ノート

3Dプリンタによる新しい金型製造技術の開発

平石　誠*　須藤　貴裕*　青野　賢司*

New Production Method of Metal Die utilizing Additive Manufacturing

HIRAISHI Makoto*, SUTOH Takahiro* and AONO Kenji*

1. 緒　言

近年，消費者ニーズの多様化や製品サイクルの短期化に伴って，設計変更に柔軟かつ迅速に対応する金型製造技術が求められている。

また，金型には耐摩耗性も強く要求されるが，一般に耐摩耗性が良い材料は鋳造等の型成形によるため製作期間が長い。すなわち，現状ではこれら2つの要求を満足する造形方法は存在しない。

3D プリンタはレーザ光によって溶かした金属を「重ね描き」して立体造形する。3 次元形状データによって直接造形できるため多品種少量生産に適し，基材と異なる材料を堆積できるため，必要な材料特性（例えば耐摩耗性，耐熱性など）を必要な場所に付与することが可能である。これらの特徴から 3D プリンタは金型の造形に適したツールにもなることが期待される。

本研究では，金型産業における柔軟性のある製造工程の確立と製品の付加価値向上を目指し，3D プリンタによる硬質・耐摩耗層の造形技術開発を目的とする。本報では，選定した硬質材料の造形において発生する欠陥とその抑制方法について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 3D プリンタ

金属堆積にはパウダ DED（Directed Energy Deposition）方式造形装置 LAMDA200（三菱重工工作機械（株））（図 1）を使用した。

ファイバーレーザの定格出力は 2kW，加工テーブルは同時 5 軸制御，粉末供給は同時に 2 材種まで可能である。

図 1　DED 方式金属堆積造形装置

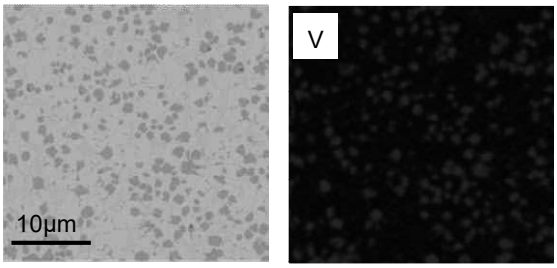
2.2 堆積材料

金型に必要な硬さとして 800HV を目標値とし，次の材料を選定した。いずれも粒径 45～150μm の粒度分布を持つ粉末である。

(1) 高速度工具鋼（粉末ハイス，High Speed tool，以下，HS 材とする）

(2) 炭化物分散鉄基材料（Carbide Dispersion，以下，CD 材とする）

なお，CD 材は約 15mass.%Cr を含む Fe マトリックスに数 μm の粒径の V 炭化物が分散している材料である（図 2）。



(a) 反射電子像　　(b) V 元素の分布

図 2　炭化物分散鉄基材料

* 研究開発センター

2.3　造形方法

以下の 2 パターンの造形を行った。

(1) 平面堆積：SS400 製の板材（長さ 100mm，幅 20mm，厚さ 10mm）に長さ 50mm 直線状の堆積層を造形した。

(2) 円周面堆積：S45C 製の円筒（外径ϕ50mm，内径ϕ25mm，長さ 60mm）の角に段差 3.5mm，長さ 7.5mm の入隅を設け，円筒を回転させながら螺旋状に堆積造形した（図 3）。

