

# レーザー粉体肉盛法を用いたTiC肉盛技術の検討

## －TiCとFe合金の混合粉末肉盛－

島崎 良<sup>\*1</sup>

## Examination of TiC Cladding Technology by Laser Metal Deposition

- Mixed Powder Cladding with TiC and Fe Alloy -

Ryo Shimasaki

レーザー粉体肉盛法はレーザーで母材表面を溶融し、溶融池に粉末を投入することで肉盛溶接を行う方法であり、入熱を制御することで高品質な肉盛被膜が得られる。本研究では、耐摩耗性向上のためTiCを複合化した肉盛被膜を作製するためのレーザー粉体肉盛条件を検討した。TiC粉末のみでは被膜の割れやはく離が発生するが、バインダとしてFe合金を用いた場合、TiC率34 %以下で健全な肉盛が可能であった。

### 1 はじめに

レーザー粉体肉盛法はLMD（Laser Metal Deposition）とも呼ばれ、高出力レーザーで加熱溶融した母材表面の溶融池に粉末を投射することで肉盛溶接を行う方法である。レーザーは局所加熱が可能であることから、従来のアーク溶接による肉盛と比べて歪みが小さく高品質な被膜が得られる。過酷な摩耗環境で使用する土木機械や鉱物プラント機械の部品は高硬度の肉盛被膜を要するが、高硬度被膜は割れやすく、高品質な被膜を得ることが難しい。そこで、本研究では、LMDでこれらに対応した被膜を作製するため、高硬度のTiC粉末をバインダとなるFe合金と混合し、その加工条件を検討した。

### 2 実験方法

母材を50×50×板厚10 mmのSS400板とし、TiC粉末（ヘガネス、Amperit 570.002、粒径45～90 μm）にバインダとしてFe合金粉末（ヘガネス、forAM<sup>TM</sup> 16MnCr5、粒径53～150 μm）を様々な比率で混合してレーザー肉盛を行った。粉末のキャリアガスにはアルゴンガスを10 L/minで流した。レーザーはYAGディスクレーザー（TRUMPF、TruDisk 5000）を使用し、肉盛ヘッド（PRECITEC、YC52）により加工した。スポット径約3 mm、ワーキングディスタンス13 mm（標準）、加工姿勢前進角15°、レーザー出力1,500 W、加工速度10 mm/sec、シールドガス流量20 L/minを固定条件とし、1.5 mm間隔で5本のビードを肉盛した。

作製した肉盛被膜は、肉盛方向に直交する横方向で中央付近を切断し、断面を鏡面研磨後、荷重1 kgf、10 secで被膜のビッカース硬さを測定した。また、3 %ナイトールで組織を現出させ組織観察を行った。

次に、被膜の上面を平面になるまで研削し、大越式迅速摩耗試験機（東京試験機製作所、OAT-U）による摩耗試験を行った。相手材には直径30 mm、厚さ3 mmのSUJ2調質材のディスクを用いた。試験条件は、速度1.14 m/sec、摩耗距離200 m、試験荷重3 kgfとした。その後、摩耗痕形状をレーザー顕微鏡で測定し、摩耗体積により耐摩耗性を評価した。

### 3 実験結果および考察

#### 3-1 被膜の外観および断面

作製したTiC混合被膜のTiC割合を表1に、その外観を図1に示す。100 % TiCの場合、割れ、はく離等の欠陥が多数生じた。Fe合金を混合した90～50 % TiCでは、はく離せずに肉盛できたが、細かい横割れが生じた。34 % TiCでは、割れることなく健全な肉盛が可能であった。そこで、34 % TiCの多層肉盛を試みたところ、2層及び3層の肉盛でも割れずに加工することができた。

次に、各試験片のビード断面を図2に、そのビード中央部の拡大を図3に示す。100 % TiCは、肉盛層の一部に溶融した母材が入り込み、バインダの役割をしていたが、ビードを重ねると母材の溶け込みが不足し、はく離していた。Fe合金と混合した90～34 % TiCでは、数十～100 μmの比較的大きな未溶融TiC粒子と、一度溶解して再晶出した、10 μm以下の小さなTiCの2種類が見られた。未溶融TiCには、熱衝撃で生じた亀裂が

<sup>\*1</sup> 機械電子研究所

生じており、90～50 % TiCでは、この亀裂が母相に伝播することで割れ易くなったと考えられる。一方、34 % TiCは未溶融TiCが少ないため母相への影響が小さく割れが抑えられたと考えられる。また、34 % TiC被膜のEPMA組成像を図4に示す。被膜内には、再晶出TiCとして初晶のデンドライト状TiCと共晶の板状TiCが晶出していた。

TiCとFe合金の混合被膜は、過去の研究<sup>1)</sup>で作製したNi合金との混合被膜と比べると、割れの程度が軽く、気泡も見られなかった。これは、Fe合金には炭素が溶解できCOガスが発生しにくいことや、再晶出TiCの形状が角の丸いデンドライト状であり割れの起点になりにくいいためと考えられる。

