

DOE回折光学素子を使用した レーザークラッディング技術の開発



特集
接合科学研究所
産学連携シンポジウム

大阪富士工業「先進機能性加工」共同研究部門
特任助教 林 良彦氏

1. はじめに

大阪富士工業「先進機能性加工」共同研究部門は2013年接合科学研究所に設立した。大阪富士工業(株)の溶射、肉盛溶接等の表面改質技術と大阪大学接合科学研究所のレーザー加工技術を組み合わせることで、対応できる溶材や部材を拡大することが目標である。レーザーと金属粉末を使用した高強度で低入熱なレーザークラッディング技術を適用することで入熱を制御したり、レーザー波長を変える事で従来手法ではできなかったコーティングを実現することが可能である。その研究の一環として2018年より進めているDOE(回折光学素子)を使用した研究開発について紹介する。

解説記事のアーカイブが下記リンクよりご覧頂けます
<http://seisan.server-shared.com/71-3-pdf.html>

2. DOEとは

DOEとは、レーザーを通過させるだけで、多点スポットへの変換が可能なスリットの一種である。図1で示すように小さなスポットを複数個に照射するには複数台のレーザーが必要でありレーザー強度や光路の調整が1つ1つ必要となる。DOEを使用すれば、1台のレーザー装置で数百個のレーザースポットをつくることができ、1つのスポット毎に

多数の光を作る従来技術の例

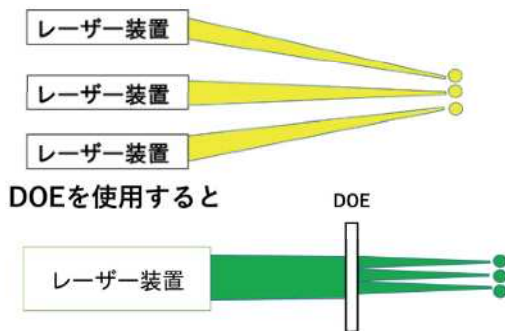


図1 DOE説明図(古河電子工業参照)

光強度分布の設定が可能である。またスポットの配列を自由に設定できるので、強度分布を持った矩形ビームを容易に実現できる。本研究で使用する装置ではDOEを入れ替えるだけで、レーザー照射部の形状と強度分布を変更することが可能である。

