

用途が拡大するレーザ付加加工

ゲイル・オーバートン

レーザとドナー材料を使用して部品の試作と修復を行う加工プロセスは「レーザ付加加工」と総称されている。この加工法は数十年にわたる研究の結果、現在は用途が広がり、環境にやさしい工学としてのニーズが拡大している。

レーザクラッディング、レーザ付加加工、付加層加工などの名称で呼ばれるレーザ加工法は、レーザを使用して基板上に材料を蒸着し、あるいは材料の層を形成して、まったく新しい3次元(3D)物体を創成する。この方法は材料加工の分野から高く評価され、その用途が拡大している。本年は少なくとも二つの新しいワークショップの開催が計画されている⁽¹⁾。

レーザとドナー材料を部品の修復、表面のパターニングと強化、高速製造

などに応用する方法は、数十年にわたる研究開発が行われ、現在は産業と商業分野への採用が増加している(www.laserfocusworld.com/articles/349339を参照)。採用増加の理由としては、レーザ溶接の場合と同様に(LFWJ 2008年12月号 p.24またはwww.laserfocusworld.com/articles/341585を参照)、成形されたビーム形状をもつ高出力レーザシステムの登場や加工部品の品質と寿命の改善に加えて、環境にやさしい加工技術の必要性、つまりエネルギー消費、有毒物質の放出、材料の浪費の低減へのニーズなどが挙げられる。

名称の定義と成功例

レーザクラッディングは部品の表面上に比較的薄い層(例えば3~4mm)を被覆して表面の性質を改善する。付加加工(AM)は機械的性質の改善、既存の構造への材料の付加、自由形状材料の形成などの用途に使われる。

英クランフィールド大学(Cranfield University)溶接工学研究センターの

図1 レーザクラッディングの応用では、粉体が単数または複数のノズルを通して吹き付けられ、中心のレーザビームからの熱を使って焼成される。
(資料提供:トルンブ社)

