金属AM・3Dプリンター編

■AMの基本原理

次世代のものづくり技術として高い注目を集めるアディティブマニュファクチャリング（AM、3Dプリンター）。3Dデータが、AM設備・装置を通じて、直接的な積層造形を可能にする技術で、次世代のものづくり技術として高い注目を集めている。

AMは米国オバマ政権時代に研究・開発が加速して、航空分野や国防産業を中心に発展を遂げた。低エネルギーで造形できる樹脂分野から普及が進み、近年では、レーザや電子ビームの技術が進化したことから、金属領域でのAM適用が国内においても広がりつつある。

■金属分野でのAM造形方式の種類

金属分野におけるAMは、代表的な造形方法が二つあり、パウダーベッド方式（PB）とデポジション方式（DED）だ。

PBは金属粉末を装置のチャンバー内に薄く敷き詰め、3Dデータの形状に合わせてレーザを照射することで、一層ずつ金属を焼結させ、成型していく技術だ。その工程を繰り返すことで、一つの造形物を積層で作ることができる。チャンバー内に雰囲気ガスを充填することで、より酸化のない高品質な金属造形を実現することも可能だ。

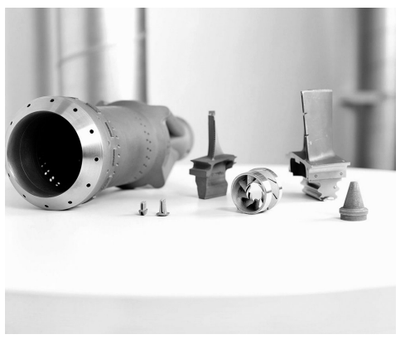
DEDは金属粉末やワイヤ材料をノズルから噴出させ、レーザや電子ビームと同時に照射することで直接的に造形する方法だ。直接的に積層させることからダイレクトデポジションとも呼ばれ、溶射や粉体肉盛溶接とも類似した加工法となる。

緻密な形状を造形する場合にはPBが適している。一方で、大型構造物を成型するためには、チャンバーを大きくしなければいけないため、大型物の造形の難易度が高い。DEDは造形速度が圧倒的に速く、PBよりも大型への対応が容易だというメリットがある。

また、代表的な2工法にくわえて、最近では溶接ワイヤとアーク熱源を利用したまたワーム（WAAM）というアーク溶接を応用したAM技術も注目されている。

■金属のAMと溶接の類似点

材料となる金属粉末が溶融して凝固をするというプロセスは、溶接とほぼ同じ現象だ。溶接と同様に金属内部の残留応力や小さな気孔から発生する欠陥など溶接と同様の課題がある。そのため、品質管理や検査手法、造形シミュレーションも溶接金属の手法が応用できると期待されている。特に、先述したWAAMでは溶接技術者の知見が生かされることが期待されている。


AMで造形した製品

AM用金属粉末材料と試作品

■AMの適用事例

AMは、従来は削りだしや金型を用いて製作していた部品を直接造形することができるという利点がある。そのため、欧米では航空宇宙分野や発電タービン、医療分野など、高度な耐熱性や耐摩耗性に優れた材料を用いる製品に使用されている。チタン合金の航空部品やタービンブレード、医療用インプラントなどに採用事例が増えてきている。また、WAAMによる鋼橋や船用プロペラの実用化も進んでいる。

国内では、金型の補修などの分野で適応が進んでいる。金型は使用し続けると摩耗してしまうため、新しく金型を作るのではなく、補修しながら長年使っていく企業が多い。補修には多くの専門知識と、熟練の技能者の手作業が必要だったが、AMを駆使することで、誰であっても一定の補修ができることが期待されている。

■AMのデメリット

まず一つは導入のコストだ。現状、AM装置の金額が高価な点が挙げられ、一台数千万円から1億円以上となる装置も存在する。また、新技術のため、品質管理や検査方法も含めた信頼性の確保が生産において重要となる。インラインでの品質評価や非破壊試験方法の確立が求められている。

またPBでは成型した構造物と一緒に、成型のサポート材と呼ばれる余分な形状も成型されてしまう。そのため、造形完了後に、サポート材を切り離す工程が必要になる。切り離しや、後加工の発生をおさえることも重要だ。

■国内市場や関連団体の動き

海外と日本国内のAM市場を比較すると日本は全体の5%未満と言われている。

日本溶接協会は3D積層造形技術委員会が2020年に大手重工企業のニーズのもと設立し、現在では約50社の会員企業で活動している。また、「日本AM協会」などAM関連団体の発足が散見されており、業界内外の連携が進んでいる。今後は規格やISOやJISなど規格化の動きも本格化するとされている。

