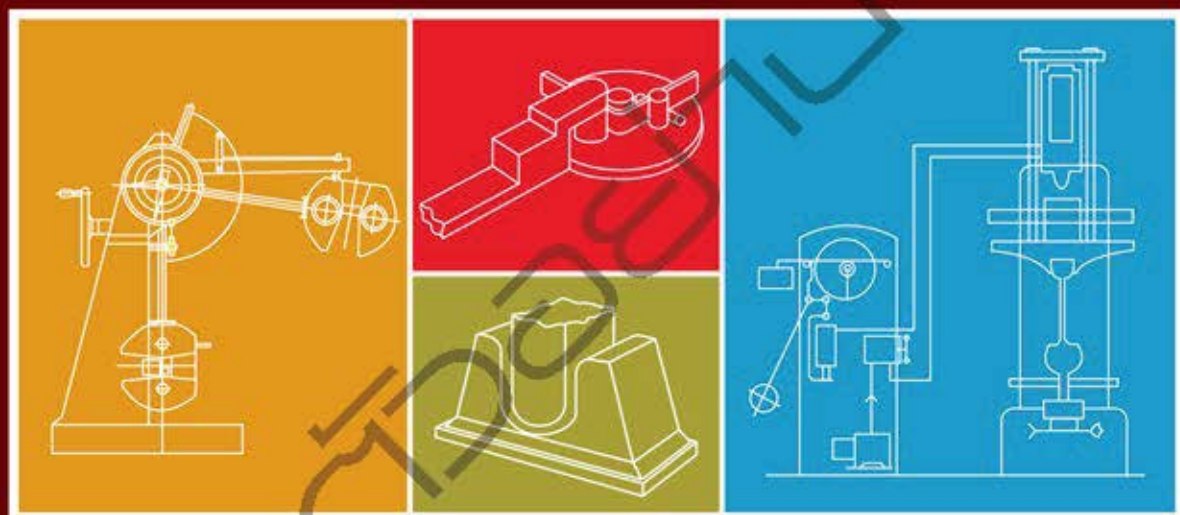


การทดสอบงานเชื่อม แบบทำลายสภาพ



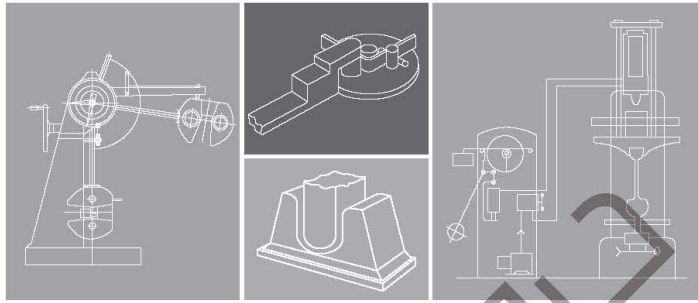
เป็นตำราภาษาไทยเล่มแรก

ที่รวบรวมรายละเอียดทุกขั้นตอนของการทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ
ตามมาตรฐานที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

● **ชูชาติ ต๋องสงค์**

การทดสอบงานเชื่อม

แบบทำลายสภาพ



โดย...

ชูชาติ ด่วงสงค์



สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ

โดย... ชูชาติ ดั่งวงศ์

ราคา 220 บาท

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤศจิกายน 2550 จำนวนพิมพ์ 2,000 เล่ม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ชูชาติ ดั่งวงศ์.

การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ. -- กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.
280 หน้า.

1. งานเชื่อม -- การทดสอบ.

I. ชื่อเรื่อง.

671.520423

ISBN 978-974-443-297-1

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
ห้ามลอกเลียนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดพิมพ์โดย



5-7 ซอยสุขุมวิท 29 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
โทร. 0-2258-0320 (6 เลขหมายอัตโนมัติ), 0-2259-9160 (10 เลขหมายอัตโนมัติ)
<http://www.tpabookcentre.com>

จัดจำหน่ายโดย

บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

1858/87-90 อาคารเนชั่นทาวเวอร์ ชั้น 19 ถนนบางนา-ตราด
แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทร. 0-2739-8000, 0-2739-8222 โทรสาร 0-2739-8356-9
<http://www.se-ed.com>

"ถ้าหนังสือมีข้อผิดพลาดเนื่องจากการพิมพ์ให้นำมาแลกเปลี่ยนได้ที่สมาคมฯ" โทร. 0-2258-0320 ต่อ 1560, 1570

■ บรรณาธิการที่ปรึกษา ทิพวรรณ อภิวันท์วรรัตน์ ■ บรรณาธิการบริหาร ทวิยา วัฒนะวิโรจน์ หัวหน้าบรรณาธิการ
แทนพร เลิศวัฒนากร บรรณาธิการ สุนิษฐ์ อร่ามพจมาน ออกแบบปก ภาณุพันธ์ โนายุทธ, ชินิดา ทรงดาวเรือง ออกแบบรูปเล่ม
ประเทือง คชเสนีย์ ธุรการสำนักพิมพ์ อังคณา อรรถพงษ์ศรี ■ พิมพ์ที่ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ทีเอส บี โปรดักส์

คำนำนายกสมาคม

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 ด้วยความร่วมมือร่วมใจของกลุ่มบุคคลที่ได้ผ่านการศึกษาในระดับต่าง ๆ จากประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับความร่วมมือทางด้านทุนทรัพย์บางส่วนจาก The Japan-Thailand Economic Cooperation Society (JTECS) เพื่อใช้จ่ายในการดำเนินงานกิจกรรมของสมาคมฯ ซึ่งประกอบด้วย ฝ่ายสำนักพิมพ์ ฝ่ายภาษาและวัฒนธรรม ฝ่ายการศึกษาและฝึกอบรม ฝ่ายบริการสอบเทียบและวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม ฝ่ายวินิจัยและให้คำปรึกษาสถานประกอบการ และฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งแต่ละฝ่ายจัดดำเนินการโดยสมาชิกของสมาคมฯ ทำหน้าที่เป็นคณะที่ปรึกษารับผิดชอบบริหารงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย

