

レーザーによる鉄鋼材料の表面改質に関する研究

日大生産工(院) ○宮 靖淇
日大生産工 永井 香織

1. はじめに

エレクトロニクス的发展とともに、レーザーによる加工技術も大きな发展を遂げてきた。特に近年ではファイバーレーザーの実用化により、1000 W以上のレーザー照射が可能となった。ファイバーレーザーは、ビームプロファイルがガウシアン型であり、レーザー照射後の対象物へ与えたエネルギーなどを予測しやすい。また、ビーム形状はガウス光学を基本とするため容易に変えることができる。さらに、光ファイバーを用いているため照射位置をフレキシブルに変えることができる利点がある。

既往の研究により、レーザー光は、コヒーレンス性に優れており、集光性が得られ、高密度熱源として微細加工が迅速に行え、熱影響層や熱的変形の少ない精密な加工が行える¹⁾と報告されている。日野らは軽金属を対象に耐摩耗性や意匠性等の新たな機能付与を目的に、レーザーの特徴である急熱急冷が皮膜形成に有利である¹⁾と報告している。一方、Feを含有する金属材料に防食性能を付与する目的として、黒錆を皮膜として金属材料の表面に生成することが挙げられる。金属材料の黒錆皮膜の形成は510℃以上の高温が必須²⁾であり、変態温度を足した後に急冷することも必要される³⁾。そこで、本研究は、レーザーの特徴である急熱急冷を制御することで黒錆皮膜を生成できると考え、建設分野で使用されているss400鋼材の機能付与に着眼した。先行研究では振幅特性がパルスであるのレーザーを赤錆に照射することで黒錆への改質ができる⁴⁾が、細密性のある黒錆の形成が課題であると報告されている。

本報告は課題を解決するため、レーザーの振幅特性を変え、より安定している連続波(CW)を使用し、腐食させたss400鋼材に照射し、表面の改質効果を検討した。

本実験は、腐食したss400鋼材へCWレーザーを照射後に表面状態を観測し、各種照射条件と、表面現象との関係を把握することを目的として行った結果について述べる。

2. 実験方法

2.1 供試体

本実験で使用する供試体暴露前の水接触角測定を写真 1、暴露前後の様子を写真 2 に示す。供試体は 50×50×6mm の SS400 鉄板 16 枚とした。自然環境下で腐食された状態を模擬するため、日本大学生産工学部津田沼校舎 5 号館屋上南面で 45 日間 (2022 年 9 月 19 日～2022 年 11 月 4 日) 屋外で 35°にて暴露を行った。なお、暴露を行う前、水接触角の測定を行った。

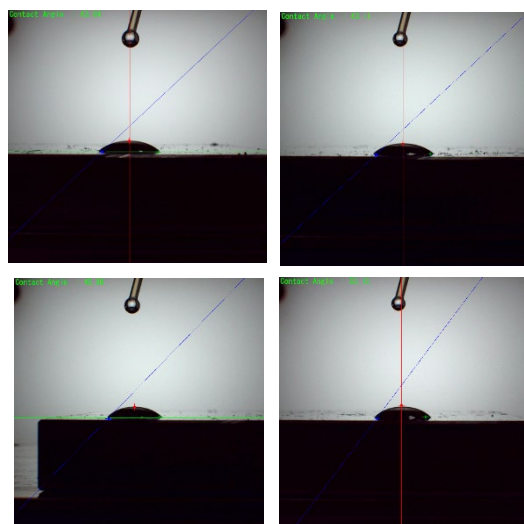


写真 1 暴露前の水接触角測定

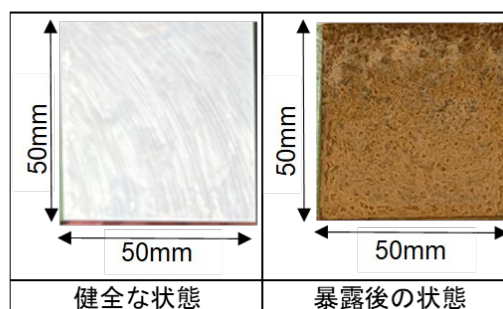


写真 2 暴露前後の供試体

表 1 照射条件

出力 (W)	モード	スポット径 (mm)	走査速度 (mm/s)	照射間隔	照射回数	焦点距離 (mm)
100	QCW	1	5000 10000	0.03	1 5	100