日本は海外と比較すると、AMの普及が遅いとされており、要因の一つとして、日本型の「すり合わせ型ものづくり」が障壁の一つになっているとも言われている。AMが普及するためには、従来の製造方法を一新させるほどのスピード造形が重要だ。

また、今後は従来の技術の置き換え用途だけではなく、AMでしかできない「アディティブ設計」による製品が国際競争で勝ち抜く上で重要となってくる。AMに特化した人材教育と育成が関連産業界全体で求められている。

編集部

レーザクラッディング編

■レーザクラッディングについて

レーザ光を熱源とした溶接の中に、表面改質を目的としたレーザークラッディング法がある。この施工法は低入熱、低希釈を特長とし、基材表面をわずかに溶かし込むことにより、肉盛層は溶融結合し、基材への熱影響も小さくなる。また、今まで溶接熱影響の問題で困難であった薄物、小物、熱影響部高感受性材料（鋳鉄、工具鋼、二相ステンレス鋼、Ni高合金など）への肉盛溶接による表面改質が可能となる。

本稿では、レーザクラッディング（肉盛溶接含む）とアーク溶接、溶射との特性比較および熱影響部高感受性材料への溶接性や溶接材料と適用部品について紹介する。

■施工法による特性比較

レーザクラッディングは、レーザ光を基材に照射し、溶接材料として粉末を送給し、肉盛層を形成することから、熱量のコントロールが容易で、基材（母材）への溶込み制御が可能となる。

図1に粉末を用いて表面処理を行うプラズマ溶射、粉体プラズマアーク溶接との特性比較を示す様に、プラズマ溶射法は、非移行型アークを発生（基材との通電なし）させ、その中に溶射材料（粉末）を送給することにより、溶融またはそれに近い状態で基材（溶融無し）に吹き付け肉盛層を形成する。肉盛層と基材は溶融接合でなく、機械的に接合（アンカー効果）となる。このため、基材への熱影響はほとんどなく、金属、セラミック、プラスチックなど広範囲の材料施工が可能。しかし、肉盛層の密着力は弱く、ポロシティが存在する問題がある。

粉体プラズマアーク溶接法（PTA）は、トーチ（PTA装置）と基材との間に移行型プラズマアークを発生させ、その熱（セ氏約1万度）により、溶接材料（粉末）とともに基材を溶融し肉盛層を形成する。肉盛層と基材は溶融結合し高い密着力を示し、ポロシティの発生もない。しかし、基材への熱負荷が大きく、初層の肉盛層は基材を20%程度含んだ組成となる。

一方、レーザクラッディングは、熱源であるレーザ光に熱量はなく基材に当たることで熱を発生させて、表面処理（肉盛溶接）を行うことから、次に示す特徴が得られる。

▽材料特性や目的性能に合わせて熱量のコントロールが可能▽低熱負荷・高密度入熱で高精度に施工を行えることから、従来困難であった部材（薄物、小物など）への表面処理が可能▽低熱負荷で施工できることから、アーク溶接に比べ、熱影響による母材脆化を抑制▽低溶込み溶接が可能なため、薄膜の高品質な皮膜を形成できる▽基材表面を僅かに溶かし込むことにより、肉盛層は従来のアーク溶接法と同様に溶融結合し、溶射法のような剥離の問題はない。

■溶接材料、肉盛層の特性

①溶接材料＝レーザクラッディング用の粉末材料は、50―150ミクロンの粒径品が用いられる。精密な溶込み制御が必要な場合は、狭い範囲で粒径を絞る必要がある。

溶接材料としては、Co基合金（ステライト合金、トリバロイ合金）、Ni合金（インコネル、ハステロイ等）と硬質Fe基合金（ハイス鋼、高Cr合金などが多用されている。使用条件の厳しい部品には、耐摩耗性向上、摩擦係数低減を目的に、硬質な炭化物（WC、NbC、TiCなど）を複合し肉盛を行うことも可能である。

図2に施工法による硬質Co基合金のステライト№6肉盛組織と硬度を示す様に、アーク溶接では、1層目の硬度がHv405（炭素鋼母材を20%希釈した肉盛層）に対して、レーザクラッディングは1層目からHv481となり、高い硬度値と微細組織を示す。

■特殊材（熱影響部高感受性材料）への肉盛溶接

レーザークラッディングは、高密度・低熱負荷の加熱特性により、基材の熱影響を低く抑えられるため、従来のアーク溶接法では割れの問題（熱影響部の硬化に伴う割れ）で困難とされてきた鋳鉄、高合金鋼の割れリスクが低減できる。さらに、溶接熱影響で組織変態を引き起こしやすい二相ステンレス鋼や熱影響部に高温割れが生じやすい高合金オーステナイトステンレス鋼、高合金Ni材のように、今まで肉盛溶接が困難であった基材に適用できる。

