



Title	炭酸ガスアーク溶接における周期的Ar添加によるアーク雰囲気ガス組成変化を用いた溶滴移行制御に関する研究
Author(s)	藤原, 康平
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105449
rights	
Note	

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 (藤 原 康 平)

論文題名	炭酸ガスアーク溶接における周期的Ar添加によるアーク雰囲気ガス組成変化を用いた溶滴移行制御に関する研究
論文内容の要旨 本研究は、ガスメタルアーク溶接（GMAW）において、溶接中にアーク雰囲気ガス組成を高速度で動的に変化させることでアーク溶接現象および溶滴移行現象を制御する「パルスガスマグ溶接法」という新たな低スパッタ溶接技術を開発し、その物理現象を解明することを目的とした。 第1章「緒論」では、生産プロセス分野の社会的背景と溶接・接合技術の重要性を概説した。GMAWの概要と溶滴移行現象、既存の制御技術を整理し、低スパッタ・低ガスコスト・低設備コストをコンセプトとした新たな溶接法の重要性を見出し、パルスガスマグ溶接の開発研究方針を提示した。 第2章「周期的Ar添加による炭酸ガスアーク溶接の溶滴移行制御」では、本溶接法の基本的な物理現象とアーク雰囲気変化が溶滴移行に及ぼす影響を考察した。ガス可視化によりAr流の挙動とCO₂流のくびれ状形成を明らかにし、高速度カメラ観察からCO₂主体の緊縮型アークからAr主体のフレア型アークへの急変が溶滴離脱を促すメカニズムを考察した。電流電圧波形からは、電位傾度変化による電磁ピンチ力の急増が溶滴離脱を促進する可能性が示唆された。 第3章「Ar添加条件と溶滴移行が同期する範囲の検討」では、Ar添加条件を変化させ、溶滴移行制御が可能な条件範囲を調査した。溶接電流280 A固定の条件下では、電磁弁開時間4 ms以上、1パルス毎のAr体積1 mL以上でAr添加に溶滴移行が概ね同期することが判明した。溶滴移行の同期には、溶滴離脱までの動作時間と同等かそれ以上に長くフレア型アークを保持する必要があると考えられた。また、電流およびワイヤ径が変化する条件下においては、電流密度と溶滴体積で溶滴移行形態が統一的に整理でき、広い電流密度範囲において最低約4 mm³程度の溶滴体積が必要であることを明らかにした。ワイヤ径や溶接電流が異なる条件でも、Ar添加条件を適正化することで1パルス1ドロップの制御された溶滴移行を実現できることを示した。 第4章「溶滴離脱の支配因子に関する検討とメカニズムの解明」では、電流変化とアーク形状変化のどちらが溶滴離脱に支配的かを実験的に調査し、その物理現象を考察した。定電圧特性パルス電源を用いた検討では電流上昇のみでは規則的な溶滴離脱に至らず、定電流特性電源を用いた検討ではアーク雰囲気変化のみで規則的な溶滴離脱が得られたことから、本実験条件においては電流変化よりもアーク形状変化の方が溶滴離脱に支配的な因子であることが示された。分光観察により、Arによるアーク外縁部への電流経路の変化が、溶滴に働くアーク力の急激な低下を引き起こし、電磁ピンチ力が溶滴離脱に有効に作用し、溶滴の離脱を促しているメカニズムを解明した。 第5章「パルスガスマグ溶接の効果と実用化に向けた検討」では、パルスガスマグ溶接の様々な効果を実用的な観点から調査・評価した。本溶接法は、炭酸ガスアーク溶接と比較してヒューム量とスパッタ量を大幅に低減し、Ar使用量も混合ガスマグ溶接の1/5以下に抑えられることを示した。溶込み形状は良好で融合不良が生じにくく、溶接金属の機械的性質はJIS規格を満足した。Ar使用量低減によるガスコスト低減効果は大きく、既存設備との連携を考慮すれば多大なニーズがあることが示された。 本研究は、製造業の喫緊の課題解決に向け、GMAWにおける低スパッタ溶接技術の開発と物理現象の解明を目指し、アーク雰囲気ガス組成を動的に変化させる「パルスガスマグ溶接法」を考案した。学術的には、非定常なガス組成変化下での溶滴移行現象に深く焦点を当て、多角的な実験を通じて、アーク形状変化が溶滴離脱に支配的な因子であるという根源的なメカニズムを詳細に解明した。この解明は、従来のGMAWにおける溶滴移行現象の理解を深化させ、アーク雰囲気の動的制御が溶滴離脱に及ぼす影響に関する新たな知見を溶接物理学にもたらした。工学的側面では、本溶接法がスパッタの大幅な低減、高価なArガス使用量の抑制によるガスコスト低減、良好な溶込み形状、JIS規格を満足する機械的性質、そして溶接作業からの高い評価を達成することを示した。これらの成果は、特に日本の産業を支える中小企業や自動化が困難な現場においても導入しやすい革新的な低スパッタ溶接プロセスとして確立される可能性を提示した。本研究で得られた知見は、生産性向上とコスト削減に貢献し、次世代の溶接技術開発を推進するとともに、持続可能な社会の実現に向けた製造業の発展に寄与するものと期待される。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (藤 原 康 平)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	准教授	荻野 陽輔
	副 査	教授	佐野 智一
	副 査	教授	神原 淳
	副 査	教授	田中 学

