

汎用鉄鋼材料の小ロット金型への適用に関する研究 (第2報)

— レーザ肉盛溶接技術を用いた表面改質 —

佐野 正明・萩原 義人・星野 昌子・八代 浩二

Study on Applying of General Use Steel Using Minimum Production

Molding Mold (2nd Report)

— Surface Modification by Laser Welding Method —

Masaaki SANO, Yoshihito HAGIHARA, Shoko HOSHINO and Koji YATSUSHIRO

要 約

金型材料に汎用鉄鋼材料を適用し、肉盛溶接補修と同時に機能性表面改質層の形成を併せて行うことを目的とし、実験を行った。試験片表面にゲル状化した TiC 粉末(平均粒径 $\phi 0.05 \mu\text{m}$)を塗布し、レーザ照射を行った。その結果、処理面には TiC 改質層の形成が明確に認められ、各箇所における Ti 濃度を分析した結果、分析箇所によりばらつきはあるものの、数%から 30%弱程度の Ti 成分が確認された。更に Ti 成分の濃度に依存し、硬さも増大していたことがわかった(Max1000HV 以上)。これらは照射回数の増加により、ばらつきは少なくなり均一な面となることがわかった。

1. 緒 言

金型材料に使用される鉄鋼材料は、強度や耐熱性および耐食性など、その用途(ダイカスト・プレス・射出成型など)に適した性能を有する材料が求められている。これら金型材料は安定生産を確保する目的から、未だ従来からの高級材料が用いられたままである。試作型も同様であり、製品設計の確認のために、ある程度のショット数の生産でも、依然として高級材料が使われているのが現状である。しかし、コスト的な問題で高級鋼での新規金型を起こせない場合も多く、劣化した金型を肉盛溶接し、再利用する場合も現状少なくはなく、広く普及してきた技術である¹⁾。

そこで本研究では、金型材料に汎用鉄鋼材料を適用し、劣化した金型および試作後に修正が必要になった金型に対し、肉盛溶接と同時に機能性表面改質層の形成を併せ

て行うことを目的とし、実験を行った。溶接手段は各種あるが、今回は溶接変形が少なく高速深溶込みが期待できるレーザ溶接に着目し溶接を行った。加工面の評価は X 線回折による分析、断面の組織観察、表面あらさおよび硬さの測定などから行い、金型への効果的な適用について検討した。

2. 実験方法

2-1 試験片およびレーザ肉盛溶接装置

レーザ溶接機には CO₂ レーザ及び YAG レーザがあるが本実験では溶接補修時に発生する熱ひずみが少ない YAG レーザを採用し²⁾、装置はレーザ肉盛溶接装置(株テクノコート, TL-150S)を用いた。溶接条件はこれまでに入熱量と溶込み量を調査した結果から³⁻⁵⁾最適条件を選択し、表1に示すエネルギー条件でレーザ照射を行った。実験に供した素材は機械構造用合金鋼(P20)の改良鋼となるプリハードン鋼であり、表面硬さ 30HRC を用いた。

表1 レーザ照射条件

レーザ発信方法	ランプ誘起連続パルス 発信 YAG レーザ
レーザ波長	1064nm
平均レーザ出力	150W
電流値	140A
パルス幅	6ms
周波数	5Hz

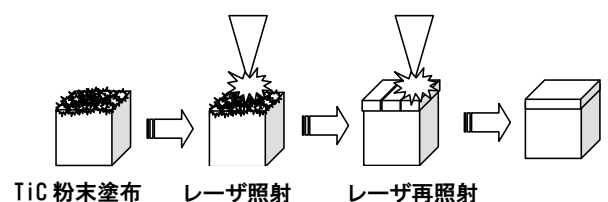


図1 表面改質方法

試験片はワイヤ放電加工機により 10×10×10mm に切り出したものを用いた。

2-2 レーザ肉盛溶接装置を用いた改質方法

レーザー肉盛溶接装置を用いた改質方法を図1に示す。試験片表面に金属粉末を塗布した後、その表面にレーザーを照射した。実験に用いた金属粉末は図2に示すように平均粒径 $\phi 0.05 \mu\text{m}$ の TiC 粉末であるが、レーザー照射時の飛散を防止するために、市販の保冷剤に溶き、ゲル状化した TiC を表面に塗布し、24 時間乾燥後にレーザー照射を行った。更にレーザー照射後の表面状態の安定化を期待して同面に複数回のレーザー照射を行い、その効果についても併せて検討した。レーザー照射スポット径は $\phi 0.6\text{mm}$ で行った。なお、スポット径は、10 秒間レーザーを照射した時の照射痕(溶融部と熱影響部を含む)を金属顕

