Chaper 8

เรื่องนี้ : ตามมาตา วิศวกรรมสาร ปีที่ 38 เล่มที่ 3 มีนาคม 28

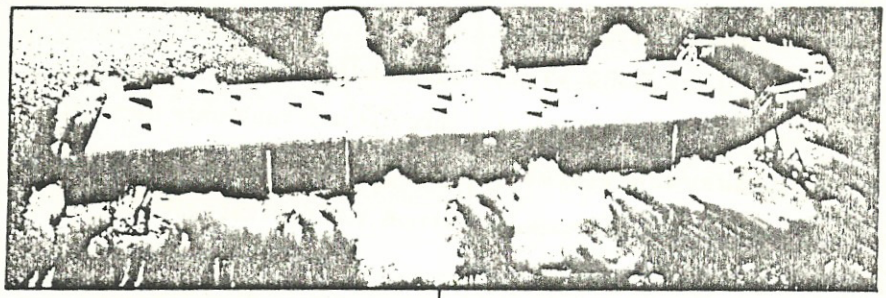
โปรดติดต่อ คณะวิศวกรรม

Chapter 8

วิศวกรรมการต่อเรือ

จรินทร์ บุรานนท์

ข้อบกพร่องในการเชื่อมตัวเรือที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้



หัวข้อสรุป : บทความนี้เขียนขึ้นเมื่อสิบปีที่ผ่านมา โดยผู้เขียนสองท่านคือ J.D. Harrison และ J.G. Young โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทบทวนมาตรฐานในการยอมรับและปฏิเสธในข้อบกพร่องของแนวเชื่อม ในวิศวกรรมการต่อเรือในรอบก่อนช่วงสิบปีที่ผ่านมา และรวบรวมขึ้นให้เป็นมาตรฐานที่ชัดแจ้ง ไม่คลุมเครือ และไม่อยู่บนหลักการที่ว่า *"ถูกต้องตามความประสงค์แล้ว"* หน้าที่ของการทดสอบโดยไม่ทำลาย ในการควบคุมคุณภาพ และเพื่อความถูกต้องตามวัตถุประสงค์นั้นมีอรรถอยู่ในบทความนี้ และรวบรวมภูมิหลังทั้งหมด เพื่อเป็นพื้นฐานวางมาตรการเป็น *"การประเมินข้อวิกฤติในเชิงวิศวกรรม"* ท้ายสุดนี้ได้ชี้แนะวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายในงานวิศวกรรมต่อเรือเพื่อผลทาง *"การควบคุมคุณภาพ"* และเพื่อตาม *"การประเมินข้อวิกฤติ ในเชิง วิศวกรรม"* โดยแบ่งตัวเรือออกเป็นย่าน ๆ ว่าย่านไหนควรต้องการคุณภาพในการเชื่อม..... เท่าใด?

บทนำ (Introduction)

ด่วลีที่ว่า "ถูกต้องตามความประสงค์" (Fitness for Purpose) "ความเด่นชัดของข้อบกพร่องในแนวเชื่อม" (Significance of Weld Defects) "การประเมินข้อบกพร่องวิกฤติ" (Critical Defect Evaluation) และ"การประเมินผลวิกฤติ ในเชิงวิศวกรรม" (Engineering Critical Assessment) นั้นเป็นที่อยู่ในความสนใจมากของวิศวกรมาเมื่อสิบห้าปีที่แล้วมา ผู้เขียนบทความนี้สองท่านที่ได้กล่าวนามมาแล้วนั้น ได้ทำงานอยู่ในแวดวงนี้โดยเฉพาะ แต่ก็ยังไม่เป็นที่พอใจของท่านทั้งสองนั้นเท่าใดนัก ที่ในเวลานั้น งานของท่านก็เป็นเพียง หนังสืออ้างอิง ของวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ ที่จับงานแต่ในวงการนี้เท่านั้น ซึ่งการที่มาทำงานเกี่ยวกับการหาจุดในข้อบกพร่องนั้น ดูยังจะไม่มีความสลักสำคัญเท่าใดนัก ตราบจนกระทั่งการนำมันมาใช้ ควบคู่กับมาตรฐาน ซึ่งผู้ควบคุมวิศวกรและผู้ตรวจเรือ ซึ่งทำหน้าที่เป็น "ผู้ตัดสิน" งานว่า ยอมรับ/ปฏิเสธ บนหลักฐานที่ได้ตรวจสอบดูด้วยตาและโดยการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Visual and Non-Destructive Testing) ได้เท่านั้น งานนี้จึงจะเกิดมีความสำคัญขึ้นมา

เมื่อสิบห้าปีที่แล้วมา ท่านทั้งสองกำลังบุกเบิก ทำมาตรฐานอังกฤษ อยู่ ซึ่งได้ศึกษาวิจัย ในเรื่อง ความเด่นชัดของข้อบกพร่องในแนวเชื่อม (Significance of Weld Defects) อย่างกว้างขวาง และบทความที่ท่านผู้อ่านกำลังติดตามอยู่นี้ ก็คือร่างมาตรฐานของอังกฤษ เกี่ยวกับการเชื่อมตัวเรือซึ่งมิใช่เรือรบในสมัยก่อนก่อตั้งเป็นมาตรฐานถาวร

มาตรฐานของข้อบกพร่องในการเชื่อมต่อเรือ ที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ Existing Defect Acceptance Standards in Shipbuilding

มาตรฐานข้อบกพร่องในการเชื่อมต่อเรือ ที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ของสมาคมมาตรฐานเรือที่สำคัญ ๆ ของโลก โดยย่อนั้น มีดังต่อไปนี้ :-

1. อเมริกัน บิวโร ออฟ ชิพปิ้ง (A.B.S.: The American Bureau of Shipping)