สำหรับฝ่ายสำนักพิมพ์ฯ โดยแผนกตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม มีนโยบายพื้นฐานคือการส่งเสริมและเร่งรัดให้มีการจัดพิมพ์หนังสือตำราทางเทคโนโลยีทุกประเภท รวมถึงหนังสือทางด้านการบริหารจัดการธุรกิจ อุตสาหกรรม ทั้งที่เป็นงานแปลโดยตรง งานแปลเรียบเรียง งานถอดความ งานรวบรวม งานแต่ง และงานสำรวจวิจัยทางด้านอุตสาหกรรม โดยที่สมาคมฯ มีความเห็นว่าหนังสือตำราภาษาไทย โดยเฉพาะในระดับอาชีวศึกษาแขนงวิชาเทคโนโลยีต่าง ๆ ยังมีอยู่ในปริมาณจำกัด ไม่พอเพียง ถ้าส่งเสริมให้มีหนังสือเช่นนี้เพิ่มขึ้น ย่อมมีส่วนช่วยยกระดับมาตรฐานการศึกษาทางเทคโนโลยีให้สูงขึ้นและแพร่หลายขึ้นโดยปริยาย อีกทั้งยังช่วยสร้างสรรค์ปัญญา ความคิดริเริ่ม และความรู้ความเข้าใจอันถูกต้อง ซึ่งจะเป็นการปูรากฐานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยเป็นประโยชน์แก่สังคมอุตสาหกรรมโดยรวม

ปัจจุบัน สมาคมฯ ยังคงมีเจตนารมณ์อันแน่วแน่ที่จะขยายงานทุก ๆ ฝ่ายต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าด้วยเจตนารมณ์บริสุทธิ์ของสมาคมฯ ในการดำเนินกิจการที่มีใช้การแสวงหาผลกำไร หากมุ่งมั่นที่จะให้นักศึกษาและประชาชนได้มีโอกาสซื้อหาหนังสือตำราในราคาย่อมเยาเช่นนี้คงเกิดประโยชน์แก่สังคมส่วนรวมทั้งในทางตรงและทางอ้อม และหากสถาบันการศึกษาใดต้องการใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดเพื่อใช้ประกอบการศึกษา ทางสมาคมฯ ก็ได้จัดซื้อ แต่ใครขอให้ทำเรื่องขออนุญาตต่อทางสมาคมฯ ก่อน

อนึ่ง สมาคมฯ ใคร่ขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อผู้เขียนและคณะผู้จัดทำที่ได้พากเพียรจนทำให้ตำราชุดนี้สำเร็จขึ้นมาได้ไว ณ ที่นี้ด้วย



(นายประยูร เชี่ยววัฒนา)

นายกสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

คำแถลงของสำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. โดยแผนกตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม วิวัฒนาการมาจากโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม ซึ่งแต่เดิมใช้ชื่อว่า โครงการตำรา ซึ่งจัดตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 พร้อม ๆ กับการก่อตั้งสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) โดยมุ่งหวังที่จะให้มีตำราทางด้านวิทยาการต่าง ๆ ทั้งในระดับอาชีวศึกษาและประชาชนทั่วไป เพื่อเพิ่มพูนความรู้ทางด้านช่างที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้

ในระยะแรกนั้น ตำราที่ผลิตโดยโครงการตำรา ส่วนใหญ่จะเป็นหนังสือแปลจากต้นฉบับภาษาญี่ปุ่น ต่อมาจึงได้ขยายขอบข่ายของการจัดพิมพ์ครอบคลุมไปถึงงานแปลและเรียบเรียงจากต้นฉบับภาษาอื่น งานเรียบเรียง-เขียนตำราจากประสบการณ์ของผู้ชำนาญในแต่ละสาขา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาจารย์จากสถาบันการศึกษา

ต่อมาในระยะ 4-5 ปี หลังจากการก่อตั้งสมาคมฯ โครงการตำราได้วิวัฒนาการเป็นโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม และเป็นส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2539 พร้อม ๆ กับการขยายขอบข่ายหนังสือที่จัดพิมพ์เพิ่มเติม ได้แก่ หนังสือทางด้านการบริหารจัดการธุรกิจ การบริหารจัดการคุณภาพ และอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การดำเนินงาน

โดยที่หนังสือที่จัดพิมพ์โดยสมาคมฯ ได้รับการต้อนรับเป็นอย่างดีจากนักศึกษาและประชาชนทั่วไป ทางสมาคมฯ จึงใคร่ขอเชิญชวนให้ผู้เชี่ยวชาญในวงการอุตสาหกรรม และสถาบันการศึกษา ได้ช่วยกันเขียน-เรียบเรียงหนังสือทางด้านเทคนิคอุตสาหกรรมและอื่น ๆ ให้แพร่หลายยิ่งขึ้น โดยสมาคมฯ ยินดีให้การสนับสนุนในด้านการจัดพิมพ์

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. ขอขอบคุณท่านผู้เขียน-เรียบเรียงและเจ้าหน้าที่ของสมาคมฯ ทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการจัดพิมพ์หนังสือเล่มนี้ และหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะมีส่วนช่วยในการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ และหากท่านผู้อ่านมีข้อชี้แนะประการใด ขอได้โปรดแจ้งให้ทางสำนักพิมพ์ทราบด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

คำนิยม

การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพเป็นวิธีที่สำคัญ สำหรับใช้ทดสอบหาสมบัติเชิงกลของรอยต่อเชื่อม ทำให้ทราบข้อมูลตัวเลขเกี่ยวกับความแข็งแรง ความเหนียว และพิสูจน์ความสมบูรณ์ของรอยต่อเชื่อม นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในด้านการศึกษาโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม เพื่อตรวจหาความสมบูรณ์ของการหลอมละลายเข้าด้วยกันของรอยต่อเชื่อม รวมถึงสามารถใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรนบริเวณกระหนว้น เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการพังทลายของโครงสร้างเชื่อม ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากสำหรับใช้เป็นข้อมูลเพื่อการออกแบบรอยต่อในงานวิศวกรรมงานเชื่อม ที่ต้องรับภาระกำลังหรือแรงดันสูงในงานเชื่อมโครงสร้าง งานเชื่อมท่อน้ำมัน ท่อแก๊ส และงานเชื่อมภาชนะถึงความดัน