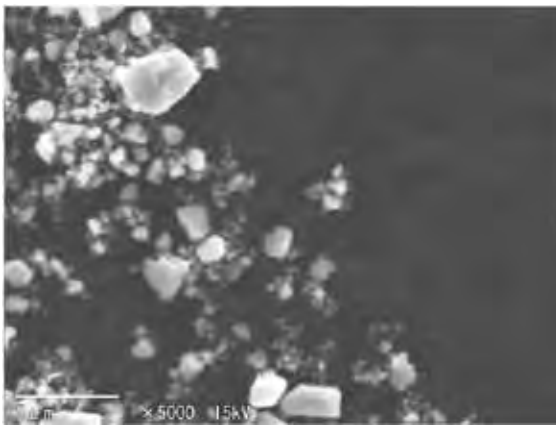


図2 実験に用いた TiC 粉末

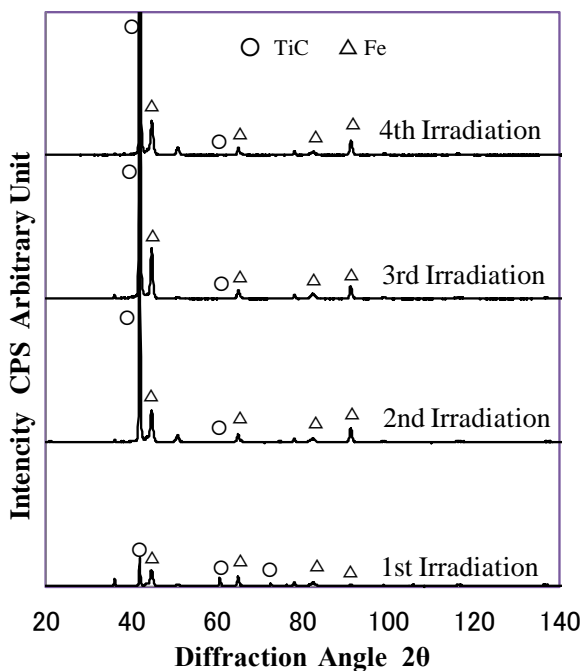


図3 X線回折による分析結果

微鏡により計測を行い、決定した。

3. 結果および考察

3-1 X線回折による分析

レーザー照射面の X 線回折装置(柵リガク, Rint2400)による分析結果を図3に示す。レーザー照射前の試験片は素材成分である Fe の回折線ピークのみであったが、レーザー照射(1回照射)を行うことにより、Fe の回折線ピークの他に新たに TiC の回折線ピークが認められ、試験片表面に塗布した TiC 成分の移行が認められた。更に同面に2回照射を行うと、TiC の回折線ピークは更に増大し、改質面の結晶構造の安定化傾向となる結果が得られた。その後更に、3回照射、4回照射を行ったが、2回照射以降から回折線ピークの大きな変化は認められなかった。また、 $2\theta=40$ 度付近の TiC 回折線ピークの増大は TiC 粉末がレーザー照射により溶融再凝固し、集合組織となったため、回折線ピークの積分強度が増したものと考えられる。この時の X 線侵入深さは数 μm 程度であり、照射回数が増加する毎に深さ方向に対して TiC が多く移行していくものと考えられる。