การทดสอบ โดยการฉายรังสีอุลตร้าโซนิค ผงตะไบเหล็ก หรือ โดยการฉีดพ่นสีนั้น จะต้องทดสอบตรงแนวเชื่อม ตรงตำบลที่สำคัญ ๆ จำนวนจุดในการฉายรังสี n นั้นจะต้องทดสอบ ตรงแนวกึ่งกลางลำเรือออกไปทางหัว-ท้าย ในระยะ 0.6L ของเรือ ซึ่งมีความยาว L เมตร กว้าง B เมตร และลึก D เมตร จากสูตร

$$n = \frac{L(B + D)}{46.5}$$

ณ ตำแหน่งรอยตัดของเรือ ที่ 0.6L จะต้องฉายรังสี (ซึ่งส่วนมาก X'ray) ณ ย่านที่วิกฤติ เช่นแนวเชื่อม ที่ตัดผ่านกันของ *เชียร์สะเตร็ค* (Sheer Strakes) *บลิจ สะเตร็ค* (Bilge Strake) *เด็ค สะตริงเจอร์* (Deck Stringer) และ*แผ่นกระดูกงู* (Keel Plate) และตามแนวเชื่อมของ*แผ่นซ้อนทับกัน* (Butt Weld) ตรงมุมของขอบช่องทางขึ้นลงที่ดาดฟ้า

นอกแนวระยะ 0.6L ออกไป ให้ฉายรังสี ตามตำบลที่ที่ผู้ตรวจเรือ (Surveyor) จะเป็นผู้กำหนด

ตำบลซึ่งแตกร้าว (Cracks) เป็นตำบลที่"ปฏิเสธ"ไม่ยอมรับ

ระยะจำกัดโดย ความยาวที่ แนวเชื่อม

ละลายไม่เข้ากันสนิท การกินลึกของแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ และมีสะแล็กฝังอยู่ในแนวเชื่อม

ความพรุนของแนวเชื่อมนั้น ในปริยบเทียบ ดูใน Chart ซึ่งคล้าย ๆ กับมาตรฐานของเรือทั่ว ๆ ไป หรือ โค้ดของ ASME เป็นต้น

รอยเชื่อมตรงตำแหน่ง ที่ไม่เรียบร้อย "ปฏิเสธ"นั้น จะต้องซ่อมทำใหม่ให้เรียบร้อยบริบูรณ์

2. บิวโร เวอร์ริตาส (B.V. Bureau Veritas)

การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) นั้นจะต้องทำร่วมกับการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (NDT: Non-Destructive-Testing) เช่นการฉายรังสี หรืออุลตร้าโซนิคด้วย เป็นบางโอกาส

การเชื่อมต่อแผ่นชน (Butt) และต่อแผ่นตั้งฉาก (Fillet) นั้นจะต้องปราศจากรอยแหว่งขอบแนวเชื่อม (Undercut) โดยสิ้นเชิง

การเชื่อมต่อแผ่นชนของแผ่นเหล็กตัวเรือ และแผ่นเหล็กดาดฟ้า ซึ่งต้องการความแข็งแรง จะต้องตรวจโดยฉายรังสี (Radiography) ส่วนตำบลที่อื่น ๆ นอกไปจากนี้ ให้ฉายรังสีตรวจเป็นบางแห่งตามแต่จะกำหนด กำหนดว่าตำบลที่ที่ชำรุด บกพร่องให้ซ่อมทำเสีย แต่มิได้บ่งชัดว่า ซ่อมทำแค่ไหน ถึงจะอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้คงให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ตรวจเรือ (Surveyor)

3. เด็ท นอรสค์ เวอร์ริตาส (D.N.V.: Det Norske Veritas)

ตรงส่วนก้นรอยเชื่อม (Root) นั้นจะต้องไม่แตกร้าว จะต้องไม่มีรอยละลายไม่เต็มเนื้อ มีข้อพิถีพิถันตรงแนวเชื่อมที่ตัดกันภายใน 0.4L จากกึ่งกลางลำเรือ (Midship) ไม่ได้บ่งชี้มาตรฐานแน่นอนถึงเกณฑ์ยอมรับ (Acceptance Standard) นอกเหนือไปจากข้อจำเพาะเจาะจงตรง Root ของรอยเชื่อมเท่านั้น

4. แกร์มันนิชเช่อร์ ลอยด์ (G.L.: Germanisher Lloyd)

การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) นั้นจะต้องตรวจสอบดูทั้งหมด รอยชำรุด บกพร่อง ที่รุนแรง จะต้องซ่อมทำใหม่ รอยแหว่งขอบแนวเชื่อม (Undercut) จะต้องเจียระไนออกก่อนซ่อมทำ

การตรวจโดยการฉายรังสี (Radiography) ให้ทดสอบในบางจุด จำนวนที่จะต้องฉายรังสีนั้นขึ้นอยู่กับความยาวของตัวเรือ ผู้ตรวจเรือ (Surveyor) เป็นผู้พิจารณาผลจาก การอ่านฟิล์ม ดังนี้

i ดี (ไม่มีจุดบกพร่อง)

ii ยอมรับได้ (บกพร่องเล็กน้อย มีรูพรุนกระจายอยู่ห่าง ๆ ฯลฯ)

iii ยังไม่ต้องซ่อมทำ (ชำรุดนิดหน่อย พรุนเป็นห้วง ๆ มีสะแล็กนิดหน่อย)

iv ต้องซ่อมทำใหม่ (ชำรุดมากปล่อยไปไม่ได้ มีสะแล็กปนมาก พรุนมาก ฯลฯ)

v เปลี่ยนใหม่เป็นบางแผ่น หรือเปลี่ยนหมดทั้งตอน (ชำรุดมาก กินเนื้อที่กว้างขวางแตกร้าวราน)

5. ลอยด์ รียิสเตอร์ ออฟ ชิพปิ้ง (L.R.: Lloyds Register of Shipping)

