

YAG レーザ・ロボットを用いた肉盛補修技術の研究

杵名 宗春* 渡辺 正芳* 徐 国建* 山田 勝重**
*名古屋大学 工学研究科 **テクの中部

Research on The Cladding Repair Technology Using The Laser Robot

Muneharu KUTSUNA*, Masayoshi WATANABE*, Guojian XU*, Katsusige YAMADA**

*Department of Materials Processing Engineering, University of Nagoya

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan

**Techno-Chubu, co. Ltd, Researching center of techniques

Odaka-cho, Midori-ku, Nagoya, 459-8001

In this research, the laser robot system was set up for cladding using, consisting of a pulse YAG laser, 6-axis robot, the optical fiber, and a special powder supply nozzle. With this system SUS304, Colmonoy No5, and FP160 cladding powder alloys were clad to SM400B. The geometry evolution, microstructure, and performance of the clad layer were investigated by change of laser cladding conditions. With the optimal parameters, a beautiful clad layer with overly fine microstructure and very low dilution rate was obtained. Moreover, the study on technology of clad repairing and rapid prototyping were performed by a programming.

Key Words: Laser Cladding, Repairing, Process Parameter, Nd: YAG Laser, clad layer,

1 緒言

溶射・表面改質でのレーザー熱源利用はプラズマに比して、実用例が比較的少ない⁹⁾。しかしながら、レーザーを用いるクラディングは次の特性¹⁾を持つから、レーザーによる皮膜生成による研究も近年盛んで、すでに自動車産業でエンジンバルブ及びバルブシートのレーザー・クラディングに実用化されている。

- 1). 高エネルギー密度のため高融点材料も肉盛可能。
- 2). 粉末として金属酸化物や炭化物など脆性材料も溶加材として利用できる。
- 3). 低い希釈率を得るなど希釈率の制御が容易。
- 4). 入熱が低く、冷却速度、凝固速度が大きい。
- 5). 結晶粒が微細で、偏析のない均一な金属組織が得られる。
- 6). 合金成分や肉盛層の厚み制御が容易。
- 7). 準安定相、過飽和固溶体の生成も可能。

- 8). 熱歪の発生がわずか。
- 9). 特殊光学系で細管内部のクラディングも可能。
- 10). 局所のクラディングに適する。
- 11). YAG レーザはファイバーを用いて、遠いところまでのクラディングもできる。

粉末を用いたレーザー・クラディングにおいて、二つの方法がある。まず、粉末供給方法である。この方法は、基材の溶融量を極力小さくして、できるだけ添加材料そのものの特性を持った皮膜を形成することを目的とするのに対する⁷⁾。またこの方法は、希釈率10%未満の肉盛層が得られた⁸⁾。一方、粉末静置方法である。この方法は、基材を積極的に溶融し基材と添加材料を混合あるいは合金化して、基材とも添加材料とも異なる特性の皮膜を形成することを目的としている⁷⁾。またこの方法は、シールドガスによるパウダーの分散による肉盛の不十分、希釈率の増加、平坦の箇所ではしか対応できないなど欠点がある⁹⁾。

本文には、パルス YAG レーザを熱源として、肉盛用六軸ロボット、パウダー供給装置と組み合わせ、レーザー・ロボット肉盛溶接システムを構造した。肉盛材料 USU304、Colmonoy No.5 及び FP160 を用いた肉盛層の形状、組織及び性質などについて研究した。またレーザーの肉盛補修及び造形の技術に関する検討を行った。

1 実験方法

2.1 肉盛用レーザー・ロボット・システム

構造した肉盛用レーザー・ロボット・システムを Fig1 に示す。レーザー装置はランプ励起の

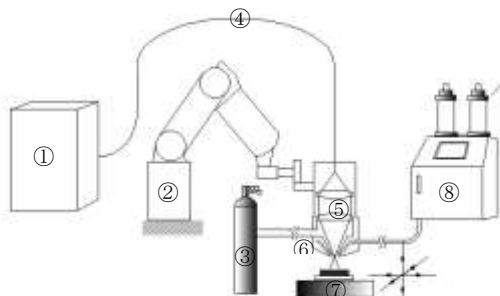


Fig1 Schematic drawing of laser cladding system

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| ① YAG laser system | ② 6-axis robot |
| ③ Shielding gas cylinder | ④ Optical fiber |
| ⑤ Output lens unit | ⑥ Powder delivery nozzle |
| ⑦ Sample stand | ⑧ Powder feeder system |

東芝製パルス Nd : YAG レーザ装置 (LAZ-A833 型) で、平均定格出力は 300W, 最大パルス繰り返し数は 200pps, 最大パルス幅は 9.9ms であり、最大パルス出力は 80J/パルスである。集光用レンズは焦点距離 60mm の YAG 用レンズ (石英ガラス) を用いた。

用いた光ファイバーは三菱電線工業 (株) 製ステップインデックス (SI) 型のもので、コア径 0.6mm, 開口数 0.18 で、光ファイバーの最小曲げ半径 500mm のものである。またレーザーを光ファイバーへ伝送するための光ファイバー単一分岐ユニットとして東芝製 UYM-A1000 型 Type B のものを使用し、被加工物へのレーザーの集光ユニットとして P8F3034-

