเหขึ้น และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของเสียง เมื่อเสียงที่ตกกระทบ (เสียงที่ส่ง) เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

โดยการจัดมุมตกกระทบของคลื่นแบบ LONGITUDINAL จะได้มุมของ SHEAR WAVES ที่ผ่านลงไปยังชิ้นงานได้ตามต้องการ

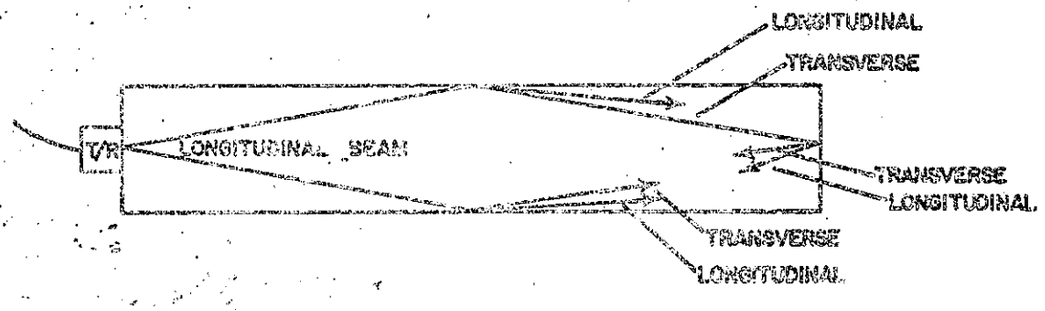
/การที่จะ.....

การที่จะทำให้เสียงผ่านเข้าไปในชิ้นงานเป็นมุมนั้น กระทำได้โดยใช้แท่งลิ่มปลัสติก ที่มีมุมขนาดต่าง ๆ (ดังรูป 15) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของเสียงในลักษณะมุมตกกระทบต่าง ๆ กัน ณ มุมตกกระทบของ LONGITUDINAL WAVES และ SHEAR WAVES ที่เกิดขึ้นเท่า ๆ กัน พร้อม ๆ กันในลักษณะเดียวกัน มุมหักเหของคลื่นทั้งสองจะแตกต่างกัน และจะเห็นได้ว่า ถ้ามุมของแท่งลิ่มปลัสติกประมาณ 23° กำลัง (AMPLITUDE) ของ LONGITUDINAL และ SHEAR WAVES จะเท่ากัน ในลักษณะเช่นนี้จะต้องหลีกเลี่ยง เพราะอาจเกิดการสับสนบนจอ CRT ขึ้นได้ และในรูปที่ 15 ถัดลงมา แสดงให้เห็นว่า ถ้ามุมแท่งลิ่มใหญ่กว่า 30° คลื่นแบบ LONGITUDINAL จะไม่เกิดขึ้น และที่มุมแท่งลิ่มใหญ่กว่า 50° กำลังของ SHEAR WAVES จะลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ ๑๕ *Effective Angles in Steel Vs Wedge Angles in Plastic.*

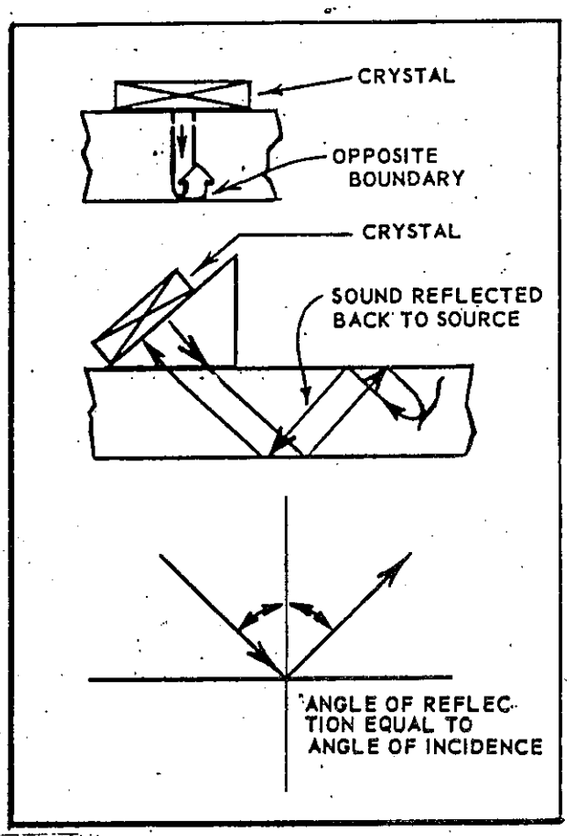
การเปลี่ยนแปลงรูปของคลื่นเสียง อาจเกิดขึ้นภายในชิ้นงานได้ ในทำนองเดียวกัน (ดังรูป 16)



รูปที่ ๑๖ *Internal Mode Conversion.*

ในลักษณะเช่นนี้อาจทำให้เกิดเครื่องหมายสับสนขึ้นบนจอหลอดภาพได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมันจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นแท่งยาว ๆ (LONG BAR)) ดังรูป 16 เสียงเดินทางในระยะที่แตกต่างกันอย่างมาก สำคลื่นเสียงจะแผ่ออกและสะท้อนจากผิวด้านข้างของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของคลื่นเสียงในลักษณะเช่นนี้ ไม่สามารถกำจัดออกหรือทำให้ลดลงได้เลย

<u>การสะท้อนเสียง</u> (REFLECTION) การสะท้อนของคลื่นเสียงนั้น จะเกิดขึ้นที่ขอบเขตระหว่างวัสดุสองชนิด ที่มีความต้านทานเสียงแตกต่างกัน สำคลื่นสามารถเปรียบได้กับลำแสงที่วิ่งผ่านบรรยากาศ และสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับกระจกเงา (ดังรูป 17)



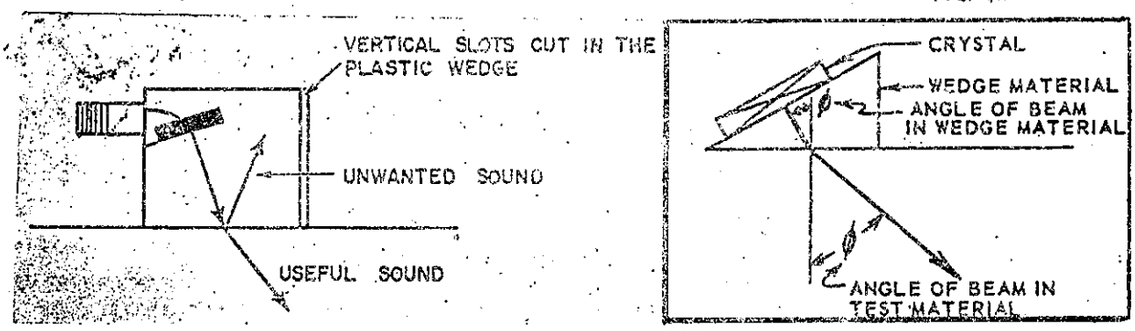
รูปที่ ๑๗ *Reflection of the Ultrasonic Beam.*

ในกรณีที่คลื่นเสียงอัลตราโซนิกกระทบกับผิวด้านในในลักษณะเป็นมุม มุมสะท้อนกลับของมันจะเท่ากับมุมตกกระทบ (ดังรูป 17 ด้านล่าง)

<u>การหักเหของเสียง</u> (REFRACTION) เมื่อทำให้คลื่นเสียงอัลตรา ผ่านลงไปยังชิ้นงานเป็นมุม จะเกิดการหักเหของลำคลื่นขึ้น ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากความแตกต่างของความเร็วเสียง ระหว่างแท่งลิ่มปลัสติกกับชิ้นงาน มุมการสะท้อนกลับบริเวณผิวหน้าจะเท่ากับ

/มุมตกกระทบ.....

มุมตกกระทบของคลื่นเสียงนั้น คลื่นเสียงอีกส่วนหนึ่งจะผ่านลงไปยังชิ้นงาน แต่มุมที่มันเดินทางผ่านลงไปนั้นจะผิดไปจากเดิม หรือจะพูดได้ว่ามันเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของเสียง



ดูรูปที่ ๑๘. *Refraction of the Ultrasonic Beam.*

ดังรูป 18 ปกติจะจัดมุมตกกระทบบนแท่งลิ่มเป็นแบบ LONGITUDINAL WAVES (0° กับแนวแกน) คลื่นเสียงที่ผ่านลงไปยังชิ้นวัสดุ อาจจะเป็น LONGITUDINAL WAVES หรือ SHEAR WAVES หรือทั้งสองอย่างพร้อม ๆ กันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมของแท่งลิ่ม สำหรับมุมที่ส่งลงไปยังชิ้นวัสดุระหว่าง 0 – 40° กับแนวแกนโดยประมาณ จะต้องใช้คลื่นเสียงแบบ LONGITUDINAL สงลงไปจึงจะได้ประสิทธิภาพดี และมุมระหว่าง 45° – 90° กับแนวแกนที่ส่งลงไปยังชิ้นวัสดุ จะต้องใช้คลื่นเสียงแบบ SHEAR WAVES จึงจะได้ประสิทธิภาพดี ทั้งนี้ มุมตกกระทบจะต้องไม่ให้ถูกกับมุมที่วิกฤตเหมือนในแนวเดียวกัน ในช่วงการใช้คลื่นเสียงแบบ LONGITUDINAL (0° – 40°) กำลังของ SHEAR WAVES จะมีค่าน้อยมาก และจะต้องระมัดระวัง ถ้าแท่งลิ่มพลัสติกที่ทำให้เกิด LONGITUDINAL WAVES และ SHEAR WAVES ที่มีกำลังเท่า ๆ กัน จะทำให้ยากแก่การตีความเครื่องหมายที่เกิดขึ้นบน CRT

ดังนั้น เมื่อเสียงเดินทางผ่านแท่งลิ่มพลัสติกไปยังชิ้นวัสดุที่นำมาตรวจ จะต้องเกิดการหักเหหรือเบี่ยงเบนไปจากเดิม ทั้งนี้ เนื่องจากความเร็วเสียงต่างกันในวัสดุทั้งสอง การเบี่ยงเบนของลำคลื่นจะสามารถหาได้จากสูตรของ SNELL (SNELL'S LAW)

$$\frac{\text{SIN } \Theta 1}{\text{SIN } \Theta 2} = \frac{V_1}{V_2}$$

เมื่อ Θ_1 = มุมของเสียงในแท่งลิ่มพลัสติก

Θ_2 = มุมหักเหของเสียงที่เดินทางผ่านไปยังชิ้นงาน

V_1 = ความเร็วเสียงในแท่งลิ่มพลัสติก

V_2 = ความเร็วเสียงในชิ้นงาน

<u>ชนิดของชุดค้นหารอยตำหนิ</u> (TYPE OF SEARCH UNIT)

การค้นหารอยความไม่สมบูรณ์ด้วยวิธีการตรวจแบบ ULTRASONIC นั้นมีอยู่หลายแบบ

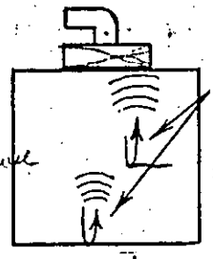
/การที่จะ.....

การที่จะเลือกใช้แบบหนึ่งแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของชิ้นงาน ตำแหน่ง และลักษณะของรอยตำหนิที่ต้องการหา ในบางกรณีอาจจะต้องใช้ TRANSDUCER หลาย ๆ แบบร่วมกันในการตรวจครั้งหนึ่ง ๆ และหรือเพื่อพิสูจน์ทราบให้แน่นอนลงไป

ชนิดของชุดค้นหารอยตำหนิ สามารถแบ่งหยาบ ๆ ได้ 4 กลุ่มด้วยกัน คือ

ชุดค้นหาแบบส่งคลื่นเสียงตรงโดยวิธีแตะสัมผัส ชุดค้นหาแบบส่งคลื่นเสียงเป็นมุมโดยวิธีแตะสัมผัส ชุดค้นหาแบบส่งคลื่นเสียงตามผิวโดยวิธีแตะสัมผัส และชุดค้นหาแบบ IMMERSION

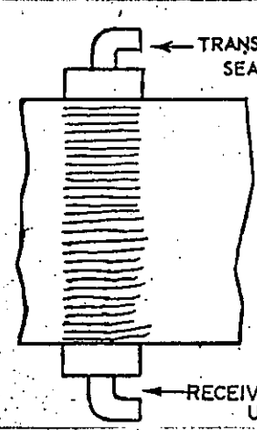
1. <u>ชุดค้นหาแบบส่งคลื่นเสียงตรงโดยวิธีแตะสัมผัส</u> (STRAIGHT BEAM SEARCH UNIT FOR CONTACT TESTING) ชุดส่งคลื่นเสียงอัลตราแบบนี้ จะส่งคลื่นเสียงตั้งฉากกับผิวของชิ้นงาน



รูปที่ ๑๙ *Pulse-Echo.*

PULSE ECHO ชุดค้นหารอยตำหนิแบบนี้ จะทำงานทั้งส่งและรับคลื่นเสียง มันจะส่งคลื่นเสียงแบบ LONGITUDINAL ลงไปยังวัสดุที่นำมาตรวจ และจะรับเสียงที่สะท้อนกลับจากผิวด้านตรงข้าม และจากรอยความไม่สมบูรณ์ที่ขวางทางกับลำเสียงที่ส่งลงไปนั้น (ดูรูป 19)

THROUGH TRANSMISSION (PITCH AND CATCH METHOD) วิธีนี้ TRANSDUCER ที่ทำหน้าที่ส่งคลื่นเสียง และตัวที่ทำหน้าที่รับคลื่นเสียงจะอยู่ที่ผิวของชิ้นงานด้านตรงกันข้ามกัน ณ ตำบลที่จะตรวจ ในลักษณะนี้จะต้องใช้ TRANSDUCER จำนวน 2 ตัว ตัวหนึ่งจะต่อเข้ากับปลั๊กเสียบช่อง TRANSMITTER (ใช้อักษรย่อว่า T) และอีกตัวหนึ่งต่อเข้ากับปลั๊กเสียบช่อง RECEIVER (ใช้อักษรย่อ R) (ดังรูป 20)



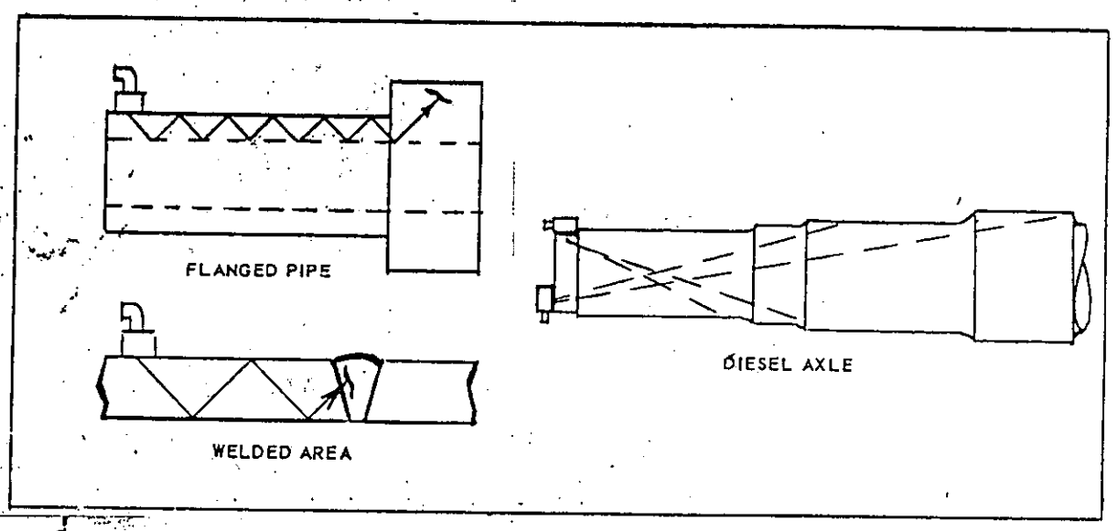
รูปที่ ๒๐ *Through Transmission Search Unit.*

คลื่นเสียงที่ส่งไปจาก TRANSDUCER ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่ง จะมีปฏิกริยาเหมือน ๆ กับแบบ PULSE ECHO คือ มันจะสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับรอยตำหนิ และผิวด้านตรงข้าม แต่คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมานี้จะไม่นำมาใช้ TRANSDUCER ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับจะอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ที่จะรับคลื่นเสียงที่เดินทางผ่านลงมายังผิวด้านตรงกันข้ามของชิ้นงานนั้น ถ้ามีรอยตำหนิเกิดขึ้นภายในตรงบริเวณที่กำลังทำการตรวจนั้น จะทำให้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านลงไปลดลง (เพราะบางส่วนได้สะท้อนกลับไป) TRANSDUCER ก็จะได้รับสัญญาณลดลงด้วย เครื่องหมายที่แสดงการลดลงของสัญญาณนี้ หมายถึงว่า มีรอยตำหนิตรงแนวของลำคลื่นเสียงที่มันผ่าน ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของ THROUGH TRANSMISSION ก็คือ ไม่สามารถทราบตำแหน่งของรอยตำหนิว่าอยู่ลึกลงไปจากผิดเพียงใด แต่อาจทราบได้เพียงว่า รอยตำหนินั้นอยู่ใกล้ผิวหรือไม่เท่านั้น ซึ่งถ้ารอยตำหนิอยู่ใกล้ตัวส่ง หรือตัวรับแล้ว จะทำให้กำลังของสัญญาณที่รับได้ลดลงอย่างทันทีทันใด เมื่อเทียบกับรอยตำหนิขนาดเดียวกันที่อยู่บริเวณตอนกลางของชิ้นงาน

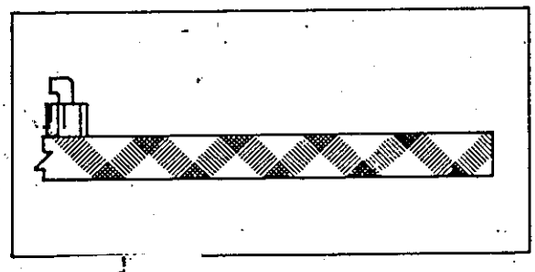
เทคนิคการตรวจแบบนี้มีประโยชน์มากในบางครั้ง เมื่อวัสดุที่กำลังตรวจคลื่นเสียงผ่านได้ยาก หรือวัสดุชิ้นนั้นบางมากเกินไป จนไม่สามารถตรวจด้วย PULSE ECHO ได้ ในวัสดุที่มีเนื้อชนิดเดียวกันและมีเนื้อแน่นดี จะต้องจัดให้ TRANSDUCER ทั้งสองได้แนวตรงกัน ซึ่งสัญญาณที่ได้รับจากตัวส่งจะได้สูงสุด รอยตำหนิที่ขวางทางของคลื่นเสียงผ่าน จะทำให้สัญญาณที่ได้รับลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากการสะท้อนกลับของมัน การลดลงของสัญญาณที่ได้รับจะบ่งถึงขนาดของรอยตำหนิ และกำลังของสัญญาณที่รับได้จะเปรียบเทียบกับสัญญาณส่งเป็นเปอร์เซ็นต์

เทคนิคการตรวจแบบ THROUGH TRANSMISSION นี้ ยังนิยมนำมาใช้ตรวจสอบการยึดติดของกาว (เช่น การยึดติดระหว่างผิวบุกับ HONEY COMB) ถ้ากาวยึดติดดี สัญญาณที่รับได้จะสมบูรณ์ ถ้าการยึดติดของกาวไม่ดี สัญญาณที่รับได้จะลดลง ซึ่งจะแสดงให้เห็นบนจอ CRT นอกจากนั้นแล้วยังอาจใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานว่าใช้ได้หรือไม่ด้วย (GO, NO-GO TEST)

2. <u>ชุดค้นหา ๆ แบบส่งคลื่นเสียงเป็นมุมโดยการแตะสัมผัส</u> (ANGLE BEAM SEARCH UNITS FOR CONTACT TESTING) ชุดค้นหาแบบส่งคลื่นเสียงเป็นมุม ออกแบบมาเพื่อให้คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปยังชิ้นงานที่นำมาตรวจเป็นมุมกับผิวของมัน ตัว CRYSTAL ติดอยู่บนแท่งพลาสติก โดยคลื่นเสียงอัลตราที่เกิดจาก CRYSTAL จะถูกส่งผ่านไปยังแท่งพลาสติกตามมุมที่กำหนด ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบที่ต้องการส่งลงไปยังชิ้นงานนั้น ๆ ในลักษณะนี้ก็อาจสามารถตรวจพบรอยความไม่สมบูรณ์แฝงตัวอยู่ ซึ่งไม่สามารถตรวจพบด้วยคลื่นเสียงแบบส่งตรงได้ (ดังรูป 21) ชุดค้นหาแบบนี้ยังใช้ตรวจวัสดุชิ้นบาง ๆ เช่น SHEET และ PLATE (ดังรูป 22) และใช้ตรวจกับชิ้นงานที่มีรูปร่างทรงกระบอก (PIPE) อีกด้วย (ดังรูป 23)

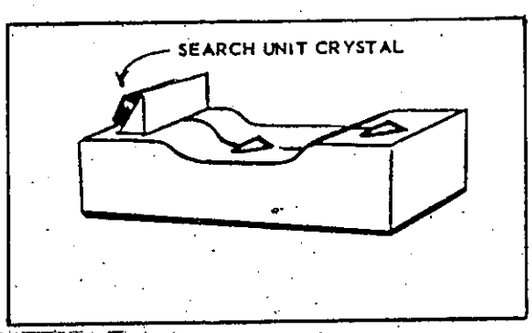


รูปที่ ๒๑ *Use of Angle Beam to Scan Areas that Straight Beam Cannot Reach.*



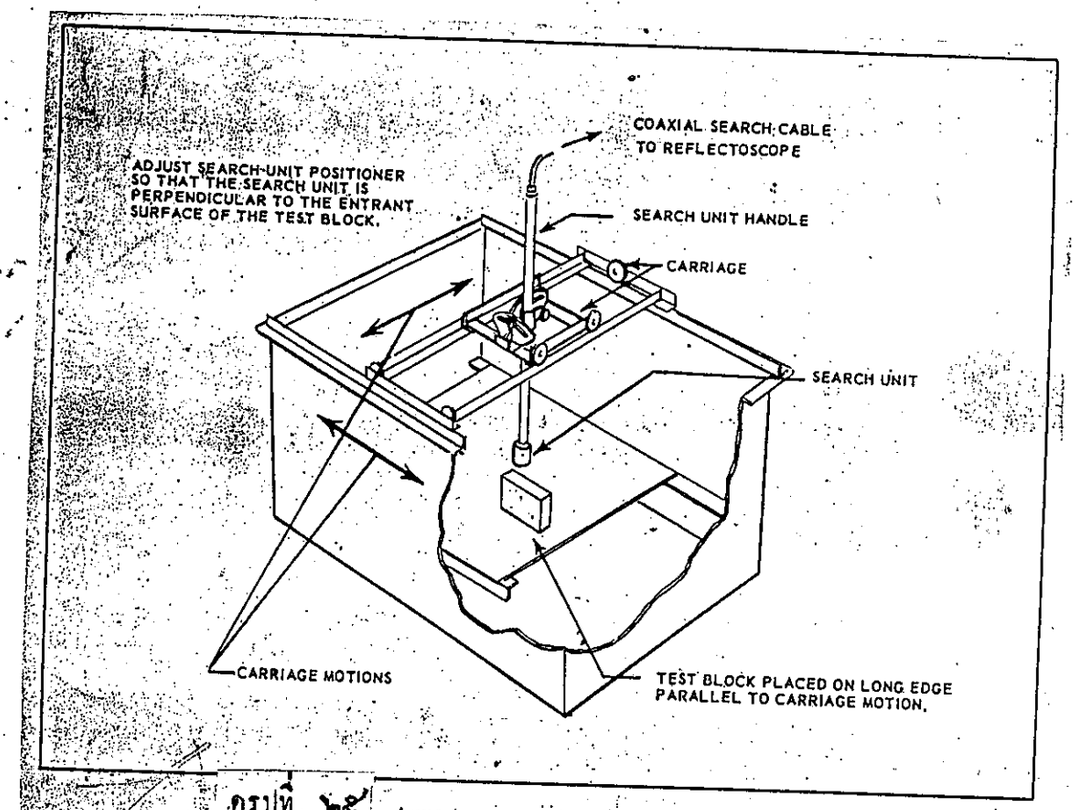
รูปที่ ๒๒ *Angle Beam Used to Scan Plate and Sheet.*

3. ชุดค้นหา ฯ แบบส่งคลื่นเสียงตามผิวโดยวิธีเกาะสัมผัส (SURFACE WAVE SEARCH UNIT FOR CONTACT TESTING) ชุดส่งคลื่นตามผิวนี้เหมือน ๆ กับชุดค้นหาแบบส่งคลื่นเสียงเป็นมุม แต่แตกต่างกันที่แท่งลิ่มปลัสติก มันจะจัดมุมให้พอเหมาะที่ส่งคลื่นเสียงไปตามผิวของชิ้นงาน



รูปที่ ๒๓ *Surface Wave Search Unit.*

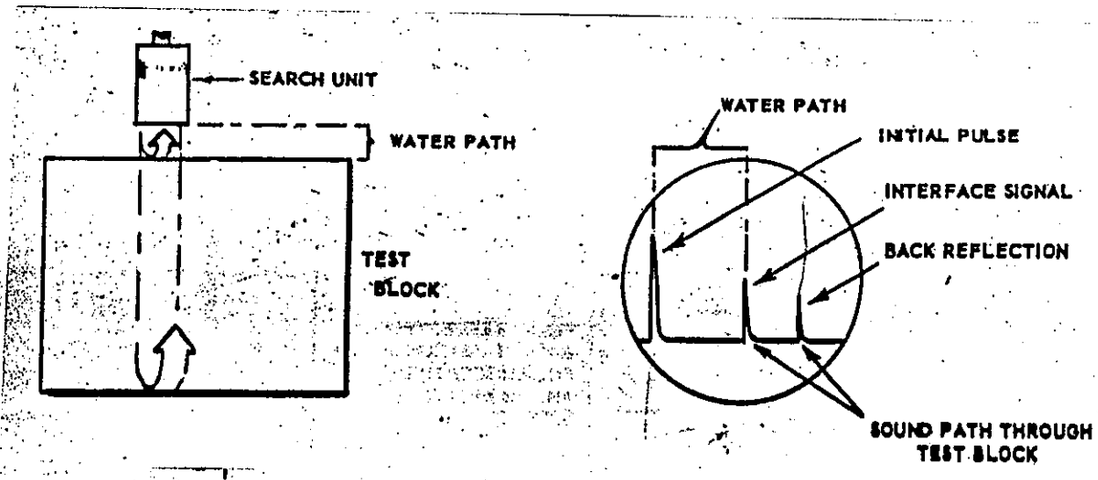
4. ชุดค้นหา ฯ แบบแช่ในของเหลว (IMMERSION SEARCH UNITS)
การตรวจด้วยวิธีแช่ในของเหลว ชุดค้นหาและชิ้นงานที่นำมาตรวจต้องแช่ในน้ำหรือของเหลวที่เหมาะสมมีที่ติดตั้ง TRANSDUCER เพื่อที่จะให้มันเคลื่อนตัวได้ตามต้องการ เช่นปรับให้ทางออก หดเข้า ไปซ้ายขวา หน้าหลัง เป็นต้น (ดูรูป 25)



ภูรูปที่ ๒๕ Arrangement of Accessory Equipment for Single Search Unit Operation

ระยะห่างระหว่าง TRANSDUCER กับชิ้นงาน สามารถปรับและทราบระยะได้ (ระยะของน้ำที่ขั้นระหว่าง TRANSDUCER กับชิ้นงาน) ถ้าระยะห่างน้อยกว่าระยะที่กำหนดแล้ว อาจจะทำให้สัญญาที่รับได้มีมากเกินไป ซึ่งมันจะซ้อนกันจนดีความได้ยาก สัญญาณที่สองที่สะท้อนกลับมานี้อาจเกิดจากผิวของชิ้นงาน สัญญาณที่ว่านี้จะต้องย้อนกลับมาถึงก่อนสัญญาณที่เกิดจากผิวด้านล่างของชิ้นงาน เพราะฉะนั้น ช่วงระยะเวลาที่เกิดขึ้นในระหว่างสัญญาณจากการสะท้อนกลับ เมื่อกระทบผิวบนของชิ้นงานในครั้งที่สอง จะต้องเท่ากับหรือมากกว่าช่วงเวลาของสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนกลับ เมื่อผ่านน้ำและผิวของชิ้นงานลงไปยังผิวด้านล่างของชิ้นงาน

น้ำและวัสดุที่มีความเร็วเสียง เป็นอัตราส่วนประมาณ 1:4 นี้แล้ว จะไม่ทำให้เกิดสัญญาณซ้อนบน CRT อันเนื่องมาจากการสะท้อนกลับระหว่างผิวด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานนี้ได้ (ดูรูป 26)