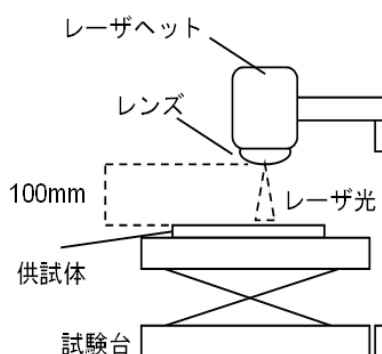


図 1 照射の模式図

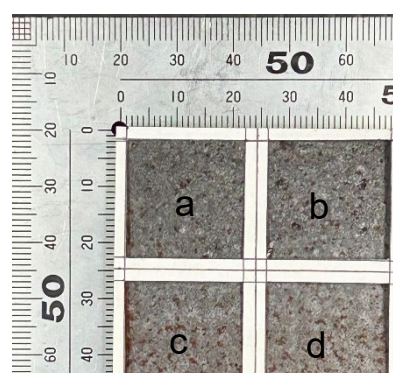


写真 3 各供試体の膜厚測定箇所

2.2 レーザ照射方法

(1) レーザ発振器

本実験で使用したレーザー発振器は出力100Wのファイバーレーザーとした。本レーザーは材料の表面処理加工に適用されている。

(2) レーザ照射方法

レーザーの照射条件を表 1 に、レーザー照射の様子を図 2 に示す。本実験は、試験台の上に供試体を水平に設置し、供試体 100mm の距離からレーザーを照射した。照射面積は供試体全面とした。照射条件は、予備試験により、表 1 に示すように走査速度、照射回数を 2 水準とした。ただし、出力、スポット径、焦点距離は各条件で同一とした。

2.4 評価方法

(1) 表面観察

表面観察は、目視観察およびマイクロ스코ープ(K社製 VHX-5000)による詳細観察とした。

評価項目は全体的な酸化物の面積、表面の状態や金属光沢の有無とした。

表 2 金属の干渉色と可視波長⁵⁾

Interference color	λ (nm)	d(Å)
Pale yellow	4000 or less	340 or less
Yellow	4400	370
Brownish yellow	4900	410
Reddish violet	5200	435
Purple	5600	470
Blue	6400	540
Pale blue	7000 or more	590 or more

(2) 膜厚測定

膜厚測定箇所を写真3に示す。供試体は35° 暴露を行ったため、a、bを上部、c、dを下部とし、膜圧計(K社製 LZ-990)を使用し、各供試体表面に対して設定したa、b、c、dの4箇所の膜厚を測定した。評価項目は膜厚の違いとした。

3. 実験結果

3.1 表面観察

酸化膜の干渉色と可視波長を表2に示す。照射後の供試体を写真4、マイクロSCOPEで観察した表面状況を写真5、6に示す。照射の結果、すべての供試体表面に灰色の酸化膜が形成され、光沢度が大きくなった。また、灰色