P0005TypeE を使用した。出射側のレンズは焦点距離 60mm のものを使い、集光レンズの破損を防ぐため、保護用の円形平板ガラスをユニットの出射口先端に取り付けた。またレーザー・ヘッドの三次元空間の操作として溶接用 6 軸ロボット、パウダー供給装置、シールドガス及びパウダー供給ノズルがある。

2.2 パウダー供給装置

本研究では、粉末供給装置としてスルザーメテコジャパン (株) 製 TWIN 10-SPG を使用した。この装置の写真は Fig2 に示した。この装



Fig2 Photograph of powder feeder unit

置の特徴としてパウダーの流量をディスクの回転数によって制御するタイプの供給装置である。このパウダーの供給装置は同時に別々の供給量で二種類のパウダー供給することができる。

2.3 6 軸ロボットとパウダー供給ノズル

本システムで使用したロボット装置は川崎重工業 (株) 製高性能アーク溶接用ロボット “アークジェイス” であり、そのロボット・ヘッドとパウダー供給ノズルの外観写真を Fig3 に示す。動作自由度を 6 点持ち、最大直線補間速度 1500mm/s、位置繰り返し精度 ± 0.1 mm、可搬重量 6kgf、記憶容量 1300 点である。指示方法として、点と点の間を補間する溶接専用簡易ティーチ方式を用いている。肉盛用レーザー・ロボット・システムを構築するにあたって、最も重要となるのは安定なパウダー供給、レーザー

通過及びシールドガスの供給を一体化させたノズルである。

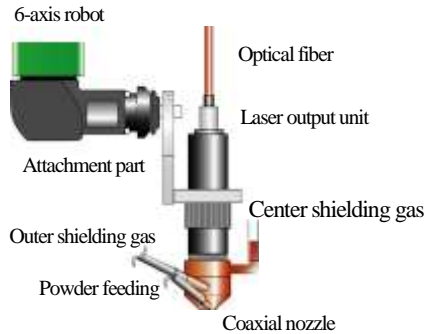


Fig3 Schematic drawing of robot head and coaxial nozzle

パウダー供給ノズルをFig4に示す。ノズルは銅製である二つの部品より成り立っている。一つ

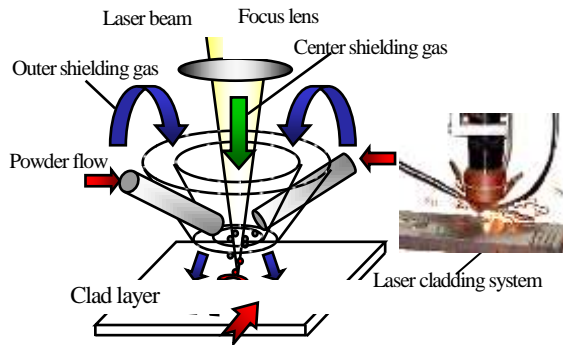


Fig4 Schematic drawing of laser fabrication process with coaxial nozzle

は中心部のインナーノズルであり、もう一つは外側のアウトernoズルである。この二重のノズルにシールドガス用のパイプを3本、パウダー供給用のノズルを2本取り付け付けた。パウダー供給用パイプはインナーノズル内まで達して、ノズルの中心部に向けてパウダーが供給されるようになっている。またインナーノズル内を通過して、センター・シールド・ガスがレーザー直下に供給されることによりパウダーがレーザーとの相互作用域に供給され、溶けて基板に溶着することにより肉盛を行った。また、インナーノズルとアウトernoズルとの間にアウトernoシールド・ガスを供給し、肉盛時のシールド・ガスとして、肉盛域を保護する。

2.4 供試材

基板及びパウダーの化学組成をTable1及びTable2に示す。試験片のサイズは40×25×

Table1 Composition of base metal, SM400B

C	Si	Mn	P	S	Fe
0.18	0.4	1.38	0.017	0.0045	bal

Table2 Composition of base metal and filler powder metal

	C	Si	Fe	Cr	B	W	Co	Ni
SUS304	0.08	0.72	1.54	18.42	—	—	—	8.75
Colmonoy No.5	0.65	3.75	4.25	11.5	2.5	—	—	bal
FP160	—	1.8	—	21	3	5	bal	—

5mmである。試験片は実験を行う前に耐水ペーパー #600 で機械研磨を行いその後乾燥させ、アセトンで表面を拭き、汚れを除去した後、肉盛実験を行った。すべてのパウダーのサイズは40–150 μm である。

2.5 レーザ肉盛の実験条件

レーザーの出力は100Wとし、ビーム・スポット径は焦点外し距離を1mmとすることにより、1.6mmをした。ロボット・ヘッドの走行速度を1.5mm/sから7.5mm/sとした。ノズルのセンター・シールド・ガス流量及びアウトernoシールド・ガス流量を10L/minとした。ガスはすべてアルゴンを使った。

