

レーザー肉盛における基礎技術の確立及び既存技術との比較検討

島崎 良*¹ 小川 俊文*¹ 小野本 達郎*² 丸山 貴三*³ 澤井 直久*³

Establishment of Basic Technology for Laser Metal Deposition and Comparison with Conventional Method

Ryo Shimasaki, Toshifumi Ogawa, Tatsuro Onomoto, Takamitsu Maruyama and Naohisa Sawai

製鉄用プラント向け機械部品には耐摩耗性・耐食性が要求されるため、肉盛溶接による表面改質が行われている。従来のアークによる肉盛では、入熱が大きく溶け込みが大きいため、母材との希釈による被膜性能低下や熱歪みが問題となっていた。そこで、本研究では、局所加熱が可能なレーザーを用いて、希釈や歪みの少ない、高品質な肉盛被膜を作製するための条件を検討した。また、従来のアーク肉盛と比較し、レーザー肉盛の優位性を確認した。

1 はじめに

製鉄用搬送ロールをはじめ、製鉄プラント向け機械部品は過酷な摩耗・腐食環境で使用されるため、部品寿命向上のために表面改質処理を施して使用される。肉盛溶接はその表面改質プロセスの1つであり、従来、アーク溶接による肉盛が行われてきたが、近年では、レーザーを熱源に用いたレーザー肉盛が注目されつつある。レーザー肉盛は、希釈や熱歪みが小さく、条件次第で希釈率数%台の高品質な肉盛も可能^{1), 2)}である。しかし、この技術を保有し、実践している企業は少なく、加工条件等の基礎技術から確立していく必要がある。

本研究では、レーザー肉盛を行うための適正な加工条件の探索を行うとともに、既存のアーク肉盛との比較を行った。目標値はレーザーの優位性を示すため、希釈率10%以下、歪み量70%以下（アーク比）とした。

2 実験方法

2-1 肉盛試験片の作製

本研究で使用したレーザー肉盛装置（発振器:TRUMPF TruDisk5000, 加工ロボット:安川電機 MOTOMAN-MC2000 II, 加工ヘッド:PRECITEC YC-52）の外観を図1に、加工の概略を図2に示す。本装置は、波長1030nmのYAGディスクレーザーを母材に照射し、加熱することで熔融池を形成、そこに粉末を投射して肉盛加工を行うものである。

肉盛条件は、レーザーの照射スポット径をφ4mmとし、

出力、加工速度、粉末投射量、ウィービング有無を様々に変化させた。試験片の母材には、大きさ200×300mm、板厚19mmの低炭素鋼（SS400）の板を使用した。また、肉盛粉末にはマルテンサイト系ステンレス鋼（SUS420J2, 粒径50~150μm）のガスアトマイズ粉末を使用した。



図1 レーザ加工装置外観

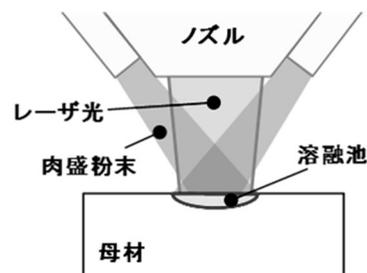


図2 レーザ肉盛加工の概略

作製した試験片は、外観及び染色浸透探傷検査（PT）にて欠陥の有無を確認した。その後、ビードの横断面で切断、研磨し、ピクラル腐食液でエッチング後、

*1 機械電子研究所

*2 公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

*3 株式会社黒木工業所

断面の組織観察を行った。また、得られた溶接金属の断面積から希釈率を測定した。

2-2 肉盛による残留応力及び歪み量の測定

試験片に同じ仕様の肉盛を行うことで、各種肉盛方法の比較を行った。その試験片（以下、歪み TP と記す）の仕様を図 3 に示す。

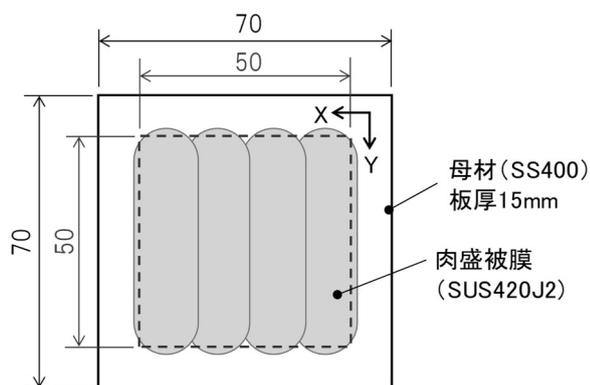


図 3 残留応力・歪み測定用試験片（歪み TP）の仕様

歪み TP は、材質 SS400、板厚 15mm の板を 70×70mm の正方形に切り出し、板上中央部 50×50mm の範囲に 1 層のみ肉盛を行ったものである。肉盛方法は、MIG（消耗電極式不活性ガスアーク溶接）、PTA（プラズマ粉体肉盛）、SMAW（手棒溶接）、TIG（非消耗電極式不活性ガスアーク溶接）の 4 種類のアーク肉盛に、LMD（レーザー肉盛溶接）を加えた 5 種類とした。

歪み TP は、母材の歪み状況を調べるため、肉盛面裏側の残留応力及び歪み量を測定した。残留応力は、XRD (Bruker D8 DISCOVER) を用いて X 線管球に Co、検出器側に Ni フィルタを使用し、2D 法にて測定した。この方法は、2 次元検出器により回折リングを取得し、リングの歪み形状から残留応力を計算する方法である。測定に用いる結晶面は $\alpha(2\ 1\ 1)$ とした。歪み量は、各歪み TP の裏側形状を 3D デジタイザ (Steinbichler COMET 5-11M) で取得し、解析ソフトにより凹凸量を平面度として算出することで定量した。