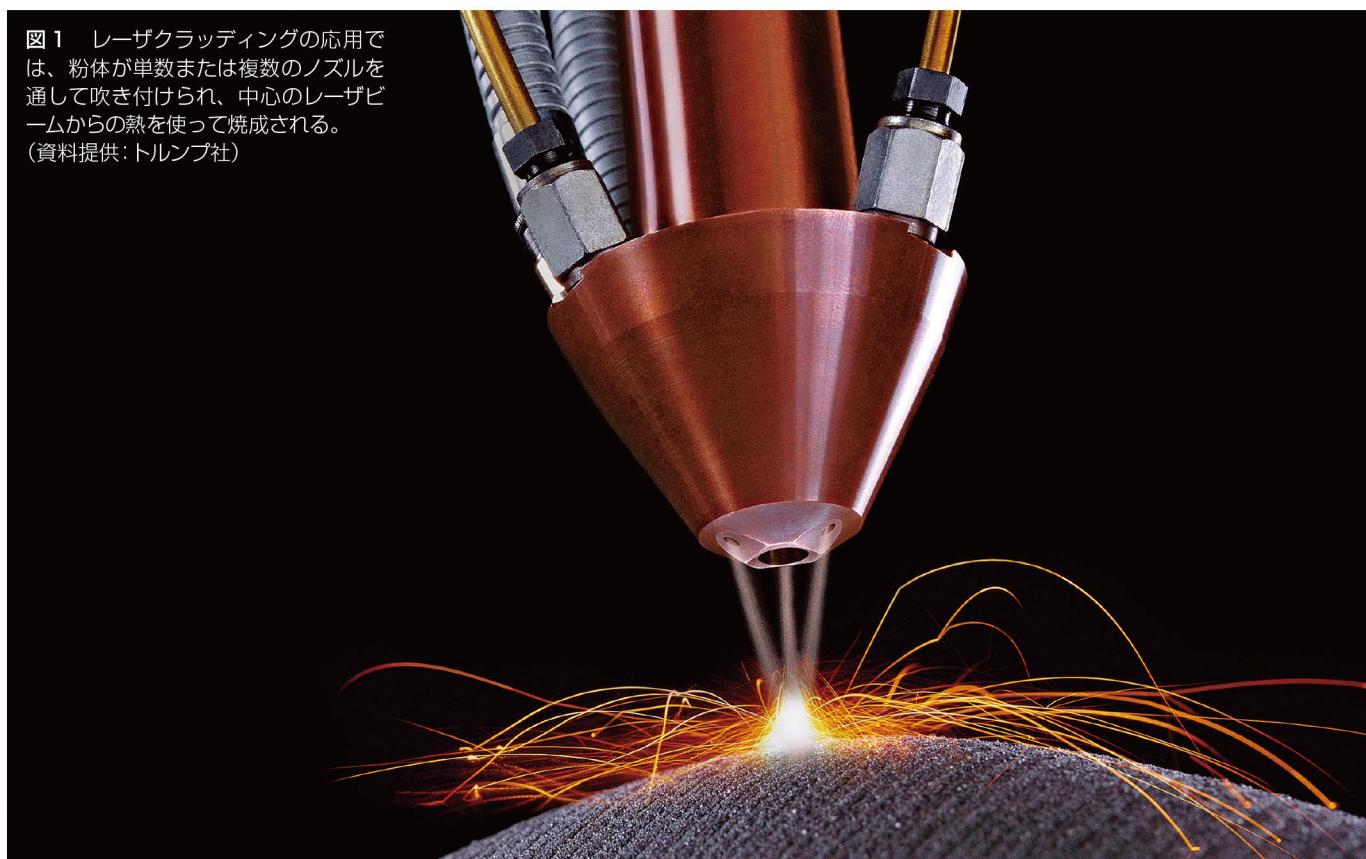




図2 高出力レーザを使用しプラスチックまたは金属の粉体を層ごとに融解して、特注の航空機用タービン部品(左)と歯科用インプラント(右)がCADモデルから直に作製されている。(資料提供:3T RPD社)

教授で、今年のAILUワークショップの座長を務めるスチュワート・ウイリアムズ氏(Stewart Williams)は、「レーザクラッディングには、例えば、金属パイプの内面に腐食耐性をもつ材料を被覆する用途がある。この方法は基板材料の保護ばかりでなく、高価な耐腐食性合金の使用を回避できる。よく知られたAMの用途には、タービンブレードやエンジンシールなどの高価な部品の修復、タービンブレードの端部(ブレードチッピングと呼ばれる)への高性能材料の被覆、部品の製造などが含まれる。AM部品はCADシステムを用いて直に製造されるため、それぞれの部品を用途に合わせて容易に変更することができる。このことはインプラントなどの医療への用途では重要なことになる」と語っている。

ウイリアムズによると、レーザAMは最も成長している分野であり、英国やその他の欧州において多数の研究が推進されている。彼は「現在の民間航空機は炭素繊維複合材料を大量に使用し、最新の航空機では50%の割合にまで達している。残りの材料の多くはチタンを使用して腐食の問題を回避している。部品を機械加工する標準的な製法の場合、出発材料として使われる金属塊の90%が削りくずの容器に入る。

このような場合にAMを応用すると、捨てられる材料は10%ほどになり、エネルギー消費とCO₂放出は劇的に減少する。このことがAMの成功の鍵になる」と述べている。

米サウスダコタ採鉱技術スクール(South Dakota School of Mines & Technology)の付加加工部長で、LIAワークショップの共同座長を務めるジェームス・W・シアーズ氏(James W. Sears)は、「レーザAMの成長は部品メーカーから始まったが、素晴らしいことは、米キャタピラー社(Caterpillar)のような大企業が石油掘削用のラムパイプ被覆、被覆の修復、部品の製造などの用途への大量の利用を始めたことだ。プロトタイピングなどの用途での使用量は年間でも1トンほどにしかならないが、これらの用途の多くは月間で数トンの量になる」と語っている。