パウダーUSU304の供給量はパウダー供給器のディスク回転数を2rpm、3rpm及び5rpmと変化させて5.6g/min、9.6g/min及び12.8g/minとした。パウダー供給量はColmonoy No.5では8.42g/min及び12.67g/minとし、FP160では4.67g/min及び9.39g/minで行った。

この試験片は肉盛層を垂直する方向に切り取って、研磨して、エーチングする。それから、肉盛層の形状、希釈率、DAS、硬さ及びEPMA分析を行った。

3 実験結果及び考査

3.1 USU304粉末を用いたレーザー肉盛

3.1.1 ビードの外観

SUS304 粉末を用いたワンパスの肉盛りビードの外観を Fig5 に示す。きれいな肉盛り層が得られた。

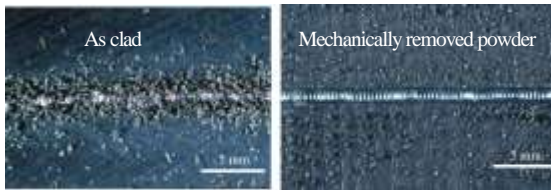


Fig5 Bead appearance of clad layer of SUS304 powder

肉盛り層の横断面の写真を Fig6 に示した。肉盛りの形状は走行速度及びパウダーの供給量



Fig6 Cross section of clad layer of SUS304 powder

の変化によって、大きく変化しているのが分かる。走行速度の増加と共に肉盛り層が非常に薄くなっているのがわかる (Fig 7)。

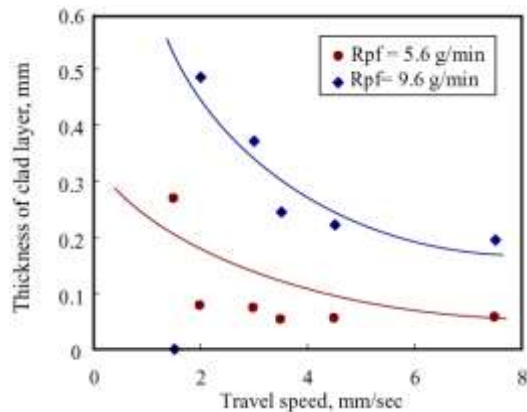


Fig 7 Relationship between travel speed and clad layer thickness of SUS304 powder

速度変化における溶け込み深さへの影響を Fig8 に示す。走行速度が増加するにつれて溶け込み深さは増加した。これは走行速度の増加においてレーザーによって熔融するパウダーの量が相対的に減少し、そのためレーザー・エネルギーがパウダーよりむしろ基板の方に供

給されるため、結果として溶け込み深さが増加するためであると考えられる。

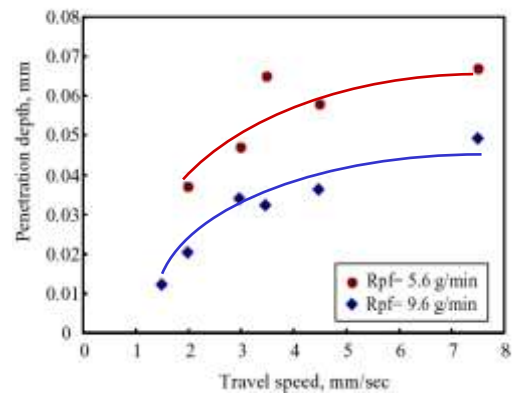


Fig8 Relationship between travel speed and clad layer penetration depth of SUS304 powder

肉盛りビード幅にはばらつきは見られるものの平均して 0.55–0.65 と一定の幅となった。走行速度やパウダー供給量によって大きな違いは見られなかった。

3.1.2 レーザ肉盛りにおける希釈率の変化

Fig9 に走行速度の変化による希釈率への影響について示す。走行速度が増加につれて希釈率が增加する現象が見られた。これはパウダ

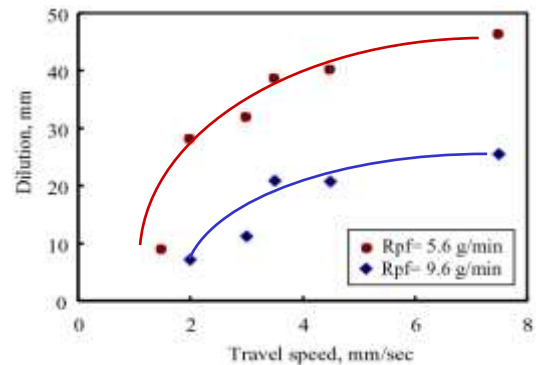


Fig9 Relationship between welding speed and dilution of SUS304 powder clad layer

一供給量が一定の場合、走行速度の増加に伴い単位面積あたりに供給するパウダー量が減少するため、溶け込み深さが増加し、肉盛り層が非常に薄くなってしまい、希釈率も増加する。一方パウダーの供給量が増加するにつれて、基板の入熱量が減少し、希釈率も減少する。

