



การผลิตและซ่อมแซมใบจักรเรือ แบบแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เพื่อทดแทนการนำเข้า

✍ นาวาโท เสวียง เกื้อนบุญ

หัวหน้านายช่าง โรงงานหล่อหลอมและไม้แบบ แผนกโรงงานเครื่องกล
กองโรงงาน อุทหาเรือธนบุรี กรมอุทหาเรือ

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยการผลิตและซ่อมแซมใบจักรเรือแบบแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เพื่อทดแทนการนำเข้า มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษา วิเคราะห์ และผลิตใบจักรเรือแบบ Voith Schneider ด้วยแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เกรด G-CuAl8Mn8 เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ และ ศึกษาให้เข้าใจถึงอิทธิพลของการเชื่อมซ่อมต่อการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในใบจักรเรือแบบ Voith Schneider เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเชื่อมซ่อมใบจักรในอนาคต โดยเป็นโครงการร่วมวิจัยระหว่าง กรมอุทหาเรือ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การดำเนินการได้แบ่งงานเป็นโครงการย่อยจำนวน 4 กิจกรรม ได้แก่ 1. การตีขึ้นรูปร้อนใบจักรเรือแบบแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ (VSP) 2. กระบวนการหล่อใบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ 3. การวิเคราะห์

ความเค้นและปรับปรุงความแข็งแรงของใบจักรเรือแบบ Voith Schneider 4. อิทธิพลของการเชื่อมซ่อมต่อการกัดกร่อนของใบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ผลการดำเนินงานทำให้สามารถ 1. พัฒนาวิธีการขึ้นรูปใบจักรด้วยวิธีการหล่อแล้วกลึงขึ้นรูปโดยสามารถผลิตใบจักรต้นแบบซึ่งมีมิติตามแบบของใบจักร VSP 2. วิเคราะห์ความเค้น โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลองกับใบจักรแบบย่อส่วนพบว่า ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างด้ามใบจักรกับตัวใบ 3. แนวทางการเชื่อมซ่อมใบจักร VSP โครงการวิจัยฯ ทำการเชื่อมซ่อมโดยใช้เครื่องเชื่อมมิกและใช้ลวดเชื่อม AMPCO-TRODE 40 (AWS 5.7 Class CuMnAl) 4. ทดลองตีขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบของวัสดุแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ด้วยการตีแบบ Cogging ที่อุณหภูมิ ตามหลักการของ Severe Plastic Deformation (SPD)

บทนำ

สงครามทุ่นระเบิดมีความสำคัญทั้งในด้านยุทธศาสตร์ ยุทธวิธี และสงครามจิตวิทยาในการรบทางน้ำเป็นอย่างมาก โดยหากมีการวางทุ่นระเบิดในตำแหน่งการเดินเรือที่สำคัญจะทำให้การคมนาคมทางน้ำของเรือพาณิชย์และการเคลื่อนกำลังของเรือรบไม่สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือแม้แต่การปล่อยข่าวลวงถึงการวางทุ่นระเบิดในตำแหน่งการเดินเรือต่าง ๆ ก็จะมีผลทางจิตวิทยาและการเคลื่อนกำลังของเรือรบเช่นเดียวกัน การกวาดหรือการล่าทำลายทุ่นระเบิดเป็นวิธีการต่อต้าน

ทุ่นระเบิดที่จะดำเนินการย้ายหรือทำลายทุ่นระเบิดให้หมดไปจากพื้นที่ที่ต้องการ เพื่อเปิดเส้นทางเดินเรือที่สำคัญ

