

# 金属積層造形技術による高機能金型の開発

材料技術課 山本貴文 住岡淳司 石黒智明 ものづくり研究開発センター 氷見清和

## 1. 緒言

金属積層造形法は付加製造プロセスとして位置づけられ、従来の加工法では作製が困難な形状を迅速に作製できる方法として注目されている。金型分野への金属積層造形技術の応用については、複雑な形状を一体構造で造形できるメリットから、金型内部の冷却水管を製品形状に合わせた最適な配置、また、それに伴う成形サイクル時間の短縮を目的に射出成型の量産金型として期待されている。

そこで、本研究では、金型材料であるマルエージング鋼粉末の造形条件（レーザー出力、スキャン速度など）を幅広く変化させ、造形物の密度や造形に伴う欠陥の発生要因等を調査した。また、従来手法(切断加工、切削加工etc.)で作製された金型(SKD61)上の必要な部分に必要な形状のみを造形する技術について検討したので、その概要を報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 マルエージング鋼粉末を用いた金属積層造形

造形には、ドイツEOS社製EOSINT-M280を用いた。使用するレーザーは、最大出力400WのYb-ファイバーレーザーで、ビームスポット径は約0.1mmである。供試粉末であるマルエージング鋼は、平均粒径31.9 $\mu$ mの球状粉末を用いた。造形物は、長さ10mm×幅10mm×高さ3mmの立方体形状とし、窒素雰囲気中でレーザー照射条件をTable1のように変化させて作製した。なお、いずれの条件においても走査ピッチは0.11mm、積層厚さは0.04mmとした。また、材料粉末の単位体積あたりに投入されるエネルギー量、すなわちエネルギー密度 $E_d$ は式(1)のように表される。

$$E_d = P/(v \cdot s \cdot t) \quad (1)$$

ここで、 $P$ はレーザー出力(W)、 $v$ は走査速度(mm/s)、 $s$ は走査ピッチ(mm)、 $t$ は積層厚さ(mm)を示している。造形物の相対密度は、積層方向に平行な断面を金属顕微鏡にて撮影し、写真に2階調化処理を施して得られた比率から算出した。

Table 1 金属積層造形におけるレーザー照射条件

Sample number	Laser power $P$ (W)	Scan speed $v$ (mm/s)	Energy density $E_d$ (J/mm <sup>3</sup> )
1	200	960	47.3
2	250	960	59.2
3	300	960	71.0
4	350	960	82.9
5	285	100	647.7
6	285	250	259.1
7	285	500	129.5
8	285	1000	64.8
9	285	1500	43.2

### 2.2 SKD61板材上へのマルエージング鋼造形

焼入れ処理が施されたSKD61板材をベースにしマルエージング鋼の造形を試みた。造形はエネルギー密度が67.5 J/mm<sup>3</sup>となるように行い、ブロック形状を造形した。その後、時効処理(490 $^{\circ}$ C×6H、空冷)を施し、放電加工にて中央にマルエージング鋼とSKD61材との接合面を有する引張り試験片を作製した。引張り試験は精密万能試験機を用い、硬度試験はマイクロビッカース硬度計を用いた。また、接合界面の金属組織は、ナイトール液による腐食後、金属顕微鏡を用いて観察した。

## 3. 実験結果、考察

### 3.1 マルエージング鋼粉末を用いた金属積層造形

Fig.1に投入されたエネルギー密度 $E_d$ と造形物の相対密度の関係を示す。Fig.1より、高密度の造形物を得るためには適切なエネルギー密度の領域があることが確認され、エネルギー密度が約65～80J/mm<sup>3</sup>の領域で99.9%以上の相対密度に達することが明らかとなった。また、Fig.2に、積層方向に平行な断面を金属顕微鏡にて観察した結果を示す。エネルギー密度が低い領域では、Fig.2(a)のような欠陥が積層方向に沿って規則的に配置している様子が認められ、溶融の不足及び隣接するビードとの重な