3.13 DAS に及ぼす走行速度とパウダー供給量の影響

Fig10 にデントライト・アーム・スペーシング (Dendrite arm spacing 即ち DAS) を測定

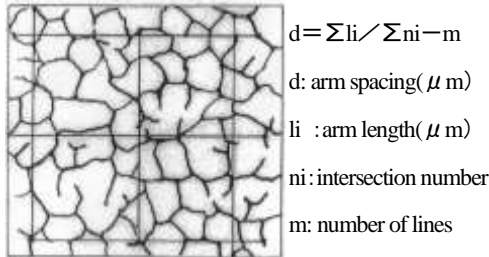


Fig10 Schematic of DAS measurement by linear intercept method

することを示す。

Fig11 は USU304 パウダーを利用して、肉盛する DAS 値の変化を示す。走行速度の増加に伴い DAS 値は少々増加した。これは単位あたりの肉盛量に対する入熱が走行速度の増加とともに増加しそのため DAS 値が増加したためだと思われるが、その差は $0.2\mu\text{m}$ ほどと非常に小さいものであった。パウダー供給量については大きな差は見られなかった。この肉盛層の DAS 値は平均して $3.68\mu\text{m}$ と微細な組織を示した。肉盛層組織は Fig25 に示した。

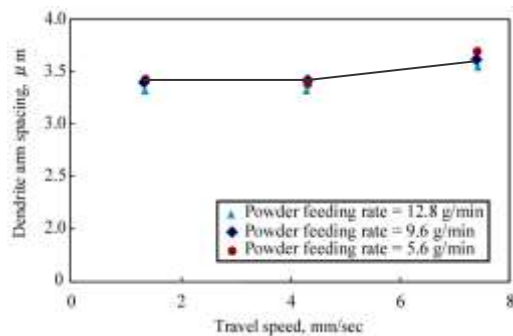


Fig11 Relationship between travel speed and DAS in clad layer of USU304 powder

3.14 レーザ肉盛部の平均硬さ

Fig12 にレーザ走行速度と各肉盛組織のビッカース硬さとの関係を示す。速度の増加に伴う硬さの変化について明確な影響は見られなかった。またパウダー供給量が若干少ない場合硬さの上昇量が大きかったが、大きな変化は見

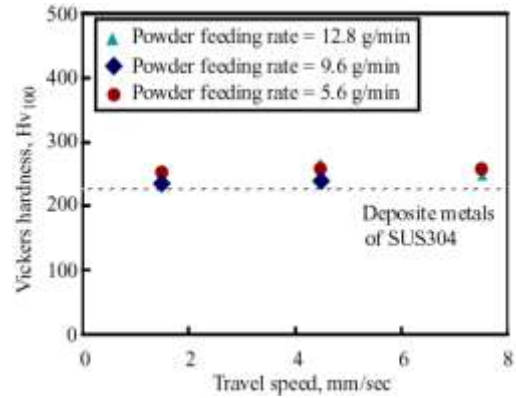


Fig12 Relationship between Vickers hardness and travel speed

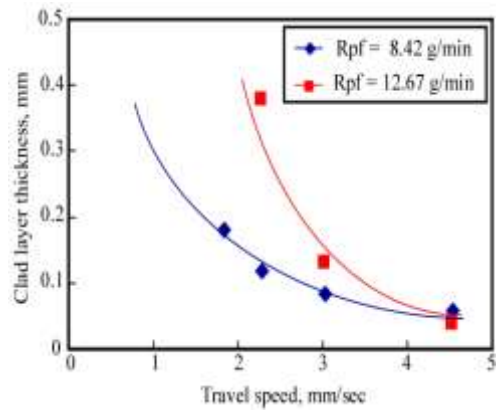
られなかった。この肉盛層の平均の硬さは 200HV となった。

3.2 Colmonoy No5 及び FP160 パウダーを用いたレーザ肉盛

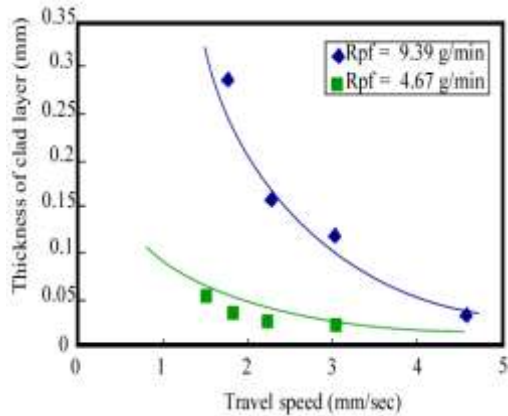
3.2.1 ビードの外観

この二種類の肉盛材料を用いる肉盛ビードの形状はほぼ SUS304 パウダーの肉盛ビードの形状と同じである。しかしながら、この二種類合金の肉盛表面に未溶融、あるいは不完全溶融となった粉末が付着している。また多くの割れが見られた。肉盛はワンパスながらも層状な組織を示している。これはパルス・レーザを用いているため、金属粉末は供給中に溶融されながら、基板の溶融池に送給され肉盛を形成しているためである。