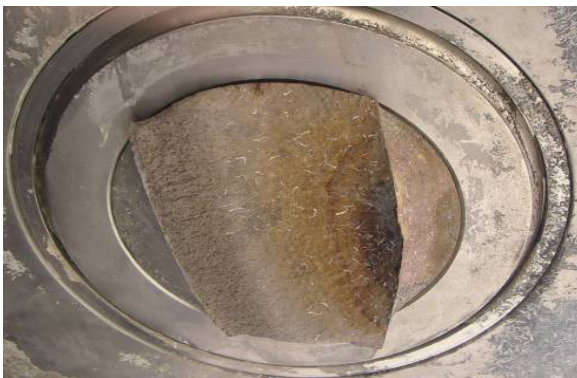
เรือหลวงลาดหญ้าและเรือหลวงท่าดินแดงเป็นเรือล่าทำลายทุ่นระเบิดที่มีสมรรถนะและทันสมัยมากที่สุดชุดหนึ่งของกองทัพเรือไทย โดยเรือชุดนี้ได้ติดตั้งระบบใบจักรแบบ Voith Schneider Propeller (VSP) ซึ่งมีจุดเด่นในการบังคับเรือให้สามารถเลี้ยวหรือกลับลำเรือได้อย่างรวดเร็ว ระบบ VSP จึงมีความเหมาะสมกับเรือล่าทำลายทุ่นระเบิดซึ่งต้องการความคล่องตัวสูงในขณะปฏิบัติงาน

ใบจักรแบบ VSP ของกองทัพเรือไทยผลิตจากวัสดุแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เกรด G-CuAl8Mn8 (Cu8-Al8-Mn1.5-Ni2-Fe) โดยเรือหนึ่งลำประกอบด้วยใบจักรแบบ VSP จำนวน 2 ชุด ชุดละ 5 ใบ รวมทั้งหมด 10 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากใบเรือชุดนี้เข้าประจำการเป็นเวลาประมาณ 14 ปี ใบจักรแบบ VSP หักบริเวณโคนใบจักรจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 1 ใบ ซึ่งมีลักษณะความเสียหายแบบ Corrosion Fatigue (รูปที่ 2) ทั้ง 3 ครั้ง โดย

การหักของใบจักรแบบ VSP ครั้งแรกมีสาเหตุของความเสียหายจากการสูญเสียธาตุอะลูมิเนียม (Dealuminification) ออกไปจากแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ทำให้เนื้อโลหะบริเวณที่สูญเสียธาตุอะลูมิเนียมเกิดโพรงขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วเนื้อโลหะและกลายเป็นจุดสีแดง (รูปที่ 2) ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของใบจักรลดลง โดยเฉพาะบริเวณโคนใบจักรแบบ VSP ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นในขณะใช้งานสูงสุด (รูปที่ 3)



