

313 CO₂レーザを用いたアルミニウムの表面合金化 (第2報)

— 溶融層の形態 —

北海道大学工学部 ○熊本敏昭 川原秀輝 柴田隆行 高橋義美 牧野英司 池田正幸
北海道工業試験場 赤沼正信

要旨

アルミニウム表面上にTiO₂粉末を塗布し、レーザ照射により溶融層を形成し、その断面観察を行った。その結果、粉末塗布厚さを変化させて形成した溶融層は、粉末が分散したものとデンドライト状に成長した結晶を持つものと大きく分類された。また、デンドライト状結晶を持つ溶融層の、レーザ走査方向に平行な断面観察から、その構造が周期的な形態をとることが確認された。

1. はじめに

レーザ走査方向に垂直および平行な方向での断面マイクロ組織の観察を行い、粉末の塗布厚さが溶融層の形態におよぼす影響を検討した。さらに、その結果から、溶融層の形成機構の考察を行った。

2. 実験装置および方法

粉末塗布方法や大気雰囲気中でのレーザ照射などの実験方法は前報¹⁾とほぼ同様である。ただし、本報では、レーザ装置として三菱電機製CO₂レーザ発振器 (ML30M) を使用した。また、レーザ光は放物面鏡を用いて集光し、試料表面に垂直に入射させて溶融層を形成した。

3. 実験結果と考察

図1(a)(c)(e)は、TiO₂粉末の塗布厚さを変化させて形成した溶融層における、レーザ走査方向に垂直な断面の金属顕微鏡写真である。また、図1(b)(d)(f)は、それぞれ図1(a)(c)(e)中に示した◆点における部分拡大写真である。

図1(a)では、溶融層全体が、ほとんどAlの熱影響層からなり、合金層は形成されていない。しかし、図1(b)から、溶け込んだ粉末が若干観察される。図1(c)は、粉末が均質に分布している様に見えるが、図1(d)によりデンドライト状の結晶成長が部分的に生じていることが確認できる。図1(e)では溶融層全体がデンドライト状結晶から構成されていることがわかる。また、その溶融層内でもいくつかの層に分かれており、形態の相違が見られる。なお、図1(c)(e)それぞれの表層に見られる層 (写真では明るく見える層) は、Hv1000付近、あるいは、それ以上の値を示すことから、前報で述べたAl₂O₃がリッチな層であると考えられる。

また、これらとは別に図2(a)(b)のような形態を示す溶融層も得られた。図2(a)は、粉末が分散した溶融層であるが、その中心にゆがんだ環状のしまが見られるのが特徴である。これはレーザ照射により

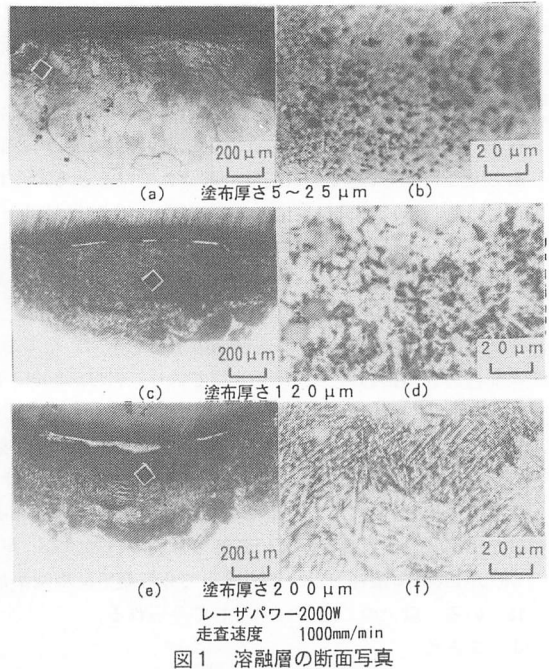


図1 溶融層の断面写真

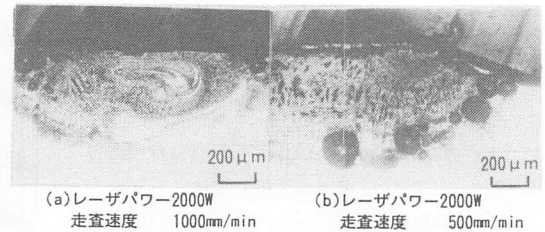


図2 溶融層の断面写真

溶融層内に対流²⁾が生じ、その形状がそのまま凝固したことを示しているものと考えられる。また、図2(b)では、もとのAlの試料表面に対して、溶融層が隆起していることがわかる。その内部はデンドライ

ト状結晶が占めており、多くの気泡を観察することができる。この様な試料は、粉末塗布厚さが比較的小さく(80~100 μm)、また、走査速度の違い条件のときに得られた。このことから、熔融層が隆起している原因は、Al母材が、レーザー照射されたTiO₂より過剰な熱量を受け取り、蒸発したためと考えられる。

