

スチールブランクのレーザ溶接を強固にするレーザアブレーション

R・フィールストラーテ、W・エーリング、F・ピナード、L・クレチュール、A・ピク、Q・イン

レーザアブレーションは Al-Si PHS エッジの高効率で信頼性のある加工法に
なることが証明された。

ここ数年間は、車体組立(BIW)構造用のプレス硬化鋼(PHS)のホットスタンピング加工の利用が盛んだった。PHS(一般にホウ素鋼を使用する)は加工工程の冷却時にホットスタンピングと焼入れを行って、超強力鋼の製造を優れた成形性で容易にする。衝突対策

に関する規制と重量低減のための高強度化とともに、この傾向は今後、世界中で生産される数多くの新車に現われるであろう。

アルセロールミタル(ArcelorMittal)の被覆PHSの一つに、アルミニウム・ケイ素の被覆(Al-Si、登録商標は Alusi)

があるが、これは高温に耐性があり、ホットスタンピングする部品の過剰酸化を防止し、最終部品の良好な耐腐食性を保証している。

Al-Si被覆PHSのレーザ溶接ブランク(LWB)は、ホットスタンピング鋼と特殊加工ブランク技術の利点を組合せた、衝突対策と重量低減の革新的な解決策になっている。すなわち、

- ・超強力Usibor 1500Pは、優れた貫入耐性を中程度の重量で確保できる(Al-Si被覆鋼は超強力だが、伸び率が低い)。

- ・Ductibor 500Pは、エネルギーの吸収に優れている(高い強度と高い伸び率の組合せ)。

- ・レーザブランク溶接によって、ユーザはそれぞれのサブブランクの位置と厚みを選択して最終部品の重量と拳動を最適化できる。

LWB部品は自動車の衝突時におけるBピラー、レール(前と後)、ドアリングなどの部品の安全確保を主要な目標にしている。

レーザ突合せ溶接

Al-Siを被覆したPHS製品のUsibor 1500とDuctibor 500Pは、最適性能を実現するための特別な注意が必要になる。標準的なレーザ溶接加工を行うと、溶融帶には希釈現象が起り、FeAlの合金相が発生し、融合帶のなかの白色に見える二つの領域にはフェライトが



図1 汚染された溶接部。



図2 汚染された溶接部。

生成して冷却ダイヤグラムが変化する。その結果、LWBを使用する際の強度特性は著しく劣化する。溶接部の引張り衝撃試験を行うと、これらの白色領域には破壊が発生する(図1、図2)。

しかし、レーザ溶接時の合金相の発生を防ごうとしてAl-Si被覆を完全に除去すると、酸化層がスタンピングの前工程の熱処理時に形成され、耐腐食性が著しく低下する(図3)。この酸化層は接着性がなく、塗料の剥離を引き起こす。

レーザアブレーション

アルセロールミタルはレーザアブレーションの新しい方法を開発して特許化した。この方法はAl-Si被覆PHSの高機能LWBを製造できるため、加熱成形後の部品は完全に機能する。この方法は部品のすべての領域において、最大強度と最小伸び率、高いエネルギー吸収性、溶接部の無破壊、耐腐食性などユーザの要求を完全に満たす。

この方法はエッジのAl-Siを部分的に除去するエッジ処理を行い、被覆を完全溶接に必要な程度にまで除去するが、被覆の一部を残して良好な耐腐食性を確保する。

このことを実現するために、さまざまな被覆除去法の試験が行われ、最後にレーザアブレーションが唯一の方法として選択された。レーザアブレーションは製品仕様を満たし、品質管理を完全に行うことができる。