Colmonoy No5 と FP160 の肉盛層厚さの変化は Fig13 a), b) に示した。Fig13 の結果によると、それぞれの肉盛層厚さは走行速度の増加に伴い急激に減少する傾向が見られた。これはパウダー供給量が一定の場合レーザの走行速度増加に伴い単位面積当りに供給するパウダー量が減少するためである。またパウダー供給量が増加する場合でも肉盛層の量が増加しているのが分かる。走行速度が遅い時、その差は顕著であり、走行速度が増加するに伴いパウダー供給量の違いによる肉盛層厚さは減少している。



a) Colmonoy No5



b) FP160

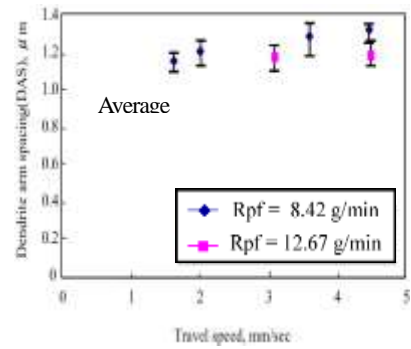
Fig13 Relationship between clad layer thickness and travel speed

3.2.2 DAS 値の変化

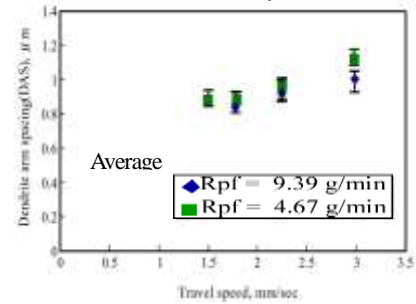
各速度における DAS 値を Fig14a), b)に示す。若干走行速度の増加に伴い DAS 値が大きくなっているのが分かる。これは走行速度において著しいパウダー量の減少のために、単位当りのパウダー量に供給される熱量が増加するためだと考えられるが、その差はおよそ $0.2 \mu\text{m}$ ほどであった。DAS 値の測定から平均して Colmonoy No5 では $1.24 \mu\text{m}$, FP160 では $1.16 \mu\text{m}$ と非常に微細な組織を示した。これはレーザにおける急熱急冷によるものである。

3.2.3 レーザ肉盛における断面マイクロ組織

Colmonoy No5 と FP160 の肉盛層の組織を Fig15 に示した。二種類の肉盛層の組織はセル状 dendrite 組織に属し、基板に対しておよそ垂直に進展している。組織は非常に微細で、

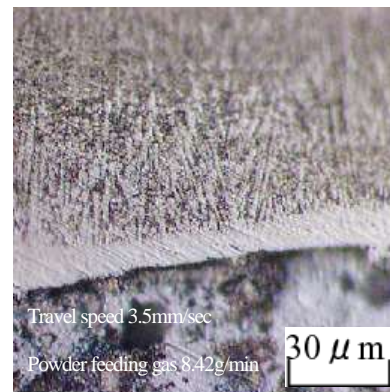


a) Colmonoy No5

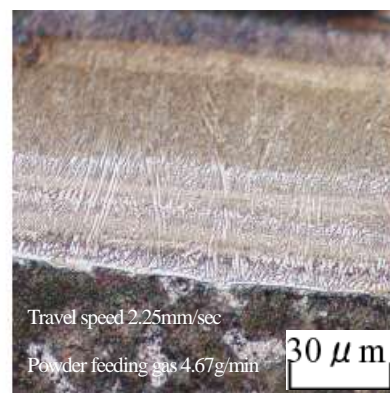


b) FP160

Fig14 Relationship between travel speed and DAS



a) Colmonoy No5



b) FP160

Fig15 Microstructure of cladding metals

デンドライトはエピタキシャル成長が見られる。また走行速度が速い場合、平滑界面成長層が界面付近に見られた。これはパウダー供給量の低下から単位当りのパウダーに対する熱量の増加により、温度勾配の増加及び冷却速度の低下により平滑界面成長が起きたためであると考えられる。

