

群馬大工 ○久米原 宏之 シナノケンシ(株) 矢野 明 群馬大院 石川 薫

要 旨

CO₂レーザーを用いた銅箔の微小穴あけに加工に関して、加工に及ぼす諸因子の影響を調べ、SEMで加工部分を詳細に観察した。表面の加工状態の観察結果から加工穴形成過程を考察することにより表面での微細凹凸の効果と粒子の大きさに依存して加工が進行していることがわかり、穴あけ加工機構の解明の手がかりが得られた。

1. 緒言

工業製品の小型化かつ複雑化にともない、それらの構成要素の微細加工技術の確立と高効率化、高精度化の要求が高まっている。中でも、多数の微小な穴あけ加工においては、非接触で加工ができるレーザー加工が注目されている¹⁾。

本研究では、穴あけ加工の能率と精度の向上を目的としてCO₂レーザーによる銅箔の穴あけ加工を行い、前報²⁾では加工表面の被膜が加工特性におよぼす影響について検討し、加工形態と穴径が被膜の種類とその厚さに依存していることがわかり、さらに加工機構の解明に極表面での加工過程を明かにすることが重要であることもわかった。

そこで、本報では表面における加工穴近傍を走査電子顕微鏡(SEM)を用いて詳細に観測し、表面からの加工穴形成過程を考察することにより加工機構について検討した。

2. 実験方法

加工装置にCO₂レーザーを用いた。加工面に照射されるレーザーの出力波形を加工中オンタイムで観測できるように、光路途中にビームスプリッターを置き、検出素子によりビーム出力の一部を検出した。また、加工中の穴が貫通したかどうか、試料の下部に設置した検出素子により貫通後の通過光を観測できるようにし、両素子から同時に出力波形を検出し、相互の波形から加工時間を測定した。試料としては図1に示される加工表面をもった銅箔を用いた。加工条件は表1の諸因子を組合せた条件とし、レーザー照射条件はパルス幅とパワーを変化させて、全て単一パルス照射とした。

3. 実験結果および考察

3. 1. 表面での加工穴直径

図2(a)～(d)はパルスエネルギーと加工穴直径との関係をそれぞれ箔厚とアシストガスを変えた場合を示す。箔厚が厚くなると穴径は小さくなる。箔厚が増すと熱伝導によるエネルギー損失が大きくなるため穴径が小

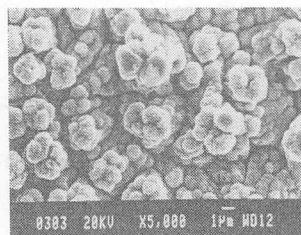


図1 銅箔加工面のSEM像

表1 実験条件

銅箔厚, μm	9, 12, 18
パルス幅, ms	0.3, 0.6, 1.0
パルスエネルギー, mJ	1.3~23.7
ピークパワー, W	22.7~76.3
アシストガス	N ₂ , O ₂
ゲージ圧力, kPa	19.6, 58.8

さくなると考えられる。特に、18 μmの場合では顕微鏡観察から、穴形状はクレータ状に形成されたものと、極表面にわずかな痕跡を残したものが混在していたので、供給エネルギーが臨界加工条件であったといえる。パルス幅τについては、τが短い場合パルスエネルギーの増加に伴う穴径増加の割合が大きく、パルスエネルギー依存性が顕著であった。τが長い場合、穴径のばらつきが大きくなる傾向がある。加工時間が長くなることにより、相変化を伴う表面での吸収特性の変化³⁾が加工状態に影響したためと考えられる。

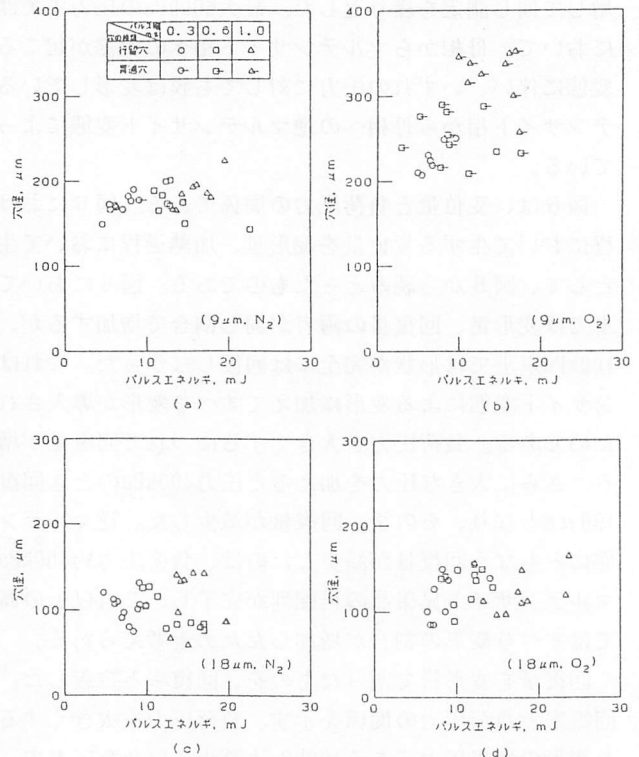
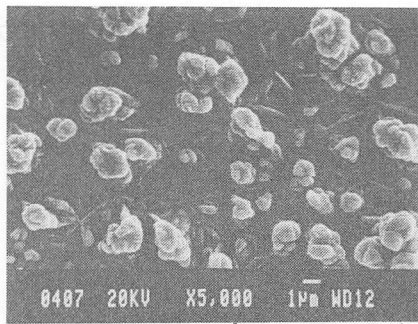


