

高出力青色半導体レーザーを目指すプロジェクト

サイモン・ブリテン、フォルカー・クラウゼ

未知なる領域に踏み出す、先進的な銅レーザー加工

ドイツ政府が助成するプロジェクト「EffiLas」の一環として、独レーザーライン社(Laserline)は、レーザーダイオードバーに基づく、世界初となる高出力青色半導体レーザー光源を開発している。レーザーダイオードバーを製造する独オスラム社(Osram)と共同で、近赤外(near IR)波長向けに確立されたパワースケーリング技術を、初めて青色波長に適用した。本稿では、最大1000Wを達成する高出力青色半導体レーザーの開発に至った動機、その技術、最初の応用分野について説明する。

この数十年間で、連続波(CW: Continuous Wave)出力レーザーは、溶接、クラディング、表面処理、硬化、ろう付け、切断などを網羅する、現代製造工程における多用途ツールとして確立された状態を築き上げてきた。科学的技術から一般的な生産ツールへの移行が促進されたのは、新しいレーザー光源に関する研究がたゆみなく続けられ、それによって新たな用途が絶えず

開拓されてきたからである。

高出力CWレーザー技術の開発が始まったのは、2000年以前のことで、波長 $10.6\mu\text{m}$ の CO_2 レーザーと 1064nm の半導体励起Nd:YAGレーザーが実現された。しかし、 CO_2 レーザーはファイバ伝送が不可能で、Nd:YAGレーザーは輝度とパワースケーリング能力が限定されていた。2000年以降になると、ファイバレーザーが、ファイバ伝送可能な高輝度レーザーとして登場し始め、今では多くの用途において、 CO_2 レーザーに代わる手段となっている。

高反射率材料の課題

これらのCWレーザーは主に、およそ $1\mu\text{m}$ の波長で動作する。この波長は、例えば吸収率が50%を超える鋼鉄の加工に適しているが、 $1\mu\text{m}$ での吸収率が5%未満の銅などの材料に適用するのは非常に難しい。このような高反射率の材料を加工するには、高いレーザー強度によって材料に蒸気チャンネルを作

成することにより、吸収率を高めることが行われる。しかし、この方法での銅加工は、深く浸透するものに限られ、本質的にスパッタ発生リスクを伴うほか、エネルギー堆積の制御が難しい。

500nm以下の波長のほうが、吸収率が50%以上にまで大きく高まるため、銅の加工にはるかに適している。この波長範囲の固体レーザー光源としては、周波数二倍化によって515nmと532nm(緑色域)の波長を達成するものが、市場にいくつか提供されている。しかし、これらのレーザー光源には、励起レーザー波長の一部しか結晶によってターゲット波長に変換されないプロセスが用いられる。この変換プロセス(高調波発生)では、出力損失が高くなり、冷却要件が複雑になり、高度な光学設定が必要になってしまう。

この技術的課題は、早急に解決する必要がある。温室効果ガスの削減という社会問題と密接なつながりがあるためである。内燃機関を電気エンジンに置き



図1 高出力青色半導体レーザー用ダイオードバーのパワースケーリングの概念。



図2 450nmの波長で銅板を溶接する様子。

換える動きにより、銅を加工するための信頼性の高い手段に対する莫大な需要が生まれる。銅は、eモビリティや、風力タービンなどのその他の再生可能エネルギーシステムに用いられている。

加工効率の改善を目指して

この課題の解決に向け、レーザーライン社はオスラム社をはじめとするパートナー企業とともに、世界初となる波長450nmの高出力青色半導体レーザーを開発することを目的に、「BlauLas」プロジェクトを2016年に開始した⁽¹⁾。他のレーザー光源のコンセプトとは対照的に、GaN(窒化ガリウム)材料をベースとする半導体レーザーは、上述の周波数二倍化を行うことなく、直接450nmの照射が可能であるため、高いエネルギー効率が得られる。450nmの波長により、銅材料に対する加工効率は、約1 μ mの波長と比べて20倍に向上する。

