

レーザを用いた高エネルギー密度加工技術の研究 - レーザクラッド法による炭素鋼の表面処理 -

高橋 幾久雄*、桑嶋 孝幸*

炭素鋼を基材にステンレス鋼(SUS316)とFe-Cr-C合金を2種類の溶媒を用いて塗布し、YAGレーザ装置でクラディングを行い、クラッド部の性状を調べた。

シングルビードを形成した結果、SUS316は内部欠陥の発生は認められないが、Fe-Cr-C合金はコロジオンを溶媒に用いるとブローホールが発生する。SUS316の硬さは基材への溶け込みが深くなると高くなり、Fe-Cr-C合金はガン移動速度を速くすると基材との希釈が小さく、ビード表面の硬さはH_{MV}800以上になる。

溶け込みの浅い条件で走査ビードを形成して、摩耗試験と塩水浸せき試験を行った結果、硬さに相関してFe-Cr-C合金の摩耗量が少なく、両者共耐食性が高いことが判明した。

キーワード：YAGレーザ、クラディング、ステンレス鋼、Fe-Cr-C合金

Study on High energy density process using YAG laser -Surface treatment of the mild steel by Laser cladding method-

TAKAHASHI Ikuo and KUWASHIMA Takayuki

Preplaced powder method was used as for the layer cladding using YAG laser. A mild steel plate was used as a substrate and mixed powders were bedded with two organic binders on the substrate. SUS316 steel powder and Fe-Cr-C alloy powders were used as a cladding materials.

When using SUS316 powder in the single bead test. There were not blow-hole in the cladding layer. On the other hand, Fe-Cr-C alloy powders mixed with corogion binder, there are many blow-hole in the cladding layer.

The microvickers hardness of the SUS316 steel cladding layer was increased with increase depth of penetration and the microvickers hardness of the Fe-Cr-C cladding layer was increased with increase traverse speed due to less dilution and the maximum microvickers hardness was over 800. The wear of Fe-Cr-C cladding layer was small than SUS316 steel cladding layer in the wear test. The corrosion property of the both layer was equivalence in the corrosin test in salt water.

key words : YAG laser, cladding, stainless steel, Fe-Cr-C alloy

1 緒 言

高エネルギー密度熱源であるレーザを用いる加工技術の普及はめざましいものがある。県内では鋼材の切断加工にCO₂レーザを用いる企業が多いが、近年レーザ装置の高出力化及びレーザビームの搬送に光ファイバが使用でき、非常に柔軟な加工システムを構築できる利点があるため、YAGレーザによる加工に期待が寄せられている。

レーザクラディングは金属基材に基材とは異なった成分の材料を添加し、レーザビームを照射して、基材と

異なった成分からなる組織を形成させる方法である。この技術は自動車部品の一部に実用化されている¹⁾が、産業用プラント、燃焼機器、原子力機器などに応用する開発研究は盛んに行われつつある。

本研究は炭素鋼を基材に、2種類のクラッド材を塗布し、YAGレーザ装置を用いて、クラディングを行い、クラッド部の基礎的性状を調べることを目的に行った。

2 実験方法

2 - 1 基材及びクラッド材

* 金属材料部

基材は厚さ 6mm、幅 75mm、長さ 100mm の炭素鋼 (SS400)で、アセトンで脱脂した後、#20 のグリットでブラスト処理して用いた。供試クラッド材は粉末状のステンレス鋼 (SUS316) と Fe-Cr-C 合金の 2 種類で、その組成を表 1 に示す。粒径は 10 ~ 44 μ m である。

表 1 クラッド材の組成

クラッド材	組成 (wt%)
SUS316	17Cr-12Ni-2.5Mo-1Si-0.1C-Fe
Fe-Cr-C合金	64Cr-7C-Fe

基材の周囲を厚さ 0.4mm のテープでマスキングし、コロジオンまたはコロジオン - 酢酸メチルを溶媒としたクラッド材を刷毛塗りで塗布した。自然乾燥の後、マスキングテープ厚さに研磨紙で削り、電気炉を用いて 353K で 8 時間加熱乾燥し、レーザー照射に供した。