1 ใบจักรแบบ VSP ของเรือหลวงลาดหญ้า

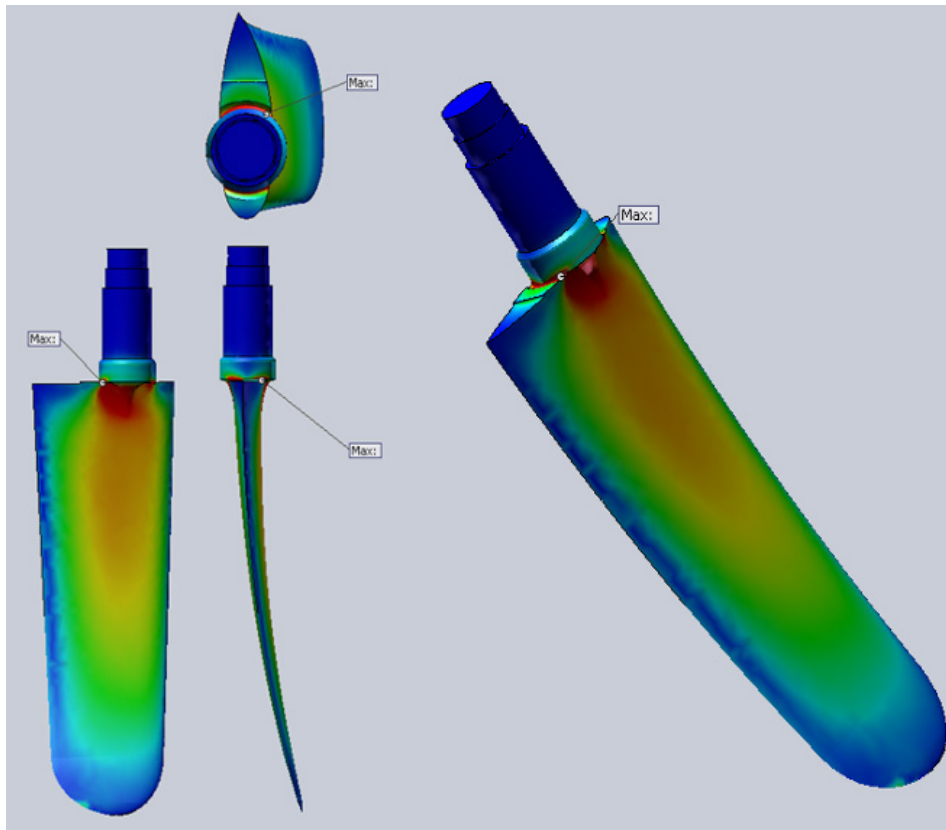


2 สภาพความเสียหายและการเกิด Dealuminification ของใบจักรแบบ VSP ครั้งที่ 1

การผลิตและซ่อมแซมใบจักรเรือแบบแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เพื่อทดแทนการนำเข้า

ใบจักรแบบ VSP ที่เหลืออีก 19 ใบที่ยังไม่หักเสียหายกรมอุทการเรือได้จ้างบริษัทภายในประเทศเพื่อซ่อมใบจักรให้สามารถใช้งานได้ตามเหมือนเดิม การซ่อมใบจักรกระทำโดยการกำจัดเนื้อบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุอะลูมิเนียมออกและทำการเชื่อมซ่อมให้พื้นผิวของใบจักรกลับสู่สภาพปกติ แต่เมื่อนำใบจักรกลับมาใช้งานได้ระยะหนึ่งใบจักรแบบ VSP ก็หักเป็นครั้งที่ 2 บริเวณโคนใบจักรใต้น้ำเชื่อมซ่อมด้วยลักษณะความ

เสียหายแบบ Corrosion fatigue (รูปที่ 4) ต่อมากรมอุทการเรือได้ส่งใบจักรแบบ VSP ที่ยังอยู่ในสภาพดีไปเชื่อมซ่อมที่ประเทศสิงคโปร์ โดยมีค่าบริการและค่าขนส่งไปกลับ รวมมูลค่ามากกว่าสิบล้านบาท แต่เมื่อนำมาใบจักรแบบ VSP กลับมาใช้งานได้ไม่นาน ใบจักรก็หักอีกเป็นครั้งที่ 3 บริเวณโคนใบจักรใต้น้ำเชื่อมซ่อมด้วยลักษณะความเสียหายแบบ Corrosion fatigue เช่นเดิม (รูปที่ 4)



3

แสดงตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดบนใบจักรที่ได้จากการคำนวณเบื้องต้น



4

สภาพผิวน้ำรอยขาดของใบจักรแบบ VSP ครั้งที่ 2 (ซ้าย) และครั้งที่ 3 (ขวา)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษา วิเคราะห์ และผลิตใบจักรเรือแบบ Voith Schneider ด้วยแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เกรด G-CuAl8Mn8 เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ
2. ศึกษาให้เข้าใจถึงอิทธิพลของการเชื่อมซ่อมต่อการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในใบจักรเรือแบบ Voith Schneider เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเชื่อมซ่อมใบจักรในอนาคต

แนวทางการดำเนินงาน

การแก้ปัญหาใบจักรแบบ VSP โดยที่กรมอุทกหารเรือสามารถพึ่งพาตนเองได้ทั้งในด้านการผลิตและการซ่อมแซมใบจักร จึงน่าจะเป็นการแก้ปัญหาในระยะยาวที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากปัจจุบันกรมอุทกหารเรือ

