

突き合わせ継手における外部磁場の影響に関する研究

棚原靖、羽地龍志、松本幸礼

電気圧接法は、突き合わせた2本の異形鉄筋に直接通電した状態で上側に配置した異形鉄筋を上昇させることによって端面間に発生するアークを接合の熱源として利用することを特徴とする接手法である。アークの発生やその持続が接合の良否を左右するため、端面形状やギャップ等の諸溶接条件に関する実験を重ねてきた。一方、溶融池磁気制御アーク溶接法は、溶接時の溶融金属に対して外部から磁場を付与してアークの挙動や溶融・凝固する金属の形状や組織の制御を試みるのが特徴的な方法である。

本研究は、電気圧接時に発生するアークや溶融金属部に対し、外部から磁場を付与することによって、継手強度に対する改善を試みた。その結果、アークの周回時間や持続時間の向上に一定の効果が得られた。

1 はじめに

沖縄県内の建設現場で広く行われている鉄筋の接合では、従来のガス圧接に替わる接合法として、手溶接用の溶接電源を使用した電気圧接による実験も行われている。高電流源を用いたアップセット圧接とは異なり、手溶接用の溶接電源は溶接電流が少ないことから、抵抗発熱が期待できないため、アークを発生させて溶融接合する必要がある。しかしながら、アークの発生とその維持が不安定であり、改良について模索中である。

本研究は、電気圧接法に溶融池磁気制御アーク溶接法（以下、ECMP法）を適用するもので、アークや溶融金属部に対して、外部から磁場を付与することによって、継手強度の改善効果を検討した。

2 実験方法

2-1 電気圧接におけるECMP法の適応

本研究では、通電時のアークの発生を促し、安定的に持続させるための手法を確立することを目的としている。図1にECMP法の概念を示す。試験片の接合方向に対して垂直（X軸）方向に外部磁場を付与すると、試験片に流れる電流（Z軸）に呼応して、フレミングの左手の法則に従い、磁場の方向と垂直（Y軸）な電磁力が発生する。この電磁力によってアークが偏向する磁気吹き現象が起きるが、交流電流または交流磁場を与えることによって電磁力の方向が周期的に変化し、アークが強制的に偏向されることから、結果的にアークの発生を継続できる可能性がある。

実験に用いた磁化コイルは図2に示すように、コの字型の軟鋼性ヨークにφ20mmの鉄心を2本取り付け、その周りに耐熱被覆銅線を各々160回巻きつけている。試験片の接合部を配置する部分には、試験片外径全体に磁場を発生できるような形状の磁極先端を取り付けている。磁極先端の間隔は40mmで固定し、試験片は接合部が磁

極先端の中央部になるように配置して実験を行った。

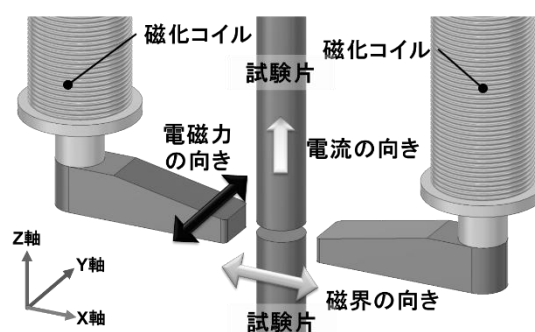


図1 ECMP法による電気圧接の概念図

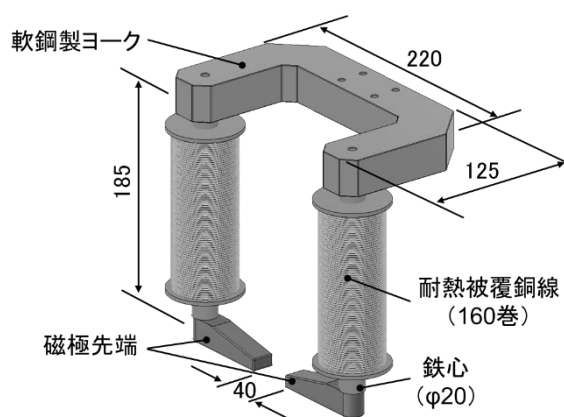


図2 磁化コイルの詳細図

試験片には直径20mmの炭素鋼（SS400）を用いた。また、アークの観察には、高速度ビデオカメラ（FANTOM V311(株)ノビテック）を使用し、フレームレート1,200[fps]で撮影した。

