

高出力ダイオードレーザーシステムによる 高効率ホットワイヤークラッディング

ジェフ・フランクス

クラッディング(肉盛り)は、金属基材表面の特性(耐摩耗性、耐腐食性、耐熱性)を改善するために表面を新しい素材の層で覆ったり、使用によって摩耗した材料表面の修復をする目的で使われる。高出力ダイオードレーザーを用いたシステムは、従来のクラッディング技術による方式や他のレーザー方式と比較して著しい利点があるため、この分野での応用が広まり始めている。本稿ではダイオードレーザー技術の概要と共に、ホットワイヤークラッディングシステムにおいて、これらのレーザーをどのように構成することができるかについて述べる。パウダー供給方式のクラッディングに比べ、ワイヤー供給方式のクラッディングは、独自の利点を備えているために価値が高い。

従来のクラッディング方式

クラッディングで、母材とは異なる構成を持つ新たな表面層が形成される。従来のクラッディング技術は、アーク溶接法と溶射法の大きく2つの方式に分類される。それぞれの方式には、使用する材質、クラッド層の品質、加工速度、プロセスの互換性、コスト等の様々な問題点において独自の特長がある。

アーク溶接技術(PTAと呼ばれるプラズマ粉体肉盛など)では、母材表面を融解させるのに電気アークが使用され、通常、シールドガス中で作業が行われる。クラッド素材は、ワイヤーまたはパウダー方式にて供給され、それらもアークによって融解され、それによってクラッド層が形成される。溶接

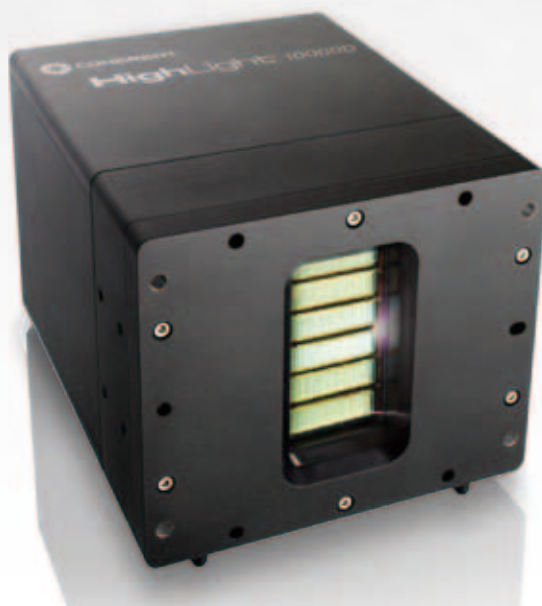


図1 Coherent社製HighLight 10,000Dはコンパクトな高出力(10kW)ダイオードレーザーシステムであり、幅広い範囲のビーム形状(1~12mmのビーム幅×6~36mmのビーム長さの組合せ)にて、具体的なクラッディング加工の要望に最適な対応が可能である。

技術により、非常に強度が高く、衝撃特性に優れ、ピンホール(気泡のようなもの)の少ない完全溶接された金属結合が得られる。この方法では、材料付着速度が高く(これは加工処理速度が高いことを意味する)、投資コストも比較的安く抑えられる。

アーク溶接クラッディングの1つの大きなマイナス点は、材料に及ぼす高温で、それにより機械的な歪みを生じさせるので、クラッディング後に後処理が必要になることも多い。その他にも、母材が高温になるため、クラッド材料と混ざってクラッド層が希釈されること(従って、純粋にクラッド材料だけで構成されない)も大きなマイナス点である。これにより、クラッド層に本来求めていた特性が減じられることになる(耐腐食性、耐摩耗性など)。この対処法として、複数のクラッド層で覆ったり(これによって連続する層ごとに希積分が少なくなる)、1つの層自体を

厚くする事があるが、これを行うと、その分時間がかかることになり、材料のサイズが変わるといった問題が発生する。

溶射法は、クラッド材料を炎または電気により融解し母材に噴霧する。母材は熱せられないため、部品の歪みの可能性は最小限に抑えられる。溶射法の最大の欠点は、クラッド層と母材との結合が本質的に冶金的な結合ではなく機械的な結合であることである。この事はクラッド層の付着力を弱め、耐摩耗性が低くなる。その一方、一部のプラスチックも含め高熱に耐えることのできない材料でも被覆が可能となる。

レーザークラッディングの長所

レーザークラッディングは、パウダー状あるいはワイヤー状で供給されるクラッド材料をレーザーによって溶解し、そのクラッド材を母材基板の一番外側の表面として形成する。レーザークラッディングは従来の方法と比較して、い

