



Title	Numerical Simulation on High-frequency Mechanical Impact Treated Gusset Welded Joints and the Local MIL-HDBK-5D Equivalent Stress Based Fatigue Assessment
Author(s)	Dai, Peiyuan
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92970
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (DAI PEIYUAN)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	大沢 直樹
	副 査	教授	飯島 一博
	副 査	教授	麻 寧緒

論文審査の結果の要旨

本研究では、MIL-HDBK-5D 法局所等価応力(LMES)に基づく疲労強度評価法が提案されている。LMES は、溶接まま (AW) 残留応力 (RS)、溶接後熱処理 (PWHT) や高周波ピーニング (HFMI) 処理による RS 変化や止端形状変化、および疲労負荷中の RS 再配分等のマルチプロセス一貫解析により計算する弾塑性局所応力サイクル (EPLSC) から決定される、局所的な等価応力範囲である。本論文は以下の 6 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景と既往研究のレビューが示され、PWHT や HFMI による RS 変化を考慮した溶接疲労強度評価法を開発する必要性が示されている。また、本論文の構成が示されている。

第 2 章では、SM490 鋼板の HFMI 処理で生じる圧縮 RS および表面形状変化の計測が行われ、実験結果を再現する動的陽解法弾塑性有限要素 (DEFE) 解析が行われている。DEFE 解析での打撃ピン運動制御は変位制御法 (DCS) が採用されている。要素寸法や DCS 解析条件 (ピーニング長、打撃ピン制御法) の計算結果への影響が調査され、実験結果を再現でき、計算効率が良好な要素寸法・DCS 解析条件の推奨値が示されている。

第 3 章では、AW および HFMI 処理後 SM490 鋼面外ガセット溶接継手の RS と止端プロファイルが計測され、これらを再現する溶接熱弾塑性 FE (TEPFE) 解析と HFMI DEFE 解析が実施されている。溶接 TEPFE 解析は疎な FE メッシュにより計算され、HFMI DEFE 解析は超細密 FE メッシュで計算されている。TEPFE 計算結果はブーミング法により HFMI DEFE メッシュに移行されている。複雑形状を打撃する場合、DCS 法解析条件が計算結果に及ぼす影響が調査され、AW・HFMI 実験結果の RS 分布と止端プロファイルを再現でき、計算効率が良好な DCS 解析条件の推奨値が示されている。

第 4 章では、LMES に基づく疲労強度評価法が提案されている。AW および PWHT 処理後の SS400 鋼面外ガセット溶接継手試験体の曲げ疲労試験 (応力比 $R=0, -1$) が実施され、各疲労試験体の EPLSC が、溶接・PWHT・繰返し負荷 TEPFE 解析により計算されている。そして、EPLSC から決定した LMES を疲労評価応力に使用すると、R の相違、PWHT の有無によらず、全ての疲労試験結果が単一の SN 線図で近似できることが示されている。この結果は、LMES 法を用いれば、AW 疲労試験結果のみから、任意の R における PWHT 処理試験体の疲労強度が推定できることを意味している。

第 5 章では、第 3 章で製作した AW・HFMI SM490 面外ガセット溶接継手の引張り疲労試験 ($R=0$) が実施され、各試験体の EPLSC が、第 3 章の HFMI 解析に引続く繰返し負荷 DEFE 解析で計算されている。そして、EPLSC から決定した LMES を疲労評価応力に使用すると、HFMI 処理の有無によらず、全ての疲労試験結果が単一の SN 線図で近似できることが示されている。この結果は、LMES 法を用いれば、AW 疲労試験結果のみから、HFMI 処理試験体の疲労強度が推定できることを意味している。さらに、応力範囲が増大すると HFMI グループ内で LMES が最大となる箇所がグループ中央部に移動することを示し、先行研究で報告された HFMI グループ内のき裂発生箇所に関する実験結果が予測できることを示している。