上記の結果をまとめると、まず熔融層の形態としては、粉末が分散したものと全体が dendrite 結晶で占められたものと大きく分類できる。この中で、図1(e)に見られるような dendrite が密な熔融層も、図1(c)に見られるような粉末分散、そして、その粉末から始まる結晶成長(図1(d))という過程を経て形成されるものと考えられる。なお、その過程で、熔融層内では激しい対流(図2(a))が生じている。ここで、図1(c)と(e)の相違が生じる原因は、図1(c)に比べ塗布厚さが大きい図1(e)では、dendrite 結晶先端が成長するのに十分な溶質(おそらくTiO₂が分解したTi)が存在するためと考えられる。この点から、また、熔融層を隆起させないという観点(図2(b))からも、ある適正な塗布厚さ(溶質量)で熔融層を形成すべきであると考える。

図3(a)は形成した熔融層の表面写真である。また、図3(b)(c)に、走査方向に垂直および平行な断面の金属顕微鏡写真を示す。

図3(a)から、試料表面の凝固状態はレーザー走査方向に対して周期性があることがわかる。図3(b)は dendrite 状結晶をもつ熔融層であり、図1(e)と同様、複層構造が観察される。図3(c)から、dendrite 結晶が、走査方向に対して周期をもって成長していることがわかる(写真では、黒い層と白い層が周期的に並んで見える)。先に述べた図1(e)や図3(b)に複層構造が見られるのは、このような周期構造を直角方向から観測した結果であると考えられる。また、図3(c)におけるこの黒い層と白い層のビッカース硬さを測定した結果、黒い層が Hv50~100、白い層が Hv250~350 となり、白い層の方が硬度が大きかった。

このような組織形態をとる原因として考えられる

のは、まず、レーザー光を走査することによって生じる卵形の熱分布³⁾の影響、次に、その冷却過程にもなる dendrite 先端の成長形態の違いが周期的にあらわれている可能性、が挙げられる。

冷却過程に関しては、図3(a)に示したように、試料表面の凝固状態も走査方向に応じて周期的であることから、熔融層内部の加熱・冷却過程もなんらかの変動を受けていると考えられる。この事を示す一例として、図3(c)ではわかりにくい、Al母材においても、走査方向に対し周期的な波状の熱影響層が観察された。また、前報において黒い層より、白い層の方が Al リッチであることが報告されている。もしこのことが図3(c)の黒い層と白い層にあてはまるならば、走査方向に対して、溶け込む合金添加材料と Al 母材との量比が変化していることが考えられる。このことは dendrite の組成の変化や、自由 dendrite か セルラー dendrite かという成長形態の相違を生じ、走査方向に平行な周期構造に影響をおよぼしているものと推測される。

4.まとめ

1) TiO₂粉末塗布厚さの大小により、観察される熔融層は、粉末が分散したもの(塗布厚さ小)と dendrite 状組織で満たされるもの(塗布厚さ大)とに大別された。

2) dendrite 状組織をもつ熔融層は、レーザー走査方向に平行な断面内で周期構造をもつことが確認された。

参考文献

1) 中岡他:1994年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集(掲載予定)

2) T. R. Anthony and H. E. Cline: Surface rippling induced by surface tension gradients during surface melting and alloying, Journal of Applied Physics, Vol.48, No. 9(1977)

3) 宮田保教他:レーザーによる表面改質過程の熱伝導解析、鋳物第63巻、No. 1(1991)

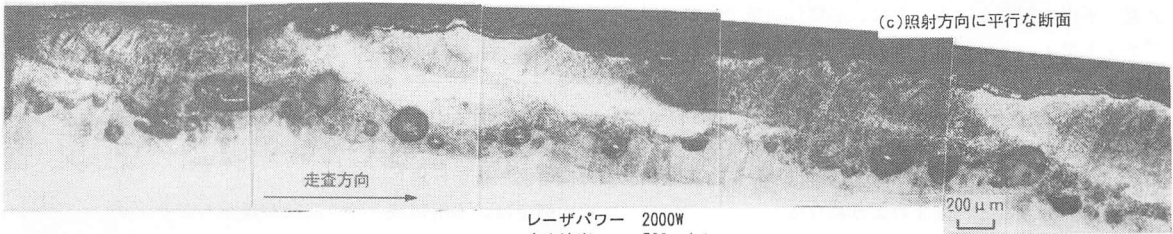
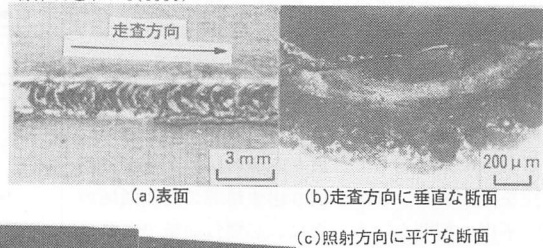


図3 熔融層の垂直および平行な断面写真