

クローズアップ 話題のレーザー加工最新事情

ヨーロッパ自動車産業におけるレーザー溶接の応用

J. K. ラーソン J. K. Larsson
ホルボ Volvo Car Corporation

1 はじめに

自動車産業におけるレーザー溶接の応用は、1980年代の中頃に、エンジンの対称に回転する部位やトランスミッション部品の溶接に使用されたのが始まりであり、従来の電子ビーム溶接からレーザー溶接へと転用されてきた。

最初の自動車ボディへの応用では、アウディ (Audi) 100のフロアパネルのブランク材の溶接に適用されたのに対して、組立工程におけるレーザー溶接はシボレー (Chevrolet) モデルのコルシカ (Corsica)、バレッタ (Baretta) のルーフの溶接のために米・ニュージャージー州リンデンのGM社の生産プラントに導入されたのが最初である。初期のルーフの溶接はヨーロッパにおいてはBMWの旧ツーリングモデル3シリーズとボルボ (Volvo) の850モデルにその例が見られる¹⁾。

それ以来、世界の主要な自動車メーカーでは、生産プラントにレーザー加工装置を導入し、ルーフのレーザー溶接はある程度の水準に到達している。しかしながら、設備投資コストが高額であること、利用が制限されること、部材の位置決めおよび許容限界に対する厳しい要求があることなどから、例えば溶接への応用などへの適用がさらに増加するには制限が課せられていた。

本稿では、これらの問題を解決し、自動車ボディ工場におけるレーザーの導入をさらに促進するような新しい技術について紹介する。

2 レーザハイブリッド溶接

ここ数年報告されているのは、いくつかの融接法のトーチ装置 (ミグ/マグ、ティグまたはプラズマ) とレーザー発振器との組合せである。それを実現することにより効率性と溶接速度がアップでき、このことはこのシステムによって総合的にかかってくるコストが望むべき結果になるということを意味している。溶接部のような接合

部には、融接法による広い溶接ビードと、それに組み合わせられたレーザーによる深い溶込み効果が得られている。このような接合構造は自動車の耐衝突性や耐久性に良好性を与えることになる。溶融金属量が多くなるということは、溶接される板材間の位置がそれほど正確には要求されないということを意味している。

ハイブリッド溶接技術の産業への最初の応用は造船業においてであり、自動車産業においては最近まで注目されていなかった。この主な理由として挙げられるのは、装置自体が一つがレーザー、一つが融接用と溶接ヘッドが2つに分かれていると配置上かさばってしまうということにあった。しかし、現在ではメーカーが溶接ヘッドを統合してスリム化を図り、アーム型ロボットへ組み込めるようなツールの形にしており、シンプルなものになっている。

2.1 新型アウディA8のルーフレールのレーザーハイブリッド溶接

アウディ社では、ネッカルサルム (Neckarsulm) のアルミニウム・ツェントラム (Aluminium Zentrum) で車体のスペースフレームの組立のために徐々に技術を磨いてきた。最初のオールアルミニウム製スペースフレームに着手したのは1994年にA8モデルにおいてであった。このモデルは、抵抗溶接やミグ溶接のような従来からの溶接方法とリベットやクリンチのような機械的接合で組み立てられていたが、次のモデルの小型A2では溶接長30mにも及ぶレーザー溶接が採用され、フロアおよび上部構造に適用された。昨年、旧A8を新モデルへのモデルチェンジ (D3と呼ばれる計画) が行われ、これには溶接長20m以上に及び、従来のレーザー溶接と革新的なレーザーハイブリッド溶接技術が採用された。