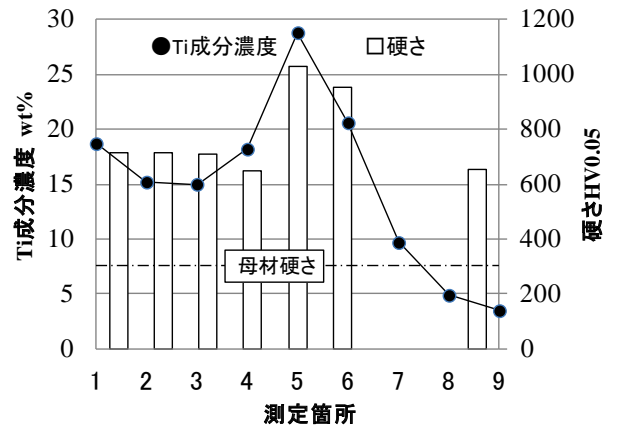


図4 蛍光 X 線による分析および硬さ測定(1回照射)

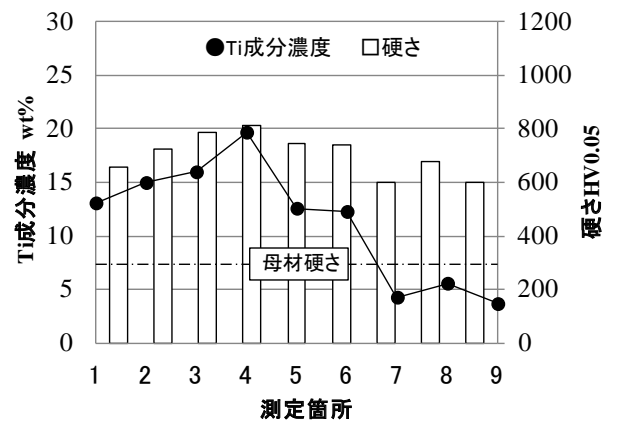


図5 蛍光 X 線による分析および硬さ測定(2回照射)

3-2 蛍光 X 線による分析および硬さの測定

レーザー照射した表面の Ti 成分の濃度測定を蛍光 X 線分析装置(株SII, SEA5200)により、評価した。測定箇所は加工面を 3×3 分割し、それぞれの中央部分で行った。また、硬さの測定についても同箇所について行った。その結果を図 4 から図 7 に示す。1 回照射の場合(図 4)では、X 線回折による分析で認められた TiC 成分の移行により、Ti 成分の検出が認められ、その濃度は高い部分では、30%弱程度認められたが、その一方で 3.5%程度の低い部分も認められており、レーザー照射範囲内において、TiC 成分濃度にばらつきがあることがわかった。また硬さについても 1000HV を超える程度の硬さが認めら

れた一方で、650HV 程度という低い部分も観察された。更に 2 回照射の場合(図 5)、1 回照射で最高値を示した Ti 成分濃度も減少し、また最高硬さも減少したものの、レーザー照射範囲内でのばらつきは少なくなる傾向を示した。更に 3 回照射、4 回照射と照射回数を増やすことにより、ばらつきは抑制され、面全体が一様な改質面となったことが、確認できた。いずれの照射回数および測定箇所による結果でも、硬さの増加は Ti 成分濃度に依存する傾向が認められた。照射前の母材硬さが 300HV (30HRC)程度であったのに対し、レーザー照射改質処理により 2 倍程度にまで硬さは上昇した結果となった。

3-3 表面あらさの測定

表面あらさの測定は、表面あらさ輪郭形状測定機(株小坂研究所, DSF-1000)により行った。測定方法は試験片中央部付近においてレーザー走査方向を X 方向、これに垂直方向を Y 方向とし、2 方向からの測定を行った。

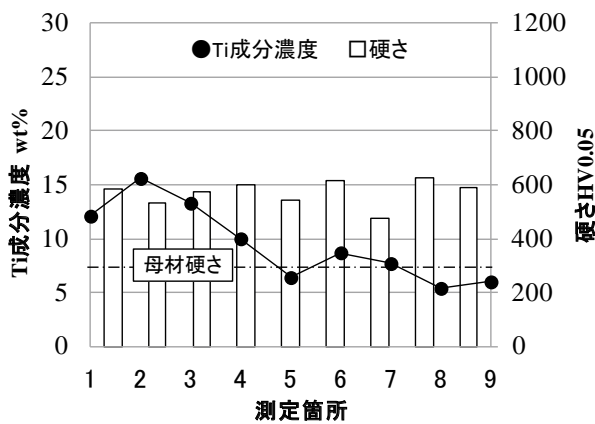


図 6 蛍光 X 線による分析および硬さ測定(3 回照射)