①鋳鉄への肉盛溶接＝従来のアーク溶接では、基材（球状黒鉛鋳鉄）の融点（セ氏1140度）が一般的な溶接材料の融点（同1350）より高く熱影響は大きくなる。基材中の黒鉛は溶融し、ビッカース硬度Hv580程度の硬質焼入れ層を形成するため、溶接割れリスクが高くなる。しかし、レーザクラッディングでは、肉盛層と基材境界部でわずかに組織変化（境界において球状黒鉛が原型をとどめて存在している）するが、その範囲は100ミクロン程度で、従来のアーク溶接法の1㍉に比べ、10分の1となり、高品質の肉盛が可能となる。

②熱間工具鋼への肉盛溶接＝熱間工具鋼（SKD61など）は、焼入れ硬化性が高く、従来のアーク溶接法では、最高硬さHv630程度まで上昇し、熱影響範囲は5㍉程度（セ氏600度以上に加熱された領域）となる。レーザクラッディングの熱影響範囲は0・5㍉程度に抑えることができ、割れリスクを低減できる。

③二相ステンレス鋼への溶接＝海水や塩化物環境で使用する二相ステンレス鋼は、耐食性の観点からフェライト相とオーステナイト相の比率が1対1となるように設計されている。しかし、従来のアーク溶接法では、熱影響部の組織変化（二相のバランスが崩れ）により、耐食性とじん性が劣化する。そのため、低入熱のアーク溶接が行われているが、基材原質部に比べ性能劣化した状態で、使用されているのが現状である。レーザクラッディングでは、ほぼ二相のバランスの崩れがない肉盛溶接ができる。

■適用例

従来のアーク溶接法（熱影響が大き過ぎる問題）、溶射法（肉盛層の密着力の問題）は、適用できない部品や要求性能を満たしていない部品が多い。そのため、レーザクラッディングの低熱負荷、低希釈の特徴を生かし、同溶接法でなければ施工できない部品への適用が進んでいる。

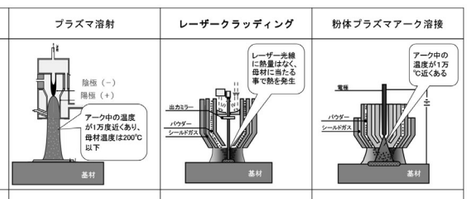
具体的には、各種バルブ、スクリュー、スリーブ、ガスタービンブレードへのCo基合金、Ni基合金を中心とした耐摩耗材表面処理および各種刃先、ブレーキディスク、熱間工具・ロールへの高機能化表面処理への適用が進んでいる。

写真1にバルブ部品へのステライト合金肉盛品を示す。目標の肉盛厚さに平滑肉盛を行うことが可能で、不連続部（空洞部）においても溶接停止する必要がなく安定した施工ができることから、溶接材料、後仕上げ加工費などのトータル製作コスト低減となる。

■おわりに

近年、レーザクラッディングは、レーザー設備の急速な進歩（消費電力からのレーザー光線への変換率向上）とレーザ光の特性を活かし、幅広い産業分野への適用開発が活発に行われている。レーザーは開発要素が幅広く波長、密度（レーザ出力分布）、照射形状などを改良することで、目的とする表面処理が可能となることから、従来のアーク溶接より高効率で高品質化が図れる。さらに環境面において、溶接ヒュームや廃棄物（スラグ）がほとんど発生しないことからも有望であり、今後、品質管理を含めた高効率の製造技術を確立し経済面をクリアすることで、適用がより加速するだろう。

大阪富士工業／技術センターレーザープラズマ接合研究所　辰巳佳宏

施工法	プラズマ溶射	レーザークラッディング	粉体プラズマアーク溶接
原理図			
肉盛厚(㎜/１層)	０．０５～０．５	０．１～２	１．０～３．５
肉盛量（kg/hr）	＜２	１．０～１５．０	＜３
肉盛効率（m^2/hr）	＜１．６	０．１～３．０	＜０．２
熱負荷	極低い	低い	高い
溶け込み（%）	０	＜１０	１０～３０
密着力（Mｐａ）	２０～６０	８００	８００
ポロシティ（%）	１～１０	０	０

