レーザー照射中における銅の光学特性変化

Optical properties change of copper during laser irradiation

加藤 進¹, 砂原 淳², 森本 健斗³, 佐藤 雄二⁴, 塚本 雅裕⁴ Susumu Kato¹, Atsushi Sunahara², Kento Morimoto³, Yuji Sato⁴, Masahiro Tsukamoto⁴

產業技術総合研究所¹, Center for Materials Under Extreme Environment (CMUXE), School of Nuclear Engineering, Purdue University², 大阪大学大学院工学研究科³, 大阪大学接合科学研究所⁴

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)¹, Center for Materials Under eXtreme Environment (CMUXE), School of Nuclear Engineering, Purdue University², Graduate School of Engneering, Osaka University³, Joining and Welding Research Institute, Osaka University⁴

1 はじめに

近年,電気自動車のバッテリーや配線などの用途で 電気伝導特性に優れた銅のレーザーを用いた溶接技術 が注目されているが,溶接時に発生するスパッタ*1に よる電気回路の絶縁破壊が顕在化し,バッテリー関連 設備の軽量・小型化の障害となっている.

現在,近赤外ファイバーレーザー光が溶接,切断,造 形等に広く使用されている.しかし,Fig.1に示すよ うに純銅の吸収率は鉄に比べて低く,スパッタの発生 を抑えた安定した精密な加工が困難とされている.一 方,緑色より波長が短い可視光は,近赤外光に比べて の吸収率が高いという基礎データを根拠に,従来の近 赤外線レーザーでは困難だった銅の溶接加工に適して いると考えられ,次世代加工機の光源として青色・緑 色レーザの開発が急速に進んでいる[1].



Fig. 1: 銅と鉄の吸収率の波長依存性 [2, 3].

2 ビードオンプレート溶接実験

波長 1070 nm の赤外ファイバーレーザーと 450 nm の青色半導体レーザーを用いた厚さ 50µm の銅薄板に 対するビードオンプレート溶接*2の実験結果を Fig. 2 に示す. 波長 450 nm と 1070 nm の吸収強度が同程度 になるように, この実験ではそれぞれ 50W と 300W とした. 1070 nm の場合は, レーザー照射後しばらく は安定なビードが継続するが, 突然スパッタが発生し, ホールの形成に至り, 切断モードへ移行している. 一 方, 450 nm の場合は, 熱伝導型溶接による安定した ビードの形成が見られている. このように, 青色・緑 色レーザーでは安定した溶接が期待されている.



Fig. 2: ビードオンプレート溶接の表面写真 (a) 450

nm, (b) 1070 nm.

3 銅の光学特性

レーザークラッディング(精密肉盛溶接)では,肉 盛りする材料を粉末やワイヤー等で母材に供給する.

^{*1} スパッタはアーク溶接やレーザー照射域周辺の溶融池から放 出,析出される物質の総称で,溶融金属や微粒子プラズマな どから構成されると考えられているが,その発生原因は不明 な点が多い.

^{*2} ビードオンプレート溶接とは、レーザーやアークプラズマな どを熱源に用いて金属母材や接合剤を溶融、再凝固過程を用 いた溶接のこと.ビードとは、金属が溶融して元の素材と異 なった状態や接合面にできた盛り上がり部分のこと.



Fig. 3: 強結合銅プラズマが存在する温度密度領域.

このとき,材料の温度は室温から融点を超え,局所的 には沸点以上の高温にまで達する可能性がある.この ため,材料の状態が固体から溶融金属,金属蒸気プラ ズマまで変化する中での温度や状態を精度良く制御す ることが望まれる.このため,吸収率を決める大きな 要因となる複素誘電率などの光学特性の詳細を理解す る必要がある.

金属や溶融金属中の伝導電子が「強結合プラズマ」 かつ「量子プラズマ」の特徴を有することは広く知ら れており (Fig. 3),その熱力学量や自由電子による電 気伝導率など輸送係数,イオンの構造など物性につい ては,強結合プラズマ理論により一定の理解が得られ ている [4].

しかし,可視光応答にd電子(内殻電子)が関与す るバンド間遷移が重要となる銅などの貴金属,特に溶 融状態の光学特性は未解明な部分が多く,レーザ照射 中に経由する温度密度領域における光学特性の変化は 明らかになっているとは言い難い.特に 400~550 nm の可視光域において,吸収率が温度上昇に伴い,Fig. 1 のように減少する実験結果とFig.4に示すように増 加する実験結果 [5] がある.吸収率はレーザ溶接にお ける最も重要な基礎データの一つであるにもかかわら ず,その温度依存性については定性的にもまだ不確定 な部分が残っている.



Fig. 4: 銅の吸収率の温度,波長依存性 [5, 6].

本発表では、レーザー溶接で重要となる青色・緑色

レーザーに対する銅の光学特性について議論する.

References

- 特集「加工用青色・緑色レーザーとその応用への期待」OP-TRONICS, No.457 (2020).
- [2] P. B. Johnson and R. W. Christy, Phys. Rev. B 9, 5056– 5070 (1974).
- [3] P. B. Johnson and R. W. Christy, Phys. Rev. B 11, 1315–1323 (1975).
- [4] 特集「強結合プラズマ」日本物理学会誌,第41巻,第10号 (1986).
- [5] S. Roberts, Phys. Rev. **118**, 1509–1518 (1960).
- [6] J. C. Miller, Philos. Mag. A 10, 1115–1132 (1969).