2 - 2 レーザ照射

用いたレーザー装置は最大出力 2.5kW の YAG レーザ加工機で、カライドスコープをレーザーヘッド先端に取り付けて、ヘッド移動速度を変化させる表 2 の条件で照射し、長さ約 50mm のシングルビードを形成した。レーザー照射はロボットを用いて自動で行った。次にシングルビードの溶け込み深さを観察して、最適なレーザー照射条件を選定し、シングルビードを平行に複数並べるレーザー走査クラディングを行った。

表 2 レーザ照射条件

因子	水準
出力	1.6 kW
カライドスコープ	照射形状：、対辺距離：4mm
アシストガス流量	Ar 20 l/min
照射角度	垂直
ヘッド移動速度	20、30、40、50、60 cm/min

2 - 3 クラディング部の評価法

クラディング部の評価方法はシングルビード外観を観察し、X線透過試験による内部欠陥検査、断面マクロ組織によるクラッド層及び溶け込み状態の観察、クラッド層断面の硬さなどを調べた。

走査ビードについては外観観察、X線透過試験による内部欠陥検査、マクロ組織によるクラッド層の断面観察、スガ式摩耗試験機によるクラッド面の耐摩耗性及び塩水浸せき試験による耐食性を調べて評価した。

スガ式摩耗試験機の概略図を図 1 に示すが、荷重は 500g、研磨紙は#320 で、試験材は往復運動し、400 往復で摩耗輪が 1 回転する。摩耗輪が 1 回転する毎に試験材の重量を測定しつつ、研磨紙を新しくして、計 4000 往復し、摩耗減量で評価した。

塩水浸せき試験は試験材の周囲と端部及び裏面をエボ

キシ系防錆塗料でマスキングして、クラッド部分約 15 × 25mm 範囲を評価対象とした。塩水の濃度は 3.5wt% で、「メッキの耐食性試験方法」(JIS H8502)で定められているレイティングナンバ標準図表による判定法で、クラディング部表面に基材からの錆が肉眼で確認できる(レイティングナンバ 9.8 程度)までの時間で評価した。比較のために、黒皮状態と研磨した基材を同じ条件で試験した。

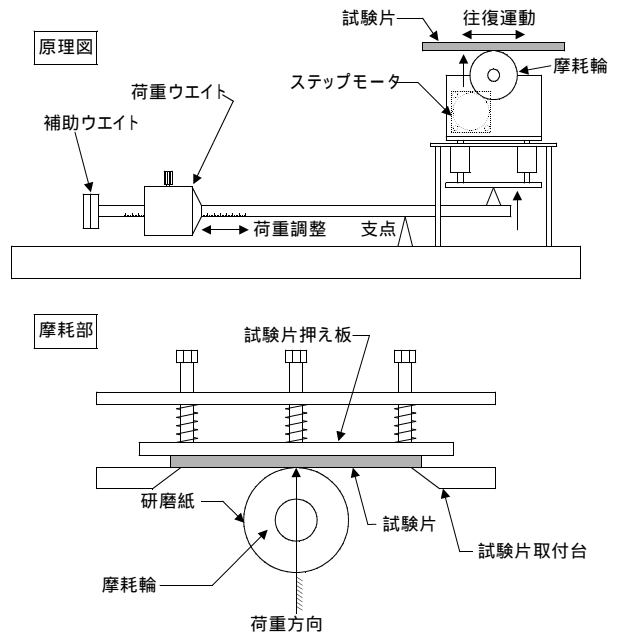


図 1 スガ式摩耗試験機の概略図

3 実験結果及び考察

3 - 1 シングルビード

シングルビードの外観はいずれも良好で、隣接した塗膜の剥離も認められなかった。

X線透過法でビードの内部欠陥検査した結果を表 3 に示すが、クラッド材が SUS316 は内部欠陥の発生は認められなかった。Fe-Cr-C 合金は溶媒にコロジオンを用いると径 1mm 未満のブローホール(B.H.)が発生する

