

CO₂ レーザを用いたアルミニウムの表面合金化 (第6報)

— 溶融過渡現象の観察 —

北海道大学大学院工学研究科 ○佐藤貴紀 高橋義美 池田正幸
北海道立工業試験場 赤沼正信 田中大之

要旨

CO₂ レーザを用いてアルミニウム表面の合金化実験を行った。これまでに、合金化材料として Ni 粉末、TiO₂ 粉末をそれぞれ単独に用いた場合よりも、TiO₂ 粉末に Ni を無電解めっきした複合粉末を用いた場合に良好な合金化層が得られることを報告した。本報ではこの理由を検討するため、シングルパルス照射の実験を行うことで、モデル的に合金化層形成の初期状態における TiO₂-Ni 複合粉末の CO₂ レーザ光に対する吸収特性および Al に対する反応特性を考察した。

1. はじめに

アルミニウムは重量あたりの強度が高く良加工性であるなど優れた特性を持つ金属材料であるが、鉄鋼材料などに比べて柔らかく、そのため耐摩耗性が著しく悪い。

アルミニウム表面の耐摩耗性を局所的に向上させる手段としてレーザを用いた表面合金化法が期待されている。この方法で、Ni 粉末、TiO₂ 粉末を合金化材料としてそれぞれ単独に用いた場合、形成させる合金化層の表面をなめらかに、厚さ、組織を均一とするための技術課題がある¹⁾²⁾。これに対し、TiO₂ 粉末に Ni を無電解めっきした TiO₂-Ni 複合粉末を用いると、合金化層での不均一性は改善されることを報告した³⁾⁴⁾。そこで、本研究では TiO₂ と Ni の複合粉末による合金化層改善の理由を検討するため、TiO₂ と Ni の割合を変えた複合粉末を用いて、レーザ照射時における基板の温度測定により、粉末のレーザ光吸収特性を考察した。さらにレーザ照射時における Al 基板の温度測定と、レーザ照射後の粉末層および Al 基板溶融部の観察を行うことで、各粉末の Al 基板に対する反応特性を考察した。

2. 実験方法

実験装置には、最大出力 3kW、マルチモード CO₂ レーザ発振器 (三菱電機社製 ML30M) を使用した。実験ではパルス幅 0.1sec のシングルパルスを大気中において照射した。合金化材料として TiO₂、Ni 単体と TiO₂ に Ni をそれぞれ 10、25、50、75wt% 無電解めっきした 6 種類の粉末を用いた。

レーザ光吸収特性の実験では、粉末を 0.2mm の厚さで塗布した Cu 基板 (15×15×0.3mm) に、粉末が溶融しない条件のエネルギーフルエンス (以下フルエンスと記す) 約 90J/cm² のレーザ光を照射し、そのとき照射部直下の基板裏面の上昇温度を測定した。

レーザ照射時における粉末層と Al 基板の溶融部を観察する実験では、粉末を 0.2mm の厚さで塗布した Al 基板 (15×15×1.5mm) に、レーザスポット径 2mm、フルエンス 0.3~8.9×10³J/cm² の範囲で変化させたレーザ光を照射し、照射部直下の基板裏面の上昇温度を測定した。レーザ照射後の試料の観察は実体顕微鏡により行った。

3. 実験結果および考察

3.1 レーザ吸収特性

図 1 は各粉末の Cu 基板の上昇温度を示す。右端にある吸収率のスケールは、CO₂ レーザ光に対する吸収率が既知の表面および Cu 表面における基板の上昇温度から求めた。Cu の吸収率は文献値⁵⁾を使用した。Ni 粉末を用いた場合に上昇温度が最も低く、粉末中の TiO₂ 量が増えるとともに上昇温度が高くなる。吸収率が高いものほど上昇温度が高くなると考えられるので、Ni 粉末は CO₂ レーザ光の吸収率が低く、TiO₂ では吸収率が高いことが確認できた。なお、TiO₂ 粉末において、測定値にばらつきが大きく、上昇温度の平均値が TiO₂-10wt%Ni よりも低くなっているのは、TiO₂ の熱伝導率が Ni に比べて低いことが原因と考えられる。