なお、アークの点弧は一度上下の試験片を接触させ短絡させた後に、アークが発生・持続する距離まで上側試験片を移動させた。

2-3 交流磁場による検討

図3に実験装置の概略図を示す。磁化コイルには、安定化電源とファンクションジェネレーターを接続しており、任意の波形の磁場を発生することが可能である。

表1に実験条件を示す。溶接電源には、直流溶接機を使用し、溶接電流を250Aとした。磁束密度は、磁場の効果の有無を確認するため20mTに固定した。また、ファンクションジェネレーターによりデューティー比50%および周波数60Hzの矩形波の電流を与えることで、交流磁場を発生させた。

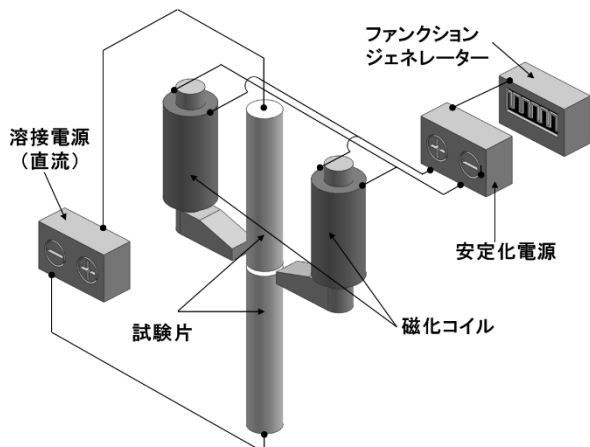


図3 実験装置の概略図

表1 実験条件

溶接電流 (直流) [A]	250
磁束密度 [mT]	20
周波数 [Hz]	0, 60

2-4 AVC装置による検討

図4にアーク・ボルテージ・コントローラー（以下、AVC装置）を組み合わせた実験装置の概略を示す。AVC装置は、設定基準電圧とアーク電圧の実測値とを比較し、アーク長を一定に保つ機能を有している。そのため、溶融金属が短絡してアークが消弧した場合には、電圧の変化に伴い間隔を広げるように稼働することから、アークが再点弧すると期待できる。

表2に、実験条件を示す。溶接電源には、交流溶接機を使用し、溶接電流250Aおよび300Aで行った。また、磁束密度の影響を調べるため、0mT、9.1mT、18.7mTで行った。なお、AVC装置の基準電圧は、予備試験の結果より12Vで固定して行うこととした。

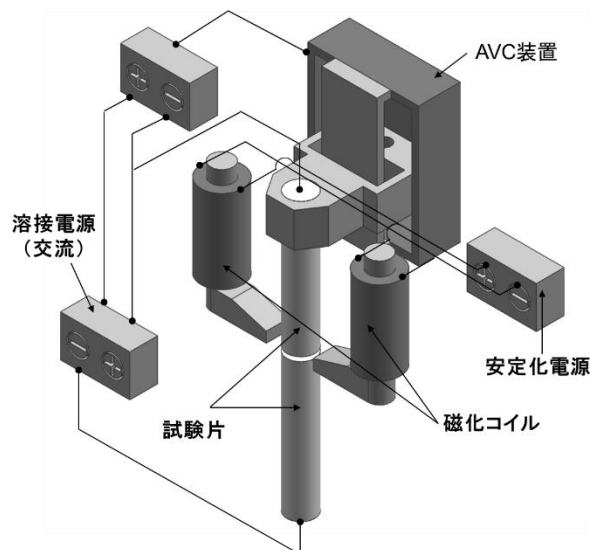


図4 実験装置の概略図 (AVC装置)

