

Title	Studies on the Development of Energy-Saving Freeform Fabrication of Nickel-Aluminide
Author(s)	吳, 長桓
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44251
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	眞 長 桓
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 7 3 0 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 14 年 9 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科環境工学専攻
学 位 論 文 名	Studies on the Development of Energy-Saving Freeform Fabrication of Nickel-Aluminide (ニッケルアルミナイドの省エネルギー自由造形の開発に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 宮 本 欽 生 (副査) 教 授 藤 田 正 憲 教 授 竹 本 正 教 授 盛 岡 通 教 授 加 賀 昭 和 教 授 鳴 海 邦 碩 教 授 水 野 稔 教 授 笹 田 剛 史 教 授 桑 野 園 子

論 文 内 容 の 要 旨

第 1 章では、ニッケルアルミナイドの特性、問題点に関する一般的な概論を記述した。その後、研究の背景および目的、開発した反応性ラピッドプロトタイプリング (RRP) の原理、そして省エネルギー、低環境負荷プロセスとしての利点を述べた。

第 2 章では、本研究で用いた実験方法、反応の熱力学計算と実験装置について記述した。

第 3 章では、RRP プロセスの制御因子、合成したニッケルアルミナイドビードの組成および微細構造の制御、溶融アルミニウム噴射ノズルの開発、および 3 次元造形物の試作について実験結果をまとめ考察した。

アルミ液滴の温度およびサイズが増加することによって、反応領域は広がった。この結果はアルミ液滴の温度およびサイズの増加とともにニッケルアルミナイドビード合成反応の発熱量が増加したからと考えられた。Ni 粉末ベッドの厚さが増加するとともに、ニッケルアルミナイドビードの幅は減少したが、深さは増加した。発熱反応は、アルミ液滴と Ni 粉末ベッド間の接触面積によって強く影響されることを見出した。反応熱は、純アルミ液滴の代わりに Al-Ni 合金液滴をニッケル粉末ベッド上に吐出することにより制御を行った。溶融ニッケルアルミナイドビードへの濡れ性が悪い Al_2O_3 微粒子の添加は反応領域のコントロールに非常に有効であることを明らかにした。吐出温度を $800^{\circ}C$ から $1000^{\circ}C$ まで上昇することによって、NiAl 均質相に富む構造に変化することを示した。より精度良く造形するためにはアルミ液滴のサイズを最小限にし、生成物の微細構造を制御することが必要であり、二重のオリフィスを持つ新しいノズルの開発を行った。新しいノズルの使用によって、サブミリメートルの小さくて均一なアルミ液滴の連続吐出を可能にした。サブミリメートルビード同士の接合状態の観察を行い、隣接するビードは波のような形で接合しており、接合部は、クラックや気孔が殆どなくうまく接合されていることを明らかにした。

第 4 章では、環境対応型プロセスとしての可能性について検討した結果を述べた。RRP 法は自らの化学反応を利用して、鋳型を必要とせず 3 次元構造を直接作製するので省エネルギー、低コストプロセスである。ニアネット構造物が作製できるので機械加工からの産業廃棄物の発生を抑制できる環境にやさしいプロセスとなる可能性を示した。

第 5 章では、本研究で得られた結論を述べた。

論文審査の結果の要旨

本研究は、耐熱性、耐磨耗性、耐酸化性に優れているが、延性に乏しく加工困難なニッケルアルミナイドに対し、省エネルギー的な燃焼合成法とラピッドプロトタイピングを組み合わせることによって自由造形を果たす反応性ラピッドプロトタイピングシステムを開発し、造形と組織制御について調査検討したものである。得られた結果を要約すると、以下の通りである。

- (1) 金属間化合物を生成しながら3次元構造を作製する、新しいプロセスの反応性ラピッドプロトタイピングの開発を行っている。反応性ラピッドプロトタイピングは、燃焼合成とラピッドプロトタイピングを組み合わせたプロセスである。燃焼合成は発熱反応を伴って、化合物が自発的に合成されるプロセスで、均一組成が得やすく、緻密品の作製が可能である上、製造費用の削減が図れる省エネルギープロセスである。一方、ラピッドプロトタイピングは、3次元構造をCADによって設計し、2次元断面層にスライスした数値ファイルに従って、2次元構造を形成し積層していくことによって3次元構造を作製するため、複雑な構造も短時間に製造することが可能である。
- (2) 反応領域はアルミ液滴の温度およびサイズの増加とともに広がっているが、アルミ液滴の吐出間隔が長くなるとともに、反応領域は減少する結果が得られている。Ni粉末ベッドの厚さが増加するとともに、ニッケルアルミナイドビードの幅は減少したが、深さは増加している。Ni粉末ベッドの厚さが薄い場合、燃焼波がすぐ粉末ベッドの底部へ到達し横方向に伝播していくからと考えられる。純アルミ液滴の代わりにAl-Ni (5-10 wt%) 合金液滴をニッケル粉末ベッド上に吐出することにより反応熱の制御を行い、ニッケル添加量を10 wt%にするとアルミ液滴の径に対してビードの径を1.5倍まで制御している。熔融ニッケルアルミナイドビードへの濡れ性が悪いアルミナ微粒子のニッケル粉末への添加は反応領域のコントロールに非常に有効であり、アルミナ粒子(0.2 μm 径)の添加量を0.7 wt%にした場合、アルミ液滴の径に対してビードの径を1.3倍まで抑制している。
- (3) ニッケルアルミナイドビードの微細構造はアルミ液滴の温度と大きさによって大きく変化し、吐出温度が800°Cから1000°Cまで上昇することによって、NiAl均質相に富む構造が得られている。当初使用した先端に小さな吐出穴(オリフィス)を設けた円筒型の黒鉛ノズルでは、詰まって吐出しないことや、途中で止まること、又液滴サイズが一定しないなどの問題が発生したが、原因であるアルミの酸化とアルゴンガス圧の伝達、吐出に伴う熔融アルミ量の変化を解決できる二重のオリフィスを持つ新しいノズルの開発に成功している。この新しいノズルの使用によって、サブミリメートルの小さくて均一なアルミ液滴の連続吐出を可能にしている。
- (4) サブミリメートルビード同士の接合状態の観察を行っている。隣接するビードは波のような形で接合していて、接合部は、クラックや気孔が殆どなくうまく接合されていることを明らかにしている。Al液滴が大きい場合(約6 mm)と小さい場合(1 mm以下)では微細構造は異なり、Al液滴が小さい場合は、ビード間の境界領域でNiAl、NiAl₃、Niリッチ相、Alリッチ相のいくつかの異なる相が観察されている。しかし、液滴が大きい場合は、殆どが未反応相(Alリッチ相)でこの場合は反応が十分進行しない内に熔融アルミが冷却したことを示している。

以上のように、本論文は優れた特性がありながら難加工性で実用化が阻まれている金属間化合物の自由造形を実現する反応性ラピッドプロトタイピング(RRP)という新しいプロセスの開発を行い、RRPプロセスの制御因子、合成したニッケルアルミナイドビードの組成および微細構造の制御等を明らかにしている。さらに熔融アルミニウム噴射ノズルの開発および3次元造形物の試作に成功している。世界初の反応性ラピッドプロトタイピングという新しいプロセスの開発はニッケルアルミナイドの産業応用を広げることと、低コスト、低環境負荷、省エネルギープロセスの確立に寄与し得るところ大である。よって本論文は博士論文として価値があるものと認める。