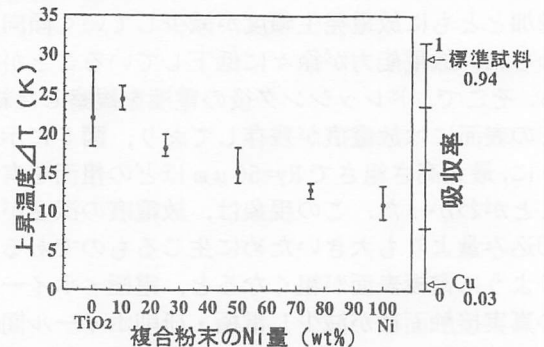


図 1 複合粉末の Ni 量と Cu 基板の上昇温度との関係

3.2 溶融状態観察

図 2 はフルエンス 6.4×10³J/cm² のレーザ光を照射した後の溶融部表面および断面写真である。

(a)TiO₂ 粉末では、表面写真より、溶けた TiO₂ 粉末が一つの大きな塊として表面で凝集していることがわかる。断面写真より、粉末および Al 基板の溶融は認められるが、どのフルエンスにおいても溶融した粉末が Al 基板に溶け込んでおらず、Al 基板表面で肉盛り状態(図中黒色部 α)となることが確認された。

(b)TiO₂-50wt%Ni 粉末でも TiO₂ 粉末と同様に、表面では溶けた粉末が一つの塊として凝集しているが、断面を見ると溶融した粉末が Al 基板の中に溶け込んでおり合金化層(図中黒色部 β)が形成されていることが認められる。

(c)Ni 粉末では表面写真より、中心部に円形の合金化層

表面が確認でき、さらにその周りには凝集した Ni の小さな塊が環状に数個存在している。断面写真では TiO₂-50wt%Ni 粉末と同様に合金化層(図中黒色部γ)の形成が認められる。Ni 粉末の場合、この図よりも低いフルエンスにおいて表面で溶けた粉末が数個の小さな塊となって中心部で凝集していた。また、全てのフルエンスにおいて、図の表面写真でも見られたように照射部の周辺にスパッタとして飛び散ったと思われる小さな球状の塊が多く観察された。

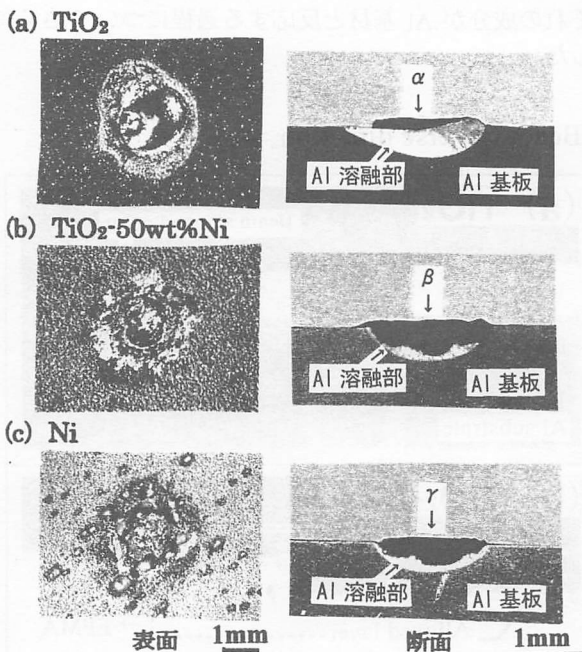


図2 熔融部の表面および断面写真

表1はレーザー照射後の試料の断面を観察した結果、Al 基板熔融および合金化層形成の開始が確認できたフルエンスをまとめたものである。Ni 粉末において、最も低いフルエンスで Al 基板熔融と合金化層形成が始まっている。一方、TiO₂ 粉末では、本実験での最も高いフルエンスのレーザー照射を行った場合でも合金化層の形成は認められなかった。これらのことより、Al 基板に対する反応性は TiO₂ 粉末よりも Ni 粉末の方が良いことがわかる。