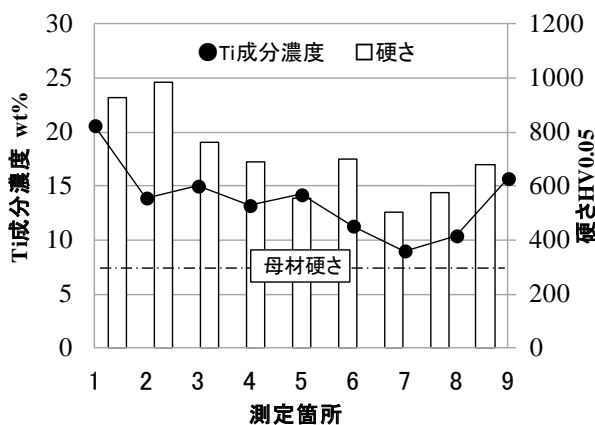
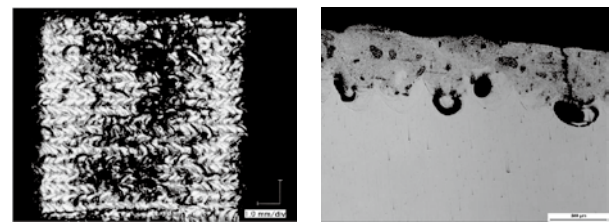


図 7 蛍光 X 線による分析および硬さ測定(4 回照射)

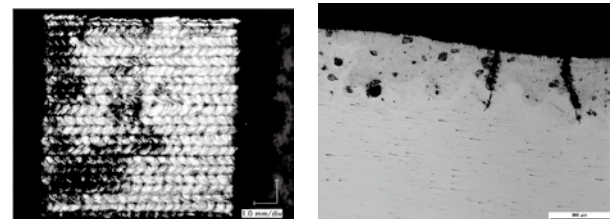
表 2 表面あらさの変化 μmRa (μmRz)

	1-Irrad.	2-Irrad.	3-Irrad.	4-Irrad.
X-Direc.	3.87 (22.86)	1.32 (6.79)	0.73 (3.64)	1.06 (5.71)
Y-Direc.	3.90 (23.77)	1.94 (9.39)	0.88 (4.61)	1.33 (6.60)



