

Title	Compressive Residual Stress Generation of Low Transformation Temperature Welding Wires and Elongated Bead Method for Fatigue Life Extension of Boxing Fillet Joints
Author(s)	馮, 中元
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/85405
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (FENG ZHONGYUAN)

Title

Compressive Residual Stress Generation of Low Transformation Temperature Welding Wires and Elongated Bead Method for Fatigue Life Extension of Boxing Fillet Joints (低変態温度溶接ワイヤと伸長ビード法による圧縮残留応力の生成と角回し溶接継手の疲労寿命延伸)

Abstract of Thesis

To reduce the harmful tensile residual stress, a strong interest has been expressed to low transformation temperature (LTT) welding materials. LTT welding materials take advantage of volume expansion of martensitic transformation to compensate for the thermal contraction during cooling process, resulting in reduction of tensile residual stress in weld zone. Additionally, the elongated bead method using LTT welding materials can significantly increase fatigue lives of boxing fillet joints.

This research work aims to develop a LTT welding wire available to CO₂ arc welding and five different welding positions for the elongated bead in order to extend the fatigue lives of boxing fillet joints. Correspondingly, the thesis consists of 9 chapters.

Chapter 1 covers a literature review of recent developments in LTT welding materials. It also provides the rationale for undertaking this research work and proposes the research objectives.

Chapter 2 investigates the transformation temperatures, mechanical properties and residual stress of two types of low transformation temperature welding wires. It was found that martensitic transformation temperatures and volume expansion strain played a significant role in generation of compressive residual stress, which must be taken into account when designing chemical compositions of the LTT welding wire.

Chapter 3 provides the design criteria for the LTT welding wire. Accordingly, a new flux-cored 16Cr-8Ni LTT welding wire was developed considering the base metal dilution, followed by a detail study to investigate the weldability and material properties of the LTT weld metals, including martensitic transformation temperatures, microstructure, tensile properties, hardness and corrosion resistance. Moreover, an intermittent welding method was successfully developed for LTT elongated bead produced in five different welding positions.

Chapter 4 gives the correlation among residual stress, joint size as well as martensite start (Ms) temperature in the single-pass LTT welded joints. It was found that heat dissipation and coefficient of thermal expansion of LTT weld metal had a significant effect on residual stress. Furthermore, LTT bead with optimum Ms temperature produced great compressive residual stress and was less sensitive to joint size.

Chapter 5 concentrates on the residual stress study in multi-pass T-welded joint using LTT welding wire through numerical simulations and the experimental measurement. It reveals that reheating due to multi-pass welding influenced the residual stress development and led to insufficient compressive residual stress.

Chapter 6 proposes a bionic-based mathematical design method of tensile triangles (MTT) to reduce stress concentration in welded joints. It has been verified that a combination of MTT and LTT weld can result in both the reduction of stress concentration and tensile residual stress at the weld toe.

Chapter 7 deals with the residual stress in the LTT elongated bead. Residual stress measurement by contour method and X-ray technique prior to fatigue test showed that LTT elongated bead can produce greater compressive residual stress close to yield strength. The compressive residual stress measured after fatigue test was still large and this suggested that stress relaxation occurred during fatigue test is limited. Furthermore, numerical results of the residual stress in the boxing fillet joints agreed well with the experimental measurements.

Chapter 8 evaluates the fatigue properties of boxing fillet joints with the LTT elongated bead. The fatigue testing with the stress range of 150-200 MPa and the stress ratio of 0 showed that the LTT elongated bead method along with root reinforcement can greatly increase the fatigue lives of boxing fillet joints by 3.1-10.5 times.

Chapter 9 summaries the main findings of this study and gives suggestions for future work.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (FENG ZHONGYUAN)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	麻 寧緒
	副 査	教授	藤久保 昌彦
	副 査	教授	大沢 直樹

論文審査の結果の要旨

本研究は、角回し接合継手の疲労寿命を大幅に延伸するために、これまで下向溶接姿勢でしか施工できなかった低変態温度溶接ワイヤの課題を解決する目的で、全姿勢 CO2 アーク溶接用 LTT 溶接材料の化学成分を新たに設計し、伸長ビード法と併用する補修補強溶接技術を開発している。まず、LTT 溶接金属のマルテンサイト変態特性が残留応力の発生に及ぼす影響に関する調査に基づき、16Cr8Ni 成分系の LTT 溶接ワイヤを開発し、その溶接性と材料特性を詳細に検討している。加えて、樹枝の分岐現象に基づいた MTT (Method of Tensile Triangle) を伸長ビード設計に適用して応力集中低減を実現するとともに、LTT 伸長ビード部圧縮残留応力の測定と数値解析を行っている。さらに、角回し溶接継手の応力範囲 150~200MPa、応力比 0 での疲労試験を実施し、LTT 伸長ビード法による疲労強度改善効果を調べている。本論文は、9 章から構成されている。

第 1 章では、LTT 溶接材料に関する先行研究の成果や社会ニーズを調査し、本研究目的を明確に設定している。

第 2 章では、2 種類の低変態温度溶接材料における変態温度、機械的特性を調査し、大きな圧縮残留応力を生成するためのマルテンサイト変態開始温度と体積膨張ひずみの適正範囲を示している。

第 3 章では、LTT 溶接ワイヤの材料設計基準を示し、それに基づいて新しい LTT 溶接ワイヤを開発している。さらに、開発ワイヤの材料特性と溶接性を詳細に検討し、LTT 伸長ビードを用いた全姿勢断続溶接法を開発している。

第 4 章では、単パス LTT 溶接継手の残留応力に及ぼす被溶接板寸法の影響を考察し、マルテンサイト開始温度の変化を考慮した、継手寸法と残留応力の相関関係を示している。

第 5 章では、LTT 溶接ワイヤを用いたマルチパス T 字溶接継手の残留応力に関する数値解析を実施し、マルチパス溶接における再加熱の影響を明らかにしている。

第 6 章では、MTT により溶接部の応力集中を低減する手法を提案し、MTT と LTT 溶接を併用することで、溶接止端の応力集中と引張残留応力を大幅に低減できることを示している。

第 7 章では、LTT 伸長ビードに、降伏応力相当の圧縮残留応力 (-680MPa) が生成されることを実験的に示すとともに、全溶接姿勢の角回し溶接伸長ビード部における残留応力分布を数値解析で明らかにしている。

第 8 章では、全溶接姿勢 LTT 伸長ビード法を用いた角回し溶接継手の疲労試験結果を実施し、提案手法により疲労寿命を 3.1~10.5 倍に大幅延伸できることを示している。

第 9 章では、本研究の結論を総括すると共に、将来の研究を展望している。

以上のように、本論文では、全姿勢 CO2 アーク溶接用 LTT 溶接材料の化学成分を新たに設計することにより、これまで実現できなかった全姿勢溶接用 LTT 溶接ワイヤを開発し、伸長ビード法と併用する新しい補修補強溶接技術を提案している。提案手法の有効性は、船体角回し溶接継手の修繕部分を再現した疲労試験で、疲労寿命が大幅に延伸したことで実証されている。また、溶接材料・施工法の開発に加えて、LTT 溶接による圧縮残留応力の生成と伸長ビードによる応力集中低減効果を数値解析により評価するなど、高度な力学的評価も実施されている。これらの成果は、船体構造に限らず他の構造にある角回し溶接継手の疲労寿命を延伸する技術としても有望であり、溶接構造物の安全性の向上に資する成果である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。