ハイブリッド技術は、メインのルーフレールを成すルーフレールインナー部品 (AA6181) と小さなブラケット

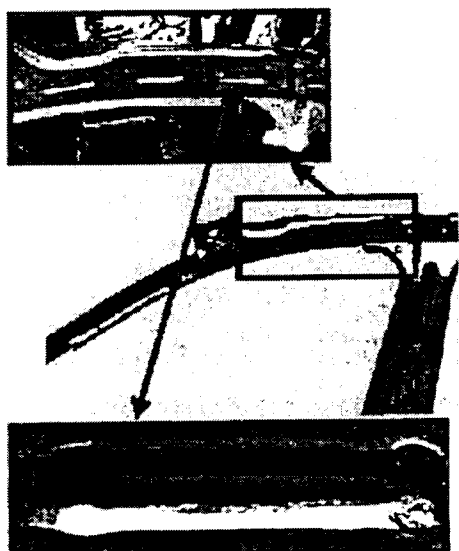


図1 レーザハイブリッド溶接によるA8のルーフレールの非常に滑らかなビード（レーザ出力3.8kW、溶接速度3.6m/min、ワイヤ送り速度4.5m/min）

材の取付けのために用いられている。このメインルーフレールはAA6014材で4.0mm厚のハイドロフォーミングされた部材である。レーザは出力4kWの半導体励起タイプの600 μ m径のファイバー伝送システムで、250Aのミグトーチをなぞる仕組みとなっている。もっとも重要な要求事項として、ルーフレールの内側の部分は滑らかな表面でなければならないということで、ここには膨張式のカーテンや横側の衝撃に対し膨らむ安全装置が取り付けられる。それゆえこの部分には滑らかな溶接ビードでつくることが必要とされている（図1）。

ハイブリッド工法のその他の優位点は、最大0.4mmのギャップでも安定して溶接でき、溶接速度の向上、熱歪みの低減、溶接継手の引張強さを実現していることである²⁾。

1日につき約100台のA8シリーズが組み立てられるが、レーザハイブリッドセル「OP05」での溶接は2段階で行われる。最初は、2つの小さなブラケット材がハイブリッド溶接で6箇所ほどルーフレールへ溶接される。続いて残りの部品が23箇所ほど溶接される。結果、トータルでそれぞれのサイドで29箇所ほどの溶接となる。これらの溶接部の長さは30~260mmで、合計すると一つのボディ側につき溶接長が2,300mmにも及ぶ。溶接速度は303~5.5m/minの速さで、焦点距離は250mmであるが、A8で用いられている他のレーザ溶接では200mmであるので、比較するとやや長くなっている。

2.2 VWファエトーン (Phaeton) のアルミニウム製サイドドアのレーザハイブリッド溶接

レーザハイブリッド溶接のその他の優れた点は、従来のレーザ溶接と比較した場合、アルミニウム溶接での安定したプロセスにある。と言うのは、ほとんどスパッタの発生が無く非常に高品質の溶接部が得られるからである。このことは、ファエトーンのブランド名でフォルクスワーゲン (VW) 社のコンセプトカーである「D1」を生産する場合、なぜサイドドアの組立にハイブリッド溶接技術が用いられるかという答えになっている³⁾。この車種での要求事項には、運転席へ高速運転で引き起こされる風や騒音が入ってこないようドア構造の高い強度を得るということがあったが、この強度を得るにはシート、キャストおよび押出材コンポーネントのよいコンビネーションが必要とされ、さらにアルミニウムが軽量であることから材料として適用されることになった。

ファエトーンのドアは7箇所のみグシーム溶接、11箇所のレーザシーム溶接、48箇所のレーザハイブリッド溶接がなされており、これらのドアのトータルの溶接長は4,980mmに及ぶ（図2a）。フィラーワイヤは1.6mm ϕ のAlSi12で、シールドガスはアルゴンガスを用いている。溶接速度の幅は1.2~4.8m/minであるが、プロセスは4.2m/minで最適化される。

図2bに溶接ツールを示す。これは溶接される部材へ容易に適用できるよう小さい光学的な形状となっている。また、ロボットへの搭載が容易に行え、焦点距離やトーチ距離のようなプロセスのパラメータに関して調整可能となっている。さらに、保護ガラスは反射しない材料でコーティングされ、ダメージからレーザ光学系を保