表 3 クラディング部の X線透過試験結果

溶媒	移動速度 (cm/min)	SUS316	Fe-Cr-C合金
コロジオン	2 0	欠陥無し	欠陥無し
	3 0		スタート部にB.H.5個
	4 0		スタート部にB.H.6個
	5 0		全長にB.H.
	6 0		全長にB.H.
コロジオン - 酢酸メチル	2 0	欠陥無し	欠陥無し
	3 0		欠陥無し
	4 0		無し
	5 0		B.H. 1 個
	6 0		欠陥無し

が、コロジオン - 酢酸メチルの場合は欠陥の発生は殆ど認められない。コロジオンはエーテル - エタノール混液にニトロセルローズ（ピロキシリン）が溶解しているので、このセルローズの燃焼でガスを放出するためと思われるが、クラッド材が SUS316 に欠陥が発生しない理由はオーステナイト組織のガス固溶度が高いことと、固相温度が Fe-Cr-C 合金に比べて低い²⁾ためと思われる。

図 2 は断面マクロ組織を示しているが、ビード両側のクラッド材塗布面は試料の切断時に冷却液吹き掛けで剥離した。またビード両端の突起は塗布面が半溶融状態で固化して形成された部分である。ヘッド移動速度が速くなるほど溶け込みは浅くなるが、SUS316 に比べて Fe-Cr-C 合金の溶け込みが深くなっている。

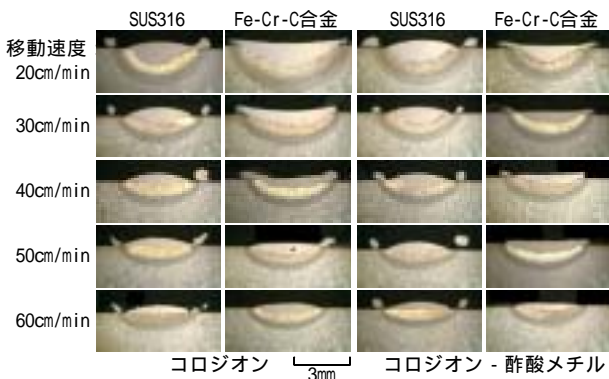


図 2 クラッド部断面のマクロ組織

クラディング部をジグザグに移動し、基材との境界から直線で 0.05mm 間隔にマイクロピッカース硬さを測定した結果を図 3 と図 4 に示す。図 3 は溶媒がコロジオン、図 4 はコロジオン - 酢酸メチルの場合で、測定距離が異なるのはビードのど厚が違うためである。両図共 SUS316 はヘッド移動速度が速いと硬さは低くなっているが、移動速度が遅いと溶け込みが深く、SUS316 の Cr と Ni の含有量が減少して、硬くなる。Fe-Cr-C 合金はヘッド移動速度が遅いと希釈されて硬さは低いが、