3. DOEを使用したパウダーベッド方式によるクラッディング試験

図2にパウダーベッド方式によるクラッディング試験の模式図を示す。基材(SS400)上に0.5mm厚で敷いた粉末の上から、DOEで成形したビームを照射した。

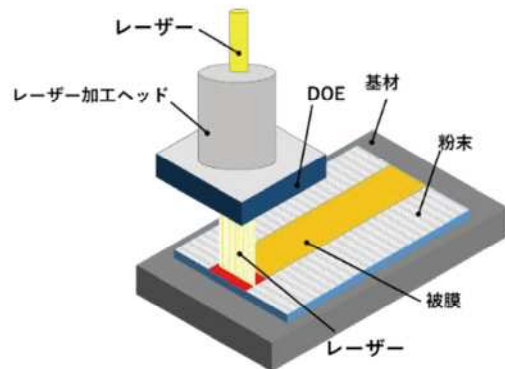


図2 パウダーベッド方式によるレーザークラッディング法

図3に熔融池と断面観察結果を示す。(a)は10x2mmの矩形ビームの全面に均一にレーザーを分布させたフラットビームの結果、(b)は両端を中央

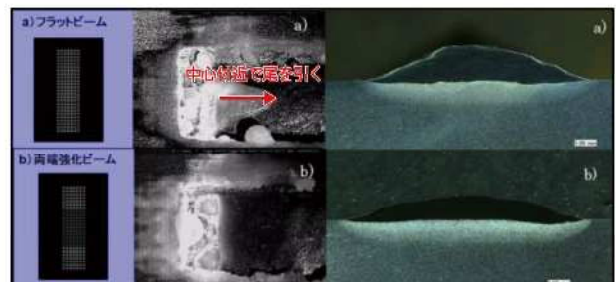


図3 パウダーベッド方式によるクラッディング試験
(a)フラットビーム (b)両端強化ビーム

の2倍の強度にした両端強化ビームの結果である。なお、今回175スポットを並べて矩形ビームとしている。

パワー密度のフラットなビーム(a)では溶融池が中心から大きく尾を引く状態が見られた。それに対して両端を強化したビーム(b)では最初は二つに分かれた溶融金属流が繋がり一つの溶融池を形成し、尾を引かなくなっていることが確認された。このことは入熱がフラットになっていることを示すと考えられる。

また断面観察においても、フラットビームでは中心の高い山なりのビードが形成されるのに対し、両端強化ビームでは、比較的フラットなビードを得ることができた。フラットなビードは複数パス、複数層重ねる際より少ないオーバーラップで平坦な皮膜を形成することが可能であることから照射するレーザーのビームプロファイル制御を行うことは成膜面積が大きくなる程レーザークラディングにおいて施工効率がより優位になっていくと考えられる。

4. 熱解析シミュレーション

現状ではDOEの製作には費用がかかる為、シミュレーションでの検討が必要である。溶接熱伝導解析ソフトQuickWelderを使用して簡易にシミュレーションすることを試みた。ビームの密度分布を変えてシミュレーションを行い、実際に得たい入熱形状との比較を繰り返すことで目的の強度分布を近似的に求めることができる。

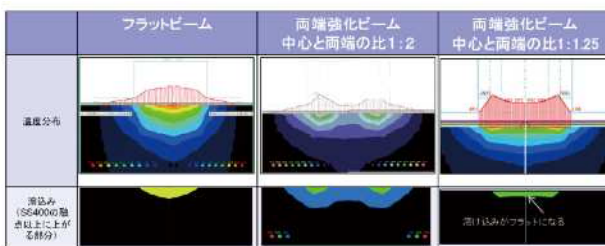


図4 熱伝導シミュレーション結果

粉末供給方式のレーザークラディングではレーザー照射により形成される溶融池、または粉末の融点以上に加熱された母材表面上で粉末を溶融し、成膜する。

よって、レーザー照射による母材表面の温度分布をシミュレーションすることで溶け込み形状が予測できると考えた。

図4に熱伝導シミュレーションの結果を示す。上段は表層の温度分布、下段は基材のSS400の融点以上に上昇している部分の溶け込み形状を示している。

このシミュレーション結果において、フラットビームでは中心付近に熱が集まり、溶け込みが大きくなる。両端強化ビーム(1:2)では、先述のパウダーベッド方式では良好な皮膜を得る事ができたが、母材両端の入熱が大きくなり、溶け込みが過剰になることが予測された。そこでシミュレーション上で中心と両端の比率を変える事で表層の熱分布および溶け込みが長手方向にフラットになるよう検討した。その結果比率を1:1.25とすることで溶け込みがフラットになることが予測できた。

5. DOEを使用したLMD方式によるレーザークラディング試験

このようにシミュレーションしたDOEを作製し実際にレーザークラディングを行い、断面観察を行った。シミュレーションを元にした各種DOEをレーザーヘッドに挿入し粉末を供給しながらレーザーを照射し皮膜を作製した。断面観察と溶融池観察結果を図5、6に示す。

