OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	アルミニウム合金のレーザ溶接における溶融金属と熱の輸送およびそれに伴う諸現象に関する研究
Author(s)	宮城, 雅徳
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72386
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式3

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　宮城　雅徳　）	
論文題名	アルミニウム合金のレーザ溶接における溶融金属と熱の輸送 およびそれに伴う諸現象に関する研究

論文内容の要旨

アルミニウム合金のレーザ溶接は固体、液体、気体、プラズマが混在する複雑なプロセスであるため、溶融部の熱輸送機構や合金元素の影響、溶接欠陥発生メカニズムについては、知見が不足しており、高品質・高効率のアルミニウム合金レーザ溶接の実現に向けて、溶接現象の解明が求められている。本論文は、アルミニウム合金のレーザ溶接現象を明らかにすることを目的とし、X線位相コントラスト法を活用した溶接現象のその場観察手法を用いて、溶融金属と熱の輸送機構、キーホール・溶融池挙動に及ぼす合金元素の影響、ポロシティおよび凝固割れ発生メカニズムについて、まとめたもので、7章で構成されている。

第1章では、本研究の背景および目的を述べており、アルミニウム合金の溶接・接合技術の必要性およびレーザ溶接の有用性を述べた。またアルミニウム合金のレーザ溶接における課題、過去の研究結果について述べた。

第2章では、本論文で使用した供試材とレーザ溶接試験に用いた装置および観察・分析装置について述べた。

第3章では、SPring-8の高輝度X線を活用し、X線位相コントラスト法によるレーザ溶接現象の観察手法を検討し、従来方法のX線吸収法よりも固体、液体、気体の界面を明瞭に観察できる手法を確立した。キーホール形成速度、溶融池対流について定量的な計測を実施した結果、本溶接条件での溶融池は熱伝導と局所的な対流による複合的な熱輸送システムであることを明らかにした。またレーザ照射によって投入されたエネルギーのうち、約51%は反射され、約22%はキーホール形成に使用され、約21%は溶融池に熱伝達されていると見積もられた。

第4章では、アルミニウム合金のレーザ溶接における熱輸送に及ぼす合金元素の影響を検討した。各種アルミニウム合金のレーザ溶接現象のその場観察結果からキーホールや溶融池挙動を比較し、合金元素や物性値との関係を明らかにした。アルミニウムよりも沸点が低い元素の添加量とキーホール成長速度は正の比例関係を示すことを明らかにした。またカロリーメトリ法を用いて、各種アルミニウム合金のレーザ吸収効率を計測し、熱輸送機構に及ぼす合金元素の影響を考察した結果、レーザ吸収効率はキーホールのアスペクト比が大きい場合に、高くなることを確認した。また低沸点元素添加量が2%程度のときにアスペクト比が最大になることを確認した。

第5章では、アルミニウム合金のレーザ溶接におけるポロシティ生成を誘発するメカニズムを調査した。ポロシティの内部ガス分析により、ポロシティ形成に及ぼすレーザ溶接条件および環境の影響を評価した。キーホールが安定する溶接条件では、ポロシティ内部には水素ガスのみが含まれることを明らかにした。位相コントラスト法を用いた現象観察の結果、供試材に含まれる水素および酸化皮膜に含まれる結晶水が水素の供給源となり、凝固時に固溶限を超えた水素がガスとして放出されていると考察した。一方、キーホールが不安定な溶接条件では、ポロシティ内部に大気成分が含まれていることを確認した。溶接時のキーホールの膨張・収縮に伴い、キーホールを通じて大気を吸引すると考察した。

第6章では、アルミニウム合金のレーザスポット溶接における凝固割れ現象について調査した。各種アルミニウム合金のレーザスポット溶接に対して、X線位相コントラスト法によるその場観察を実施し、凝固割れの動的挙動を定量的に評価した。凝固割れは固液界面消失後、溶接部内部を起点とし、くぼみの形成とともに発生し、溶接部上部に向かって進展することを確認した。凝固割れは凝固の進行に伴って進展するため、凝固割れの進展速度は凝固速度と同程度になることを明らかにした。X線位相コントラスト画像から凝固時の温度勾配、凝固速度を見積もり、凝固組織を推定した結果、凝固開始時は、セル状または柱状デンドライトで凝固し、凝固割れが発生していた最終凝固部は等軸デンドライトになることを確認した。

第7章は、本論文の結論であり、本研究で得られた結果について総括しており、アルミニウム合金のレーザ溶接現象に関する新たな知見について言及した。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　宮城　雅徳　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	塚本　雅裕
	副 査	教授	藤井　英俊
	副 査	教授	高谷　裕浩
	副 査	准教授	川人　洋介
	副 査		
	副 査		
	副 査		