3.2.4 レーザ肉盛ビード希釈率の変化

希釈率の変化規律はSUS304パウダーの肉盛層と同じである。走行速度の増加が希釈率を増加させているのが分かる。

Colmony No5パウダーを用いる肉盛層のEPMA分析結果をFig16に示した。低速度の

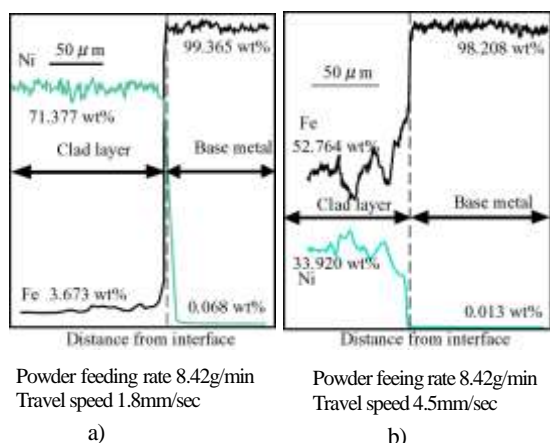


Fig16 EPMA of Colmony No5 clad layer

場合希釈率は非常に低く、Ni量が界面層付近で急激に変化しているのがわかる。速度が増加するに従って、肉盛側のNi量が減少し、対して

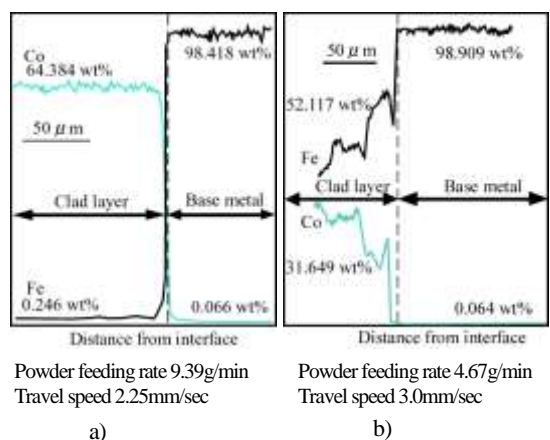


Fig17 EPMA of FP160 clad layer

Fe量が増加し希釈率が大きく行われる。

FP160パウダーを用いる肉盛層のEPMA分析結果をFig17に示した。Fig17 a)にパウダー供給量が9.39g/minで走行速度が2.25mm/secでは、肉盛層の希釈率は非常に低く、その変化の範囲は非常に小さい。成分の変化の範囲は10μmほどとなった。しかし、Fig17 b)に示すようにパウダーの供給量が少なく、速度の速い肉盛層では希釈率が大きくなり、測定からはパウダー供給量が4.67g/minで走行速度3.0mm/secでは52%となった。

3.2.5 レーザ肉盛層の硬さ

Fig18a)にColmony No5における硬さの変化を示す。低い希釈率において、硬さは600HV以上となり、本来の硬さ(520HV)に比べ非常に高くなっているのが分かる。しかし、希釈率が多くなるにつれて肉盛層のFe量が増加し、硬さが減少し、希釈率34%の希釈率の試験片では本来の硬さよりも低くなった。この肉盛

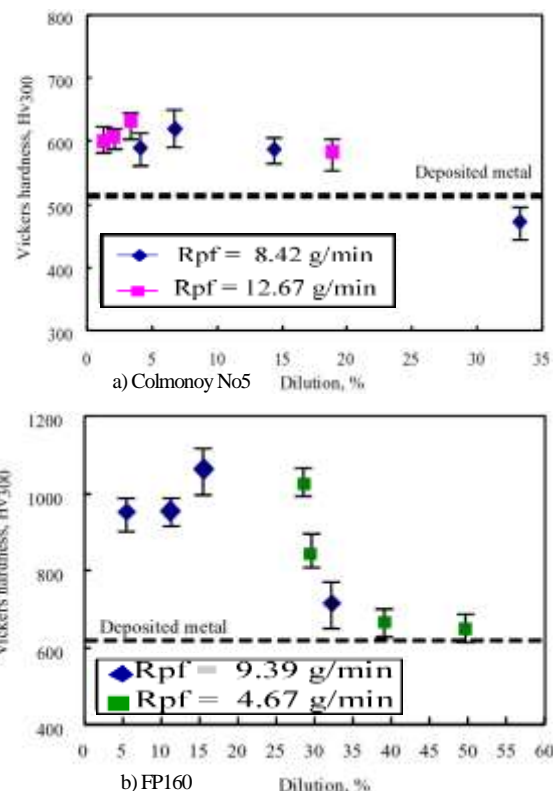
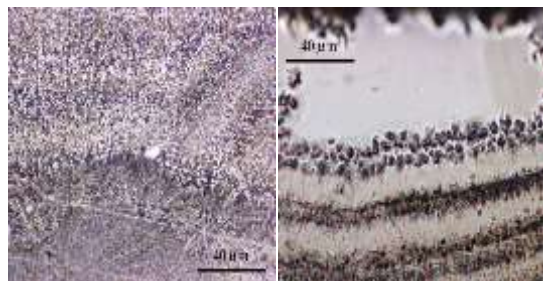


Fig18 Relationship between hardness of clad layer dilution

層は硫酸での電解エッチングにより Fig19a) に示すような炭化物介在物が析出されるかもしれない。この析出物付近において、硬さは 700HV と非常に高く、それ以外において硬さは 580HV 程度である。

Fig18 b) に FP160 肉盛層の硬さの変化を示す。この場合も肉盛層の希釈率が増加するにつれて硬さが減少している。しかし、希釈率が 50%を超える場合であっても硬さは本来と同様な硬さであった。Fig19 b) に酸化クロム溶液において電解エッチングを行った FP160 肉盛層の顕微鏡写真を示す。Co 炭化合物が析出



a) Colmonoy No5

b) FP160

Fig19 Microstructure of clad layer

されるかもしれない。この化合物析出によって、肉盛層の硬さは高くなると思われる。析出物付近において、硬さは非常に硬く 1000HV を越す場合もあった。比較的析出物が少ないところでは 700HV ほどであった。

