



Title	Digital Twin of Coaxial One-side Resistance Spot Welding for Aluminum-CFRP Dissimilar Materials
Author(s)	任, 森棟
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/85404
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、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">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

Abstract of Thesis

Name (R E N S E N D O N G)	
Title	Digital Twin of Coaxial One-side Resistance Spot Welding for Aluminum-CFRP Dissimilar Materials (同芯電極を用いたアルミニウムとCFRPの片側抵抗スポット溶接のデジタルツイン)
Abstract of Thesis Carbon fibre reinforced plastic (CFRP) is a kind of new generation lightweight structural material. The hybrid structure of metal and CFRP has great potentiality in the lightweight design of body-in-white. In the present dissertation, an advanced coaxial one-side resistance welding (COS-RSW) technology was proposed for joining metal and CFRP. Meanwhile, the digital twin of COS-RSW focusing on transient temperature field was established. Compared with traditional finite element analysis (FEA), this digital twin is based on data-driven modelling rather than physics-based modelling. The essential components of the digital twin, such as high-accuracy numerical modelling, underlying joining mechanism of COS-RSW, and the artificial intelligence (AI) technology, were investigated in detail. In Chapter 1, the background of automobile lightweight design, the application of numerous lightweight materials and the requirement of advanced joining technologies for metal/CFRP dissimilar materials structure were introduced. The development of digital twin and the main related techniques such as artificial neural network (ANN) were also presented. In Chapter 2, the advanced COS-RSW technology and its numerical simulation were investigated. The algorithm of FEA and the 2-D FE model of COS-RSW were described in detail. The material properties of CFRP were determined by the experimental measurement. The influence of welding parameters and the shape of electrodes were discussed. Furthermore, the characteristic of thermal cycles in molten zone was clarified. In Chapter 3, the joining mechanism and fracture models of COS-RSW joint were investigated. The single-lap shear test was employed to detect the mechanical performance of COS-RSW joints. Multiple characterization techniques were processed to study the fracture surfaces. The interface bonding condition, the morphology of fracture surface and the failure mechanism were analyzed in detail. The joining strength was evaluated and connected with welding conditions. In Chapter 4, the FEA-ANN integrated method was proposed to optimize the COS-RSW process. The dataset was established by FEA instead of actual experiments to reflect the relationship between welding parameters and corresponding outputs. The ANN was built based upon the Python platform and optimized by multi-task learning algorithm to approximate dataset and predict welding outputs. An index was proposed to evaluate the joining strength qualitatively. A process window was also established to provide the optimum parameters directly for the desired welding quality. In Chapter 5, the high-accuracy 3-D FE modelling was realized as the other essential component of digital twin. A full-scale 3-D model of COS-RSW joint was established to reproduce the welding process, which was verified by the measured thermal cycles. The sensitivity of material properties of electrodes was investigated numerically. The component of accumulated heat generation during COS-RSW was also discussed in detail. In Chapter 6, the application of current digital twin for COS-RSW was practiced. The big data of COS-RSW was generated by the 3-D FE model. The multiple dimension interpolation was employed to perform the data processing. When received target parameters, the digital twin can select and read necessary dataset automatically, then realize the prediction and visualization of the transient temperature field during welding process with high accuracy in real-time. In Chapter 7, the investigated results of COS-RSW were summarized and some future research issues were also discussed.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (REN SENDONG)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	麻 寧緒
	副 査	教授	藤久保 昌彦
	副 査	教授	大沢 直樹

論文審査の結果の要旨

本論文では、アルミニウム (A1) と樹脂複合材 (CFRP) を接合する同芯電極片側抵抗スポット溶接技術 (COS-RSW) における接合メカニズム、過渡温度場、接合条件および接合強度に関して、数値解析と実験検証に基づく研究を行い、過渡温度場、接合条件と接合強度を対象とするデジタルツインを開発している。本論文は、以下 7 章から構成される。

第 1 章は、輸送機器の軽量化を図るため、軽量金属アルミと軽量樹脂複合材 CFRP を接合する COS-RSW 技術におけるデジタルツインの開発に関する背景と必要性を説明し、本研究の目標を設定している。数値解析による接合条件と接合結果のデータベースを構築し、人工知能やビッグデータなどの関連技術を活用する研究方法の概要を述べている。

第 2 章では、COS-RSW プロセスを効率よく数値シミュレーションするための軸対称モデリングを開発し、溶接条件 (電流、通電時間、加圧力) が CFRP の溶融領域寸法に及ぼす影響を明らかにし、接合可能な条件範囲を示している。

第 3 章では、COS-RSW 継手に対してせん断試験を実施し、界面結合条件、破面の形態および破壊メカニズムを詳細に解析すると共に、接合強度と溶接条件の相関関係を明らかにしている。

第 4 章では、COS-RSW における有限要素解析手法 (FEA) とニューラルネットワーク手法 (ANN) を用いて、A1/CFRP 接合界面における最高到達温度分布、CFRP 側の溶融領域寸法と CFRP 分解温度領域寸法を予測している。さらに、CFRP 溶融温度以上かつ分解温度以下の領域における平均温度を、接合強度を評価するための指標として提案している。

第 5 章は、COS-RSW プロセスに対応する三次元 FEA プログラムの開発と数値解析モデルの構築を行い、数値解析精度を向上すると共に、デジタルツインに必要な 3 次元可視化プログラムを開発している。加えて、COS-RSW による熱サイクルを測定し、測定データを用いて数値解析の精度を検証している。

第 6 章では、COS-RSW による過渡温度分布、温度履歴、接合可能な条件および接合面積をほぼリアルタイムで予測して可視化し、これらの物理現象に限定したデジタルツインを開発している。

第 7 章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題を示している。

以上のように、本論文は、COS-RSW 技術を用いてアルミニウムと CFRP を接合し、電極と被溶接材や溶接材同士の接触を考慮した電位場、温度場、応力ひずみ場の二次元および三次元の有限要素法プログラムを開発し、実験結果と比較して温度履歴と CFRP 界面側の溶融領域を精度高く再現している。CFRP の溶融温度以上と分解温度以下の領域を有効接合領域と定義し、有効接合領域の平均温度を Index と提案して、接合継手の引張せん断強度との相関関係を明らかにしている。各種溶接条件による過渡温度場データベースを作成している。さらに、ニューラルネットワーク手法などを用いてリアルタイムに近い計算時間で、任意の溶接条件による過渡温度場や CFRP の溶融領域と分解領域を予測して可視化するデジタルツインを開発している。抵抗スポット溶接分野では初めての試みになっている。本研究手法は、他の溶接技術にも展開でき、溶接機の AI 化に貢献することが期待できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。