論文審査の結果の要旨

本論文はアルミニウム合金のレーザ溶接現象を明らかにすることを目的としている。アルミニウム合金のレーザ溶接は固体、液体、気体、プラズマが混在する複雑なプロセスであるため、溶融部の熱輸送機構や合金元素の影響、溶接欠陥発生メカニズムについては、知見が不足しており、高品質・高効率のアルミニウム合金レーザ溶接の実現に向けて、溶接現象の解明が求められている。本研究ではSPring-8の高輝度X線を用いて、位相コントラストを活用したその場現象観察手法を確立し、従来の吸収コントラスト法では観察が困難であった固体・液体・気体の界面を明瞭に観察できることを明らかにしている。位相コントラスト法の観察結果に基づき、固液界面・気液界面の位置、湯流れを計測することで、溶融池内の熱伝達機構を明らかにしている。また合金元素がキーホール・溶融池挙動に及ぼす影響を検討しており、アルミニウムよりも沸点が低い元素量によって、キーホール形状およびその安定性を評価できることを明らかにしている。またポロシティや凝固割れなどの溶接欠陥生成メカニズムに関する調査も行っている。ポロシティに関しては、キーホールの膨張・収縮に伴う大気の吸引メカニズムを示している。凝固割れについては、凝固割れをその場観察し、凝固割れ発生挙動を明らかにしている。

第 1 章では、本研究の背景および目的を述べており、アルミニウム合金の溶接・接合技術の必要性およびレーザ溶接の有用性を述べている。またアルミニウム合金のレーザ溶接における課題、過去の研究結果について述べている。

第 2 章では、本論文で使用した供試材とレーザ溶接試験に用いた装置および観察・分析装置について述べている。

第 3 章では、SPring-8 の高輝度 X 線を活用し、X 線位相コントラスト法によるレーザ溶接現象の観察手法を検討し、従来方法の X 線吸収法よりも固体、液体、気体の界面を明瞭に観察できる手法を確立している。キーホール形成速度、溶融池対流について定量的な計測を実施した結果、本溶接条件での溶融池は熱伝導と局所的な対流による複合的な熱輸送システムであることを明らかにしている。またレーザ照射によって投入されたエネルギーのうち、約 51%は反射され、約 22%はキーホール形成に使用され、約 21%は溶融池に熱伝達されていると示している。

第 4 章では、アルミニウム合金のレーザ溶接における熱輸送に及ぼす合金元素の影響を検討している。各種アルミニウム合金のレーザ溶接現象のその場観察結果からキーホールや溶融池挙動を比較した結果、アルミニウムよりも沸点が低い元素の添加量とキーホール成長速度は正の比例関係を示すことを明らかにしている。またカロリーメトリ法を用いて、各種アルミニウム合金のレーザ吸収効率を計測した結果、レーザ吸収効率はキーホールのアスペクト比が大きい場合に、高くなることを確認している。また低沸点元素の添加量が 2%程度のときに安定なキーホールが得られ、アスペクト比が最大になることを確認している。

第 5 章では、アルミニウム合金のレーザ溶接におけるポロシティ発生メカニズムを調査している。ポロシティの内部ガス分析により、ポロシティ形成に及ぼすレーザ溶接条件および環境の影響を評価している。キーホールが安定す

る溶接条件では、ポロシティ内部には水素ガスのみが含まれることを確認している。位相コントラスト法を用いた現象観察の結果、供試材に含まれる水素および酸化皮膜に含まれる結晶水が水素の供給源となり、凝固時に固溶限を超えた水素がガスとして放出されていると示している。一方、キーホールが不安定な溶接条件では、ポロシティ内部に大気成分が含まれていることを確認している。溶接時のキーホールの膨張・収縮に伴い、キーホールを通じて大気を吸引すると示しており、キーホール挙動によって、ポロシティ発生メカニズムが変化することを明らかにしている。

第 6 章では、アルミニウム合金のレーザスポット溶接における凝固割れ現象について調査している。各種アルミニウム合金のレーザスポット溶接に対して、X 線位相コントラスト法によるその場観察を実施し、凝固割れの動的挙動を定量的に評価している。凝固割れは固液界面消失後、溶接部内部を起点とし、くぼみの形成とともに発生し、溶接部上部に向かって凝固速度と同程度の速度で進展することを確認している。凝固組織観察の結果、凝固開始時は、セル状または柱状デンドライトで凝固し、凝固割れが発生していた最終凝固部は等軸デンドライトになることを確認している。その場観察結果に基づき、凝固割れと溶融池内部挙動と対応付けて考察しており、アルミニウム合金における凝固割れ挙動を明らかにしている。

第 7 章は、本論文の結論であり、本研究で得られた結果について総括しており、アルミニウム合金のレーザ溶接現象に関する新たな知見について言及している。

以上のように、本論文はアルミニウム合金のレーザ溶接現象に関し、熱輸送機構、合金元素の影響、溶接欠陥発生メカニズムについて明らかにしており、今後のアルミニウム合金のレーザ溶接に対する大きな貢献が期待される。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。