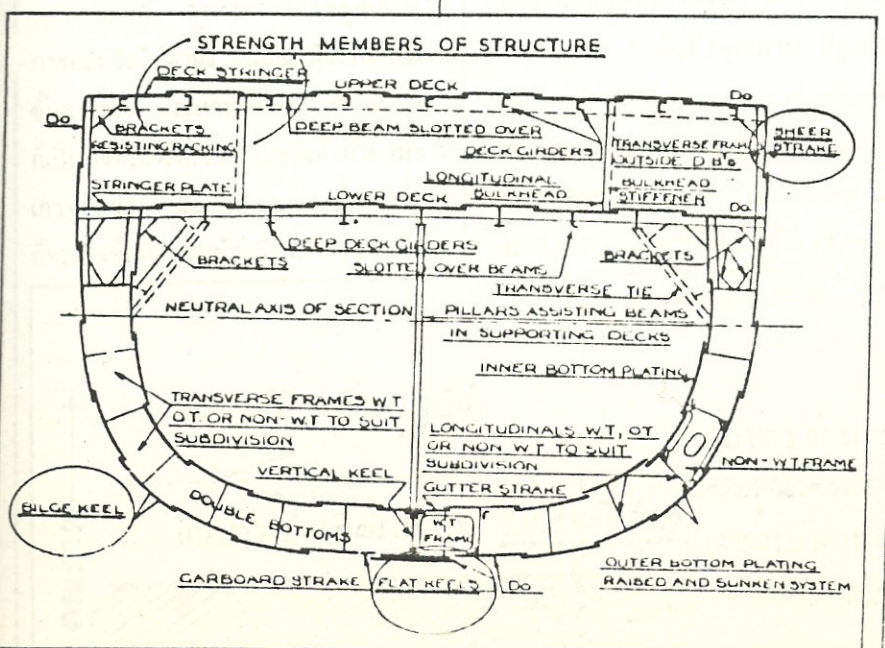
การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) ร่วมกับการทดสอบโดยไม่ทำลาย (NDT: Non-Destructive Testing) อยู่ในดุลยพินิจของผู้ตรวจเรือ (Surveyor) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ให้พิถีพิถันตรงแนวตัดกันของรอยเชื่อม แผ่นกระดูกงูที่ต่อซ้อนทับกัน และ*เชียร์สะเตร้ค* (Shear Strakes) ภายในช่วง 0.4L ตรงแนวกึ่งกลางลำเรือ และตรงฝาระวางช่องทางขึ้น-ลง ที่ดาดฟ้า (Hatch)

ไม่กำหนดมาตรฐานที่ยอมรับได้ (Acceptance Standard) ให้ไว้ แต่กำหนดว่าขั้นส่วนตอนที่ชำรุด จะต้องตัดออกซ่อมทำใหม่

6. นิปปอน เคอิจิ เกียวไก (N.K.K.: Nippon Kaiji Kyokai)

กฎของ NKK ไม่พูดถึงการทดสอบโดยไม่ทำลายเลย โดยกล่าวไว้สั้น ๆ แต่เพียงว่า "ให้ทำการตรวจสอบโดยรังสี เมื่อพบจุดบกพร่องให้แก้ไขเชื่อมใหม่" เท่านั้นเอง วิจารณ์กฎข้างบน (Discussion of Above Rules)

เมื่อพิจารณาดูจากกฎข้างบนที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่ามีความลดหลั่นแตกต่างกันไปมาก จากหลักเกณฑ์ที่ถูกต้องตามความต้องการอย่างสูง ของ American Bureau of Shipping ไปจนถึงกฎของสมาคมอื่น ซึ่ง มอบความพินิจพิจารณาไว้ให้เป็นสิทธิ์ของผู้ตรวจเรือ (Surveyor) เป็นผู้ชี้ขาดแต่โดดเดียว แต่ถึงกระนั้นก็ตาม กฎของ ABS ที่ได้กล่าวไว้ชัดแจ้งนั้น ก็ยังหลุมเครือ ยังหา



ได้มีความสัมพันธ์อันเกี่ยวเนื่องในเรื่องของ "ความปลอดภัยของเรือ" (Safety of the Ship) ไม่ ตามวิสัยที่จริงแล้ว กฎทั้งหมดนั้นก็คือ ข้อบ่งเฉพาะของการควบคุมคุณภาพ (Quality Control Specifications) นั่นเอง ทั้ง ๆ ที่มันมีความคลุมเครืออยู่ตามธรรมชาติของมันก็ตาม แต่ทุก ๆ กฎ ต่างก็มีความประสงค์ หรือมีเจตนารมณ์ร่วมกันโดยกำหนดไว้ว่าหากมีข้อบกพร่องอย่างนั้นหรืออย่างนี้แล้ว จะต้องทำการซ่อมทำตลอดจนกระทั่งทุก ๆ กฎ ก็ไม่มีกฎใดเลยที่บังคับว่า จะต้องตรวจโดยการฉายรังสี 100% ถึงแม้จะเป็นตำบลที่ที่มีความสำคัญมากเพียงใดก็ตาม และถึงแม้ว่าได้ทำการซ่อมทำเสร็จแล้วก็ตาม ก็ยังไม่มีกฎข้อใดกำหนดไว้อีกว่า ให้ตรวจสอบงานซ่อมทำนั้นทั้ง 100% อีกด้วย ทั้งนี้ก็เพราะว่าการซ่อมทำตามที่ปรากฏแล้ว ๆ มานั้นก็เพื่อยกระดับมาตรฐานในด้านคุณภาพให้เหนือกว่าเดิมมากเสียกว่าที่จะคำนึงถึงมาตรฐานในคุณภาพในด้าน "ความปลอดภัยของเรือ" เป็นเรื่องสำคัญ

การควบคุมคุณภาพ และความถูกต้องตามวัตถุประสงค์ (Quality Control and Fitness for Purpose)

แน่ละ ถ้าหากว่าจะลดคุณภาพในการยอมรับให้ต่ำลง ซึ่งก็มีผลถึงงานเชื่อมในขั้นแรกนั้น คุณภาพก็ต่ำลงไปตามไปด้วย ก็เป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนากันทั้งนั้น เพราะเกรงกันว่า ถ้ายอมลดคุณภาพลงไปได้แล้ว ก็จะเป็นข้อที่ต่อรองในเรื่องมาตรฐานที่ยอมรับได้ (Acceptance Standard) กันอย่างไม่รู้จบ ถ้ากล่าวโดยทั่วไปแล้ว ถ้าจะทำการเชื่อมครั้งแรกให้ดีเสียเลยทีเดียวนั้น ก็จะเสียเงินเพิ่มขึ้น อีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น กว่าที่จะใช้เชื่อม ๆ พอผ่าน ๆ ไป