被覆構造

Al-Si被覆(図4)は30μmの呼び厚

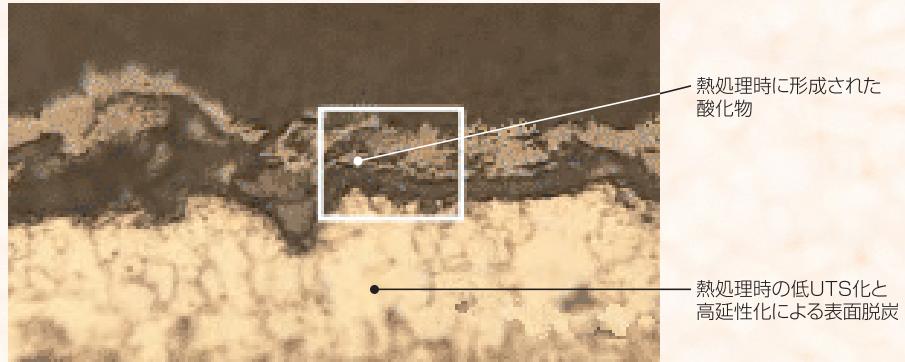


図3 热処理後の被覆をしないPHSの表面。

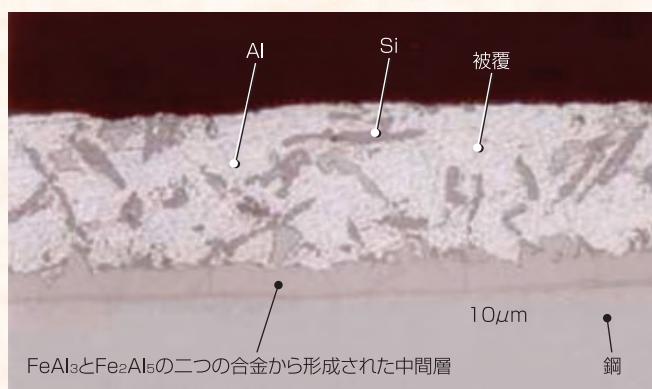


図4 热処理前のAl-Si被覆の詳細。

さ(溶融アルミめっき加工によりわずかに異なる)と90%Al+10%Si(Siが局所的に多くなる)の基本組成でできている。鋼鉄基板との界面の中間層は、5~10μmの厚みとFeAl₃とFe₂Al₅の基本組成を持つ。

Al-Si被覆の融解温度は650~700°Cだが、中間層のFeAl₃およびFe₂Al₅合金は1000~1100°Cの高い溶解温度になる。この中間層の硬度はAl-Si被覆よりも高い。

レーザ装置と加工パラメータの選択

アブレーションは加工物体の表面からの「蒸発、剥離またはその他の侵食

過程による材料の除去」として定義されている。レーザアブレーションはレーザマーキング、レーザ洗浄、レーザ誘起プラズマ分光法(LIBS)などの制御プロセスなどに広く応用されている。レーザの波長、パルス持続時間、パルスエネルギー、エネルギー密度などはアブレーション加工に大きな影響を与える加工パラメータになる。

レーザアブレーションはAl-Si被覆PHSの被覆除去法として選択された。レーザアブレーション以外の方法、とくに機械的な方法を用いると、Al-Si層の除去が完全でなく、中間層が薄い状態で残る。レーザアブレーションは

