



Title	Numerical Study on the Stability of Residual Stresses Induced by HFMI into a Welded Joint under Cyclic Loading
Author(s)	Ruíz Valdes, Héctor Olmedo
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/73578
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Héctor Olmedo Ruíz Valdes)	
Title	Numerical Study on the Stability of Residual Stresses Induced by HFMI into a Welded Joint under Cyclic Loading(高周波ピーニングで導入された圧縮残留応力の繰返し荷重下における安定性に関する数値解析)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>HFMI (High Frequency Mechanical Impact) makes use of cylindrical indenters with high-frequency (> about 90 Hz). The introduction of compressive residual stresses (RS), work hardening, and reduction of notch effect at the weld toe are the three main contributions of HFMI. However, there is concern that this compressive RS might deteriorate due to RS relaxation under cyclic loading, and the HFMI treatment might lose its effectiveness. It is needed to develop a numerical simulation technique for compressive RS's development (in welding and HFMI treatment) and relaxation (under cyclic loadings). Numerical simulation of the HFMI treatment has been investigated by many researchers, but recommendations on FE meshing and choice of simulation parameters for practical applications to marine structures have not been presented yet. The objective of this study is set out the best practice guides with respect to those simulations. This study is composed of three parts: a) HFMI simulation for a flat stress-free steel plate; b) welding-HFMI simulation of a welded joint; c) RS relaxation under cyclic loadings.</p> <p>The thesis is composed of seven chapters, as follows:</p> <p>Chapter 1 briefly gives a background on fatigue failures of welded joints. Then, the HFMI fatigue strength improvement method is introduced. The challenges, objectives and structure of this thesis are also addressed in this chapter.</p> <p>Chapter 2 shows description of the tools and theories employed in this study: TEP (Thermal Elastic-Plastic) FE simulation based on ISM (Iterative Substructure Method) for welding analysis; EEP (Explicit Elastic-Plastic) FE analysis for HFMI and cyclic loading analyses; Data transfer from the TEP FE results to the EEP FE model.</p> <p>Chapter 3 presents a review of experimental and numerical studies from the literatures, which are used as reference solutions in this study.</p> <p>Chapter 4 examines the influence of the FE mesh and various analysis parameters (e.g., constitutive equation, yield stress, tool indentations, radius of the tool, etc.) on the RS distribution in HFMI treated flat stress-free plates. Based on these analysis results, the recommendations on the best practice guides with respect to HFMI EEP FE simulations are presented.</p> <p>Chapter 5 develops a practical numerical procedure of TEP FE welding- HFMI EEP FE coupling simulation. The analysis target is an out-of-plane gusset welded joint. A software system, which imports the as-welded RS fields calculated by TEP FE into the EEP FE model for HFMI simulation, is developed. The validity of the developed procedure and system is verified by the comparison with the reference solutions.</p> <p>Chapter 6 investigates the stability of RS in the HFMI-treated welded joint studied in Chapter 5 under various cyclic loading conditions. The effect of compressive excessive load on the RS's stability is also studied. As results, the relation between the load sequence and RS's stability is clarified.</p> <p>Chapter 7 summarizes the thesis and identifies the major contributions by this research work. Directions for future work and possible extensions to this research are presented at the end of this chapter.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Héctor Olmedo Ruíz Valdes)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	大沢 直樹
	副 査	教 授	藤久保 昌彦
	副 査	教 授	麻 寧緒 (大阪大学接合科学研究所)
	副 査	准教授	堤 成一郎 (大阪大学接合科学研究所)

論文審査の結果の要旨

高周波ピーニング (HFMI) は、90Hz 以上の高周波で金属ツールにより溶接止端を打撃し、圧縮残留応力の導入等により疲労強度を改善する技術である。導入された圧縮残留応力は、実働荷重下で緩和して疲労強度改善効果が減失する可能性がある。HFMI の疲労強度改善効果を実働荷重下で正しく評価するには、溶接・HFMI・繰返し負荷による圧縮残留応力の生成・緩和を再現できる数値シミュレーションが必要である。HFMI シミュレーションの報告は多数あるが、船舶海洋構造物の溶接継手に適用できる実用的 HFMI シミュレーション技術は確立されていない。この問題を解決することが本研究の目的である。本論文は以下の 7 章から構成されている。

第 1 章では、HFMI シミュレーションに関する研究背景が示されている。先行研究の調査結果から解決すべき技術課題と課題解決のための研究方針が示され、その中から実用的 HFMI シミュレーション技術の開発を目的に選んでいる。

第 2 章では、本研究で採用した解析理論および数値計算法が解説されている。溶接解析には反復サブストラクチャ陰解法熱弾塑性 FEM 解析が、ピーニング解析と繰返し負荷解析には陽解法弾塑性 FEM 解析が使用されている。陰解法で計算した溶接まま残留応力分布を、陽解法計算モデルにインポートする手法が新たに提案されている。Chaboche 移動硬化構成式で歪速度依存性を考慮する手法が提案され、HFMI 解析に使用されている。

第 3 章では、欧州の共同研究先で実施された、鋼板ピーニング、面外ガセット溶接継手ピーニング・繰返し負荷試験結果が示され、数値シミュレーションとの比較を可能にするためのデータ補正方法が提案されている。

第 4 章では、鋼板ピーニング試験結果を参照値とする陽解法 FEM 解析ベンチマークが行われている。計算ではピンが変位制御され、要素辺長、ピンの打撃間隔、押込み深さ、材料の硬化特性、歪速度依存性、ツールピン半径等を変化させた計算結果が参照値と比較されている。その結果、計算時間が抑制でき、かつ参照値と計算値の良好な一致が得られる実用的計算条件を見出し、推奨計算仕様として提案している。

第 5 章では、面外ガセット溶接継手試験結果を参照解とする、溶接陰解法 FEM およびピーニング・繰返し負荷陽解法 FEM 解析が行われている。計算モデルは第 4 章の推奨仕様で作成されている。溶接解析結果は参照値と良好な一致を示している。溶接まま残留応力分布の陽解法モデルへのインポート手法が適用され、その有効性が示されている。HFMI 解析は第 4 章の推奨仕様で実施され、参照値と良好に一致する残留応力分布が示されている。以上より、第 4 章の推奨計算仕様が、溶接継手の HFMI 解析にも有効であることを示している。

第 6 章では、前章の HFMI 解析に引続き、過大荷重・繰返し荷重負荷時の残留応力変化が計算されている。その結果、圧縮過大荷重による残留応力緩和量が荷重強度と正の相関を示すこと、過大荷重に続く繰返し負荷により緩和した残留応力が HFMI 処理直後と同等の値に回復することがあること、緩和した残留応力が回復するのは止端近傍で引張り降伏が生じる最大荷重で負荷する場合であること等、HFMI 残留応力の安定性に関する新たな知見が多数得られている。

第 7 章では、本研究で得られた成果を結論としてまとめている。

以上のように、本論文は、船舶海洋構造物の溶接継手に適用可能な実用的溶接・HFMI・応力緩和シミュレーション計算仕様を始めて提案するとともに、HFMI 処理後の残留応力の安定性に関する多くの知見を得ている。これらは、HFMI 技術の船舶海洋構造物への適用を進める上で非常に有用な知見である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。