

学 位 論 文 要 旨

題 目 低変態温度溶接材料による船体用 50 キロ級高張力鋼板スチフナ先端角回し溶接部の伸長ビード溶接による疲労寿命延伸効果に関する基礎研究

氏 名 木村 俊介

これまでも、船体用 50 キロ級高張力鋼板溶接継手部の疲労強度向上対策として、「グラインダーや TIG アークによる継手止端部ドレスアップ処理により、応力集中を緩和する」、「超音波ピーニング処理により表層部引張残留応力を圧縮応力に変換すると同時に、応力集中を緩和する」等、種々の方策が考えられてきた。しかし、目的を充分達成出来る対策の実現は困難であった。

また、船舶や大型溶接鋼構造物の修繕工事において、発見された疲労亀裂をハツリ取って溶接補修しても、当然ながらほとんど効果はない。疲労亀裂発生箇所の応力集中が低減するように、局部構造を改良して造り替えるなど、かなり大がかりな補修工事が必要になる。

一方、低変態温度（Low Transformation Temperature：LTT）溶接材料使用による引張残留応力低減は、疲労強度向上の抜本的対策として有効であることは 20 数年前から認識され、これまでも種々検討が試みられたが、実用化に至るまでには程遠い状態であった。

また、実際の造船現場では 80%Ar 20%CO₂ ガスではなく 100%CO₂ ガスの使用要求が高く、さらに就航後本船内で補修溶接する場合を想定すると、全溶接姿勢で 100%CO₂ ガスで溶接出来る“炭酸ガスアーク溶接”が可能でないと実用は困難である。

そこで本研究では、100%CO₂ ガスで全溶接姿勢での溶接が可能な LTT 溶接材料であるフラックス入りワイヤ（記号：LTTB）による炭酸ガスアーク溶接によってスチフナ先端角回し溶接部に伸長ビードを溶接した場合、全溶接姿勢でスチフナ先端角回し溶接部の疲労寿命が延伸することを確認した。

本研究で得られた主要な結論をとりまとめると、概略以下のとおりである。

第 1 章 “緒言” では、本研究の背景と目的・内容、ならびに本論文の概要について述べた。

第 2 章 “溶接金属の変態膨張を有効に活用する溶接部疲労特性向上に関する考え方” では、マルテンサイト変態温度（Ms 温度）が低い LTT 溶接材料による溶接金属では、室温近傍でマルテンサイト相変態によって膨張するために、室温では圧縮残留応力が生成する。この圧縮残留応力を利用して、疲労亀裂の発生と伝播を抑制するためには、亀裂に垂直に LTT 溶接材料による溶接ビードを伸長させる必要があることを明らかにした。すなわち、スチフナ先端角回し溶接継手部の疲労寿命を延伸させるためには、角回し溶接部の伸長ビード溶接施工が有効であることを明らかにした。

第 3 章 “船体用 50 キロ級高張力鋼板スチフナ先端角回し溶接部の伸長ビード溶接について” では、スチフナ先端角回し溶接継手部の疲労強度向上に有効であり、しかも現場施工

し易い伸長ビード溶接の長さについて明らかにした。すなわち、

① LTT 溶接材料による伸長ビード溶接方向の圧縮残留応力は、伸長ビード溶接の長さの増大とともに大きくなるが、伸長ビード長さ 約 40 mm でほぼ飽和すること。

② 現場施工上、長さ 約 40 mm の伸長ビード溶接が推奨されること。

などを明らかにした。

したがって、伸長ビード溶接長さは、約 40 mm が最適であることを明らかにした。

第 4 章 “低変態温度溶接材料の伸長ビード溶接によるスチフナ先端角回し溶接部の疲労寿命延伸効果” では、LTT 溶接材料として、10Cr10Ni 系ソリッドワイヤ（記号 LTT1）、6.5Mn 系フラックス入りワイヤ（記号 LTT2）、3Mn3Ni 系被覆アーク溶接棒（記号 LTT3）、13Cr5Ni 系フラックス入りワイヤ（記号 LTT4）、および 5Ni 系フラックス入りワイヤ（記号 LTT5）の 5 種類を供試して、スチフナ先端角回し溶接部に伸長ビード溶接を施工した場合の、疲労寿命延伸効果について明らかにした。すなわち、

