

クローズアップ 話題のレーザー加工最新事情

ヨーロッパ造船業におけるレーザー溶接の最近の動向

F・ローランド F. Roland

ドイツ造船研究センター German Shipbuilding Research Centre

1 造船におけるレーザー溶接による恩恵

造船業は世界規模で高い市場競争性を持つ顧客志向のビジネスである。このため、生産設計や生産効率および品質に対して常に改善が求められ、顧客の要求や技術のシンポにともなう設計および製造工程の偏向に対して高いフレキシビリティが必要である。

船体の建造において溶接はキーププロセスのひとつであるが、溶接プロセスは総合的に人出作業に費やす時間が多い。とくにアーク溶接では組立精度を損なう熱歪みを引き起こすことが多く、後付加工や矯正などの後工程が必要となり、結果、鋼組立部門においては人出作業に費やす時間を30%引き上げることになる。とりわけ、工場で結合される艀装作業率が高い船にとっては、低い生産性や危険な作業環境、コンポーネントや表面処理への重大なダメージなど、後のアッセンブリステージで艀装作業の仮組を妨げるような不具合を補正することが必要となってくる。

客船やクルーズ船（図1）、軍艦などのように船体構造に薄板材が用いられる場合、溶接や切断箇所の増加に

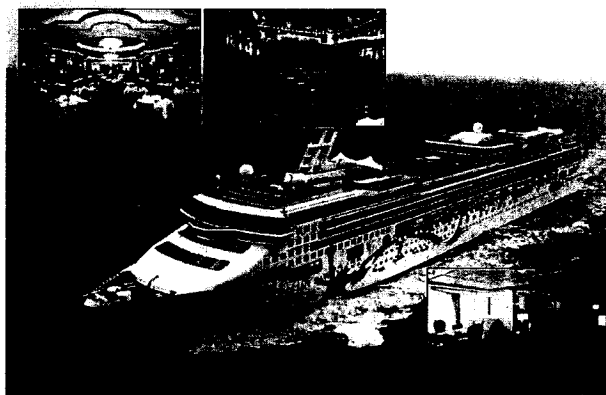


図1 近代的なクルーズ船

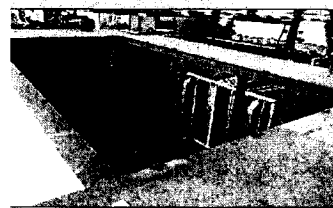
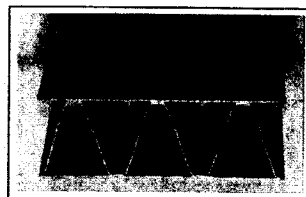


図2 船舶建造におけるレーザー溶接、接着、および機械的接合の例

ともない熱歪みが問題となってくる。ヨーロッパにおいてはこれらのタイプの船舶が主流であり、造船におけるレーザー溶接の実用化がヨーロッパでもっとも進んでいる一因がここにある。

造船におけるロボット化および自動化が生産性の向上に大きく貢献している一方で、従来どおりアーク溶接技術のみを使っているのは熱歪みの低減や生産性の向上に対して大きな発展は望めない。レーザーおよびレーザーハイブリッド溶接のような低入熱接合技術は造船所のアッセンブリおよび艀装工程の生産性を向上させる有力なツールである。

また、走行速度や搭載重量の増加、乗り心地の改善、高い装備基準および近代的な建造手法などは船主および造船所の競争力にとってキープファクターである。そのため軽量な材料の適用や、構造に適するように従来材料をさらに効果的に使用できるテーラーメイドの設計が必要となり、新しい接合技術の開発が必須である。これがヨーロッパ造船業におけるレーザー溶接技術の適用が増加しているもう一つのモチベーションとなっている。ちょうど自動車産業や航空宇宙産業のように未来の造船業では

レーザー溶接をはじめ機械的接合や接着技術などを含むさまざまな技術をミックスした接合技術や種々の材料が広く使用されることになるであろう(図2)。

レーザー加工の優位点は、溶接品質が高いこと、切断、溶接および表面改質のようなさまざまな用途に使用できるフレキシビリティの高さにある。

造船においてレーザー加工をより効果的に実用していくには、大きなコンポーネントや環境、高い投資コスト、重要な技術の認定や承認、生産のための設計など種々の問題を解決することが求められる。以上の問題については参考文献1)~3)を参照されたい。