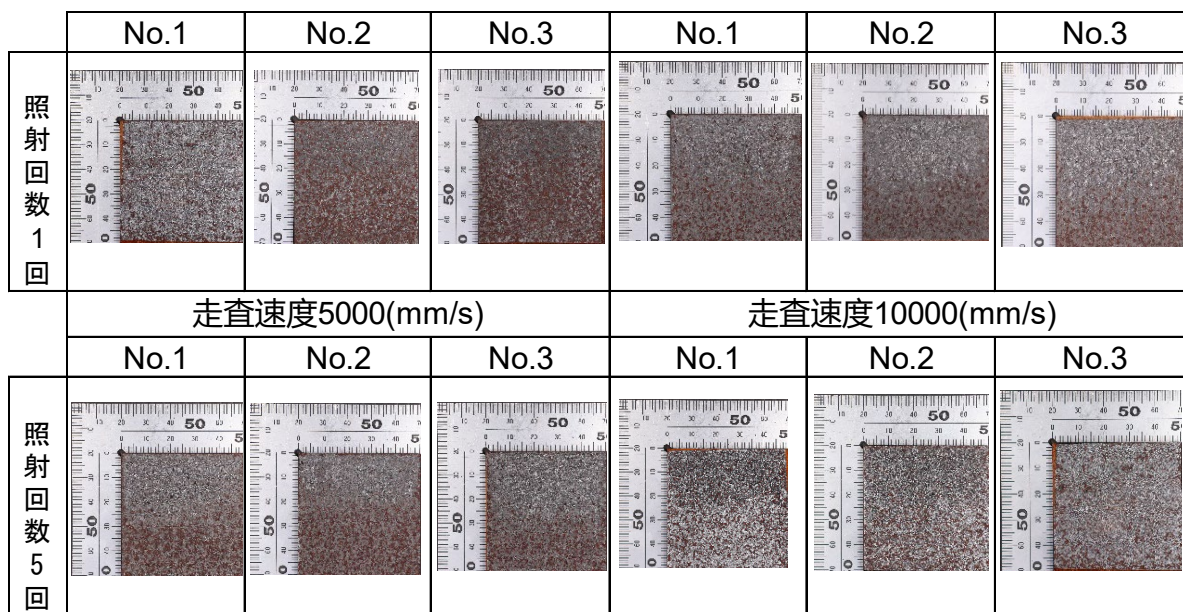


写真4 照射後の供試体

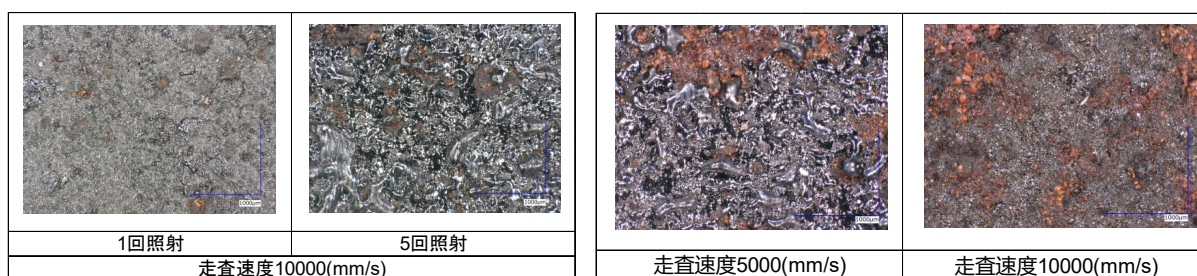


写真5 照射回数による溶融

写真6 照射速度による溶融

の酸化膜の光沢度、面積は走査速度と照射回数と強く関係を示していることが確認された。先行研究ではこのような色が金属表面の酸化膜の干渉色⁵⁾である。これは、酸化膜の厚さが増すに従って、波長が長波長になり、吸収帯が可視波長域に入り、干渉色が現れる⁵⁾ことである。長谷川氏は真空装置の中に鉄を加熱し、急冷することで酸化膜の干渉色を考察した。その結果、鉄表面に黒錆 (Fe_3O_4) ができ、真空装置に大量な酸素を投入すると粒子の色は淡青色から次第に再び金属色に戻るが多少灰色を帯びているとわかった。本実験では、真空環境で行っていないため、加熱と伴い酸素の吸収も飽和状態になったと考えられる。このことより、本実験で得られた酸化

膜の色は灰色ぽくなったと考えられる。また、レーザの熱による生成した酸化膜の特徴は先行研究と同様であるため、酸化膜は Fe_3O_4 であると考えられる。

また、健全な状態では、水接触角が平均 44.6° であり、照射後は平均 56.4° となったことが確認された。このことよりレーザ照射は腐食した表面に撥水性を付与したと考えられる。

(1) 走査速度5000

走査速度5000の場合表面の赤錆の色が消え、表面に Fe_3O_4 が生成されたことが確認された、溶融の発生も確認された。また、灰色の酸化膜の生成は照射回数と関係があると示した。照射回数増やすほど灰色の酸化膜の面積が増やすことが確認された。

