



Title	Penetration Shape Change in Workpiece-vibration Assisted Tandem-pulsed Gas Metal Arc Welding
Author(s)	Hamed Zargari, Habib
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/77629
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (HAMED ZARGARI HABIB)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	伊藤 和博
	副 査	教授	才田 一幸
	副 査	教授	田中 学
	副 査	准教授	三上 欣希
論文審査の結果の要旨			
<p>本研究では、タンデムパルスガスマタルアーク溶接(TP-GMAW)で形成される溶接金属(WM)や熱影響部(HAZ)の組織を、母材を振動させることにより改善することを目的としている。付随的に、溶接金属溶込みがフィンガー形状となる TP-GMAW で、母材を溶接方向に正弦波振動させることで鍋底形状に変化させることができることを発見している。そこで、溶接ワイヤ電流速度を一定にして、溶接溶込み形状と振動条件(周波数など)、振動モード、ワイヤの数・溶接速度(溶融池容量の変化)、タンデムワイヤの配置と振動方向などとの関係を実験的に明らかにし、特に、最も鍋底形状に近くなる母材の正弦波振動条件の有無でのシングルワイヤGMAWとTP-GMAWに関して数値シミュレーションを行い、物質と熱の移動が母材の正弦波振動によりどのような影響を受けるかを調べており、総括を以下に記す。</p> <p>TP-GMAW 施工時に、母材の正弦波振動条件である周波数(F)、加速度(G)、溶接終了後振動を持続する時間(T)などを変化させ、溶接溶込み形状、WM下に広がる HAZ の分布状況、WMとHAZ微細組織変化などを調べている。その結果、1. 特定の F において鍋底形状への変化が強調され、GやTの変化には敏感ではなかったこと。2. WM下のHAZの分布がフィンガー形状では不均一であったのが、母材の正弦波振動存在下では鍋底形状になり、そのことで均一なHAZ分布が得られたこと。3. WMとHAZ微細組織は母材正弦波振動の有無に関係なく、WMはδ相の粒界と思われる場所に粒界フェライトが、その粒界フェライトに囲まれた中にアシキュラーフェライトから成る微細組織が観察されること。4. HAZでは、WMに近い部分から粗粒域、混粒域、細粒域、球状パーライト域、母材と変化し、粗粒域は硬化部、細粒域と球状パーライト域は軟化部となり、溶込み形状に従ったHAZ厚さが異なる部分でもWM側から同様の並びとなり、特にフィンガー形状のくぼみ部での厚い硬化部が、鍋底形状へ変化することで薄くなり、軟化部の厚みも薄くなる傾向があったことを報告している。</p> <p>特定 F において鍋底形状への変化が強調される現象に関して、シングルワイヤにて、タンデムワイヤと同様の入熱量になるように溶接速度を設定し、また、溶接速度を速くして溶融池量を減少させた時の特定 F の変化を調べている。その結果、溶融池量が多いタンデムワイヤに最小の特定 F となり、シングルワイヤにおいて溶融池量を減少させるに従い特定 F が増加する傾向が得られ、この現象が液体-液体か液体-固体間の共振現象に支配されていることを示唆している。振動モードをランダム(種々の正弦波の合成)やショック(パルス状)に変化させると、溶込み形状の変化が観察されず、一定程度以上の持続的な変位を与え続けることが重要であり、共振現象が関与する傍証と考えている。</p> <p>タンデムワイヤの配置と振動方向などとの関係を調べた結果では、タンデムワイヤの配置と振動方向に関わらず、母材正弦波振動が溶込み形状に及ぼす影響を観察している。一方で、母材正弦波振動と溶接方向が同じ、シングルよりタンデムワイヤ(溶融池量が多い)での溶接において、鍋底形状の溶込みが強調されることを明らかにしている。</p> <p>これら現象を理解するために、ABAQUSを用いたFEM(有限要素法)解析と、市販FLOW-3Dに独自のサブルーチンによりTP-GMAW現象を組み込んだFDM(差分法)解析により、溶融池中の物質の熱の流れを再現し、母材正弦波振動の影響を解析している。特に、FLOW-3Dを用いたFDM解析によるTP-GMAW再現シミュレーションでは、母材、ワイヤ中の硫黄成分による溶融池表面の表面張力およびその微分成分の温度依存性が、溶融池中のマランゴニ対流に影響を及ぼし、溶込み形状に変化を与えることを見出している。母材正弦波振動の物理的な影響より、間接的に入熱量の減少(実験的確認)をもたらし、マランゴニ対流を変化させたことで、溶込み形状の変化につながったことを明らかにしている。</p> <p>以上のように、本論文は新奇な現象の発見と種々の要因との関係を実験的に明らかにし、更に数値シミュレーションにより、その発現機構を示唆しており、生産科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。</p>			

Abstract of Thesis

Name (HAMED ZARGARI HABIB)

Title

Penetration Shape Change in Workpiece-vibration Assisted Tandem-pulsed Gas Metal Arc Welding
 被溶接体振動により支援されたタンデムパルスガスメタルアーク溶接における溶け込み
 形状変化

Abstract of Thesis

Tandem-pulsed gas metal arc welding (TP-GMAW) is one of the welding techniques with application in heavy and automotive industries due to higher productivity and deposition rate in comparison to conventional single wire cases. However, the weld profile in tandem mode exhibited finger-shape penetration, even though shielding gas included 20% of CO₂. On the other hand, the workpiece vibration is one of the techniques to control the microstructure of the weld metal and heat affected zone (HAZ), such as decreasing the number of blowholes, refining grain size, and HAZ morphology modification.

Incidentally, it was found that a specific vibration mode changed the finger-shape into pan-bottom penetration in the tandem-wire welds, despite the input energy of workpiece vibration was smaller than the arc welding. To understand the mechanism, the microstructure observation and EPMA elemental analysis of the tandem-wire welded specimens were performed in different kinds of vibration modes. The Si elemental mapping of the weld metal indicated that filler droplets including more Si than the base metal were sheared and distributed uniformly in the weld pool assisted by sine-mode of vibration.

As the complex condition of GMA welding, there is a high potential for using the numerical model to isolate and investigate the importance of each parameter during the process. Among all available numerical solutions, two different schemes adopted to this study: finite element method (FEM) and finite difference method (FDM). The coupled Eulerian Lagrangian (CEL) technique based on FEM was used for analyzing the velocity change inside the weld pool by applying the vibration. The simulation suggests that the increase in the fluid flow velocity along the welding direction at a specific frequency of workpiece vibration led to bringing the high-temperature material to the position where the final penetration shape was determined. Consequently, the penetration bottom would be widened and the middle of the fusion line would be deepened, leading to penetration shape change to relatively pan-bottom shape.

To investigate the heat transfer and material flow in the presence of vibration the other scheme, FDM was used by governing equations of mass, momentum, and energy conservation in a three-dimensional model of the tandem-pulsed GMAW. Decreasing the mesh size to 0.15 um with consideration of the temperature-dependent Marangoni force and supporting the volume of fluid (VOF) technique led to reproducing the profile and the molten material flow in agreement with OM images at different conditions of welding. It was found during the operation of pulsed welding the heat followed a very stable pattern although the fluid streams constantly changed at the rear region of the weld pool which is responsible for final geometry of penetration. It was suggested the Sulfur concentration at the free surface improves the penetration depth by reducing the negative gradient of surface tension in Fe-C alloys. Applying the vibration decrease the heat input by affecting the free surface behavior and the synergic machine suggested that playing an important role in the penetration shape change, although the molten material flow was caused by the balance of all related forces in the welding.