表2 実験条件

溶接電流 (交流) [A]	250, 300
磁束密度 [mT]	0, 9.1, 18.7
交流周波数 [Hz]	60
AVC基準電圧 [V]	12

2-5 炭酸ガスシールドによる検討

電気圧接法では接合部を円筒容器で覆い、その中にフラックスを充填しているが、スラグの飛散や接合終了後のフラックスの回収の必要性などの課題がある。そこで、本実験では、フラックスの代わりに酸素（大気）の影響を小さくすることを目的に炭酸ガスで接合部をシールドする方法を試みた。

図5に装置の概略を示す。炭酸ガスはアークの発生状況や溶融金属の挙動など接合状態を観察しやすくするため、石英ガラス管で覆い、円筒上部から炭酸ガス封入する構造とした。

表3に実験条件を示す。溶接電源には、直流溶接機を使用し、AVC装置を用いた実験と比較するため溶接電流、磁束密度、AVC装置の基準電圧などの条件は同一とした。

また、炭酸ガスの流量は、溶接電流250Aで行われる炭酸ガスアーク溶接時の標準的な流量を参考に20L/minとした。

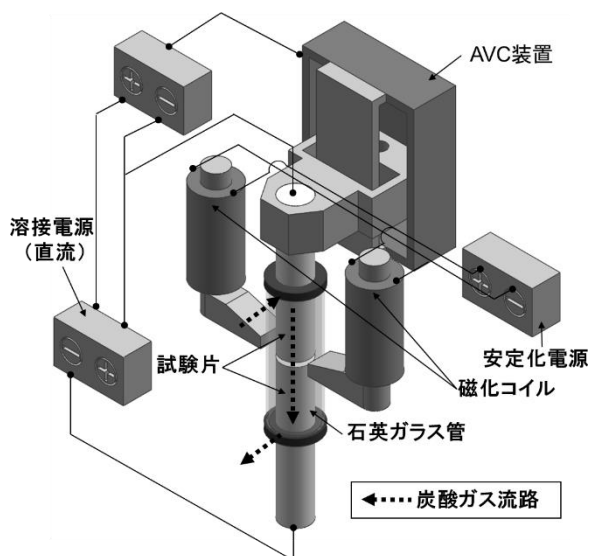


図5 実験装置の概略図(炭酸ガス)

表3 実験条件

溶接電流[A]	250, 300
磁束密度[mT]	0, 9.1, 18.7
AVC基準電圧[V]	12
炭酸ガス流量[L/min]	20

3 実験結果および考察

3-1 交流磁場による検討

磁場を付与しない場合のアーカ発生時の静止面を図6示す。アーカは下側の試験片側から、溶融金属の周りを周回するように発生していた。また、不定期ではあるが、短絡による消弧と発生を繰り返す様子が確認された。

図7に磁場を付与しない場合と磁場を付与した場合のアーカが溶融金属を周回する様子を示す。写真の数は、アーカが1周するまでのフレーム数である。

図7 a)の磁場を付与しない場合、アーカが溶融金属を周回する時間は約4.2msであったが、図7 b)の磁場を付与した場合は約2.5msと約40%短縮していることから、磁場の影響によってアーカの挙動が顕著になり、磁場付与の条件によってはアーカの発生効率を向上させる可能性があるものと思われる。

図8に実験終了後の突合せ面の溶融状況を示す。上下とも中央部分が溶融されているが、下側は上側に比べて、溶け方がより中央寄りになっている。このことは、下側の試験片中央部を起点として発生したアーカが上側の試験片に向かって周回することによる違いであると考えられる。