長期にわたって実証されているパワースケール手法に基づき、レーザーライン社はオスラム社のレーザーダイオードバーを使用して、ヒートシンク上に青色レーザーダイオードバーを取り付け、電気的に接続し、冷却している。他の青色レーザーは、シングルエミッターで出力が5W未満であるのに対し、ここでは1つのダイオードバーで、すでに最大90Wの出力レベルが生成される。特殊な光学部品を使用することにより、層状にスタックした複数のダイオードバーを結合したり、さらには2つのスタックを組み合わせることも可能である(図1)。

プロジェクトでは昨年700Wでビーム品質が約60 mm*mradの高出力半導体レーザーにより、このアプローチの有効性が実証されている⁽²⁾。加工対象物へのレーザービームのデリバリには、600 μ mのファイバと、従来型の集光

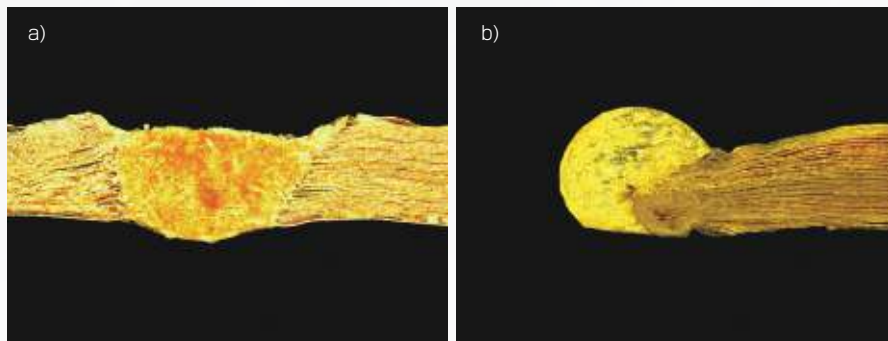


図3 580Wのレーザー出力と毎分2mのフィード速度で溶接した、(a)突合せ溶接と(b)エッジ溶接における、34層の銅箔(それぞれ11 μ m)の間の接合部を示す断面図。

光学部品が用いられている。集光光学部品の反射防止コーティングは、青色波長に合わせて調整した。プロジェクトの最終的な目標は、1000Wを超えるCW発振の高出力青色半導体レーザーを開発し、それによって銅加工以外の新しい用途を開拓することであるが、目標は達成し、本年より1000Wの発振器が市販化された。

450nmの波長を適用することにより、熱伝導モードでの銅材料の溶融が可能となり、薄い銅材料に合わせて溶融プールの形状をきめ細かく調整することが可能となる(図2)。安定したエネルギー堆積と熱伝導を実現するプロセスは、キーホール溶接モードの高い圧力が、材料の切断やスパッタの発生につながる用途において、特に重要である。積層した銅薄箔の溶接では、積み重ねられた銅箔のたわみによって生じるギャップが制御できないために、

そのような望ましくない結果が生じる可能性がある(図3)。

580Wのレーザー出力と毎分2mのフィード速度で、積層銅箔の突合せ溶接を行うと、ポロシティを最小限に抑え、アンダーカットを低減しつつ、スパッタの無い0.8mm以上の溶接ビード幅を生成することができる。積層銅箔のエッジにレーザーを照射するフィレット溶接では、銅箔端部が溶融して広い断面積が得られ、固体部分に完全に接着させることができた。突合せ溶接とエッジ溶接の両方で、電気伝導性にも非常に優れた、機械的に完璧な接合部が得られる。

今後1kWを超える出力を達成する青色レーザーが実現できる見通しで、出力とビーム品質はさらに高められる可能性があることから、レーザーライン社は、半導体レーザーが近い将来、中～高出力の材料加工における主要なフォトニクスツールになるだろうと確信している。

参考文献

- (1) See <https://goo.gl/KVJFnn>.
- (2) A. Balck et al., "700 W blue fiber-coupled diode-laser emitting at 450 nm," Proc. SPIE, 10514, 1051403 (Feb. 19, 2018).

著者紹介

サイモン・ブリテン(SIMON BRITTEN)は、独レーザーライン社(Laserline)のイノベーション/新規事業開発部門に所属、フォルカー・クラウゼ(VOLKER KRAUSE)は、同社創設者の一人で社長(技術担当)。email:simon.britten@laserline.com URL:www.laserline.com

記事編集協力

レーザーライン(株)営業部 email:info-japan@laserline.com URL:www.laserline.jp

ILSJ