

樹脂上への金属3Dプリンティングを目指した レーザプリンティングに関する研究

秋田県立大学 システム科学技術学部 機械工学科

教授 鈴木 庸久

(平成 29 年度 一般研究開発助成 AF-2017222)

キーワード：レーザプレーティング、樹脂めっき、3Dプリンティング

1. 研究の目的と背景

小型化、高機能化を目指す 3D-MID デバイスの製造では、LDS 法による樹脂自由曲面への金属パターンニング技術が用いられている。LDS 法の課題は、特殊な樹脂を用いなければならないこと、レーザでの活性化後にめっき処理を行う多段階プロセスであること、設備が高額であることである。そこで、我々は、Fig. 1 に概念図を示す、直接樹脂にめっき被膜を形成できるレーザプレーティング^{1),2)}に着目し、金属 3D パターンニングの研究を進めている。レーザプレーティングのプロセスは、はじめにレーザによる急速加熱による核生成が起こり、その後、レーザの定常加熱によるめっき反応が促進されると考えられている¹⁾。

先行研究では、レーザプレーティングによるポリ塩化ビニル (PVC) へのニッケル (Ni) 析出が可能であることを示した³⁾。しかし、レーザ照射による基板温度の変化と Ni 析出の関係が明らかになっていない。また、液面のゆらぎにより、Ni 析出形態が変化するという課題があった。

本研究では、無電解ニッケルリン合金 (Ni-P) めっき浴中に設置した基板へレーザ照射したときの基板表面の温度変化、温度分布などを測定し、Ni 析出の条件を考察した。さらに、液面のゆらぎによるレーザ伝搬長の変化を防ぐために、石英ロッドの端部をめっき液に浸漬させ、めっき液中のレーザ伝搬長を制御したときの焦点距離、基板温度の変化を調べた。

2. 実験方法

Fig. 2 に、石英ロッドを用いてめっき液中のレーザ伝搬長を制御したときのレーザプレーティングの構成を示す。レーザ光源には、波長 980 nm の連続発振ファイバ結合レ