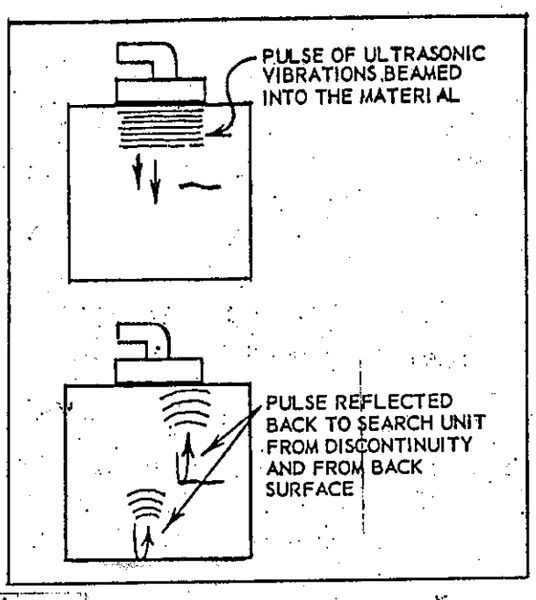
ภูรูปที่ ๒๖. *Sound Path Through Water and Test Block.*

เทคนิคเบื้องต้นในการตรวจ

(BASIC INSPECTION TECHNIQUES)

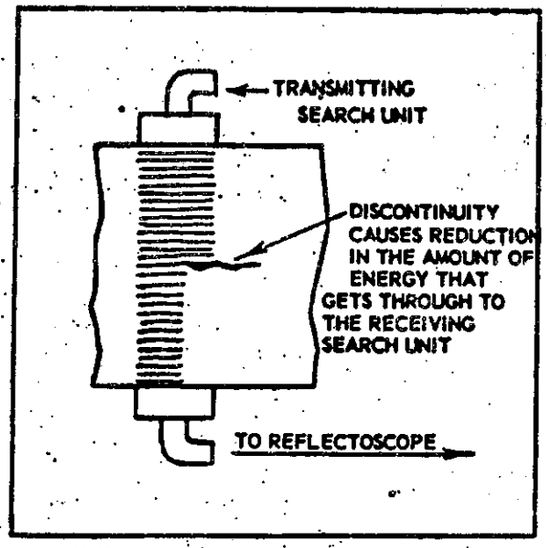
PULSE-ECHO เทคนิคการตรวจแบบนี้ใช้ TRANSDUCER เพียงตัวเดียว ซึ่งมันจะทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวส่งและตัวรับคลื่นเสียง มันทำหน้าที่ส่งคลื่นเสียงแบบ LONGITUDINAL ลงไปยังชิ้นวัสดุที่นำมาตรวจ และรับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับจากผิวด้านหลัง หรือจากรอยความไม่สมบูรณ์ที่ขวางเส้นทางคลื่นเสียงนั้น ในการตรวจด้วยวิธีนี้สัญญาณที่เกิดจากรอยความไม่สมบูรณ์จะแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่แสดงออกมาบนจอหลอดภาพ CRT ฉะนั้น จึงสามารถทราบขนาดและตำแหน่งโดยประมาณของรอยความไม่สมบูรณ์นั้น ๆ ได้ และมันต้องการเข้าถึงเพียงด้านหนึ่งด้านใดเท่านั้น เพื่อความสะดวกแก่ผู้ปฏิบัติที่จะใช้ TRANSDUCER แตะสัมผัสได้ และที่ทำได้อย่างง่ายดาย

อย่างไรก็ตาม เทคนิคการตรวจแบบ PULSE ECHO นี้มีข้อจำกัด กล่าวคือ มันจะตรวจชิ้นงานยาวที่สุดไม่เกิน 40 ฟุต (ระยะที่คลื่นเสียงเดินทางได้ไกลสุด) และมันยังมีขีดจำกัดที่บริเวณใกล้ ๆ ผิวตรงบริเวณใต้ TRANSDUCER (DEAD OR NO-TEST ZONE) และวิธีนี้นิยมใช้ตรวจกันอย่างกว้างขวางกับชิ้นส่วนอากาศยาน



รูปที่ ๒๘ *Pulse-Echo Inspection Technique.*

THROUGH TRANSMISSION ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในหัวข้อของชนิดของชุดค้นหา ฯ ตัว TRANSDUCER ทั้งสองจะวางอยู่บนผิวชิ้นงานด้านตรงกันข้าม ณ ตำบลที่ทำการตรวจ ในลักษณะนี้จะต้องใช้ TRANSDUCER จำนวน 2 ตัว คือตัวแรกทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นเสียง และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับคลื่นเสียง และจะต้องวาง TRANSDUCER ให้อยู่ในแนวเดียวกัน ที่บนผิวทั้งสองข้างของชิ้นงานที่จะตรวจ (ดูรูป 28)



รูปที่ ๒๘. *Through Transmission.*

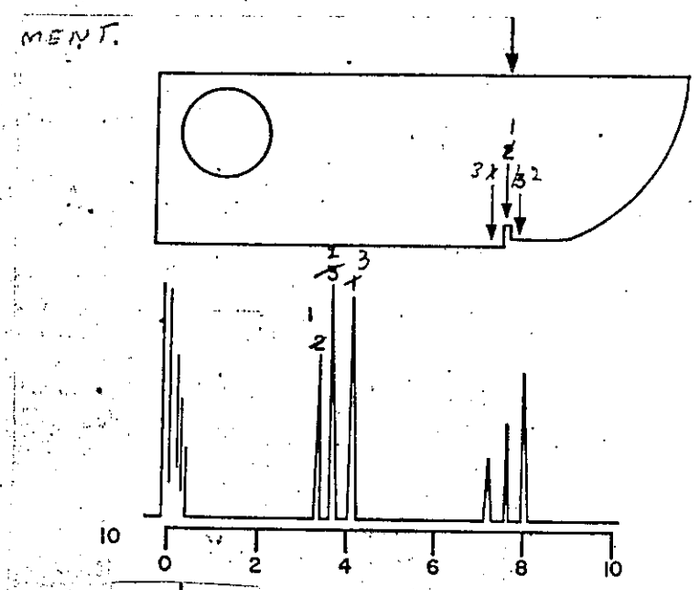
คลื่นเสียงที่ส่งไปยังตัวส่ง (TRANSMITTER) ทำงานเหมือน ๆ กับแบบ PULSE ECHO แต่คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับเข้ามายังตัวส่งนี้ไม่นำมาใช้ ตัวรับ (RECIEVER) จะวางในตำแหน่งที่เหมาะสม ที่จะรับคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเนื้อวัสดุมายังมัน รอยตำหนิที่อยู่ภายในชิ้นวัสดุจะทำให้สัญญาณมาถึงตัวรับลดลง เครื่องหมายที่แสดงบนจอหลอดภาพแสดงถึงการลดลงของสัญญาณนั้น ซึ่งก็ทราบได้ว่ามีรอยตำหนิเกิดขึ้นแล้ว ข้อจำกัดข้อหนึ่งของเทคนิคการตรวจแบบนี้ก็คือ ไม่สามารถหาตำแหน่งของรอยตำหนิได้อย่างแน่นอน แต่อาจให้ข้อสังเกตุในกรณีเกี่ยวเท่านั้น คือ เครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากรอยตำหนิใกล้ ๆ ผิว (จะเป็นด้าน TRANSMITTER หรือ RECIEVER สัญญาณจะหดสั้นลงกว่ารอยตำหนิที่มีขนาดเดียวกันแต่อยู่บริเวณตอนกลางของชิ้นงาน เทคนิคการตรวจแบบนี้นำมาใช้ตรวจชิ้นงานที่คลื่นเสียงเดินผ่านได้ยาก ได้ดีกว่าแบบ ECHO ความสูงของสัญญาณที่รับได้ กับสัญญาณที่ส่ง สามารถนำมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์และขนาดของรอยตำหนิอาจทราบได้โดยการเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณ

จุดประสงค์ของชิ้นมาตรฐานการตรวจด้วยคลื่นเสียงอัลตรา

(PURPOSE OF ULTRASONIC STANDARDS)

เพื่อความเที่ยงตรงและไว้ใจได้ในการตรวจด้วยวิธี ULTRASONIC จะต้องใช้ชิ้นมาตรฐานอ้างอิงที่ดี ได้มีการพยายามออกแบบและสร้างชิ้นมาตรฐาน หรือชิ้นตัวอย่างในการตรวจด้วยวิธีนี้กันอย่างมากมายหลาย ๆ แบบ ซึ่งแต่ละแบบก็ได้สร้างให้มีรอยตำหนิขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ กัน และชิ้นมาตรฐานแต่ละแบบก็ไม่สามารถให้ข้อมูลที่ต้องการให้ครบถ้วนได้ จุดประสงค์ของชิ้นมาตรฐานมีดังนี้.-

/1. เพื่อกรรมวิธี.....

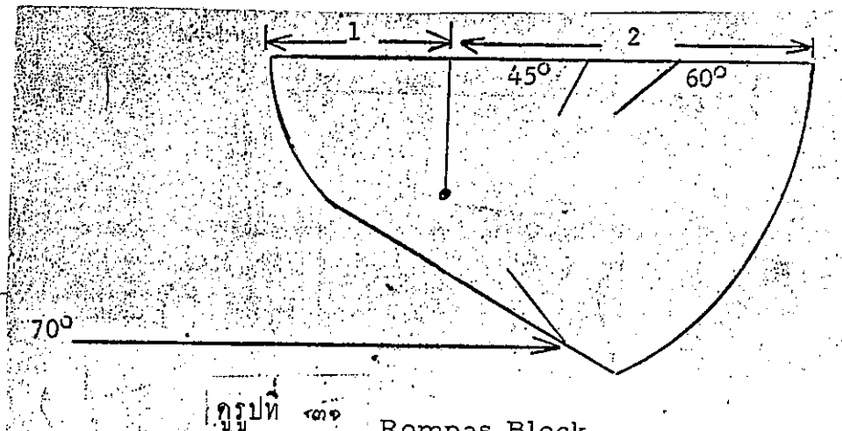


ภูรูปที่ ๓๐ *Checking Resolution.*

รายละเอียดแนะนำการใช้ชิ้นมาตรฐานชนิดนี้ ตาม TO 33- 25 - 224 ดังตัวอย่าง เช่น มันสามารถตรวจสอบการตอบรับของ TRANSDUCER (ดูรูป 30) ปฏิกริยาการตอบรับ คือ ความสามารถที่บ่งถึงความแตกต่างของสัญญาณตั้งแต่สองสัญญาณขึ้นไป อันเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความลึกของผิวที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณนั้น ๆ การทดสอบปฏิกริยาตอบรับ กระทำได้โดยใช้ TRANSDUCER แตะสัมผัสลงบนชิ้นมาตรฐานในตำแหน่ง (ดังรูป 30) ความแตกต่างการเดินของสัญญาณดังได้แสดงไว้แล้ว การสะท้อนกลับจากผิวที่คลื่นเสียงตกกระทบในระดับความลึกต่าง ๆ กันนี้ จะทำให้เกิดสัญญาณที่แตกต่างณ ความถี่ 2.25 MHZ หรือที่ความถี่สูงกว่า

2. MINIATURE CALIBRATION BLOCK

เป็นชิ้นมาตรฐานขนาดเล็ก ออกแบบเพื่อใช้กับ ANGLE TRANSDUCER ขนาดเล็ก (MINIATURE ANGLE BEAM SEARCH UNITS) TRANSDUCER จะส่งคลื่นเสียงเป็นมุมตกกระทบ จะเกิดการหักเหของคลื่นเสียง เมื่อผ่านลงไปยังชิ้นมาตรฐานเป็นมุมและระยะทางที่ทราบได้



ภูรูปที่ ๓๑ Rompas Block.

แต่เนื่องจากมันมีขนาดเล็ก จึงนิยมนำมาใช้ในงานชนิดนี้ ซึ่งก็คือ ๆ กับที่จะนำไปใช้ในห้องแลบ

3. ALCOA BLOCKS

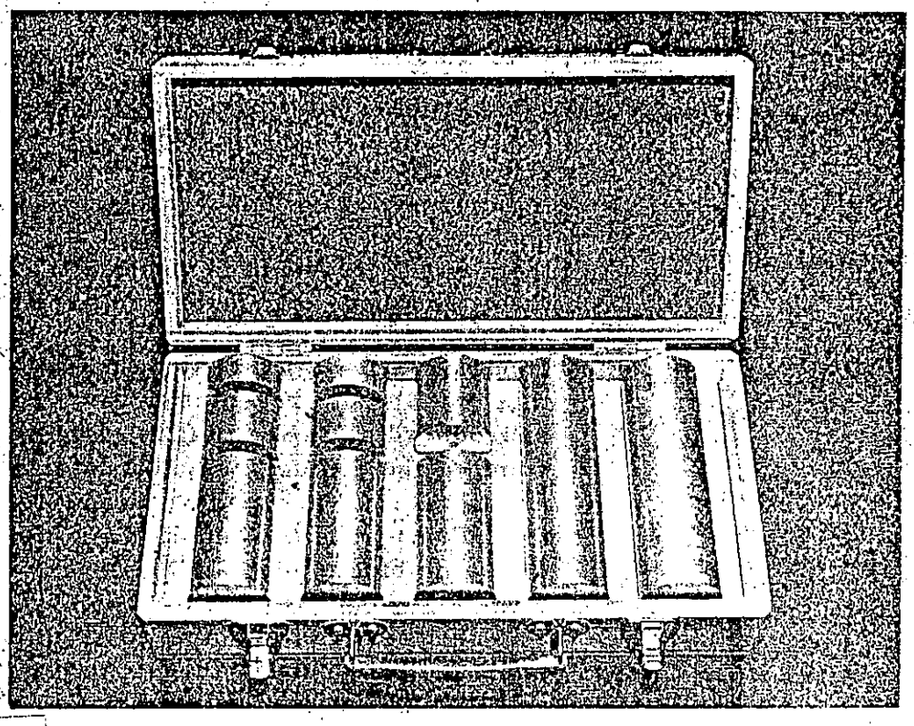
ชิ้นมาตรฐานแบบ ALCOA, SERIES " A " ประกอบด้วยลักษณะดังนี้.-

1. ชุดประกอบชิ้นมาตรฐาน มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจตุรัส 8 ชิ้น
2. ทุก ๆ ชิ้นจะมีขนาดเท่ากันหมด คือ ยาว 3 $\frac{3}{4}$" และสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 1 $\frac{15}{16}$"
3. ทุกชิ้นจะเจาะรูลึก $\frac{3}{4}$" จากด้านลาง (ลักษณะรูก้นเรียบ)
4. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู เริ่มจากชิ้นลำดับที่ 1 ได้แก่ $\frac{1}{64}$" , $\frac{2}{64}$ ", $\frac{3}{64}$", $\frac{4}{64}$"- $\frac{5}{64}$", $\frac{6}{64}$", $\frac{7}{64}$", และ $\frac{8}{64}$
5. อัตราส่วนของพื้นที่ผิว การสะท้อนกลับของก้นรู เรียงตามขนาดเมื่อเทียบกับชิ้นแรก คือ 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, และ 64

The basic set "107S" consists of 10 blocks as follows:

- 6" with 5/64" test hole
- 6" with 8/64" test hole
- 3" with 3/64" test hole
- 3" with 5/64" test hole
- 3" with 8/64" test hole
- 1 1/2" with 5/64" test hole
- 3/4" with 5/64" test hole
- 1/2" with 5/64" test hole
- 1/4" with 5/64" test hole
- 1/8" with 5/64" test hole

ULTRASONIC REFERENCE GAUGES (HITT BLOCKS)



ASTM Standard Reference Blocks, Type 107S.

4. HITT BLOCKS

คือชิ้นมาตรฐานแบบ ALCOA SERIES " B " ซึ่งนิยมเรียกกันว่า HITT BLOCKS การใช้งานแตกต่างจากการเปรียบความในความสูงของสัญญาณที่ได้รับจากรูก้นเรียบ (FLAT BOTTOM HOLE)) ลักษณะของมันเหมือนกับ SERIES " A " แต่เจาะรูก้นเรียบขนาด $\frac{5}{64}$" ที่ระดับความลึกแตกต่างกัน คือ $\frac{1}{8}$" จากผิว เป็นลำดับจนถึง 6" ชิ้นมาตรฐานแบบนี้นำมาใช้ทดสอบปฏิกริยาตอบรับ (RESOLUTION)ของสัญญาณ ความไวในการตรวจพบรอยตำหนิ (SENSITIVITY), NEAR FIELD EFFECT การจางลงของสัญญาณ และความเร็วเสียงในชิ้นงาน

5. ASTM BLOCKS

ใช้ตรวจปรับระยะความลึก พื้นที่ หรือกำลังของสัญญาณ (ความสูง) หนึ่งชุดประกอบด้วยชิ้นมาตรฐาน 10 ชิ้น ชิ้นมาตรฐานชุดนี้จะเจาะรูก้นเรียบไว้แตละแห่ง เพื่อทดสอบพื้นที่หรือขนาดของรอยตำหนิ (เหมือน ALCOA) โดยเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณและความลึกของรูมีขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อใช้เป็นมาตรฐานระยะทาง (เหมือน HITT BLOCKS) สำหรับชิ้นที่ใช้เปรียบเทียบความสูงของสัญญาณจะมี 3 ชิ้น ประกอบด้วยรูก้นเรียบ ขนาด $\frac{3}{64}$" $\frac{5}{64}$" และ $\frac{8}{64}$" ความลึกของก้นรูถึงผิวเท่ากับ 3" และชิ้นมาตรฐานที่เหลืออีก 7 ชิ้น ใช้เปรียบเทียบระยะความลึก ชุดหลังนี้จะเจาะรูก้นเรียบขนาด $\frac{5}{64}$" จำนวน 6 ชิ้น ระยะความลึกจากผิวถึงก้นรู (FBH) ได้แก่ $\frac{1}{8}$" $\frac{1}{4}$", $\frac{1}{2}$", $\frac{3}{4}$", $1\frac{1}{2}$" และ 6" ส่วนชิ้นสุดท้ายจะเจาะรูขนาด $\frac{8}{64}$" ระยะความลึกจากผิวถึงก้นรูเท่ากับ 6"

การสร้างชิ้นมาตรฐาน(TEST BLOCK CONSTRUCTION)

ในการสร้างชิ้นมาตรฐานจะต้องมีความปราณีตมาก เพราะอาจมีเครื่องหมายอื่น ๆ เกิดขึ้นที่นอกเหนือจากเครื่องหมายที่ทำขึ้นเอง ในการตรวจด้วยวิธี ULTRASONIC ข้อกำหนดที่ใช้เป็นมาตรฐานในการตัดสินใจ คือ "วัสดุใดที่มีเครื่องหมายที่เกิดจากรอยความไม่สมบูรณ์โตกว่า $\frac{5}{64}$" (FBH) ในระยะความลึกเดียวกันต้องจำหน่ายชิ้นงานชิ้นนั้น ๆ" แต่เนื่องจากว่า ไม่สามารถเปรียบเทียบระหว่างรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในชิ้นงานกับรอยตำหนิที่สร้างขึ้นในชิ้นมาตรฐานได้อย่างแน่นอนสมบูรณ์ ดังนั้น ข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวที่ใช้เป็นเบาหลานในการตัดสินใจจำหน่ายชิ้นวัสดุนั้นคือ "เครื่องหมายที่เกิดจากรอยตำหนิต้องใหญ่กว่าเครื่องหมายที่เกิดจาก $\frac{5}{64}$" (FBH) ในชิ้นมาตรฐาน"

สำหรับสิ่งอ้างอิงในการปรับความไวของเครื่องมือนั้น ได้แก่ พื้นที่ของรูก้นเรียบขนาดต่าง ๆ ที่เจาะลงในชิ้นวัสดุที่เหมาะสม ได้มีการกล่าวมาก่อนแล้วว่า ความสูงของสัญญาณที่สะท้อนกลับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัดของรูที่เจาะไว้ ปกติแล้วระยะลึกของรูที่

/ยอมรับ.....

ยอมรับใช้เป็นมาตรฐานได้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางดังนี้ คือ $\frac{3}{64}$", $\frac{5}{64}$", $\frac{8}{64}$" และ $\frac{12}{64}$" ชิ้นมาตรฐานแต่ละชิ้นจะเจาะรูให้มีความลึกจากผิวไม่เท่ากัน เพราะเนื่องการเปรียบเทียบการจางลงของคลื่นเสียง เมื่อเดินทางผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุในระยะต่าง ๆ กัน และรูกันเรียบจะต้องขนานกับผิวของชิ้นงานด้วย

ในด้านการใช้งาน ความไวหรือกำลังขยายของเครื่องมือต่อรอยตำหนิที่เกิดจาก FBH นั้น เราสามารถปรับความสูงของ PIP ที่ปรากฏบนจอ CRT ได้ตามต้องการ ในขณะปฏิบัติงานกับชิ้นงานจริง ๆ เครื่องหมายที่เกิดขึ้นจากรอยตำหนิจะเท่ากับหรือใหญ่ เครื่องหมายที่เกิดจากชิ้นมาตรฐานนั้นถือว่า ชิ้นงานนั้นใช้ไม่ได้ต้องจำหน่ายต่อไป

ชิ้นมาตรฐานจะต้องทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับชิ้นงาน แต่อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วเป็นไปได้ยาก ดังนั้น ชิ้นมาตรฐานะที่ทำจากวัสดุเจือ LIGH ALLOY จึงน่าจะนำมาพิจารณาใช้แทนวัสดุทั่ว ๆ ไปได้เกือบทุกชนิด

เมื่อนำชิ้นมาตรฐานมาใช้งาน หลาย ๆ สิ่งที่ต้องควบคุมและทำความเข้าใจเพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งจะได้กล่าวดังต่อไปนี้

1. สภาพผิวที่ทำการตรวจ สภาพผิวที่แตกต่างกัน ณ ตำบลเดียวกันจะทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าสภาพของเนื้อวัสดุภายในจะเหมือนกัน

2. จะต้องใช้ COUPLANT ชนิดเดียวกันในการตรวจวิเคราะห์ชิ้นงานนั้น ๆ เพราะ COUPLANT ที่ต่างกันจะทำให้ความสูงของสัญญาณต่างกัน

3. ควรทำบันทึกกรรมวิธีการตรวจและผลการตรวจ โดยหาข้อมูลและประวัติการตรวจโดยสมบูรณ์เท่าที่จะหามาได้

4. ควรทำการตรวจทุก ๆ ส่วน หรือทดสอบเท่าที่กระทำได้ในลักษณะต่าง ๆ กัน

" DOUBLE CHECK "

<u>ชิ้นมาตรฐานของ THROUGH TRANSMISSION</u>

ชิ้นมาตรฐานของ THROUGH TRANSMISSION นี้ ไม่ได้มีการออกแบบไว้โดยเฉพาะ ถึงแม้ว่าจะได้มีการใช้กรรมวิธี THROUGH TRANSMISSION ในการตรวจอย่างกว้างขวางก็ตาม ปกติแล้วจะทำการทดสอบกำลังหรือความสูงของสัญญาณกับบริเวณหนึ่งบริเวณใดของชิ้นงานที่มีวัสดุ รูปร่าง และส่วนประกอบคล้ายคลึงกัน ความแตกต่างของสัญญาณที่รับได้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดย การลดหรือเพิ่มกำลังขยายเป็น DB (DECIBEL) ซึ่งปุ่มปรับกำลังขยาย (GAIN CONTROL) ของเครื่องมือ จะแสดงออกมาเป็นตัวเลขมีหน่วยเป็น DB การให้การยอมความไม่สมบูรณ์หรือรอยตำหนิ กระทำได้โดยเปรียบเทียบการลดลงของสัญญาณที่รับได้จากชิ้นงานนั้น ๆ กับสัญญาณที่ได้จากชิ้นมาตรฐานอ้างอิง

/ถ้าชิ้นงาน.....

(อาจนำชิ้นงานชิ้นใหม่ หรือชิ้นที่สมบูรณ์มาเป็นมาตรฐานอ้างอิงได้)

ชิ้นมาตรฐานจากรอยตำหนิธรรมชาติ (NATURAL DEFECT STANDARD)

ถ้าใช้รอยตำหนิที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติมาทำเป็นชิ้นมาตรฐาน ก็จำให้สัมฤทธิ์ผลในการตรวจได้บ่อย ๆ ครั้งมาแล้ว ถึงแม้ว่ารอยตำหนิตามธรรมชาติสามารถทำเทียมได้ไม่ง่ายนัก และโดยปกติมันก็มีขีดจำกัด ที่ใช้งานได้เฉพาะชิ้นงานชนิดนั้น ๆ เท่านั้น

เพิ่มเติม

การตรวจด้วยวิธีคลื่นเสียงอัลตราทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ชิ้นมาตรฐาน ถ้าปราศจากการเปรียบเทียบกับชิ้นมาตรฐานแล้ว การตรวจครั้งนั้น ๆ ก็ไม่แน่นอน หรือไม่สามารถให้ความมั่นใจได้ และการตีความก็อาจจะให้ผลไม่สมบูรณ์ ทั้งกับสิ้นเปลืองเวลาอย่างมากอีกด้วย

ชิ้นมาตรฐาน คือหัวใจในความสำเร็จของการตรวจด้วยวิธีนี้ อย่างไรก็ตาม ความสัมฤทธิ์ผลจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อ มีความพิถีพิถันในการเลือกใช้ชิ้นมาตรฐานให้ถูกต้องและเหมาะสมกับชนิดของงานที่จะทำการตรวจ.