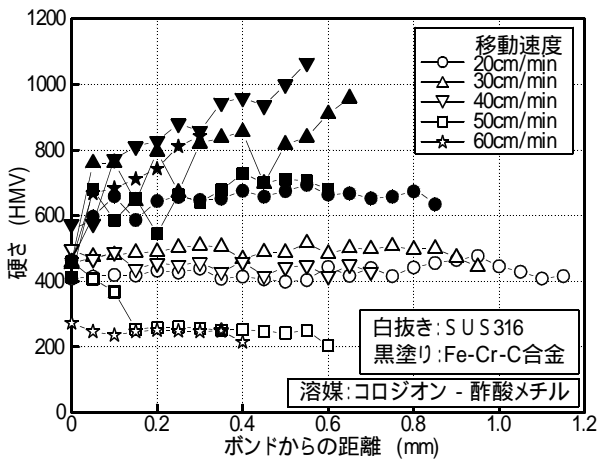


図 3 クラッド部の硬さ

ヘッド移動速度が速くなると一部は HMV800 以上と非常に高い硬さになる。溶媒の相違による硬さの明確な差は認められない。

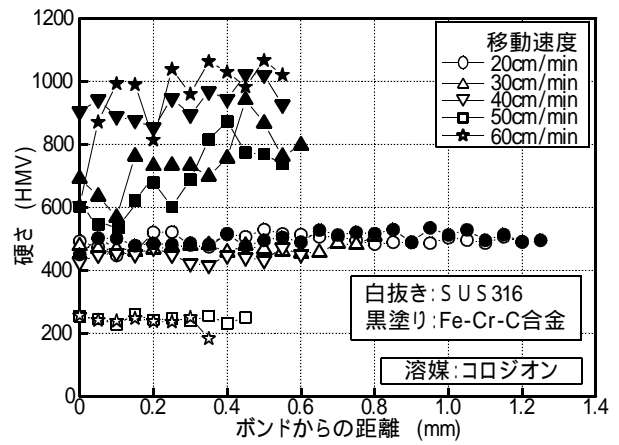


図 4 クラッド部の硬さ

3 - 2 走査ビード

図 1 及び図 2、図 3 から溶け込みが浅く、しかもラップしていないレーザ照射条件、すなわち SUS316 はヘッド移動速度 50cm/min、Fe-Cr-C 合金は 60cm/min を選定し、ピッチ 3mm と 4mm の走査ビードを長さ約 5cm、幅約 2.5cm 範囲に形成した。その外観を図 5 に示す。ビード形成による表面の凹凸はあるものの、良好な外観が得られ、ビードの剥離や割れの発生は認められなかった。ただピッチ 4mm はビード間にクラディングされずに残った基材が確認された。

X線透過試験による内部欠陥検査した結果を表 4 に示す。クラッド材 SUS316 は溶媒の種類に関係なく、内部欠陥の発生は認められない。Fe-Cr-C 合金は溶媒にコロジオン - 酢酸メチルを用いると欠陥は発生しないが、

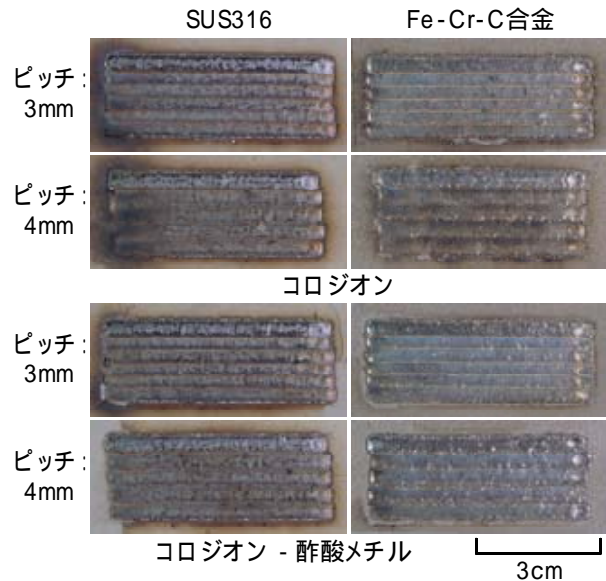


図 5 走査ビードの外観

溶媒がコロジオンの場合はブローホールが多く発生することが明らかになった。

表4 クラディング部のX線透過試験結果

溶媒	ピッチ (mm)	SUS316	Fe-Cr-C合金
コロジオン	3	欠陥	B.H.多数
	4	無し	B.H.11個
コロジオン - 酢酸メチル	3	欠陥	欠陥無し
	4	無し	

走査ビードの断面マクロ組織を図6に示しているが、対辺距離4mmのカリドスコープを用いてもビード幅は4mmに満たず、4mmピッチではビード間に隙間が生じ、基材が露出している。X線透過試験で明らかになったようにFe-Cr-C合金でコロジオンを溶媒に用いたクラッド材の断面にはブローホールが発生している。

走査ビード表面を軽く研磨して、スガ式摩耗試験機で耐摩耗性を相対比較した結果を図7に示す。ビードが凹凸のため摩耗面は摩耗輪全面でなく、また試験材によって摩耗面積が異なるために、データのバラツキを想定していたが、意外に摩耗の傾向を確認することができた。SUS316に比べ、Fe-Cr-C合金の摩耗量が少なく、図3及び図4に示したクラッド部の硬さに関連している。