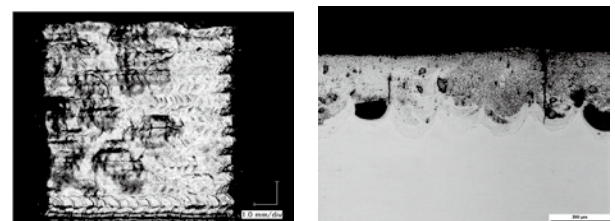
(a-1) 1 回照射-表面

(a-2) 1 回照射-断面



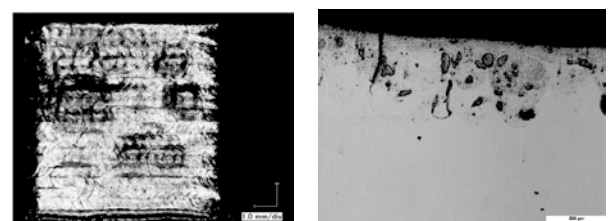
(b-1) 2 回照射-表面

(b-2) 2 回照射-断面



(c-1) 3 回照射-表面

(c-2) 3 回照射-断面



(d-1) 4 回照射-表面

(d-2) 4 回照射-断面

図 8 顕微鏡による表面および断面観察結果

その結果を表 2 に示す。1 回照射の場合、表面あらさは X, Y 方向ともに $4\mu\text{mRa}$ 程度であったが、2 回照射の場合、 $2\mu\text{mRa}$ 以下に小さくなる傾向を示した。更に 3 回照射を行うと、表面あらさは $1\mu\text{mRa}$ を下回る表面あらさが得られることがわかった。4 回照射では、今度は逆に表面あらさはわずかに大きくなる結果となった。これはレーザー照射の凹凸は複数回の照射により低減するが、溶融量が大きくなり、うねり成分の影響を受けてわずかに増大したものと考えられる。(しかしこれは測定時のカットオフ値の設定による影響も受けるため、測定値はほぼ同様と考えて良いと思われる。) またレーザー走査方向 (X 方向, Y 方向) による表面あらさの違いは認められなかった。

3-4 顕微鏡による表面および断面の観察

ビデオマイクロスコープ(㈱キーエンス, VHX8000)により表面を観察した結果と金属顕微鏡(㈱ニコン)により断面を観察した結果を図 8 に示す。

まず表面の観察では、1 回照射の場合中心付近が変色し、凹凸の激しい部分が数カ所見られた。2 回照射になると表面の凹凸は滑らかな形態となり、変色部も一部にとどまっていた。3 回照射では、変色部は著しく少なくなっていたことがわかる。4 回照射の場合、変色部及び表面の滑らかさは 3 回照射の場合とほぼ同等であった。

次に断面の観察では、1 回照射の場合、表面から $400\mu\text{m}$ 程度の溶融層内部まで、クラックの存在が観察され、溶融層下部周辺には直径 $100\mu\text{m}$ 程度の空孔も観察された。2 回照射すると、空孔の存在割合は少なくなり、更に 3 回照射、4 回照射を行うと空孔やクラックの存在は著しく低減されることが認められた。

照射回数が少ない場合では、十分に内部まで加熱されず、溶融部内に残ったガスが外部に逃げ切れずに、空孔として存在したものと考えられる。

3-5 EPMA による断面の分析結果

レーザー照射した断面の EPMA による分析結果を図 9~11 に示す。1 回照射では Ti 成分が存在する領域は表面から $10\mu\text{m}$ 程度の領域までであった。また C 成分は表面から $400\mu\text{m}$ 程度の領域までその成分濃度が観察されたが、これは Ti 成分の領域と一致していないため、TiC 成分としての存在深さは $10\mu\text{m}$ 程度までであると考えられる。これに対し複数回の照射を行うと (2 回照射, 3 回照射), Ti 成分及び C 成分の存在領域は表面から $400\mu\text{m}$ 程度まで広範囲にわたって存在しており、またその分布も良く一致していることから、TiC 成分が素材内部まで十分に移行していることが確認された。

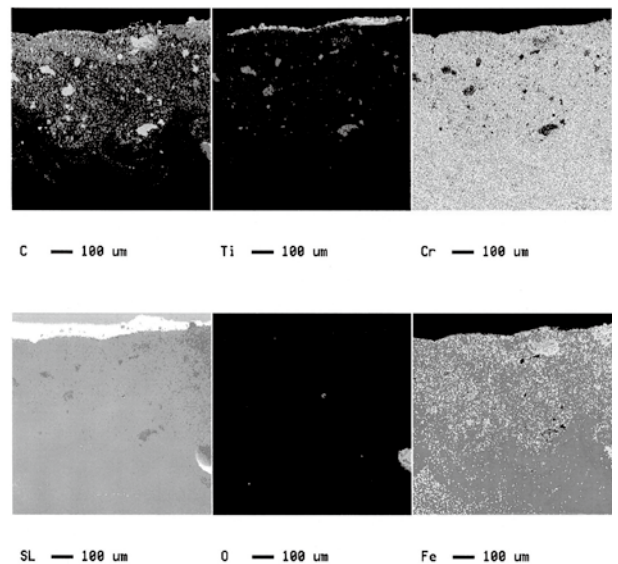


図 9 EPMA による面分析結果 (1 回照射)