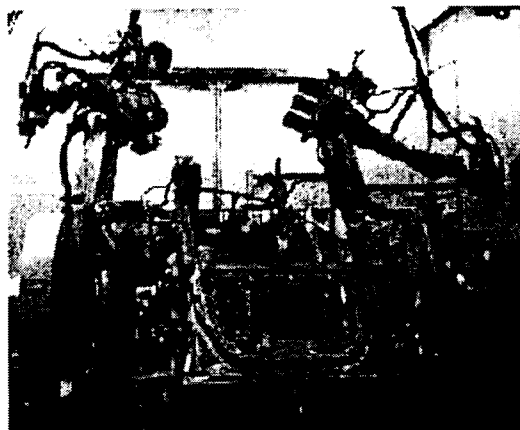


図2a ベルク・ボルフスブルクにおけるレーザハイブリッド溶接セル（ロボット2台のうち1台がレーザハイブリッド溶接、もう1台が従来のレーザ溶接）

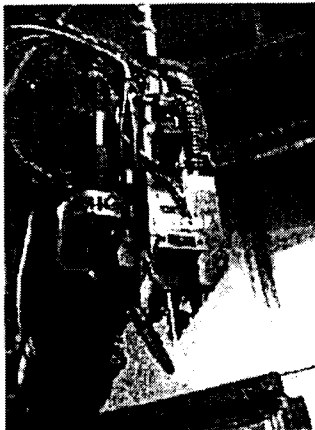


図2b フォルクスワーゲン・ファエトンのアルミニウムサイドドアのレーザーハイブリッド溶接ツール

護している。

これらのプロセスパラメータを選ぶことによって、光学的および構造的構成のように溶接特性の影響を選択することが可能になる。アーク溶接法ではフィラーメタルを加えることによってブリッジアビリティを増加させ、溶接シームの幅を決定することにもなり、このように接合しるを減らし、さらに、二つのプロセスの相互作用で高い効果を上げることができる。この組合せのプロセスはまた従来のレーザー溶接プロセスと比較してより低い設備投資コストが要求されている。

3 リモートレーザー溶接

RWS (リモート・ウエルディング・システム) として設計されたレーザーの利用では、スラブ型CO₂レーザーを用いた場合の1mよりも遠くからの照射で、広い範囲での深い溶込み溶接を実現している。ビームはガルバノミラーによって±20°以内の角度で操作でき、焦点距離は600mm以内に変えることができる。このシステムでは1分間に6箇所のスポット溶接をすることが可能となっている。さらに、これらの溶接部はそれぞれビームを振動させるか揺らすことにより、複雑なパターン（それは材料の溶融量を増加させる）の中で行うことができ、強度を高めギャップへ対応する。リモート溶接システムがガントリー型のレーザーロボットよりも安価であるという事実とともに高速の溶接であるということから、それぞれのスポット溶接部につき劇的なほどコストを低減していることになる。

上述のようなシステムでは主な問題となってくるのは、3次元コンポーネントのそれぞれの溶接箇所への限定された適用であることや、異なる入射角で溶接が行われるということである。しかしながら、これらの問題は、ス

キャナユニットが多関節型ロボットのアームに搭載されているCAS (Coupled Axes System) によって解決されるが、これには十分な反復性能および高剛性を備えたロボットおよびこの種のプロセスに適するようなビーム品質のNd:YAGレーザーの使用もまた要求される。しかし、RWSかCASのどちらを選ぶかについては、それぞれの場合によって決められる。

