

Title	コールドスプレー皮膜を中間層として利用した高張力鋼とアルミニウム合金のレーザー接合に関する研究
Author(s)	前田, 恭兵
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/96057
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (前 田 恭 兵)

論文題名

コールドスプレー皮膜を中間層として利用した高張力鋼とアルミニウム合金の
レーザ接合に関する研究

論文内容の要旨

2050年カーボンニュートラル達成を狙った自動車の燃費、電費向上ニーズの高まりから、車体軽量化が推進されている。軽量化を達成する手段の一つとして、鋼やアルミニウムなどの材料を適材適所で配置するマルチマテリアル構造が広く普及しており、至近車体への適用が増加している高張力鋼とアルミニウム押出材の接合にはFlow Drill Screw (FDS) を用いるのが主流となっている。しかしながら、FDSは消耗品であるネジが高価であり、さらに接合速度が遅いことから、コスト面で課題を有する。消耗品がほとんどなく高速接合が可能なレーザ溶接は代替手法として期待されるが、鋼とアルミニウムのレーザ溶接（以下直接接合）では溶接金属-アルミニウム界面における金属間化合物（Intermetallic Compound, IMC）層の生成に起因して高い継手強度を得にくい。本研究では、自動車製造における既存のレーザ溶接技術であるキーホール型溶接を用いつつ、コールドスプレー（Cold-spray, CS）皮膜を中間層として利用する高張力鋼とアルミニウム合金の新たなレーザ接合技術を考案した。

第1章では本研究の背景および目的を述べた。高張力鋼とアルミニウム合金の直接接合では、FDSと比較して継手強度が低位であり、強度改善が必須であることを指摘した。直接接合において強度低下要因となるIMC層の生成を制御する手法は種々検討されているものの、実用化レベルに達している技術は現状見当たらず、新たな技術開発が必要であることを説明した。

第2章では、キーホール型溶接を用いつつ、IMC層の生成を制御する手法として、CS皮膜を中間層として利用したレーザ接合（以下開発法）を提案した。開発法では直接接合と比較して高い継手強度を得られる一方で、溶接時にポロシティが発生しやすく、それに起因して引張試験において溶接金属破断を生じる場合があることを明らかにし、ポロシティの低減が課題であることを述べた。また、開発法では溶接金属品質のみならず、皮膜特性も継手強度へ影響を及ぼすと想定され、継手強度と皮膜特性の関係を明らかにすることの必要性について言及した。

第3章では、開発法におけるポロシティの発生機構を実験的に明らかにした。リアルタイムX線透過撮影およびポロシティ中のガス分析をおこない、ポロシティの原因となる気泡がCS皮膜内より生じること、ポロシティ中のガスの多くは H_2 であることを示した。それら結果より、ポロシティは皮膜中に含まれるHのうち、熔融鋼中に固溶できなかったものが気泡となって移動し、その一部が凝固界面でトラップされることで生成すると結論付けた。

第4章では、ポロシティを低減可能な制御技術の開発に取り組んだ。走査速度の遅い条件およびアルミニウムまで溶込みが得られる条件においてポロシティが低減できることを示した。また、トレーサを用いた熔融池内のリアルタイムX線透過撮影をおこない、ポロシティを低減可能な条件ではキーホール後方における湯流れにより気泡が熔融池外部へ放出されることを明らかにした。さらに、走査速度の遅い条件では凝固速度が低下すること、アルミニウムへの溶込みが得られる条件ではキーホール後方における湯流れが高速化することを示し、これらにより気泡の排出が促進された可能性について言及した。

第5章では、開発法における皮膜の密着強度および厚さが継手強度へおよぼす影響について定量評価した。せん断密着強度が1 MPa増加するとせん断引張強度（以下TSS）は0.04 kN向上し、剥離密着強度が1 MPa増加すると十字引張強度（以下CTS）は0.03 kN向上することを明らかにした。また、皮膜厚さが1 mm増加すると、TSSは2.53 kN、CTSは2.26 kN向上することを明らかにした。皮膜のせん断、剥離密着強度がともに100 MPa前後と十分に高い場合、皮膜厚さが0.6 mm以上であれば直接接合と比較して高い継手強度を得られることを示した。今回検討した範囲では、皮膜厚さ2.0 mmにおいてTSSおよびCTSは最大値となり、それぞれ直接接合に対して2.3倍、5.8倍の値を得られることを示した。

第6章は結言であり、研究で得られた成果の総括を示した。本研究では開発法におけるポロシティの低減および継手強度と皮膜特性の関係の明確化に取り組んだ。その結果、ポロシティのほとんどない継手が作製可能な溶接条件を明らかにし、さらに皮膜特性を制御することで直接接合よりも大幅に高い継手強度が得られることを示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (前 田 恭 兵)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	塚本雅裕
	副 査	教授	赤松史光
	副 査	教授	高谷裕浩
	副 査	准教授	佐藤雄二