TABLE IA
INCIDENT ANGLES IN PLASTIC (LONGITUDINAL)

REFRACTED ANGLES	STEEL	STAINLESS STEEL 302	STAINLESS STEEL 410	Ti 150A	AL 1100	AL 2017	INCONEL	MAGNESIUM
1 DEG.	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.5
2 DEG.	0.9	0.9	0.7	0.9	0.8	0.9	0.7	0.9
3 DEG.	1.4	1.4	1.1	1.3	1.3	1.3	1.0	1.4
4 DEG.	1.8	1.9	1.4	1.7	1.7	1.7	1.4	1.8
5 DEG.	2.3	2.4	1.8	2.2	2.1	2.1	1.7	2.3
6 DEG.	2.7	2.8	2.2	2.6	2.5	2.0	2.0	2.8
7 DEG.	3.2	3.3	2.5	3.1	2.9	3.0	2.4	3.2
8 DEG.	3.6	3.8	2.9	3.5	3.4	3.4	2.7	3.7
9 DEG.	4.1	4.2	3.2	3.9	3.8	3.8	3.1	4.1
10 DEG.	4.5	4.7	3.6	4.4	4.2	4.3	3.4	4.6
11 DEG.	5.0	5.2	4.0	4.8	4.6	4.7	3.7	5.0
12 DEG.	5.4	5.6	4.3	5.2	5.0	5.1	4.1	5.5
13 DEG.	5.9	6.1	4.7	5.7	5.4	5.5	4.4	6.0
14 DEG.	6.3	6.6	5.0	6.1	5.8	5.9	4.7	6.4
15 DEG.	6.8	7.0	5.4	6.5	6.2	6.3	5.1	6.9
16 DEG.	7.2	7.5	5.7	6.9	6.7	6.8	5.4	7.3
17 DEG.	7.7	7.9	6.1	7.4	7.1	7.2	5.7	7.7
18 DEG.	8.1	8.4	6.4	7.8	7.5	7.6	6.1	8.2
19 DEG.	8.5	8.8	6.8	8.2	7.9	8.0	6.4	8.6
20 DEG.	9.0	9.3	7.1	8.6	8.3	8.4	6.7	9.1
21 DEG.	9.4	9.7	7.4	9.0	8.7	8.8	7.0	9.5
22 DEG.	9.8	10.2	7.8	9.4	9.1	9.2	7.3	9.9
23 DEG.	10.3	10.6	8.1	9.8	9.5	9.6	7.7	10.4
24 DEG.	10.7	11.1	8.5	10.3	9.8	10.0	8.0	10.8
25 DEG.	11.1	11.5	8.8	10.7	10.2	10.4	8.2	11.2

TABLE IB
INCIDENT ANGLES IN PLASTIC (SHEAR)

REFRACTED ANGLES	STEEL	STAINLESS STEEL 302	STAINLESS STEEL 410	Ti 150A	AL 1100	AL 2017	INCONEL	MAGNESIUM
20 DEG.	16.4	17.0	17.8	17.0	17.1	17.1	17.6	17.1
21 DEG.	17.2	17.9	18.7	17.9	18.0	18.0	18.5	18.0
22 DEG.	18.0	18.7	19.5	18.7	18.8	18.8	19.3	18.8
23 DEG.	18.8	19.5	20.4	19.5	19.7	19.7	20.2	19.7
24 DEG.	19.6	20.4	21.3	20.4	20.5	20.5	21.1	20.5
25 DEG.	20.4	21.2	22.2	21.2	21.3	21.3	21.9	21.3
26 DEG.	21.2	22.0	23.0	22.0	22.2	22.2	22.8	22.2
27 DEG.	22.0	22.9	23.9	22.9	23.0	23.0	23.7	23.0
28 DEG.	22.8	23.7	24.8	23.7	23.9	23.9	24.5	23.9
29 DEG.	23.6	24.5	25.7	24.5	24.7	24.7	25.4	24.7
30 DEG.	24.4	25.3	26.5	25.3	25.5	25.5	26.2	25.5
31 DEG.	25.2	26.2	27.4	26.2	26.3	26.3	27.1	26.3
32 DEG.	26.0	27.0	28.2	27.0	27.2	27.2	27.9	27.2
33 DEG.	26.8	27.8	29.1	27.8	28.0	28.0	28.8	28.0
34 DEG.	27.5	28.6	30.0	28.5	28.8	28.8	29.6	28.8
35 DEG.	28.3	29.4	30.8	29.4	29.6	29.6	30.5	29.6
36 DEG.	29.1	30.2	31.7	30.2	30.4	30.4	31.3	30.4
37 DEG.	29.8	31.0	32.5	31.0	31.2	31.2	32.1	31.2
38 DEG.	30.6	31.8	33.4	31.8	32.0	32.0	33.0	32.0
39 DEG.	31.3	32.5	34.2	32.6	32.8	32.8	33.8	32.8
40 DEG.	32.1	33.4	35.0	33.4	33.6	33.6	34.6	33.6
41 DEG.	32.8	34.2	35.9	34.2	34.4	34.4	35.5	34.4
42 DEG.	33.6	34.9	36.7	34.9	35.2	35.2	36.3	35.2
43 DEG.	34.3	35.7	37.5	35.7	36.0	36.0	37.1	36.0
44 DEG.	35.0	36.5	38.3	36.5	36.7	36.7	37.9	36.7

TABLE IB
INCIDENT ANGLES IN PLASTIC (SHEAR)

REFRACTED ANGLES	STEEL	STAINLESS STEEL 302	STAINLESS STEEL 410	Ti 150A	AL 1100	AL 2017	INCONEL	MAGNESIUM
45 DEG.	35.8	37.2	39.2	37.2	37.5	37.5	38.7	37.5
46 DEG.	36.5	38.0	40.0	38.0	38.3	38.3	39.5	38.3
47 DEG.	37.2	38.7	40.8	38.7	39.0	39.0	40.3	39.0
48 DEG.	37.9	39.5	41.5	39.5	39.8	39.8	41.1	39.8
49 DEG.	38.5	40.2	42.4	40.2	40.5	40.5	41.9	40.5
50 DEG.	39.3	41.0	43.2	41.0	41.3	41.3	42.6	41.3
51 DEG.	40.0	41.7	43.9	41.7	42.0	42.0	43.4	42.0
52 DEG.	40.6	42.4	44.7	42.4	42.7	42.7	44.2	42.7
53 DEG.	41.3	43.1	45.5	43.1	43.5	43.5	44.9	43.5
54 DEG.	42.0	43.8	46.3	43.8	44.2	44.2	45.7	44.2
55 DEG.	42.6	44.5	47.0	44.5	44.9	44.9	46.4	44.9
56 DEG.	43.3	45.2	47.8	45.2	45.6	45.6	47.1	45.6
57 DEG.	43.9	45.9	48.5	45.9	46.2	46.2	47.9	46.2
58 DEG.	44.5	46.5	49.2	46.5	46.9	46.9	48.5	46.9
59 DEG.	45.1	47.2	49.9	47.2	47.6	47.6	49.3	47.5
60 DEG.	45.7	47.8	50.7	47.8	48.2	48.2	50.0	48.2
61 DEG.	46.3	48.5	51.4	48.5	48.9	48.9	50.6	48.9
62 DEG.	46.9	49.1	52.0	49.1	49.5	49.5	51.3	49.5
63 DEG.	47.4	49.7	52.7	49.7	50.1	50.1	52.0	50.1
64 DEG.	48.0	50.3	53.4	50.3	50.7	50.7	52.6	50.7
65 DEG.	48.5	50.9	54.0	50.9	51.3	51.3	53.3	51.3
66 DEG.	49.0	51.4	54.7	51.4	51.9	51.9	53.9	51.9
67 DEG.	49.5	52.0	55.3	52.0	52.5	52.5	54.5	52.5
68 DEG.	50.0	52.5	55.9	52.5	53.0	53.0	55.1	53.0
69 DEG.	50.5	53.0	56.5	53.0	53.5	53.5	55.6	53.5
70 DEG.	51.0	53.5	57.0	53.5	54.0	54.0	56.2	54.0
71 DEG.	51.4	54.0	57.6	54.0	54.5	54.5	56.7	54.5
72 DEG.	51.8	54.5	58.1	54.5	55.0	55.0	57.2	55.0
73 DEG.	52.2	54.9	58.6	54.9	55.5	55.5	57.7	55.5
74 DEG.	52.6	55.3	59.1	55.3	55.9	55.9	58.2	55.9
75 DEG.	53.0	55.8	59.6	55.8	56.3	56.3	58.6	56.3
76 DEG.	53.3	56.1	60.0	56.1	56.7	56.7	59.1	56.7
77 DEG.	53.7	56.5	60.5	56.5	57.1	57.1	59.5	57.1
78 DEG.	54.0	56.8	60.9	56.8	57.4	57.4	59.9	57.4
79 DEG.	54.2	57.1	61.2	57.1	57.7	57.7	60.2	57.7
80 DEG.	54.5	57.4	61.6	57.4	58.0	58.0	60.5	58.0
81 DEG.	54.7	57.7	61.9	57.7	58.3	58.3	60.8	58.3
82 DEG.	54.9	57.9	62.2	57.9	58.5	58.5	61.1	58.5
83 DEG.	55.1	58.1	62.4	58.1	58.7	58.7	61.3	58.7
84 DEG.	55.3	58.3	62.6	58.3	58.9	58.9	61.6	58.9
85 DEG.	55.4	58.5	62.8	58.5	59.1	59.1	61.7	59.1
86 DEG.	55.5	58.6	63.0	58.6	59.2	59.2	61.9	59.2
87 DEG.	55.6	58.7	63.1	58.7	59.3	59.3	62.0	59.3
88 DEG.	55.7	58.8	63.2	58.8	59.4	59.4	62.1	59.4
89 DEG.	55.7	58.8	63.2	58.8	59.4	59.4	62.1	59.4
90 DEG.	55.8	58.8	63.2	58.8	59.5	59.5	62.1	59.5

TABLE IIA
INCIDENT ANGLES IN WATER (LONGITUDINAL)

REFRACTED ANGLES	STEEL	STAINLESS STEEL 302	STAINLESS STEEL 410	AL 1100	AL 2017	MAGNESIUM	INCONEL	Ti 150A
1 DEG.	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
2 DEG.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
3 DEG.	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7
4 DEG.	1.0	1.1	0.8	0.9	1.0	1.0	0.8	1.0
5 DEG.	1.3	1.3	1.0	1.2	1.2	1.3	1.0	1.2
6 DEG.	1.5	1.6	1.2	1.4	1.4	1.5	1.1	1.5
7 DEG.	1.8	1.8	1.4	1.6	1.7	1.8	1.3	1.7
8 DEG.	2.0	2.1	1.6	1.9	1.9	2.0	1.5	1.9
9 DEG.	2.3	2.4	1.8	2.1	2.1	2.3	1.7	2.2
10 DEG.	2.5	2.6	2.0	2.3	2.4	2.6	1.9	2.4
11 DEG.	2.8	2.9	2.2	2.6	2.6	2.8	2.1	2.7
12 DEG.	3.0	3.1	2.4	2.8	2.8	3.1	2.3	2.9
13 DEG.	3.3	3.4	2.6	3.0	3.1	3.3	2.5	3.1
14 DEG.	3.5	3.7	2.8	3.3	3.3	3.6	2.6	3.4
15 DEG.	3.8	3.9	3.0	3.5	3.5	3.8	2.8	3.6
16 DEG.	4.0	4.2	3.2	3.7	3.8	4.1	3.0	3.9
17 DEG.	4.3	4.4	3.4	3.9	4.0	4.3	3.2	4.1
18 DEG.	4.5	4.7	3.6	4.2	4.2	4.6	3.4	4.3
19 DEG.	4.8	4.9	3.8	4.4	4.5	4.8	3.5	4.6
20 DEG.	5.0	5.2	4.0	4.6	4.7	5.0	3.7	4.8

TABLE IIB
INCIDENT ANGLES IN WATER (SHEAR)

REFRACTED ANGLES	STEEL	STAINLESS STEEL 302	STAINLESS STEEL 410	Ti 150A	AL 1100	AL 2017	INCONEL	MAGNESIUM
20 DEG.	9.1	9.4	9.8	9.4	9.5	9.5	9.7	9.5
21 DEG.	9.5	9.9	10.3	9.9	9.9	9.9	10.2	9.9
22 DEG.	10.0	10.3	10.8	10.3	10.4	10.4	10.7	10.4
23 DEG.	10.4	10.8	11.2	10.8	10.8	10.8	11.1	10.8
24 DEG.	10.8	11.2	11.7	11.2	11.3	11.3	11.6	11.3
25 DEG.	11.2	11.6	12.2	11.6	11.7	11.7	12.0	11.7
26 DEG.	11.7	12.1	12.6	12.1	12.2	12.2	12.5	12.2
27 DEG.	12.1	12.5	13.1	12.5	12.6	12.6	12.9	12.6
28 DEG.	12.5	13.0	13.5	13.0	13.0	13.0	13.4	13.0
29 DEG.	12.9	13.4	14.0	13.4	13.5	13.5	13.8	13.5
30 DEG.	13.3	13.8	14.4	13.8	13.9	13.9	14.3	13.9
31 DEG.	13.7	14.2	14.9	14.2	14.2	14.3	14.7	14.3
32 DEG.	14.1	14.7	15.3	14.7	14.8	14.8	15.2	14.8
33 DEG.	14.6	15.1	15.7	15.1	15.2	15.2	15.6	15.2
34 DEG.	14.9	15.5	16.2	15.5	15.6	15.5	16.0	15.6
35 DEG.	15.3	15.9	16.6	15.9	16.0	16.0	16.4	16.0
36 DEG.	15.7	16.3	17.0	16.3	16.4	16.4	16.9	16.4
37 DEG.	16.1	16.7	17.5	16.7	16.8	16.8	17.3	16.8
38 DEG.	16.5	17.1	17.9	17.1	17.2	17.2	17.7	17.2
39 DEG.	16.9	17.5	18.3	17.5	17.6	17.6	18.1	17.6
40 DEG.	17.2	17.9	18.7	17.9	18.0	18.0	18.5	18.0
41 DEG.	17.6	18.3	19.1	18.3	18.4	18.4	18.9	18.3
42 DEG.	18.0	18.6	19.5	18.6	18.8	18.8	19.3	18.8
43 DEG.	18.3	19.0	19.9	19.0	19.1	19.1	19.7	19.1
44 DEG.	18.7	19.4	20.3	19.4	19.5	19.5	20.0	19.5
45 DEG.	19.0	19.7	20.6	19.7	19.9	19.9	20.4	19.9
46 DEG.	19.4	20.1	21.0	20.1	20.2	20.2	20.8	20.2
47 DEG.	19.7	20.4	21.4	20.4	20.6	20.6	21.2	20.6
48 DEG.	20.0	20.8	21.7	20.8	20.9	20.9	21.5	20.9
49 DEG.	20.4	21.1	22.1	21.1	21.3	21.3	21.9	21.3

TABLE IIB
INCIDENT ANGLES IN WATER (SHEAR)

REFRACTED ANGLES	STEEL	STAINLESS STEEL 302	STAINLESS STEEL 410	Ti 150A	AL 1100	AL 2017	INCONEL	MAGNESIUM
50 DEG.	20.7	21.5	22.4	21.5	21.6	21.6	22.2	21.6
51 DEG.	21.0	21.8	22.8	21.8	21.9	21.9	22.5	21.9
52 DEG.	21.3	22.1	23.1	22.1	22.3	22.3	22.9	22.3
53 DEG.	21.6	22.4	23.5	22.4	22.6	22.5	23.2	22.6
54 DEG.	21.9	22.7	23.8	22.7	22.9	22.9	23.5	22.9
55 DEG.	22.2	23.0	24.1	23.0	23.2	23.2	23.8	23.2
56 DEG.	22.5	23.3	24.4	23.3	23.5	23.5	24.1	23.5
57 DEG.	22.8	23.6	24.7	23.6	23.8	23.8	24.4	23.8
58 DEG.	23.0	23.9	25.0	23.9	24.1	24.1	24.7	24.1
59 DEG.	23.3	24.2	25.3	24.2	24.3	24.3	25.0	24.3
60 DEG.	23.5	24.4	25.6	24.4	24.5	24.6	25.3	24.6
61 DEG.	23.8	24.7	25.8	24.7	24.9	24.9	25.6	24.9
62 DEG.	24.0	24.9	26.1	24.9	25.1	25.1	25.8	25.1
63 DEG.	24.3	25.2	26.4	25.2	25.4	25.4	26.1	25.4
64 DEG.	24.5	25.4	26.6	25.4	25.6	25.6	26.3	25.6
65 DEG.	24.7	25.6	26.8	25.6	25.8	25.8	26.6	25.8
66 DEG.	24.9	25.9	27.1	25.9	26.0	26.0	26.8	26.0
67 DEG.	25.1	26.1	27.3	26.1	26.3	26.3	27.0	26.3
68 DEG.	25.3	26.3	27.5	26.3	26.5	26.5	27.2	26.5
69 DEG.	25.5	26.5	27.7	26.5	26.7	26.7	27.4	26.7
70 DEG.	25.7	26.7	27.9	26.7	26.9	26.9	27.6	26.9
71 DEG.	25.9	26.8	28.1	26.8	27.0	27.0	27.8	27.0
72 DEG.	26.0	27.0	28.3	27.0	27.2	27.2	28.0	27.2
73 DEG.	26.2	27.2	28.5	27.2	27.4	27.4	28.1	27.4
74 DEG.	26.3	27.3	28.6	27.3	27.5	27.5	28.3	27.5
75 DEG.	26.5	27.5	28.8	27.5	27.7	27.7	28.5	27.7
76 DEG.	26.5	27.6	28.9	27.6	27.8	27.8	28.6	27.8
77 DEG.	26.7	27.7	29.0	27.7	27.9	27.9	28.7	27.9
78 DEG.	26.8	27.8	29.2	27.8	28.0	28.0	28.9	28.0
79 DEG.	26.9	28.0	29.3	28.0	28.2	28.2	29.0	28.2
80 DEG.	27.0	28.0	29.4	28.1	28.3	28.3	29.1	28.3
81 DEG.	27.1	28.1	29.5	28.1	28.3	28.3	29.2	28.3
82 DEG.	27.2	28.2	29.6	28.2	28.4	28.4	29.2	28.4
83 DEG.	27.2	28.3	29.6	28.3	28.5	28.5	29.3	28.5
84 DEG.	27.3	28.4	29.7	28.4	28.6	28.6	29.4	28.6
85 DEG.	27.4	28.4	29.8	28.4	28.6	28.6	29.4	28.6
86 DEG.	27.4	28.5	29.8	28.5	28.7	28.7	29.5	28.7
87 DEG.	27.4	28.5	29.8	28.5	28.7	28.7	29.5	28.7
88 DEG.	27.5	28.5	29.9	28.5	28.7	28.7	29.5	28.7
89 DEG.	27.5	28.5	29.9	28.5	28.7	28.7	29.6	28.7
90 DEG.	27.5	28.5	29.9	28.5	28.7	28.7	29.6	28.7

TABLE III. VELOCITIES OF COMMON MATERIALS

Material	Velocity (cm/sec. x10^5)				Acoustic Impedance (gm/cm^2-sec)	Wave Length (cm @ 5mHz)	Density (gm/cm^3)
	V_O	V_L	V_T	V_R			
Metals							
Aluminum 2SO	5.10	6.35	3.10	2.90	1.72	0.127	2.71
Aluminum 17 ST	5.08	6.25	3.10	2.79	1.75	0.125	2.80
Beryllium	12.75	12.80	8.71	7.87	2.33	0.256	1.82
Brass (Naval)	3.49	4.43	2.12	1.95	3.61	0.089	8.1
Bronze, Phosphor (5%)	3.43	3.53	2.23	2.01	3.12	0.071	8.86
Copper	3.71	4.66	2.26	1.93	4.18	0.093	8.9
Lead, Pure	1.20	2.16	0.70	0.63	2.46	0.043	11.4
Lead, Antimony (6%)	1.37	2.16	0.81	0.74	2.36	0.043	10.90
Magnesium (Am35)	5.00	5.79	3.10	2.87	1.01	0.156	1.74
Mercury	--	1.42	--	--	1.85	0.028	13.00
Molybdenum	5.45	6.29	3.35	3.11	6.35	0.126	10.09
Nickel	4.79	5.63	2.96	2.64	4.95	0.113	8.8
Inconel (Wrought)	5.08	7.82	3.02	2.79	6.45	0.156	8.25
Monel (Wrought)	4.52	6.02	2.72	1.96	5.31	0.120	8.83
Silver-Nickel (18%)	3.83	4.62	2.32	1.69	4.03	0.092	8.75
Steel	5.17	5.85	3.23	2.79	4.56	0.117	7.8
Stainless 302	4.90	5.66	3.12	3.12	4.55	0.113	8.03
Stainless 410	5.03	7.39	2.99	2.16	5.67	0.148	7.67
Titanium (Ti 150A)	5.08	6.10	3.12	2.79	2.77	0.122	4.54
Tungsten	4.60	5.18	2.87	2.65	9.98	0.104	19.25
Nonmetals							
Air		0.33			0.00033	0.007	0.001
Oil, Transformer		1.38			0.127	0.028	0.92
Plastic (Acrylic Resin)		2.67	1.12		0.32	0.053	1.18
Quartz (Natural)		5.73			1.52	0.115	2.65
Water		1.49			0.149	0.030	1.00
Fused Quartz		5.93	3.75	3.39	1.30	0.119	2.20
Pyrex		5.57	3.44	3.13	1.24	0.111	2.23
Plate Glass		5.77	3.43	3.14	1.45	0.115	2.51
Ice	3.28	3.98	1.99		0.32	0.080	1

965

TABLE IV
TRIGONOMETRIC SINES OF ANGLES

Angle (Deg)	Sin	Angle (Deg)	Sin	Angle (Deg)	Sin	Angle (Deg)	Sin
0.0	0.0000	24.0	0.4067	48.0	0.7431	72.0	0.9511
0.5	0.0087	24.5	0.4147	48.5	0.7490	72.5	0.9537
1.0	0.0175	25.0	0.4226	49.0	0.7547	73.0	0.9563
1.5	0.0262	25.5	0.4305	49.5	0.7604	73.5	0.9588
2.0	0.0349	26.0	0.4384	50.0	0.7660	74.0	0.9613
2.5	0.0436	26.5	0.4462	50.5	0.7716	74.5	0.9636
3.0	0.0523	27.0	0.4540	51.0	0.7771	75.0	0.9659
3.5	0.0610	27.5	0.4617	51.5	0.7826	75.5	0.9681
4.0	0.0698	28.0	0.4695	52.0	0.7880	76.0	0.9703
4.5	0.0785	28.5	0.4772	52.5	0.7934	76.5	0.9724
5.0	0.0872	29.0	0.4848	53.0	0.7986	77.0	0.9744
5.5	0.0958	29.5	0.4924	53.5	0.8039	77.5	0.9763
6.0	0.1045	30.0	0.5000	54.0	0.8090	78.0	0.9781
6.5	0.1132	30.5	0.5075	54.5	0.8141	78.5	0.9799
7.0	0.1219	31.0	0.5150	55.0	0.8192	79.0	0.9816
7.5	0.1305	31.5	0.5225	55.5	0.8241	79.5	0.9833
8.0	0.1392	32.0	0.5299	56.0	0.8290	80.0	0.9848
8.5	0.1478	32.5	0.5373	56.5	0.8339	80.5	0.9863
9.0	0.1564	33.0	0.5446	57.0	0.8387	81.0	0.9877
9.5	0.1650	33.5	0.5519	57.5	0.8434	81.5	0.9890
10.0	0.1736	34.0	0.5592	58.0	0.8480	82.0	0.9903
10.5	0.1822	34.5	0.5664	58.5	0.8526	82.5	0.9914
11.0	0.1908	35.0	0.5736	59.0	0.8576	83.0	0.9925
11.5	0.1994	35.5	0.5807	59.5	0.8616	83.5	0.9936
12.0	0.2079	36.0	0.5878	60.0	0.8660	84.0	0.9945
12.5	0.2164	36.5	0.5948	60.5	0.8704	84.5	0.9945
13.0	0.2250	37.0	0.6018	61.0	0.8746	85.0	0.9962
13.5	0.2334	37.5	0.6088	61.5	0.8788	85.5	0.9969
14.0	0.2419	38.0	0.6157	62.0	0.8829	86.0	0.9976
14.5	0.2504	38.5	0.6225	62.5	0.8870	86.5	0.9981
15.0	0.2588	39.0	0.6293	63.0	0.8910	87.0	0.9986
15.5	0.2672	39.5	0.6361	63.5	0.8949	87.5	0.9990
16.0	0.2756	40.0	0.6428	64.0	0.8988	88.0	0.9994
16.5	0.2840	40.5	0.6494	64.5	0.9026	88.5	0.9997
17.0	0.2924	41.0	0.6561	65.0	0.9063	89.0	0.9998
17.5	0.3007	41.5	0.6626	65.5	0.9100	89.5	1.0000
18.0	0.3090	42.0	0.6691	66.0	0.9135	90.0	1.0000
18.5	0.3173	42.5	0.6756	66.5	0.9171		
19.0	0.3256	43.0	0.6820	67.0	0.9205		
19.5	0.3338	43.5	0.6884	67.5	0.9239		
20.0	0.3420	44.0	0.6947	68.0	0.9272		
20.5	0.3502	44.5	0.7009	68.5	0.9304		
21.0	0.3584	45.0	0.7071	69.0	0.9336		
21.5	0.3665	45.5	0.7133	69.5	0.9367		
22.0	0.3746	46.0	0.7193	70.0	0.9397		
22.5	0.3827	46.5	0.7254	70.5	0.9426		
23.0	0.3907	47.0	0.7314	71.0	0.9455		
23.5	0.3987	47.5	0.7373	71.5	0.9483		

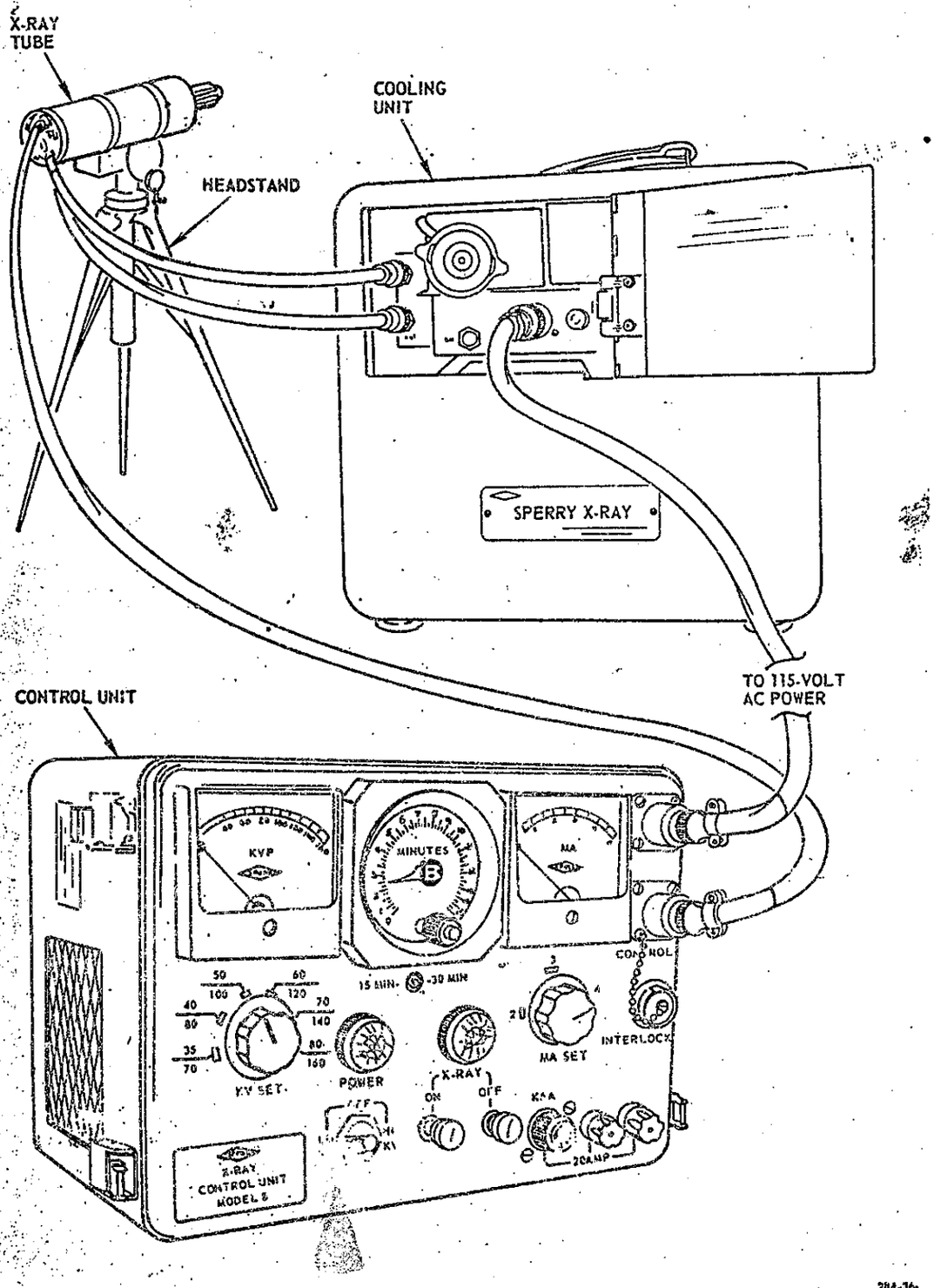


Figure ٩٤٩. Radiographic Inspection Basic Components

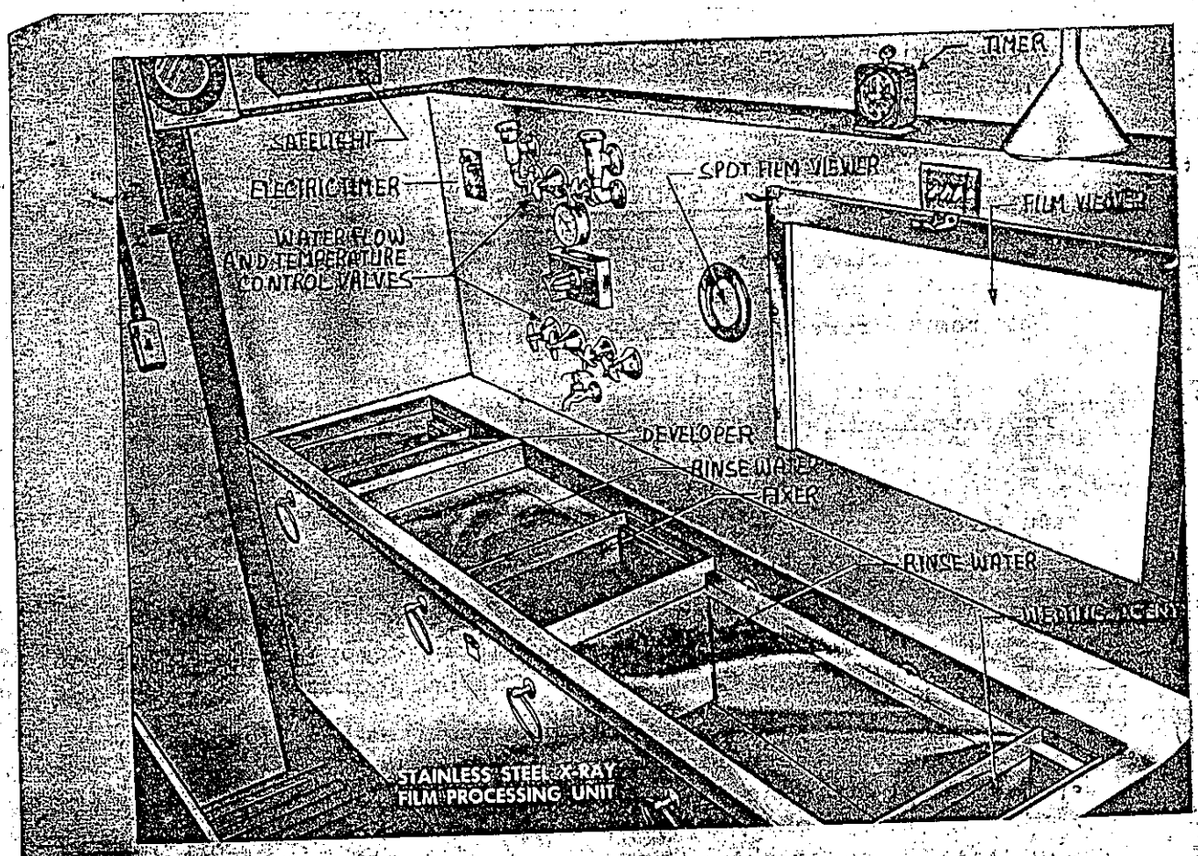
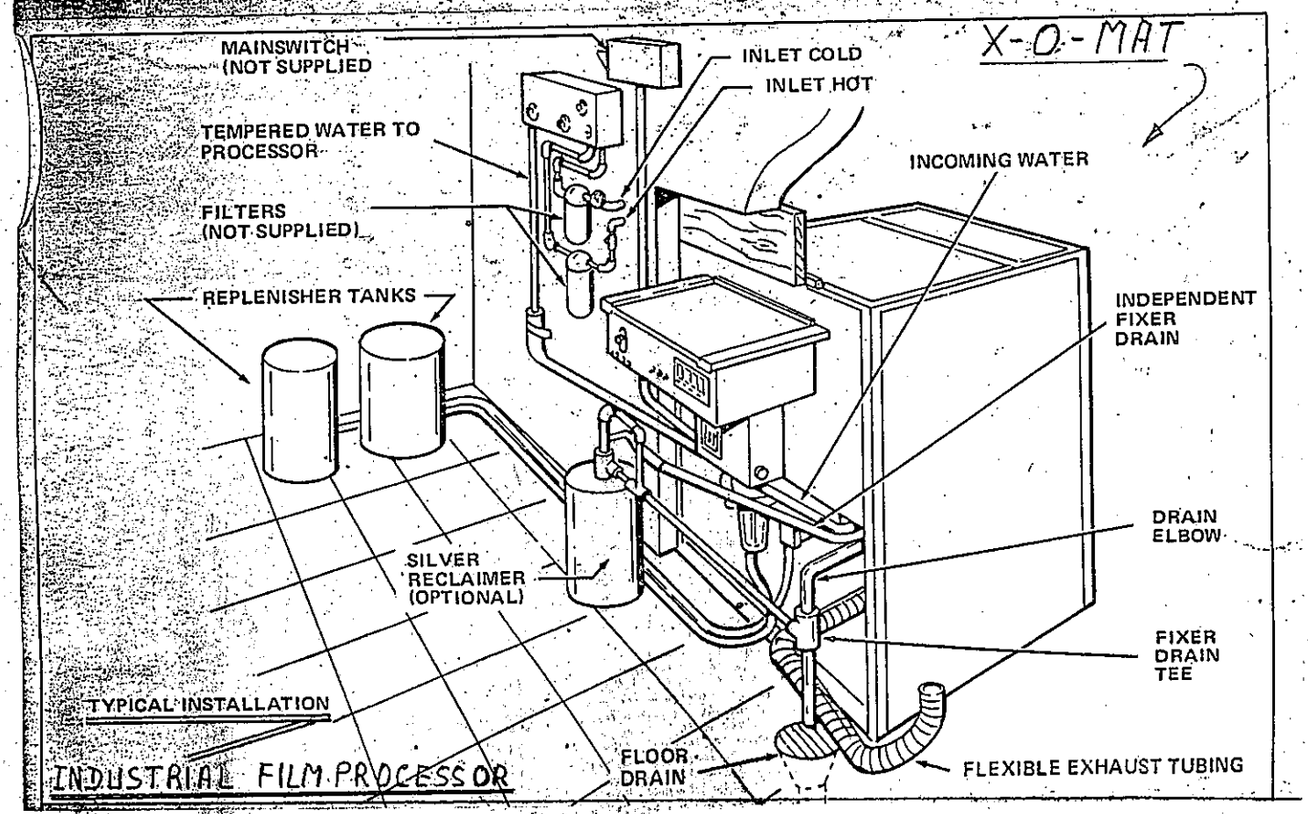


Figure 1 Typical Darkroom Equipment.



