

北海道大学工学部 ○中岡真哉 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

TiO₂粒子にNiをコーティングした粉末をAl表面上に塗布しておき、レーザーを照射して熔融層を形成した。その結果、熔融層の表面および母材との境界面の凹凸がTiO₂粉末を用いて形成した熔融層に比べて1/2以下となった。レーザー走査方向および深さ方向にほぼ均一な組成分布の熔融層が形成できた。組織はレーザー走査方向に一様で、ビッカース硬さはHv200~250程度であった。

1. はじめに

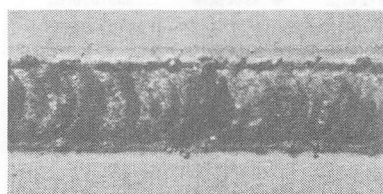
Alの耐摩耗性を改善する方法としてレーザーを用いた表面合金化による硬化法が期待されている。本報ではTiO₂粒子にNiをコーティングした粉末（TiO₂-Ni粉末）を用いて熔融層を形成し、熔融層のマクロおよびミクロ組織観察、微小部X線回折による構造解析、XMAによる組成分析、硬さ試験を行った。熔融層の形状、および組織を、TiO₂粉末を用いた場合と比較し、Niコーティングの効果について検討した。

2. 実験装置と方法

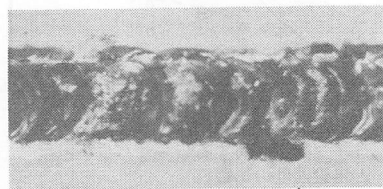
実験方法は前報と同様である¹⁾。重量比でTiO₂:Ni=2:1となるようにTiO₂粒子にNiをコーティングした粉末を用いた。粉末塗布層厚さは200μm一定とした。組成分析はAl、Ti、Niを測定対象元素とした。

3. 実験結果および考察

図1(a)、(b)は、それぞれ、TiO₂-Ni粉末、TiO₂粉末を用いて形成した熔融層の表面写真である。図1(a)に比べて図1(b)は熔融層の幅の変動が大きい。表面の円弧状の模様の間隔は、図1(a)で0.4~0.7mm程度、図1(b)で0.7~1.5mm程度であり、図1(b)の方が間隔が広がっている。図2(a)、(b)は図1のそれぞれの熔融層のレーザー走査方向と平行な断面（縦断面）の金属顕微鏡写真である。図2(a)では熔融層の表面および母材との境界面のうねりは小さく、深さ方向に3層の構造が見られる。図2(b)ではうねりは大きく、レーザー走査方向に大きい周期の構造がみられる。熔融層の表面の平均線と平行に熔融層表面の凸部と凹部に接する線を引き、その間隔を表面のうねりとした。熔融層と母材の境界面についても同様に線を引き、境界面のうねりの大きさを測定した。その間を熔融深さとした。TiO₂-Ni粉末を用いて形成した熔融層は照射条件に関係なく、表面と境界面のうねりはそれぞれ50~100μm、150~250μmであった。この値は、TiO₂



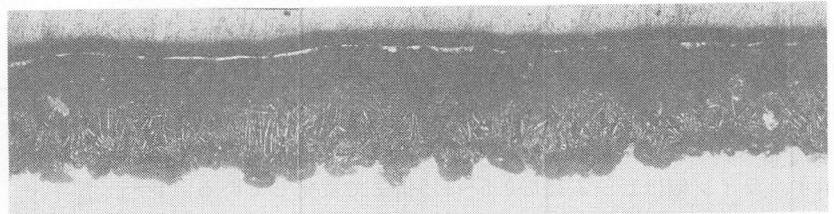
(a) TiO₂-Ni粉末



(b) TiO₂粉末 1mm

← レーザ走査方向
レーザー出力:2000w
レーザー走査速度:500mm/min
スポット径:2000μm

図1 熔融層の表面写真



(a) TiO₂-Ni粉末



(b) TiO₂粉末

← レーザ走査方向

500μm

図2 熔融層の縦断面写真

粉末で形成した比較的良好な溶融層に比べて、1/2以下であり、溶融層の表面と境界面がより滑らかになっている。溶融深さはレーザー出力に比例して大きくなる傾向がみられた。レーザー走査速度の顕著な影響はみられなかった。しかし、レーザー出力1000Wの条件では、レーザー走査速度が1000、1500mm/minと速い場合、溶融層は形成されない。従って、照射パワー密度25kW/cm²の場合、照射エネルギー密度3kJ/cm²と6kJ/cm²の間に溶融層形成のしきい値があると考えられる。