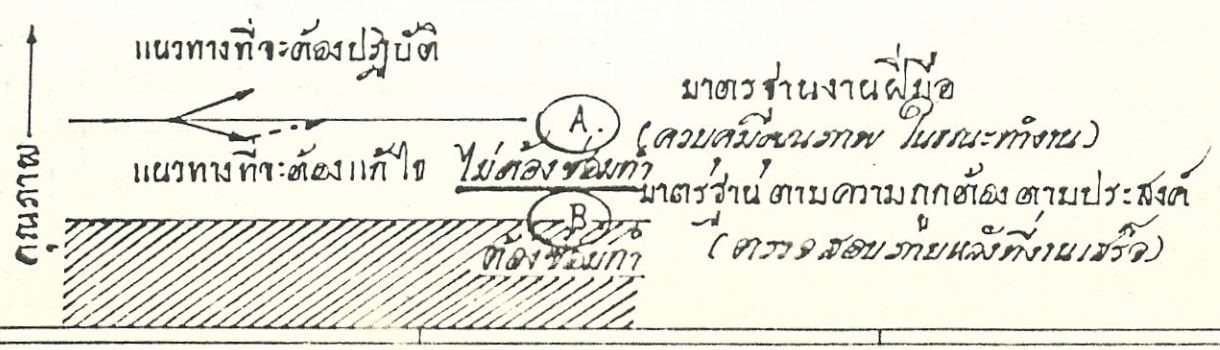
เมื่อได้พิจารณาดูในเรื่องเหล่านี้แล้ว ก็พาให้ได้ข้อสรุปออกมาว่า : การทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT: Non-Destruction Testing) นั้น ก็ทำหน้าที่ของมันแตกต่างกันอยู่สองอย่าง คือหน้าที่ในการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) อย่างหนึ่ง กับหน้าที่ในการยอมรับ (Acceptance) อีกอย่างหนึ่ง ตัวอย่างของการควบคุมคุณภาพ นั้นก็ได้แก่ การตั้งระยะเผื่อ (Tolerances) ในผลิตกรรมต่อเนื่อง (Mass Production) เป็นต้น ผังภูมิการควบคุมคุณภาพ (Quality Control Charts) นั้นใช้เพื่อเป็นตัวชี้นำเครื่องจักรกลว่าให้ปรับแต่งขนาดของชิ้นงานให้เข้ามาให้ถูกต้องตามมาตรฐาน และให้แก้ไขกลับมาใหม่เมื่อมีทีท่าว่าของที่ผลิตออกมานั้น จะกระเจิงออกนอกลู่นอกทางไป ในวัตถุประสงค์ที่จะให้ได้มาซึ่งการยอมรับ 100% นั้น คณะกรรมการแห่งสถาบันการเชื่อมในอุตสาหกรรม ได้เสนอว่า การตรวจสอบงานเชื่อมนั้น ให้ตรวจไปตามเส้นทางเดียวกัน ดังแสดงในแผนภูมิข้างล่างนี้

ระดับ B นั้นคือคุณภาพ ที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ (Fitness for Purpose) ซึ่งยึดถือตามมูลหลักของ การประเมินผลวิกฤติในเชิงวิศวกรรม (ECA: Engineering Critical Assessment) ซึ่งเหมาะกับ แฟคเต้อร์แห่งความปลอดภัย

ระดับ A นั้นคือระดับคุณภาพ ซึ่งแสดงระดับงานฝีมือที่ดีซึ่งคล้ายกันกับระดับที่ยอมรับจากผู้ตรวจเรือเท่าที่ปฏิบัติกันอยู่ งานซึ่งอยู่ในระหว่างระดับ B กับระดับ A นั้นไม่ต้องการการซ่อมทำ แต่การทดสอบเพื่อหาข้อบกพร่องในคุณภาพนั้นก็มีวัตถุประสงค์ที่จะยกระดับมาตรฐานให้สูงเหนือขั้นขึ้นไปอีก

มาตรฐานของอังกฤษ (British Standard) เสนอให้ถือปฏิบัติตามนี้ ส่วนภาชนะบรรจุวัสดุมีกำลังอัดดัน (Pressure Vessels) นั้นยังกำหนดเกินเกณฑ์นี้ขึ้นไปอีกขั้นหนึ่งอีก โดยกล่าวว่า "ระดับ การควบคุมคุณภาพจะต้องกำหนดให้แน่ชัดลงไป" ผู้ตรวจภาชนะอัดวัสดุมีกำลังดัน (เช่นขวดแก๊ส) จะยอมรับภาชนะที่มีข้อบกพร่อง ไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดได้ แต่อย่างไรก็ดี เมื่อมีบางส่วนที่มีข้อชำรุด บกพร่อง มากเกินเกณฑ์ไปแล้วก็มิใช่ว่าจะปฏิเสธไม่รับเลยทั้งหมด ปัญหาก็มาตกอยู่ที่จะตัดสินใจเอาว่าขั้นไหนพอซ่อมทำใหม่ได้? ขั้นไหนควรปฏิเสธ ไม่ยอมให้ซ่อมทำและไม่ยอมรับ! ทั้งนี้ก็โดยถือหลักเอาตาม "ความถูกต้อง" หรือ "เหมาะตามวัตถุประสงค์แล้ว" ทั้งนี้อาจจะถือเอาตามบรรทัดฐานเดิมที่ยอมรับได้จากวัสดุที่ใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาถึงสิ่งแวดล้อมประกอบกับหลักการของ การประเมินผลวิกฤติ ในเชิงวิศวกรรม (ECA: Engineering Critical Assessment) งานของสถาบันมาตรฐานของอังกฤษ (B.S.I.: British Standard Institution) นั้นก็เพื่อที่จะจัดหาภูมิหลังทางเทคนิคให้ ECA.

ผังภาพการควบคุมคุณภาพและระดับที่ยอมรับได้



เมื่อได้ใช้กับกรณีที่คล้ายคลึงกันหลาย ๆ ครั้งแล้ว ก็จะสร้างเป็นตัวบทสำหรับไว้เป็นข้ออ้างอิง ซึ่งกรรมวิธีนี้ใช้เป็นตัวบทในอันที่จะตัดสินใจเอาว่า ส่วนใดควรซ่อมทำได้? ส่วนใดควรเปลี่ยนแปลงใหม่!เพื่อที่จะได้ไม่ต้อง เสียเงินเสียทองให้แพงมากมายเกินกว่าที่จำเป็นและรูปการณ์ ในทำนองเดียวกันกับ"ถังขวดแก๊ส"นี้ ก็มาใช้ในเรื่องของการต่อเรือได้ดี

การประเมินผลวิกฤติในเชิงวิศวกรรม (Engineering Critical Assessment)