① スチフナ先端の角回し溶接を Conv. Wire で施工し、80%Ar 20%CO₂ ガスを使用して LTT1 で長さ 約 40 mm の伸長ビードを溶接した場合の寿命が最も長寿命であり、応力範囲（ σ_R ）が 150 N/mm² の場合は最長約 9 倍に、 σ_R が 200 N/mm² の場合は最長約 11 倍に延伸すること。

② LTT2（6.5Mn 系）、LTT3（3Mn3Ni 系）、LTT4（13Cr5Ni 系）および LTT5（5Ni 系）などに対する検討結果では、角回し溶接を Conv. Wire で施工し、長さ約 40 mm の伸長ビードを LTT2 で溶接した場合、約 4～5 倍疲労寿命が延伸すること。

などを明らかにした。

第 5 章 “全姿勢で施工された低変態温度溶接材料の炭酸ガスアーク伸長ビード溶接によるスチフナ先端角回し溶接部の疲労寿命延伸効果” では、就航後本船内で補修溶接することを想定して、100%CO₂ ガスで全姿勢での溶接が可能な LTT 溶接材料として、16Cr8Ni 系フラックス入りワイヤ（記号 LTTB）による伸長ビード角回し溶接継手部の疲労寿命延伸効果について明らかにした。

すなわち、ごく普通に角回し溶接された基本形状の疲労試験片の角回し溶接部をエアアークガウジングによって完全にハツリ取り、各姿勢（下向姿勢・上向姿勢・立向上進姿勢・立向下進姿勢・横向姿勢）で、Conv. Wire で補修溶接と角回し溶接を施工した後、LTTB を使用して、同じ各姿勢で長さ 約 40 mm の伸長ビード溶接を 100%CO₂ ガス下で施工した試験片による疲労試験結果について述べた。すなわち、

① 各姿勢で補修溶接された、LTTB による伸長ビード角回し溶接継手部の疲労寿命は、上向姿勢溶接で 約 4.3 倍、立向上進姿勢溶接で 約 7.7 倍、立向下進姿勢溶接で 約 3.1 倍、横向姿勢溶接で 約 6.6 倍、下向姿勢溶接で 10.5 倍以上延伸すること。

② 補修後、疲労亀裂が、角回し溶接のルート部からスチフナ材に発生すると想定した場合でも、スチフナ材隅肉溶接と角回し溶接との境界の溶接ビード表面から発生すると想定した場合でも、疲労亀裂がスチフナ材の中を出来るだけ長く進展するような経路をたどれるように、隅肉溶接および角回し溶接のスチフナ材側の溶け込み量を出来るだけ大きくすることが、疲労寿命延伸を実現するポイントであると考えられること。

③ 角回し溶接止端部に発生した疲労亀裂を完全に ハツリ取り、補修溶接した後に、LTTB を使用して、下向姿勢で長さ 約 40 mm の伸長ビードを溶接すると、疲労寿命は約 5.5～5.6 倍延伸すること。

などを明らかにした。

以上により、船体局部構造の角回し溶接継手部に発生した疲労亀裂を、船内で補修溶接するだけで、当該部の疲労寿命が、約 3.1 倍～10.5 倍以上延伸する技術が実用可能になったと言える。

第 6 章 “低変態温度溶接材料 (LTT1, LTTB) による溶接金属の破壊靱性” では, 10Cr10Ni 系ソリッドワイヤ (記号 LTT1) や 16Cr8Ni 系フラックス入りワイヤ (記号 LTTB) を船体構造に実用する場合の重要課題である、溶接金属の破壊靱性について明らかにした。

すなわち、LTT1 や LTTB 溶接材料による溶接金属では、V-ノッチシャルピー吸収エネルギーが、NK 鋼船規則の規格値を必ずしも充分満足するとは言えないが、溶接金属の破壊靱性試験結果によれば、LTT1 や LTTB 溶接金属と、一般炭素鋼溶接金属とで、破壊形態が異なり、V-ノッチシャルピー吸収エネルギー値が低くても、充分な破壊靱性を有していることを明らかにした。

さらに、一般船舶の船体構造中での LTT1 溶接金属や LTTB 溶接金属では、溶接金属中に、万一疲労亀裂が発生・進展したとしても、その疲労亀裂から直接脆性不安定破壊は発生しないと推定できることを明らかにした。

第 7 章 “総括” では、本研究で得られた主要な結論をとりまとめた。

以上、本研究では、LTT 溶接材料使用による、スチフナ先端角回し溶接部の伸長ビード溶接施工による角回し溶接継手部の疲労寿命延伸効果を確認し、本手法の実用化への目処を付けた。