๔.๓ อุปกรณ์การอ่านฟิล์ม

ฟิล์มภาพถ่ายรวมถึงการตรวจด้วย X - RAY และ GAMMA - RAY ปัจจุบันนี้ X - RAY อย่างเดียวเท่านั้นที่อนุญาตให้ใช้ตาม T/A 455 รังสี X และรังสีแกมม่ามีคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัตถุและรอยบกพร่องต่าง ๆ ได้ จึงถูกนำมาดัดแปลงใช้กับการถ่ายภาพ เพื่อตรวจพวกโลหะจากการหล่อ การเชื่อม สิ่งประดิษฐ์ที่ทำมาจากโลหะและผลิตภัณฑ์ที่เป็นโลหะ การตรวจโดยวิธีถ่ายภาพนี้ดีกว่าวิธีการอื่น ๆ เพราะว่ามันจะทำให้เกิดการบันทึกภาพไว้ได้อย่างถาวร ทำให้มองเห็นภายในของวัตถุที่นำมาตรวจ การปฏิบัติในการตรวจโดยวิธีการถ่ายภาพนี้ สามารถทำให้เกิดคุณภาพได้ตามเรื่องที่ใช้และชนิดของโลหะที่นำมาตรวจดังต่อไปนี้

สามารถแสดงให้เห็นถึงเนื้อของโลหะโดยไม่ต้องเปิดขึ้นมา สิ่งที่เสียหายหรือโลหะที่เสื่อมสภาพและยังสามารถใช้จำแนกสิ่งที่ยังยอมรับว่าใช้งานได้ออกจากสิ่งที่เสื่อมแล้ว โดยใช้ขึ้นมาตรฐานมาเปรียบเทียบ

แสดงข้อผิดพลาดที่เกิดมาจากบริษัทผู้ผลิต กันเนื่องจากกรรมวิธีการควบคุมการผลิตเพื่อให้ได้กรรมวิธีการที่ถูกต้อง

แสดงโครงสร้างที่บกพร่อง ความผิดพลาดในการประกอบและส่วนประกอบที่มากมายในเครื่องจักร ทำนองเดียวกันก็สามารถสิ่งที่ยังไม่รู้และตัวประกอบที่เปลี่ยนแปลงได้ในแบบขณะทำการพัฒนาให้ดีขึ้น เป็นสิ่งที่มีประโยชน์มากในการป้องกันก่อนถึงเวลาการซ่อมบำรุงและวิเคราะห์หาสิ่งที่เสีย

รูปที่ ๒๖ แสดงส่วนสำคัญของการถ่ายภาพ จุดโฟกัสเป็นบริเวณเล็ก ๆ ในหลอดรังสี X ซึ่งเป็นแหล่งที่รังสีออกมา รังสีจะถูกส่งเป็นเส้นตรงไปยังชิ้นทดลองบางส่วนของรังสีจะทะลุผ่านไปและบางส่วนก็ถูกดูดไว้ ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อโลหะและความหนาตัวอย่าง เช่น ถ้าชิ้นทดลองเป็นเหล็กท่อนที่มีรอยพรุนเนื่องจากฟองอากาศ ผลของรอยนี้จะทำให้ความหนาของเหล็กที่รังสีจะต้องผ่านลดลงไป ทำให้รังสีผ่านบริเวณนั้นได้มากกว่าบริเวณอื่นของโลหะ จะเกิดจุดดำขึ้นที่ตำแหน่งของรอยพรุนบนฟิล์ม เมื่อทำการล้างเสร็จแล้ว ภาพถ่ายก็เป็นภาพเงาชนิดหนึ่ง ส่วนที่ดำกว่าบนฟิล์มก็แสดงว่ารังสีผ่านบริเวณนั้นของชิ้นวัตถุได้มากกว่า และบริเวณที่แสงบางกว่าก็แสดงถึงความสมบูรณ์ของเนื้อสารนั้นถูกต้อง

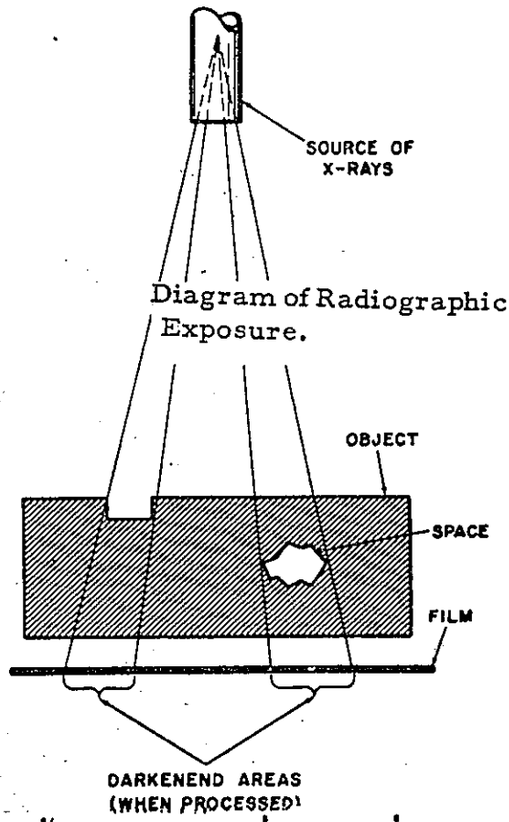


Diagram of Radiographic Exposure.

รังสีแกมม่าก็มีคุณสมบัติคล้ายกับรังสี X แสดงความคล้ายคลึงและการแตกต่างจากแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเหมือนกันกับรังสี X แตกต่างจากรังสี X ก็ที่มีแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติ รังสีแกมม่าถูกส่งออกมาจากภาชนะที่ใช้เก็บรังสี (ISOTOPES)

บางคราวผู้ตรวจไม่สามารถที่จะทราบได้ว่ามีข้อบกพร่องอยู่ภายในชิ้นงานหรือไม่ ถ้าไม่มีคำสั่งเทคนิคหรือคู่มือการปฏิบัติประกอบตัวอย่าง เช่น ในการตรวจบริเวณผิวจากวิธีการ PENETRANT หรือ MAGNETIC PARTICLE สามารถหาความกว้าง ยาว ของข้อบกพร่องบนผิวได้ง่าย แต่ความลึกหาได้โดยประมาณ ขนาดที่แท้จริงของข้อบกพร่องที่ได้จากการ X - RAY และการตรวจโดยใช้อัลตราโซนิค จะหาได้ไม่สมบูรณ์ แม้ว่าจะใช้เทคนิคที่ดีที่สุดก็ตาม ปัญหาที่ยุ่งยากได้แก่การชี้ถึงข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งที่ใช้งานร่วมกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่ทราบถึงความสมบูรณ์ของวัตถุนั้นแล้ว ทำให้ผู้ตรวจยุ่งยากมากที่จะตัดสินว่าชิ้นบกพร่องนั้นจะต้องเปลี่ยนใหม่หรือยังใช้การได้คืออยู่ ดังนั้นผู้ตรวจจะต้องมีความชำนาญและมีความรู้ในวิชาการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัตถุ เพื่อให้การตัดสินใจของเขาถูกต้อง ในเมื่อชิ้นงานนั้นไม่มี T.O. หรือ T.O.C. ช่วยในการตัดสิน

การเลือกวิธีการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุ

วิธีการตรวจขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น สามารถสัมผัสได้ เคลื่อนย้ายได้ ที่มาของข้อบกพร่อง เนื้อของชิ้นงาน และความไวที่ต้องการ จากตารางที่ ๒ อาจใช้เป็นข้อแนะนำในการเลือกใช้วิธีที่ดีที่สุดและข้อจำกัดของวิธีนั้น ๆ

ตัวอย่างการหาว่าวิธีไหนจะทำการตรวจรูสลักยึดผิวปีกส่วนล่างได้ดีที่สุดเพื่อหารอยแตกที่มีอยู่ที่รูนั้น เมื่อสลักยึดถูกคลายออก การตรวจโดยวิธี PENETRANT จะทำให้ได้ความยาวของรอยแตกที่ผิว ส่วนหนึ่งของรอยแตกที่ต่อกับผิวและรู (รูมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ๕/๘ ") จำเป็นที่เราจะต้องตรวจผิวรอบและรูนั้น เพื่อให้แน่ใจว่าเราพบรอยแตกทั้งหมด จึงควรพิจารณาถึงวิธีเหล่านี้ X - RAY EDDY CURRENT ULTRASONIC DYE - PENETRANT

๑. วิธี PENETRANT ไม่เหมาะที่จะใช้ เนื่องจากบริเวณนั้นอยู่ข้างในและเครื่องหมายที่จะสะท้อนกลับมายังผิวไม่ดีพอ

๒. X - RAY สามารถนำเสนอเปรียบเทียบกับชิ้นมาตรฐานได้แต่ก็ไม่เหมาะที่จะใช้ตรวจรูที่ผิวปีก เพราะมันไม่ไวในการตรวจหารอยแตกเล็ก ๆ ได้ดีเท่ากับ ULTRASONIC หรือ EDDY CURRENT

๓. เมื่อพิจารณาถึง ULTRASONIC เราไม่ควรใช้ เนื่องจากว่ามันมีความไวต่อรอยต่อเล็ก ๆ น้อยกว่า EDDY CURRENT และต้องการช่องว่างของที่จับหัวเครื่องส่ง เพื่อจะให้ได้ความไวสูงสุดในการตรวจบริเวณที่สงสัย

๔. EDDY CURRENT เป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะว่าการตรวจทำได้รวดเร็วด้วยอุปกรณ์มาตรฐาน และมีความไวสูงสุด

หลักการที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ NONDESTRUCTIVE INSPECTION

เป็นความจริงที่ว่า การชำนาญเฉพาะอย่างในวิธีการเหล่านี้ เช่น การชำนาญเฉพาะในการถ่ายภาพ จะไม่สามารถทำได้โดยลำพังคนเดียวและทำให้เป็นผู้ชำนาญในงาน NDI ได้เลย

วิธีการทุก ๆ แบบของ NDI มีขีดจำกัดที่ข้อดีของมันมากกว่าการตรวจด้วยวิธีอื่น ๆ ดูจากตาราง ๒ ผู้ตรวจที่รอบรู้ จะรู้ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีโดยรู้ว่าวิธีไหนเป็นวิธีที่ดีที่สุดและเหมาะที่จะใช้กับงานแต่ละชนิดมากที่สุด

Type	MAGNETIC PARTICLE	PENETRANT	ULTRASONIC	EDDY CURRENT	X-RAY	BOROSCOPE
When to Use	suitable for the detection of surface or sub-surface flaws, cracks, porosity, nonmetallic inclusions and weld defects	used to locate surface cracks, porosity, laps, cold shuts, lack of weld bond, fatigue and grinding cracks	PULSE-ECHO used to find internal defects, cracks, lack of bond, laminations, inclusions porosity, grain structure, RESONANCE used primarily for thickness gaging & laminar flaws	In checking for: variation in wall thickness longitudinal seams or cracks pits, porosity, metal analysis, lack of bond & thickness of coatings	detection of internal flaws & defects weld flaw detection cracks, seams, porosity, holes & inclusions, checking assemblies, lack of bond & thickness variations	inspecting internal areas in usually inaccessible areas for surface discontinuities
Where to Use	used on all types of ferromagnetic materials tubing, piping any size, shape, composition or state of heat-treatment & in service testing for fatigue cracks	used on all metals, glass, ceramics, castings, forgings, machined parts, cutting tools & field inspection	used on all metals and hard non-metallic materials sheets, tube, rod, forgings, castings, field and production testing. In service part testing, aircraft & marine inspection	production testing tubing & bar stock, parts of uniform geometry, flat stock or sheet, wire testing, welded tubing & used on all metals	forgings, castings, tubing, formed metal parts, welded vessels, field testing of welds, corrosion surveys & assemblies	Used on assembled parts, internal surfaces in small intricate parts, tubing, wing spars and struts, Inspect jet engine blades
Why to Use	simple in principle, easy to perform, portable for field testing, fast for production testing, method is positive & cost is economical	simple to apply accurate, fast, low initial cost & per test cost easy to interpret results, no elaborate setup required	fast & dependable, easy to operate, lends itself to automation, results of test immediately known, relatively portable, highly accurate & high sensitivity	high speed tests, no-contact, automatic sorting, no special skill required of operator	provides permanent record on film, better on thin sections, often higher sensitivity, fluoroscopy techniques available & adjustable energy level	detect surface pitting, corrosion, scaling, cracks
Limitations	parts must be magnetic, requires demagnetising after tests, power source is required & parts must be cleaned prior to finishing	limited to surface defects & surface cleanliness required	requires contact or immersion of part to be tested & interpretation of defects requires training	possible to get false indications from many variables, accuracy limitations	higher initial cost, power source required, radiation hazard & trained technicians required	accessibility, only surface discontinuities may be found, eye fatigue determines accuracy, time consuming

T[illegible] 1. Methods and Applications of Nondestructive Inspection.

RADIOGRAPHIC INSPECTION

การตรวจด้วยวิธี RADIOGRAPHIC เป็นการตรวจรอยร้าวโดยไม่ทำลายชิ้นวัสดุที่ใช้กำลังของ X - RAYS (หรือ GAMMA - RAYS) แทรกผ่านลงไปในเนื้อชิ้นงานแล้วบันทึกไว้ด้วยฟิล์มภาพถ่าย ฟิล์มของเอกเรย์เคลือบไว้ด้วย EMULSION ที่มีความไวต่อรังสีเอกซ์เรย์และต่อแสง ในการถ่ายภาพฟิล์มจะถูกวางไว้ด้านตรงข้ามกับจุดกำเนิดรังสี เมื่อฟิล์มได้รับรังสีก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่มองไม่เห็นขึ้นบนผิวที่ฉาบไว้ บริเวณที่ถูกรังสีจะกลับเป็นสีดำเมื่อล้างในน้ำยา DEVELOPER ยิ่งที่จะเกิดสีดำมาก หรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับว่าได้รับรังสีมากหรือน้อยและเวลาที่ใช้ทำ DEVELOPING หลังจากทำ DEVELOPEMENT แล้ว ฟิล์มจะถูกล้างในถังพิเศษเพื่อหยุดการ DEVELOPMENT แล้วนำไปจุ่มในถัง FIXER เพื่อล้างผิวฉาบส่วนที่ไม่ได้รับรังสีออกให้หมด แล้วล้าง FIXER ออกให้หมดด้วยน้ำเปล่า ในขณะปฏิบัติงานฟิล์มจะปรากฏเงาภาพของสิ่งที่ถูกถ่ายไว้ ส่วนที่ดำกว่าเมื่อล้างแล้วแสดงถึงบริเวณที่บางกว่าของชิ้นงานหรือบริเวณช่องว่างหรือรอยตำหนิต่าง ๆ การตีความหมายถ่ายใช้การเปรียบเทียบจากสภาพธรรมชาติของชิ้นงาน อุปกรณ์หลักนี้ใช้ในการตรวจด้วยวิธีนี้แสดงไว้ในรูป ๒๔

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจ RADIOGRAPHIC

๑. ชนิดของเครื่อง X - RAY
๒. ชิ้นงานที่นำมาถ่ายภาพ
   ๒.๑ ความหนาแน่นของเนื้อชิ้นงาน
   ๒.๒ ความหนาของเนื้อชิ้นงาน
   ๒.๓ รูปร่างและขนาดของเนื้อชิ้นงาน
   ๒.๔ ชนิดของรอยตำหนิที่ต้องการตรวจ
   ๒.๕ ตำแหน่งที่เกิดรอยตำหนิ
๓. การถ่ายภาพ
   ๓.๑ ระยะระหว่างจุดกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม
   ๓.๒ ระยะระหว่างชิ้นงานถึงฟิล์ม
   ๓.๓ มุมการถ่ายภาพ
   ๓.๔ KILOVOLTAGE
   ๓.๕ กระแสไฟที่ใช้กับ X - RAY TUBE
   ๓.๖ เวลาที่ใช้รังสี
   ๓.๗ พื้นที่ที่รังสีปกคลุมไว้
   ๓.๘ การใช้ LEAD SCREEN หรือ LEAD PACK FILM (เมื่อใช้ KILOVOLTS เกิน ๑๓๐)
   ๓.๙ การใช้ PENETRAMETERS เมื่อต้องการความละเอียด
๔. ฟิล์ม
   ๔.๑ ชนิดของฟิล์ม
   ๔.๒ การล้างฟิล์ม

การตรวจด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี

(RADIO GRAPHIC INSPECTION)

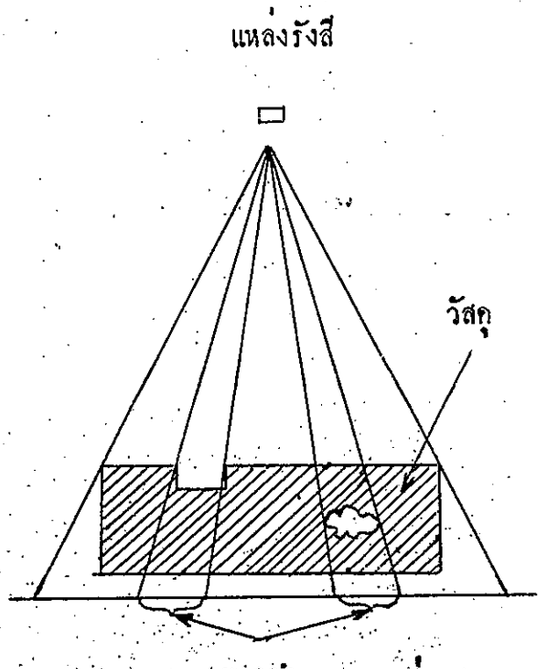
ในปี ๑๘๙๕ นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ ROENTGEN ได้ทำการทดลองหลอดคาโทด หลังจากการทดลองได้พบว่าหลอดสูญญากาศ ที่ผลิตแสงคาโทด (CATHODE RAY) ให้แสงบางอย่างทำให้เกิดการเรืองแสงจากสารเคมีที่เคลือบแผ่นกระดาษวางอยู่ใกล้ ๆ หลังจากได้ทำการค้นคว้าต่อมา พบว่าเป็นแสงที่มองไม่เห็น เรียกว่ารังษี เอกซ์ ซึ่งมีความสามารถ ทะลุผ่าน กระดาษ ไม้ ร่างกาย และชิ้นโลหะอื่น ๆ เราได้ศึกษาต่อไปและพบว่า รังสีเอกซ์ สามารถทำปฏิกริยากับฟิล์มถ่ายรูปเหมือนกับแสง และมันยังถ่ายภาพลงบนแผ่นฟิล์มได้อีกด้วย

หลังจากการค้นพบของ ROENTGEN นักวิทยาศาสตร์หลายคนได้เริ่มต้นศึกษาเรื่อง รังสีเอกซ์ และต่อมาการถ่ายภาพด้วยรังสี กับชิ้นวัสดุก็ได้แพร่หลายซึ่งรู้จักกันในชื่อว่า RADIOGRAPHY

ในปี ๑๘๙๘ คูรี่ (THE CURIES') ค้นพบว่า RADIUM เป็นธาตุกัมมันตรังสี RADIO ACTIVE MATERIAL รังสีที่เปล่งออกมาจาก เรเดี่ยมเรียกว่ารังสีแกมม่า (GAMMA RAYS) ในระหว่างนั้น ยังไม่มีผู้ใดนำรังสีแกมม่า มาใช้ประโยชน์ จนกระทั่งปี ๑๙๒๐ จึงได้เริ่มนำเรเดียม มาใช้ในทางถ่ายภาพด้วยรังสี

๑. วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี (THE PROCESS OF RADIO GRAPHY)

การถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นวิธีการตรวจวัสดุโดยใช้ ความสามารถทะลุผ่านของรังสีเอกซ์ หรือ รังสีแกมม่า ทำให้ตรวจสภาพภายในวัสดุ ส่วนประกอบภายในสภาพโครงสร้างที่ประกอบอยู่ภายใน เช่น โครงสร้างปีก เป็นต้น การตรวจด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี เป็นการตรวจด้วยวิธีไม่ทำลาย อีกวิธีหนึ่งใน การตรวจด้วยวิธีไม่ทำลายอีกหลายวิธี



รูปที่ ๑

เมื่อรังสีผ่านวัสดุมันจะถูกดูดกลืนตามสภาพความหนาแน่นของวัสดุ รังสีที่ทะลุผ่านวัสดุมาได้มีความเข้มไม่เท่ากัน ส่วนหนารังสีผ่านได้น้อย ส่วนบาง รังสีผ่านได้มาก เมื่อนำฟิล์มไว้ด้านหลังชิ้นวัสดุนั้น รังสีจะทำปฏิกริยากับสารเคมีเคลือบฟิล์ม (EMULSION) ตามความมากน้อย ฟิล์มเอกซ์เรย์ ก็เหมือนกับฟิล์มถ่ายรูปคือ ส่วนที่ถูกรังสีหรือ แสงมากจะดำ ส่วนที่ไม่ถูกรังสีหรือแสงจะใส เงาภาพของวัสดุที่รังสีผ่าน ตกกระทบมายังฟิล์ม มีรูปร่างลักษณะตามวัสดุนั้นในวิวใดวิวหนึ่ง

ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะทางเลขา ในขณะที่ทำการฉายด้วยรังสี ต้องกำหนด ตำแหน่ง เช่น ระยะทางระหว่างแหล่งรังสีกับวัสดุ ระยะห่างระหว่างวัสดุกับฟิล์มเอกซ์เรย์ มุมของรังสีที่ตกกระทบชิ้นงาน และมุมของแผ่นฟิล์มกับชิ้นงาน

ฟิล์มเอกซ์เรย์ที่ผ่านการล้างเรียบร้อยแล้ว จึงจะมีภาพปรากฏ ระดับความเข้ม (DENSITY) บนแผ่นฟิล์ม จะแสดงให้เห็นถึงสภาพภายใน และรูปร่างของวัสดุนั้น รอยแตกร้าว และสภาพพรุนภายในจะเห็นเป็นรอยเข้มกว่าบริเวณเดียวกันที่ปรากฏในฟิล์มเอกซเรย์ ส่วนวัสดุแปลกปลอมหรือสิ่งเจือปนที่มีความหนาแน่นกว่า จะเห็นเป็นรอย จางหรือจุดใส

๒. ขั้นตอนการตรวจ (SEQUENCE OF INSPECTION)

การตรวจด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีมี ๓ ขั้นตอนคือ

๒.๑ การถ่ายภาพด้วยรังสี (RADIO GRAPHY)

๒.๒ การล้างฟิล์ม (FIIM - PROCESSING)

๒.๓ การตรวจหรือการอ่านฟิล์ม (FIIM INTERRETATION)

๓. ข้อดี ข้อเสีย การตรวจแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่ง มีข้อดี ข้อเสีย แตกต่างกันไป ไม่สามารถกล่าวว่า วิธีถ่ายภาพด้วยรังสีจะดีกว่าวิธีย้อมสีหรือวิธีทำอำนาจแม่เหล็กหรืออื่น ๆ

๓.๑ ข้อดี

๑. ไม่ต้องทำความสะอาดชิ้นงาน

๒. สามารถตรวจหารอยตำหนิในชิ้นงานแห่งทึบ และโครงสร้างภายใน

๓. สามารถบันทึกภาพไว้ได้นาน (จะเก็บฟิล์มไว้นาน ๗ ปี)

๓.๒ ข้อเสีย

๑. เครื่องมือและฟิล์มราคาแพง มีความสิ้นเปลืองสูง

๒. เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

๓. จนท.ต้องผ่านการฝึกอบรมเป็นอย่างดี

๔. ไม่สามารถตรวจหารอยตำหนิที่ตั้งฉากกับแนวรังสี

๕. ไม่สามารถตรวจหารอยตำหนิเล็ก ๆ ในชิ้นงานขนาดใหญ่ได้

๔. การถ่ายภาพด้วยรังสี (RADIOGRAPHY)

การถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นขั้นแรกในขั้นตอนการตรวจด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีซึ่งจะต้องพิจารณาถึง

๔.๑ ชนิดของรังสี รังสีที่นำมาใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีสามารถแบ่งตามแหล่งที่เกิดได้ ๒ ชนิด คือ

๑. ธาตุกัมมันตรังสี (RADIOACTIVE MATERIAL) เป็นธาตุที่เปล่งรังสีออกมาได้เอง เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของธาตุหรือในสถานที่ไม่คงตัวไปสู่สภาพของตัว (UNSTABLE STATE TO STABLE STATE) ธาตุกัมมันตรังสี มีทั้งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น ยูเรเนียม, เรเดียม

และที่ผลิตได้จากเตาปฏิกรปรมาณู คือ RADIO ISOTOPE ต่าง ๆ เช่น COBALT 60 IRIDIUM 192 CESIUM 137 เป็นต้น

ธาตุกัมมันตรังสีจะแพร่กระจายรังสีพร้อมกัน ๓ ชนิด คือ เบต้า (B) รังสีอัลฟ่า (α) และรังสีแกมม่า(γ) รังสีเบต้าและอัลฟ่า มีลักษณะเป็นอนุภาค (PARTICLES) ส่วนรังสีแกมม่ามีลักษณะเป็นคลื่นคล้ายกับรังสีเอ็กซ์ ในกระบวนรังสีที่ได้จากธาตุกัมมันตรังสีนั้น รังสีแกมม่ามีพลังงานสูงสุดและนำมาใช้ในกิจการ