くつもの独自の長所がある。アーク溶接技術と比較した場合、レーザークラディングは熱による歪みが少なく、母材金属によるクラッド材料の希釈が少なく、またピンホールが少なく、そして表面の均一性に優れる。これらの特性は後処理の必要性を無くし、つまり、そのための時間やコストを大幅に削減する。そしてレーザー工法が生み出す高い冷却効率により、被覆の粒子がより細くなり耐腐食性が高まる。さらに概してどの出力レベルにも適用されることで材料付着速度の利点がある。それに対して、多くのアーク溶接工法では、クラッド品質は出力および材料付着速度の増大とともに低下する。

レーザー技術や溶射技術はいずれも、材料への過熱を避け、希釈を最小限にとどめることができる。しかし、溶射とは異なり、レーザークラディングは、母材との真の冶金的な結合を形成するため、付着性と耐摩耗性に優れている。さらにレーザーで得られた冶金的な結合被覆は、機械的なコーティングによくあるひび割れや層間剥離を抑止する。

高出力ダイオードレーザー技術

レーザークラディングが本来持つ利点にもかかわらず、従来のレーザータイプは、必ずしもこれらの利点がすべて発揮されているとは言えず、出力特性、運転コスト、運用のしやすさの点で大きな問題も抱えていた。この用途に対するより最適な手段へのニーズに対応するため、高出力ダイオードレーザー技術を用いたクラディングシステムがここ数年導入されてきている。

高出力ダイオードレーザーシステムは、ダイオードレーザーバーで構成されている。ダイオードレーザーバーは、シングルモノリシック半導体基板上に実装された多数の個々のレーザーエミッターで

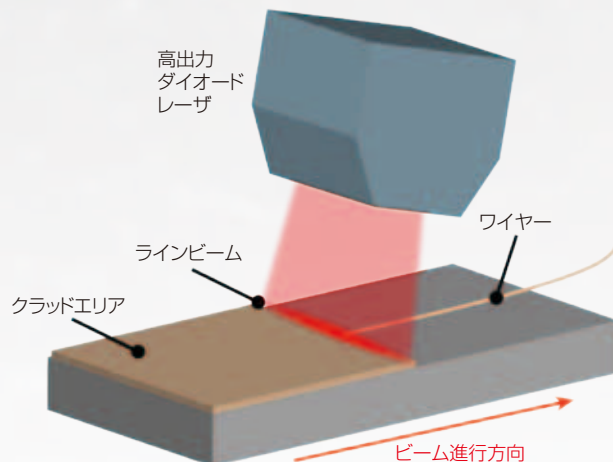


図2 ホットワイヤークラディングでは、ワイヤーはビームの長軸に対して垂直に供給される。クラッド材料融解プールは、ビーム長全体を覆うように迅速に広がる。

構成されており、総出力は100Wを超える。これらの直線上のバーを順番にさらに水平あるいは垂直方向に積み重ね、高出力ダイレクトダイオードレーザーシステムとして数キロワットレンジの総出力を得る。光学系は、これらの個々のバーをすべて1つのビームとして出力をまとめるために使用される。

現在の高出力ダイオードレーザーシステムは、クラディングのニーズに十分対応した出力とビーム特性を備えており、その運用面においても、高い柔軟性を持っている。たとえば、コヒレント社製HighLight Dシリーズは、最大10kW（波長は、975nm）の出力が可能なので高い生産性のクラディングに十分対応できる（図1）。さらにこのレーザーは、そのライン・シェープ・ビーム（エネルギー密度が均一な線形状ビーム）のサイズを簡単にカスタマイズでき、被覆の幅と厚さに応じて高精度で大面積の高速加工が可能である。それに対して、他の多くのレーザーは小型の丸いビームであるために、高速、大面積のクラディングには十分な対応ができない。

またダイオードレーザーシステムは他のレーザータイプに比べて、より理想的な波長特性を持ち、いくつかの実用的な利点がある。特に固体レーザー（DPSS）、ファイバーレーザーや遠赤外CO₂レーザー

よりも短いダイオードレーザーの波長出力は、下部の母材やクラッド合金に吸収されやすい。このことは、ダイオードレーザーは、CO₂レーザーよりもはるかに少ない出力でクラッド材料を被覆させることができることを意味する。

さらにダイオードレーザーは、他のレーザータイプに比べてコスト面で大きな利点があり、特に、CO₂レーザーやダイオード励起Nd:YAGレーザーまたはファイバーレーザーに比べて、大幅に運転コストが低く、電氣的効率が低い特徴がある。材料への波長吸収率の良さを加えて考えると、さらに運転コストを下げ、二酸化炭素排出を低く抑え、さらに材料付着効率が上がる利点が見える。

ホットワイヤークラディング

高出力ダイオードレーザーのライン・ビーム出力は、特にホットワイヤークラディングに適している。具体的には、このプロセスはレーザー相互作用が発生する前に、電流がこのワイヤー内を通過時に抵抗熱を生じる（アークを制御するように注意深く制限されている）。その後レーザーは、このワイヤーを完全に融解しレーザー照射域に到達するまでクラッド材料は迅速に広がる（図2）。