เอกสารที่เกี่ยวข้องในเรื่องนี้นั้น สถาบันมาตรฐานอังกฤษ (B.S.I.) ได้เริ่มออกให้ใช้ในวงการอุตสาหกรรม โดยกำหนดวิธีการที่จะให้ได้มาซึ่ง มาตรฐานที่ยอมรับได้ในข้อชำรุดบกพร่อง ของงานเชื่อมภาชนะบรรจุวัสดุที่มีกำลังดัน (ถังแก๊ส) ซึ่งทำด้วยเฟอริติค สะตีล ออสเท็นนิติค สะตีล และอาลูมิเนียม อัลลอยด์ แต่วิธีการประเมินผลนั้นก็ยังกำหนดไว้กว้าง ๆ อยู่โดยในขั้นแรก B.S.I. ได้เสนอ ร่างมาตรฐานการยอมรับในแง่แห่งความสมจริง (Realistic Acceptance Standard) ขึ้นไปก่อน *(โดยผู้เขียนท่านเดียวกับที่เขียนบทความนี้ ร่วมกับ Dr. Burdekin)* ในร่างมาตรฐานนั้น ได้กล่าวถึง ข้อบกพร่องทั้งหมดที่ปรากฏในงานเชื่อมและแบ่งกว้าง ๆ ออกเป็น ในส่วนของพื้นราบ (Planar) ก็มีว่าด้วย"การร้าว"กับ"การหลอมละลายที่ไม่ดี"เป็นต้น กับ ส่วนในสามมิติ (Three-Dimension) ซึ่งว่าด้วย"การพรุน""การมีสะแล็ก"เป็นต้น

ในเนื้อหาของมาตรฐาน"ฉบับร่าง" ฉบับนั้น ได้กล่าวถึงอาการของข้อบกพร่องของงานเชื่อมไว้ทุกกรณี แต่ได้เน้นหนักเป็นพิเศษ ถึงลักษณะของความบกพร่องที่สำคัญ ๆ สองลักษณาการด้วยกันคือ การแตกหักด้วยความเปราะ (Brittle Fracture) และด้วยความล้า (Fatigue)

i การแตกหักด้วยความเปราะ (Brittle Fracture)

ก) ชำรุดสามมิติ (Three-dimensional Defects)

หนึ่งในสองท่านที่เขียนบทความนี้ ได้ศึกษาดูและได้ทราบว่า หากทำการเชื่อมวัสดุให้ถูกต้องตามกรรมวิธีแล้ว การชำรุดสามมิติ จะไม่มีผลที่เป็นอันตรายมาถึงทำให้วัสดุนั้นแตกหักเพราะความเปราะได้เลย และข้อคิดเห็นนี้ ก็เป็นที่ยอมรับกันทั้งของสถาบันการเชื่อมในวงการอุตสาหกรรม และสถาบันมาตรฐานของอังกฤษด้วย การแตกหักของวัสดุนั้นเกิดจากธรรมชาติที่มีรอยชำรุดอยู่ เมื่อถึงจังหวะที่มันยืดตัวออก รอยชำรุดนั้นมีทิศทางพุ่งผ่านความหนาของวัสดุนั้น เป็นตัวก่อให้เกิดการแตกหัก รอยชำรุดทางสามมิตินั้น เมื่อเทียบกับรอยชำรุดอันเกิดจากรอยร้าวซึ่งเจริญมาจากการยืดตัวของโลหะแล้วจึงแผ่ทิศทางมาทางด้านความหนาของวัสดุแล้ว จะเล็กน้อยมาก หากว่าการชำรุดสามมิตินี้ เป็นตัวการสำคัญที่จะทำให้เกิดการแตกหักได้จริงแล้ว รูที่พรุนเล็กพรุนน้อย แม้จะเป็นเพียงนิดเดียวก็จะต้องใช้ไม่ได้ซี จะต้องหลีกเลี่ยงให้หมด นิดเดียวก็ไม่ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงแล้ว เป็นไปไม่ได้

ข) ชำรุดสองมิติ (Two-Dimensional Defects)

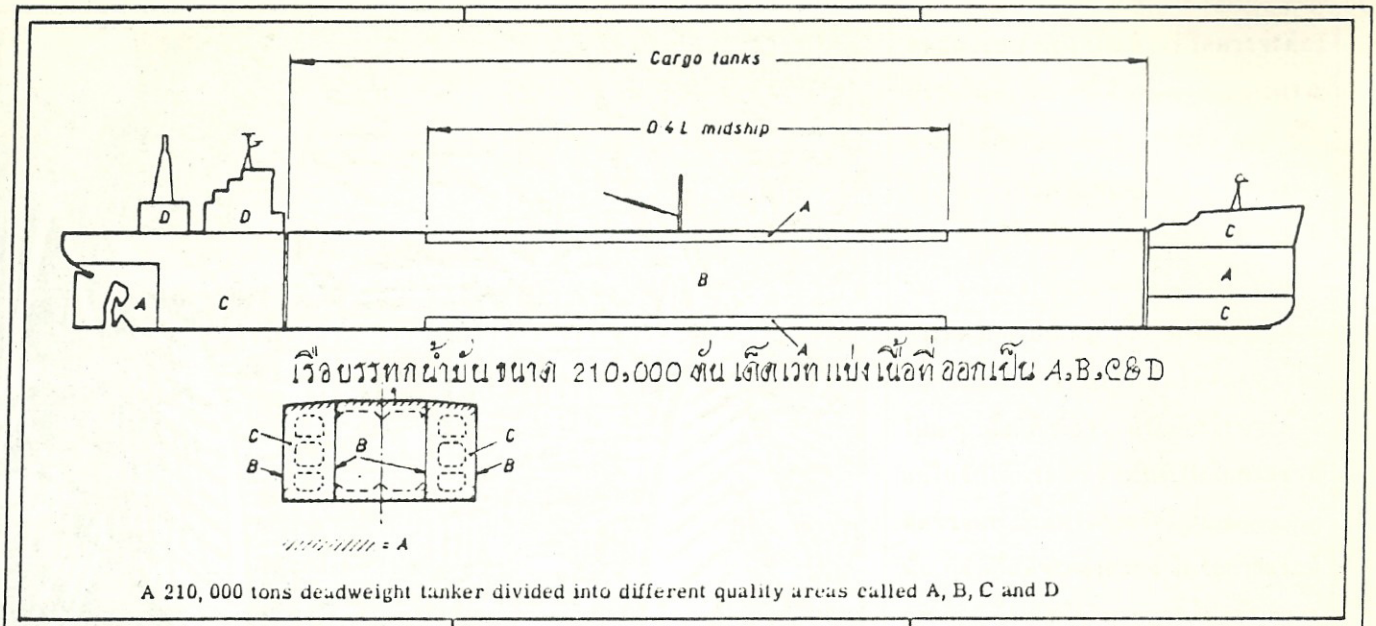
การที่จะพิจารณาถึงการชำรุดสองมิตินี้ ก็อาศัยพินิจตาม ความยืดหยุ่นตามแนวเส้น (Linear Elastic) กับ กลไกแห่งความแตกหักเพราะความล้า (Yeilding Fracture) เป็นจุดที่จะนำมาพิจารณา แต่จะพูดในที่นี้ว่า*"ถ้าการเลือกใช้วัสดุที่ดี ๆ อย่างละเอียดละออกันในชั้นแรกแล้ว การชำรุดบกพร่องจุดใหญ่ก็จะไม่มี"* ก็ไม่ผิดนัก แต่โดยทั่วไปแล้วการหลีกเลี่ยงการแตกหักเพราะความล้านั้นก็โดยใช้วัสดุที่มีความเหนียว การที่จะไว้ใจต่อการทดสอบโดยไม่ทำลายนั้น ก็ไว้ใจไม่ใคร่จะได้ เพราะถ้าการทดสอบโดยไม่ทำลายนั้นทำการทดสอบโดยวิธีสุ่มตัวอย่าง (Random) หากไม่ทดสอบ 100% จริง ๆ