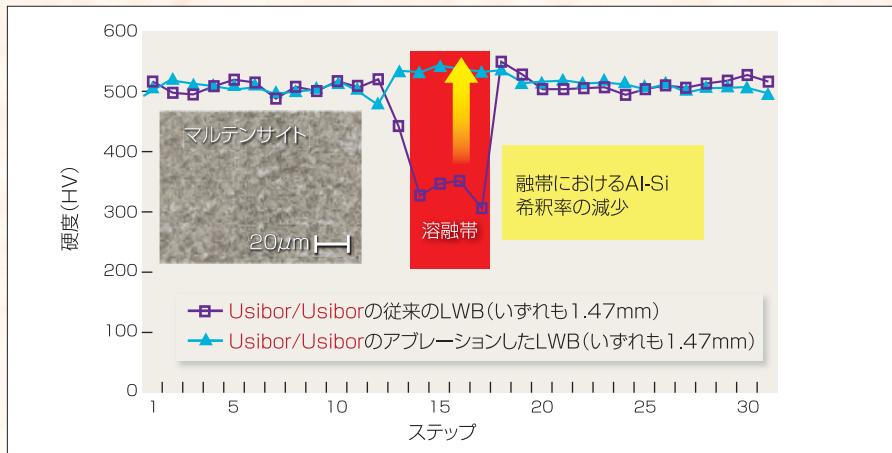


図5 アブレーションしたLWBの増強された溶接継手の特性。



図6 Al-Si被覆PHS Usibor/DuctiborのアブレーションしたLWB安全溶接継手の衝撃試験。

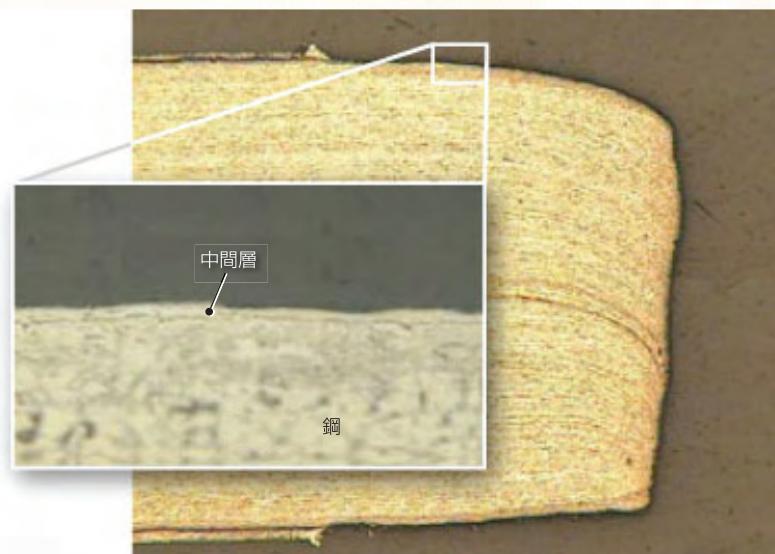


図7 溶接前の1mm Usiborのアブレーションした溶接エッジ。

集光されたレーザビームのエネルギー密度が高いため、中間層の溶解温度がAl-Siのない層よりも高くなり、レーザアブレーションに適した加工温度を得ることができる。

レーザアブレーションは正しい加工パラメータの選択が必要になる。超短パルスレーザ(フェムト秒、ピコ秒)は、材料除去のエネルギー効率が非常に高く、材料の熱伝導も無視できるほど小さいが、平均出力パワーと表面の被覆除去効率に限界がある。ナノ秒レベルのパルス持続時間をもつQスイッチレーザは、材料の熱伝導がいくらか起こるので、材料除去のエネルギー効率は低くなるが、高い出力パワーを確保できる。材料は部分的にレーザ誘起衝撃波によって機械的に除去(破碎)され、溶解と蒸発により除去される部分もある。

これは実際の用途に適している。つまり、アブレーションレーザビームがAl-Si層の継目エッジを連続的に移動すると、Al-Si層は除去されるが、中間層は溶解温度が高いため障壁(硬度がAl-Si層よりも高い)として機能する。被覆が公称値よりも薄くなる場所では、余分な入力エネルギーが中間層に入り、破壊ではなく加熱だけが起こる。

レーザアブレーションの試験結果

Al-Si被覆をレーザでアブレーションする発想は2004年に生まれた。このときに技術としての可能性は証明されたが、当時はレーザ光源の出力が不足していたため、実用性の実証は不可能であった。さまざまな従来技術(レー

ザではない)による試験が行われたが、技術的な目標に到達できる方法は存在しなかった。しかしながら、レーザ光源が進歩して、レーザを用いる被覆除去法は見直しが可能になった。われわれはレーザを用いる方法に戻り、2006年に最初の成果を挙げた。

図7はレーザアブレーションしたエッジの上面と下面を示している。この写真からはAl-Si層がレーザアブレーションにより完全に除去され、中間層は完全に残っていることが明瞭に分かる。

2007年、大規模な開発とプロトタイプの大量生産のために、われわれは独トルンプ社(Trumpf)のマーキング装置、Vector-Markで構成されるレーザステーションに投資した。この装置は80WのNd:YAG ロッドQスイッチレーザに走査ヘッドが装備されている。加工パラメータを正しく選択することで(周波数=25kHz、スポットサイズ径=0.22mm)、アブレーションを0.75m/分の速度で行うことができた。このときは、技術的な目標は達成されたが、投資比が大きく、経済的な目標は達成されなかった。その他にも、アブレーション加工には必要となる小さな軌道に沿って走査ヘッドを前後に動かす場合の動的性能に制約があった。

