



Title	レーザビームを熱源としたAl-Si系3次元構造体の造形条件の最適化と機能性向上に関する研究
Author(s)	木村, 貴広
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/67150
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (木村 貴広)	
論文題名	レーザビームを熱源としたAl-Si系3次元構造体の造形条件の最適化と機能性向上に関する研究
論文内容の要旨	
<p>本研究は、アルミニウム合金粉末を用いたレーザ積層造形体の緻密化を行い、熱的・機械的性質の発現メカニズムを解明するとともに、レーザ積層造形用アルミニウム合金の設計指針を得ることを目的として行った。まずはじめに、既存の鋳造用および展伸材用のアルミニウム合金粉末を用いたレーザ積層造形を試み、レーザ照射条件と相対密度の関係、組織と機械的性質、熱処理による特性の変化について明らかにした。次に、アルミニウム合金の主要添加元素であるSiおよびMgが、積層造形性および熱的・機械的性質に及ぼす影響について系統的に調査し、アルミニウム合金積層造形体の緻密化プロセスや組織と特性の変化の関係について解明した。</p> <p>第1章では、本研究の背景およびアルミニウム積層造形技術の現状を示した後、目的と概要について述べた。</p> <p>第2章では、既存の鋳造用アルミニウム合金粉末（ダイカスト用ADC3相当合金：Al-10mass%Si-0.4mass%Mg、重力鋳造用AC4CH合金：Al-7mass%Si-0.3mass%Mg）を用いてレーザ照射条件を探査し、相対密度99.8%以上の高密度体を得るための最適条件を見出した。加えて、有限要素解析によるレーザ照射時の温度予測により、レーザ照射条件の最適値を概ね予測できることを明らかにした。本研究の最適条件にて作製した造形体は、レーザ照射による急冷凝固に起因して、積層方向に伸長したサブミクロンオーダーの極めて微細なセル状デンドライト組織から成り、その機械的性質は同組成の鋳造材よりも大幅に優れていることを示した。さらに、熱処理による造形体の機械的性質の変化について明らかにし、金属組織の変化と関連付けて考察した。</p> <p>第3章では、これまでにほとんど報告例のない展伸材用アルミニウム合金の粉末を用いてレーザ積層造形を試みた。工業用純アルミニウム粉末を用いた造形では、レーザ照射条件を最適化することで高密度体が得られ、同材がレーザ積層造形材として適用できることを初めて実証した。また造形体は、0.3 μm以下の酸化物に起因する微細な粒状組織を呈し、良好な熱的・機械的性質を示すことを明らかにした。さらに、造形体の熱伝導率を同組成の展伸材並に向上するための熱処理条件を確立した。一方、A6061合金の粉末を用いて作製した造形体では、いずれのレーザ照射条件においてもマイクロクラックが発生し、高密度体は得られないことがわかった。</p> <p>第4章では、Siの含有量を変化させたAl-xSi (x=0~20mass%)二元合金粉末を用いて、Si含有量が造形体の積層造形性および熱的・機械的性質に及ぼす影響について系統的に解明した。レーザ照射条件の最適化により、工業用純アルミニウムおよびAl-4~20mass%Si合金造形体では相対密度99.5%以上の高密度体が得られることを見出した。一方、Al-1mass%Si合金造形体では試料全面にマイクロクラックが発生し、これらのクラックは凝固および熱収縮による引張応力に起因して発生した凝固割れであることを明らかにした。また、Si含有量が増加するにしたがって、造形体の強度は向上するが、破断伸び・熱伝導率は低下することを実証し、組織形態の変化に基づいて考察した。</p> <p>第5章では、第4章の結果より選定したAl-4mass%Si合金をベースに、固溶・析出型元素であるMgを加えることで造形体の高強度化を図るとともに、得られた結果を基にアルミニウム合金造形体の組織形成プロセスや熱的・機械的性質の発現メカニズムを解明した。Mg含有量の増加にしたがって、Al-4mass%Si-yMg (y=0~2.5mass%)合金造形体の強度は大きく向上する一方、破断伸びは段階的に低下した。熱伝導率は、Mg含有量の増加により低下する傾向にあるが、その低下量は比較的小ないことがわかった。これらの熱的・機械的性質の変化は、マクロ～ナノの様々なスケールにおける造形体の金属組織の変化、およびガス泡や引き巣などの空隙欠陥の発生に起因することを明らかにした。</p> <p>第6章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、それらの知見を基にレーザ積層造形用アルミニウム合金を設計するための指針を提案した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (木村 貴広)	
	(職) 氏 名
	主査 教授 荒木 秀樹
論文審査担当者	副査 教授 藤原 康文
	副査 教授 宇都宮 裕
	副査 教授 中野 貴由
	副査 准教授 水野 正隆