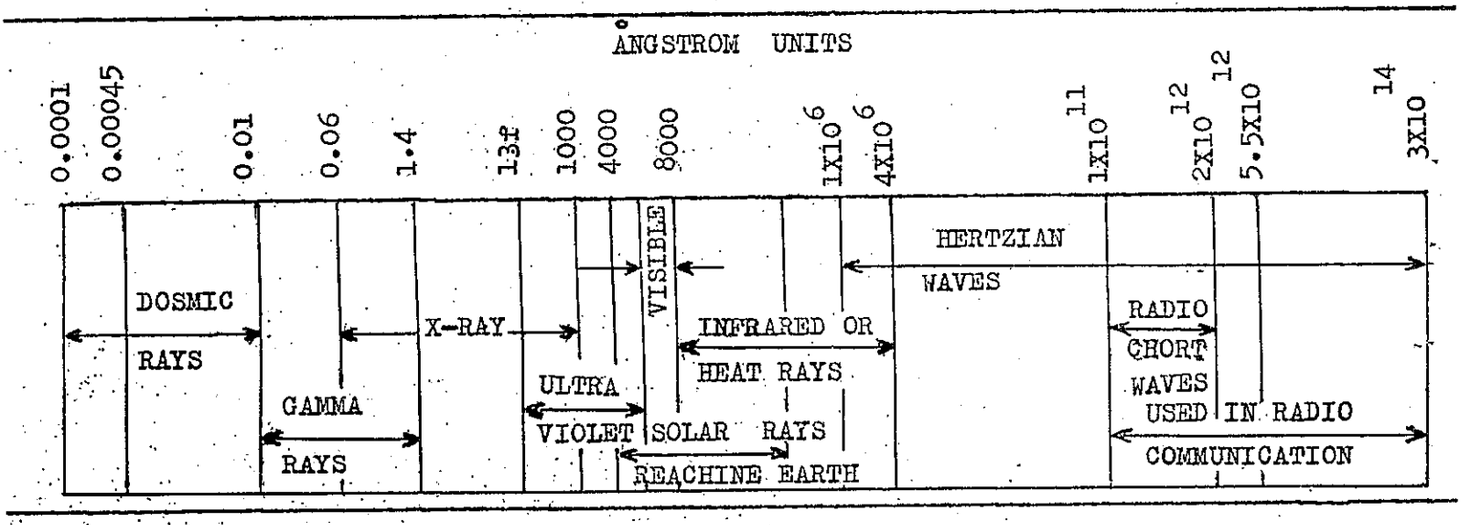
ถ่ายภาพด้วยรังสีเหมือนกับรังสีเอ็กซ์

ตารางที่ ๑

ชนิดและคุณลักษณะของแหล่งรังสีแกมม่าที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี

ISOTOPE	SYMBOL	HALF- LIFE	GAMMA ENERGIES	EMISSIVITY R/C HR	SPECIFIC ACTIVITY C/GR-AM
RADIUM-226	Ra - 226	1620 YEARS	1.6	9.0	1
COBALT-60	CD - 60	5.3 YEARS	1.3	14.4	UP TO 15
RIDIUM-192	Ir - 192	75 DAYS	0.4	5.9	UP TO 75
CESIUM-137	CS - 137	30 YEARS	0.66	4.2	UP TO 5

๒. รังสีเอ็กซ์(X - RAYS) มีลักษณะเป็นคลื่นคล้ายกับแสงสว่าง แสงอุลตราไวโอเล็ต คลื่นอินฟาเรด คลื่นวิทยุ รังสีแกมม่า และรังสีคอสมิค ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาอยู่ในกลุ่มหรือช่วงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(ELECTRO MAGNETIC SPECTRUM) ลักษณะที่แท้จริงตามธรรมชาติของรังสีเอ็กซ์ยังไม่เป็นข้อยุติ พวกแรกว่ารังสีเอ็กซ์ เป็นคลื่นพลังงานที่ต่อเนื่องกัน อีกพวกหนึ่งว่ามีลักษณะเป็นกลุ่มพลังงานที่ไม่ต่อเนื่องกัน (QUANTUM) ทฤษฎีทั้งสองถือได้ว่าเป็นแนวความคิดที่ดี จึงไม่ควรปฏิเสธเสียอย่างใดอย่างหนึ่ง

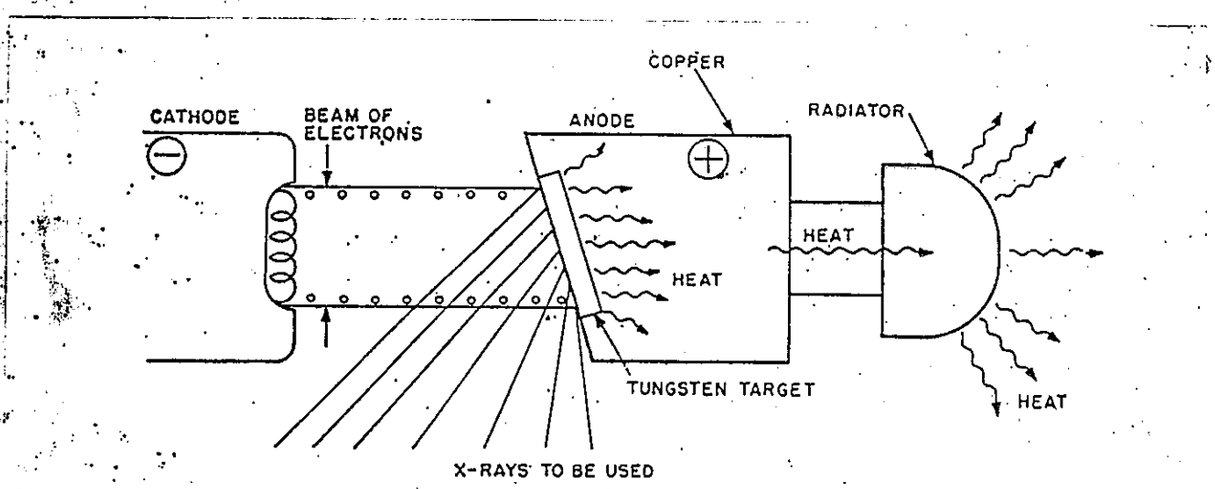


ตารางที่ ๒ ELECTRO MAGNETIC SPECTRUM

จากตารางที่ ๒. จะเห็นว่ารังสีเอ็กซ์ มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.06A°- 1000 A°,(1A°=10-8 CM) รังสีเอ็กซ์ แตกต่างจากแสงและคลื่นต่าง ๆ ตรงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า ซึ่งมีอำนาจทะลุทะลวง ถ้าความยาวคลื่นสั้นจะให้อำนาจทะลุทะลวงสูง แต่ในทางกลับกัน ถ้าความยาวคลื่นยาวจะมีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์อาจเป็นเพียง ๑/๑๐,๐๐๐ หรือน้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงเท่านั้น

ก. การเกิดรังสีเอ็กซ์

รังสีเอ็กซ์เกิดจากอีเลคตรอนพุ่งชนวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงด้วยความเร็วสูง



รูปที่ ๒ หลอดเอ็กซ์เรย์

ดังรูปที่ ๒ หลอดเอ็กซ์เรย์เป็นหลอดแก้วสูญญากาศเพื่อป้องกันการ ORIDIZATION ของไส้หลอด และทำให้อีเลคตรอนเคลื่อนตัวได้ง่าย ที่ตัวหลอดประกอบด้วยขั้วบวก (ANODE) และขั้วลบ (CATHODE) ที่ขั้วบวกมี TARGET ประกอบติดอยู่และมีช่องระบายความร้อน ขั้วลบเป็นที่ติดตั้งไส้หลอด (FILAMENT) และมี FOCUSINGCUP ครอบอยู่ด้วย การทำงานของหลอดเอ็กซ์เรย์พอจะอธิบายเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

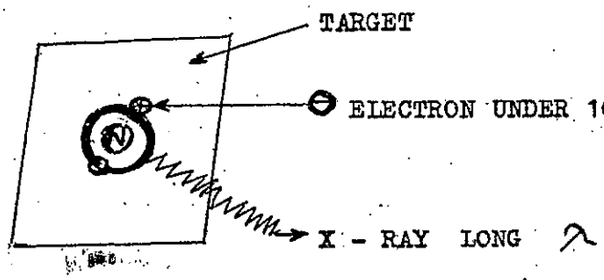
๑. ขั้วลบเป็นแหล่งเกิดอีเลคตรอน อันเนื่องมาจากการป้อนกระแสไฟ (MILIAMPERE) เข้าไปยังไส้หลอด เมื่อไส้หลอดซึ่งทำจาก TURGSTEN ได้รับความร้อนจะทำให้อีเลคตรอนในปรมาณูของธาตุTUNGSTEN หนีออกมาเป็นอิสระอยู่รอบ ๆไส้หลอดเรียกว่า THERMIONIC EMISSION ปริมาณของอีเลคตรอนสามารถควบคุมได้ด้วยปริมาณของกระแสไฟเป็นมิลิแอม

๒. เมื่อทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบโดยให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า (VOLTAGE) เกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง จะทำให้อีเลคตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนตัวจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง อีเลคตรอนก็จะเคลื่อนตัวด้วยความเร็วสูงโดยทั่วไปรังสีเอ็กซ์จะเกิดขึ้นเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าอย่างต่ำประมาณ 50 KV.

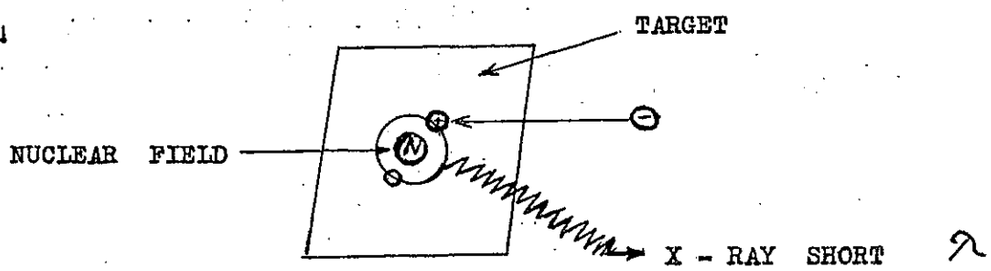
๓. FOCUSING CUP ทำหน้าที่บังคับให้ลำอีเลคตรอนเคลื่อนตัวในทิศทางที่ต้องการ

๔. TARGET ประกอบติดอยู่ที่ขั้วบวก ส่วนมากทำจาก TUNGSTEN สาเหตุที่ใช้ TUNGSTEN เพราะว่าเป็นธาตุ ที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งผลิตรังสีได้มากและคุณสมบัติอีกประการหนึ่ง คือ ทนความร้อนสูง เมื่ออีเลคตรอนพุ่งชน

TARGET ด้วยความเร็วสูงจะเกิดปฏิกริยาที่ปรมาณูของ TUNGSTEN และเปล่งพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์ ปฏิกริยาระหว่างอีเลคตรอนกับปรมาณูของ TUNGSTEN มี ๒ ระดับคือ ถ้าความเร็วของอีเลคตรอนต่ำ (KV ต่ำ) อีเลคตรอนที่พุ่งชนจะทำปฏิกริยากับอีเลคตรอนของปรมาณูในธาตุ ดังรูปที่ ๓



รูปที่ ๓ แสดงถึงการพุ่งชนระหว่างอีเลคตรอนกับอีเลคตรอน ปฏิกริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อ KV. ต่ำกว่า 100 KV. รังสีเอ็กซ์ที่ได้จะมีกำลังต่ำและมีความยาวคลื่นยาวในอีกระดับหนึ่ง ถ้าอีเลคตรอนที่พุ่งชนมีความเร็วสูงมันจะทำปฏิกริยากับ NUCLEAR FIELD ของปรมาณูของธาตุดังรูปที่ ๔ ปฏิกริยาแบบนี้จะเกิดขึ้น เมื่อ KV. สูงกว่า 100 KV. รังสีเอ็กซ์ที่ได้จะมีกำลังสูงและมีความยาวคลื่นสั้น



รูปที่ ๔ แสดงถึงการพุ่งชนระหว่างอีเลคตรอนกับ NUCLEAR FIELD

๔.๒ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรังสีกับชิ้นงาน ความสามารถทะลุผ่านของรังสีในชิ้นงานขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความหนาของชิ้นงาน ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากหรือมีความหนามากต้องใช้รังสีที่มีพลังงานมาก พลังงานของรังสีแสดงได้ด้วย KEV. หรือ MEV. ดังตารางที่ ๓ และ ๔ แสดงถึงพลังงานรังสีเอ็กซ์กับความหนาของเหล็ก และพลังงานของธาตุกัมมันตรังสีกับความหนาของเหล็ก ตามลำดับ

ตารางที่ ๓ รังสีเอ็กซ์กับความหนาของชิ้นงาน

MAXIMUM TUBE VOLTAGE, KVP (KEV)	STEEL EQUIVALANT THICKNESS, INCHES
150	UP TO 1 $\frac{1}{2}$
250	UP TO 3
400	UP TO 4
1,000	UP TO 6
2,000	UP TO 8
24,000	UP TP 20

ตารางที่ ๔ รังสีแกมม่ากับความหนาของชิ้นงาน

ISOTOPE	MEV.	STEEL EQUIVALANT THICKNESS INCHES	
		MINIMUM	MAXIMUM
CO - 60	1.17 AND 1.33	1 $\frac{1}{2}$	7
CS - 137	0.66	$\frac{5}{8}$	3 $\frac{1}{2}$
IR - 192	0.4	$\frac{3}{8}$	3
TM - 170	-	-	$\frac{3}{8}$

๔๓. ฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่ใช้

ฟิล์มเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในกิจการตรวจด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี คุณภาพของเอ็กซ์เรย์จะดีหรือเลวเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับฟิล์มด้วย ฟิล์มผลิตขึ้นมาจากหลาย ๆ บริษัทซึ่งก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป การเรียนรู้คุณสมบัติของฟิล์มแต่ละชนิดแต่ละบริษัทเป็นอย่างดีจะช่วยให้การถ่ายภาพด้วยรังสีมีคุณภาพที่ดีด้วย

๔.๓.๑ ลักษณะของฟิล์มเอ็กซ์เรย์ แผ่นฟิล์มทำจากแผ่นปลาสติกบางโปร่งใสสามารถบิดตัวได้ มีสารเคมีเคลือบแผ่นฟิล์มด้านหนึ่ง ด้านใดหรือทั้งสองด้านมีลักษณะเป็น GELATIN เรียกว่า EMULSION ส่วนผสมหลักของ EMULSION ได้แก่ SILVER BROMIDE หรือ SILVER HALIDE ความหนาของ EMULSION ประมาณ ๐.๐๐๑

๔.๓.๒ ซองบรรจุฟิล์ม

ถ้าฟิล์มถูกแสงจะทำให้เสียได้ ฉะนั้นจึงต้องบรรจุในซองที่ทึบแสง แต่ยอมให้รังสีผ่านได้ง่าย ลักษณะของบรรจุฟิล์มมีดังนี้

๑. ซองแบบแข็ง (CASSETTE) เมื่อจะนำฟิลม์ไปถ่ายภาพด้วยรังสี จะต้องประจุฟิลม์กับซองแบบแข็ง ซองจะแผ่นในห้องมืด

๒. ซองแบบอ่อน (FLEXIBLE HOLDER) ทำด้วยปลาสติกสีดำ สามารถอ่อนตัวได้ การใช้งานเหมือนกับซองแข็ง

๓. ซองแบบบรรจุเสร็จ(SELF CONTAIN) ซองแบบนี้ทำด้วยกระดาษทึบแสง ประกอบเสร็จมาจากโรงงานผลิต บางชนิดมี SCREEN ประกอบมาด้วย ซึ่งเรียกกันว่า

- READY PACK (มีแถบฉีกสีฟ้า)
- LEAD PACK (มีแถบฉีกสีแดง) ภายในซองมี LEAD SCREEN ประกอบมาด้วย

๔.๓.๓ คุณสมบัติของฟิลม์

๑. SPEED ความไวต่อแสงหรือรังสี

๒. CONTRAST ความคมชัด

๓. GRAIN SIZE คือขนาดของผง SILVER BROMIDE ที่ผสมใน EMULSION

๔.๓.๔ ความสัมพันธ์ระหว่าง SPEED, CONTRAST และ GRAIN SIZE

Speed	Contrast	Grain Size
ต่ำ	สูง	ละเอียด
สูง	ต่ำ	หยาบ

๔.๓.๕ การแบ่ง CLASS ของ FILM X - RAY

๑. EXTRA FINE GRAIN ได้แก่ฟิล์มที่มี SPEED ต่ำและให้ CONTRAST สูง เช่น KODAK M,DUPONT55 และ AGFA D 4 เหมาะสำหรับถ่ายโลหะเบา เช่น AL,MG.

๒. FINE GRAIN ได้แก่ฟิล์มที่มี SPEED ปานกลาง ให้ CONTRAST ต่ำกว่า CLASS I เหมาะสำหรับถ่ายเหล็ก เช่น KODAK AA, DUPONT 75,AGFA D 7

๓. COARSE GRAIN ได้แก่ฟิล์มที่มี SPEED สูง ให้ CONTRAST ต่ำ เหมาะสำหรับถ่ายโลหะที่มีความหนาแน่นสูงและมีความหนามาก ๆ เช่น KODAK F, DUPONT,AGFA D10

๔.๓.๖ การเก็บรักษาฟิล์ม ควรเก็บที่อุณหภูมิ 65°-$75^{\circ}F$ ความชื้นไม่เกิน ๕๐ % ควรวางฟิล์มในตำแหน่งตั้งเอาสันลง เพื่อป้องกัน PRESSURE MARK เนื่องจากฟิล์มซ้อนกัน

๔.๓.๗ การล้างฟิล์ม เป็นขั้นตอนที่ ๒ ของการตรวจด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี รังสีและแสงจะทำปฏิกริยาในลักษณะ IONIZATION กับ SILVER BROMIDE ที่ผสมอยู่ใน EMULSION ที่เคลือบแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีเปลี่ยนไป ปฏิกิริยาดังกล่าวยังไม่ปรากฏให้เห็นจนกว่านำฟิล์มไปล้าง ส่วนที่ถูกแสงหรือรังสีมากจะมีสีเทาดำ ส่วนที่ถูกรังสีน้อยจะจางลง เมื่อผ่านการล้างเรียบร้อยแล้ว

การล้างฟิล์มทำได้ ๒ แบบ คือ ล้างด้วยมือและล้างด้วยเครื่อง ล้างฟิล์มอัตโนมัติ การล้างฟิล์มด้วยมือมี ๕ ขั้นตอนคือ

๑. DEVELOPING ๒. STOP DEVELOPING ๓. FIXING

๔. WASHING ๕. DRYING

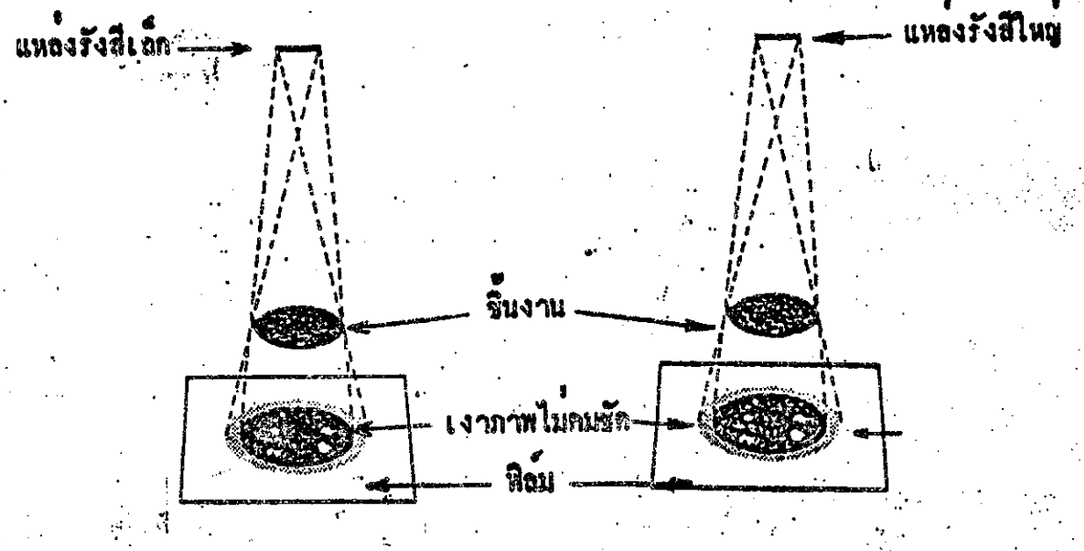
ส่วนการล้างด้วยเครื่องอัตโนมัติ ไม่มีขั้นตอนที่ ๒

๔.๓.๘ การอ่านฟิล์ม คือการเปรียบเทียบความเข้ม (DENSITY) บนแผ่นฟิล์มด้วยสายตา เครื่องหมาย (INDICATION) เป็นจุดดำอาจแสดงถึงการผุกร่อนหรือสภาพพรุนภายในเนื้อวัสดุเครื่องหมายที่เป็นเส้นดำ อาจแสดงถึงรอยแตกร้าวหรือรอยบีบตัว ส่วนเครื่องหมายที่เป็นจุดจางใส อาจแสดงถึงสิ่งเจือปนหรือวัสดุแปลกปลอม

๔.๔ ลักษณะทางเรขาในขณะถ่ายภาพด้วยรังสี (GEOMETRIC PRINCIPLES)

ลักษณะทางเรขาในขณะถ่ายภาพด้วยรังสี ได้แก่ ระยะทางจาก แหล่งรังสีถึงฟิล์มขนาดความโตของแหล่งรังสี ขนาดของชิ้นงานและรูปร่างระยะทางจากชิ้นงานถึงฟิล์มมุมการถ่ายภาพและการคำนวณปริมาณรังสี ลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าวจะมีผลโดยตรงต่อความคมชัดของฟิล์ม ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจถึงลำดับต่อไปนี้

๔.๔.๑ ขนาดของแหล่งรังสี แหล่งรังสีขนาดเล็กจะให้ความคมชัดของภาพที่ปรากฏบนฟิล์มได้ดีกว่าแหล่งรังสีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ ๕ เงาภาพที่ไม่คมชัดจะเกิดบริเวณขอบ ๆ ของเงาภาพที่แท้จริง

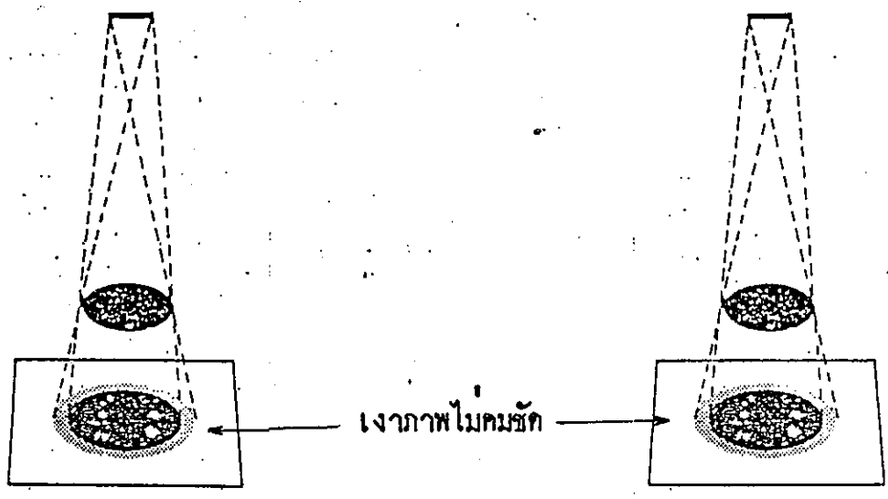


รูปที่ ๕

๔.๔.๒ ระยะห่างจากแหล่งรังสี ถึงชิ้นงาน

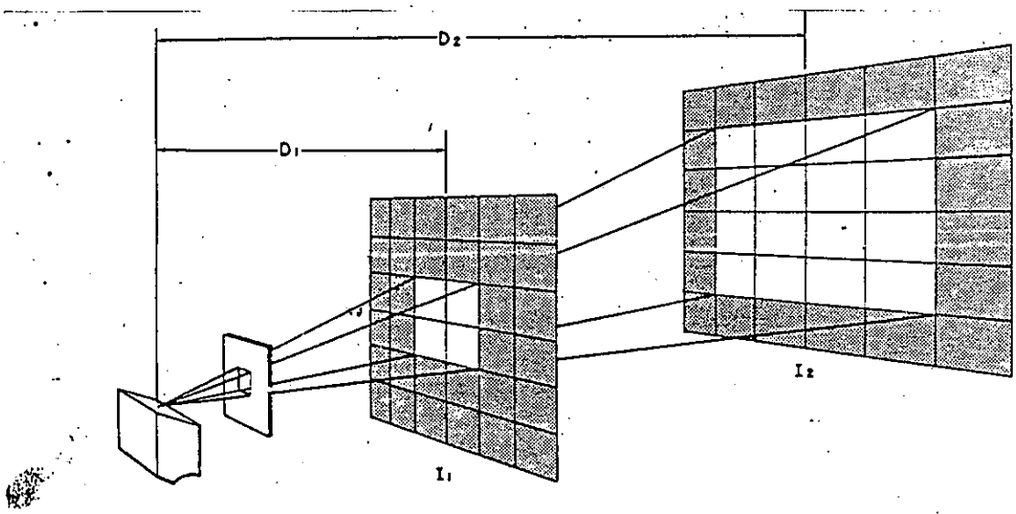
๑. ในกรณีที่แหล่งรังสีขนาดเท่ากัน ระยะห่างจากแหล่งรังสีถึงชิ้นงานที่ยาวกว่า จะได้ความคมชัดมากกว่า ดังรูป ๖

หมายเหตุ ระยะทางจากแหล่งรังสีถึงชิ้นงานอย่างน้อยที่สุด ต้องไม่ต่ำกว่า ๘ เท่าของความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ ๖

๒. ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบบนฟิล์ม จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อ ระยะทางจากแหล่งรังสีถึงฟิล์มเปลี่ยน จากการทดลองพบว่าความเข้มจะเป็นสัดส่วนกลับกับระยะทางกำลังสอง หรือ $I \propto \frac{1}{D^2}$ (เมื่อ I คือความเข้มของรังสี และ D คือระยะห่างจากแหล่งรังสีถึงฟิล์ม)



รูปที่ ๗

จากรูปที่ ๗ I_2 จะขยายเป็น ๔ เท่า และจางลงเป็น ๔ เท่า ของ I_1 เมื่อเพิ่มระยะทางจาก D_1 เป็น ๒ เท่าซึ่งเท่ากับ D_2

สูตร INVERSE SQUARE LAW

เมื่อ I_1 และ I_2 คือความเข้มของรังสีที่ระยะ D_1 และ D_2

ตัวอย่าง วัดความเข้มของรังสีที่ระยะ ๔๐ นิ้วได้ 2MR ความเข้มของรังสีที่ระยะ ๒๐ นิ้ว จะเป็นเท่าใด

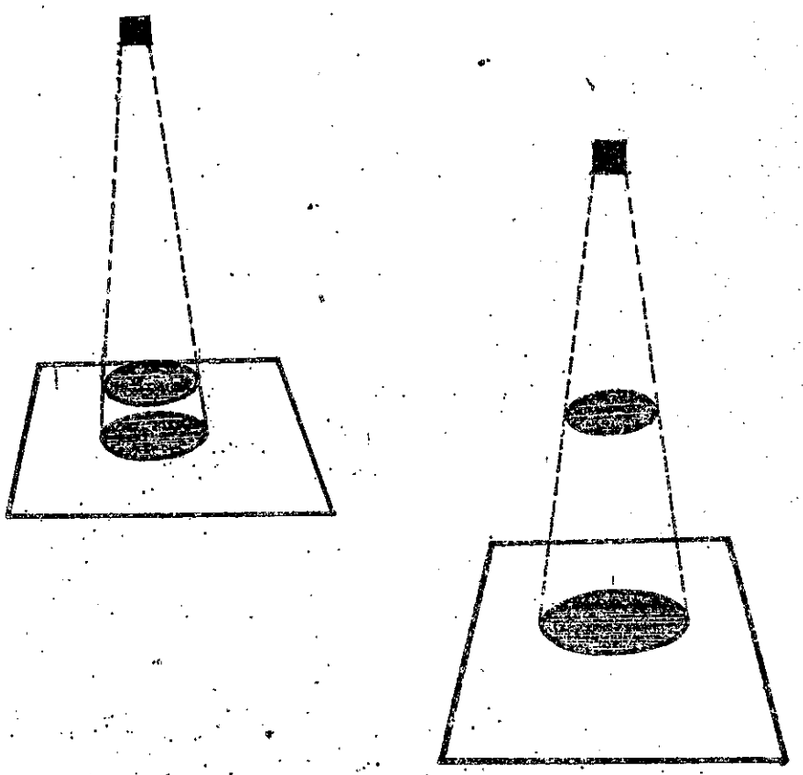
$I_1 = 2$ MR $\quad D_1 = 40"$ $\quad D_2 = 20"$