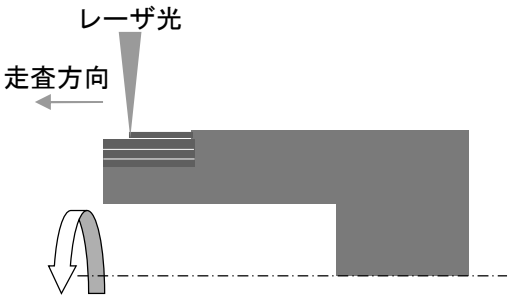


図 3　円周面の堆積

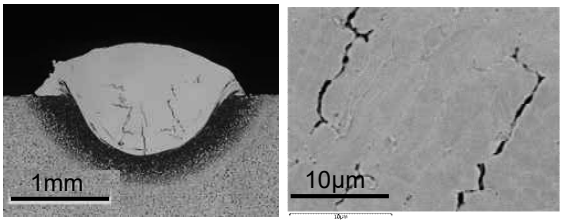
3.　実験結果および考察

3.1　平面堆積

HS 材を堆積した断面を図 4 に示す。図 4(a)は第 1 層目を堆積した状態であるが，基材への溶込み部に割れが発生していることがわかる。割れを詳細に観察したものが図 4(b)である。割れは溶融部の中心に向かって成長した柱状晶の粒界に沿って発生しており，凝固割れの様相を示している。

レーザ出力，送り速度，粉末供給量を変数として割れの発生状況を調べた結果を図 5 に示す。レーザ出力が小さいほど，送り速度が小さいほど割れは発生しにくかった。送り速度が小さいときは単位堆積長さ当たりに供給される粉末量が増加するため，基材への入熱量が少なくなる。つまり，レーザ出力が小さい条件も含め，基材への溶込みを小さくすることによって割れの発生を抑制できると言える。

なお，CD 材を用いた場合，上記のような割れの発生は認められなかった。



(a) 第 1 層目堆積状態　　(b) 割れの様相

図 4　HS 材の堆積層の断面

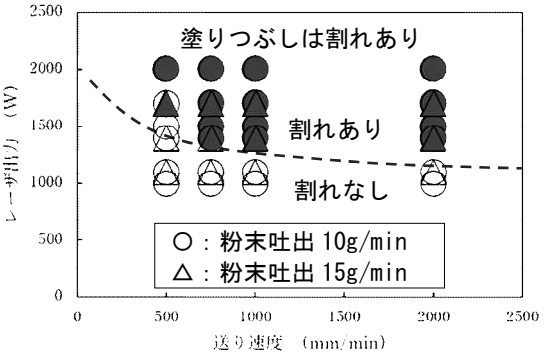
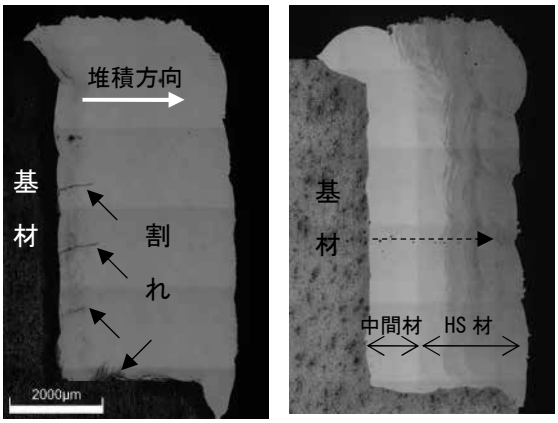


図 5　HS 材堆積層の割れの発生状況



(a) 基材への直接堆積　　(b) 中間層を介した堆積

図 6　HS 材の円周面への堆積

3.2　円周面堆積

3.2.1　HS 材の堆積

上記の検討結果を踏まえ円周面への堆積実験を行った。多層の堆積の前に第 1 層のみの堆積を行い，割れが発生していないことを確認した。

基材に直接 HS 材を堆積したときの断面を図 6(a)に示す。第 1 層および入隅部に割れが発生

した。割れは，溶融部の中心に位置する（基材への溶込みが最も深い位置に発生していることから推察される）ことや，第 1 層の堆積時には認められなかったことから第 2 層以降を堆積した際の余熱による再熱割れであると考えられる。

割れの発生を抑えるため中間層を設けることを検討した。中間材には鋼材への堆積において割れを発生しなかった合金の中から比較的硬さの低いものを選択した。中間材を使用して堆積したときの断面を図 6(b)に示す。第 1 層，入隅部のいずれにも割れは認められなくなった。