表1 Al 基板熔融と合金化層形成開始のフルエンス

| | | 状態変化の開始するフルエンス ($\times 10^3 \text{J/cm}^2$) | |
|----|---------------------------|---|---------|
| | | Al 基板熔融 | 合金化層形成 |
| 粉末 | TiO ₂ | 3.8~4.5 | — |
| | TiO ₂ -50wt%Ni | 2.5~3.2 | 3.2~3.8 |
| | Ni | 1.3~1.9 | 1.9~2.5 |

図3は各粉末にレーザー光を照射した時のフルエンスと Al 基板裏面の温度上昇を示す。基板裏面の温度上昇は、粉末層が CO₂ レーザ光吸収することによって与えられた熱量から粉末と基板が溶解する際に消費された熱量を引いた

残り、Ni 粉末と Al が反応するときに生じた熱量 θ とが合わさり基板裏面に伝わるためである。図3より、本実験において同じフルエンスでは TiO₂-50wt%Ni 複合粉末は TiO₂ や Ni 粉末に比べて上昇温度が高く、さらに全体の上昇温度のばらつきが小さくなっている。このことより、複合粉末では単独粉末に比べ、同じフルエンスのレーザー光を照射した際 Al 基板に伝わる熱量が大きいうえに、その伝わり方が安定していると考えられる。その理由としては、粉末を複合化することによって Ni 粉末よりもレーザー光を高効率で吸収し、TiO₂ 粉末よりも熱伝導が良くなり Al 基板に伝え易くなる、さらに、溶けた粉末と Al 基板との反応性が向上しているためと考察される。したがって、複合粉末を用いた場合これらの効果が相乗的に働いて、レーザー合金化実験において良好な合金化層が得られたと思われる。

4. おわりに

本報の結論を以下にまとめる。

1. CO₂ レーザ光に対する吸収率は、Ni 粉末よりも TiO₂ 粉末の方が高く、複合粉末では TiO₂ の量が多いほど吸収率が高いことがわかった。
2. Al 基板熔融と合金化層形成開始のフルエンスを比較することで、Al に対する反応性は TiO₂ 粉末よりも Ni 粉末の方が良いことがわかった。
3. 複合粉末では、高効率のレーザー光吸収と熱伝導、および Al 基板との良好な反応性が相乗的に働き、このことが良好な合金化層形成に寄与していると思われる。

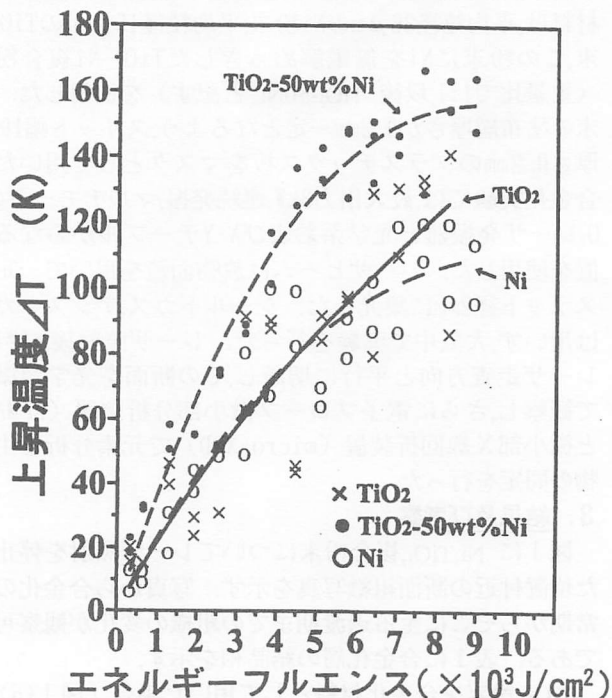


図3 フルエンスと Al 基板の上昇温度との関係

参考文献

- 1) 田中他：日本金属学会誌，Vol.57，No.10，p1114 (1993)
- 2) 熊本他：1995年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，p537
- 3) 中岡他：1995年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集，p111
- 4) 佐藤他：1999年3学協会北海道支部研究発表会講演要旨集，p44
- 5) 浜崎正信：実用レーザー加工，テック出版，1996
- 6) 赤沼他：1998年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，p360