จากสูตร $I_2 = I \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$

$= 2 \left(\frac{40}{20}\right)^2 = 2 (2)^2 = 2 \times 4 = 8$ MR

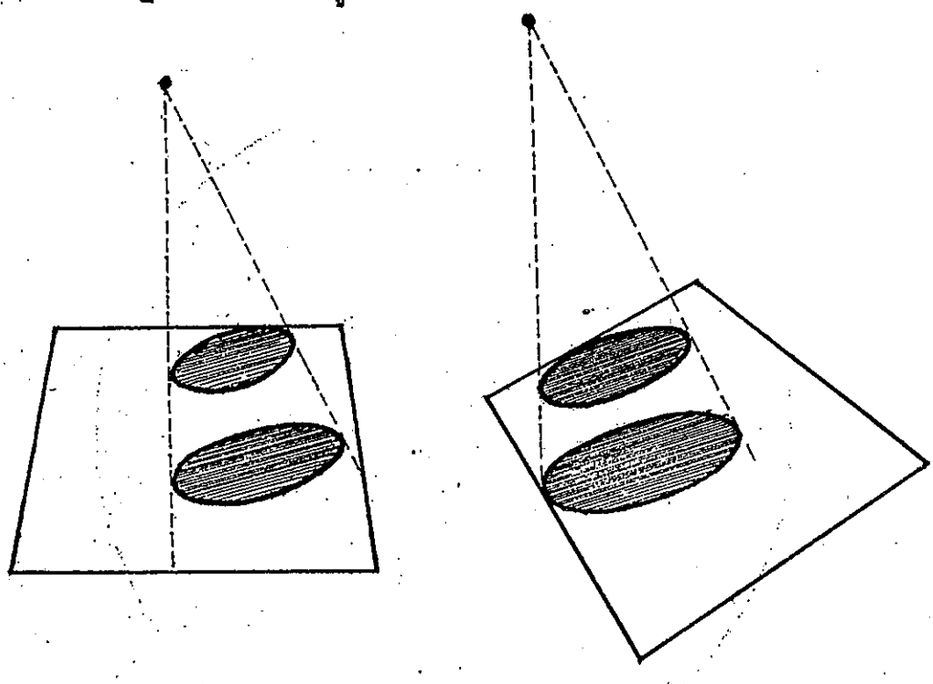
๔.๔.๓ รูปร่างและขนาดของชิ้นงาน ชิ้นงานที่มีรูปร่างสลับซับซ้อนและมีความหนาแตกต่างกัน ต้องถ่ายภาพหลายครั้งตามระดับความหนา เพื่อให้ได้ภาพที่คมชัดในระดับความหนานั้น ๆ อาจจะต้องทำการถ่ายหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้การตรวจได้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ที่ต้องการหรืออาจจะเพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งรังสีกับชิ้นงานให้ยาวออกไป แต่จะต้องคำนึงถึงการจางลงของความเข้มรังสีด้วย

๔.๔.๔ ระยะทางจากชิ้นงานถึงแผ่นฟิล์ม ถ้าระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับแผ่นฟิล์มมีมาก ภาพที่ได้จะมัวไม่คมชัด และขนาดของภาพจะใหญ่กว่าความเป็นจริง ดูรูปที่ ๔



รูปที่ ๔

๔.๔.๕ มุมการถ่ายภาพด้วยรังสี แนวทิศทางของรังสีที่ไม่ตั้งฉากกับพื้นผิวด้านหน้า ทำให้ภาพที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์ม บิดเบี้ยวไปจากความเป็นจริงและในทำนองเดียวกันแผ่นฟิล์มที่วางไม่ขนานกับชิ้นงานก็ทำให้ภาพที่ปรากฏบิดเบี้ยว เช่นดังรูป ๔



รูปที่ ๔

๔.๕ <u>การคำนวณปริมาณรังสี</u> ปริมาณรังสีที่ตกกระทบ บนแผ่นฟิล์มที่พอเหมาะจะทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัด ความเข้มของภาพที่มีความคมชัดจะอยู่ระหว่าง ๑.5 - 2.0 DENSITY

การคำนวณปริมาณรังสีเอ็กซ์ มีส่วนประกอบดังนี้

๔.๕.๑ กิโลโวล์ต(KV) จะแสดงถึงความแรงของรังสีเอ็กซ์ กิโลโวลต์มาก มีความแรงมาก สามารถผ่านทะลุชิ้นงานที่มีความหนากว่าหรือมีความหนาแน่นมากกว่าได้ ดังตารางเปรียบเทียบระหว่างความหนาของเหล็กกับ KV. ที่ใช้

VOLTAGE	THICKNESS OF STEEL (INCHES)	
	PRODUCTION TECHNIQUES	LABORATORY TECHNIQUES
175 KV	⅛ - 1	⅛ - 1 ½
250 KV	¼ - 2	⅛ - 3
1000 KV	½ - 4	½ - 6
2000 KV	¾ - 8	¾ - 10
10 - 30 MGV	¾ - 14	¾ - 8

๔.๕.๒ MA มิลิแอมแปร์ คือ จำนวนกระแสไฟเลี้ยงไส้หลอดเอกซ์เรย์ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีเอกซ์

๔.๕.๓ เวลา (T) เป็นระยะเวลาที่ฉายรังสีเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อปริมาณรังสี

<u>หมายเหตุ</u> MA และเวลาต่างก็เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อปริมาณรังสี หรืออาจพูดได้ว่า MAX.T เป็นปริมาณรังสีเอกซ์ ถ้า MA ลดลงจะต้องเพิ่ม T ชดเชยเพื่อให้ได้ปริมาณรังสีคงเดิม ซึ่งอาจเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$M_1 T_1 = M_2 T_2$$

เมื่อ M_1 = MA เดิม

T_1 = เวลาเดิม

M_2 = MA ใหม่

T_2 = เวลาใหม่

<u>ตัวอย่าง</u> เดิมใช้ปริมาณรังสี ๔ มิลิแอมแปร์ และเวลา ๒ นาที ถ้าต้องการเปลี่ยนเป็น ๒ มิลิแอมแปร์ จะต้องใช้เวลาเป็นเท่าใด เพื่อให้ได้ปริมาณรังสีเท่าเดิม

สูตร $M_1 T_1 = M_2 T_2$

$$T_2 = \frac{M_1 T_1}{M_2}$$

$$= \frac{4 \times 2}{2}$$

$$= 4$$

เวลาที่ต้องการ = ๔ นาที

๔.๕.๔ FFD (FILM FOCUS SISTANCE)

ระยะทางระหว่างแหล่งรังสีถึงฟิล์ม จะมีผลทำให้ความเข้มหรือปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลงตามกฎ INVERSE SQUARE LAW ดังได้กล่าวมาแล้ว กล่าวคือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ปริมาณรังสีจะลดลง และในทางกลับกันถ้าระยะทางลดลง ปริมาณรังสีจะเพิ่มขึ้น แต่ในการคำนวณเพื่อให้ได้รังสีคงเดิม เมื่อระยะทางเพิ่ม จะต้องเพิ่มปริมาณหรือเวลา เพื่อชดเชยปริมาณรังสีที่ลดลงไป ดังสูตร การชดเชย (RECIPROCITY LAW) ดังนี้

$$\frac{M_1 T_1}{D_1^2} = \frac{M_2 T_2}{D_2^2}$$

เมื่อ M_1 = MA เดิม

M_2 = MA ใหม่

T_1 = เวลาเดิม

T_2 = เวลาใหม่

D_1 = ระยะทางเดิม

D_2 = ระยะทางใหม่

<u>ตัวอย่าง ๑</u> จากตารางข้างล่าง ถ้าต้องการเปลี่ยนระยะทาง จากเดิม ๓๖ " เป็น ๗๒" จะต้องเปลี่ยนเวลาเป็นเท่าใด

	KV	MA	T	FFD	FILM	SCREEN
เดิม	100	A	๑ นาที	AA	AA	NONE
ใหม่	100	A	?	๗๒ นิ้ว	AA	NONE

จากสูตร $\frac{M_1 T_1}{D_1^2} = \frac{M_2 T_2}{D_2^2}$

$$T_2 = \frac{MT}{M} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

$$= \frac{4 \times 1}{4} \left(\frac{72}{36}\right)^2$$

$$= (2)^2$$

$$= 4 \text{ นาที}$$

จะต้องเพิ่มเวลาเป็น 4 นาที

<u>ตัวอย่าง ๒</u> จากตารางเดิม ถ้าเปลี่ยนระยะทางจาก ๓๖" เป็น ๑๘" จะต้องเปลี่ยนเวลาเป็นเท่าใด

$$T2 = \frac{M_1 T_1}{M_2} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 = \frac{4 \times 1}{4} \left(\frac{18}{36}\right)^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \text{ นาที หรือ } 15 \text{ วินาที}$$

๔.๖ การคำนวณเปรียบเทียบฟิล์มที่มีความไวต่างกัน

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของฟิล์ม X-ray ความไวของฟิล์ม แบ่งได้เป็น ๓ ระดับ คือ Low Speed, Meduim speed และ High speed.

ตารางข้างล่าง แสดงถึงชนิดของฟิล์ม และบริษัทผู้ผลิต กับความสัมพันธ์ระหว่างความไวของฟิล์ม

ตารางที่ ๖

Film MFGR	Relative Film Speed
Kodak	
AA	6.8
T	4.0
M	2.2
R	0.8
Gevert	
D 7	8.6
D_5	4.8
D_4	2.4
D_2	0.6
Dupout	
75	8.4
65	4.0
55	2.2
45	1.0

ดังตารางที่ ๖..... ฟิล์ม Kodak AA มีความไวกว่า ฟิล์ม Kodak M ประมาณ ๓ เท่า (๖.๘ ÷ ๒.๒ = ๓.๐) Kodak M,Gevert D 4และ Dupout 55 มีความไวเท่ากัน

ตัวอย่าง ดังตารางข้างล่าง ถ้าต้องการเปลี่ยนฟิล์ม AA เป็นฟิล์ม M จะใช้เวลาเป็นเท่าใด

	KV	MA	T	FFD	FILM	SCREEN
เดิม	100	4	๑นาที	๓๖ นิ้ว	AA	NONE
ใหม่	100	.4	?	๓๖ นิ้ว	M	NONE

วิธีทำ จากตารางที่ ๖ ฟิล์ม AA มีความไวกว่า ฟิล์ม M = $\frac{6.8}{2.2}$ = 3.1

∴ เวลาที่ต้องการคือ 1 X 3.1 = 3.1 นาที

อธิบาย เดิมใช้ฟิล์ม AA ใช้เวลา ๑ นาที เมื่อเปลี่ยนเป็นฟิล์ม M ต้องใช้เวลาเป็น ๓.๑ นาที จึงจะทำให้ได้ภาพที่มีความเข้มเท่าเดิม

๔.๗ Technic chart

Technic chart เป็น chart ที่แสดงความสำพันธ์ ระหว่างความหนาของวัสดุชนิดนั้น และความแรงของรังสีที่จะใช้ เครื่องมือ X - ray ของแต่ละบริษัทและต่างขนาดกันจะมีสมรรถนะไม่เหมือนกัน จึงต้องมี Technic chart ของแต่ละเครื่องไว้โดยเฉพาะ

Technic chart เป็น grarph เส้นตรง บนกระดาษ grarph แบบ Logavithn แบ่งเป็น ๒ ส่วน คือ

๑. ส่วนคงที่ ได้แก่

- Material type
- Density
- Film type
- FFD
- Machine type and range
- Processing
- Sreen type

๒. ส่วนไม่คงที่ ได้แก่

- Thickness of material (แกน X)
- KV (กราฟเส้นตรง)
- MA - Min or mas (แกน y)

รูปที่ ๑๐ แสดงถึง Technic chart ของเครื่องเอ็กซ์เรย์ sperry 275 สำหรับวัสดุ aluminum

- เส้นแนวนอน (แกน X) แสดงถึงความหนาของ Aluminum ช่องละ ๐.๐๑ นิ้ว เริ่มจาก 0 - 2 นิ้ว
- เส้นแนวตั้ง (แกน y) แสดงถึงปริมาณรังษี (Exposure) เป็น Miliamp - Second (MAS) ช่องละ ๑๐ MAS เริ่มจาก ๑๐๐ - ๑๐,๐๐๐ MAS.
- เส้นกราฟเส้นตรงแต่ละเส้นแสดงถึง KV. ที่ใช้ มี ๕ เส้น 50 KV,70 KV,90KV, 110 KV, และ 130 KV.ตามลำดับจากบนลงล่าง
- มุมด้านขวาของกระดาษกราฟ แสดงถึงชนิดเครื่องเอ็กซ์เรย์เป็นแบบ Sperry ๒๗๕ ฟิล์ม โกดัก M, FFD.=๓๖ นิ้ว วัสดุ อลูมินั่ม ไม่ใช้ Screen และ Density = 2.0

๔.๗.๑ <u>การอ่าน TECHNIC CHART</u> ถ้าต้องการ X-RAY ๑.๑.หนา ๑ นิ้ว โดยคำนวนจาก กราฟ รูปที่ ๑๐ จะต้องใช้ KV.และ EXPOSURE เท่าไร ?

<u>วิธีอ่าน</u> – จากเส้นแนวนอนที่ความหนา ๑ นิ้ว มองขึ้นไปตามแนวตั้งจะพบเส้นตัดกับกราฟเส้นตรง ๕ จุด

– ควรเลือกจุดตัดที่ KV. ต่ำที่สุดเพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัด (CONTRAS)

– ดังในรูปจุดตัดบนเส้นกราฟ 50 KVมองขนานไปทางซ้ายมือแนวดิ่งจะได้ 1,150 MAS.

– ฉะนั้น จะเขียนเป็นตารางเพื่อให้อ่านได้ง่ายดังนี้

MATERIAL THK AL.(INCH)	KV.	MAS		FFD (INCH)	FILM	SCREEN	DENSITY
		MA	T(SEC)				
1.	50	1,150		36	M	NONE	2
หรือ	50	4	287	36	M	NONE	2

๔.๘ <u>การเปรียบเทียบความหนาวัสดุ</u>

ในกรณีที่ไม่มี Technic chart ของวัสดุอื่น แต่มี Technic chartของวัสดุชนิดใดชนิดหนึ่งแล้วเราสามารถที่จะคำนวณเปรียบเทียบจากความหนาแน่นได้

<u>ดังตารางที่ ๗</u> แสดงถึงค่า Factor ของวัสดุแต่ละชนิด ที่ระดับ KV ต่าง ๆ กัน เพื่อเปรียบเทียบ Technic chart ของเหล็ก

MATERIAL	100 KV	150 KV	220 KV	250 KV
Mg	0.05	0.05	0.08	-
AL	0.08	0.12	0.18	-
AL-ALLOY	0.10	0.14	0.18	-
TI	-	0.54	0.54	0.60
Fe	1.0	1.0	1.0	1.0
Cu	1.5	1.6	1.4	1.4
INCONEL	-	1.4	1.3	1.3
LEAD	14.0	14.0	12.0	12.0

MATERIAL CONVERSION CHART

ตัวอย่าง ต้องการเอ็กซเรย์ Mg หนา ๒" ที่ 100 KV ไม่มี Technic Chart ของ Mg แต่มี Technic chart ของเหล็ก ควรใช้ความหนาเทียบเท่าเหล็กเท่าใด ?

วิธีทำ จากตารางที่ ๗ Factor ของ Mg ที่ 100 KV คือ 0.05

∴ เมื่อเปรียบเทียบเป็นความหนาเหล็ก = 0.05 X 2

= 0.1 นิ้ว

๔.๕ FILM CHALACTERISTIC CURVES หรือ H. AND D CURVES

FILM CHALACTERISTIC CURVES แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง EXPLOSURE กับ Density ของฟิล์มแต่ละชนิดซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จาก Curves นี้ได้ดังนี้.-

๑. คำนวณปรับ Explosure เพื่อให้ได้ Density ตามต้องการ

๒. เปรียบเทียบ Film speed ที่ระดับ Density ต่าง ๆ กัน

๓. ดูสมรรถนะของฟิล์มแต่ละชนิด

ดังรูปที่ ๑๒ เป็น Chalacteristic curves ของฟิล์มโกดัก ชนิดต่าง ๆ เส้นแนวนอนเป็นค่า Log relative explosure และแนวตั้งเป็นค่า Density เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงชนิดของฟิล์มเริ่มจาก Kodak film K, Noscreen P,AA และ M ตามลำดับจากซ้ายมุมบนด้านซ้ายแสดงถึงระยะเวลา Develope ๕ นาที ที่ 68° F ในการล้างด้วยมือ

๔.๕.๑ ตัวอย่างการคำนวณปรับ EXPOSURE

สมมติว่า X-RAY อล.หนา ๐.๕ นิ้ว ด้วย EXPOSURE ดังตารางข้างล่าง ได้แก่ Density เพียง ๑ เท่านั้น ถ้าต้องการ Density2Exposure ควรเป็นเท่าใด ?

KV	MA	$T_{(MIN)}$	FFD	FILM	DENSITY	PROCESSING
70	4	1	36	M	1	MANUAL
70	4	?	36	M	2	MANUAL

วิธีทำ

จาก Film Chalacteristic curves รูปที่ ๑๑

๑. ที่ Density ๑.๐ ลากเส้นขนานไปตัดกราฟของฟิล์ม M

๒. อ่านค่า Log relative Exposure (LRE) จากเส้นแนวนอนได้ ๑.๗๖

๓. ที่ Density 2 อ่านค่า LRE ได้ ๒.๐๖

๔. ค่าความแตกต่างของ LRE ในข้อ ๒ และ ๓ เท่ากับ ๒.๐๖ − ๑.๗๖ = .๓๐ ค่าความแตกต่างดังกล่าวยังเป็นค่า LOG อยู่ ดังนั้นต้องเปิด Antilog เพื่อให้ได้ค่าจริง

๕. Antilog ของ ๐.๓๐ = ๑.๙๙

๖. ฉะนั้นต้องเพิ่มเวลาเป็น ๑.๙๙ นาที

เพื่อความเข้าใจได้ง่ายขึ้น เขียนเป็นตารางได้ดังนี้

KV	MA	T	FFD	FILM	DENSITY	PROCESSING	LRE	LRD	ANTILOG
70	4	1	36	M	1	MANUAL	1.76	0.30	1.99
70	4		36	M	2	MANUAL	2.06	-	-

๔.๙.๒ <u>ตัวอย่างเปรียบเทียบ Film Speed</u>

จากตาราง Exposure ข้างล่าง ถ้าจะเปลี่ยนฟิล์ม m

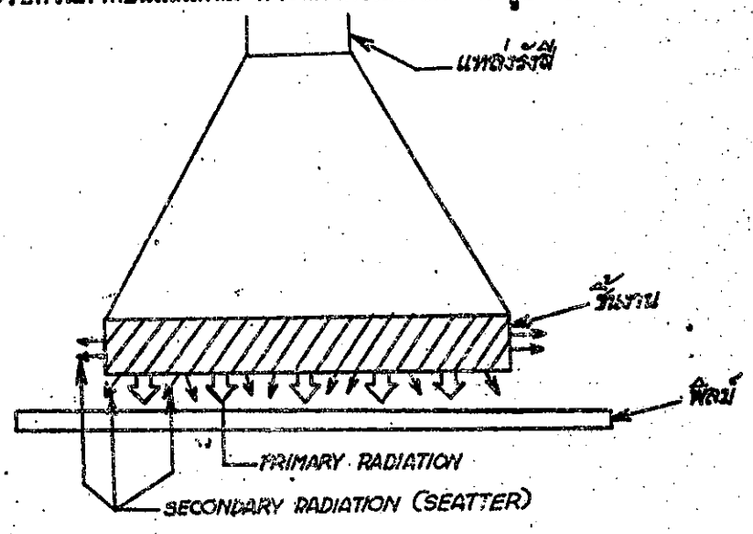
เป็น AA ที่ density 2 เวลาจะเป็นเท่าใด ?

KV	MA	T	FFD	FILM	PROCESSING	DENSITY	LRE	LRD	ANTILOG
70	4	2	36	M	MANUAL	2	2.06	.5	3.16
70	4		36	AA	MANDAL	2			

∴ เวลาที่ต้องการคือ 3.16 = 0.63 นาที

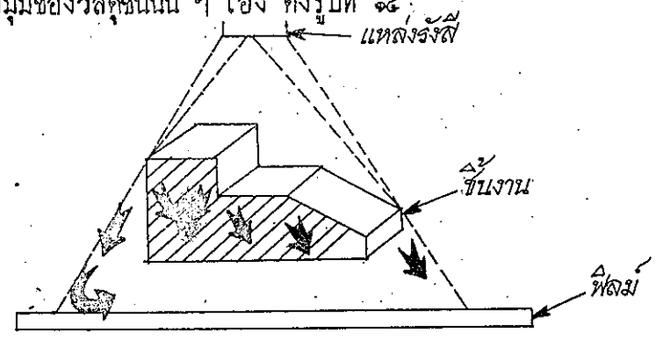
๔.๑๐ การฟุ้งกระจายของรังสี (RADIATION SCATTER)

การฟุ้งกระจายของรังสีเกิดขึ้นในขณะทำการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา เมื่อรังสีกระทบชิ้นงาน รังสีบางส่วนจะผ่านชิ้นงานไปได้ และรังสีที่เหลือจะถูกดูดซับไว้ รังสีจะทำปฏิกริยากับอณูของเนื้อวัสดุ และเนื้อวัสดุ จะผลิตพลังงานรังสีออกมาเรียกว่า SECONDARY RADIATION หรือ SCATTER รังสีชนิดนี้จะรบกวนภาพบนแผ่นฟิล์ม ทำให้ภาพไม่คมชัด ดังรูป ๑๓



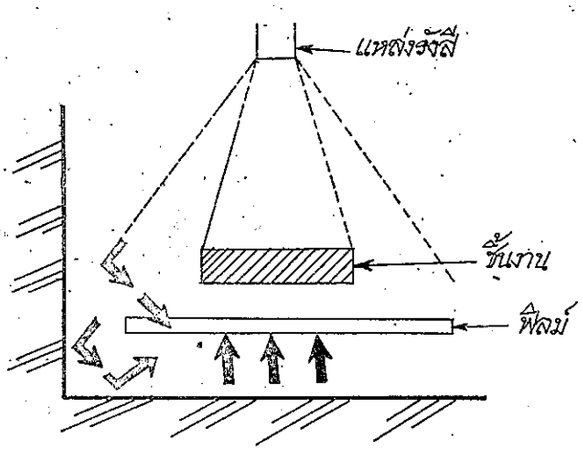
รูปที่ ๑๓ แสดงถึง SCATTER เนื่องจากปฏิกริยาระหว่างโลหะกับรังสีการเกิด SCATTER ดังกล่าวเรียกว่า COMTON SCATTER จะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานรังสีสูงกว่า 100 KV.

รูปร่างลักษณะของชิ้นงานก็มีผลทำให้เกิดการ SCATTER ขึ้นได้เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากเหลี่ยมหรือแง่มุมของวัสดุชิ้นนั้น ๆ เอง ดังรูปที่ ๑๔



รูปที่ ๑๔ ลูกศรแสดงถึงลักษณะการฟุ้งกระจายของรังสีเนื่องจากลักษณะของชิ้นงาน

พื้นห้องฝาผนังและบริเวณใกล้เคียงที่ทำการเอ็กซ์เรย์ก็ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของรังสี ได้เช่นกัน การฟุ้งกระจายแบบนี้เรียกว่า BACK SCATTER ทั้งนี้เนื่องจากการสะท้อนกลับ การหักเหของรังสี สามารถป้องกันอาการคุ้งกลางได้โดยใช้แผ่นตะกั่ว ปูที่พื้น บุที่ฝาผนัง และบริเวณข้างเคียงภายในห้องเอ็กซเรย์



รูปที่ ๑๕ แสดงถึงลักษณะของ BACK SCATTER อันเนื่องมาจาก พื้นห้อง ฝาผนัง และบริเวณใกล้เคียง อาการ SCATTER ทั้งหมดที่เกิดขึ้นดังรูปที่ ๑๓, ๑๔, ๑๕ นั้น สามารถขจัดหรือทำให้ลดลงได้โดยใช้ LEAD SCREEN

๔.๑๑ RADIATION SCREENS

SCREEN ที่ใช้ประกอบในการถ่ายภาพด้วยรังสีทางด้านอุตสาหกรรมมีอยู่ ๒ ชนิดคือ LEAD SCREEN และ FLUORESCENT SCREEN ทั้ง ๒ ชนิดนี้เรียกว่า INTENSIFY SCREEN เพราะมันทำหน้าที่เพิ่มพลังงานรังสีที่ตกกระทบบนฟิล์มได้อีกด้วย SCREEN จะขึ้นอยู่ระหว่างชิ้นงานกับฟิล์ม และประกอบด้านหลังของฟิล์มหรือพูดง่าย ๆ ว่า แผ่นฟิล์มจะสอดอยู่ระหว่าง SCREEN ทั้งสอง นอกจาก SCREEN ที่กล่าวมาแล้วยังมี SCREEN บางชนิด กั้นระหว่างรังสีกับชิ้นงานทั้งนี้ เพียงกั้นรังสีที่มีกำลังต่ำ ผ่านลงไปยังชิ้นงาน

๔.๑๑.๑ LEAD SCREEN

LEAD SCREEN ทำจาก ANTIMONY ๖ เปอร์เซนต์และตะกั่ว ๙๔ เปอร์เซนต์ ทำเป็นแผ่นบางๆความหนาประมาณ ๐.๐๐๕ - ๐.๐๑๕ นิ้ว แต่ละแผ่นประกอบติดอยู่กับแผ่นปลัสติค บาง ๆ เพื่อให้ บิดตัวได้เล็กน้อย การเลือกใช้ความหนาของ LOAD SCREEN นั้นขึ้นอยู่กับกำลังของรังสีโดยปกติชิ้นงานที่ทำด้วยเหล็กหนา $\frac{๑}{๒}$ - $\frac{๓}{๔}$ นิ้ว จะใช้ความหนาของ LEAD SCREEN ประมาณ ๐.๐๐๕ นิ้ว ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

LEAD SCREEN ด้านหน้า จะขึ้นอยู่ระหว่างชิ้นงานกับแผ่นฟิล์มทำหน้าที่กัน SECONDARY RADIATION หรือ SCATTER ที่เกิดจากชิ้นงาน SECONDARY RADIATIONนี้จะไม่สามารถผ่าน LEAD SCREEN แผ่นหน้าไปได้เนื่องจากมีความยาวคลื่นยาวซึ่งมีกำลังต่ำ มันยอมให้ผ่านได้เฉพาะรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้น หรือ PRIMARY RADIATION รังสีที่ผ่าน LEAD SCREEN ไปได้จะทำปฏิกริยากับ อีเลคตรอนในปริมาณของตะกั่วซึ่งมันจะเปลี่ยงพลังงานรังสีออกมาเป็น SECONDARY RADIATION ในทิศทางเดียวกัน PRIMARY RADIATION พลังงานที่เปลี่ยงออกมานี้จะช่วยทำปฏิกริยากับ EMULSION บนแผ่นฟิล์ม แต่ปฏิกริยาดังกล่าวจะได้ผลดีที่สุดต่อเมื่อ LEAD SCREEN กับแผ่นฟิล์มต้องแนบติดกัน

LEAD SCREEN ด้านหลังจะประกบติดอยู่ด้านหลังของแผ่นฟิล์ม ทำหน้าที่ดูดซับรังสีที่ผ่านมาจากแผ่นฟิล์มมีให้พังกระจาย และป้องกัน BACK SCATTER อันเกิดจากการสะท้อนกลับของรังสีกับพื้นห้องฝ่าผนังหรือบริเวณใกล้เคียง LEAD SCREEN ด้านหลังหรือแผ่นหลังนี้ปกติจะมีความหนาเท่ากันหรือหนากว่า LEAD SCREEN ด้านหน้า

LEAD SCREEN เป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ใหม่ได้จะทำให้มีขนาดกว้าง - ยาว เท่ากับแผ่นฟิล์มที่ใช้ จะใส่ไว้ใน CASETTE หรือในซองปลัสติค แบบอ่อนก็ได้ LEAD SCREEN บางชนิดประกอบมาในซองฟิล์มทั้งแบบแผ่นและแบบม้วน ในลักษณะของ LEAD OXIDE ที่ฉาบบนแผ่นกระดาษซึ่งเป็นอันตรายภายหลังจากใช้งานแล้วต้องทำลายทิ้ง LEAD SCREEN - แบบนี้มีชื่อเรียกต่างกันตาม TRADE NAME แต่ละบริษัทผู้ผลิต สำหรับของ KODAK เรียกว่า LEAD PACK ประกอบมาในซองแบบบรรจุเสร็จ (SELF CONTAIN FIIM HOLDER) มีลักษณะเป็นสารเคมี สีแดงเคลือบบนแผ่นกระดาษ ในกรณีที่นำ LEAD SCREEN ไปใช้ถ่ายภาพ K.V.ต่ำ ๆ มันจะเป็นตัวปิดกั้นรังสีเสียเอง ทั้งนี้เนื่องจาก K.V. ต่ำ มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ ที่ 150 K.V.- 300 K.V. LEAD SCREEN จะช่วยลดระยะเวลาการถ่ายภาพได้ $\frac{๑}{๒}$ - $\frac{๑}{๓}$ เท่า แต่อย่างไรก็ตาม ข้อดีของ LEAD SCREEN ก็คือการป้องกัน การ SCATTER ของรังสี

ได้มีการนำ LEAD SCREEN มาใช้ในการถ่ายภาพ ด้วยรังสีกันอย่างกว้างขวาง คุณสมบัติในการเพิ่มปริมาณรังสี(INTENSIFY ACTION) ของ LEAD SCREEN จะช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายภาพ เหล็กที่มีความหนาตั้งแต่ ๐.๒๕ นิ้ว โดยใช้130 KV. ลงได้ บางครั้งมันไม่สามารถลดระยะเวลาการถ่ายภาพลงได้ แต่เป็นการเพิ่มก็ตาม มันก็ยังมีคุณประโยชน์ ในการทำให้ภาพที่

มีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้น LEAD SCREEN จึงนิยมใช้กันกว่า FLUORESCENT SCREEN

<u>การเก็บรักษา LEAD SCREEN</u>

ด้วยเหตุที่ว่า วัสดุเบาสามารถดูดซับอีเลคตรอนได้ดี ฉะนั้นที่ผิวของ LEAD SCREEN ต้องปราศจากฝุ่นผงธุลีต่าง ๆ อันจะเป็นเหตุให้ LEAD SCREEN ลดประสิทธิภาพลงไป ควรขจัดสิ่งสกปรก ฝุ่น ผงธุลี ด้วย SOLVENT เช่น CARBON TETRACHLORIDE หรือ TRICHLORO ETHYLENE หรือถ้าต้องการทำความสะอาดอย่างมากควรขัดด้วยฝอยเหล็กอย่างละเอียด(STEEL WOOL) หรือ กระดาษทรายอย่างละเอียด เมื่อทำความสะอาด LEAD SCREEN อย่างดีแล้วควรจะปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อย ๒๔ ชม. จึงจะนำมาใช้งาน เพื่อป้องกันการ FOG บนแผ่นฟิล์ม และไม่ควรใส่ฟิล์มไว้ใน LEAD SCREEN นาน ๆ จะทำให้ฟิล์มเป็น FOG เช่นกัน

๔.๑๑.๒ FLUORESCENT SCREEN.

FLUORESCENT SCREEN ทำด้วยผง FLOORESCENT ได้แก่ CALCUIM TUNGSTAT ฉาบบนแผ่นกระดาษแข็งหรือแผ่นพลาสติคบาง ๆ ลักษณะคล้ายกับแผ่นฟิล์ม FLUORESCENT SCREEN มีสีตองอ่อน หรือสีเหลืองอ่อน ประกอบเป็นคู่ ขณะใช้งานจะนำแผ่นฟิล์มวางระหว่างกลางของแผ่น SCREEN ทั้งสอง FLUORESCENT SCREEN จะเรืองแสงขึ้นเมื่อถูกรังสี แสงที่เกิดขึ้นจาก CALCIUM TUNGSTATE จะทำปฏิกริยากับ EMULSION บนแผ่นฟิล์มโดยตรง ดังนั้น แผ่นฟิล์มต้องแนบสนิทกับ FLUORESCENT SCREEN จึงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูง

FLUORESCENT SCREEN จะช่วยขยายปริมาณรังสีได้มากกว่า LEAD SCREEN เพราะคุณสมบัติการเรืองแสงของตัวมันเอง มันจะช่วยลดระยะเวลาการถ่ายภาพได้ถึง ๒๐ เท่า หรือมากกว่า แต่ภาพได้จะไม่คมชัดเหมือนใช้ LEAD SCREEN ดังนั้นจึงไม่ค่อยนิยมใช้กันนัก นอกเสียจากว่าจำเป็นจะต้องลดระยะเวลา หรือต้องการจะเพิ่มความสามารถถ่ายภาพโลหะหนา ๆ ตัวอย่างเช่นเหล็กหนา ๓ นิ้ว สามารถถ่ายภาพด้วยรังสี โดยใช้ความแรงของรังสีเพียง 250 KV.