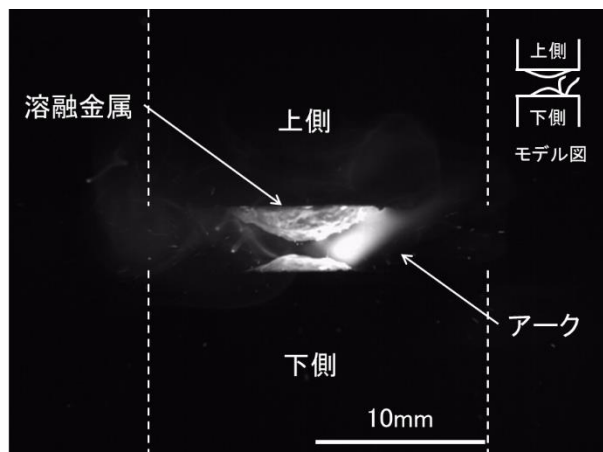
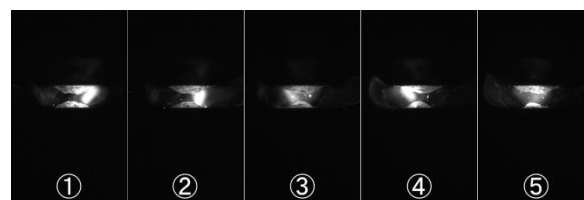
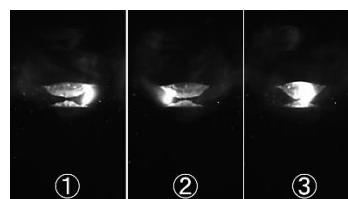


図6 アークの発生状況(磁場なし)



a) 磁場なし



b) 磁場あり(磁束密度20mT, 60Hz)

図7 アークの周回状況(1周のフレーム数)

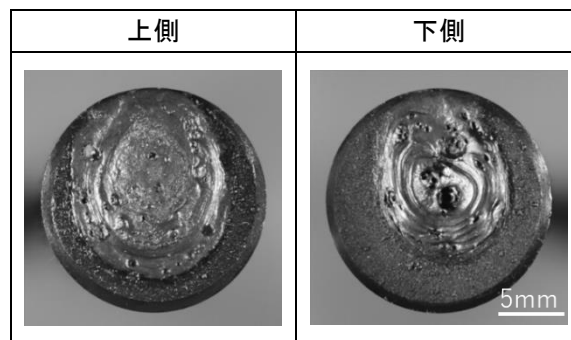


図8 突合せ面の溶融状況
(磁束密度20[mT], 60[Hz])

3-2 AVC装置による検討

図9に溶接電流300A、磁束密度18.7mT、AVC装置の基準電圧10Vにおけるアーカ発生時の静止面を示す。アーカの点弧から溶融金属の短絡に伴う消弧、ならびにアーカの再点弧までの一連の流れを示している。

図9 b)よりアーカ消弧後、溶融金属の短絡に伴う電圧の変化に応じて接合部の間隔が広がることで、図9 c)のように短絡箇所が徐々に減少し、短絡箇所が消失すると

再度、アークが点弧した(図9d)。短絡時間は、長いときで約200ms程度継続し、アークが周回する時間よりも長く消弧しているにもかかわらず、再点弧したことからAVC装置が効果的に作用していると推察される。また、試験片突合せ面の外周を回るようにアークが発生しており、その周回時間は磁場を付与しない場合と比較して短縮していることも観察された。

図10に実験終了後の突合せ面の溶融状況を示す。溶接電流250Aにおける溶融状況を磁場の有無で比較すると、図10a)の磁場を付与しない場合は、局所的に大きく溶融された箇所があるのに対し、図10b)に示す9.7mTの磁場を付与した場合には、大きく溶融した箇所はないものの試験片突合せ面全域にわたって溶融しているのが確認できる。図10c)に示す18.7mTの磁場を与えた場合も同様に全域にわたって溶融していることが確認されたが、磁場の強度の差はほとんど見られなかった。