3.2.6 レーザ肉盛層の割れ

本試験中、多くの試験片において割れが観察された。Fig20a)、b) に肉盛層の上部を 0.02mm ほどエメリー紙で研磨を行い除去したそれぞれ Colmonoy No5 及び FP160 のビード上部の割れを示す。どちらの合金においても肉盛層方向と垂直に割れが発生していた。

Fig21 に断面により観察された割れの顕微鏡写真を示す。これらの割れは主に粒界、または粒内においても発生していた。

Fig22 に Colmonoy No5 の SEM 写真の結

果を示す。試験片の断面の形態分析によって脆性的なへき開破壊である破壊形態を示した。またデンドライトの 2 次アームも観察されなかつ

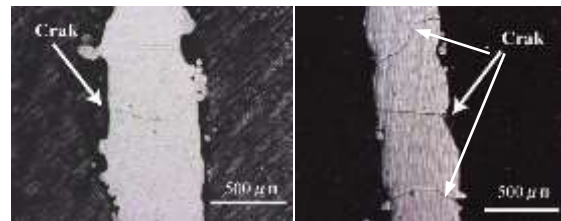
Powder feeding rate 12.67g/min
Travel speed 4.5mm/sec
a) Colmonoy No5Powder feeding rate 4.67g/min
Travel speed 4.5mm/sec
b) FP160

Fig20 Macro crack of clad layer

Powder feeding rate 12.67g/min
Travel speed 4.5mm/sec
a) Colmonoy No5Powder feeding rate 4.67g/min
Travel speed 4.5mm/sec
b) FP160

Fig21 Micro crack of clad layer

Fig22 SEM image of brittle fracture at
clad layer of Colmonoy No5

たことから、凝固後の延性の低下により割れが発生したと思われる。FP160 の肉盛層の割れは Colmonoy No5 と同様な脆性割れを示した。

3.3 レーザ・ロボット・システムを用いた多層肉盛

3.3.1 レーザ多層肉盛層の外観及び組織

Fig23 に多層肉盛プロセスのモデル図を示す。ロボットは点補間で行われるティーチン

グ・プログラミングを施すことにより任意の形状に肉盛を行うことができる。

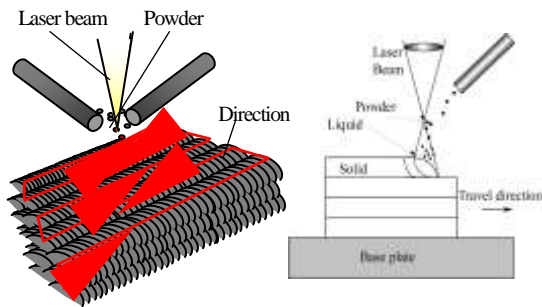


Fig23 Scanning pattern of deposition sequence in multi-layer cladding

Fig24 にひとつの形状として一辺 5mm、高さ 2mm の四角の形状を、ライン状に N 字形状を、また台形形状で積層肉盛を行った。実験の条件としては、走行速度を 4.5mm/sec、パウダーの供給量を 7.39g/min で行った。重なり度は 30%とした。この場合毎層の肉盛層の高さが 0.2mm であることを考えれば、2mm の積層を得るためには 10 層の積層肉盛が必要であることが分かる。

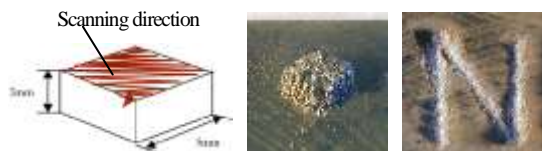


Fig24 Appearance of multi layer cladding of SUS304 powder

Fig25 に多層肉盛層の横断面を示した。各セルがエピタキシャルに成長し、かつ各層間に成長

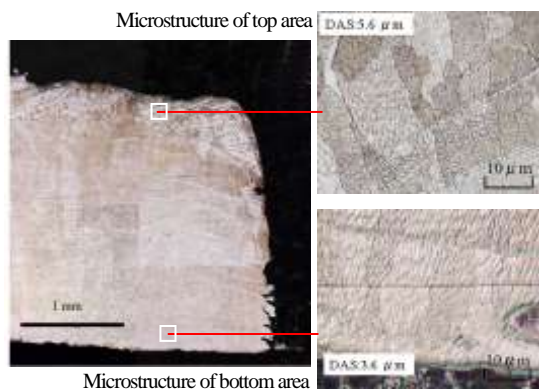


Fig25 Microstructure of multi layer cladding of SUS304 powder

が進展しているのが観察された。これにより各層が比較的に良く接合しているものと考えられた。基板の熱影響部は非常に小さく、希釈率は 19%となった。各層の接合部間に若干のポロシティが観察されたが、割れのような溶接欠陥は観察されなかった。この多層肉盛層の組織は非常に微細であった。肉盛層の底部にはセル状デンドライト組織の DAS 値は 3.8μm ほどとなった。肉盛層のトップにはセル状組織となり粗大化し、DAS 値は 5.6μm ほどであった。