論文審査の結果の要旨

本論文は、コールドスプレー（Cold-spray, CS）皮膜を中間層として利用した高張力鋼とアルミニウム合金のレーザー接合における溶接金属中のポロシティ低減および皮膜設計指針の獲得を目的としている。

2050年カーボンニュートラル達成を狙った自動車の燃費、電費向上ニーズの高まりから、車体軽量化が推進されている。軽量化を達成する手段の一つとして、鋼やアルミニウムなどの材料を適材適所で配置するマルチマテリアル構造が広く普及しており、至近車体への適用が増加している高張力鋼とアルミニウム押出材の接合には Flow Drill Screw (FDS) を用いるのが主流となっている。しかしながら、FDS は消耗品であるネジが高価であり、さらに接合速度が遅いことから、コスト面で課題を有する。消耗品がほとんどなく高速接合が可能なレーザー溶接は代替手法として期待されるが、鋼とアルミニウムのレーザー溶接（以下直接接合）では溶接金属-アルミニウム界面における金属間化合物（Intermetallic Compound, IMC）層の生成に起因して高い継手強度を得にくい。本研究では、自動車製造における既存のレーザー溶接技術であるキーホール型溶接を用いつつ、CS 皮膜を中間層として利用する高張力鋼とアルミニウム合金の新たなレーザー接合技術を考案している。

第1章では本研究の背景および目的を述べている。高張力鋼とアルミニウム合金の直接接合では、FDS と比較して継手強度が低位であり、強度改善が必須であることを指摘している。直接接合において強度低下要因となる IMC 層の生成を制御する手法は種々検討されているものの、実用化レベルに達している技術は現状見当たらず、新たな技術開発が必要であることを説明している。

第2章では、キーホール型溶接を用いつつ、IMC 層の生成を制御する手法として、CS 皮膜を中間層として利用したレーザー接合（以下開発法）を提案している。開発法では直接接合と比較して高い継手強度を得られる一方で、溶接時にポロシティが発生しやすく、それに起因して引張試験において溶接金属破断を生じる場合があることを明らかにし、ポロシティの低減が課題であることを述べている。また、開発法では溶接金属品質のみならず、皮膜特性も継手強度へ影響を及ぼすと想定され、継手強度と皮膜特性の関係を明らかにすることの必要性について言及している。

第3章では、開発法におけるポロシティの発生機構を実験的に明らかにしている。リアルタイム X 線透過撮影およびポロシティ中のガス分析をおこない、ポロシティの原因となる気泡が CS 皮膜内より生じること、ポロシティ中のガスの多くは H₂ であることを示している。それら結果より、ポロシティは皮膜中に含まれる H のうち、溶融鋼中に固溶できなかったものが気泡となって移動し、その一部が凝固界面でトラップされることで生成すると結論付けている。

第4章では、ポロシティを低減可能な制御技術の開発に取り組んでいる。走査速度の遅い条件およびアルミニウムまで溶込みが得られる条件においてポロシティが低減できることを示している。また、トレーサを用いた溶融池内のリアルタイム X 線透過撮影をおこない、ポロシティを低減可能な条件ではキーホール後方における湯流れにより気泡が溶融池外部へ放出されることを明らかにしている。さらに、走査速度の遅い条件では凝固速度が低下するこ

と、アルミニウムへの溶込みが得られる条件ではキーホール後方における湯流れが高速化することを示し、これらにより気泡の排出が促進された可能性について言及している。

第 5 章では、開発法における皮膜の密着強度および厚さが継手強度へおよぼす影響について定量評価している。せん断密着強度が 1 MPa 増加するとせん断引張強度（以下 TSS）は 0.04 kN 向上し、剥離密着強度が 1 MPa 増加すると十字引張強度（以下 CTS）は 0.03 kN 向上することを明らかにしている。また、皮膜厚さが 1 mm 増加すると、TSS は 2.53 kN、CTS は 2.26 kN 向上することを明らかにしている。皮膜のせん断、剥離密着強度がともに 100 MPa 前後と十分に高い場合、皮膜厚さが 0.6 mm 以上であれば直接接合と比較して高い継手強度を得られることを示している。今回検討した範囲では、皮膜厚さ 2.0 mm において TSS および CTS は最大値となり、それぞれ直接接合に対して 2.3 倍、5.8 倍の値を得られることを示している。

第 6 章は結言であり、研究で得られた成果の総括を示している。本研究では開発法におけるポロシティの低減および継手強度と皮膜特性の関係の明確化に取り組んでいる。その結果、ポロシティのほとんどない継手が作製可能な溶接条件を明らかにし、さらに皮膜特性を制御することで直接接合よりも大幅に高い継手強度が得られることを示している。

以上のように、本論文は、開発法においてポロシティを低減可能な制御技術ならびに継手強度へおよぼす皮膜特性の影響を明らかにするとともに、開発法により直接接合と比較して大幅に強度の高い継手を得られることを示しており、今後の自動車製造における高張力鋼とアルミニウム合金の接合だけでなく、産業界における種々の異種金属接合の品質向上に対し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。