りが不十分のために生じた欠陥であることが分かる。一方、エネルギー密度が高い領域では、Fig.2(b)のような球状のガス欠陥が多数存在することが確認され、欠陥は過大な溶融池にチャンバー内のN<sub>2</sub>ガスが残留することにより形成された欠陥(ブローホール、ポロシティ)であると考えられる。また、高密度な造形物の機械的特性は時効処理(490℃×6H、空冷)により市販のマルエージング鋼と同程度の引張り強度(約1950MPa)を有していることを確認した。

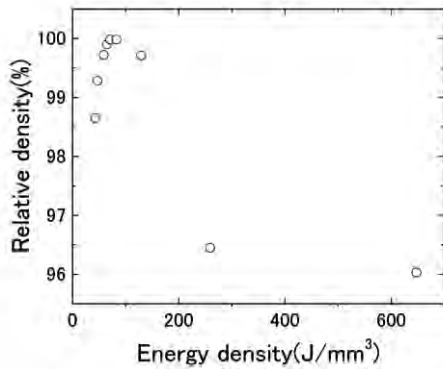


Fig. 1 エネルギー密度と相対密度の関係

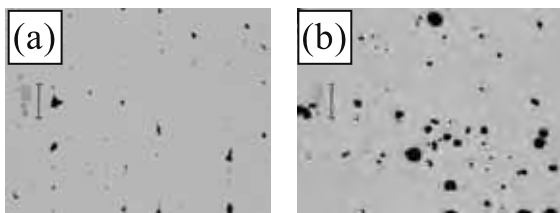


Fig. 2 断面観察写真 (a) sample1, (b) sample6

### 3.2 SKD61板材上へのマルエージング鋼造形

Fig.3にマルエージング鋼とSKD61の接合界面の金属組織写真を示す。SKD61に対してマルエージング鋼の十分な溶け込みが確認され、欠陥の少ない良好な界面を形成していることがわかる。また、Fig.4

には界面近傍の硬度分布測定結果を示す。Fig.4より、時効処理を施すことでマルエージング鋼の硬度は大きく向上し、SKD61焼入れ材に相当する硬度に達することが明らかとなった。この結果に基づき、引張り試験を行ったところ、SKD61側での破断が認められ、引張り強度は約1800MPaであることを確認した(Fig.5)。以上より、時効処理を施すことで高強度な界面を形成できることを明らかにした。



Fig. 3 接合界面の金属組織写真

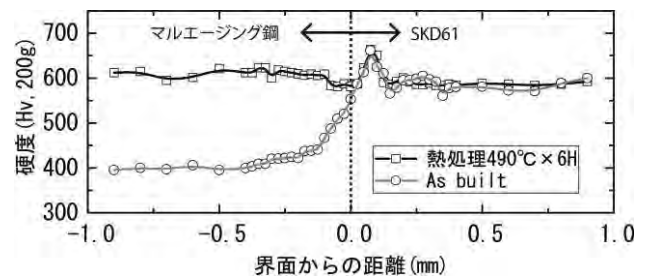


Fig. 4 接合界面近傍の硬度分布

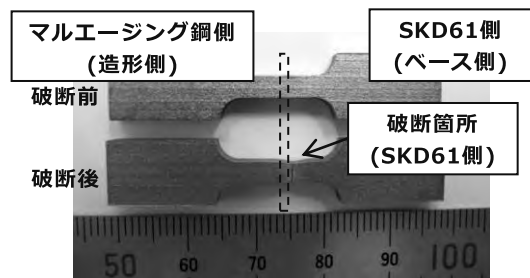


Fig. 5 引張り試験片の外観写真

キーワード：金属積層造形、マルエージング鋼、金型、三次元形状データ

## Development of high-performance mold by direct metal laser melting method

Takafumi YAMAMOTO, Kiyokazu HIMI, Junji SUMIOKA, and Tomoaki ISHIKURO

In this work, the influence of processing condition on relative density and mechanical properties of specimens prepared by Selective Laser Melting (SLM) technique using 18-Ni maraging steel powder was investigated. The results show that it is necessary to control laser energy density of about 65-80 J/mm<sup>3</sup> to obtain SLM specimens with relative density higher than 99.9%. In addition, it was confirmed that mechanical property of bonded interface between dense SLM specimens and SKD61 base plate made a great improvement by aging treatment.