3.1 BMW3シリーズコンパクトバージョンの防火壁のリモートレーザー溶接

ヨーロッパではBMWがそのシリーズの生産にリモートレーザー溶接を初めて適用した。ここでは、3シリーズのコンパクトバージョンの補強のために溶接されたエンジンの仕切パネルで採用し、パーツはそれぞれ亜鉛コーティング材 (各サイド75g/m²) および中高力鋼 (Rp0.2=220~260Mpa) であった。右ハンドルもしくは左ハンドル仕様に用いられるパーツはタコメーター上に積載され、22箇所溶接されている。さらにドアロックは同様のプロセスで4箇所溶接されているが、これには8秒のサイクルタイムですべての溶接を可能にする出力5.0kWCO₂レーザーが使用される。もしこれがスポット溶接ならば相当する溶接サイクルタイムは40秒になる。シールドガスにはヘリウムが用いられ、溶接箇所のまわりは亜鉛雰囲気となるのを防ぐ (図3)。この部分に置かれるパーツは汚く湿り気のあるところでさらされており、耐腐食性が大きな課題となっているが、レーザー溶接部はDINの腐食試験に充分に対応することができる。

4 レーザブレイジング

ろう付技術は自動車産業において最近になって大きく注目されてきた。母材への影響が最小限に抑えられ、亜鉛コーティングの広範囲な除去が不要なため、ミグおよびマグろう付は従来のGMAWの代用として重い荷重がからない接合部への適用が考えられている。



図3 リモートレーザーで溶接されたBMW 3シリーズのエンジンコンパートメントパネル

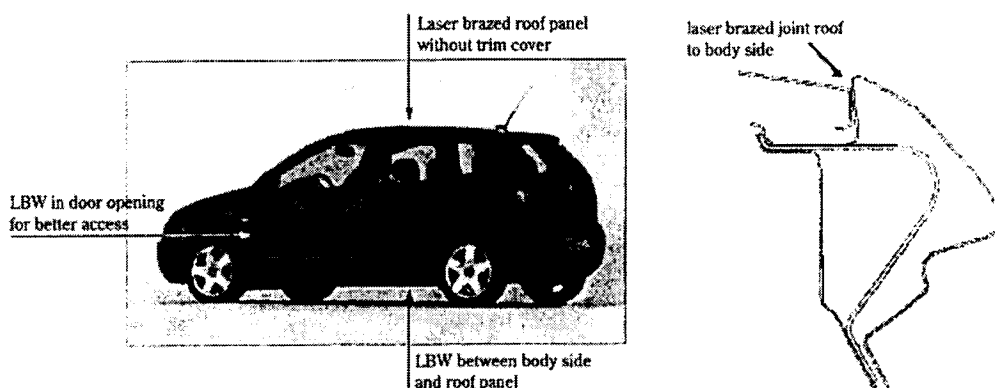


図4 接合のためのルーフ設計がされたフォルクスワーゲンの新型ポロでのレーザ適用

レーザ溶接はGMAW以上の高い生産性を示していることから、現在は、レーザがろう付適応のための熱源としても用いられるようになっている。

4.1 アウディTTボディのレーザブレイジング

レーザビームによるろう付のプロセスは、1994年にアウディのTTクーペの生産で初めて使用された⁴⁾。比較調査の結果、この新しいプロセスを使用することによってのみ、Cピラーの部分でルーフドームからウイングへの取付けまでの素早い工程が可能であるということが示された。

レーザブレイジングを用いる主な目的には、最小のエネルギーで、材料表面に施されている亜鉛コーティングの影響が少なく、歪みを最小限に抑えることができる工法であるということにあった。ろう付継手部は、外側のスキンプレートの品質に関してアウディの厳格な要求に見合うものであった。また、ろう付がフラックス、イナータガスおよび従来のCuSi3フィラーワイヤ無しでできるということから環境的な側面および防食の面においても採用の理由になっている。リアフェンダーへのユニサイドの接合箇所ではレーザブレイジングによる接合長は330mm程度になると思われる。2つのレーザセルが独立したインゴルシュタットの車体工場へ導入され、一つは左ハンドル仕様、もう一つは右ハンドル仕様用に用いられている。それぞれのセルは1.0kWのND:YAGレーザ発振器と光ファイバによるビーム伝送システム、ろう付用ヘッドを搭載したアームを持つ6軸多関節ロボットから成っている。ろう付ワイヤフィーダは専用に変更されたプッシュブッシュシステムによって作動している。