ii การแตกหักด้วยความล้า (Fatigue)

ในกรณีของการแตกหักเพราะความล้านี้ก็พบว่า ข้อบกพร่องในเรื่องนี้ควบคุมได้ยาก ความล้มเหลวของโครงสร้าง จากงานเชื่อมทั้งหลาย นั้นส่วนมากมักจะมีก่อหวอดมาตั้งแต่ขั้นการออกแบบในรายละเอียด ในขณะที่การแก้ปัญหา"ความล้า"นี้ อยู่ในมือของ*วิศวกรโลหะกิจ* ส่วนตัวผู้สร้างปัญหานั้น อยู่ในมือ*นักออกแบบ* ซึ่งกรณีนี้ก็เป็นเรื่องเกี่ยวพันกับ การชำรุดสามมิติในทางปฏิบัติแล้ว ในขั้นตอนของการออกแบบหากใช้วัสดุที่มีความพรุนไม่เกิน 3% โดยปริมาตรแล้วย่อมปลอดภัยในข้อที่ว่าจะไม่ลดอายุวัสดุนั้น ๆ ให้ชำรุดเพราะความล้าลงเลย คือมันจะมีความแข็งแรงทนทานเท่าเดิม แต่เพื่อให้มีความมั่นใจว่าความพรุนนั้นจะไม่แฝงอันตราย อื่นใดไว้อีกเนื่องจากตรวจไม่พบ สถาบันมาตรฐานอังกฤษยังได้ลดเปอร์เซ็นต์ของความพรุนนั้นลงไปอีก ในทำนองเดียวกันถ้าตรวจพบสะแล็กฝังตัวกันอยู่เต็มสายต่อเนื่องกัน ก็ไม่สู้จะน่ากลัวอันตรายเท่าใดนัก

สำหรับในเรื่องที่ผูกพันกับวิศวกรรมการต่อเรือ อันว่าด้วยความพรุนในรอยเชื่อมของแผ่นงานต่อตั้งฉาก (Fillet Weld) เป็นที่เข้าใจว่าจะต้องมีการซ่อมทำงานเชื่อมแนวนี้อย่างมากมาย แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วพบว่า ถ้าตรงแนวเชื่อมนั้น ๆ เป็นแนวที่ต้องรับโหลด และการต่อเรือตรงช่วงนั้น ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ เมื่อเป็นเช่นนี้ แนวเชื่อม แนวนั้น ถือเป็นเรื่องสำคัญ แต่ถ้าแนวเชื่อมแนวนั้น ไม่เป็นแนวเชื่อมที่รับภาระบรรทุก และการต่อเรือตรงช่วงนั้น ได้กระทำเหนือมาตรฐาน ที่กำหนดไว้ในขั้นการออกแบบ เมื่อเป็นเช่นนี้ แนวเชื่อมนี้ ถือว่า ไม่มีอันตรายได้

ในเอกสารของมาตรฐานอังกฤษ ได้กำหนดวิธีที่จะตัดสินใจในข้อบกพร่องในแนวพื้นราบ ไว้สองวิธีด้วยกัน (ฉบับ



เรือบรรทุกน้ำมันขนาด 210,000 ตัน เด็ดเวท แบ่งเนื้อที่ออกเป็น A, B, C & D

A 210, 000 tons deadweight tanker divided into different quality areas called A, B, C and D

หนึ่งกล่าวแบบธรรมดาทั่ว ๆ ไป อีกฉบับหนึ่งกล่าวในรายละเอียดปลีกย่อยออกไป) และทั้งสองฉบับนั้น ถือบรรทัดฐานเอาตาม การวิจัยการแตกสลายทางแมคแคนิคอันเนื่อง ด้วยรายละเอียดในการร้าวลามจากการล้า

ข้อแนะนำเกี่ยวกับอุตสาหกรรมการต่อเรือ (Recommendations for the Shipbuilding Industry)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดข้างต้นนั้น จึงมีข้อแนะนำให้หัวข้อข้างล่างต่อไปนี้ เพื่อเป็นหลักในการพิจารณา :-

1. แบบขั้นพื้นฐานของเรือ ที่ออกแบบมาทุกลำนั้น จะต้องแบ่งออกเป็นเนื้อที่ต่าง ๆ เพื่อวัตถุประสงค์ของการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) และการยอมรับ (Acceptance) ในภาพข้างบนนั้น แสดงแปลนรอยตัดเรือบรรทุกน้ำมัน ขนาด 210,000 ตัน เด็ดเวท แบ่งเนื้อที่ ตามคุณภาพ ออกเป็นสี่เนื้อที่ด้วยกัน