論文審査の結果の要旨

本論文では、アルミニウム合金粉末を用いたレーザ積層造形体の相対密度に及ぼすレーザ照射条件の影響を詳細に検討し、造形体の緻密化メカニズムを解明している。加えて、レーザ積層造形特有の金属組織の形態やその形成プロセス、熱処理による組織および熱的・機械的性質の変化について系統的に明らかにし、得られた結果を基に、レーザ積層造形用アルミニウム合金の設計指針を提案している。本研究で得られた主な知見は下記の通りである。

- (1) 鋳造用アルミニウム合金粉末を用いた造形では、レーザ照射条件を最適化することで相対密度 99.8%以上の高密度体が得られることを明らかにしている。加えて、有限要素解析によるレーザ照射時の温度予測により、レーザ照射条件の最適値を予測できることを見出している。得られた造形体は、積層方向に伸長したサブミクロノオーダーの極めて微細なデンドライトセル状組織からなり、その機械的性質は同組成の鋳造材よりも大幅に優れていることを示している。さらに、熱処理による造形体の金属組織および機械的性質の変化について明らかにしている。
- (2) 展伸材用アルミニウム合金粉末を用いてレーザ積層造形を試み、工業用純アルミニウム粉末を用いた造形では、レーザ照射条件の最適化により高密度体が得られ、同材がレーザ積層造形材として適用できることを初めて実証している。得られた造形体は酸化物が分散した微細粒状組織を呈し、良好な熱的・機械的性質を示すことを明らかにするとともに、熱伝導率を同組成の展伸材並に向上するための熱処理方法を確立している。
- (3) アルミニウム合金中の Si 含有量が積層造形性や熱的・機械的性質に及ぼす影響について、系統的に解明している。レーザ照射条件の最適化により工業用純アルミニウムおよび Al-4~20mass%Si 合金造形体では相対密度 99.5%以上の高密度体が得られる一方、Al-1mass%Si 合金造形体では試料全面にマイクロクラックが発生し、これらのクラックは凝固および熱収縮による引張応力に起因して発生した凝固割れであることを明らかにしている。Si 含有量が増加するにしたがって、造形体の強度は向上するが、破断伸び・熱伝導率は低下することを実証し、組織形態の変化に基づいて考察している。
- (4) Mg 含有量が Al-4mass%Si-0~2.5mass%Mg 合金造形体の積層造形性や金属組織および熱的・機械的性質に与える影響について系統的に調査するとともに、得られた結果を基にアルミニウム合金造形体の組織形成プロセスや諸特性の発現メカニズムを解明している。Mg 含有量の増加にしたがって、造形体の強度は向上する一方、破断伸びおよび熱伝導率は低下することを示し、これらの特性の変化がマクロ～ナノオーダーの様々なスケールにおける金属組織の変化、および空隙欠陥の発生に起因することを明らかにしている。

以上のように、本論文はアルミニウム合金粉末を用いた積層造形における緻密化メカニズム、組織形成プロセス、および組織と熱的・機械的性質との関係について系統的な知見を提供している。本研究で得られた知見は、アルミニウム積層造形法の適用拡大に寄与するのみならず、優れた特性やこれまでにない機能を持つ新たなレーザ積層造形用合金の開発に資することから、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。