仮組したユニサイドやリアフェンダーは手動で取り付け工程へ回されレーザセルへ移動するが、それぞれのレーザセルには、最初の作業としてパーツの正確な位置決

めをするため何箇所か仮付溶接するスポット溶接ロボットも設置されている。この間、ろう付はいつも可能な限りベストの位置で行われよう、パーツの組み付けクランプの角度を偏向することができるようになっている。リアガラスからトランクリッドへ進むろう付の角度でさらに歪みを制限することが試されていた。ろう付後にパーツは隣のエリアへ移動されるが、そこはAクラスの品質となる接合を終了させるための後工程となっている。組み立てられたユニサイドはその後、完全なボディサイドとするための次の組立て工程へ移動し、最後に最終的なボディ組立ラインへと移行する。

4.2 フォルクスワーゲン・ポロのルーフ接合のレーザブレイジング

今日、フォルクスワーゲングループでは、ホワイトボディ (BIW) へのレーザ応用に関するリーディングカンパニーとして考えられており、世界中の工場では200台以上のレーザを導入している。同社では、新しいフォルクスワーゲン・ポロの開発着手に関して、さらにレーザブレイジングの使用を推し進めた。これは、レーザブレイジングしたルーフの“世界初”をフィーチャーしたものである。ボディサイドとルーフパネルの接合においては、ろう付に適するように設計されており、レーザ溶接された一般のルーフとは生産工程の中の組立工程からルーフの形が異なっている (図4)。また、フォルクスワーゲンでは膨大な特許を保有しており、そのため同社はレーザ応用では最先端の地位を保っているのである。

4.3 トランクリッドのレーザブレイジング

レーザろう付されたトランクリッドは、モーゼル (Mosel) 工場生産されたフォルクスワーゲン・ボラ (Bora) モデルからスタートしたが、フォルクスワーゲン・ゴルフ (Golf)、アウディのA4、スコダ・オクタビ

ア (Skoda Octavia) やシート・アローサ (Seat Arosa) の生産ですぐに追従された。

2つのパーツをレーザろう付してトランクリッドを製造している自動車メーカーでは、さまざまな最適化を図っている。例えば、外側のトランクリッドの外板の下側のパーツをヨーロッパおよびアメリカ市場向けに2つの仕様で製造しており、これらの外板パネルの組立にレーザろう付を用いることで両仕様の要求を満たしている。

ボルボではトランクリッドの外板を2つに分けるもう一つの理由として、設計上接合する形状にするためとしている。新しい設計では一つの部品として打ち抜きでつくることが多かれ少なかれ不可能となっているが、と言うのは、ボルボのS60およびS80のモデルでは要求形状を実現させるためプラスチックの部品を付加しているからである。しかしながら、これは自動車の見える部分に要求される高い品質にはまだ見合わず、コスト高な方法となっている。それゆえ、2つのパーツにわかれた外板のレーザろう付が有望であり、コストを削減することが考えられている。

5 さまざまな応用

5.1 BMWクーペの外観を美しく仕上げるためのAピラーのレーザ溶接

従来のスポット溶接法に比べてレーザ溶接の明確な利点には片面溶接ができることで、このことは新しいデザインの可能性を開くものであり、実際、BMWが新3シリーズのカブリオレバージョンの開発を始めた時に考慮に入れられた。ロールオーバーから安全を確保するために断面を塞いだハイドロフォーミングによる部材としてAピラーが設計されたが、これは、外側および内側のパネルがハイドロフォーミングされたピラーへ取り付け組み立てられるものである。スポット溶接では部材に孔を開けてしまい、接合部の強度を弱くしてしまうので、それゆえ、早い時期にレーザ溶接の適用が検討され、レー