2. ในเนื้อที่ คุณภาพ A จะต้องตรวจสอบแบบ NDT 100% จะต้องกำหนดระดับคุณภาพ สองระดับด้วยกัน ตามมาตรฐาน เพื่อการควบคุมคุณภาพ จะต้องมีมาตรฐาน ในงานฝีมือที่สูง แต่อาจจะมีเปลี่ยนแปลงได้บ้างเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการในเหตุการณ์เฉพาะหน้า แต่ต้องไม่ทำให้เกิดมีผลเสียเกิดขึ้น

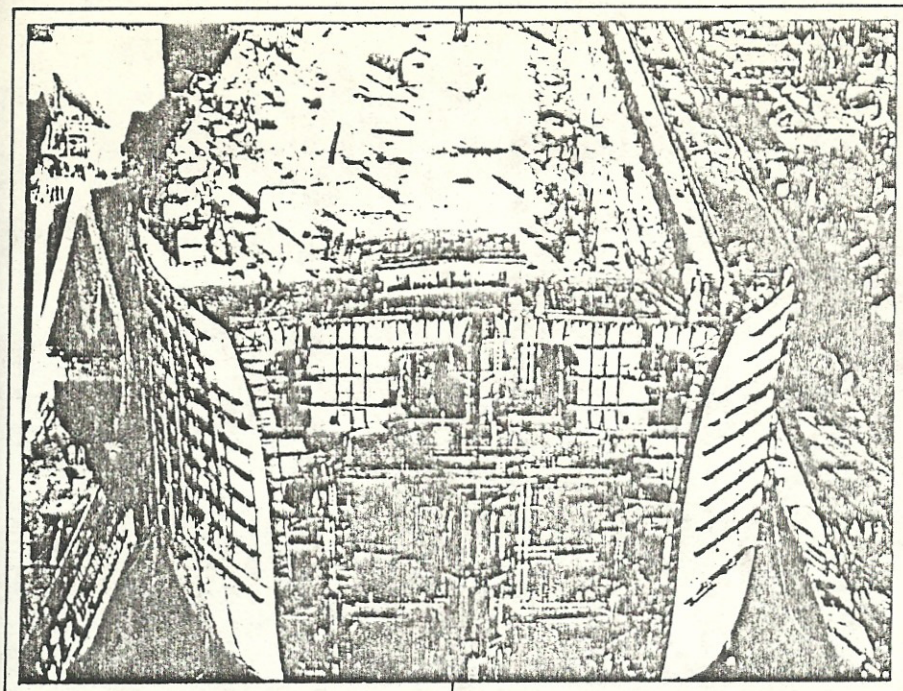
จะต้องให้มีการกำหนดสะเป็คฯให้แน่ชัดลงไป จะปล่อยตามอำเภอใจของนายช่างผู้ตรวจเรือผู้ใดผู้หนึ่ง กำหนดเอาตามใจชอบไม่ได้ นาวาสถาปนิกจะต้องกำหนดการทดลอง ECA โดยยึดถือตามมาตรฐาน B.S.I. รอยเชื่อม ซึ่งเหนือชั้นกว่ามาตรฐานกำหนดจะต้องยอมรับทันที รอยเชื่อมซึ่งอยู่ในระดับ ระหว่างระดับ B กับ ระดับ A นั้นไม่ต้องมีการซ่อมทำใหม่ และการที่ผู้ตรวจเรือ (Surveyor) จะตัดสินใจสั่งให้ซ่อมทำใหม่ได้นั้นก็ต่อเมื่อตนมีความรู้สึกว่ามีแนวโน้มไปในทางที่ต่ำกว่ามาตรฐานลงไป

3. ในเนื้อที่คุณภาพ B นั้นจะต้องตรวจโดย NDT ตรงตำแหน่งที่ แนวตะเข็บรอยเชื่อม ตัดผ่านกัน (กากะบาท) เท่านั้น มาตรฐานในการควบคุมคุณภาพ ต่ำกว่าเนื้อที่ระดับ A ได้ และ ECA ก็มีระดับต่ำกว่าตามไปด้วย สำหรับข้อบกพร่องในการเชื่อมที่เกิดขึ้นระหว่างลองระดับนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องเชื่อมซ่อมทำใหม่แต่จะต้องตรวจหาสาเหตุอันเป็นที่มาของความบกพร่องในอันที่จะแก้ไขมิให้มันอุบัติซ้ำขึ้นอีก ในงานที่อื่น ๆ ต่อไป การที่ได้ตรวจพบว่า มีข้อบกพร่องในแนวเชื่อมเกิดขึ้น ต่ำกว่าระดับ ECA โดยที่ได้ทำการตรวจเป็นบางจุดนั้น ถือว่าเป็นเรื่องสำคัญมาก เพื่อความมั่นใจ อาจจะต้องทำการทดสอบ NDT ถึง 100% มาตรฐานที่ต่ำเกินเกณฑ์ ที่ตรวจพบ จะต้องซ่อมทำใหม่ทั้งหมด

4. ในเนื้อที่คุณภาพ C นั้น ให้ทดสอบโดย NDT เป็นจุด ๆ ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่า และถือว่าเป็นการทดสอบเพื่อ ควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เท่านั้น แต่ความต้องการคุณภาพในแง่ของ ECA นั้น ก็ต่ำกว่าระดับเนื้อที่ B ด้วย หากไม่จำเป็นจริง ๆ แล้ว ก็ไม่ต้องทำการซ่อมทำเลย

5. ในเนื้อที่คุณภาพ D ไม่ต้องทำการทดสอบโดย NDT อาศัยตรวจดูด้วยตา (Visual Inspection) ก็พอแล้ว

ผู้เขียนบทความนี้ ท่านได้กล่าวออกตัวว่า ท่านไม่มีความรู้ในเรื่อง "นาวาสถาปนิก" (Naval Architect) เพราะฉะนั้นตำแหน่งแห่งที่อันแน่นอนและการกำหนดระดับ ECA นั้น ท่านจึงไม่อยู่ในฐานะที่จะกำหนดให้ได้ แต่อย่างไรก็ดี คุณภาพของเนื้อที่ระดับต่าง ๆ กันนั้น หากถ้ามีละแล็กฝังในอยู่ต่อเนื่อง และมีความพรุน ที่ยังไม่กระทบกระทั่งกับผลในการตรวจสอบแล้วถือว่า ใช้ได้ตามความต้องการของ ECA แล้ว แต่พึงสำเหนียกไว้ด้วยว่า ข้อบกพร่องในทั้งสองกรณีนี้ มีเปอร์เซ็นต์สูงที่จะต้องซ่อมทำใหม่ทั้งนั้น เรือที่ต้องการคุณภาพ ในเนื้อที่ A ตลอดทั้งลำทั้งหมด นั้นไม่มี จะมีความ