ยังขาดองค์ความรู้ด้านโลหะวิทยา กระบวนการผลิต การเชื่อม การกัดกร่อน และการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นบนใบจักรขณะใช้งาน ทำให้ยังไม่สามารถผลิตและซ่อมแซมใบจักรแบบ VSP ได้เอง กรมอุทกหารเรือจึงได้ร่วมมือกับอาจารย์และผู้เชี่ยวชาญของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ เพื่อทำการวิจัยแบบบูรณาการในการแก้ปัญหาของใบจักรแบบ VSP ทุกด้านในระยะยาว โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG5330019 ระยะเวลาการดำเนินการ 2 ปี (2557-2558)

ผลการดำเนินงาน

1. ผลวิเคราะห์ความเสียหายของใบจักร VSP ซึ่งเป็นองค์ความรู้สำคัญสำหรับการหาทางป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับใบจักร ซึ่งจากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของใบจักรพบว่าใบจักรสูญเสียธาตุอะลูมิเนียม (Dealuminification) ออกจากแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ทำให้เนื้อโลหะบริเวณที่สูญเสียธาตุอะลูมิเนียมเกิดโพรงขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วเนื้อโลหะและทำให้ความแข็งแรงของใบจักรลดลง โดยเฉพาะบริเวณโคนใบจักร ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นในขณะใช้งานสูงที่สุด เมื่อใบจักรต้องรับแรงแบบ cyclic load จึงทำให้ใบจักรหักเนื่องจากความล้า (fatigue) โดยมีจุดกำเนิดความล้าบริเวณโคนใบจักร จึงอาจกล่าวได้ว่าใบจักร VSP ได้รับความเสียหายจากการเกิด corrosion fatigue

แนวทางการป้องกันมีดังนี้ 1. การติดตั้งอะลูมิเนียมกันกร่อน 2. การทาสีบริเวณโรเตอร์ซึ่งทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อลดอิทธิพลของ galvanic corrosion ระหว่างโรเตอร์และตัวใบจักร 3. การกำหนดความเร็วใช้งานสูงสุดที่ 10 นอต เพื่อไม่ให้ความเค้นที่กระทำต่อใบจักรสูงเกินเกณฑ์

2. วิธีการขึ้นรูปใบจักร VSP ด้วยวิธีการหล่อแล้วกลึงขึ้นรูป โครงการวิจัยฯ ได้ศึกษาส่วนผสมทางเคมีของแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ตามมาตรฐาน WL 2.0957 ของเยอรมัน และ C95700 ของสหรัฐ ฯ (Cu8-Al8-Mn-1.5Ni2-Fe) พบว่ามีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับส่วน

ผสมทางเคมีของใบจักร VSP ซึ่งได้จากการนำชิ้นส่วนของใบจักรที่ได้รับความเสียหายมาวิเคราะห์ส่วนผสมโดยใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์โลหะหลายธาตุ (Spectrometer) ดังนั้นคุณสมบัติทางกล ส่วนผสมทางเคมี และคุณสมบัติอื่น ๆ ของใบจักร VSP จึงสามารถอ้างอิงมาตรฐาน WL 2.0957 หรือ C95700 ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ตามมาตรฐาน WL 2.0957 ของเยอรมัน เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับงานหล่อ ดังนั้นใบจักร VSP โครงการวิจัยฯ จึงได้มีความเห็นว่าการผลิตใบจักร VSP นั้นทำการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อ

การดำเนินการหล่อใบจักร มีดังนี้

1. การสร้างแบบหล่อโดยนำใบจักร VSP ของกรมอุทกหารเรือมาสแกนเพื่อสร้างแบบ 2. นำแบบหล่อมารสร้างแบบหล่อทราย 3. ตรวจสอบส่วนผสมของน้ำโลหะให้เป็นไปตามส่วนผสมของใบจักร VSP แล้วเทน้ำโลหะเข้าสู่แบบ 4. การอบใบจักรที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 2 ชม. แล้วให้เย็นตัวในน้ำ เพื่อปรับโครงสร้างเพิ่มความเหนียวและการยึดตัว 5. การกลึงขึ้นรูปใบจักร ซึ่งจะใช้เครื่องกลึง กลึงตามใบจักร ส่วนตัวใบจักรใช้เครื่อง CNC กัดให้ตัวใบจักรมีมิติที่ถูกต้องตามแบบของใบจักร VSP 6. การตรวจสอบมิติโดยใช้เครื่อง CMM เพื่อตรวจสอบว่าใบจักรหลังจากการกลึงขึ้นรูปมีขนาดเป็นไปตามแบบหรือไม่ ผลการดำเนินการสามารถหล่อใบจักรซึ่งมีมิติเป็นไปตามแบบของใบจักร VSP