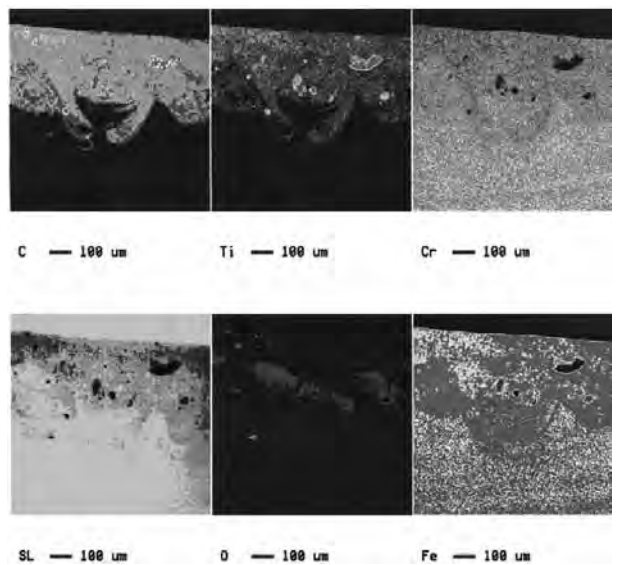


図 10 EPMA による面分析結果 (2 回照射)

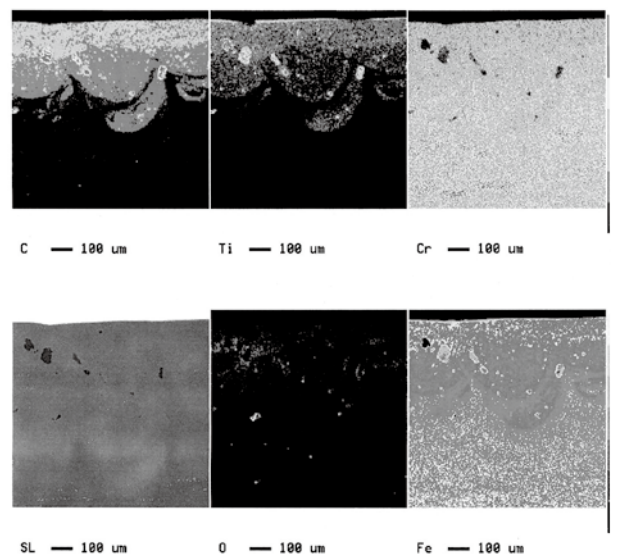


図 11 EPMA による面分析結果 (3 回照射)

4. 結 言

溶接補修時に改質層の形成を併せて行うことを目的とし、TiC 粉末を表面に添加しレーザー照射により表面改質処理を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) TiC 粉末を添加することにより、素材表面にTiCの表面改質層を形成することができた。
- (2) 照射回数1回では表面のTi濃度にばらつきがみられたが、複数回照射することで均一な濃度の表面状態になることが分かった。更に同面の硬さ測定を行ったところ、濃度分布と相関し、表面硬さのばらつきが少なくなり、500 HV 以上（平均値700HV程度）の硬化層を得られることが分かった。
- (3) 表面あらさは照射回数を重ねる毎に向上するが、照射回数3回以降では大きな変化はみられなかった。
- (4) 断面観察において照射回数が少ない場合、空孔やクラックが多くみられたが、照射回数を増やすことにより空孔やクラックの数が少なくなることが確認できた。

参考文献

- 1) 寶石 博司：パルス YAG レーザ肉盛・溶接機による精密補修技術，電気加工学会誌，Vol. 45，No.108，p. 20-22 (2011)
- 2) 溶接学会編：溶接・接合技術，p. 97 (2007)
- 3) 星野 昌子，石田 正文，勝又 信行，斉藤 修：肉盛溶接による金型補修に関する研究，山梨県工業技術センター研究報告，No.24，p. 47-50 (2010)
- 4) 星野 昌子，石田 正文，勝又 信行，佐野 正明：肉盛溶接による金型補修に関する研究(第二報)，山梨県工業技術センター研究報告，No.25，p. 45-49 (2011)
- 5) 星野 昌子，勝又 信行，石田 正文，佐野 正明，八代 浩二：肉盛溶接による金型補修に関する研究(第三報)，山梨県工業技術センター研究報告，No.26，p. 10-14 (2012)