3.3.2 多層肉盛層の硬さ

Fig26 に積層肉盛断面を垂直方向に測定した硬さの分布を示す。肉盛側の界面付近において若干硬さが 236HV と硬くなった後、界面からの 0.3mm 以上では SUS304 の圧延材と同様な硬さである 220HV ほどの硬さが表面付近まで続いていた。この硬さの上昇は組織の微細化と肉盛成分の希釈による原因だと考えられた。

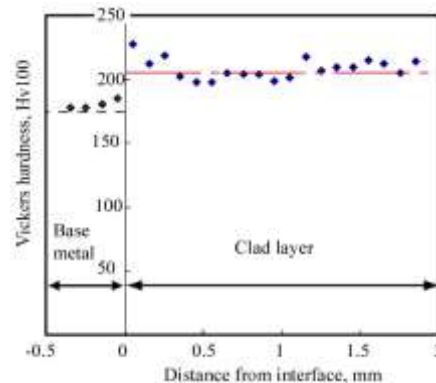


Fig26 Hardness distribution of multi clad layer of SUS304 powder

4 結論

- ① YAG レーザと 6 軸ロボット及び光ファイバーを用いて試作した粉末供給ノズルと組み合わせ肉盛用レーザ・ロボット・システムを構築した。
- ② 溶接速度の増加に伴い肉盛厚さの減少、また希釈率の増加が見られた。しかし、溶接速度を減少させると、肉盛形状は安定せず、基板が

熔融されないため、肉盛部が剥離してしまうといった欠陥が見られた。

③ レーザ肉盛で得られた肉盛層の成分の変化域は非常に狭く、10 μ mほどの間において行われることがEPMAの分析により明らかであった。これは接合界面での合金元素の拡散距離が短いことを示す。

④ SUS304、Colmonou No 及びFP160の肉盛組織のDAS値はそれぞれ3~5 μ m、1.24 μ m及び1.16 μ mと非常に微細な組織を示した。溶接速度の増加に伴い、DAS値が大きくなっている傾向を持つ。

⑤ 肉盛層の硬さはSUS304の場合本来の硬さ220Hvと同様か1.1倍(約240Hv)の硬さを示した。しかし、Colmonoy No. 5やFP160の場合、非常に硬化していた。そのためColmonoy No. 5やFP160では多くの試験片に割れが発生していた。破面において脆性破壊形態を示した。

⑥ レーザ出力が100Wである時に、三種類パウダーの肉盛最適なパラメータは、焦点はずし距離を+1mmとし(スポット直径1.6mm)、センター・シールド・ガス及びアウナー・シールド・ガスを同じ10L/minとし、SUS304パウダーの供給量7.39g/min及び溶接速度4.5mm/sec、Colmonoy N5パウダーの供給量8.42g/min及び溶接速度3.0mm/sec、FP160パウダーの供給量9.39g/min及び溶接速度3.0mm/secとする。

5 参考文献

- 1). 杳名 宗春：レーザクラッディングの特性と適用，溶接技術，1995年9月号，P.70-77
- 2). Minlin Zhong, Kefu Yao, and Wenjin Liu: High-power laser cladding Stellite6+WC with various volume rate, Journal of Laser Applications, Volume13, Number6, December(2001), P.247-251
- 3). 杳名 宗春：自動車産業へのレーザ加工の適

用と今後の技術，溶接技術，2002年5月号，P.127-135

- 4). Akio HIROSE and Kojiro F. KOBAYASHI: Formation of hybrid clad layers by laser processing, ISIJ International, Vol.35(1995), No.6, P.757-763
- 5). 杳名 宗春：レーザによる金属の表面加工，レーザー研究，22-9(1994)，P.32-47
- 6). Kenneth C. Meinert, Jr. and Patrick Bargan: Refurbishment Of Aluminum Alloys By Laser Cladding, Proceeding of ICALEO-1999, November 15-18, San Diego, CA USA, Vol.87, Part2, P.49-57
- 7). 小林 紘二郎：最近の表面改質・機能創製技術，溶接技術，1999年8月号，P.66-72
- 8). M. Brandt, D. A. Scott, S. B. Emms and J. M. Yellup: Laser cladding with a pulsed Nd:YAG laser optical fibers, Journal of Laser Applications, April, 1997, Vol.9, No.2, P.67-75
- 9). 荒木 孝雄：最近のレーザ溶射・表面改質技術，溶接技術，1999年8月号，P.73-78
- 10). Toru Nagai, Takasi Inoue, Hirofumi Shimura: pulsed laser driven deposition of spattered molten particles and its application to the manufacturing of wear-resistant coatings, Journal of Laser Applications, Volume14, Number 3, August 2002, P.191-197
- 11). H. Gedda et al.: Energy redistribution during CO₂ laser cladding, journal of Laser Applications, Volume 14, Number 2, May 2002, P.78-82