2 ヨーロッパ造船業におけるレーザー応用の例

国家およびヨーロッパレベルでの多くの研究プロジェクトにより、CO₂レーザー溶接の承認に関する認証団体の最初のガイドラインがつくられ、続いてヨーロッパ造船所におけるプロトタイプでのアプリケーションが1994年にスタートした。

独・メイヤー(Meyer)造船所では、サンドイッチパネルをレーザー溶接で組み立てる試験的設備(図3)を最初に導入した。この設備は現在まで生産に使われており、詳細については参考文献4)で述べている。

1998年には、クルーズ船用のデッキパネルの突合せ溶接用ステーションが伊・モンファルコーネにあるフィンカンティエリ(Fincantieri)の工場に導入されている。この設備では出力18kW級CO₂レーザーを板厚20mmまでの溶接に適用している。これにはシームトラッキングシステムとオンライン非破壊検査用の超音波センサが装備されている⁵⁾。

デンマークのオデンセ・スチール(Odense Steel)造船所では、大型コンテナ船のマーキング、切断、溶接およびサブコンポーネントの塗装除去に出力12kW級CO₂レ

ーザを装備したフレキシブルな製造セルを導入した⁶⁾。以来、この装置は溶接プロセスと同様に恒久的に改善が行われ、部分的にメインとなる生産ラインで使用されている。

これらの装置はまだ、プロトタイプとして位置付けられているが、必要とされる技能を高めたり、造船所の作業員、認定協会そして顧客にとってレーザー溶接への信頼性を高める一助となっている。

1990年代の終わりには、独・ハンブルグのブローム+フォス(Blohm+Voss)で、軍艦および高速クルーズ船のサブコンポーネントを製造するためにレーザー溶接の実用化が行われた。この装置は、2台の12kW級レーザーにより目標とする高い精度でマーキング、切断、溶接するために使用されている。

ヨーロッパ造船業におけるもっとも新しいレーザー溶接のブレイクスルーは、鋼板組工場で主たる接合技術としてレーザーGMAハイブリッド溶接を使用することをメイヤー造船所が決定したことであろう。この応用例については後ほど述べるが、この造船所では現在、主生産ラインでクルーズ船のフラット・コンポーネントにおけるすべての突合せおよびすみ肉溶接のみならずサンドイッチパネルを生産するために6基の高出力レーザー加工システムを保有している。

レーザー溶接の実適用と過去20年以上にわたる研究から育まれた技術と経験が現在ではヨーロッパ造船所の中で確立されている。さらなる発展として、さらに多くの造船所における実用化と新しい分野へ適用するための技術開発が挙げられている。3次元溶接や機械的および手動により伝送されるレーザーシステムの開発が期待される。いくつかの例については、本稿の最後で述べる。

3 ヨーロッパ造船におけるレーザーの適用事例

3.1 レーザ溶接された金属材および複合材のサンドイッチパネル

レーザー溶接された金属材のサンドイッチパネルは1994年以來、メイヤー造船所によって製造され発展してきた。

一般的にサンドイッチパネルは、比較的軽量、省スペースで高い強度と剛性を持っており、輸送産業、民生用品および機械工業でのさまざまな適用が図れる。レーザー溶接は低入熱なため、十分に競合できるコストで高精度のサンドイッチパネルを生産することができ、モジュール方式のサンドイッチパネルは外殻を形づくったり、外装部品、ケーブルおよび配管などの取り付けつけなど、