ต้องการ เปอร์เซ็นต์ มากน้อยกว่ากันเท่านั้น

6. ถือเป็นข้อแนะนำ โดยทั่ว ๆ ไปว่า ทั้ง "การควบคุมคุณภาพ" (Quality Control) และ"การประเมินผลวิกฤติ ในเชิงวิศวกรรม" (ECA: Engineering Critical Assessment) ทั้งสองกรณีนี้ จะต้องมีความถูกต้องสูงมากเพียงพอ เพื่อใน"นักต่อเรือ" และ"ผู้ตรวจเรือ" ได้รู้ถึงความต้องการเป็นการล่วงหน้าไว้ก่อน

7. จะต้องคำนึงด้วยว่า ในการตรวจทดสอบแบบ NDT นั้น ตรงที่ใดควรจะต้องตรวจโดยการฉายรังสี (Radiography) เพราะตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า NDT นั้นใช้เพื่อ "การควบคุมคุณภาพ" (Quality Control) มิใช่เพื่อการตรวจเพื่อ "การยอมรับ" (Acceptance) และข้อสำคัญก็อยู่ที่ว่าการทดสอบแบบ NDT นั้น จะต้องกระทำในโอกาสแรกที่ งานเชื่อมนั้นได้สิ้นสุดลงไปใหม่ ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อว่า หากมีอะไรที่จะต้องแก้ไขจักได้กระทำเสียทันทีในโอกาสแรกที่ตรวจพบ ส่วนการฉายรังสี (Radiography) นั้น ก็จำเป็นที่จะต้องตรวจ ในโอกาสแรกที่การเชื่อมนั้นได้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ไปแล้ว ราคาค่าตรวจโดยการฉายรังสีนั้น จะว่าแพงก็คงจะไม่แพงนัก เพราะการฉายรังสี ในปัจจุบันนี้ ก็ไม่ต้องมา Clear พื้นที่เพื่อความปลอดภัยอะไรเลย.

จาก : *Transactions of the Royal Institute of Naval Architects: 1975*

Chapter 10

ชนิดของเหล็กที่ใช้ต่อเรือ : (Steels for Ship's Plates)

ทั่วไป (General)

การต่อเรือเดินสมุทรด้วยไม้ได้หมดยุคลงในราวคริสตศตวรรษ ที่ 18 ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการที่จะต่อเรือเดินสมุทรให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อบรรทุกสินค้าและผู้โดยสารให้มากที่สุด ประกอบกับไม้มีกำลังไม่มากพอ และการเข้าไม้ต่าง ๆ ไม่สามารถที่จะทำให้ได้กำลังสูง-มากตามต้องการได้ อย่างไรก็ดี ความจำเป็นที่จะต้องใช้เรือไม้ก็ยังมีอยู่ทั่วไป เช่นเรือกวาดทุ่นระเบิดและเรือยนต์เร็ว เป็นต้น

เรือที่สร้างด้วยเหล็กธรรมดา (Iron) ได้เริ่มขึ้นในราวปี คศ.1830 ความสำเร็จของการสร้างเครื่องจักรไอน้ำเป็นหัวใจอันสำคัญที่ทำให้อุตสาหกรรมด้านต่อเรือเจริญยิ่งขึ้น ความเจริญในการต่อเรือเหล็กในยุคนี้อาจจะดูได้จากการสร้างเรือ Great Eastern ในปี คศ.1858

ในราวปี คศ. 1870 การใช้เหล็กกล้า (Steel) ต่อเรือได้เริ่มต้นอย่างจริงจัง ในตอนเริ่มต้นนั้น เหล็กกล้าที่ได้จาก Bessemer Process มีราคาสูงกว่าเหล็กธรรมดาประ-มาณ 50% กระนั้นก็ตามการผลิตเหล็กโดยวิธีนี้รู้สึกว่าจะมีอุปสรรคและเหล็กที่ได้ก็ค่อนข้างเปราะ ความก้าวหน้าในการถลุงเหล็กยังเจริญตามไม่ทัน ความสำเร็จในการถลุงเหล็กโดยวิธี Open-Hearth ทำให้เหล็กกล้ามีคุณภาพดีขึ้น และราคาผลิตต่ำลง ในราวปี คศ. 1890 การต่อเรือในประเทศอังกฤษโดยทั่วไปจึงใช้เหล็กกล้าแทนเหล็กธรรมดา ในโอกาสนี้เองการควบคุมการถลุงและผลิตแผ่นเหล็กสำหรับใช้ในการสร้างเรือเหล็กจึงได้เกิดมีขึ้นมา

เหล็กที่ใช้ในการต่อเรือเหล็ก (Steels for Ship's Plates)

เหล็กรูปพรรณและเหล็กแผ่นที่ใช้ในการต่อเรือเหล็กนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้เหล็กที่ได้จากเตา Open-Hearth, Basic Oxygen หรือ Electric Furnace ทั้งนี้เนื่อง-จากการควบคุมส่วนผสมของเหล็กเป็นไปได้อย่างแน่นอน และได้ปริมาณมาก แม้ว่าจะใช้เวลานานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีของ Bessemer ก็ตาม เหล็กที่ได้จากเตา Bessemer นั้นมักจะเกิดการแตกร้าวในขณะดัด หรือหลังจากการเชื่อมหลาย ๆ ครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเหล็กยังมีสิ่งสกปรกตกค้างเหลืออยู่มาก

เหล็กที่ใช้ในการต่อเรือมีส่วนผสมโดยทั่วไป ดังนี้

$$Fe + \underset{0.18-0.23}{C} + \underset{0.6-1.50}{Mn} + \underset{0.05}{P} + \underset{0.05}{S} + \underset{0.10-0.35}{Si} + Rest = 100\ \%$$