งานเชื่อมโลหะมีบทบาทหลักในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ รวมถึงอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานเครื่องจักรกลและงานโลหะ และมีผลต่อความปลอดภัยของผู้คนเป็นจำนวนมาก หนังสือการทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพเล่มนี้ ผู้เขียนได้นำเสนอข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในทางวิชาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมได้จริง ครอบคลุมตั้งแต่ หลักการพื้นฐานการทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ การเตรียมชิ้นทดสอบ ขั้นตอนปฏิบัติการทดสอบ ตัวแปรที่มีผลต่อการทดสอบ ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด การบันทึกผลและการเขียนรายงานการทดสอบ ที่สามารถใช้เป็นแนวทางปฏิบัติได้จริง

คุณชูชาติ คิววงศ์ เป็นศิษย์เก่ารุ่นที่หนึ่ง ในการศึกษาระดับปริญญาโท ของภาควิชาวิศวกรรมการเชื่อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือเป็นความภูมิใจของภาควิชาที่ศิษย์เก่าสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาไปเรียบเรียง และเขียนตำรางานเชื่อมที่เป็นภาษาไทยออกมาเผยแพร่ นับว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งต่อวงการศึกษางานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมเป็นอย่างมาก

(รองศาสตราจารย์ ดร.บวร ผู้พัฒน์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คำนำ

จุดมุ่งหมายในการเขียนหนังสือ การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ (Destructive Testing of Welds) เล่มนี้ เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ทั้งในงานอุตสาหกรรมและในวงการศึกษาทั้งระดับช่างเทคนิคและระดับปริญญาทางด้านวิศวกรรม โดยเนื้อหาแต่ละหน่วยประกอบด้วย วัตถุประสงค์การทดสอบ หลักการทดสอบแบบทำลายสภาพด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบ วิธีการเขียนรายงานผลการทดสอบตามมาตรฐานงานเชื่อมโครงสร้างเหล็กของสมาคมการเชื่อมของอเมริกา (AWS D1.1) และมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกาที่ใช้สร้างหม้อน้ำและถังความดัน (ASME) รวมทั้งแบบทดสอบทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อทบทวนความรู้และเพิ่มทักษะการปฏิบัติงาน

ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒนา ในฐานะอาจารย์ที่ให้ความรู้ เมื่อครั้งที่ผู้เขียนศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการเชื่อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และยังกรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบงานเชื่อม และขอขอบคุณอาจารย์อำนาจ ทองแสน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือตรวจทานความถูกต้องของรูปแบบ และเนื้อหา ประโยชน์และความดีใด ๆ ที่เกิดจากหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนขอมอบแด่บิดา-มารดา และครูอาจารย์ ที่ให้การอบรมสั่งสอนทุก ๆ ท่าน

ชูชาติ ดั่งวงศ์



บทที่ 1 พื้นฐานของการทดสอบงานเชื่อมและคุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อม.....	1
1.1 การแบ่งประเภทของการทดสอบงานเชื่อม (Classification of Testing Methods).....	1
1.2 การทดสอบงานเชื่อมโดยวิธีการทำลายสภาพ.....	2
1.3 การทดสอบงานเชื่อมโดยวิธีการไม่ทำลายสภาพ.....	3
1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบแบบทำลายและแบบไม่ทำลายสภาพ.....	5
1.5 คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อม.....	5
แบบทดสอบท้ายบท.....	10
หนังสืออ้างอิง.....	12
 บทที่ 2 จุดบกพร่องในงานเชื่อม (Defects of Welds).....	 13
2.1 ความหมายของจุดบกพร่อง.....	13
2.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดจุดบกพร่องในงานเชื่อม.....	13
2.3 ชนิดของกลุ่มจุดบกพร่องตามมาตรฐานของ ISO 6520 และ.....	13
มาตรฐานของ ASNT/AWS B1.10-86R	
2.4 สาเหตุและวิธีป้องกันจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้าด้วยมือ.....	21
(Defects-Causes and Cures in Shielded Metal Arc Welding : SMAW)	
2.5 สาเหตุและวิธีแก้ไขจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมทิก.....	24
(Defects-Causes and Cures in Gas Tungsten Arc Welding : GTAW or TIG)	
2.6 จุดบกพร่องในงานเชื่อมมิก/แมก (Defects-Causes and Cures in.....	29
Gas Shielded Metal Arc Welding : GMAW or MIG/MAG)	
2.7 สาเหตุและวิธีป้องกันการแตกร้าวแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในงานเชื่อมทั่วไป.....	30
2.8 สรุปจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมแบบต่าง ๆ.....	35
2.9 สรุปการเลือกใช้วิธีการตรวจสอบเพื่อค้นหาชนิดของจุดบกพร่องในกระบวนการเชื่อม.....	36
2.10 สรุปการเลือกใช้วิธีการตรวจสอบเพื่อค้นหาจุดบกพร่องในรอยต่อเชื่อมชนิดต่าง ๆ.....	37