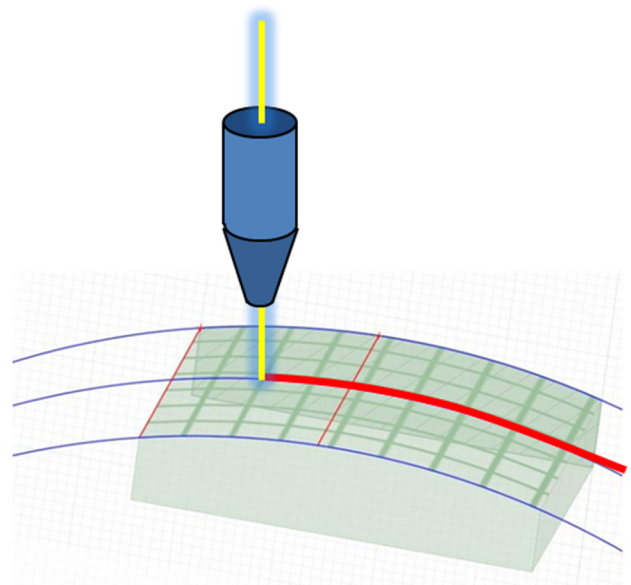


Fig. 1 レーザプリンティングの概念図

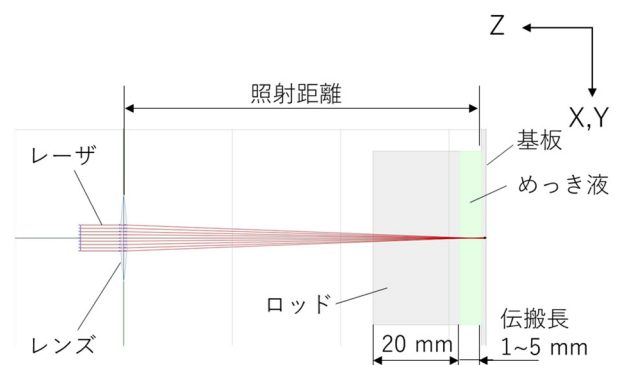
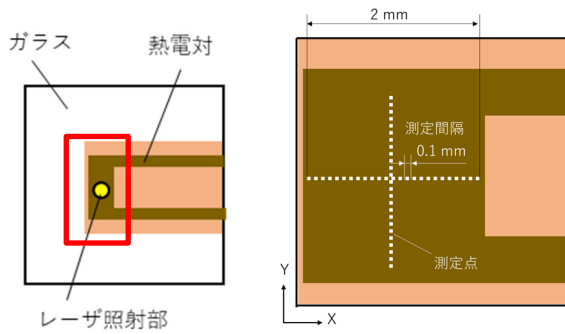


Fig. 2 レーザプレーティング構成

ーザ (Civil Laser 製 LSR980H-FC-6W) を用いた。レーザ光は、コリメートレンズで平行光にした後、集光レンズで基板表面 (PVC あるいはシート熱電対) に集光させた。



(a) シート熱電対の配置 (b) 測定部の拡大図

Fig. 3 シート熱電対の温度測定方法

集光レンズから基板までの距離を照射距離とし、照射方向を Z 軸方向とする。石英ロッドの端部をめっき液に浸漬させ、レーザー光は石英ロッドを介してめっき液に照射するようにし、ロッド端面を Z 方向に位置を動かすことで、レーザー伝搬長を 1 mm~5 mm の範囲で制御した。石英ロッドを用いない場合は、めっき液の循環量でめっき液面を制御することで、レーザー伝搬長を 3~5 mm とした。無電解めっき浴は、低リソタイプの無電解 Ni-P 浴（メルテックス製エンプレート NI-426）を用いた。レーザー出力は、0.5~3.7 W の範囲で変化させた。

Fig. 3(a), (b)に、シート熱電対(八光電機製 HTK3501)による温度測定方法を示す。シート熱電対は、クロメル/アルメルの積層板をスポット溶接したシート状の K 熱電対を厚さ 0.3 mm 程度のポリイミドフィルムで被覆したものである。このシート熱電対の電極部（幅：約 2 mm）

の中心部を XY 軸の原点となるように、ガラス基板上に設置した。自動ステージを用いて、X 軸、Y 軸方向は 0.1 mm 間隔、Z 軸方向は 1 mm 間隔で移動させ、10 秒以上照射させた後、基板温度を測定した。

3. 実験結果

3-1 温度分布と Ni 析出物の関係

Fig. 4(a), (b), (c)に、それぞれレーザー出力 2.2W, 3.0W, 3.7W で、照射時間 300 秒、伝搬長 3~5 mm のレーザーレーティングによる Ni 析出物の SEM 像³⁾を示す。レーザー出力 2.2W では Ni の析出はほぼ見られない。一方、レーザー出力 3.0W, 3.7W では Ni の析出が見られ、レーザー出力の大きさに比例して、Ni 析出物が大きくなっていることが分かる。レーザー出力 3.0W, 3.7W で、Ni 析出物の半径はそれぞれ約 200 μm, 250 μm であり、レーザーの影響範囲の半径はそれぞれ約 300, 400 μm であった。

Fig. 5 に、レーザー出力 3.7 W のときの Ni 析出物の断面プロファイルを示す。Ni 析出物の中心部が最も高く、半径 250 μm の位置から Ni 析出物の厚みが急激に薄くなり、半径 400 μm の位置で基板の高さになる。

Fig. 6 に、ロッドなし（伝搬長 3~5 mm）で、レーザー出力 0.5~3.7 W のときの X 軸方向の温度分布を示す。レーザー出力の大きさに比例して、中心部の最高温度および半値幅が大きくなる。この温度分布から、レーザー出力 3.7W における Ni 析出物の半径 250 μm ~ レーザ影響範囲の半径 400 μm における温度は、約 200~160℃である。つまり、この温度範囲において、Ni 析出温度のしきい値があると考えられる。