概してホットワイヤークラディングには、パウダーをベースにしたプロセス

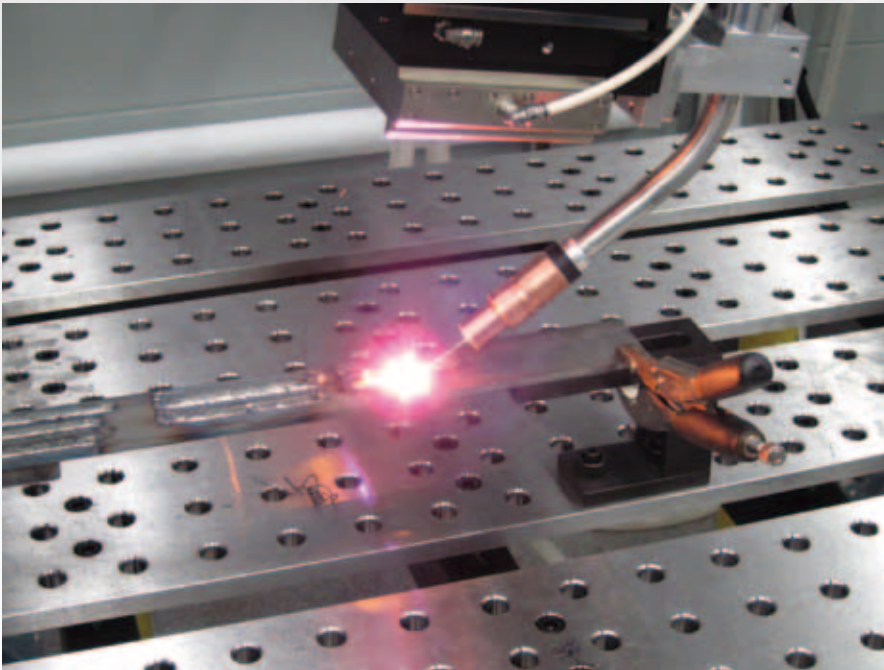


図3 Coherent社製 HighLight Dレーザの6mm×12mmビーム形状による1本のホットワイヤークラディング・セットアップ。



図4 低炭素鋼へのInconel 625クラッドの断面積。ホットワイヤークラディングがプラズマ粉体肉盛(PTA)を使用した場合に比べ、低い希釈(ここでは、8.5%)で均一なクラッドが得られていることを示している。クラディングは、8.5kWのレーザ出力、1270mm/分の速度、12.7m/分のワイヤー供給速度で行われた。

に比べて、いくつかの利点がある。まず、使用された材料の捕捉効率が100%であることである(つまり、クラッド材料がすべて溶解し、クラッド層になる)。一方、パウダークラディングにおける捕捉効率は、通常80%~90%の範囲である。また、ワイヤー状にして提供される原材料のコストの方が通常、パウダー状のそれに比べて低価格である。さらに、ワイヤーの保管と取り扱いの方がメタルパウダーに比べて、簡単でコストがかからず、ワイヤーの方

がパウダーに比べて、健康上、および安全上の懸念が少ない(例えば、微粒なメタルパウダーの吸引等)。

プロセス自体、ワイヤーをあらかじめ過熱しておくことで、全体の材料付着率を約50%(あらかじめ過熱しない場合に比べて)向上させることができ、クラッド材料をパウダーで供給する場合に比べて、付着率は実質高くなる。具体的には、直径1.6mmのワイヤー1本を使用するだけで、ここで述べたシステムを使用して最大15kg/時間の材料

付着率を達成することができる(図3)。さらに複数のワイヤーを使用(お互いに平行に配置)することで、さらに材料付着率を上げることができる。

ホットワイヤークラディングでは、また、通常、10%以下の低希釈でのクラディングが得られる。これは、パウダークラディングに比べ若干高い値だが、実質的にプラズマ粉体肉盛(PTA)処理で得られる結果より優れた値である(図4)。これらの特性から、総合的に判断すると、厚みがある肉盛(約3~4mm)で高い材料付着率を欲する場合は、ホットワイヤークラディングが最良のソリューションとなる。これは、耐摩耗性を高める上で非常によく使用される最適な厚さである。

結論

結論として、ホットワイヤークラディングは、部材の低歪み、最小限の希釈率、母材とクラッド層の真の冶金的結合等、レーザクラディングのすべての長所を持った費用効果の高い技術であるといえる。ただし、これらの長所を実用で実現するには、レーザとワイヤー供給システムを最良の結果が得られるように設計する必要がある。さらに、すべての個々のクラディング用途において、いつもホットワイヤークラディングが最良のソリューションであるとは限らないことを理解しておく必要がある。つまり、個々の特定の用途において最良の結果を得るためには、用途開発支援と一連のソリューションの両方を提供してくれるレーザクラディングシステムサプライヤーと作業をする事が重要である。

著者紹介

ジェフ・フランクスはコヒレント社(Coherent)のマーケティングディレクター。
e-mail: jeff.franks@coherent.com

ILSJ