แบบทดสอบท้ายบท.....	38
หนังสืออ้างอิง.....	43
บทที่ 3 การทดสอบแรงดึงแนวเชื่อม (Tensile Testing of Welds).....	45
3.1 หลักการทดสอบแรงดึงแนวเชื่อม.....	45
3.2 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ.....	45
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	46
3.4 เครื่องทดสอบ.....	49
3.5 การเตรียมชิ้นทดสอบ (Preparation of Specimens).....	51
3.6 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ.....	54
3.7 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบแรงดึงรอยต่อเชื่อม.....	57
3.8 การบันทึกผลการทดสอบ.....	58
แบบทดสอบท้ายบท.....	61
หนังสืออ้างอิง.....	75
บทที่ 4 การทดสอบดัดงอแนวเชื่อม (Bend Testing of Welds).....	77
4.1 รูปแบบการทดสอบดัดงอตามมาตรฐาน ANSI/AWS B4.0:2007.....	77
4.2 วัตถุประสงค์การทดสอบดัดงอแนวเชื่อม.....	78
4.3 วิธีการทดสอบการดัดงอ.....	78
4.4 เครื่องทดสอบและอุปกรณ์ทดสอบการดัดงอ.....	82
4.5 การเตรียมชิ้นทดสอบดัดงอ (Preparation Specimens).....	84
4.6 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ.....	90
4.7 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบการดัดงอแนวเชื่อม.....	91
(Acceptance Criteria-Bend Test)	
4.8 การเขียนรายงานผลการทดสอบ.....	96
4.9 การบันทึกผลการทดสอบ.....	96

แบบทดสอบท้ายบท.....	97
หนังสืออ้างอิง.....	109

บทที่ 5 การทดสอบตีหักแนวเชื่อม (Nick-break Testing of Welds)..... 111

5.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบวิธีตีหัก.....	111
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบวิธีตีหัก.....	111
5.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ.....	112
5.4 ตำแหน่งการตัดเตรียมชิ้นทดสอบเชื่อมท่อต่อชนตามมาตรฐาน API 1104.....	116
5.5 วิธีการทดสอบ.....	122
5.6 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบแรงดึง.....	124
5.7 การเขียนรายงานผลการทดสอบ (Report).....	126
5.8 การบันทึกผลการทดสอบ.....	127
แบบทดสอบท้ายบท.....	128
หนังสืออ้างอิง.....	135

บทที่ 6 การทดสอบแรงกระแทกแนวเชื่อม (Impact Testing of Welds)..... 137

6.1 หลักการทดสอบแรงกระแทก (Principle of Impact Testing).....	137
6.2 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแรงกระแทก.....	137
6.3 ความเหนียวแน่นของวัสดุ (Toughness).....	138
6.4 การคำนวณหาพลังงานกระแทก (Impact Energy).....	139
6.5 วิธีการทดสอบแรงกระแทก.....	141
6.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบแรงกระแทก.....	141
6.7 การเตรียมชิ้นทดสอบ.....	144
6.8 ตำแหน่งทดสอบแรงกระแทกชิ้นงานเชื่อม.....	153
6.9 คีมจับชิ้นทดสอบ.....	160
6.10 ตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อการทดสอบ.....	161

6.11	ลักษณะการแตกหัก.....	165
6.12	หน่วยวัดพลังงานแรงกระแทก.....	170
6.13	ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบ.....	170
6.14	การเขียนรายงานทดสอบ.....	174
	แบบทดสอบท้ายบท.....	175
	หนังสืออ้างอิง.....	182
บทที่ 7	การทดสอบแรงเฉือนแนวเชื่อม (Shear Testing of Weld).....	185
7.1	วัตถุประสงค์ของการทดสอบแรงเฉือนแนวเชื่อม.....	185
7.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบความต้านแรงเฉือน.....	186
7.3	การเตรียมชิ้นทดสอบ.....	187
7.4	วิธีการทดสอบ.....	194
7.5	ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบแรงดึง - เฉือน.....	194
	(Acceptance Criteria Tension-Shear Test)	
7.6	การเขียนรายงานผลการทดสอบ.....	195
7.7	การบันทึกผลการทดสอบ.....	200
	แบบทดสอบท้ายบท.....	201
	หนังสืออ้างอิง.....	212
บทที่ 8	การทดสอบงานเชื่อมโลหะด้วยวิธีการทางโลหะวิทยา.....	213
	(Metallographic Testing of Welds)	
8.1	วัตถุประสงค์การทดสอบงานเชื่อมโลหะด้วยวิธีการทางโลหะวิทยา.....	213
8.2	ทฤษฎีโลหะวิทยางานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมที่เกี่ยวข้อง.....	213
	(Carbon and Alloy Metallurgy)	
8.3	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบด้วยวิธีการทางโลหะวิทยา.....	221
8.4	ขั้นตอนการทดสอบโครงสร้างมหภาค.....	226
8.5	ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การทดสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	235

8.6	ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบโครงสร้างมหภาคตามมาตรฐาน ASME Section IX.....	236
8.7	การเขียนรายงานผลการทดสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค.....	233
	แบบทดสอบท้ายบท.....	238
	หนังสืออ้างอิง.....	246

บทที่ 9 การทดสอบความแข็งจุลภาคโครงสร้างแนวเชื่อม..... 249 **(Micro-Hardness Testing of Welds)**