図3 メイヤー造船所におけるサンドイッチパネル生産現場

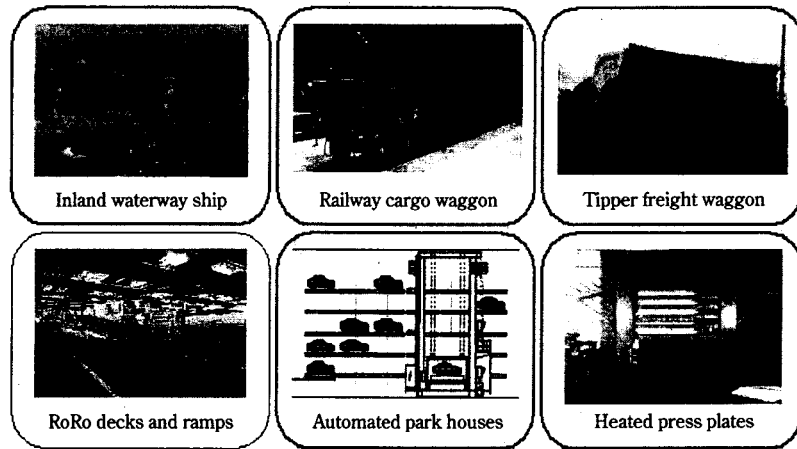


図4 レーザ溶接されたサンドイッチパネルの適用例

さまざまな用途に合わせて組み立てることができる。また、これらは広範囲な試験により、耐火性および耐腐食性に顕著な特性を持つことが分かっている。

鋼製サンドイッチパネルは「I-core」のブランド名で商品化されている。一方、アルミニウムのパネルはコーラス・アルミニウム (CORALDEC) と共同して製作されている。金属サンドイッチパネルの特性については参考文献9) で述べているが、詳細については参考文献10) で記述している。

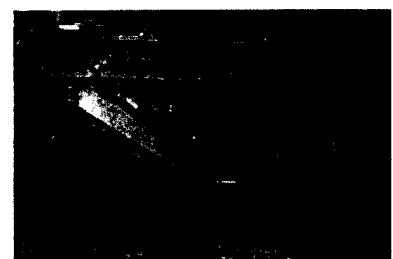
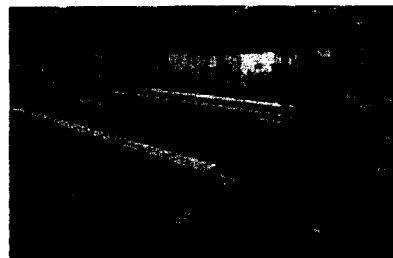
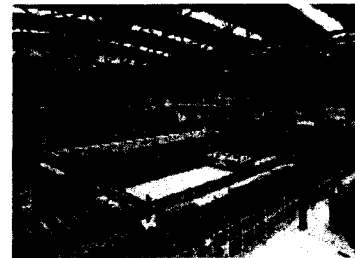
サンドイッチパネルの特性は、金属パネル内に他の材料を充填することによりさらに改良されてきている。これは一般に「SANDWICH」¹¹⁾ と呼ばれるEUの研究プロジェクトで行われている研究の成果である。

レーザ溶接されたサンドイッチパネルはコアタイプや材料、寸法などを最適化することにより、造船以外のさまざまな応用に転化できるような設計ソリューションを持つことができる。図4にレーザ溶接されたサンドイッチパネルが現在使用されているいくつかの分野での適用例を示す。

3.2 クруз船でのフラット接合部のレーザハイブリッド溶接

新しい仮組工場が、液化ガスタンカーやフェリー、客船の建造でヨーロッパを代表するメイヤー造船所で1999年から2001年の間に導入された。この新しいラインは、鋼種や厚さが違うフラットな鋼材をテーラーメイドで接合をするために設計されたものである。まず開先端面の機械加工と、端面を正確に合わせるハンドリング機構を持つレーザハイブリッド溶接システムは、熱歪みを減少した上で高いフレキシビリティと生産性を併せ持つ理想的な接合法となるように詳細にわたるシミュレーションを行って開発されたものである。

レーザハイブリッド溶接は、縦横20mまでのサイズのフラット接合を実現することができる2つの突合せおよび2つのすみ肉溶接ステーションで使われている。図5にいくつかのレーザハイブリッド溶接装置の詳細を示す。



次ページへ続く

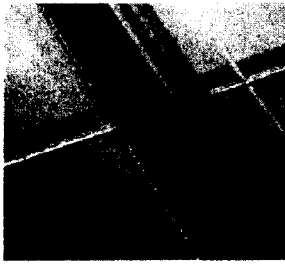


図5 メイヤー造船所におけるレーザーハイブリッド突合せおよびすみ肉溶接ステーション

・突合せ溶接ステーション

1つめの突合せ溶接ステーションでは、壁や隔壁のような小さな平坦部材や甲板で使用される幅10m、長さ4.5mないし20mまで板の溶接を行う。一方、幅20m、長さ20mまでのサイズのパネルは2つめの突合せ溶接ステーションで生産される。このレイアウトは、4.5~30mmの範囲で板厚の異なる材料を用い、大きな「テイルド・デッキ」のフレキシブルな生産を可能にしている。