＊レーザークラッディングの肉盛厚、肉盛量、効率は、各種レーザー施工法（レーザースポット、溶接速度）で大きく異なる。

図1　施工法による特性比較

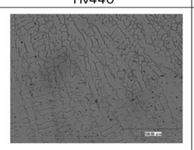
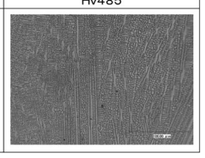
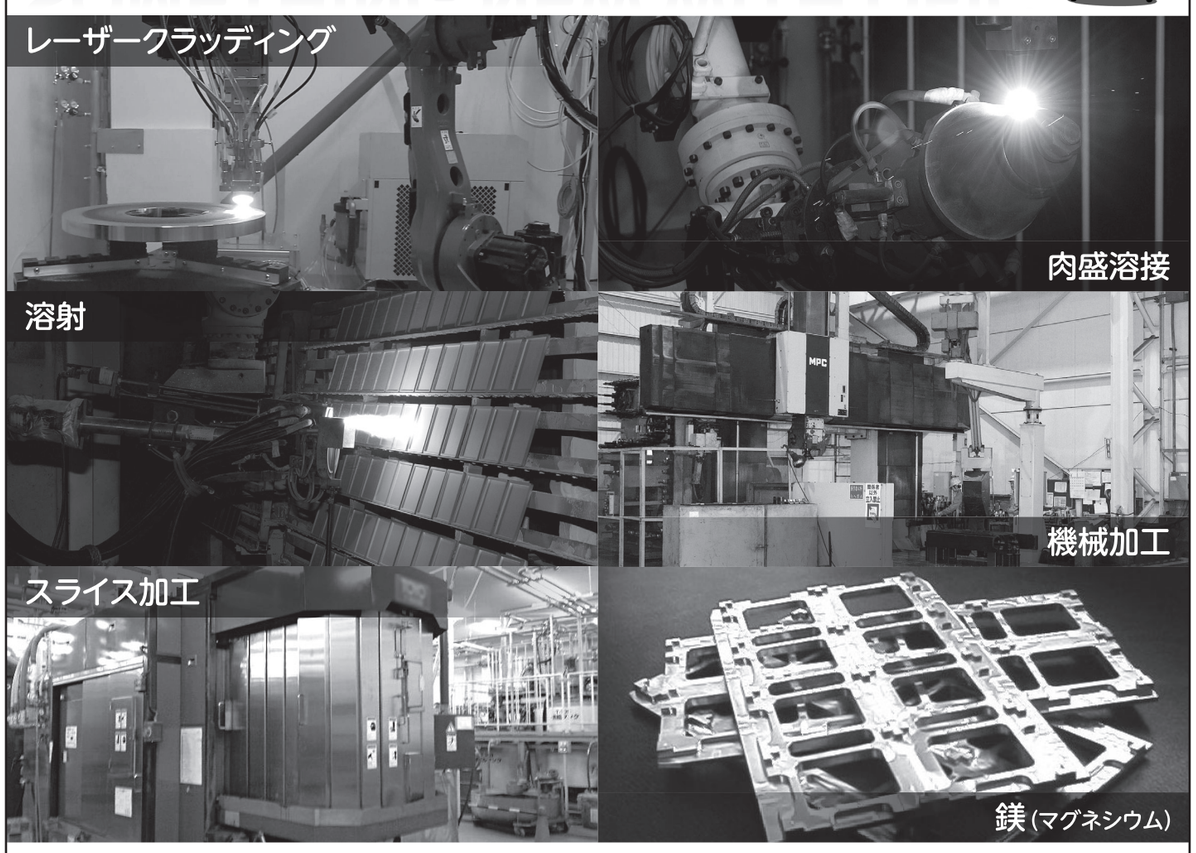
		粉体プラズマアーク溶接	レーザクラッディング
硬度	1層目	Hv405	Hv481
	2層目	Hv440	Hv485
ミクロ組織			

図2　施工法によるステライトNo.6肉盛組織と硬度

写真1　バルブへのステライト合金適用例

SOMETHING NEW WITH OFIC



大阪富士工業株式会社
［本社］〒660-0811 兵庫県尼崎市常光寺1丁目9番1号　［URL］https://www.ofic.co.jp/
［溶接］尼崎工場（兵庫県）TEL.06-6487-1891、小見川工場（千葉県）TEL.0478-82-5611、和歌山工場（和歌山県）TEL.073-446-0002
［溶射］泉北工場（大阪府）TEL.072-268-1666　［レーザー・PTA］レーザー・プラズマ接合研究所（兵庫県）TEL.06-6498-0130
［スライス加工］総社工場（岡山県）TEL.0866-96-9531　［マグネシウム］PCS事業部（兵庫県）TEL.06-6487-1891

スパッタ取りが楽になる
専用スプレー　霧美人
霧が微細で垂直面の液垂れ流れの無駄なし。
消耗品の交換だけで20年以上使用できます。
ケレン時間が激減します。
防止剤の使用量は1/3以下になります

ワーナーケミカル株式会社
〒362-0806 埼玉県北足立郡伊奈町小室 5347-1
TEL 048-720-2000　FAX 048-720-2001

サンプル提供
霧美人の無料貸出いたします