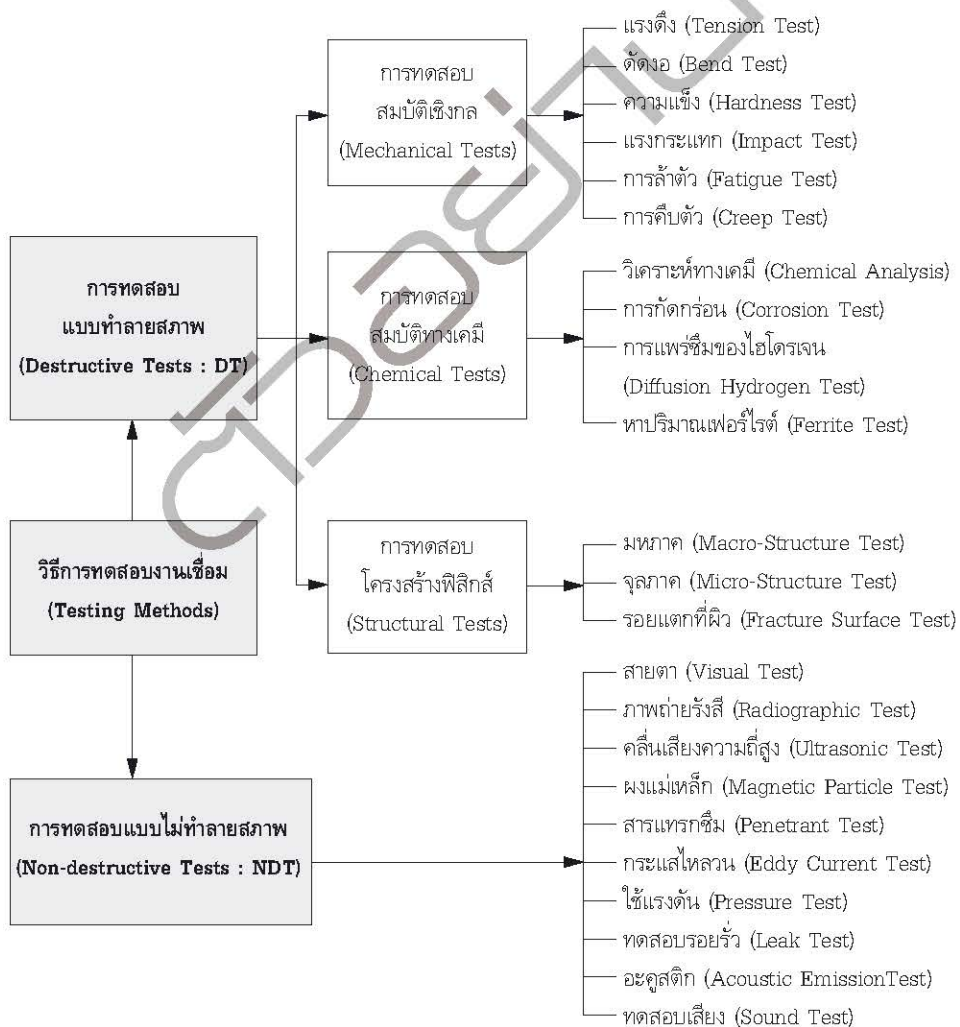
9.1	วัตถุประสงค์ของการทดสอบความแข็งจุลภาค.....	249
9.2	ประเภทของการทดสอบความแข็งจุลภาค.....	250
9.3	ข้อดีของการวัดความแข็งแบบจุลภาค.....	255
9.4	ตำแหน่งทดสอบความแข็งจุลภาคโครงสร้างแนวเชื่อม.....	256
9.5	การเขียนรายงานผลการทดสอบ.....	258
9.6	ตัวแปรที่มีผลต่อการทดสอบความแข็งโครงสร้างจุลภาค.....	258
	แบบทดสอบท้ายบท.....	259
	หนังสืออ้างอิง.....	267

האגודה

พื้นฐานของการทดสอบงานเชื่อม

และคุณสมบัติของพั้ตรวจสอบงานเชื่อม

1.1 | การแบ่งประเภทของการทดสอบงานเชื่อม (Classification of Testing Methods)



รูปที่ 1.1 การแบ่งประเภทของการทดสอบงานเชื่อม (ที่มา : Shigeaki Yamamoto, 1999, p. 7)

1.2 การทดสอบงานเชื่อมโดยวิธีการทำลายสภาพ

1.2.1 หลักการทดสอบแบบทำลายสภาพ

การทดสอบแบบทำลายสภาพ เป็นการทดสอบตัวอย่างชิ้นงานในสถานการณ์เดียวกับการรับแรงในการใช้งานจริง เพื่อประเมินความสามารถในการเชื่อมและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเชื่อมที่จะนำไปใช้งาน การเชื่อมในงานอุตสาหกรรมนั้นจะทำการเชื่อมตามใบลำดับขั้นตอนการเชื่อม (Welding Procedure Specification : WPS) และบันทึกผลการทดสอบที่ผ่านการยอมรับไว้ในเอกสาร (Procedure Qualification Test Record : PQR) เพื่อสรุปว่าวิธีการและตัวแปรต่าง ๆ ในเอกสารของ WPS สามารถใช้งานได้และใช้ทำการทดสอบช่างเชื่อมว่ามีความสามารถเชื่อมตาม WPS นั้นได้หรือไม่ การสอบช่างเชื่อมดังกล่าวเรียกว่า “Welder Qualification Test” หรือ WQT ซึ่งการกำหนดใบลำดับขั้นตอนการเชื่อม (WPS) และการทดสอบ WPS โดยการทำลายสภาพชิ้นงานเชื่อมและการทดสอบช่างเชื่อมจะปฏิบัติตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้

1.2.2 มาตรฐานของการทดสอบแบบทำลายสภาพ

มาตรฐานการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ ตัวอย่างเช่น

1. ASME Section IX มาตรฐานของอเมริกาใช้สำหรับงานเชื่อมถึงความดันและระบบท่อรับแรงดัน
2. AWS D1.1 มาตรฐานของอเมริกาใช้สำหรับงานเชื่อมงานโครงสร้างเหล็ก
3. AWS D1.2 มาตรฐานของอเมริกาใช้สำหรับงานเชื่อมงานโครงสร้างอะลูมิเนียม
4. AWS D1.6 มาตรฐานของอเมริกาใช้สำหรับงานเชื่อมงานโครงสร้างเหล็กกล้าสแตนเลส
5. API 1104 มาตรฐานของสมาคมอุตสาหกรรมปิโตรเลียมอเมริกาสำหรับงานเชื่อมท่อน้ำมัน
6. DIN 8560 มาตรฐานของเยอรมันสำหรับการสอบรับรองช่างเชื่อมเหล็กกล้า
7. ISO 9606-1 มาตรฐานสากลสำหรับทดสอบรับรองช่างเชื่อมเหล็กกล้า
8. ISO 9606-2 มาตรฐานสากลสำหรับทดสอบรับรองช่างเชื่อมอะลูมิเนียม