われわれは三つの制約条件、つまり、装置の投資比、レーザの平均出力、走査ヘッドの動的性能の問題を避けることにした。われわれはロードマップを作成して、より高い出力と四角形スポットの採用を目指した。全てのレーザ技術(ロッド、ディスクおよびファイバ)を調査して、「正しい」レーザ装置を発見



図8 アブレーション加工設備の全体像。

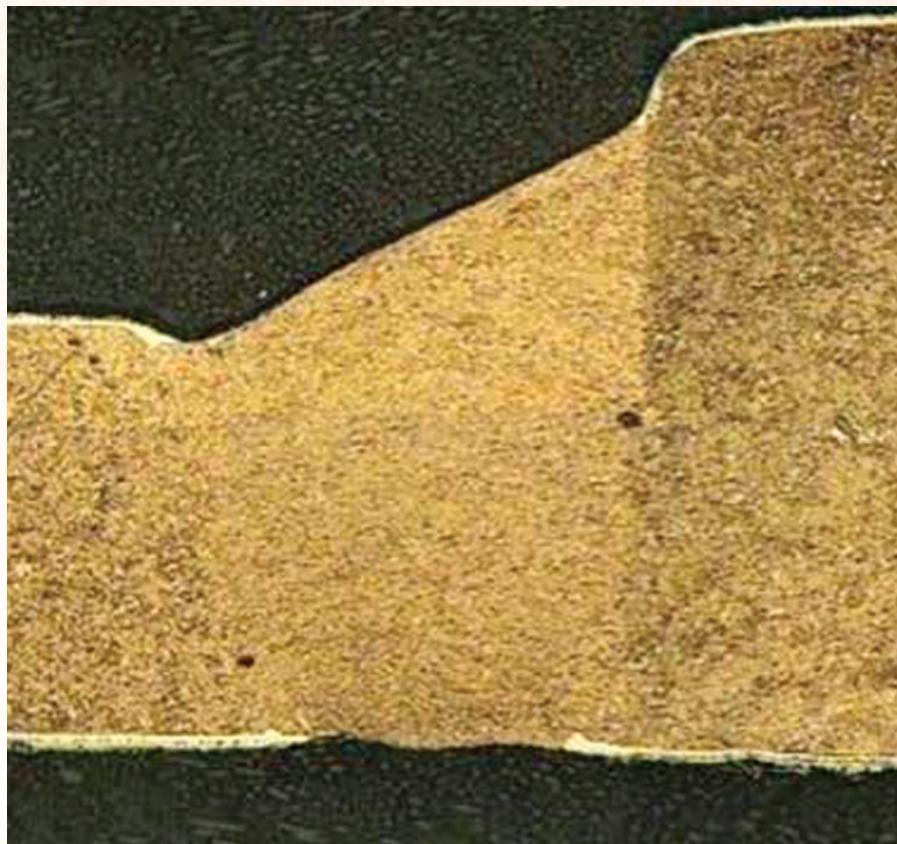


図9 溶接前にアブレーションしたエッジのUsibor-Usiborの溶接。

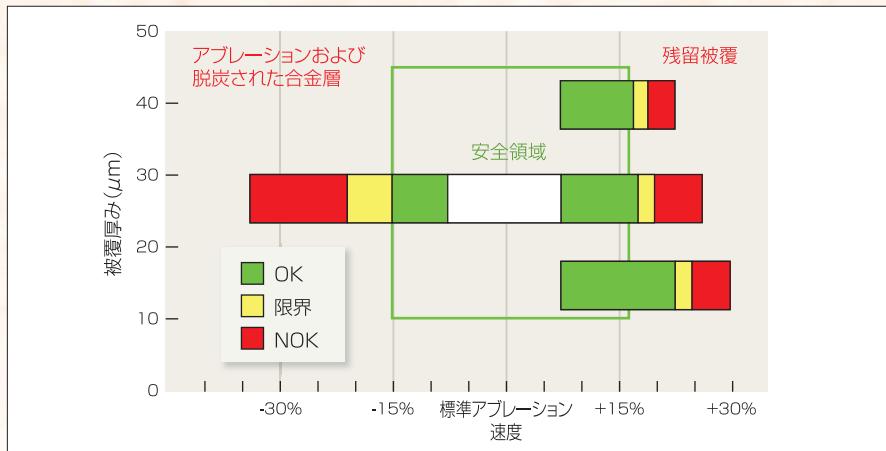


図10 溶接エッジをアブレーションする加工条件の許容範囲。

した。

ソーラ産業の発展のおかげで、独ロフィン社(Rofin)は450WのQスイッチ半導体レーザ励起Nd:YAGロッドレーザを開発していた。予備実験が成功したため、われわれは2007年に、このレーザを採用した産業用アブレーション装置(図8)への投資を決定した。購入した装置はレーザビームが2台の移動レーザヘッド間で時分割され、ブランクの上面と下面のエッジがアブレーションされる。この新しい装置を採用することで、投資比はトルンプ社のVMI装置よりも低くなり、アブレーション速度は8倍に向上した。

レーザアブレーションの利点

レーザアブレーションの第1の利点は溶接部の品質にある。

図9は溶接前のレーザアブレーションを用いてAl-Si層を除去した二つのブランクのレーザ溶接継手を示している。溶接部には白色領域がなく、中間層の存在が観測される。

アブレーションの第2の利点は加工条件の許容範囲が広いことにある。図10は許容範囲を調べるために測定した鋼板のアブレーション速度と被覆厚と

の関係を示している。

第3の利点は、われわれが開発したプロセスセンサを使用すると、オンラインで実時間のプロセス制御が可能になることだ。

結び

PHSから加工されるレーザ溶接ブランクの需要は急速に増大している。Al-Siを被覆したPHSの溶接を完全に行うには特殊な加工法が必要になる。

レーザアブレーションはAl-Si被覆PHS(Usibor 1500PとDuctibor 500P)エッジの溶接前の高効率で信頼性のある加工法になることが証明された。この前処理プロセスは自動車部品の大量生産に使われている。

参考文献

- (1) Vierstraete, R.; Duque Murena, D.; Pinard, F.; Pic, A.: Development of adapted laser weld procedure for high strength press-hardened boron steel Usibor? 1500P and its applications, 67th LMPC, December 11th, 2006, Tokyo, Japan