レーザクラッディング

レーザクラッディング(被覆)の応用では、レーザビームの近くまたはその内部において、ノズルを通して粉体材料を流し、あるいはワイヤやドナー材料を供給して、はめ込みや吹き付けを行う(www.laserfocusworld.com/articles/328496を参照)。供給された材料は2次基板上で焼結や溶解が行われ、レーザの反

復走査によって層構造になる。

レーザ支援による金属の修復と被覆にはレーザ応用粉体(LAP)法とレーザ応用ワイヤ(LAW)法があり、1~4kWのパワーレベルのレーザが使われる。独トルンプ社(Trumpf)の製品部長を務めるクリスチャン・フォエール氏(Christian Foehl)は、「ニッケル母材の中の炭化タングステンなどの表面硬化材料は、典型的な被覆であり、石油やガス掘削部品や農業用途のブレードや円盤切断工具などの耐摩耗性向上させる」と語っている。また、彼は「熱スプレーなどの通常の被覆技術に比べると、レーザ金属蒸着法は本当の金属結合が得られるため、頻繁に起きたチッピングなどの故障に対して高い耐性をもつ被覆層を形成できる。二つ以上の粉体ホッパーを使用すると、異なる種類の粉体を混合できるため、被覆層の組成をニーズに合わせて操作することが可能になる」とつけ加えた(図1)。

最近、米IPGフォトニクス社(IPG Photonics)は、被覆、ろう付けおよび焼きなましの用途に特化した2kW、3kWおよび4kWのレーザを商品化した。また、米コヒレント社(Coherent)は、40%の電気・光変換効率をもつ半導体レーザシステムHighLightを供給している。このシステムは808nmまたは975

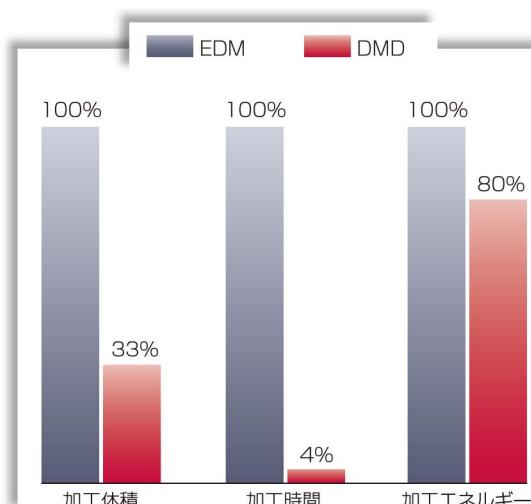


図3 NASAの支援によるケーススタディでは、レーザ直接金属堆積(DMD)を用いて作製された反射鏡ハウジング(左)と電気放電機械加工(EDM)を用いて作製された同一部品の比較が行われた。DMDによる材料、エネルギーおよび時間の使用効率はいずれもEDMによる効率を上回っている(右)。(資料提供:POMグループ社)

nmの近赤外線をマルチキロワットの出力パワーで放射する。

高速加工

粉体ベッドAMには蒸着した粉体をレーザで融解して20~40μmの薄い層に加工する直接金属レーザ焼結(DMLS)と、100~150μmの層に加工する選択レーザ焼結(SLS)がある。いずれの場合も、固化した層に粉体を追加し焼結工程を反復することで、多数の層からなる3D部品が作製される。DMLSとSLSはいずれも独エレクトロオプティカルシステムズ社(Electro Optical Systems: EOS)によって最初に開発された。機能性高分子を使うプロトタイピングと観賞用モデリングでは、700×380×580mm³までの大型3D物体がナイロン、ガラス充填ナイロンまたはポリスチレンから作製されている。金属部品では250×250×195mm³までのものがステンレス鋼、チタンおよびその他の金属から作製されている。英3T RPD社は、これらの加工法を使用して、建築モデルから歯科インプラントまでの多様な用途に使われる特注部品を開発している(図2)。同社は改良したSLSを使用して、製造品とそっくりの格好をしたスマートカー用のナイロン部品も設計し