องค์ประกอบที่สำคัญของการทดสอบแบบทำลายสภาพคือ การเตรียมชิ้นงานทดสอบตามที่กำหนดในมาตรฐานและควบคุมวิธีการทดสอบให้ถูกต้อง นอกจากนี้การทดสอบแบบทำลายสภาพยังสามารถใช้ตรวจสอบสมบัติและจุดบกพร่องต่าง ๆ ของแนวเชื่อมได้ เช่น การทดสอบหาสมบัติเชิงกล (Mechanical Test) การทดสอบทางเคมี (Chemical Test) การทดสอบทางโลหะวิทยา (Metallographic Test) หรือใช้หลายวิธีร่วมกัน รวมถึงการตรวจพบรอยร้าว (Cracks) รูพรุน (Porosity) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) การหลอมลึกไม่เพียงพอ (Inadequate Joint Penetration) และสแลกฝังใน (Entrapped Slag) เป็นต้น

1.2.3 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมตามมาตรฐาน ANSI/AWS B4.0

การทดสอบสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมตามมาตรฐาน ANSI/AWS B4.0* สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ดังนี้

1. การทดสอบรอยเชื่อมต่อน (Testing of Groove Welds) ประกอบด้วย
 - (1) การทดสอบวิธีดัดงอ (Bend Tests)
 - (2) การทดสอบแรงดึง (Tension Tests)
 - (3) การทดสอบหาความเหนียวแน่น (Fracture Toughness Tests)
2. การทดสอบรอยเชื่อมฟิลเลท (Testing of Fillet Welds) ประกอบด้วย
 - (1) การทดสอบวิธีดัดงอ (Bend Tests)
 - (2) การทดสอบแรงเฉือน (Shear Tests)
3. การทดสอบรอยเชื่อมต่อนและการทดสอบรอยเชื่อมฟิลเลท (Testing of Groove Welds and Fillet Welds) ประกอบด้วย
 - (1) การทดสอบด้วยวิธีตีหัก (Nick Break Test)
 - (2) การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)
4. การทดสอบรอยเชื่อมสตั๊ด (Testing of Stud Welds) ประกอบด้วย
 - (1) การทดสอบวิธีดัดงอ (Bend Tests)
 - (2) การทดสอบแรงดึง (Tension Tests)
5. การทดสอบความสามารถรับการเชื่อมได้ (Weldability Testing) ประกอบด้วย
 - (1) ทดสอบการควบคุมความร้อน (Controlled Thermal Severity Test : CTS)
 - (2) การทดสอบความไวต่อการแตกร้าวเนื่องจากไฮโดรเจนในแนวเชื่อมฟิลเลท (Cruciform Test)
 - (3) การทดสอบความไวต่อการแตกร้าวเนื่องจากไฮโดรเจนบริเวณผลกระทบรื้อน (Implant Test)
 - (4) การทดสอบความไวต่อการแตกร้าวเนื่องจากไฮโดรเจนในเนื้อเชื่อม (Lehigh Restraint Test)
 - (5) การทดสอบการแตกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานเนื่องจากอิทธิพลของตัวแปรเชื่อม (Varestraint Test)
 - (6) การทดสอบความไวต่อการแตกร้าวเนื่องจากไฮโดรเจนในแนวเชื่อมบากร่องแนวเดี่ยว (Oblique Y - Groove Test or Takken Test)

1.3 การทดสอบงานเชื่อมโดยวิธีการไม่ทำลายสภาพ

1.3.1 หลักการทดสอบแบบไม่ทำลายสภาพ (Non-Destructive Test)

การทดสอบแนวเชื่อมแบบไม่ทำลายสภาพ หรือนิยมเรียกกันสั้น ๆ ว่า NDE (Non-Destructive Examination) หรือ NDT (Non-Destructive Testing) หรือ NDI (Non-Destructive Inspection) เป็นการทดสอบตามชิ้นงานโดยไม่ต้องทำลายสภาพชิ้นงานเดิม

* (ที่มา : ANSI/AWS B4.0 : 2007, p. xi to xiii)

1.3.2 องค์ประกอบที่จำเป็นในการทดสอบแบบไม่ทำลายสภาพ*

การทดสอบแบบไม่ทำลายสภาพมีองค์ประกอบที่จำเป็นดังนี้

1. ตัวกลางหรือแหล่งพลังงานที่ใช้ตรวจสอบ
2. สภาพหรือสมบัติของชิ้นงานต้องเหมาะสมกับตัวกลางที่จะใช้ค้นหาจุดบกพร่องแต่ละชนิด
3. ตัวกลางมีความสามารถที่จะค้นหาการกระจายของจุดบกพร่อง
4. เทคนิคการบันทึกผล หรือแสดงผลจากการค้นหาจุดบกพร่องต้องเหมาะสมที่จะใช้ในการประเมินหรือแปลผล
5. ผู้ตรวจสอบต้องผ่านการอบรมและสามารถแปลหรืออ่านผลการทดสอบได้

1.3.3 วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายสภาพ

การทดสอบแบบนี้จะอาศัยแหล่งพลังงานหลายรูปแบบ ซึ่งการเลือกใช้กรรมวิธีตรวจสอบนั้นจะขึ้นกับสมบัติของวัสดุ ลักษณะรอยต่อ ลักษณะจุดบกพร่องที่คาดว่าจะเกิด และความเข้มงวดของการทดสอบ วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายสภาพที่เป็นพื้นฐานสำคัญมีดังนี้

1. การทดสอบด้วยสายตา (Visual Inspection Testing : VT)
2. การทดสอบด้วยของเหลวแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing : PT)
3. การทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing : MT)
4. การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Testing : UT)
5. การทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing : RT)
6. การทดสอบด้วยกระแสไหลวน (Electromagnetic Testing or Eddy Current Testing : ET)
7. การทดสอบด้วยคลื่นเสียงอะคูสติก (Acoustic Emission Testing : AET)
8. การทดสอบหารอยรั่ว (Leak Testing : LT)
9. การตรวจสอบหาปริมาณเฟอร์ไรต์ (Ferrite Content Examination)