### 3-2 被膜の硬さおよび耐摩耗性

被膜断面のビッカース硬さを図5に示す。100 % TiC被膜の硬さはTiC自体の硬さ（約3,000 HV）よりもやや低い2,200 HVであり、溶融した母材による希釈の影響が見られた。90 % TiC被膜では大きく硬さが低下し、約990 HVとなった。少しでもFe合金を混ぜると未溶融TiC粒子同士が接触しなくなることで、母相の硬さが支配的になるためと考えられる。Fe合金の混合量が増えると徐々に硬さが低下し、34 % TiC被膜では約740 HVとなった。しかし、硬質クロムめっき（750～1,000 HV）に近い硬さが得られており、耐摩耗性を発揮するのに十分であると考えられる。

次に、健全な被膜が得られた34 % TiC被膜の耐摩耗性を大越式迅速摩耗試験にて評価した結果を図6に示す。比較材として、S50C、S50Cに硬質クロムフラッシュめっきを施したもの（S50C クロムめっき）、TiCなし被膜（0 % TiC）についても合わせて評価した。34 % TiC被膜は、一般的な構造用鋼であるS50CやTiCなしの被膜と比べて摩耗体積が非常に小さく、優れた耐摩耗性を示した。よって、34 % TiC被膜でも耐摩耗性の向上には効果的である。また、クロムめっきはめっき層が摩耗すると耐摩耗性を維持できないが、肉盛被膜は1層で約1 mmの厚さがあり、ある程度の摩耗に耐えられると考えられる。従って、TiC粒子を含むLMD被膜の耐摩耗用途への適用は十分に期待できる。

表 1 TiC と バインダ（Fe 合金）の 供給 量

| 試験片      | 粉末供給量(g/min) |      | TiC率 (%) |
|----------|--------------|------|----------|
|          | TiC          | Fe合金 |          |
| 100 %TiC | 12.0         | 0.0  | 100.0    |
| 90 %TiC  | 12.0         | 1.2  | 90.9     |
| 50 %TiC  | 12.0         | 12.0 | 50.0     |
| 34 %TiC  | 6.2          | 12.0 | 34.1     |

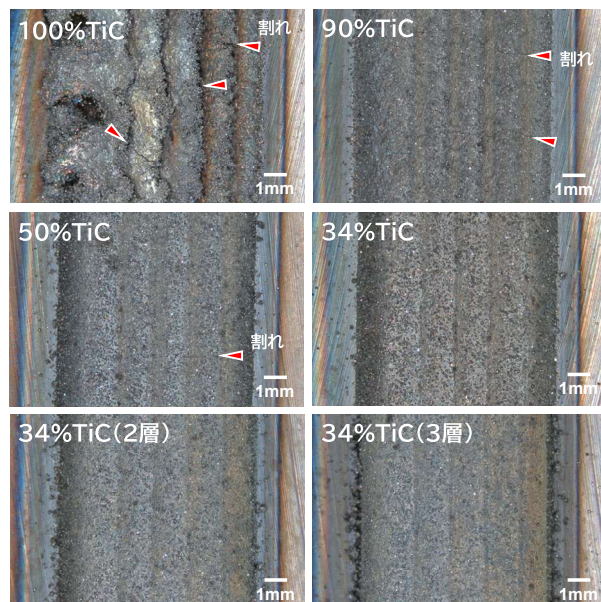


図 1 TiC-Fe 合金混合粉末の LMD 被膜外観  
(写真右から左に 1.5 mm ピッチで 5 ビード加工)

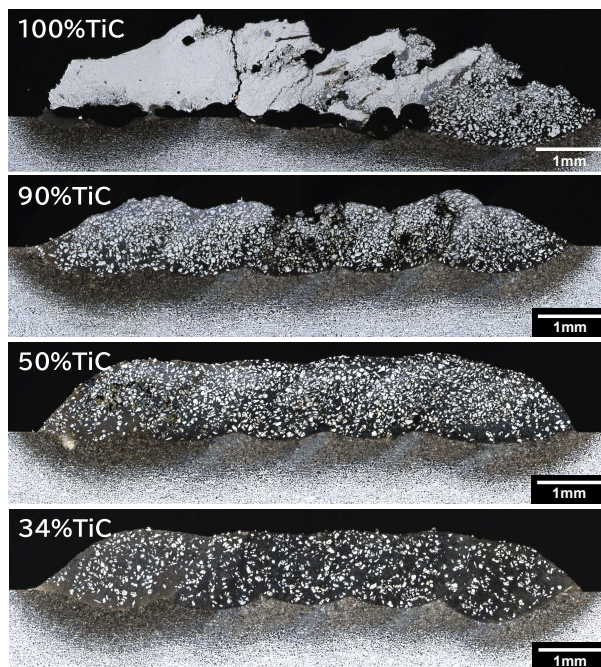


図 2 TiC-Fe 合金混合粉末の LMD 被膜断面  
(3 %ナイトールでエッチング)