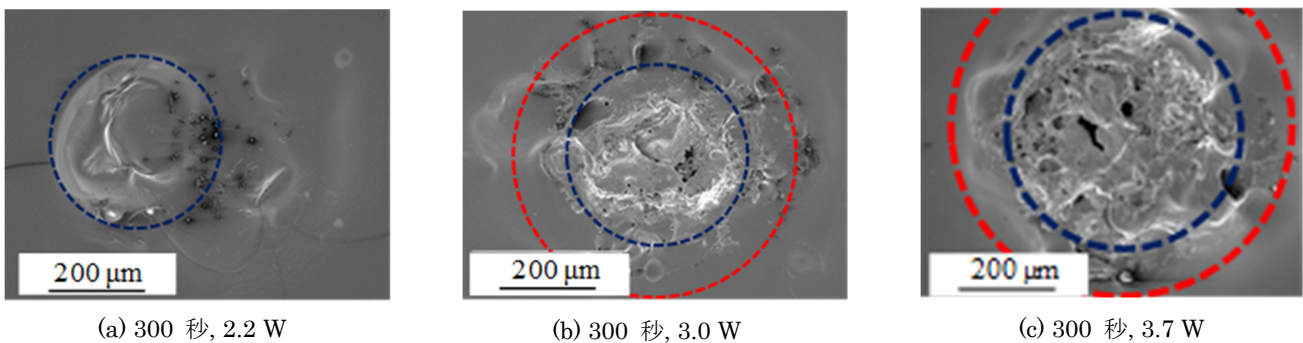


Fig. 4 レーザ出力 2.2~3.7 W, 照射時間 300 秒で PVC 基板に形成された Ni-P 析出物の SEM 像³⁾

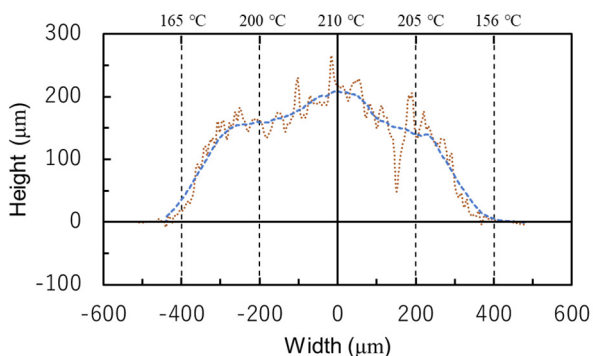


Fig. 5 レーザ出力 3.7 W の Ni 析出物の断面曲線³⁾

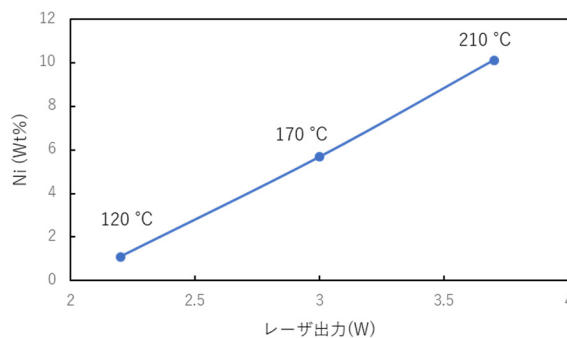


Fig. 7 レーザ出力ごとの照射時間 300 秒の Ni 含有量(ロッドなし)³⁾

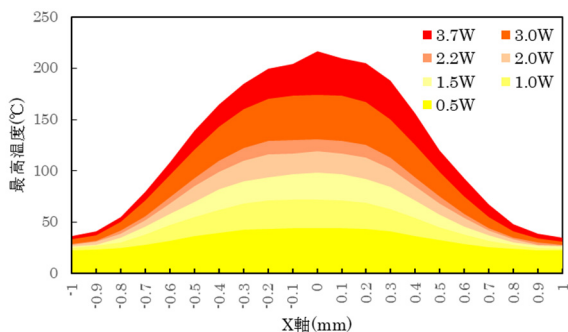


Fig. 6 レーザ照射部付近の温度分布(ロッドなし)