ている。

EOSのメディカル部品会計部長を務めるマーティン・ビュルマー氏(Martin Bullemer)は、「歯科技工所がDMLSを使用すると、コピングやブリッジの作製が可能になる。EOSINT M270は厳しい品質仕様を維持しながら、特注の義歯を200以上のバッチ数で作製できるため、技工所の生産量が劇的に増加する。特注品が量産できることは、歯科、手術工具のプロトタイピング、義肢の作製などの分野に対して大きな影響を及ぼす。レーザ焼成可能な材料のリストは毎年のように増えているため、まったく新しい分野と応用が実用化され、コスト効果が向上している」と語っている。

直接金属蒸着(DMD)レーザ技術を最初に開発した高速加工会社、米POMグループ社(POM Group)のCOOを務めるバースカー・ダッタ氏(Bhaskar Dutta)によると、高価な材料から微細形状をもつ構造を作製するには、レーザ金属蒸着の加工時間とコストを減らし、エネルギー消費を従来の機械加工と同等にまで減らすことが必要になる。彼はNASAの支援によるケーススタディ、つまり、閉ループフィードバック制御DMDシステムを用いてスクラッチ加工

された反射鏡ハウジングと、電気放電機械加工(EDM)を用いて金属塊から加工された同一の部品との比較試験の結果を示して、後者では廃棄物が大量に発生したことを指摘した(図3)。ダッタ氏は「DMDはEDMに比べると、約3分の1の材料しか必要としない。材料が大幅に節約されるため、とくにニッケル超合金のような高価な材料では効果が大きい」と述べている。

修復と再加工

航空宇宙産業メーカーはエンジンの需要増加を予想している。英ロールスロイス社と一緒に製造プロセスの特許権を保有しているスティーブ・ビーチ氏(Steve Beech)は、「2025年の航空機エンジンの必要数は11万4000台以上になると予測されている。このことは航空機エンジンメーカーにとって大きな課題となり、エンジンメーカーは加工による環境への影響を大幅に低減しなければならない。いくつかの部品では購入対飛行(buy-to-fly)比が13:1という値になる。このことは13kgのチタンを購入して加工しても、1kgの部品にしかならないことを意味している」と語っている。

高压タービン航空機エンジンの封止

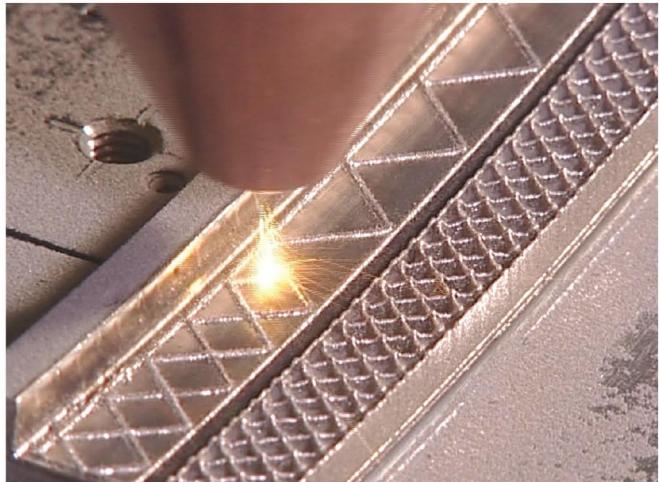


図4 レーザ付加加工を使用すると、航空機部品上の格子の0.3mmにすぎない壁を作製できる。この格子はセラミックが充填されて、磨耗を引き起こすブレードに対する封止材になる。(資料提供:ロールスロイス社)