第 6 章では、本研究で得られた成果を結論としてまとめ、将来課題を示している。

以上のように、本論文は、溶接構造物の疲労強度改善法として普及が期待されている HFMI 処理の実用的マルチプロセス一貫シミュレーション手法を開発するとともに、溶接まま疲労試験結果のみから PWHT・HFMI 処理試験体の疲労強度を予測することを可能にしている。これらの知見・成果物は、船舶海洋構造物の長期的構造安全性を向上させるための研究を進める上で非常に有用である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。

Abstract of Thesis

Name (DAI PEIYUAN)

Title

Numerical Simulation on High-frequency Mechanical Impact Treated Gusset Welded Joints and the Local MIL-HDBK-5D Equivalent Stress Based Fatigue Assessment

(高周波機械衝撃処理を施したガセット溶接継手の数値解析とMIL-HDBK-5D等価応力に基づく局所疲労評価)

Abstract of Thesis

This study proposes a local MIL-HDBK-5D equivalent stress (LMES) based fatigue assessment approach to investigate the fatigue life of the HFMI-treated out-of-plane gusset welded joints made of SM490 steel. The LMES range is identified by the elastic-plastic local stress cycle (EP-LSC) which is simulated by the multi-process finite element (FE) analysis including welding, HFMI, and fatigue load process. The LMES based S-N curve can be used for evaluating fatigue life comprising the influence of HFMI-induced RS, cyclic stress relaxation, and local weld toe geometry welded joints studied in this work.

The thesis is composed of six chapters, as follows.

1) In chapter 1, the background of this work is presented, including numerical simulation of HFMI treatment and the fatigue assessment approaches. The main objectives and framework of this thesis are also discussed.

2) In chapter 2, the numerical and experimental investigations of an HFMI-treated flat plate made of SM490 steel are performed to better understand the features of HFMI-induced residual stresses and local shape profile. A dynamic explicit elastic-plastic FE model is developed based on MSC. Dytran. Mesh sensitivity analysis is conducted to determine the suitable FE element sizes near the treated zone with a balance of computational accuracy and efficiency. The effects of HFMI parameters including peening length and indentation are investigated numerically.

3) In chapter 3, a practical and efficient numerical simulation procedure for the HFMI treatment of welded joints is proposed. The local residual stress (RS) and shape profile are studied by performing thermal-elastic-plastic FE welding and subsequent dynamic explicit FE HFMI analyses of the out-of-plane gusset welded joints. The zooming technique is employed, and the as-welded stress calculated by using a coarse FE mesh is transferred to the ultra-fine mesh as the initial loading of HFMI analysis. In HFMI analysis, an optimized DCS method is developed. The validation is carried out by comparing calculated HFMI groove profiles and the RS distributions with those measured by the 3-D Scanner and X-ray equipment.

4) In chapter 4, a local MIL-HDBK-5D equivalent stress (LMES) based fatigue assessment approach is proposed. This new stress parameter called LMES is calculated based on local elastic-plastic stress cycle, which allows quantitative assessment of residual stress effect on fatigue life. To validate this approach, a set of as-welded and PWHT gusset joints is fabricated using SS400 steel, followed by stress measurements and bending fatigue tests. To obtain the stress distributions of specimens, welding, PWHT, and cyclic external load analysis were performed by using elastic-plastic finite element (FE) code JWEIAN. The mean stress effect related to RS is analyzed by using the equivalent stress parameter in MIL-HDBK-5D approach.

5) In chapter 5, the LMES range is employed as the stress parameter for fatigue assessment of HFMI-treated gusset joints. This stress parameter is identified from the local stress cycle along the surface of the HFMI groove for specimens subjected to cyclic loads. The local stress cycle is simulated by a multi-process simulation system. To validate the proposed fatigue assessment approach, a set of AW and a set of HFMI out-of-plane gusset joints are fabricated using SM490 steel, followed by uni-axial fatigue tests with stress ratios of $R = 0$. Combined with the simulated stress results, the LMES based S-N curve is calculated, which enables a quantitative evaluation of the improvement effects of HFMI treatment.

6) In chapter 6, the overall summary of the thesis is presented. Recommendations for future research of fatigue assessment of welded structures improved by HFMI are also concluded.