3. *นวัตกรรมเครื่องทดสอบ corrosion fatigue*
ใบจักร VSP ได้รับความเสียหายจาก corrosion fatigue ดังนั้นนอกจากการทดสอบสมบัติทางกล เช่น ความเค้น แรงดึง ความแข็ง ซึ่งสามารถทดสอบโดยใช้เครื่องมือซึ่งมีใช้งานทั่วไป แต่การทดสอบ corrosion fatigue จำเป็นต้องออกแบบเครื่องทดสอบเพื่อใช้งานเองเนื่องจากยังไม่มีผู้ผลิต โครงการวิจัยฯ จึงออกแบบเครื่องทดสอบ corrosion fatigue โดยขึ้นงานทดสอบจะถูกกัดด้วยสปริงและหมุนในชุดอุปกรณ์ซึ่งบรรจุน้ำทะเล เป็นการจำลองสภาพการใช้งานเสมือนจริง การวัดผลจะนับจำนวนรอบจนขึ้นงานขาด

ผลการทดลองพบว่าโลหะผสมแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ซึ่งหล่อโดยโครงการวิจัยสามารถใช้งานได้เฉลี่ย 2.5 ล้านรอบ ในขณะที่ใบจักร VSP ซึ่งจัดซื้อจากต่างประเทศเมื่อนำมาทดสอบแล้วจะสามารถใช้งานได้ประมาณ 1 ล้านรอบ

4. *ผลการวิเคราะห์ความเค้น* โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลองกับใบจักรแบบย่อยส่วนพบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างด้ามใบจักรกับตัวใบ โดยเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ในทุกรอบการหมุนของพวงใบจักร เนื่องจากใบจักรต้องเปลี่ยนมุมปะทะอย่างรวดเร็ว โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วเต็มที่ 15 นอต และใช้รอบใบจักรสูงสุด 115 รอบต่อนาที ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้ อาจมากถึง 400 MPa แต่ความเค้นสูงสุดจะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยลดลงมากกว่าครึ่งเหลือเพียง 160 MPa หากลดความเร็วลงจาก 15 นอต เป็น 10 นอต ดังนั้นการใช้ความเร็วในช่วงที่ต่ำกว่า 15 นอต จะทำให้ใบจักรมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

5. *แบบใบจักรซึ่งปรับปรุงความแข็งแรง* โครงการวิจัยฯ ได้ปรับปรุงแบบใบจักร VSP โดยเติมเนื้อวัสดุบริเวณรอยต่อด้ามใบจักรเพียงเล็กน้อย จากการจำลองในคอมพิวเตอร์พบว่า ความเค้นสูงสุดลดลงประมาณ 16 % ในขณะที่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเพียง 0.2 % หรือประมาณ 0.44 กิโลกรัมเท่านั้น ในขณะที่สัมประสิทธิ์แรงยกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่มากนัก ดังนั้นแบบที่ผ่านการปรับปรุงความแข็งแรง จึงน่าจะนำไปใช้ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเรือโดยรวม

6. *แนวทางการเชื่อมซ่อมใบจักร VSP* โครงการวิจัยฯ ทำการเชื่อมซ่อมโดยใช้เครื่องเชื่อมมิกและใช้ลวดเชื่อม AMPCO-TRODE 40 (AWS 5.7 Class CuMnAl) การดำเนินการเชื่อมโดยเจ้าหน้าที่ของกรมอุทกหารเรือ จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานวิจัยพบว่า มีโครงสร้างทางจุลภาคใกล้เคียงกับงานเชื่อมซ่อมจากต่างประเทศ

