

チタン合金のワイヤーク指向性エネルギー堆積における金属蒸気特性および柱状結晶粒形成に及ぼす溶融挙動の影響機構

接合科学研究所 エネルギー制御学分野

助教 吳 東升

<https://researchmap.jp/dongshengwu>

講師 古免 久弥

https://researchmap.jp/H_Komen

研究の概要

WA-DED（ワイヤーク指向性エネルギー堆積）中に容易にタングステン電極は消耗し、その結果、アークが不安定になることで堆積品質は低下する。また、溶融挙動に影響を受けた金属蒸気の特徴は、タングステン電極の消耗に大きな影響を与える。

本研究では、分光システムを採用し、チタン合金のWA-DEDにおけるアーク温度と金属蒸気分布の測定を行った。そして、タングステン電極の汚染メカニズムが明らかとなった。Ti⁺イオンはカタフォレスिसによって負極の表面に輸送され、電極の消耗を支配する。

研究の背景と結果

WA-DEDは電気アークを用いて固体基板とワイヤを溶融する積層手法であり、従来の積層手法と比較して、より高い堆積率と材料利用率、低コストで三次元金属部品を製造することができる。TIG（タングステン不活性ガス）アークは、チタン合金のWA-DEDにおいて熱源として広く利用されている。しかしながら、TIGアーク処理中にタングステン電極が容易に消耗するため、アークが不安定になり、加工品質が低下する。

ギブス自由エネルギーの最小化によって計算されたAr-Ti混合物の平衡組成は、温度が7100 Kを超えるとTi⁺イオンが優勢になることを示唆している。分光分析から、計算された領域におけるアーク温度が10000 Kを超えており、領域内のTi原子がTi⁺イオンにイオン化することが予想される。また、チタン合金のWA-DEDにおける高い溶融温度は、強いTiの蒸発を引き起こす。蒸発したTi蒸気はアークプラズマと混合し、そのエネルギーを吸収するために、Ti⁺イオンがアーク全体で高濃度化する。そして、タングステンは負の、Ti⁺イオンは正の電荷を持つためにTi⁺イオンはTi原子と比較して容易にカタフォレスिसによって電極表面に輸送され、電極の消耗を引き起こす。

多層WA-DEDプロセスでは、溶融プールの温度とTi蒸気濃度が高いため、より多くのTi原子がTi⁺イオンへとイオン化するために、Ti⁺イオンの全体的な数密度と分布面積が高くなる。

研究の意義と将来展望

本研究により、WA-DED中の電極消耗のメカニズムが明らかとなった。この結果は、金属蒸気の含有量を減少させ、その分布を変えることで電極の汚染を抑制できる可能性を示唆している。アーク電流の減少、移動速度やワイヤ供給速度の増加、さらにパルス電流モードの使用により、溶融チタンの温度を下げ、チタンの蒸発を抑えることで、電極消耗の抑制が期待できる。

電極消耗と柱状晶の形成を抑制するために、今後、超高周波パルスTIGベースのWA-DEDプロセスを開発し、チタン部品を製造する予定である。

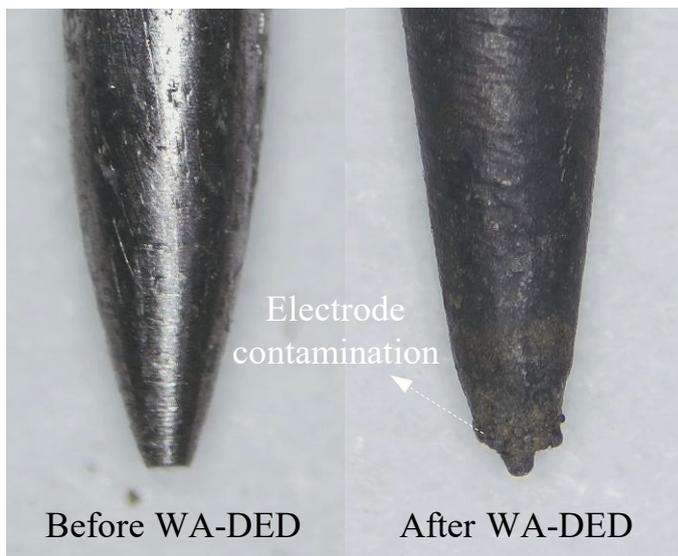


図1 ワイヤーク指向エネルギー堆積前後の電極形態

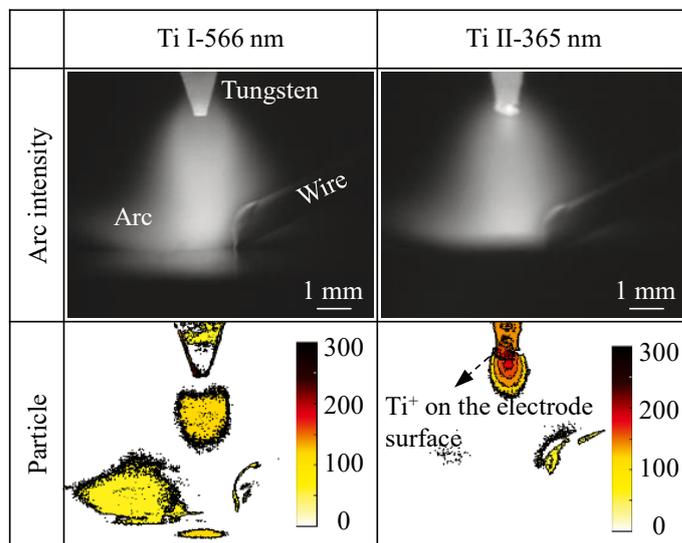


図2 ワイヤーク指向エネルギー堆積中のアーク強度と粒子分布

特許

論文

Xiao, Xiao; Wu, Dongsheng; Komen, Hisaya et al. Influencing mechanisms of melt behavior on metal vapor characteristic and columnar grain formation in wire-arc directed energy deposition of titanium alloy. Additive Manufacturing. 2024, 82, 104029. doi: 10.1016/j.addma.2024.104029
Xiao, Xiao; Wu, Dongsheng; Komen, Hisaya et al. Stabilising mechanism of cathode jet and droplet transfer in hybrid-laser-GMAW-based directed energy deposition of titanium alloy. Virtual and Physical Prototyping. 2024, 19(1), e2384659. doi: 10.1080/17452759.2024.2384659

参考URL

<https://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt1/index-e.html>

キーワード

ワイヤーク積層製造、チタン合金、金属蒸気、柱状晶から等軸晶への転移