図11に示す溶接電流300Aにおける結果では、溶接電流の増加によって溶融箇所が拡大しているものの、磁場の有無による溶融状況の傾向は同様であったことから、AVC装置と磁場を併用することで、アークの発生時間を持続させ、溶融箇所を全域にわたって拡大させる効果が期待できることが分かった。

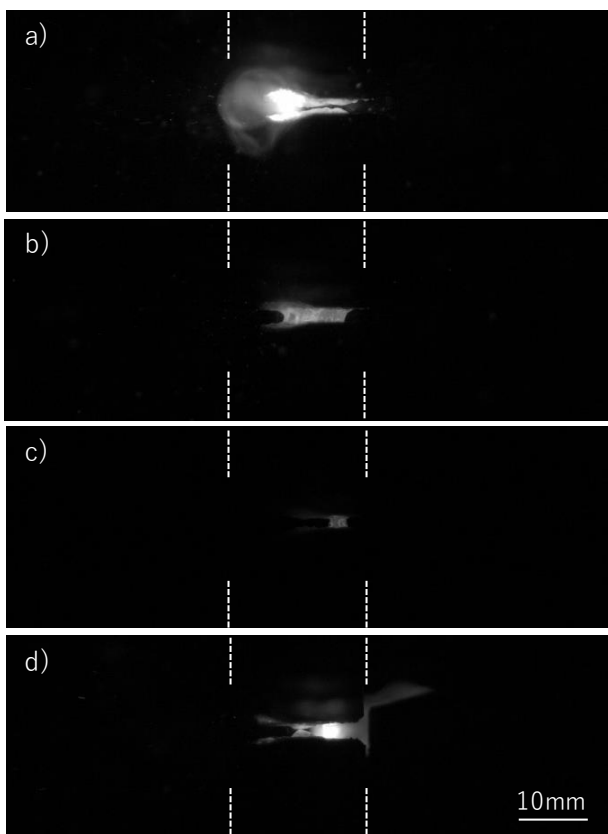


図9 アークの発生状況 (300A, 18.7mT)

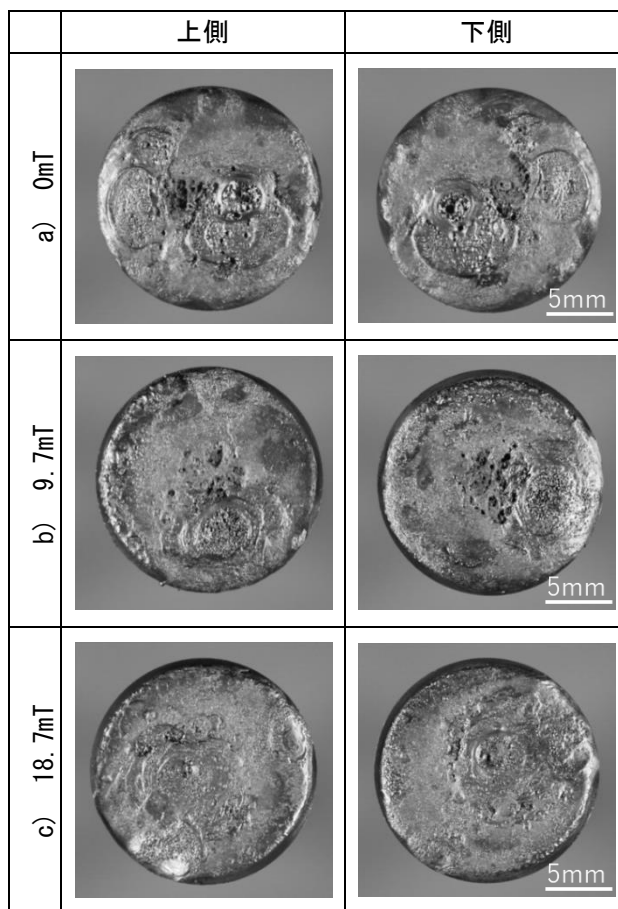


図10 突合せ面の溶融状況 (溶接電流250A)