いずれのステーションも、開先加工用平削りおよび面取りツール、正確な位置決めが可能なハンドリング装置、油圧式クランプ装置、精巧な計測システム、品質保証システムを装備している。材料端面は、開先加工から溶接までプロセス全体を通して常にクランプされている。12kW級CO₂レーザー溶接装置とGMAW装置はラインの中でハイブリッド溶接プロセスとして使用されている。

・スチフナ取付けおよびすみ肉溶接ステーション

スチフナ取付けと溶接ステーションは、パネルおよびウェブラインの両方において省スペース化が実現できることを見越して組み合わされたものである。求められる処理量を達成するには、スチフナ取付けでは約10分のサイクルタイム、溶接ではデッキパネルを20m溶接することが求められた。デッキでの長い溶接や、スチフナとデッキプレートでは異種材料を混在して使用するために、機械設計と溶接プロセスに関する特別な取り組みが行われている。

また、装置は、ハイブリッドCO₂-GMAWプロセスの溶接ヘッドと、スチフナハンドリング・位置決め装置、最小ギャップに抑えるクランプシステム、測定装置および品質保証システムから構成されている。

CO₂レーザー-GMAのハイブリッド溶接プロセス(図6)はアーク溶接およびフィラーワイヤ添加レーザー溶接と比較した場合、以下に示す大きな特徴がある。

・溶接速度が速い(板厚5mmの突合せ溶接においてサブマージアーク溶接では1m/min、フィラー添加レーザー溶接では1.5~2m/min、ハイブリッド溶接では

Advantages

- High welding speed
- High quality
- Low spatter
- Low smoke
- Low heat input
- Low distortion
- Low maintenance
- Low cost

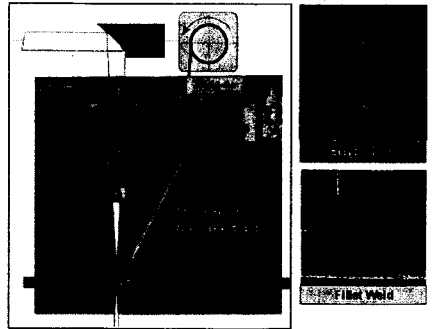


図6 メイヤー造船所で採用されているレーザーハイブリッド溶接の原理

5m/min)

- ・アーク溶接装置に比べてハイブリッド溶接ステーションの方が省スペース
- ・熱歪みの抑制により後加工や矯正を省略することができる
- ・シングルパスで11mmまでの貫通すみ肉溶接および12mmまでの突合せ溶接が長時間安定して可能なプロセスである。
- ・溶接接合部の疲労特性を改善できる

プロセスの開発と認定、機械のコンセプト等に関する開発、認定を得るのに必要な品質保証システムの採用と、これらをプロセスの流れの中へ統合することは、メイヤー造船所が機器メーカーと共同して実現しなければならない課題であった。これらの仕事のいくつかについては参考文献12)、13)で詳述している。

この新しい仮組工場は2002年の初頭からフル稼働状態にあり、平板セクションにおける総溶接長のほぼ100%、大型クルーズ船の接合部の50%相当がレーザーハイブリッドで溶接されている。

4 将来展望

4.1 研究プロジェクト

多くの研究プロジェクトが、造船におけるレーザーおよび光学系の適用についてヨーロッパもしくは世界レベルで進められている。イタリアの造船メーカーであるフィンカンティエリがコーディネートしている「SHIPYAG」プロジェクト¹⁴⁾では、平板および3次元、ブロックの仮組立を固体レーザーで溶接する装置ならびにプロセスの開発を計画している。

主要な造船所のグループは技術供与側と一緒にあってECが出資する「InterSHIP」と呼ばれる総合プロジェクトに提案を行っている。このプロジェクトは、新しい船舶コンセプト中で重要な新材料に対するレーザー溶接技術