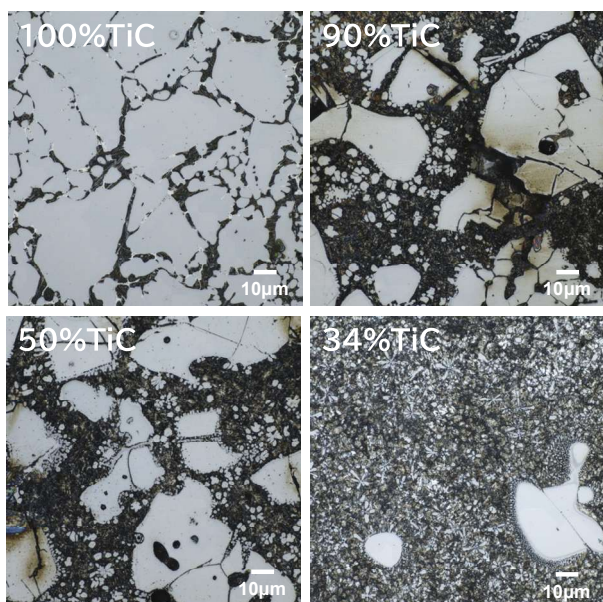


図3 TiC-Fe 合金混合粉末のLMD 被膜内組織  
(3 %ナイトールでエッチング)

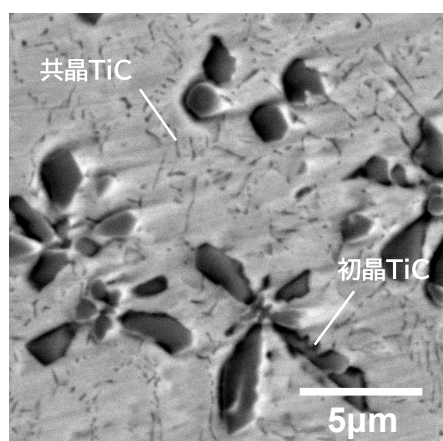


図4 34 %TiC-Fe 合金 LMD 被膜の EPMA 組成像

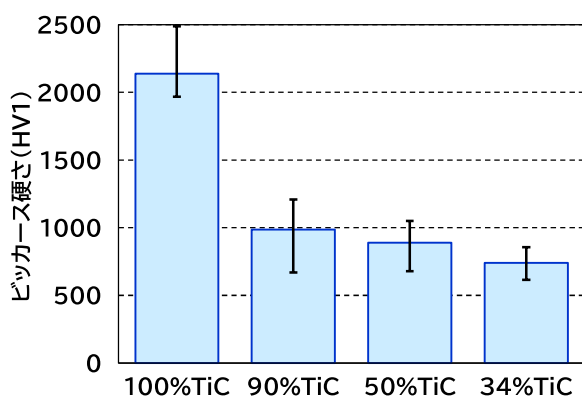


図5 TiC-Fe 合金混合粉末のLMD 被膜硬さ

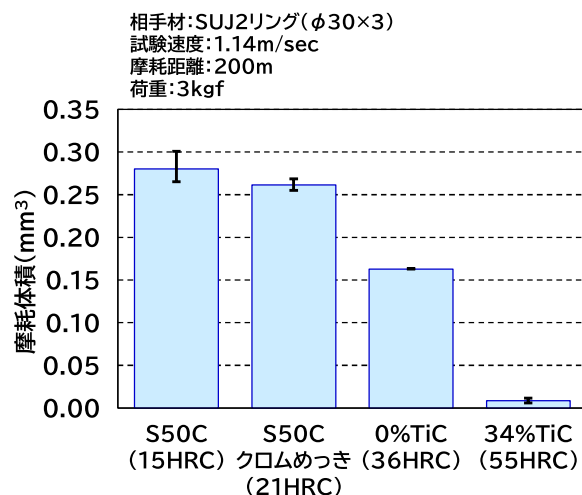


図6 大越式迅速摩耗試験での摩耗体積による耐摩耗性評価

#### 4 結論

TiC粉末をLMDで肉盛するためFe合金をバインダとして添加した場合、TiC率100～50 %では割れが発生するが、34 %では割れることなく多層肉盛が可能である。

Fe合金と混合されたTiC粉末粒子は、肉盛時に一部が溶融し、溶融した分は凝固時に再晶化する。その際、Fe合金の母相に炭素を溶解することでCOガス発生が抑えられる。また、晶化するTiCは角の丸いデンドライト状であり、割れを抑えられる。よって、Fe合金の使用は欠陥抑制に有効である。

34 % TiC-Fe合金被膜は硬さ、耐摩耗性ともに高く、耐摩耗用途への適用が期待できる。

#### 5 参考文献

- 1) 島崎 良：福岡県工業技術センター研究報告，No. 35，pp. 38-39 (2025)