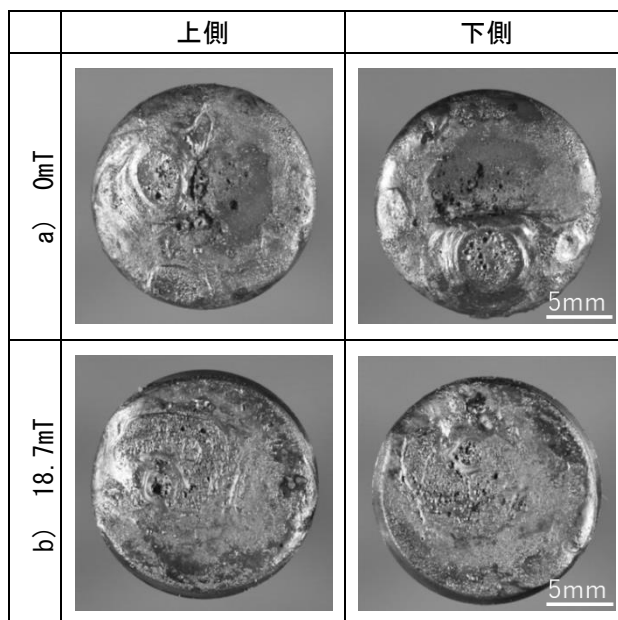


図11 突合せ面の溶融状況 (溶接電流300A)

3-3 炭酸ガスシールドによる検討

図12にアークの発生時の静止面を示す。図12a)では突合せ面外周を周回するようにアークが発生するのに対し、図12b)では、アークの発生が突合せ面中央寄りとなって

いた。図12c)においては、その傾向はさらに強くなると同時に溶融金属も増えることから、アークは、より内側を周回するように発生した。また、アークの持続については、シールドガスの有無による差は見られず、むしろ、溶接電流300Aにおいては、溶融金属が中央部に集中し、早期に短絡を起こすことから、AVC装置による持続効果も得られなかった。

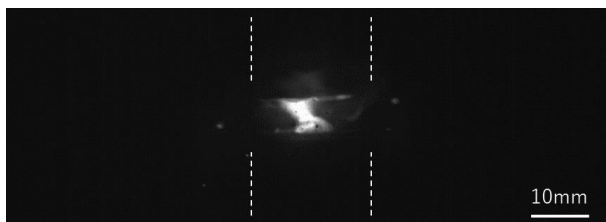
図13には実験終了後の突合せ面の溶融状況を示す。図13a)に示す溶接電流250A、磁束密度9.1mTの溶融状態は、比較的面全体に及んでいるのに対し、図13b)に示す溶接電流300A、磁束密度9.1mTの溶融状態は、中央部に集中し、溶込みも深い。一方、図13c)に示す磁束密度18.7mTと比較した場合には、顕著な差は見られなかった。これらのことから、本実験条件においては、炭酸ガスシールドがアークの維持よりも熱的ピンチ効果¹⁾のような働きが大きいものと考えられる。



a) 250A, ガスシールドなし, 0mT



b) 250A, ガスシールド有, 9.1mT



c) 300A, ガスシールド有, 9.1mT

図12 アークの発生状況

4 まとめ

本研究では、鉄筋の電気圧接時において、アークの発生時間の持続と溶融箇所の拡大を目的に、磁場およびAVC装置に加え、炭酸ガスによるシールドの効果を検証したが、以下の結論を得た。