また，観察のためエッチングを施しているが，その濃淡からも中間層と HS 材の界面では傾斜組成になっていることがわかる。

HS 材は造形後の熱処理によって硬さを増す。熱処理後の堆積層の硬さ分布を図 7 に示す。横軸は基材と堆積層の界面を基準に図 6(b)中の破線矢印に沿った距離である。HS 層では 920HV（67HRC 相当）が得られている。

3.2.2 CD 材の堆積

図 8 は堆積後の円筒端面を円筒軸方向から観察したものである。円筒端面にある白い円弧状の領域が堆積層であるが，それを縦貫する割れが 2 カ所に発生しているのがわかる。

2 つの割れのうち，左の割れが発生した直後の赤外線サーモグラフィを図 9 に示す。撮影時，基材は堆積の余熱によって昇温途中にあり 500℃に達していた。このことから，割れは熱膨張によって生じたことが推察される。

そこで熱機械分析装置 TMA/ SS6100（セイコーインスツルメンツ（株））によって各材料の線膨張係数を測定した。結果は以下のとおりとなった。

・基材（S45C）：14.0×10^{-6}/K

・HS 材：14.2×10^{-6}/K

・CD 材：10.5×10^{-6}/K （全て 40～500℃）

基材は昇温に伴い膨張するが，CD 材は基材に比べて線膨張係数が低いため堆積層には引張応力が作用し割れに至ったものと考えられる。

なお，円筒の内径を小さくしたところ割れの発生は抑えられた。熱容量の増加による基材温度の低下や熱膨張の抑制などが原因であると考えられる。得られた堆積層の硬さは 890HV であった。

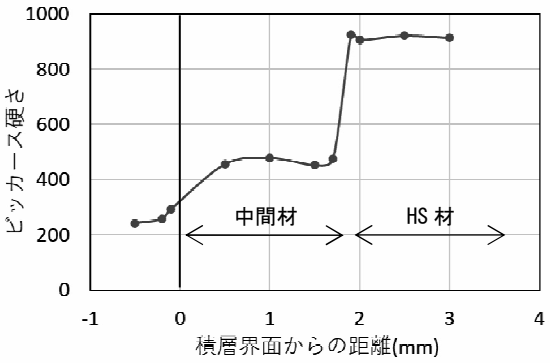


図 7　中間層を介した HS 材堆積層の硬さ

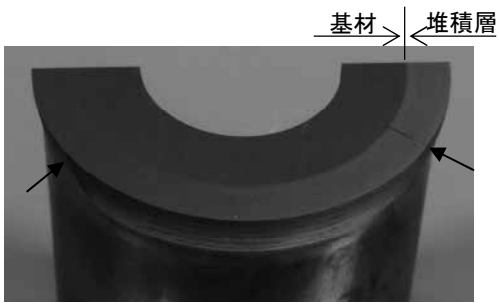


図 8　CD 材堆積層に発生した割れ

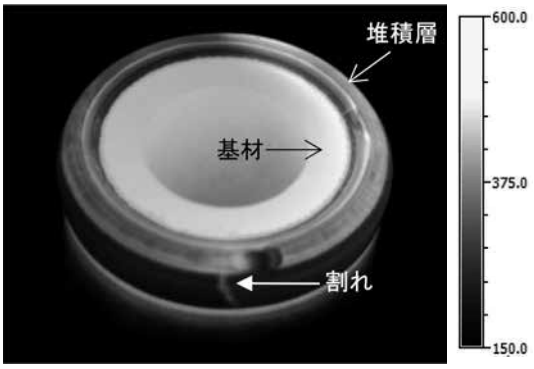


図 9　積層時の赤外線サーモグラフィ
（基材にのみ黒体塗料を塗布）

4. 結　　言

(1) 3D プリンタによる硬質・耐摩耗層の造形技術の開発を目的とし，高速度工具鋼および V 炭化物分散鉄基材料の堆積造形における欠陥とその抑制方法について検討した。

(2) 堆積層には高温割れや熱膨張係数の差に起因する割れが生ずることがわかった。

(3) 割れを抑制し，目標硬さを有する堆積層を造形することができた。