論文審査の結果の要旨

本研究は、ガスメタルアーク溶接（GMAW）において、溶接中にアーク雰囲気ガス組成を高速度で動的に変化させることでアーク溶接現象および溶滴移行現象を制御する「パルスガスマグ溶接法」という新たな低スパッタ溶接技術を開発し、その物理現象を解明することを目的としている。

第 1 章「緒論」では、生産プロセス分野の社会的背景と溶接・接合技術の重要性を概説している。GMAW の概要と溶滴移行現象、既存の制御技術を整理し、低スパッタ・低ガスコスト・低設備コストをコンセプトとした新たな溶接法の重要性を見出し、パルスガスマグ溶接の開発研究方針および研究目的を提示している。

第 2 章「周期的 Ar 添加による炭酸ガスアーク溶接の溶滴移行制御」では、本溶接法の基本的な物理現象とアーク雰囲気変化が溶滴移行に及ぼす影響を考察している。ガス流可視化により Ar 流の挙動と CO₂ 流のくびれ形成を明らかにし、高速度カメラ観察により CO₂ 主体の緊縮型アークから Ar 主体のフレア型アークへの急変が溶滴離脱を促進するメカニズムについて考察している。また、電流電圧波形よりガス組成に依存した電位傾度変化による電磁ピンチ力の急増が溶滴離脱を促進する可能性を示唆している。

第 3 章「Ar 添加条件と溶滴移行が同期する範囲の検討」では、Ar 添加条件を変化させ、溶滴移行制御が可能な条件範囲について明らかにしている。溶接電流 280 A 固定の条件下では、電磁弁開時間 4 ms 以上、1 パルス毎の Ar 体積 1 mL 以上で Ar 添加に溶滴移行が概ね同期することを示している。溶滴移行の同期には、溶滴離脱までの動作時間と同等かそれ以上に長くフレア型アークを保持する必要があると考察している。また、電流およびワイヤ径が変化する条件下においては、電流密度と溶滴体積で溶滴移行形態が統一的に整理でき、広い電流密度範囲において約 4 mm³ 程度の溶滴体積が必要であることを明らかにしている。ワイヤ径や溶接電流が異なる条件でも、Ar 添加条件を適正化することで 1 パルス 1 ドロップの制御された溶滴移行を実現できることを示している。

第 4 章「溶滴離脱の支配因子に関する検討とメカニズムの解明」では、電流変化とアーク形状変化のどちらが溶滴離脱に支配的かを実験的に検討し、その物理現象について考察している。定電圧特性パルス電源を用いた検討では電流上昇のみでは規則的な溶滴離脱に至らず、定電流特性電源を用いた検討ではアーク雰囲気変化のみで規則的な溶滴離脱が得られたことから、本実験条件においては電流変化よりもアーク形状変化の方が溶滴離脱に支配的な因子であることを明らかにしている。そのメカニズムを明らかにするために分光観察を実施し、Ar 添加によりアーク外縁部へと電流経路の変化が生じ、溶滴に働くアーク力の急激な低下とともに電磁ピンチ力が溶滴離脱に有効に作用するためである結論付けている。

第 5 章「パルスガスマグ溶接の効果と実用化に向けた検討」では、パルスガスマグ溶接の様々な効果を実用的な観点から評価している。本溶接法は、炭酸ガスアーク溶接と比較してヒューム量とスパッタ量を大幅に低減し、Ar 使用量

も混合ガスマグ溶接の 1/5 以下に抑えられることを示している。溶込み形状は良好で融合不良が生じにくく、溶接金属の機械的性質は JIS 規格を満足していることを示している。Ar 使用量低減によるガスコスト低減効果は大きく、既存設備との連携を考慮すれば多大なニーズがあることを示している。

第 6 章「結論」では、本研究にて得られた知見を総括している。

以上のように本論文は、アーク雰囲気ガス組成を動的に変化させる「パルスガスマグ溶接法」における非定常なガス組成変化下での溶滴移行現象のメカニズムを明らかにし、GMAW における溶滴移行現象の理解を深化させ、その工学的応用の拡大に貢献している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。