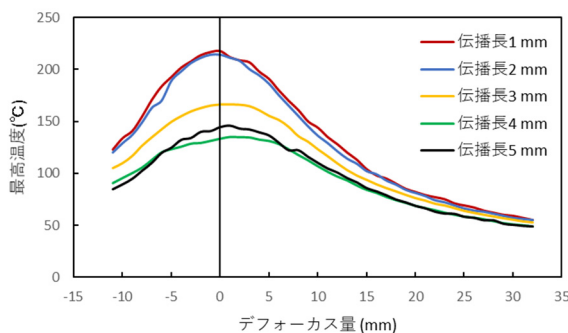


Fig. 8 レーザ出力 3.7W におけるデフォーカス量に対する温度変化

Fig. 7 に、レーザプレーティング（ロッドなし）を行ったときの Ni 析出量とレーザ出力および基板の最高温度の関係を示す。Ni 析出量は、レーザ出力および基板温度の上昇とともに増加する。中心部の最高温度は、レーザ出力 2.2W, 3.0W, 3.7W でそれぞれ約 120, 170, 210°C である。2.2W では、Ni 析出がごくわずかであることから、Ni 析出温度のしきい値は、おおよそ 170°C 以上（レーザ出力 3.0W）であると考えられる。これは、温度分布と析出物分布から考察した温度域とほぼ一致する。

Ni 析出時の基板温度が約 160~200°C であるとすると、PVC の融点に近い温度まで基板温度が上昇していることになる。Fig. 4 のレーザ照射部の SEM 像より、PVC の一部は変形しているものの、変形した PVC 基板上に Ni が析出している。このように Ni 析出が可能な理由としては、PVC が溶けきる前に Ni が析出し、PVC を保護していることが考えられる。

3-2 めっき液中のレーザ伝搬長の影響

Fig. 8 に、各伝搬長におけるデフォーカス量に対する温度変化を示す。焦点における最高温度は、伝搬長が短くなるほど上昇し、レーザ出力 3.7W、伝搬長 1 mm で 218°C に達した。波長 980nm のレーザ光が無電解ニッケルめっき液を 10mm 伝搬するとき、約 50% 程度減衰することから、伝搬長が短いほど温度が上昇することになる。

各伝搬長において、5mm ほどデフォーカスすると、10% ほど最高温度が低下する。伝搬長 2 mm 以下であれば、5mm ほどデフォーカスしても、基板温度は約 190°C であり、Ni 析出が可能だといえる。

伝搬長がほぼ同じ条件において、ロッドなしに比べて、ロッドありで基板温度の低下が見られた。ロッドなし伝搬長 3~5mm の条件とロッドあり伝搬長 1 mm の条件で、基板温度はほぼ同等であった。20mm の石英ロッドでの減衰は 4% と見積もられ、それほど大きな減衰ではないこ

とから、界面での反射等の影響のためであると考えられる。

4. 結論

レーザープレーティング中の基板表面の温度を測定し、基板温度の変化、温度分布、レーザー伝搬長の影響を調べたところ、以下のことがわかった。

(1) 温度分布と Ni 析出物の半径の関係から、基板温度 160~200℃の温度範囲において、Ni 析出温度のしきい値がある。

(2) レーザ出力と最高温度および Ni 析出量の関係から、基板温度 170℃以上で Ni 析出が起こる。

(3) めっき液中のレーザー伝搬長を短くすることで、レーザーの減衰が減り、基板温度が上昇する。

(4) デフォーカス量 5mm で約 10%最高温度が低下する。

謝 辞

本研究の一部は、公益財団法人天田財団の一般研究開発助成 (AF-2017222) により行われたものである。記して感謝する。

参考文献

- 1) Noboru Morita et al., Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol. 57 (1991) 2199-2205
- 2) Eiji Makino et al., Journal of The Surface Finishing Society of Japan, Vol. 51 (2000) 199-205
- 3) Kohei OIDE et al., Japan Society for Precision Engineering Tohoku Branch Academic Lecture (2018)