をカバーしたものである。

コーディネートプログラム「SAND.CORe」では、海運、車両および陸運に関するサンドイッチ構造のさまざまなソリューションの比較を目的としている。提案されたプロジェクトの主な目的は、エンドユーザーが利用できるような技術を確立することであり、利用できる研究結果としてより良い情報を提供し、将来における研究のニーズを定義することである。このプロジェクトは、ドイツ造船研究センター（German Shipbuilding Research Centre）（www.fds-hamburg.de）が主導しており、ヨーロッパ以外からの共同研究への参加もオープンにしている。

造船における部分溶込みすみ肉溶接における多くの応用事例は適用可能であるが、レーザーおよびレーザーハイブリッド溶接の認定は現状で貫通溶接のみに限定されている。部分溶込みすみ肉溶接は熱歪みのさらなる減少と同時により高速溶接を可能にするであろう。それゆえ、同センターによりコーディネートされているドイツの国家プロジェクトでは品質保証や疲労強度を含む信頼できるレーザー溶接プロセスを認可することに焦点を当てている。このプロジェクトもまた国際的な協力体制でオープン化している。

一方で、造船におけるレーザー適用は、従来は仮組み段階、つまり大型のガントリ機で近づくことが容易な溶接部に限られていたが、移動式レーザー装置によりまったく新しい応用範囲に対して適用が可能となり、設計および生産性に対して大きなメリットが得られるであろう。「DOCKLASER」と呼ばれるヨーロッパのプロジェクト（ドックエリアの移動式レーザー装置の開発によって船舶建造および補修において能率と品質を向上させるためのプロジェクト）には入り込むことが難しいエリアでのレーザー切断および溶接の機械的あるいは手動導光ツールを開発するため、主要な造船メーカー、研究機関、装置メーカーが参加している。疲労強度、プロセスの認可および承認、作業安全性もまたこのプロジェクトではカバーしている。また、このプロジェクトは、世界的なユーザーグループを作っており、その成果を利用できるようになっている。情報が欲しい方はwww.docklaser.comへアクセスすることをお薦めする。また、このプロジェクトへ協力したい、もしくはプロジェクトの成果にアクセスしたい日本企業および関連団体の方々でもっと情報を得たいとご希望の場合は、筆者へのご連絡をお待ちしている。

4.2 ネットワーク活動

造船におけるレーザー応用分野でのより良い研究協力、

開発を行うため、また、より良い資源の活用、さらには技術を産業移転するために「ハンセ・フォトニク（Hanse Photonik）」というレーザーのユーザーおよび開発者のネットワークが北ドイツで創設されている。このネットワークは、主としてワークショップおよび会議をアレンジすることでこの地方における関係者間の情報交換を支援している。

次の段階として、ハンズ・フォトニク（FDS/CMT）ほか、いくつかのパートナーらはこのほど造船業界に携わる主要なレーザー関係ユーザー、開発者、研究者間のより緊密な提携実現に向け動き出した。

このネットワークでは、実質上の企業としての活動を計画しており、ワーク・シェアリング方式で実質的に顧客のために開発事業やサービスを提供している。このように、パートナーの最善の技能、経験および能力を顧客および造船業の利益のために集結しているのである。また、ワーク・シェアリング方式の責任配分により、このネットワークでは興味を持っている企業に対し、コンタクトのための単一の窓口を設け、国際的およびヨーロッパにおける研究プロジェクトへの参加を募る活動も行う。さらに、研究成果の共有により、革新的な開発成果の市場への登場の時間を短縮させ、産業の市場競争性を活性化させている。

FDS/CMTではコミュニケーション・プラットフォーム、マーケティング、プロジェクト・マネジメントおよび情報データベースのような基本的サービスをネットワークへ供給する予定で、それ自体の研究開発に活発な役割を担っていく。

同様のネットワークが、接着技術、新材料、プランニングおよびシミュレーションなどの分野でも計画されている。

また、最初のコンタクトについては、ヨーロッパ研究地区やヨーロッパ市場へのアクセスについては適切な調整が保証されているので、妥当なネットワークやヨーロッパ企業へ通信されるようになっている。