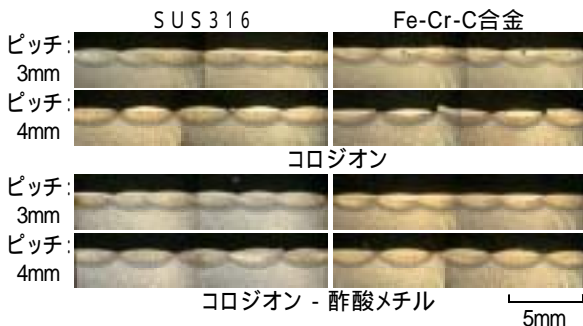


図6 走査ビードの断面マクロ組織

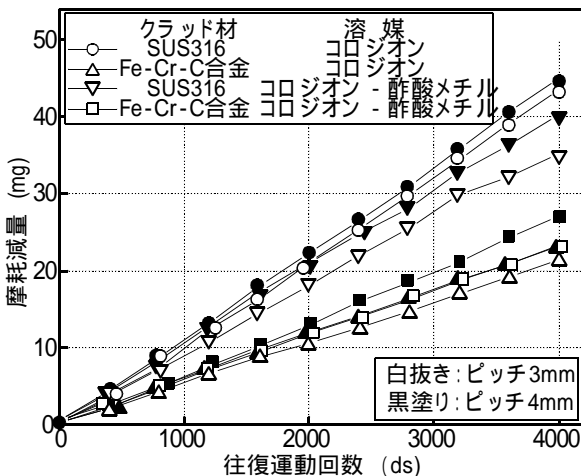


図7 スガ式摩耗試験結果

溶媒の影響は認められないが、走査のピッチは3mmに比べて4mmの摩耗量がわずかであるが多くなっている。これはピッチ4mmは摩耗輪との接触面積が小さいため、単位面積に加わる荷重が大きいのが原因と思われる。

塩水浸せき試験結果を図8に示す。横軸は自然対数で、矢印は錆の発生が確認できないことを示している。比較材の研磨した基材は8時間、黒皮状態の基材は30時間で発錆が確認できた。グラッディング材はFe-Cr-C合金+コロジオンが120時間でブローホール(ピット)部2箇所から発錆したが、他は600時間経過後も錆の発生は認められなく、耐食性が高いことが判明した。

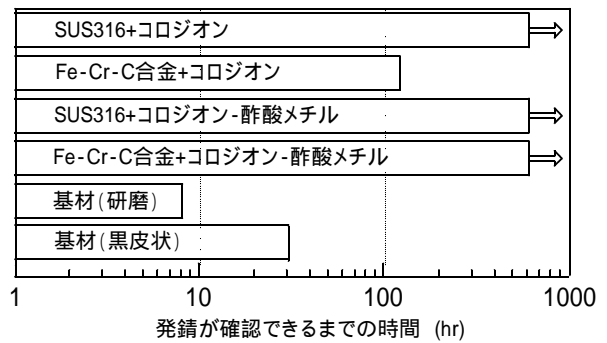


図8 塩水浸せき試験結果

4 結 言

YAGレーザを用いて、炭素鋼にSUS316とFe-Cr-C合金をクラディングして、その性状を調べた結果、以下の結論を得た。

- (1) SUS316は内部欠陥の発生は認められないが、Fe-Cr-C合金はコロジオンを溶媒に用いると、小さいブローホールが発生する。
- (2) SUS316の硬さは基材への溶け込みが深くなると高くなる。Fe-Cr-C合金はガン移動速度を速くすると、基材との希釈が小さく、硬さはHMV800以上になる。
- (3) 溶け込みの浅い条件で走査ビードを形成した皮膜のスガ式摩耗試験結果、硬さに相関してFe-Cr-C合金の摩耗量が少ない。
- (4) 塩水浸せき試験結果、SUS316とFe-Cr-C合金共に高い耐食性を示す。

文 献

- 1) レーザ表面改質の現状と展開,30,(2001)
- 2) 高橋幾久雄,米倉勇雄,桑嶋孝幸:岩手工技セ研報,5,45,(1998)