図3は図2(a)の一部を拡大したSEM写真である。溶融層は、上層の微小な針状結晶を含む微細組織、中間層の比較的大きく成長したデンドライト組織、下層の微小な粒子状の組織の3層で形成されていた。この試料について、面分析を行った結果、Al、Ti、Niは溶融層にほぼ均一に分散していた。図4にデンドライト率（デンドライトの面積と溶融層の面積の比）とレーザー出力の関係を示す。デンドライト率はレーザー出力によらず一定であり、レーザー走査速度が速いほど小さくなる。一般にレーザー照射中に発生する溶融池において、凝固速度は溶融池最深部で小さく、溶融池表面に近づくにつれて増加し、また、レーザー走査速度に比例して大きくなると言われている²⁾。従って、中間層のデンドライト組織は凝固速度が比較的遅い領域で形成されたと考えられる。下層ではTiまたはNiの量が少ないために、凝固速度が遅いにも拘わらずデンドライトが成長しなかったものと思われる。

実験を行った条件の範囲ではクラックの発生はないが、ほとんどの試料で気泡が発生していた。気泡は、レーザー出力が大きくレーザー走査速度が遅い条件で多く発生していた。このことから、気泡はAlが沸騰しその蒸気により形成されたと考えられる。ただし、プラズマ・ジェットを用いたAlの表面改質実験で発生した気泡中のガスを分析して、H₂が検出されたという報告³⁾もあり、気泡の発生はAl母材や粉末に吸着していた水の影響とも考えられる。

図3の試料の溶融層上部（上層）と下部（中間層+下層）について微小部X線回折を行った結果、Al、Al₃Ti、Al₃Niのピークが検出された。溶融層の上部ではAl、下部ではAl₃Ti、Al₃Niのピーク強度が強かった。また、上部ではAl₂O₃と思われるピークもみられた。したがって、溶融層の上層はAlの過飽和固溶体やAl₂O₃が形成されている可能性が高く、中間層のデンドライト組織はAl₃Ti、もしくはAl₃Niであると考えられる。

図5に溶融層の深さ方向のビッカース硬さ分布を示す。形成した溶融層の硬さはすべてHv200~250程度であった。Al₃Ti、Al₃Niの硬さは、Hv400~700、Hv700~770であるので、塗布厚さを大きくし溶融層内のTi、Niの濃度を高くすれば、さらに硬さを大きくできると思われる。

4. まとめ

1. Niコーティングにより、表面および母材との境界面の凹凸が1/2以下で、ほぼ均一な組成分布の溶融層が形成できた。
2. 溶融層は、微細組織（上層）、デンドライト組織（中間層）、微小な粒子状組織（下層）で構成される。デンドライト率はレーザー出力によらず一定で、レーザー走査速度が速いほど低くなる。
3. 溶融層中にはAl₃Ti、Al₃Niなどの金属間化合物が形成されていた。
4. 溶融層のビッカース硬さは、Hv200~250程度であった。

参考文献

- 1) 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
- 2) M. GREMAUD and W. KURZ: Microstructural Selection in Al-Si Alloys Subjected to Laser Treatment, Proceedings of LAMP' 92, Nagaoka, p801 (June, 1992)
- 3) MATSUDA他: Formation of Thicker Hard Alloy Layer on Surface of Aluminum Alloy by PTA Overlaying with Metal Powder, Transactions of JWRI, Vol. 20, No. 1, p77(1991)

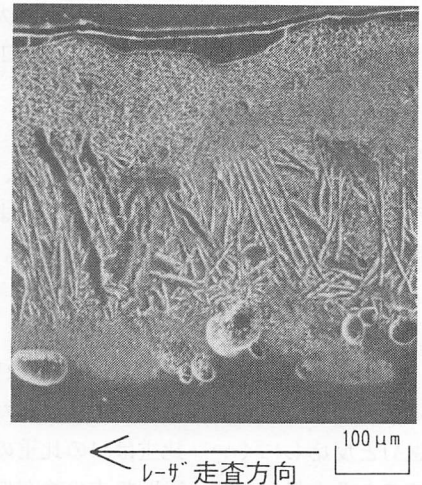


図3 縦断面の拡大SEM写真

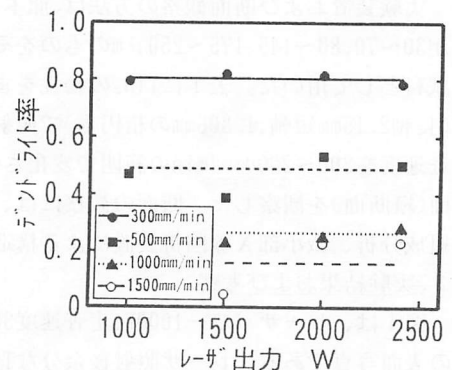


図4 デンドライト率とレーザー出力の関係

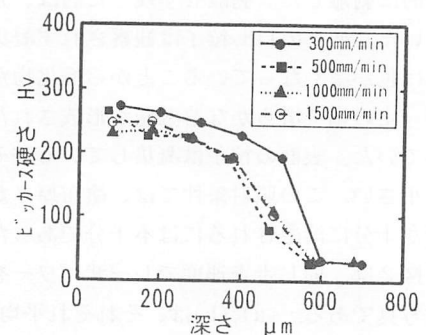


図5 深さ方向のビッカース硬さ分布