ザ溶接に適合するようなハイドロフォーミングされたAピラーの形状となった⁵⁾。

レージェンスブルク (Regensburg) 工場では仮組立セルにおいてレーザ溶接が行われているが、ここではボディの外側サイドパネルを上述したAピラーへ2箇所同時にレーザで溶接されている。これとは別にフロア部分に対しても2箇所平行に上になったり下になったりしてボディサイドを溶接している (図5)。その結果、サイクルタイムは1周で60秒となっている。パーツには部品が取り付けられるが、溶接は出力8.0kWのCO₂レーザから発振されるレーザビームをガイドする光学系が備わっている多関節ロボットによって行われている。

5.2 ボルボXC90における新しいルーフのレーザ溶接のコンセプト

ボルボが1991年に850モデルでレーザ溶接されたルーフパネルを手がけて以来、ルーフフランジの縁から4mmオーバーラップしたところのレーザ溶接が行われていた⁶⁾。XC90の開発にあたっては新しいコンセプトが採られたが、これはルーフフランジの縁のすみ肉溶接を行うということである。これには以下に挙げるようないくつかの長所がある。

- ・溶接速度の向上
- ・垂鉛などのスパッタが無いいため溶接品質が改善される
- ・品質チェックは目視検査のみで済む
- ・密封特性と質の向上
- ・より狭隘な箇所でのルーフの溶接ができるため違ったスタイリングソリューションの可能性を持つ

しかしながら、一般にルーフフランジの縁の溶接は、シームトラッキング装置のような付加的な装置が要求されることからトータルコストが高くついてしまう。今までのところ、ルーフをシールするのに他のコンセプトが採用されているため、製品原価はなかなか下がらない。また、以前のボルボのモデルでは、レーザ溶接部とルーフの溝は、最終的な組立工程で取り付けられるプラスチ

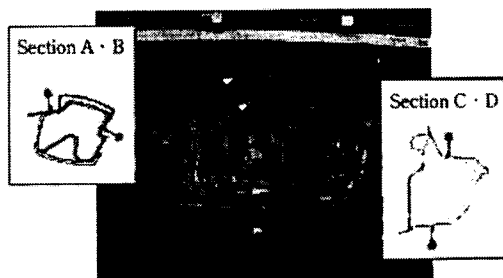


図5 BMW 3シリーズ・コンバーチブルモデルでのレーザ溶接の適用範囲とレージェンスブルク工場でのレーザ溶接セル (右)

ック製の外装（トリム）で覆われている。このトリムのモールドは相当なパーツコストがかかってしまう。同系色のバージョンなら29ドル7セント、黒色を選んだ場合では8ドル95セントとなる。現在では、このプラスチック製のトリムは継手部にスプレーするPVCシーラントに代替されてきている。スプレーした後、塗装工場ボディの塗装をするときに同じ色に塗ってしまえば1台につき23セントのコストしかかからず、ほとんど取るに足らないものとなる⁷⁾。

2002年夏ころからXC90の生産がスタートした。ボディはイエテボリ（Gothenburg）のトスランダ（Torslanda）工場の新組立ラインで造られている。ここでのレーザ溶接ステーション（図6）には、出力3.6kW級ランプ励起式Nd：YAGレーザ発振器が用いられている。効果的な溶接を行うため、溶接セルには国の経済的枢要を狙った下請け会社の協力の下に開発されたシームトラッキングツールが装備されている。現在では、この組立ラインは1時間に17ジョブのスピードで稼働しており、年間7万台の自動車を生産している。しかしながら、年間10万大のキャパシティを持つ組立ラインとしており、まだまだ増産できる可能性を持っている。ボディの組立はボルボのパレットに載せて運ぶシステムに従って動いており、ルーフの場合と同様にアンダーボディや完成したボディサイドが治具やパレットを利用するマルチ・ツーリング・コンセプトに従って組み立てられている。