部分のレーザ付加修復は、新しい加工法を用いることで環境への影響が低減することの一例になる。ビーチ氏は「従来の単結晶のような部品を製造する方法は、EMDを使用して、磨耗しやすい材料が含まれる格子構造を硬い構造へ加工しているが、このような磨耗材料のライニング加工は飛行時のタービンブレードの封止フィンに対する耐摩擦性が必要になる」と語っている(図4)。格子構造の壁は0.3mm以下の厚み(それぞれのタービンに34箇所もあり、非常にコストが高くつく)を必要とするため、新しい格子構造を封止部分の上にろう付けするような従来の方法を利用することはできない。ビーチ氏は「しかし、適切な粉体を融着する直接レーザ蒸着を使用して格子構造を加工すると、その修復コストはOEMコストの半分になる」と付け加えた。

レーザクラッディング加工は米GEアビエイション社(GE Aviation)において20年以上にわたって使用されている。GEアビエイション社のレーザ応用事業部の主任技師を務めるスディール・テワリ氏(Sudhir Tewari)は、「レーザクラッディングは高圧タービンやコンプレッサブレードなどの高価な部品と安価な部品の両方において、コスト効

果の大きい修復加工と耐磨耗加工に利用されている。レーザクラッディングは加工の再現性が改善され、自動化も容易になる」と語っている。テワリ氏によると、レーザクラッディングは熱影響層が狭く、加工時の凝固速度が高いため、表面構造は微細な樹枝状となり、鍛造した材料と同様の優れた材料特性を得ることができる。テワリ氏は「GEはニッケル超合金の付加加工を研究するメタル・アフォーダビリティ・イニシアチブ(Metals Affordability Initiative: MAI)に参加している。MAIではニッケル超合金のレーザ付加蒸着加工の可能性が実証された。しかし、このような加工法を用いて実際の製造を行うには、まだ設計に利用できる品質特性データが不足しており、内部欠陥が蒸着時に発生するなどのリスクの難題も解決しなければならない」と付け加えている。

挑戦の必要な技術課題

英LPWテクノロジー社(LPW Tech-

nology)の技術部長であるフィル・キャロル氏(Phil Carroll)によると、数十Wから数kWの範囲のレーザ出力レベルを用いたときの蒸着速度は、小型AM部品では時間当たり20g毎時、クラッディングの用途では時間当たり2~3kg毎時になる。キャロル氏は「しかし、レーザAMを議論するときの蒸着速度は誤解を招く目標だ。実際には冶金学的完全性に価値がある」と述べている。彼によると、AM加工の利点はレーザ溶接や切断と同様の改善が得られることがある。例えば、ファイバーレーザやディスクレーザからの十分に制御されたビーム形状を利用すると、非常に小さな形状をもつ複雑な構造の作製が可能となり、残留応力も減少する。その結果、微細構造の品質と強度が改善される。キャロル氏は「われわれのグループは粉体の粒径サイズや形状などの材料の問題も検討している。これらのパラメータは空隙と亀裂のない構造をもつ溶接AM部品の作製にとっては基本的に重要なことだ」と付け加えた。

3T RPD社のDMLSマネージャを務めるブルーノ・リラゼール氏(Bruno LeRazer)は、「われわれは多くの時間を顧客に対する技術講習に当てて、DMLSによる真の加工が顧客の手で実現されるように努力している。DMLSは過去の数年間に、高出力イッテルビウムファイバーレーザが開発され、どのような金属粉体でも使用可能になったことで、加工法がめざましく改善されたが、多様な加工法を適切な製造レベルへ引き上げるには、数多くの課題が残されている」と語っている。

参考文献

- (1) The Laser Institute of America's (LIA; Orlando, FL) Laser Additive Manufacturing Workshop (www.laserinstitute.org/conferences/lam/) and The Association of Industrial Laser User's (AILU; Abington, England) Additive Layer Manufacturing Workshop (www.ailu.org.uk/laser_technology/events/2009-03-26/ailuworkshopmarch2009.html).