- (2) Pic, A.; Cretteur, L.; Schmit, F. et al.: Innovative Hot-Stamped Laser-Welded Blank Solutions for Weight Savings and Improved Crashworthiness. Sheet Metal Conference XIII, May 14-16, 2008, Linovia, United States
- (3) Pic, A.; Duque Munera, D.; Cretteur, L.; Schmit, F.; Pinard, F.: Innovative warmumgeformte Loesungen aus Tailored Blanks. In: Stahl und eisen 128(2008), p.59-66
- (4) Ehling, W.; Cretteur, L.; Pic, A.; Vierstraete, R.; Yin, Q.: Development of a laser decoating process for fully functional Al-Si coated press hardened steel laser welded blank solutions. Fifth International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, June 2009, Munich, Germany

著者紹介

ルネ・フィールストラーテ(René Vierstraete)は仏アルセロールミタル自動車応用研究センター(ArcelorMittal Research Centre Automotive Applications)の上級レーザ加工エキスパートを務め、レーザに関する25年以上の経験とNC工作機械に関する30年の経験を持つ。本稿に関するさらなる情報は電子メールまたは電話により入手できる(rene.vierstraete@arcelor-mittal.com, +33 6 26 47 23 30)。L・クレチュール(L. Cretteur)、A・ピク(A. Pic)およびQ・イン(Q. Yin)は同研究センターに、W・エーリング(W. Ehling)とF・ピナード(F. Pinard)は仏およびベルギーのアルセロールミタル・ヨーロッパ・テラードブランクス(ArcelorMittal Europe Tailored Blanks)に所属している。

追記

Usibor, Ductibor およびAlusiはアセロールミタル・グループに帰属する登録商標であり、全世界で保護されている。また、アセロールミタル・グループはアルミニウム被覆鋼板、亜鉛または亜鉛合金被覆鋼板および関連部品の直接または間接ホットスタンピング処理に関する原理を網羅する多数の特許を所有している。