* (ที่มา : Welding Inspection Handbook, 2000, p. 125)

1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบแบบทำลายและแบบไม่ทำลายสภาพ



รูปที่ 1.2 ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจสอบแบบทำลายกับแบบไม่ทำลายสภาพ

จากรูปที่ 1.2 การทดสอบแบบทำลายสภาพจะได้ข้อมูล (Data) เป็นตัวเลข (Numerical) เกี่ยวกับสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ของชิ้นงานทดสอบเพื่อใช้ประโยชน์ในการออกแบบ (Designed) ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อทำการผลิต (Production) แล้วก็จะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ ด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อหาจุดบกพร่อง (Defects) ที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนของการผลิต

1.5 คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อม

1.5.1 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาคุณลักษณะพื้นฐานของผู้ตรวจสอบงานเชื่อม

ในการพิจารณาคุณลักษณะพื้นฐานของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมมีหลักเกณฑ์ 4 ประการ ดังนี้

1. เงื่อนไขสภาพร่างกาย (Physical Condition) ประกอบด้วย

- (1) สายตาดี-ตาไม่บอดสี สามารถมองเห็นรายละเอียดจุดเล็ก ๆ ในโครงสร้างจุลภาคหรือมหภาค สามารถอ่านฟิล์มภาพถ่ายรังสี และการตรวจสอบด้วยสายตาได้ เป็นต้น
- (2) ความสามารถทางเทคนิค (Technical Ability) อย่างน้อยต้องผ่านการทดสอบรับรองความสามารถเป็นผู้ตรวจสอบระดับ 1 หรือระดับ 2 หรือระดับ 3 และต้องมีพื้นฐานในการตัดสินใจ โดยดูรูปร่างแนวเชื่อมด้วยสายตา เปรียบเทียบการยอมรับกับมาตรฐานที่กำหนด

2. ด้านเทคนิค (Technical) ประกอบด้วย

- (1) การอ่านหรือแปลผลจากแบบ รายละเอียดข้อกำหนดของงาน และมาตรฐานที่กำหนด (Interpretation of Drawing, Specification and Code)
- (2) ประสบการณ์การตรวจสอบ (Inspection Experience) และปฏิบัติงานตามรายละเอียดของข้อกำหนดตามมาตรฐานต่าง ๆ
- (3) ความรู้เกี่ยวกับงานเชื่อม (Knowledge of Welding) จะช่วยให้สามารถทำนายแนวโน้มในการเกิดจุดบกพร่องและทราบชนิดของจุดบกพร่องได้ดีขึ้น
- (4) ความรู้เกี่ยวกับวิธีการตรวจสอบ (Knowledge of Examination Method) ทั้งด้านการตรวจสอบแบบทำลายสภาพและการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ

3. ด้านจริยธรรม (Ethical) ประกอบด้วย

- (1) ความซื่อสัตย์ (Integrity) เปิดเผยตรงไปตรงมาในอาชีพ
- (2) ความรับผิดชอบต่อสาธารณชน (Responsibility to the Public) ซึ่งถือเป็นภาระหน้าที่ที่ต้องปฏิบัติ ดังนี้
 - ดำเนินการตรวจสอบตามมาตรฐานที่ฝึกอบรม ด้วยประสบการณ์และความสามารถ
 - แสดงหลักฐานอ้างอิงเมื่อได้รับการร้องขอ
 - ไม่แสวงหาใบรับรองบุคลากรการตรวจสอบมาด้วยวิธีการที่ผิด หรือแก้ไขระดับความสามารถของใบรับรอง
 - เขียนรายงานผลการตรวจสอบหรือออกหนังสือรับรองตรงกับข้อเท็จจริง
 - ลงลายมือชื่อรับรองผลการตรวจสอบเฉพาะงานที่ผู้ตรวจสอบได้ทำการตรวจสอบแล้ว
 - ไม่มีส่วนร่วม รู้เห็นกับการหลอกลวง การเสี่ยงกับความไม่ซื่อสัตย์
 - บทความสาธารณะ (Public Statements) การเผยแพร่บทความสาธารณะต้องไม่ได้รับเงินว่าจ้างจากคู่แข่ง แต่ต้องขึ้นอยู่กับพื้นฐานของความรู้และข้อเท็จจริง
 - การขัดผลประโยชน์ (Conflict of Interest) หลีกเลี่ยงการขัดแย้งผลประโยชน์กับนายจ้างหรือลูกค้า ต้องไม่รับหรือเรียกร้อยเงินว่าจ้างจากลูกค้ามากกว่า 1 รายในงานเดียวกันทั้งทางตรงและทางอ้อม เว้นแต่ได้รับความเห็นชอบจากลูกค้าทุกราย
 - การรับงาน (Solicitation of Employment) จะต้องไม่รับการทำงานมาด้วยวิธีการจ่ายเงินสินบน (Commission) เว้นแต่เป็นการจ่ายเงินค่าแบบหลักประกันตามปกติ

4. ด้านลักษณะเฉพาะของบุคคล (Personal) ประกอบด้วย

- (1) ทักษะคติเกี่ยวกับอาชีพ (Professional Attitude) เป็นสิ่งแรกและบางทีอาจสำคัญที่สุดเกี่ยวกับคุณภาพของบุคลากร ซึ่งเป็นกุญแจที่ทำให้ผู้ตรวจสอบงานเชื่อมประสบความสำเร็จเพราะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือและได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง จะต้องมีความมั่นคงแน่วแน่ไม่เขັมนงวอดหรือผ่อนผันมากจนเกินไป

- (2) ซีดความสามารถในการเรียนรู้ (Learning Potential) การพัฒนาบุคลากรและประสบการณ์ การตรวจสอบงานเชื่อมสามารถทำได้โดยการฝึกอบรมให้มีความรู้ ความสามารถเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง
- (3) การบันทึกผลและการเก็บรักษาผลการตรวจสอบ (Complete and Maintaining Inspection Records) ต้องมีความสามารถในการบันทึกผลการตรวจสอบถูกต้องแม่นยำ เข้าใจง่าย มีชื่องาน วันที่และสถานที่ตรวจสอบ รายละเอียดการตรวจสอบ การร่างแบบ (Sketch) การถ่ายภาพ สามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้