参考文献

- 1) F.Roland et al : "Trends, Problems and Experiences with Laser Welding in Shipbuilding. Proceedings IIW Shipbuilding Seminar, Odense, Denmark, 17-19 April 1996
- 2) F.Roland : Laser Welding in Shipbuilding-Chances and Obstacles. Proceedings 8th Symposium on Laser Materials Proceeding, KIMM, Korea 1997, pp. 237-252
- 3) F.Roland : Laserschweissen im Schiffbau-Chancen, Probleme, Beispiele. Schiff & Hafen 51 (1999) 2, pp. 78-86
- 4) F.Roland : Stake Welding of Lightweight Structures for Shipbuilding using a High Power Laser. United Technologies Focal Spot Seminar, Orlando FL 1995

- 5) F.Cotta-Ramusino ; E. Prdaci : In grossen Dimensionen. Laser-Praxis 1998/10, pp.LS15-LS17
- 6) M.Sellerup : Laser welded ships are afloat. Industrial Laser Solutions 1990/4, pp.20-22
- 7) -: Schweißen und Schneiden per Laser bei B+V. Hansa 138 (2001) 1, pp. 50-53
- 8) www.blohmvooss.com
- 9) F.Roland and T.Reinert : Laser Welded Sandwich Panels for the Shipbuilding Industry. Proceedings of Conference on Lightweight Construction-Latest Developments. The Royal Institution of Naval Architects, London 24-25 February 2000.
- 10) www.i-core.com
- 11) http://sandwich.balport.com
- 12) F.Roland et al : laser Welding in Shipbuilding - an Overview of the Activities at MeyerWerft. Proceedings IIW Conference, Copenhagen June 2002
- 13) R.Miebach and H. Lembeck : Die neue Fertigung der Meyer Werft : Laserhybridschweißen als Kerntechnologie. Proceedings : Schweißen im Schiffbau und Ingenieurbau. 4 . Sondertagung, Hamburg April 2002
- 14) www.cordis.lu

短 信

鉛フリー信頼性確保でシンポ開催へ

日溶協マイクロソルダリング教育委員会とはんだ研究委員会では、2006年7月から有害化学物質規制が発効されることから、電機・電子機器メーカーでは鉛フリーはんだへの対応が急ピッチで進んでいることに鑑み、2006年7月規制緊急対応シンポジウム「鉛フリーソルダリングの信頼性確保のために」を12月5日と12日の2日間、それぞれ大阪と東京で開催する。

有害物質規制が発効されるまであと2年と迫り、そのため鉛フリーはんだを用いた製造技術確立のリミットはあと2年を残すばかりである。しかし、製品の設計寿命に関わる鉛フリーはんだとその継手の信頼性については、学術的、科学的な見地からの理解が十分に浸透しているとはいえない状況で、鉛フリーはんだについて学術的、科学的な信頼性の基礎とその評価方法を理解することが

製品信頼性確保に必要となっている。

そこで、同委員会では、はんだ付の科学的メカニズムと、現在まで明らかになってきた鉛フリーはんだの信頼性をその評価方法を含めて討議し、目前にせまった完全鉛フリー製品を安心して出荷するための基礎を盤石なものとするを目的に、このシンポジウムの開催を企画、幅広い関係者の受講を募っている。

【日時】▷大阪 平成15年12月5日
▷東京 平成15年12月12日

【会場】▷大阪 島津製作所関西支社マルチホール（阪急ターミナルビル14階、☎06-6373-6541）▷東京（財）総評会館（東京都千代田区神田駿河台3-2-11、☎03-3253-1771）

【受講料】1万8,000円

【定員】▷大阪 80名▷東京 220名（各地区とも定員になり次第締切）

【問合先】(社)日本溶接協会（〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間

町1-11、産報佐久間ビル、☎03-3257-1526、担当：金子）

【内容】ソルダリング接合部の信頼性（大阪大学・藤本公三）、鉛フリーはんだのぬれ性測定法（村田製作所・鎌田信雄、TDK・中村喜一）、はんだの金属組織と反応（大阪大学・広瀬明夫）、鉛フリーはんだの金属組織と反応（沖電気工業・宮崎誠）、はんだ材料の引張試験方法（大阪大学・竹本正）、鉛フリーはんだ材料の機械的強度データ（ニホンゲンマ・萩尾浩一）、フラックス・ソルダペーストの基礎（ハリマ化成・穴田隆昭）、信頼性に及ぼすフラックス・ソルダペーストの影響、はんだの機械的信頼性の基礎（大阪大学・座古勝）、鉛フリーはんだの機械的信頼性（東芝デジタルネットワーク社・森郁男