

金属のレーザー加工に関する研究

東海大学理学部物理学科

教授 藤岡 知夫

〒259-1292 平塚市北金目1117

(平成7年度研究開発助成 AF-95023)

キーワード: レーザー加工、光吸収率、熱伝導モデル

1. 研究の目的と背景

レーザー光の吸収率は加工金属表面の状態に応じて変わる。一般的な、軟鋼材料の光吸収率は、CO₂レーザーの波長では高々、10%程度⁽¹⁾である。一方、金属表面には、油膜や酸化膜が、数から数十μm程度の厚みで付着している場合があり、レーザー光の吸収率は大きく変化することが予想される。このような条件下では、金属のレーザー加工性能は大きく変化する事が経験的に知られている。

本研究では、レーザー焼入れ加工を例に取り、各種の吸収膜を金属表面に10μm程度付着させて金属材料のレーザー吸収率を実験的に測定するとともに、レーザー焼入れ特性、すなわち母材へのレーザーエネルギーの伝播が、各種の吸収膜によってどの程度異なるか検証した。実験の結果から、10μm厚の吸収膜が、膜の光吸収率と熱伝導率の違いによって、母材の温度分布に大きく影響をすることがわかった。

II. 実験方法

実験にはCO₂レーザー(アマダ製LCF-644)を加熱源として用い、金属母材の温度上昇測定装置を試作した。吸収剤は、グラファイト(Gr)、窒化硼素(BN)、炭化珪素(SiC)の3種類について吸収率を測定し、その後焼き入れ実験を行って母材への入熱状態を観測した。

測定された上昇温度を以下の熱容量、比熱の方程式を使い各種吸収剤の吸収率を求めた。

$$Q_m = C \times m \times \Delta T \quad (1)$$

$$Q_m = \varepsilon \times Q_l \quad (2)$$

ここで、C: 比熱 m: 質量 ΔT: 上昇温度
Q_m: 吸収熱量 Q_l: レーザ熱量 ε: 吸収率 である。

さらに測定した吸収剤を炭素鋼SCM445へ厚さ10μm塗布し、実際に焼入れを行って焼入れ深さとレーザー出力との関係について結果をまとめた。

レーザー照射パワー密度21kW/mm²は、一定で送り速度を800~1800mm/minの間で変化させた。

III. 実験結果

表1にレーザー吸収率と吸収係数の測定結果を示す。吸収剤を塗布した状態の吸収率は塗布しない場合の6~7倍増大する。この測定結果は、赤外線分光器(FTIR)を用いた測定結果とも良く一致した。

表1. 各材料のレーザー吸収率と吸収係数

Material	Absorption Rate (%)	Absorption Coefficient (μm ⁻¹)
Graphite(Gr)	63	0.462
Boron Nitride(BN)	61	0.441
Silicon Carbide(SiC)	72	0.552
Steel: SCM445	10	0.147

SiCは、吸収率が最も高く、レーザー照射エネルギーの72%を吸収する事ができる。また、熱吸収の厚さは、吸収係数の逆数に対応することから、1.8~2.3μmと推定でき、10μm厚の吸収膜のごく表層近くで、レーザーエネルギーが熱に変換されてい

ることがわかる。

図1に、各種吸収膜を塗布したときの焼入れ深さを、照射パワー密度と送り速度の比で規格化を行い評価し実線に示した。規格化を行うと、図1の横軸は、単位長さあたりに入熱するレーザーエネルギー(熱量)と同等の単位になる。各吸収膜では、同じ熱量を照射しても焼入れ深さに差異が見られる。特に、SiCは他の吸収膜に比べて高い熱量を与えないと焼入れできないなど、吸収剤を同じ厚さに塗布しても焼入れ深さ特性が異なる。

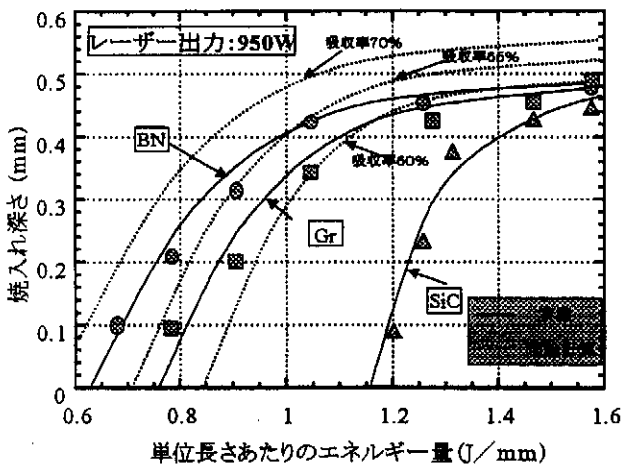


図1. レーザーの入熱量に対する焼き入れ深さ

IV. 考察

吸収膜の吸収率を60%、65%、70%と変化した時の1次元熱伝導モデルの理論計算結果を図1の点線に示す。1J/mm程度の入熱では、5%毎の吸収率の変化によって、焼き入れ深さに約20%の差異が見られる。GrとBNについては、理論計算と実験で得られた傾向がほぼ一致している。しかし、SiC吸収膜の吸収率が72%と高くても焼入れ状態が必ずしも良いと結論できない。これは塗布した薄膜の熱伝導率が低く材料表面に断熱層を形成し、材料への熱伝導を妨げていると考えることができる。各種材料の熱伝導率を表2に示す。

他の膜に比して一桁熱伝導率の低いSiC膜は、他の膜に比べて、約1.5から2倍以上の時間をかけないと母材に同じ温度分布を形成する事はできない。

従って、このような膜は、レーザーを熱に変換することを有効に行えても、母材への効率的な入熱をさまたげていることが実験から明らかである。

表2. 各材料の熱伝導特性値

Material	Thermal Conductivity (W/m·K)	Thermal Diffusivity (m ² /s)
Graphite(Gr)	120	1.05×10^{-5}
Boron Nitride(BN)	235	1.05×10^{-5}
Silicon Carbide(SiC)	270	1.05×10^{-5}
Steel SCA445	28.0	1.55×10^{-5}

V. まとめ

本研究で得られた結果は、焼き入れ加工のみならず、切断加工等で母材の温度上昇の分布を推定するのに有効である。すなわち、10μm程度の厚みの酸化膜等が形成され、断熱膜となる場合には、レーザー吸収率が高くとも、レーザー加工速度は、低下すると予想できる。

表層のわずかな光吸収率の変化は、レーザー加工時の母材の温度分布を大きく変化させ、加工性能に影響することを示唆している。

参考文献

1 Y.Arata and I.Miyamoto: Trans.Japan. Welding Society,13 (1) (1972)