



Title	Development of novel dissimilar linear friction welding methods of steels and aluminum alloys
Author(s)	Furkan
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/103217">https://doi.org/10.18910/103217</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (FURKAN)

Title	Development of novel dissimilar linear friction welding methods of steels and aluminum alloys [鋼とアルミニウム合金の新規な異材線形摩擦接合方法の開発]
<p>This thesis presents the development of novel linear friction welding methods to obtain sound dissimilar joints between steels and aluminum alloys, which are challenging to be joined by conventional LFW method. Chapter 1 introduced the overview and motivation of this study. Chapter 2 presented a comprehensive literature review of previous studies on the dissimilar joining of steels and Al alloys; emphasis was placed on the LFW process. The necessity of dissimilar joining of steels and Al alloys from the viewpoint of multi-materialization was presented, and the challenges of dissimilar material joining using conventional joining methods were described. Chapter 3 presented materials and the main methodologies and techniques employed. In Chapter 4, direct LFW between mild steel (MS) and A7075 Al alloy was attempted and sound dissimilar joint was obtained by optimization of welding parameters. Under an applied pressure of 300 MPa, corresponding to the cross-point strength on temperature-strength curves of both alloys, the simultaneous interfacial deformation of both alloys was promoted during welding which leads to suppressing the interfacial joint defects. An extremely thin IMC layer of <math>\sim</math>34.7 nm thickness was identified at the dissimilar joining interface. As a result, the fabricated weld revealed excellent joint strength exhibiting 100 % joint efficiency with respect to MS with a fracture in the base metal region of MS. To the best of author's knowledge, this is the first study to report 100 % joint efficiency between A7075 and any iron-based alloy dissimilar LFW joint and exhibiting a base metal fracture towards steel side. Chapter 5 reported the dissimilar joining of SS400 and A7075 Al alloy. The challenges during conventional LFW between SS400/A7075 were identified. To address these challenges, an innovative center-driven double-sided (CDDS) LFW method is employed to effectively weld SS400 and A7075 Al alloy. The interface temperatures were controlled by changing the applied pressures, corresponding to the cross-point strengths at each interface. CDDS-LFW promoted the simultaneous interfacial deformation of the mating materials at both, MS/A7075 and MS/SS400, interfaces by exploiting the cross-point concept. As a result, obtained joint exhibited a tensile strength of <math>\sim</math>347.5 MPa, revealing 100 % joint efficiency concerning MS. In Chapter 6, a novel sacrificing-sheet linear friction welding (SSLFW) method, by oscillating a center sheet of SS400 steel utilizing the CDDS-LFW machine, was exploited to further enhance the joint strength of dissimilar weld between SS400 and A7075 Al alloy. In this novel method, by establishing a preheating stage that frictionally heats only SS400 side for a certain period of time, the center sheet was effectively expelled from the joint interface, and SSLFW that directly joins the SS400 and A7075 has been achieved. Unlike the CDDS-LFW method, where center material remains at the joint interface and becomes the weakest portion of the weld, SSLFW eliminates this dependency by expelling center sheet from joint interface and enabling direct joining between the side materials. Consequently, joints produced by exploiting SSLFW revealed the maximum joint strength of <math>\sim</math>448 MPa after post-weld artificial aging. This indicates a significant improvement over the CDDS-LFW method for SS400/A7075 dissimilar joints, effectively overcoming its strength limitation of <math>\sim</math>347.5 MPa. In Chapter 7, applicability of SSLFW method was further explored by applying it to the more challenging material combination, i.e., S45C and A6061 Al alloy, which exhibit significant strength difference across all temperature ranges. The operating conditions of novel SSLFW were optimized by investigating the influence of key process parameters, i.e., preheat time, upset length and applied pressures, on mechanical properties and interfacial microstructure. The results indicated that a defect-free, sound joint with high joint strength can be achieved using optimum welding parameters. Considerably high joint efficiency of 73 % with respect to A6061 alloy was obtained after SSLFW, and it further increased to 96 % subsequent post-weld aging treatment. Finally, in Chapter 8, the overall thesis conclusions and suggested future work possibilities are elaborated.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 ( FURKAN )	
論文審査担当者	(職) 氏名
主査 教授	藤井 英俊
副査 教授	安田 弘行
副査 教授	麻 寧緒

## 論文審査の結果の要旨

本研究では、従来手法では接合が困難であった鋼とアルミニウム合金の組み合わせに対して健全な異種接合継手を得るために、新規線形摩擦接合(Linear Friction Welding:LFW)の開発を行い、得られた継手の評価を実施している。本論文は以下の8章で構成されている。

第1章では、本研究の動機として、環境負荷低減に向けた自動車のマルチマテリアル化の重要性とLFWの有用性について概説し、本研究の目的と論文の構成について説明をしている。

第2章では、鋼とアルミニウム合金の異種接合に関する過去の文献を紹介し、LFWに関する従来知見を整理することで包括的なレビューを行っている。

第3章では、本研究で使用した材料および接合方法、ならびに微視組織と機械的特性の評価方法について詳細な説明を行っている。

第4章では、軟鋼とアルミニウム合金A7075に対して従来のLFWを行い、継手の評価を行っている。軟鋼とA7075の流動応力が同一となる温度となる接合条件(印加圧力300 MPa)を選定することで、軟鋼の母材で破断を呈する健全な継手を得ている。接合界面では約35 nm厚の非常に薄い金属間化合物が形成されており、脆性相の成長を抑制することで強固な接合界面となっていることを明らかにしている。

第5章では、一般構造用圧延鋼材SS400とA7075の異材接合に取り組んでいる。従来のLFWでは健全な継手を得ることが困難であることを明らかにしている。加えて、その課題を解決するためにセンター駆動両面線形摩擦接合(Center-Driven Double Sided Linear Friction Welding: CDDS-LFW)を実施している。センター材として軟鋼を用い、軟鋼/SS400および軟鋼/A7075のそれぞれの界面において各材料の流動応力が同一なる接合条件を選定することで、軟鋼母材で破断を呈する健全な継手の作製に成功している。

第6章では、SS400とA7075の組み合わせに対してセンター材をSS400とした異材継手を実現するために、CDDS-LFWの装置を用いた新たな接合法として犠牲シート線形摩擦接合(Sacrificing Sheet Linear Friction Welding: SS-LFW)を提案している。この新規手法では、センター材のSS400を薄板とし、SS400/SS400の界面のみを一定時間摩擦により予加熱することで、センター材を線形摺動に伴う塑性流動で接合界面から排出し、最終的にSS400とA7075を直接接合することに成功している。この手法を用いることでセンター材の強度によらない継手が得られると結論づけている。

第7章では、異材接合が困難とされている中炭素鋼S45Cとアルミニウム合金A6061の組み合わせに対してSS-LFWを実施し、SS-LFWの有用性を検討している。SS-LFWプロセスにおける主要なパラメータである予加熱時間、寄り代、印加圧力を変化させて接合を行うことで、接合条件と継手の機械的特性および接合界面に形成される微視組織の関係を詳細に評価している。SS-LFWを用いることで接合界面に欠陥のない健全な継手が得られることを明らかにするとともに、自動車の塗装焼き付けを想定した時効処理により継手効率をさらに20%以上向上させることに成功している。

第8章では、本研究の総括を行い、今後の研究課題について提案している。

以上のように、本論文は接合が困難であり、健全な継手が得難いとされてきた鋼とアルミニウム合金の異種接合において、CDDS-LFWおよびSS-LFWという新たなプロセスを開発することで、強度と信頼性に優れた継手を実現できることを見出しており、材料工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。