



Title	Bonding mechanism of resistance element welding for robust lap joints of lightweight alloys and ultra-high strength steels
Author(s)	Baek, Seung Yeop
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/96098
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 (BAEK SEUNG YEOP)	
Title	Bonding mechanism of resistance element welding for robust lap joints of lightweight alloys and ultra-high strength steels (軽量金属と超高強度鋼の抵抗エレクト溶接メカニズム解明による重ね継手の高強度化)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>Resistance element welding (REW) is a new process in which a low carbon steel element is inserted into the upper material and welded to the lower material utilizing the advantages of both the existing resistance spot welding (RSW) and riveting processes. This process was proposed to solve the problems caused by intermetallic compounds (IMCs) and significant differences of physical properties between dissimilar materials. The REW process is expected to join dissimilar materials for future applications because it has excellent manufacturing flexibility similar to the RSW mass production process widely used in car body assembly.</p> <p>In the Chapter 1, a literature review on the current and next-generation bonding technologies for lightweight alloys and ultra-high strength steels were conducted. Then the background and necessities of development of REW were introduced. The structures of this doctoral dissertation are described.</p> <p>In the chapter 2, the concept of REW process in joining Fe/Al for car body weight reduction was introduced, and the relationship between the mechanical strength and macro/microstructures of the Fe/Al lap joints was investigated. To clarify the fracture behavior, tensile-shear tests were conducted and strain as well strain rate characteristics were measured using an in-situ digital image correlation (DIC) method. The influence of welding current on the phase transformation during resistance element welding Fe/Al was studied by both numerical analysis and experimental measurement. A martensite phase transformation occurred at the microscale in the nuggets area. At the macroscale, the interfacial hooks were interlocked with the Al alloys, which was a robust bonding mechanism and fundamentally enhanced joint strength.</p> <p>In the chapter 3, the influence of microstructure and interface geometry on the mechanical fatigue properties of Fe/Al lap joints of REW was investigated by experiments and simulations. The numerically calculated stress values at the Fe/Al joining interface were compared with experimental ones. The REW process showed the martensite formed due to a fast-cooling in resistance spot element welded nuggets of 980 MPa steel. In addition, the formation of the hook increased the static strength by interlocking between the aluminum and steel. On the other hand, since this interlocking may transfer more heat to aluminum alloys from the steel element and increased the high temperature duration time, the grain size in the Al alloys becomes larger, which had a little bit negative effect on fatigue life.</p> <p>In the chapter 4, the heat affected zone (HAZ) at Al side of the resistance element welded Fe/Al lap joint was focused for fundamental research. The micro-structures of REW joints with and without considering HAZ at Al side, using developed Al HAZ-less system, were quantitatively evaluated. Through applying insulated coating barrier on the surface of the steel element and preparing an air gap by enlarging the hole diameter of Al plate, the size of HAZ at the Al side can be substantially suppressed which will be expected to contribute to fatigue life extension. However, these two approaches have not contributed to static tensile-shear strength due to the occurrence of interfacial failure, which can be improved by post heat treatment based on the recent ongoing research.</p> <p>The chapter 5 revealed the fatigue fracture response and microstructure behavior of resistance element welded magnesium alloy AZ31B and dual phase DP780 plates. The martensite phase transformation at the interface between the steel element and DP780 steel, as well as of the accompanied hook at the interface between steel element and Mg alloys were clearly observed, which can have a positive effect on the mechanical properties.</p> <p>Chapter 6 summarized the major features of this thesis and described future application issues, which can provide a substantial alternative for lightweight alloys and ultra-high strength steel dissimilar joining.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (BAEK SEUNG YEOP)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	麻 寧緒
	副 査	教授	大沢 直樹
	副 査	教授	飯島 一博
	副 査	准教授	辰巳 晃
	副 査	准教授	Dongjin Kim (韓国産業技術研究院)
<p>論文審査の結果の要旨</p> <p>抵抗エレメント溶接 (REW) は、ボルト形状の鋼材エレメントを上部の軽金属に加工された円孔に挿入し、下部に設置する同種の鋼板と溶接する、既存の抵抗スポット溶接 (RSW) とリベット接合の利点を兼ね備えた新しい接合法であり、異材金属間化合物 (IMC) や異種材料特性の違いにより生じる問題を解決することができる。本接合法は、自動車の車体組立に広く使用されている RSW と同じく量産に優れた生産性を有しているため、異種材料を接合する実用的な技術として期待されている。</p> <p>本論文は 6 章から構成され、各章の概要は以下の通りである。</p> <p>第 1 章では、車体軽量化を実現するため、軽量合金と超高張力鋼の利用トレンドおよびそれぞれの接合技術に関する文献をレビューし、REW接合法の開発背景と必要性を調査し、本博士論文の位置付けを明確にしている。</p> <p>第 2 章では、鋼板とアルミ合金 (Fe/Al と略記) のREWプロセスの特徴を記述し、Fe/Al 重ね継手の強度とマクロ/ミクロ組織の関係を調査している。さらに引張せん断試験におけるひずみ及びひずみ速度をデジタル画像相関 (DIC) 法で測定し、破壊挙動を明らかにしている。また、ナゲット領域においてマルテンサイト相変態を観察しており、Fe/Al 接合界面における噛み合うフックの存在によって接合強度が向上することを示している。</p> <p>第 3 章では、REWによるFe/Al 重ね継手の疲労特性に及ぼすミクロ組織と界面形状の影響を実験とシミュレーションによって評価し、数値解析と実験測定でFe/Al接合界面の残留応力の分布特徴を明らかにしている。また、980MPa鋼板側のナゲット部で急冷によりマルテンサイトが生成されること、および界面フックの形成により静的強度が向上することを示している。さらに、界面フックの存在により鋼材エレメントからアルミニウム合金への熱伝達が増加し、高温持続時間が長くなり、Al合金側の結晶粒径が大きくなって疲労強度が若干低下することを示している。</p> <p>第 4 章では、REWによる Fe/Al 重ね継手の Al 側の熱影響部 (HAZ) の性能改善法を開発している。鋼材エレメント表面に絶縁皮膜バリアを施すか、Al板の穴径を大きくしてエアギャップを設けることで、Al側のHAZレス化を実現し、Al側のHAZが存在する場合と存在しない場合の溶接継手ミクロ組織をそれぞれ比較している。そして、Al側のHAZレス化によって疲労寿命が延伸する一方、界面破壊発生のため静的引張せん断強度は向上しないこと、および界面破壊はポスト熱処理によって防止できる可能性があることを示している。</p> <p>第 5 章では、REWによるマグネシウム合金 AZ31BとDP780鋼板の重ね継手における疲労破壊挙動とミクロ組織の関係を明らかにしている。鋼材エレメントと DP780 鋼板の接合界面でマルテンサイト相変態を観察し、鋼材エレメントとAZ31Bの接合界面で、接合強度を向上させる、噛み合うフックが生じることを示している。</p> <p>第 6 章では、この論文の主な結論を要約し、軽量合金と超高張力鋼の異種金属を接合する技術を実用にするための応用課題について述べている。</p> <p>以上のように、本論文は、抵抗エレメント溶接技術を開発し、アルミ合金と高張力鋼板、マグネシウムと高張力鋼板という異種金属の接合に適用し、接合継手の強度とミクロ組織の関係を明らかにするとともに、輸送機器における異材接合継手の高強度化に貢献している。</p> <p>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>			