3 結果と考察

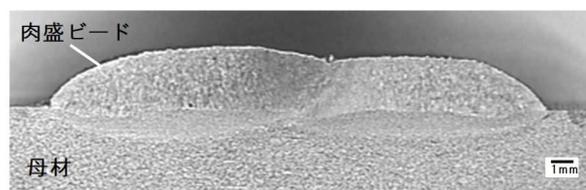
3-1 肉盛加工条件の選定

作製した肉盛試験片について、外観及び PT 検査を実施した結果の例を図 4 に示す。いずれの条件においても目視で確認できるサイズの欠陥は見られず、外観

は良好であった。次に、試験片の断面を観察し、肉盛ビードの形状・はく離等に問題のない条件のうち、最も希釈率が小さいものを適正条件として選定した。その断面を図 5 に示す。



図 4 肉盛試験片の PT 検査結果（例）



条件：出力 3.5kW、加工速度 3.5mm/s、粉末量 50g/min

図 5 基準条件におけるレーザー肉盛ビードの断面

適正条件は、レーザー出力 3.5kW、加工速度 3.5mm/s、粉末量 50g/min である。希釈率は 5.6% で、目標である希釈率 10% 以下をクリアしていた。

3-2 歪み TP による残留応力及び歪み量の評価

選定した適正条件を用いて、図 3 に示す仕様の歪み TP をレーザー肉盛にて作製した。その外観を図 6 に示す。外観は非常に良好であり、目視においては割れ等の欠陥は見られなかった。

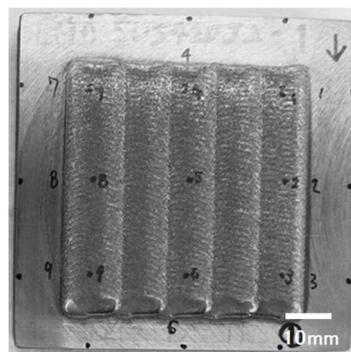


図 6 レーザ肉盛により作製した歪み TP

次に、歪み TP 裏側の残留応力を各肉盛方法で比較

した結果を図7に示す。残留応力は、測定点ごとのバラツキが大きく、1点での比較が困難であるため、歪み TP2 ケ×5 ケ所の計 10 点を測定し、その平均により比較を行うこととした。

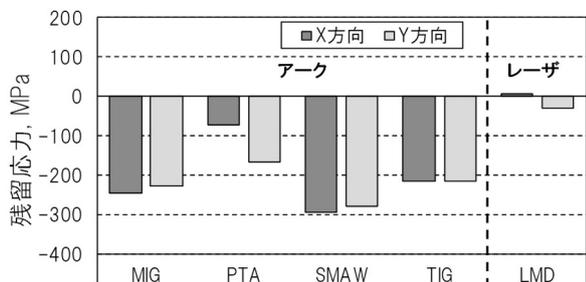


図7 歪み TP 裏側の残留応力比較
(歪み TP2 ケ×5 ケ所の平均)

MIG, SMAW, TIG ではいずれも 200MPa 以上、PTA では 100MPa 程度の強い圧縮残留応力が見られた。これは、肉盛被膜が冷却時にマルテンサイト変態し、膨張することで、母材に圧縮応力が加わったと考えられる。一方で、レーザー肉盛による残留応力は 30MPa 程度の弱いものであった。これは、他の方法と比べて熱影響が非常に小さいためと考えられる。

次に、歪み TP 裏側の歪み量を平面度として評価した。その結果を図8に示す。

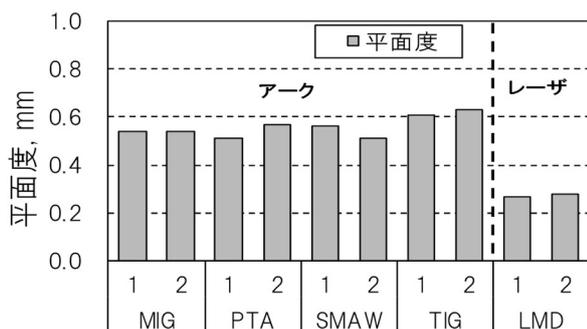


図8 歪み TP 裏側の平面度比較

アーク肉盛である MIG, PTA, SMAW, TIG の平面度は 0.51~0.63mm であった。一方、レーザー肉盛は 0.27~0.28mm と、歪みが小さかった。このことから、レーザー肉盛は熱影響が小さいことが明らかである。また、レーザー肉盛の歪み量は、アーク肉盛に対して約 50%であり、目標の 70%以下をクリアすることができた。

4 まとめ

レーザー肉盛技術確立のため、種々の加工条件を検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) レーザ肉盛は、外観上欠陥が非常に少なく、条件次第で希釈率の低い高品質な肉盛が可能である。
- 2) レーザ肉盛は、アーク肉盛と比べて残留応力や歪み等への熱影響が非常に小さい。
- 3) 適正条件では、希釈率10%以下、歪み量50%（対アーク肉盛）程度となる。

5 参考文献

- 1) 牧野吉延, 本多啓三: 溶接学会誌, 64巻(3号), pp. 154-160(1995)
- 2) 徐国建, 沓名宗春, 山田勝重: 溶接学会論文集, 23巻(2号), pp. 286-295(2005)