FLUORESCENT SCREEN จะประกอบติดใน CASETTE เพื่อป้องกันการหักหรือรอยแยกตัวของเนื้อ SCREENบริเวณผิวหน้าของFLUORESCENT SCREEN มีความไวสูงและเป็นจุดอ่อน ต้องระวังรอยนิ้วมือ ฝุ่นผง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดเงาบนภาพ X-RAY ขึ้นได้ ที่ผิว SCREEN แบบนี้ทั้งสองด้านจะเคลือบสารเคมีพิเศษป้องกันน้ำ ถ้าบังเอิญบริเวณผิวเป็นรอยให้ล้างด้วยน้ำสบู่อ่อน ๆ และเช็ดให้แห้งด้วยผ้านิ่ม ๆ สามารถเก็บFLUORESCENT SCREEN ไว้ในห้องล้างฟิล์มได้ แต่ต้องระวังการเปรอะเปื้อนจากน้ำยาล้างฟิล์มเป็นพิเศษด้วย

<u>หมายเหตุ</u> RECIPOCITY LAW จะนำมาใช้กับ FLUORESCENT SCREEN ไม่ได้

๔.๑๑.๓ SCREEN กับการใช้ฟิล์ม

เพื่อให้ประสิทธิภาพของ FLUORESCENT SCREEN สูงสุด ควรใช้ฟิล์มที่มีความไวสูงกับ SCREEN ชนิดนี้ ฟิล์มที่มีความไวสูงได้แก่ KODAK F,GEVERT D 10 และ DUPONT 91 เป็นต้น

ส่วน LEAD SCREEN ใช้กับฟิล์มได้ทุกชนิด ทั้งฟิล์มที่มีความไวต่ำและสูง

๔.๑๒ อุปกรณ์วัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสี (IMAGE QUALITY INDICATOR OR PENETRAMETOR) อุปกรณ์วัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมม่า มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ละแบบก็มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวเพียง ๒ แบบ คือ

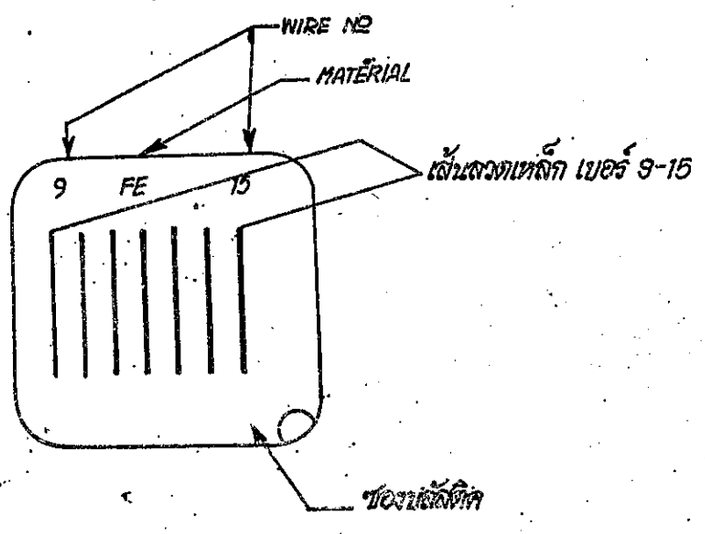
แบบ BRITISH ATANDARD และแบบ U.S. STANDARD

อุปกรณ์วัดคุณภาพรังสี ทุกแบบมีวัตถุประสงค์อย่างเดียวกันคือ เพื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายรังสีดูว่าสามารถจะเห็นรอยตำหนิได้เล็กขนาดเท่าใด โดยเปรียบเทียบกับความหนาของชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น ชิ้นงานหนา ๑๐ นิ้ว เมื่อถ่ายภาพด้วยรังสีแล้ว ภาพที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มสามารถมองเห็นรอยตำหนิได้เล็กที่สุด ๐.๒ นิ้ว ภาพนั้นจะมี SENSITIVITY=๒ % เป็นต้น

SENSITIVITY = ๒ % คือว่าภาพถ่ายรังสีดี แต่ที่ดีที่สุด SENSITIVITY=1.4%หรือน้อยกว่า 4.12.1 BRITISH ATANDARD IMAGE QUALITY INDICATOR ทำจากเส้นลวดของโลหะชนิดนั้น ๆ บรรจุในซองปลัสติค ซองปลัสติค ๑ ซอง มีลวดโลหะ ๗ เส้น มีขนาดต่างกันจากเล็กไปใหญ่ตามลำดับ ด้านบนซองจะมีตัวเลขและตัวอักษร เลขตัวแรกแสดงเบอร์ลวดโลหะเส้นแรก และเลขตัวหลัง แสดงลวดโลหะตัวสุดท้าย ตัวอักษรบอกชนิดของโลหะเช่น

FC = เหล็ก
CU = ทองแดง
AL = อลูมินั่ม
MG = แมกนีเซียม
SS = ซีเทนเลส
TI = ไตตาเนียม

ตัวเลขและตัวอักษรทำจากตะกั่ว เพื่อให้ติดบนภาพถ่ายรังสีด้วย ลักษณะของ STANDARD แบบนี้ดังรูปที่ ๑๖



รูปที่ 16

ตารางที่ ๔ แสดงเบอร์ลวดและขนาด

WIRE NO.	DIA (MM)	WIRE NO.	DIA (MM)
1	0.032	12	0.40
2	0.040	13	0.50
3	0.050	14	0.60
4	0.063	15	0.80
5	0.080	16	1.00
6	0.100	17	1.25
7	0.125	18	1.60
8	0.160	19	2.00
9	0.20	20	2.50
10	0.25	21	3.20
11	0.32		

ตารางที่ ๕ แสดงถึงช่วงการใช้ BRITISH STANDARD IQI

MODEL	SPECIMEN THICKNESS RANGE			
	GENERAL TECH		MORE CRITICAL TECH	
	MM	INCH	MM	INCH
1. 4/10	12.5AND UNDER	½ AND UNDER	30 - 50	½ - 1
2. 9/15	12.5 - 100	½ - 4	25 - 100	1 - 4
3 15/21	100 AND OVER	4 AND OVER	OVER 100	OVER 4

ค่า SENSITIVITY หาได้จากสูตร

$$\text{SENSITIVITY} = \frac{\text{ความหนาของเส้นลวดที่เล็กที่สุดที่มองเห็น}}{\text{ความหนาของชิ้นงาน}} \times 100$$

ตัวอย่าง เอ็กซ์เรย์เหล็กหนา ๒ นิ้ว ใช้ IQI MODEL 2 สามารถมองเห็นเส้นลวดบนภาพถ่ายรังสีได้เพียงเบอร์เดียว คือเบอร์ ๑๕ จงหา SENSITIVITY ของภาพถ่ายรังสี

- ลวดเบอร์ ๑๕ โตเท่ากับ 0.80 MM
- เหล็กหนา ๒ นิ้ว = 2 X 25.4 MM.

$$\therefore \text{SENSITIVITY} = \frac{0.80 \times 100}{2 \times 25.4}$$

$$= 1.5\ \%$$

วิธีใช้ BRITISH I.Q.I

๑. เลือก I.Q.I. ชนิดเดียวกับวัสดุที่จะตรวจ

๒. เลือก RANGE ของ I.Q.I. ให้สัมผัสกับชิ้นงาน

๓. วาง I.Q.I. บนผิวชิ้นงานตรงส่วนที่จะทำการวัด

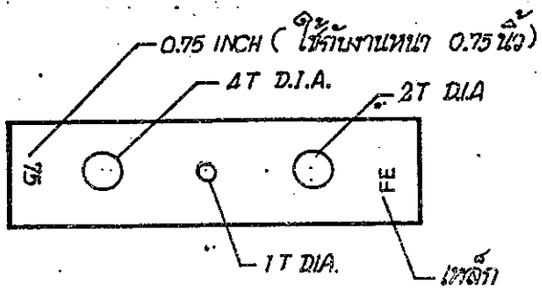
๔. หลังจากถ่ายภาพและล้างฟิล์มแล้ว ตรวจดูฟิล์มลวดที่เล็กที่สุด

๕. เปรียบเทียบเบอร์ลวดกับความโตตามตาราง

๖. ใช้สูตรคำนวณ

๗. ค่าที่คำนวณได้เป็น % ของ SENSITIVITY

๔.๑๓.๒ AMERICAN I.Q.I นิยมเรียกกันว่า PENETRAMETER มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ แต่ละอันหนาไม่เกิน ๒ % ของความหนาชิ้นงานเจาะรู ๓ รู มีขนาด ๑ เท่า ๒ เท่า และ ๔ เท่า ของความหนาของแผ่น PENETRAMETER ตามลำดับ มีตัวอักษรและตัวเลขตะกั่ว อักษรแสดงถึงชนิดวัสดุและตัวเลขแสดงถึงความหนาของชิ้นงานที่จะนำ PENETRA METER ไปใช้ ดังรู ๑๗

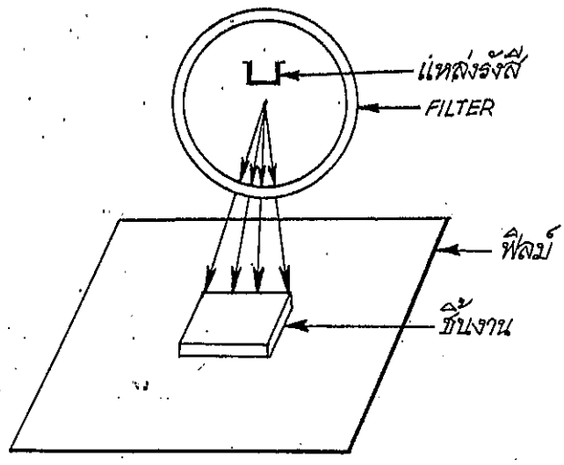


รูปที่ 17

PENETRA METER ทำจากโลหะต่าง ๆ คือ AL,MG,CU,PE,SS , และ TI ต้องเลือกใช้โลหะชนิดเดียวกันกับชิ้นงาน และขนาดที่ติดไว้ที่ตัวมันแสดงถึงขนาดความหนาของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ เป็นทศนิยมของนิ้ว

PENETRA METER มีขนาดบางที่สุดคือ ๐.๐๐๕" ใช้กับชิ้นงานหนา ๐.๑๓๕" ถึง ๐.๒๕ นิ้วของ PENETRA METER ที่ปรากฏบนฟิล์มเอ็กซ์เรย์

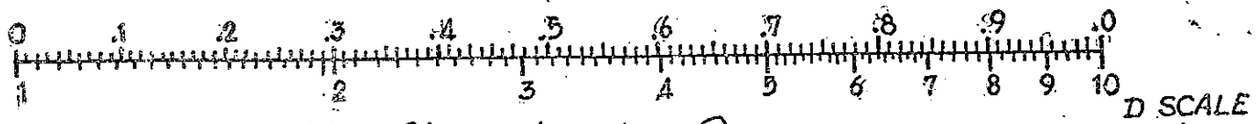
สามารถมองเห็นรู และรูแต่ละรูขนาดจะแสดงระดับของ SENSITIVITY ของภาพถ่ายรังสี ดังตาราง



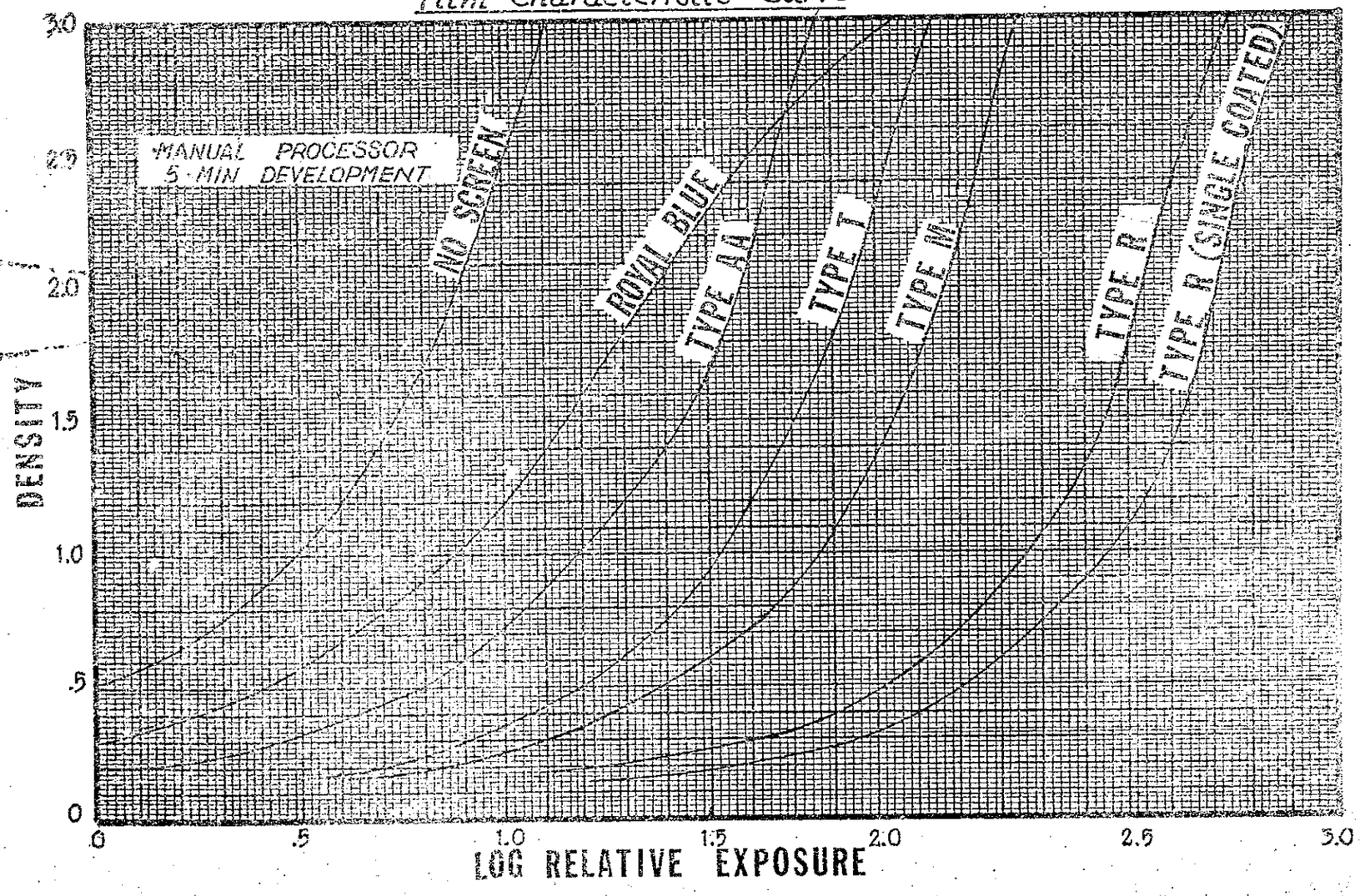
๔.๑๓.๕ LEAD SCREEN

การใช้ LEAD SCREEN ดังที่ได้อธิบายมาแล้วใน ๔.๑๑.๑

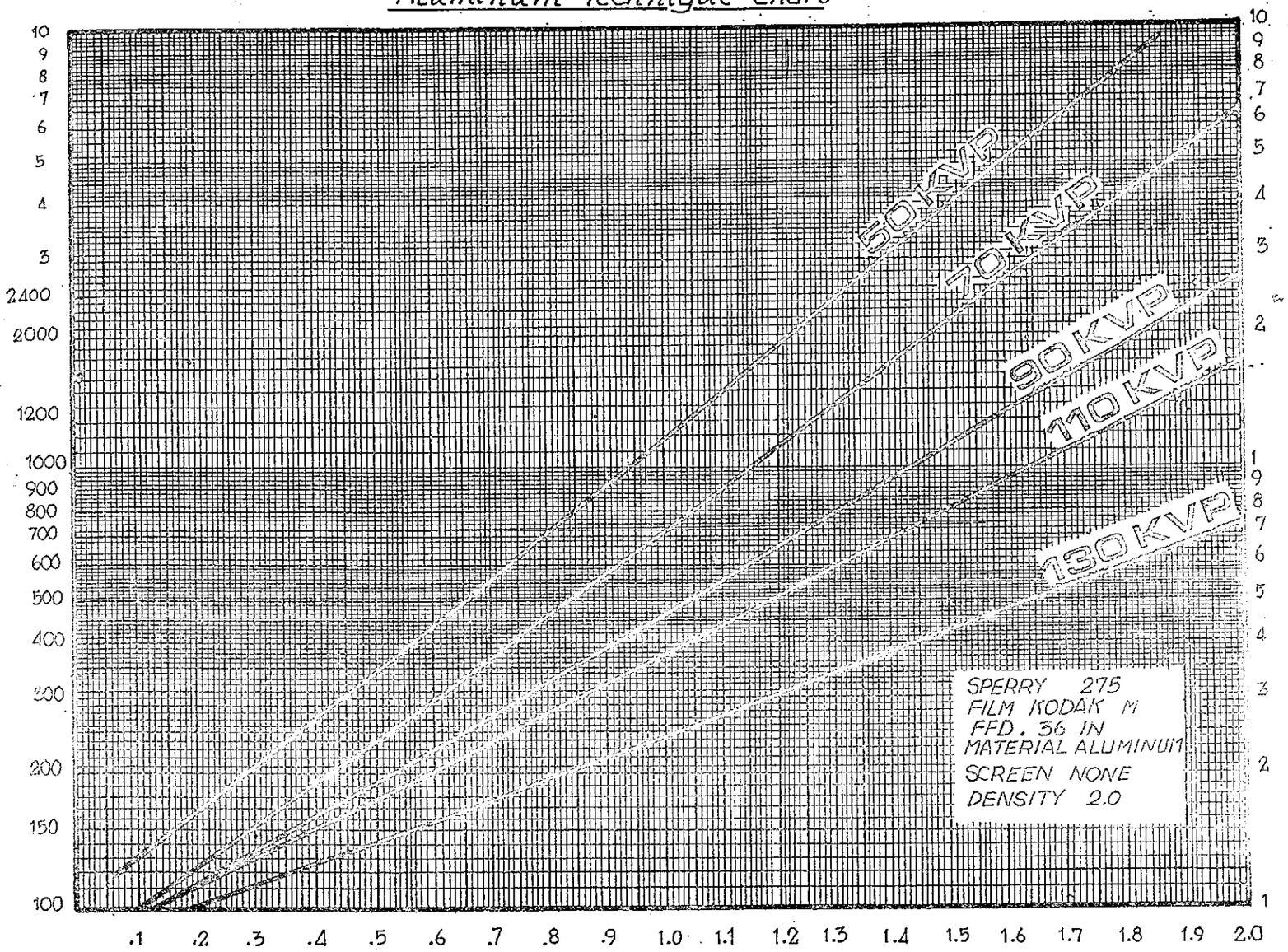
Scale for Determining Logarithms



Film Characteristic Curve



Aluminum Technique Chart



๔.๑๒ อุปกรณ์วัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสี (IMAGE QUALITY INDICATOR OR PENETRAMETOR) อุปกรณ์วัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมม่า มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ละแบบก็มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวเพียง ๒ แบบ คือ

แบบ BRITISH ATANDARD และแบบ U.S. STANDARD

อุปกรณ์วัดคุณภาพรังสี ทุกแบบมีวัตถุประสงค์อย่างเดียวกันคือ เพื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายรังสีดูว่าสามารถจะเห็นรอยตำหนิได้เล็กขนาดเท่าใด โดยเปรียบเทียบกับความหนาของชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น ชิ้นงานหนา ๑๐ นิ้ว เมื่อถ่ายภาพด้วยรังสีแล้ว ภาพที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มสามารถมองเห็นรอยตำหนิได้เล็กที่สุด ๐.๒ นิ้ว ภาพนั้นจะมี SENSITIVITY=๒ % เป็นต้น

SENSITIVITY = ๒ % คือว่าภาพถ่ายรังสีดี แต่ที่ดีที่สุด SENSITIVITY=1.4%หรือน้อยกว่า 4.12.1 BRITISH ATANDARD IMAGE QUALITY INDICATOR ทำจากเส้นลวดของโลหะชนิดนั้น ๆ บรรจุในซองปลัสติค ซองปลัสติค ๑ ซอง มีลวดโลหะ ๗ เส้น มีขนาดต่างกันจากเล็กไปใหญ่ตามลำดับ ด้านบนซองจะมีตัวเลขและตัวอักษร เลขตัวแรกแสดงเบอร์ลวดโลหะเส้นแรก และเลขตัวหลัง แสดงลวดโลหะตัวสุดท้าย ตัวอักษรบอกชนิดของโลหะเช่น

FC = เหล็ก

CU = ทองแดง

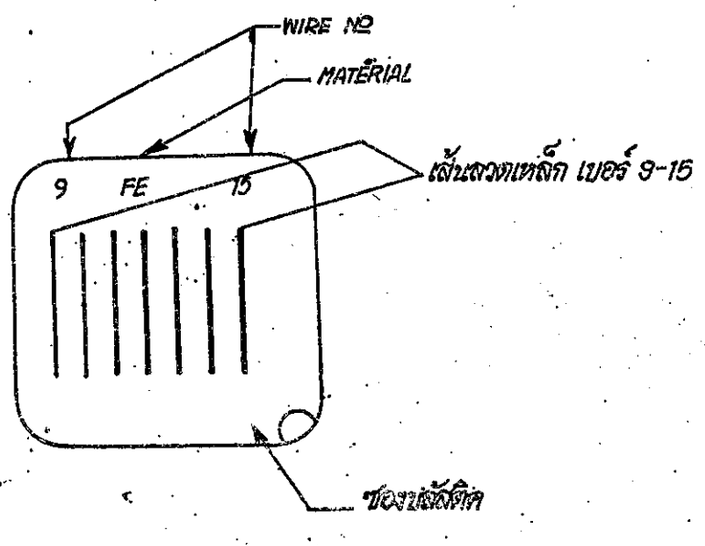
AL = อลูมินั่ม

MG = แมกนีเซียม

SS = ซีเทนเลส

TI = ไตตาเนียม

ตัวเลขและตัวอักษรทำจากตะกั่ว เพื่อให้ติดบนภาพถ่ายรังสีด้วย ลักษณะของ STANDARD แบบนี้ดังรูปที่ ๑๖



รูปที่ 16

ตารางที่ ๘ แสดงเบอร์ลวดและขนาด

WIRE NO.	DIA (MM)	WIRE NO.	DIA (MM)
1	0.032	12	0.40
2	0.040	13	0.50
3	0.050	14	0.60
4	0.063	15	0.80
5	0.080	16	1.00
6	0.100	17	1.25
7	0.125	18	1.60
8	0.160	19	2.00
9	0.20	20	2.50
10	0.25	21	3.20
11	0.32		

ตารางที่ ๙ แสดงถึงช่วงการใช้ BRITISH STANDARD IQI

MODEL	SPECIMEN THICKNESS RANGE			
	GENERAL TECH		MORE CRITICAL TECH	
	MM	INCH	MM	INCH
1. 4/10	12.5AND UNDER	½ AND UNDER	30 - 50	½ - 1
2. 9/15	12.5 - 100	½ - 4	25 - 100	1 - 4
3 15/21	100 AND OVER	4 AND OVER	OVER 100	OVER 4

ค่า SENSITIVITY หาได้จากสูตร

$$\text{SENSITIVITY} = \frac{\text{ความหนาของเส้นลวดที่เล็กที่สุดที่มองเห็น}}{\text{ความหนาของชิ้นงาน}} \times 100$$

ตัวอย่าง เอ็กซ์เรย์เหล็กหนา ๒ นิ้ว ใช้ IQI MODEL 2 สามารถมองเห็นเส้นลวดบนภาพถ่ายรังสีได้เพียงเบอร์เดียว คือเบอร์ ๑๕ จงหา SENSITIVITY ของภาพถ่ายรังสี

- ลวดเบอร์ ๑๕ โตเท่ากับ 0.80 MM
- เหล็กหนา ๒ นิ้ว = 2 X 25.4 MM.

$$\therefore \text{SENSITIVITY} = \frac{0.80 \times 100}{2 \times 25.4}$$

$$= 1.5\ \%$$

วิธีใช้ BRITISH I.Q.I

๑. เลือก I.Q.I. ชนิดเดียวกับวัสดุที่จะตรวจ

๒. เลือก RANGE ของ I.Q.I. ให้สัมผัสกับชิ้นงาน

๓. วาง I.Q.I. บนผิวชิ้นงานตรงส่วนที่จะทำการวัด

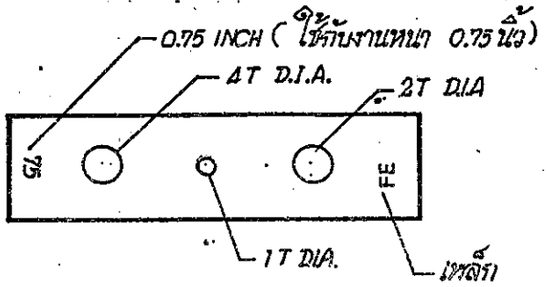
๔. หลังจากถ่ายภาพและล้างฟิล์มแล้ว ตรวจดูฟิล์มลวดที่เล็กที่สุด