1.5.2 คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมตามปัจจัย KASH



รูปที่ 1.3 คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมตามปัจจัย “KASH”

(ที่มา : American Welding Society Education Department, p. 1-2)

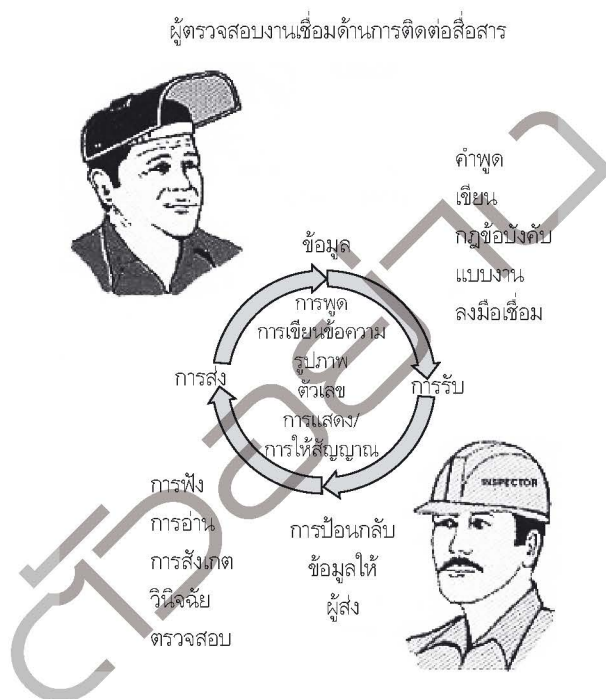
จากรูปที่ 1.3 คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมด้านปัจจัย “KASH” ประกอบด้วย

1. K (Knowledge) หมายถึง ความรู้ ต้องมีความรู้เกี่ยวกับแบบงาน (Drawings) รายละเอียดข้อกำหนดของงาน (Specifications) ศัพท์งานเชื่อม (Welding Terms) กระบวนการเชื่อม (Welding Processes) และกรรมวิธีการตรวจสอบงานเชื่อม (Testing Method)
2. A (Attitude) หมายถึง การมีทัศนคติที่ดีต่ออาชีพ
3. S (Skill) หมายถึง ทักษะความสามารถ ต้องมีการฝึกอบรมทางด้านวิศวกรรม (Engineering) โลหะวิทยา (Metallurgy) และมีทักษะประสบการณ์ในการตรวจสอบ (Welding Experience) เป็นต้น

4. H (Habits) หมายถึง กิจนิสัยในการทำงานด้วยความปลอดภัย (Safe Practices) ความสามารถในการเก็บรักษานบันทึกผลการตรวจสอบ (Ability to Maintain Records) และเงื่อนไขความสมบูรณ์ของสุขภาพ

1.5.3 คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมด้านการติดต่อสื่อสาร

คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมไม่ใช่การสื่อสารทางเดียว แต่ต้องมีการเตรียมพร้อมที่จะเป็นผู้รับฟังที่ดี ซึ่งหน้าที่ของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมด้านการติดต่อสื่อสาร แสดงไว้ในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบงานเชื่อมด้านการติดต่อสื่อสาร

(ที่มา : American Welding Society Education Department, p. 1-7)

จากรูปที่ 1.4 ผู้ตรวจสอบงานเชื่อมทำหน้าที่เป็นผู้ติดต่อสื่อสาร ดังนี้

1. ติดต่อสื่อสารเป็นวงจรหมุนเวียน ได้แก่ การส่ง (Sender) ข้อมูลข่าวสาร (Message) การรับข่าว (Receiver) และการป้อนกลับข้อมูล (Feedback)
2. ตัวอย่างการติดต่อสื่อสาร เช่น ช่างเชื่อม ก่อนเชื่อมต้องศึกษาจากการทำงาน การพูด เขียน กฎข้อบังคับ (Acts) แบบงาน (Draws) และลงมือทำการเชื่อม เป็นต้น
3. วิธีการติดต่อสื่อสาร ได้แก่ คำพูด การเขียนข้อความ รูปภาพ ตัวเลข การแสดงหรือการให้สัญญาณ เป็นต้น ดังนั้นผู้ตรวจสอบงานเชื่อมต้องศึกษาจากการทำงาน การฟัง การอ่าน การสังเกต การวินิจฉัยและลงมือทำการตรวจสอบ

เป็นตำราภาษาไทยเล่มแรก

ที่ได้รวบรวมเกี่ยวกับกรรมวิธีทดสอบ การเตรียมชิ้นทดสอบ ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ
การกำหนดขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบ การบันทึกผล
การเขียนรายงาน การประเมินผลและแปลผลการทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ
ตามมาตรฐานที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

ในเล่มพบกับ

- จุดบกพร่องในงานเชื่อมและพื้นฐานการตรวจสอบแบบทำลายและไม่ทำลายสภาพ
- การทดสอบแรงดึงแนวเชื่อม
- การทดสอบดัดงอแนวเชื่อม
- การทดสอบตีหักแนวเชื่อม
- การทดสอบแรงกระแทกแนวเชื่อม
- การทดสอบแรงเฉือนแนวเชื่อม
- การทดสอบงานเชื่อมโลหะด้วยวิธีการทางโลหะวิทยา
- การทดสอบความแข็งจุลภาคแนวเชื่อม

เหมาะสำหรับ

นักศึกษา วิศวกร ช่างอุตสาหกรรม วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมการผลิต
เทคโนโลยีงานเชื่อม วิศวกรรมการเชื่อม วิชาการตรวจสอบงานเชื่อม วิชาการทดสอบวัสดุ
และผู้ปฏิบัติงานทดสอบงานเชื่อมทั่วไป