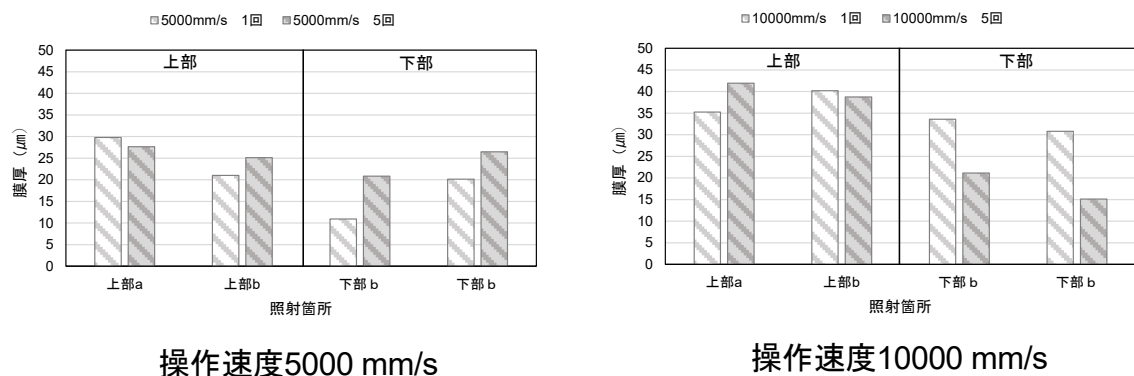


図1 走査速度の違いによる膜厚の変化

(2) 走査速度10000

走査速度10000の場合も5000と同じく表面に Fe_3O_4 が生成されたことが確認された。照射回数が増やすほど、表面の光沢度が上がり、表層が溶融することが確認された。走査速度5000のデータと合わせて考察すると、表面溶融の原因はレーザーエネルギーによる熱が表層部の溶融温度に到達したと考えられる。10000 mm/sの場合照射回数1回では溶融が発生しない原因として、照射速度が早すぎて溶融の所要温度に足してなかったと挙げられる。

3.2 膜厚測定

照射後の供試体表面の各箇所の膜厚測定を図1に示す。膜厚を測定した結果。照射条件による上部と下部の膜厚のバラツキが大きかったことが確認された。

(1) 走査速度5000 mm/s

走査速度5000mm/sの場合照射回数が増やすほど酸化膜の厚みが増加傾向が見られた。また、照射回数が増やすほど上下のバラツキが小さくなる傾向が確認された。

(2) 走査速度10000 mm/s

走査速度10000 mm/sの場合、照射回数が増やすほど供試体上下の膜厚のばらつきが大きいたことが確認された。レーザーの走査速度を遅くすると1回照射に所要する時間が長くなる。そのため、改質精度が高くなり、比較的安定した酸化膜を形成したと考えられる。これが5000 mm/sの方が上下のバラツキが少ない原因だと考えられる。

また、一般的に工業で使用されている黒皮処理されたss400製品は黒錆の膜厚1.5~2.5μmである。しかし、今回の照射条件で処理した

ものはすべて2.5μmより大きいという結果を示した。レーザーの表面改質に当たり、条件の制御やはまた今後検討する必要がある。

4.まとめ

1. レーザは赤錆の改質ができ、生成した酸化膜の干渉色は灰色帯びる。
2. 照射回数を増やすと表面に溶融が発生する。
3. 走査速度5000mm/sでは、照射回数が増やすほど供試体上下のバラツキが少ない。
4. 走査速度10000 mm/sでは、照射速度が速いため、作業精度が走査速度5000mm/sより劣る。

参考文献

1. 日野ら：レーザークリーニングとその応用、ものづくりを支える洗浄技術 (II), Vol.69, No.10, 2018, pp435-440
2. 田中ら：金属材料の辞典, 朝倉書店発行, pp146 デジタル大辞泉：エネルギー保存の法則
3. 大沢ら：レーザー表面改質による耐食性の改善, Zairyo-to-Kanhyo, Vol.43, No.41994, p p216-225
4. 宮ら：100wレーザーを用いた場合の鉄鋼材料の表面状況 その1, 日本仕上学会、2023
5. 長谷川正知：干渉色による鉄表面の酸化膜厚さ決定法の吟味, 日本金属学会誌, Vol.25, No.12, pp773-776
6. 石丸 智之ら：金属材料の高温曝露による特性変化, 電力技術研究所, 材料技術 G, 材料 T, 技術開発ニュース No.156/2017-2