7. *ผลการทดลองตีขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของวัสดุแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์* ด้วยการตีแบบ Cogging ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ตามหลักการของ Severe Plastic Deformation (SPD) โดยภายหลังจากการทุบขึ้นรูป ขนาดเกรนของ MAB มีขนาดเล็กกว่าขนาดเกรนของชิ้นงานหล่อ ทำให้มีค่า Tensile Strength, Yield Strength และ Hardness ที่สูงกว่า แต่ค่า % Elongation ลดลง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของวัสดุแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ให้ดีขึ้นด้วยหลักการของ SPD โดยภายหลังจากการทุบขึ้นรูปอาจจะต้องนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อเพิ่มความเหนียวและคุณสมบัติทางแม่เหล็กก่อนที่จะนำไปกัดเป็นใบจักรหรือชิ้นส่วนทางวิศวกรรมอื่น ๆ ต่อไป

สรุป

เรือหลวงลาดหญ้าและเรือหลวงท่าดินแดงเป็นเรือลำทำลายทุ่นระเบิดที่มีศักยภาพสูงของกองทัพเรือ การที่ใบจักรแบบ VSP หักชำรุด และทางกรมอุทกหารเรือหรือเอกชนในประเทศไม่สามารถผลิตทดแทนหรือเชื่อมซ่อมใบจักรเองได้ ทำให้ศักยภาพและความพร้อมในการป้องกันประเทศลดลง หรือหากใบจักรแบบ VSP เกิดหักในภาวะสงครามจะยิ่งส่งผลเสียกับประเทศชาติอย่างใหญ่หลวง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาให้กองทัพเรือพึ่งพาตนเองได้และมีความพร้อมในการป้องกันประเทศ โดยใช้นักวิจัยของกรมอุทกหารเรือและนักวิจัยของมหาวิทยาลัยร่วมกันวิจัยเพื่อแก้ปัญหา

ซึ่งนักวิจัยสามารถวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายตลอดจนแนวทางการป้องกันความเสียหายของใบจักร VSP และวิเคราะห์หาความเค้นที่กระทำต่อใบจักรโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างด้ามใบจักรกับตัวใบ และควรใช้ความเร็วไม่เกิน 10 นอต จะทำให้ใบจักรมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น กรณีใบจักรที่มีปัญหาการกัดกร่อนนักวิจัยได้ศึกษาแนวทางการเชื่อมซ่อมใบจักร VSP ซึ่งสามารถนำไปใช้เชื่อมซ่อมใบจักรทำให้ใบจักรมีความแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้นักวิจัยได้ทดลองผลิตใบจักร VSP โดยวิธีการหล่อแล้วกลึงขึ้นรูปให้ได้มิติตามแบบ ซึ่งสามารถสร้างใบจักรต้นแบบได้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

1. Robert J.F. and Thomas E.C, Review of Dealloying of Cast Aluminum Bronze and Nickel-Aluminum Bronze Alloys in Sea Water Service, Material Performance, Vol. 34-30 ,1982 ,431.
2. Carliton J.S., Marine Propellers & Propulsion, Butterworth-Heinemann Ltd, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 1994.
3. Ajeel S.A., Ibraheim A.N., Salam A., and Fadhil A., Study on Improvement of Casting Conditions for Some Aluminum Bronze Alloys, Eng& Technology, Vol. 727-711 ,2007 ,25.
4. Copper Development Association, Equilibrium Diagrams of Copper Alloys, Introductory notes for the use of students / Copper Development Association, London:, 1965.
5. Wharton, J.A. and Stokes, K.R., The Influence of Nickel-Aluminum Bronze Microstructure and Crevice Solution on the Initiation of Crevice Corrosion, ElectrochemicaActa, Vol. 2473-2463 ,2008 ,53.
6. E.A. Culpan and G. Rose, Corrosion Behaviour of Cast Nickel Aluminium Bronze in Sea Water, Br. Corros. J., Vol. 14, No. 3, Pages 166-160