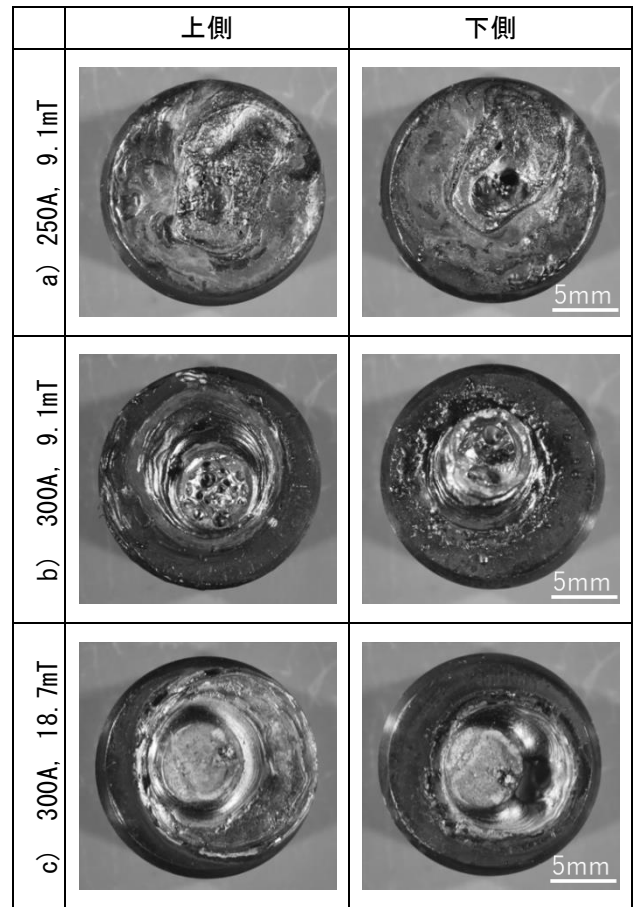


図13 突合せ面の溶融状況

- ・ 交流磁場を付与することでアークの周回速度が増加したことから、磁場の条件によってはアークの発生効率を向上させる可能性があることが示された。

- ・ AVC装置と磁場を併用することでアークの発生時間の持続と溶融箇所の拡大が図れたことから、電源容量の小さい溶接機でも接合が行える可能性があることが分かった。

- ・ 炭酸ガスによるシールドの効果を検証したところ、アークの維持よりも熱的ピンチ効果と思われる働きが大きく、結果的にアークは突合せ面中央部に集中する結果となった。

電気圧接時に、ECMP法とAVC装置を適用することで、アークの周回速度の向上や持続に一定の効果見られたことから、今後は実用化に向けて、これらの条件の詳細な検討を行う予定である。

本研究は「突き合わせ継手における外部磁場の影響に関する研究 (2017技006)」として実施したものである。

謝辞

本研究を実施するにあたり、大阪大学接合科学研究所田中学所長ならびに琉球大学工学部機械工学コース松田昇一准教授より多大なるご協力とご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1)田中学, 田代真一, :”溶接アークの熱的ピンチ効果に関する一考察”, 溶接学会論文集, Vol.25(2007), No.2, 336-342

Effects of external magnetic field on butt joints

Yasushi TANAHARA, Tatsushi HANEJI, Yukinori MATSUMOTO

Okinawa Industrial Technology Center

Electric pressure welding is a joining method characterized by the use of an arc, which is generated between the end faces by elevating deformed reinforcing bars placed on the upper side with two butted deformed reinforcing bars directly energized, as a heat source for joining. As the generation and duration of the arc determine the quality of welding, we investigated welding conditions such as end-face shape and gaps. Electromagnetic Controlled Molten Pool Welding Process is characterized by applying a magnetic field from the outside to molten metal parts during welding to control the behaviors of the arc, and the shape and structure of molten and solidified metal.

In the present study, we attempted to improve the joint strength by applying a magnetic field from the outside to the arc, generated during electrical pressure welding, and molten metal parts. As a result, the circulation time and duration of the arc were slightly improved.

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。