๕. เปรียบเทียบเบอร์ลวดกับความโตตามตาราง

๖. ใช้สูตรคำนวณ

๗. ค่าที่คำนวณได้เป็น % ของ SENSITIVITY

๔.๑๓.๒ **AMERICAN I.Q.I** นิยมเรียกกันว่า PENETRAMETER มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ แต่ละอันหนาไม่เกิน ๒ % ของความหนาชิ้นงานเจาะรู ๓ รู มีขนาด ๑ เท่า ๒ เท่า และ ๔ เท่า ของความหนาของแผ่น PENETRAMETER ตามลำดับ มีตัวอักษรและตัวเลขตะกั่ว อักษรแสดงถึงชนิดวัสดุและตัวเลขแสดงถึงความหนาของชิ้นงานที่จะนำ PENETRA METER ไปใช้ ดังรู ๑๗

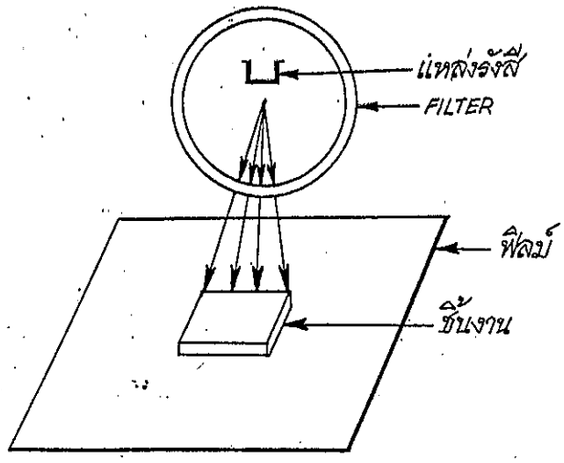


รูปที่ 17

PENETRA METER ทำจากโลหะต่าง ๆ คือ AL,MG,CU,PE,SS , และ TI ต้องเลือกใช้โลหะชนิดเดียวกันกับชิ้นงาน และขนาดที่ติดไว้ที่ตัวมันแสดงถึงขนาดความหนาของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ เป็นทศนิยมของนิ้ว

PENETRA METER มีขนาดบางที่สุดคือ ๐.๐๐๕" ใช้กับชิ้นงานหนา ๐.๐๐๕" ถึง ๐.๒๕ นิ้วของ PENETRA METER ที่ปรากฏบนฟิล์มเอ็กซ์เรย์

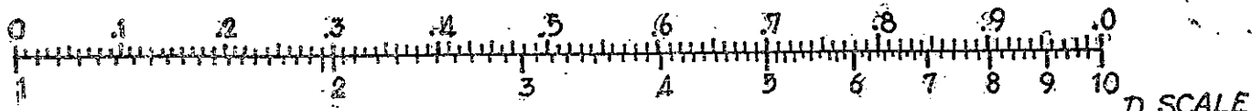
สามารถมองเห็นรู และรูแต่ละรูขนาดจะแสดงระดับของ SENSITIVITY ของภาพถ่ายรังสี ดังตาราง



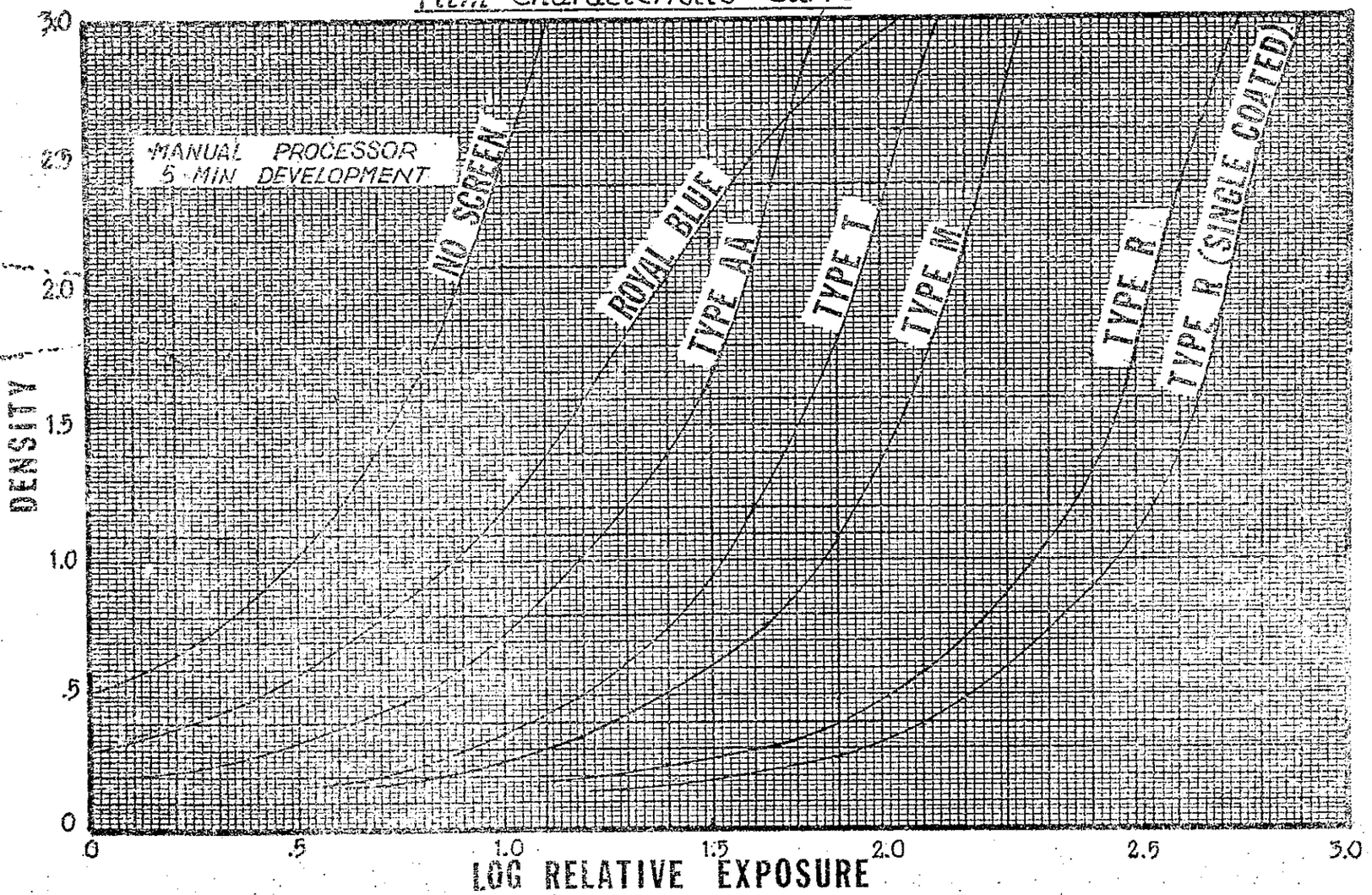
๔.๑๓.๕ LEAD SCREEN

การใช้ LEAD SCREEN ดังที่ได้อธิบายมาแล้วใน ๔.๑๑.๑

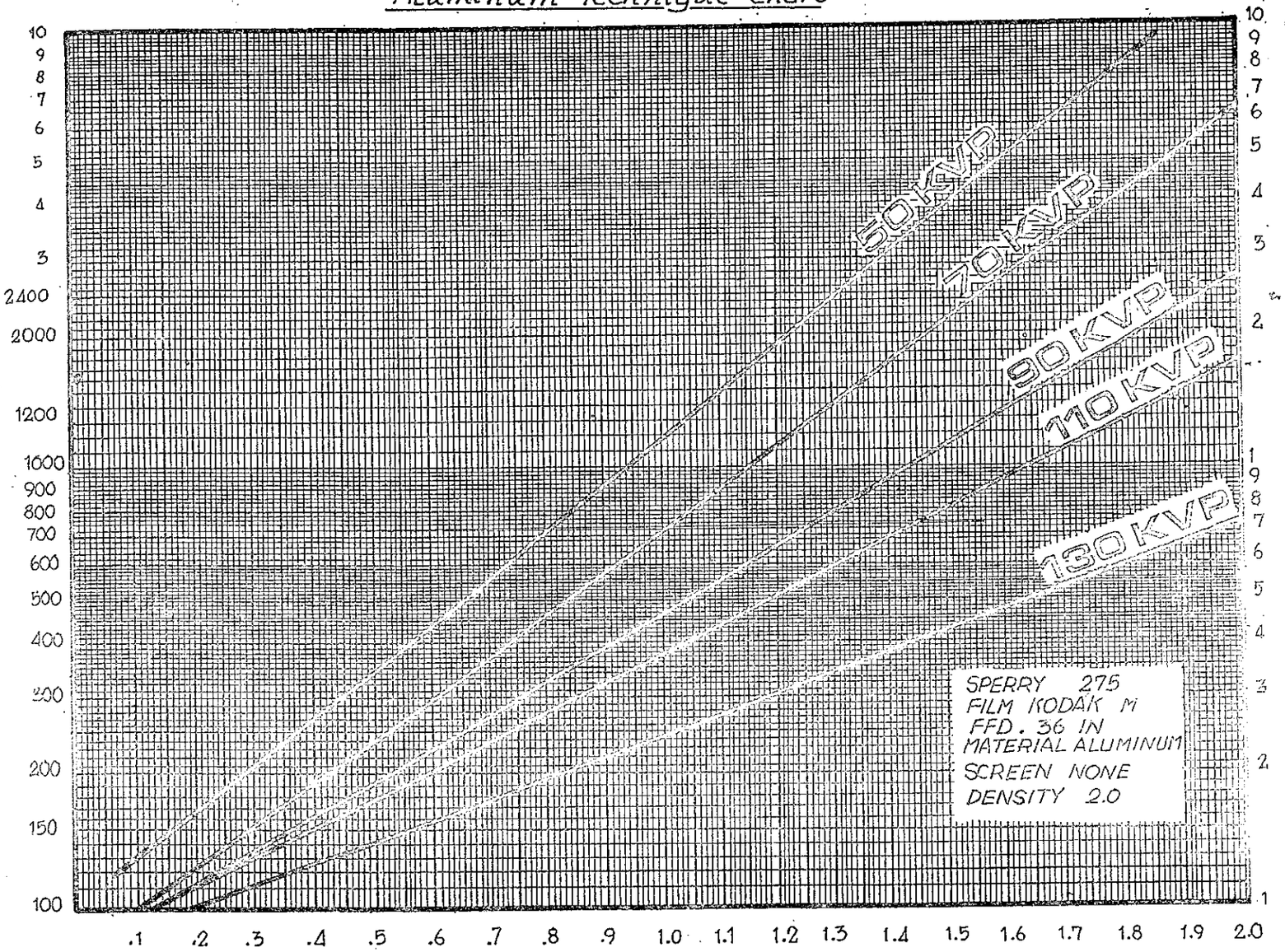
Scale for Determining Logarithms

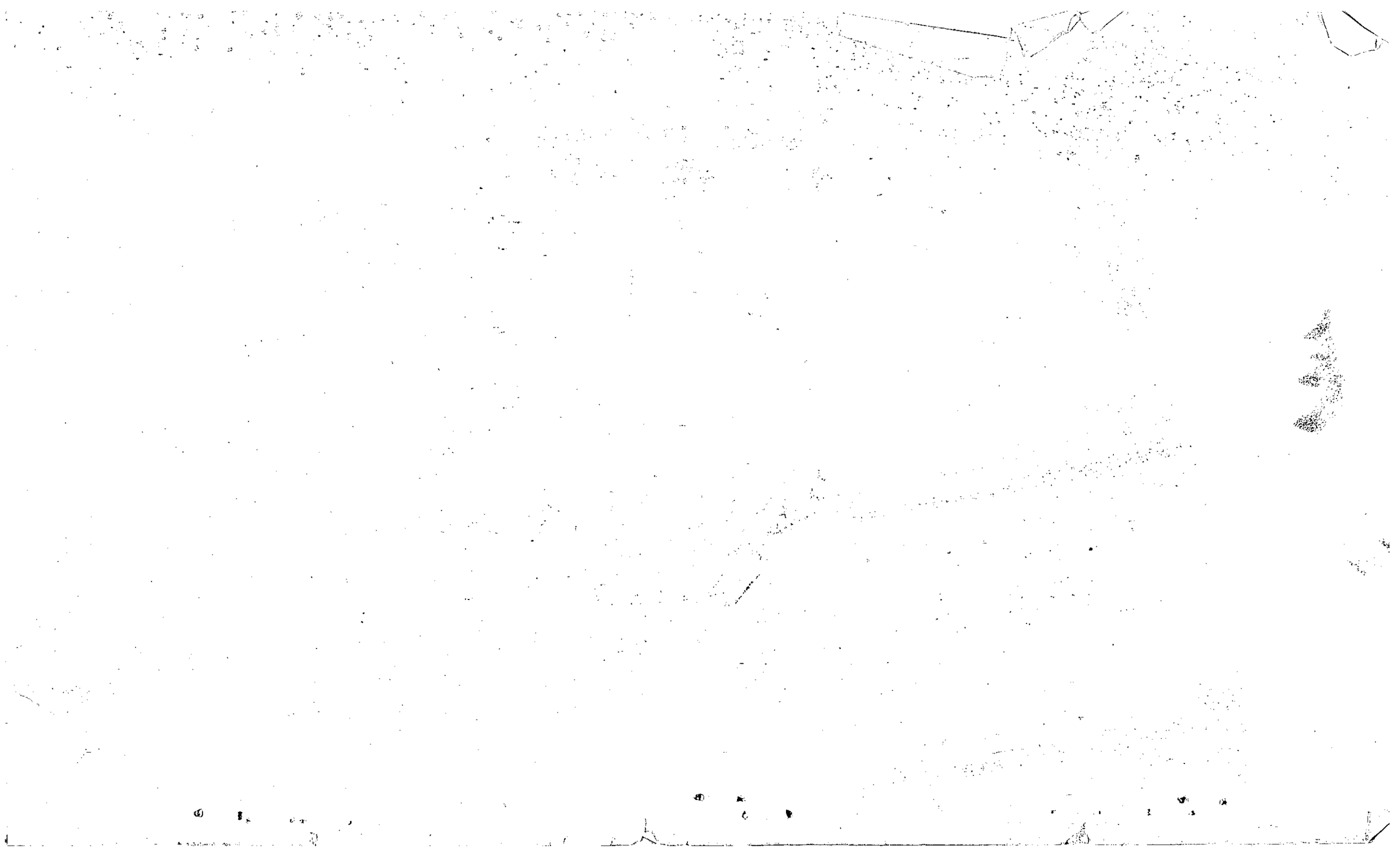


Film Characteristic Curve



Aluminum Technique Chart





วิธีใช้ BRITISH I.Q.I

๑. เลือก I.Q.I. ชนิดเดียวกับวัสดุที่จะตรวจ

๒. เลือก RANGE ของ I.Q.I. ให้สัมผัสกับชิ้นงาน

๓. วาง I.Q.I. บนผิวชิ้นงานตรงส่วนที่จะทำการวัด

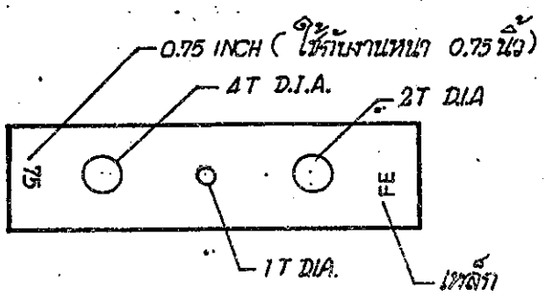
๔. หลังจากถ่ายภาพและล้างฟิล์มแล้ว ตรวจดูฟิล์มลวดที่เล็กที่สุด

๕. เปรียบเทียบเบอร์ลวดกับความโตตามตาราง

๖. ใช้สูตรคำนวณ

๗. ค่าที่คำนวณได้เป็น % ของ SENSITIVITY

๔.๑๒.๒ **AMERICAN I.Q.I** นิยมเรียกกันว่า PENETRAMETER มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ แต่ละอันหนาไม่เกิน ๒ % ของความหนาชิ้นงานเจาะรู ๓ รู มีขนาด ๑ เท่า ๒ เท่า และ ๔ เท่า ของความหนาของแผ่น PENETRAMETER ตามลำดับ มีตัวอักษรและตัวเลขตะกั่ว อักษรแสดงถึงชนิดวัสดุและตัวเลขแสดงถึงความหนาของชิ้นงานที่จะนำ PENETRA METER ไปใช้ ดังรูป ๑๗



รูปที่ 17

PENETRA METER ทำจากโลหะต่าง ๆ คือ AL, MG, CU, PE, SS , และ TI ต้องเลือกใช้โลหะชนิดเดียวกันกับชิ้นงาน และขนาดที่ติดไว้ที่ตัวมันแสดงถึงขนาดความหนาของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ เป็นทศนิยมของนิ้ว

PENETRA METER มีขนาดบางที่สุดคือ ๐.๐๐๕" ใช้กับชิ้นงานหนา ๐.๑๓๕" ถึง ๐.๒๕ นิ้วของ PENETRA METER ที่ปรากฏบนฟิล์มเอ็กซ์เรย์

สามารถมองเห็นรู และรูแต่ละขนาดจะแสดงระดับของ SENSITIVITY ของภาพถ่ายรังสี ดังตาราง

RADIO GRAPHIC QUALITY LEVEL	MINIMUM PERCEPTIBLE PENETRA METER HOLE	EQUIPVALANT SENSITIVITY (%)
1	1 T	1.4 %
2	2 T	2. %
3	4 T	2.8 %

ตารางที่ ๑๐ ระดับความไวและ % SENSITIVITY ของ PENETRAMETER

วิธีใช้ PENETRA METER

๑. เลือก PENETRA METER ที่เป็นวัสดุเดียวกับชิ้นงานจะวัดและให้มีขนาดตัวเลขเท่ากันหรือใกล้เคียงกับความหนาของชิ้นงานบริเวณที่จะวัด

๒. วาง PENETRA METER บนผิวชิ้นงานตรงบริเวณที่จะวัด

๓. หลังจากถ่ายภาพและล้างฟิล์มแล้ว ภาพของ PENETRAMETER จะปรากฏและสังเกตุดูรูที่เล็กที่สุด ที่สามารถมองเห็น

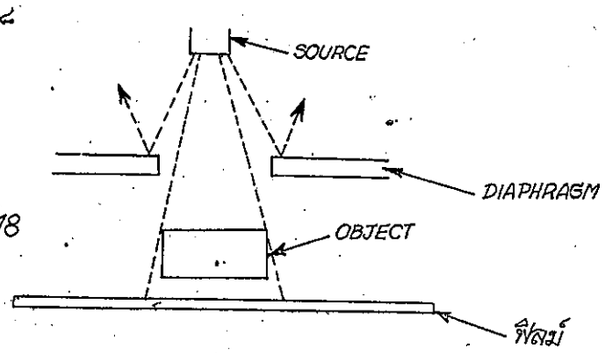
๔. รูที่เล็กที่สุด ที่สามารถมองเห็นได้ จะแสดงถึงระดับ SENSITIVITY ของภาพถ่ายรังสีเป็นเปอร์เซนต์ตามตารางที่ ๑๐

๔.๑๓ <u>การถ่ายภาพให้ชัด</u> (IMAGE QUALITY ENHANCE)

สาเหตุภาพไม่ชัด(BLURR OR FOG) มีหลายประการแต่สาเหตุใหญ่เนื่องจากการฟุ้งกระจายของรังสี ที่เกิดจากการใช้พลังรังสี แรงมากในการถ่ายภาพวัสดุที่หนามากหรือ มีความหนาแน่นสูง ๆ การป้องกันภาพไม่ชัด มีหลายวิธี ดังนี้

๔.๑๓.๑ <u>DIAPHRAGM</u>

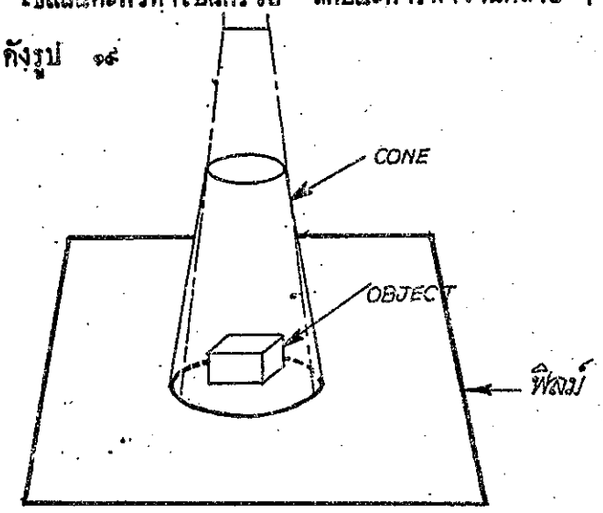
DIAPHRAGM ทำจากแผ่นตะกั่วเจาะรูตรงกลางความหนา และขนาดของรูแตกต่างกันตามความเหมาะสมในการใช้งาน มันจะกันรังสีที่ไม่ต้องการและจะให้รังสีผ่านรูไปยังชิ้นงานตามขนาดของรูที่เจาะไว้ ดังรูป ๑๘



รูปที่ 18

๔.๑๓.๒ CONE

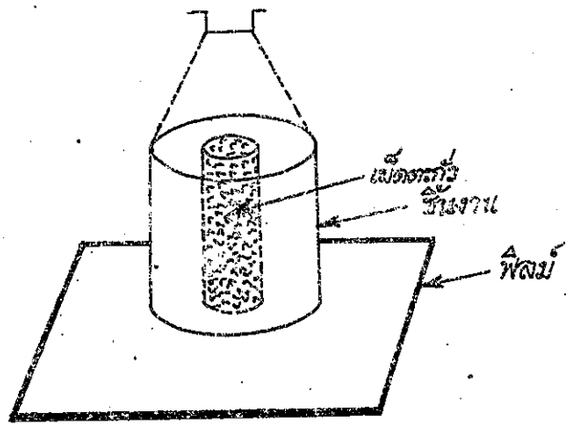
CONE ใช้แผ่นตะกั่วทำเป็นกรวย ลักษณะการทำงานคล้าย ๆ กัน DIAPHRAGM ชิ้นงานจะวางใน CONE ดังรูป ๑๙



๔.๑๓.๓ MASKING

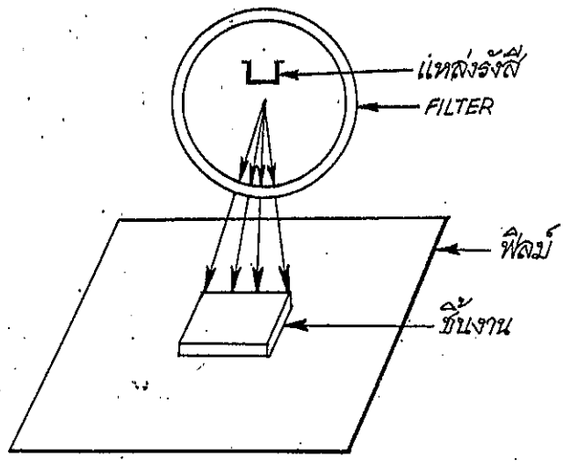
MASKING คือการอุดช่องว่างด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดซับรังสีได้ดี เช่น เม็ดตะกั่ว ผงแบรเลี่ยม เช่นในกรณีที่ชิ้นงานมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตรงกลางเป็นรู บริเวณรูจะทำให้เกิดรังสีฟุ้งกระจายขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการ MASKING เพื่อให้ได้ภาพที่ชัด ดังนูป ๒๐

รูปที่ ๒๐



๔.๑๓.๔ FILTER

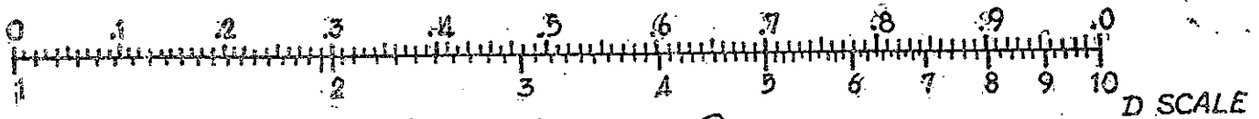
FILTER ทำจากแผ่นตะกั่วบาง ๆ เพื่อกั้น หรือกรองรังสีที่มีความแรงเกินออกไป FILTER จะใช้กับแหล่งรังสีที่ไม่สามารถควบคุมพลังงานรังสีลงมาได้ เช่นในกรณีถ่ายภาพรังสีชิ้นงานบาง ๆ หรือมีความหนาแน่นต่ำลักษณะของ FILTER ดังรูป ๒๑



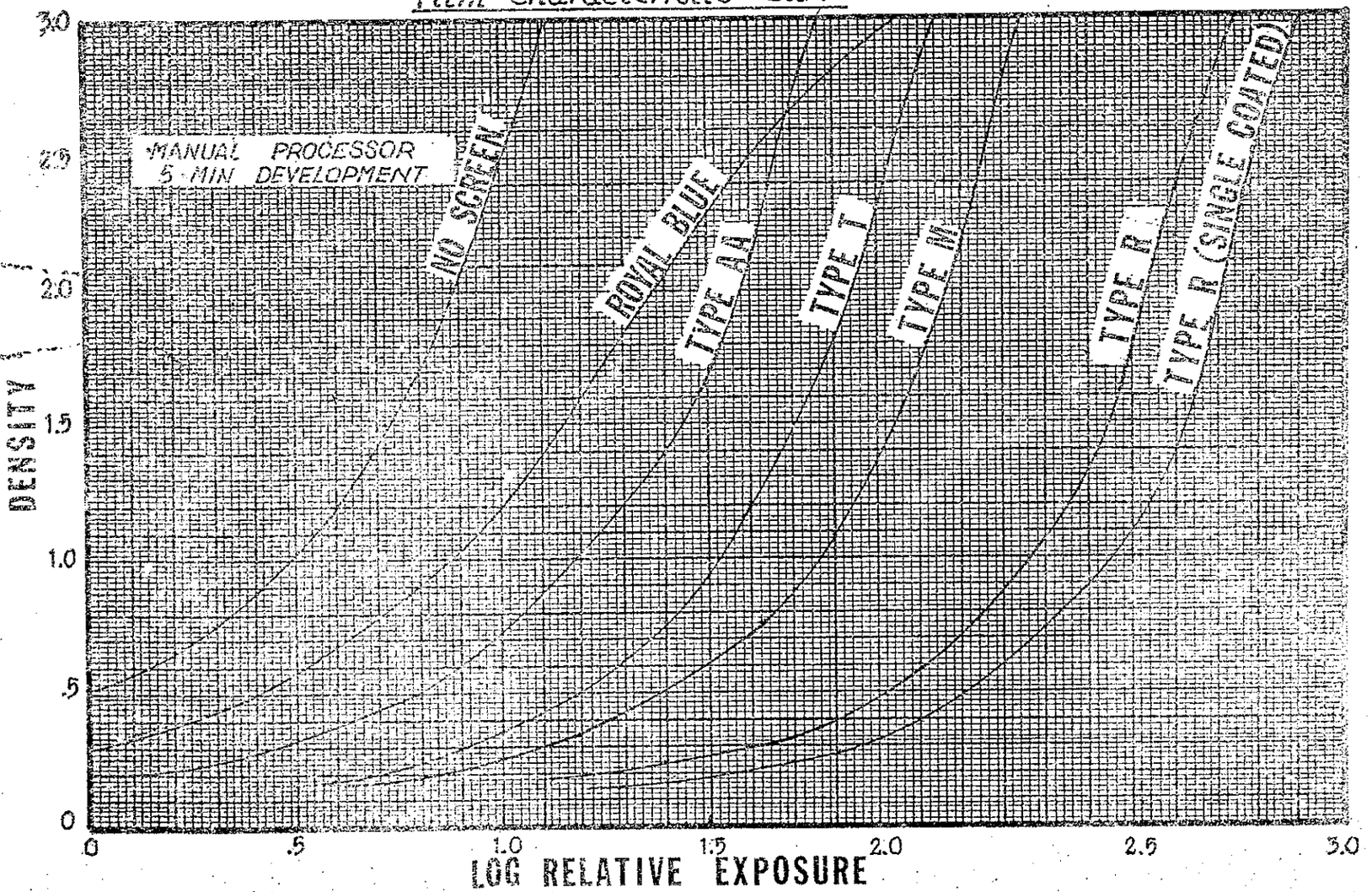
๔.๑๓.๕ LEAD SCREEN

การใช้ LEAD SCREEN ดังที่ได้อธิบายมาแล้วใน ๔.๑๑.๑

Scale for Determining Logarithms



Film Characteristic Curve



Aluminum Technique Chart