シームトラッキングには三角測量方式が用いられている。光がレーザダイオードからシームへ向けられており、高出力の光学機器を通してカメラに写り、レーザダイオードが対象物上にラインを生成して、光がワークに対応するアングルで照射される。このラインをカメラを通して見た場合、シームに沿ったように見え、画面上ではシ

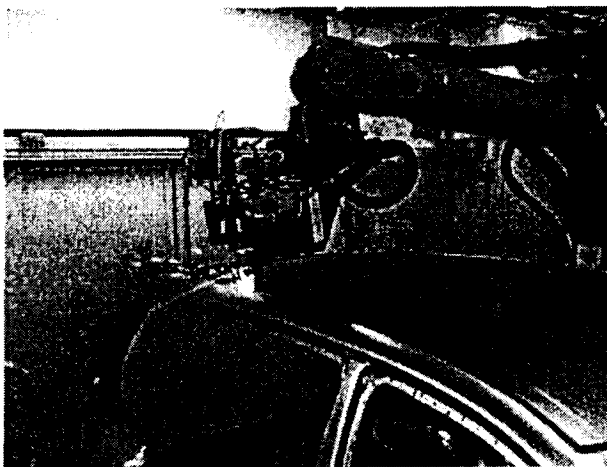


図6 イエテボリのトスランダ工場におけるボルボXC90のレーザ溶接セル

ームの位置がたやすく見つけられるようになっている。このセンシング方式にはいくつかの長所がある。まず第一に溶接位置に接近するパーツが無いこと、第二に高出力の光学機器を使うのに非常にコンパクトであること、このことは溶接位置に非常に接近してシームをみることができ、そのため非常に正確な制御が可能であることを意味している。

6 将来動向について

自動車産業へのレーザの導入実績は多く、ヨーロッパの製造業者ではアメリカや日本のコンペティターに優っていると考えている。とりわけドイツの製造業者は心の中ではこの技術をわがものと考えており、また、噂ではフォルクスワーゲンでは5年以内に完全にレーザ溶接されたボディの自動車を提供できるとのことである。ダイムラー・クライスラー（Daimler Chrysler）でも2000年にはレーザ応用の大きな伸長を見せている。さらに、ボルボでの長く信頼性を持ち続けてきたルーフのレーザ溶接技術を現在ではフォード（Ford）グループへ技術供与も行っている。

参考文献

- 1) Larson, J.K. : The Introduction of Roof Laser Welding in Car Production and the Development of a New Fixation Technique, Proceedings Laser Assisted Net Shape Engineering LANE'94, Erlangen, October 1994, Meissenbach Bamberg Verlag, ISBN 3-87525-061-3
- 2) Helten, S. : Applikation des Laser-MIG-Hybrid-Schweißverfahrens im Aluminiumkarosseriebau des Audi A8, Proceedings European Automotive Laser Application (EALA), Bad Nauheim, January 2003
- 3) Graf, T. and Stauer, H. : Laser Hybrid Process at Volkswagen, Proceedings 55th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), Copenhagen, June 2003, IIW Doc. X II-1730-02
- 4) Korte, M. : Laserstrahlhartloten-ein Fügeverfahren mit Zukunft, Proceedings European Automotive Laser Application (EALA), Bad Nauheim, January 2000
- 5) Hornig, J. : Laserstrahlschweißen am 3er Cabrio, Proceedings SLV Tagungsreihe Dunblechverarbeitung "Fugen von Stahlwerkstoffen", Munich, March 2001
- 6) Larsson, J.K. : The Mature Technique of Laser Proceedings in Body Mnuufacture - Long Term roduction Experiences and Recent Developments, Proceedings Laser Assisted Net Shape Engineering LANE'01, Erlangen, August 2001, Meissenbach Bamberg Verlag, ISBN3-87525-154-7
- 7) Larsson, J.K. and Palmquist, N.T. : A New Roof Laser Welding Concept for the Volvo XC90 - Providing Improved Quality and Extensive Cost Reduction, Proceedings 9th Automotive Laser Application Workshop (ALAW), Dearborn, MI, March 2003