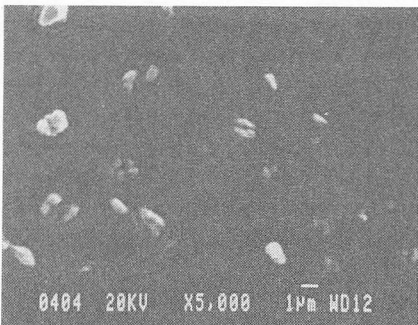
図2 パルスエネルギーと穴径の関係 (ガスゲージ圧力: 19.6kPa)

3. 2. SEMによる加工状態の観察

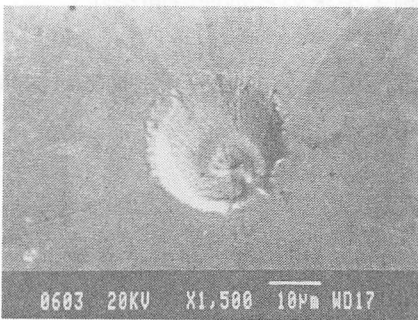
加工穴形成過程を推察するために、段階的に加工が進んだ穴の中央部の状態をSEMによって観察した像を図3(a)～(d)に示す。(a)では、図1(加工素面)と比べると表面の粒子の分布は粒径の大小のものが密から粗に点在するようになり、その粒子を囲むようにクラック状のような模様が形成されている。これは、大きい粒子の周りの急加熱、急冷の際の熱応力によって生じたものと考え



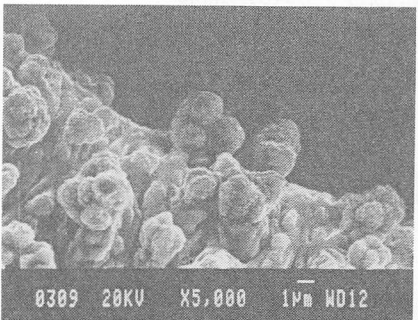
(a) 18 µm, N₂58.8kPa, 11.7mJ, 0.6ms



(b) 12 µm, N₂19.6kPa, 9.9mJ, 0.6ms



(c) 9 µm, N₂58.8kPa, 10.5mJ, 0.6ms



(d) 12 µm, O₂58.8kPa, 7.6mJ, 0.6ms

図3 SEMによる加工状態の観察

られる。(b)では、加工された中央付近の粒子は極めて小さくなっている。中央部から素面との境界に近づくにつれて粒子が増大していく傾向がみられた。(c)では、中央部に凹部がみられ、さらに加工が進行した(d)では穴は貫通しており、貫通穴と裏面の境界の部分では粒子の付着も観察される。

3. 3. 粒径分布

前述のように、加工が進行すると表面凹凸の粒子の大きさが変化していくことがわかったので、素面および加工穴との境界、中央部付近でのそれぞれの粒径の分布を図4に示す。これより、加工穴と素面との境界では、素面で粒径の小さなものは加工が進行するとほとんどがなくなっている。一方、粒径の大きかったものも加工の進行によって粒径が小さくなっている。穴中央部ではこの傾向が顕著である。これは、表面でのレーザ加工は粒径の大きさに依存し、粒径の小さいものから選択的に進行していることが推察される。

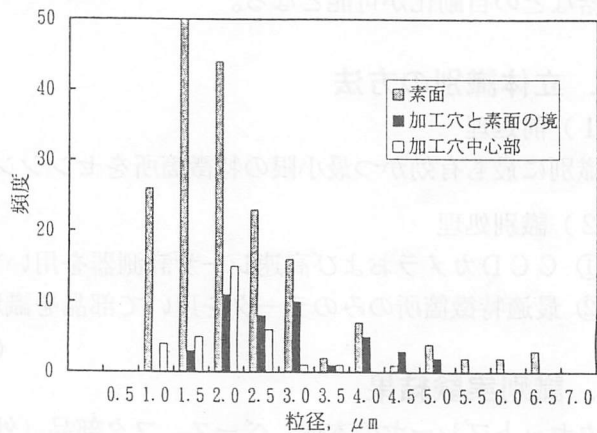


図4 表面凹凸の粒子径分布

3. 4. 穴あけ加工機構モデル

諸条件で加工し、SEMによって観察した結果を総括し、銅箔のレーザ穴あけ加工機構モデルを以下のように提案する。

- ①ごく表層部分の加熱. ②加工表面の微細凹凸粒子の溶解による吸収率増大. ③加工表面の溶融域が拡大し、材料内部にも進行. アシストガスによる溶融物の飛散や蒸発を伴うクレータ状の行留穴の形成. さらには加熱の進行による加工裏面までの溶融域の形成. ④中心部の加工が促進され、凹部を形成しながらさらに加工面の溶融、蒸発が進行. ⑤中心部から貫通が始まり、貫通穴が形成される.

4. 結言

得られた結果を要約すると以下の通りとなる。

- (1) 加工穴の進行過程では表面での微細凹凸の粒径の大きさに依存して進行していることが認められた。
- (2) 加工進行にともなう穴近傍のSEM観察より、加工機構に及ぼす表面微細凹凸状態の影響が明らかになり、銅箔のレーザ穴あけ加工機構の解明への手がかりが得られ、それに基づく加工機構の一モデルを提案した。

参考文献

- 1)例えば、次世代の超精密加工技術(下巻), 産業技術サービスセンター, (1994)317 2)1994 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集(1994)295 3)A.M.Prokhorov, V. I.Konov, I.Urus and I.N.Mihailescu : Laser Heating of Metals, IOP Publishing Ltd, (1990) 34