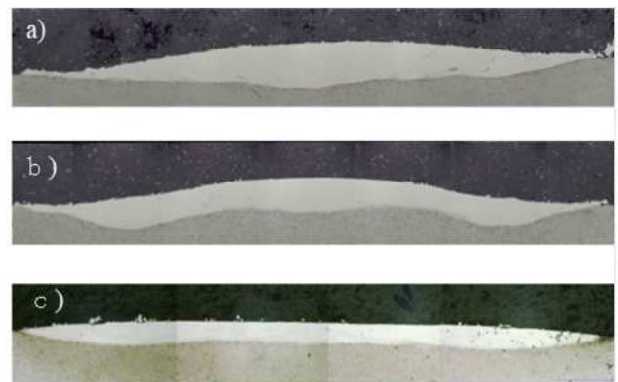


図5 断面観察結果 a)フラットビーム、b)両端強化ビーム1:2、c)両端強化ビーム1:1.25

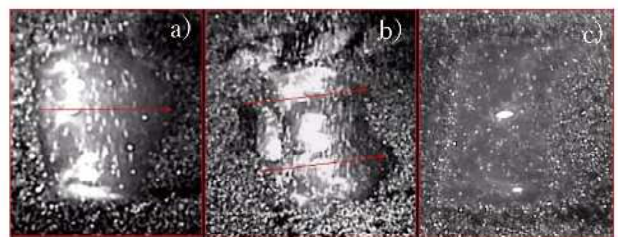


図6 溶融池観察結果 a)フラットビーム、b)両端強化ビーム1:2、c)両端強化ビーム1:1.25

フラットビームでは中心付近で溶け込みが生じており、溶融池が中心で尾を引いていることがわかる。それに対して、両端強化ビーム 1:2 では両端が溶け込んでいる。両端強化ビーム 1:1.25 になると溶融池が長方形になり、溶け込みがフラットになることがわかる。ビームプロファイル制御により溶け込みが変化することが確認できた。

6. まとめ

DOE を使用した幅広レーザークラディングの技術開発について研究を行った。その結果、レーザーそのものが均一な強度分布を持っていても入熱分布は均一ではなく中心付近に集中しやすいことが分かった。両端の強度を上げることで溶け込みの平均化を試みた。その結果パウダーベッド方式では溶け込みや皮膜形状をフラットにすることができたが、LMD 方式では、1:2 の比率の両端強化ビームでは両端の溶け込みが深くなりすぎるため、より細かな調整が必要となった。シミュレーションによって最適値を予測した結果、1:1.25 で良好な皮膜を得ることが実験的にも確認された。

DOE によりレーザーの強度分布を制御することで、入熱分布を補正し、高品質なレーザークラディングを行えることが分かった。

7. おわりに

大阪富士工業は大阪大学接合科学研究所と共同研究部門としては8年間、レーザークラディングの研究開発を始めてからは10年間共同研究を行って

きた。従来の固有技術であった肉盛溶接、溶射で出来る枠を越えた大阪富士工業独自の表面開発技術を検討するために、肉盛溶接よりも低入熱で低希釈、溶射よりも高強度な被膜を目指すことで、製品への適用範囲を広げることができた。今回紹介したDOEを使用したレーザークラディングについては、SIP 戦略的イノベーション創造プログラム「革新的設計生産技術」に参画した際に、大阪大学の装置を使用することで研究開発を進めてきた技術である。2021年からは戦略的基盤技術高度化支援事業(サポイン)にDOEの使用を検討している。このように大阪大学の先端に行く技術を使用しプロジェクトに参画することで、新しい技術を生み出し、それをもとに新たなプロジェクトに参加することができるのも、産学連携の強みではないかと考えられる。現在、レーザークラディングは以前よりも珍しい技術ではなくなったが、レーザーの高出力化や新たな波長(青、緑)のレーザーの登場によりできることがさらに広がると考えている。レーザーの進化に伴い、大阪大学と共に表面改質技術の革新を進めていきたい。

参考文献

- 1) 林ら, 溶接学会全国大会概要, 平成30年度春季
https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2018s.0_112
- 2) 林ら, 溶接学会全国大会概要, 平成30年度秋季
https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2018f.0_432
- 3) 林ら, 溶接学会全国大会概要, 平成31年度秋季
https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2019f.0_294

