T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Al/Fe電磁圧接材の接合界面形態および中間層形成に及ぼす接合パラメーターの影響
Title(English)	Effect of welding parameters on interface morphology and intermediate layer formation in magnetic pulse welded Al/Fe joint
著者(和文)	LiJiedi
Author(English)	Jiedi Li
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12089号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:熊井 真次,村右 信二,中村 吉男,史 蹟,小林 郁夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12089号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名		LI JIEDI	
論文審査 審査員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	熊井　真次	教授	審査員	小林　郁夫	准教授
	審査員	村石　信二	准教授			
		中村　吉男	教授			
		史　　蹟	教授			

論文審査の要旨（2000字程度）

本論文は「Effect of welding parameters on interface morphology and intermediate layer formation in magnetic pulse welded Al/Fe joint」と題し、英文で書かれ、全6章で構成されている。

第1章「General introduction」では、本研究の背景と目的について次のように述べている。Al/Fe接合は、最も大量に使用されている金属同士の接合であり、工業製品を製造する上で極めて重要な技術であるが、通常の溶融接合や固相接合では接合界面に脆弱な金属間化合物相からなる厚い中間層が生成してしまうため、健全な接合材を得ることが困難である。これに対し電磁力を駆動力とし、金属同士を数百m/sの高速で傾斜衝突させて衝撃的に接合する電磁圧接法を用いてAl/Fe接合材を作製すると、接合界面には中間層が生成するもののそれらは従来知られているような中間層とは異なり、接合強度を低下させないことが知られている。また、電磁圧接では衝突速度Vと衝突角度βが時々刻々と変化し、それら電磁圧接の条件が中間層の生成挙動に与える影響は明らかとなっていない。そこで本研究では、Al/Fe電磁圧接材の衝撃圧接界面に特徴的な波状界面や中間層の生成挙動を明らかにするため、それらに及ぼす衝撃速度Vや衝突角度βの影響を実験と数値解析の両手法を用いて調べ、さらに強固なAl/Fe接合材を得るための接合条件について検討を行う。

第2章「Joint interface morphology and composition of intermediate layer in magnetic pulse welded Al/Fe joint」では、Flyer plateに厚さ0.4mmのA1050アルミニウム板（以降Al）、Parent plateに厚さ0.3mmの低炭素鋼板SPCC（以降Fe）を使用し、これらを異なった放電エネルギーや板の設置間隔で電磁圧接することにより様々な衝撃速度Vや衝突角度βの条件の下でAl/Fe接合材を作製、その接合強度と界面組織について調査している。SEM/BEIによる接合界面観察の結果、母材破断するような強固な接合材の接合界面にはトリガー状の波状模様に加え中間層が形成されていること、中間層の量や形態は接合方向に沿って変化し、これらは溶融した形跡の有無や中間層内のAlとFeの構成比(at%)等によって大きく4種類のタイプに分類できることを明らかにしている。さらにこの中でも接合界面に沿って、波の前方にAlとFeの構成比(at%)がほぼ5:5で、溶融した痕跡が見られる中間層、後方にAlとFeの構成比がほぼ85:15で、溶融した痕跡が見られない中間層が分布した波状界面が、最も広範囲に観察されたと報告している。

第3章「Wavy interface formation and local melting phenomena at the magnetic pulse welded Al/Fe joint interface」および第4章「Cooling and intermediate layer formation process at the magnetic pulse welded

Al/Fe joint interface」では、上記のタイプの中間層に焦点を絞り、その形成過程を複数の数値解析手法を連結させることによって明らかにしている。まず、電磁圧接過程を(a)電磁力を受けて変形したAl板のFe板への傾斜衝突、(b)衝突点において生じるAlとFeとの混合挙動、(c)衝突点近傍の急激な圧力増加に温度上昇、(d)その後の接合界面の温度低下に分類している。次に、(a)の過程をANSYS Emag-Mechanicalによって解析し、Flyer plateとParent plateの初期衝撃速度、Vと初期衝突角度、βを算出している。得られたVとβを初期条件とし、衝撃問題の解析に有効な粒子法の一種であるANSYS AUTODYNのSPH法を用いて、(b)、(c)の衝突点からのメタルジェットの放出、衝突点後方でのメタルジェットの巻き込みと渦の生成、波状界面の形成過程ならびに急激な圧力ならびに温度上昇を再現している。さらに(b)、(c)で得られたAl粒子とFe粒子の位置分布ならびに温度分布を初期条件とし、熱伝導解析が可能なOpenFOAMを用いて(d)を解析し、界面近傍の冷却過程を再現している。その結果、衝突点からはAlを主成分とするメタルジェットが放出され、これが衝突点前方のFe表面に衝突するとともに衝突点後方に巻き込まれることによってトリガー状の波状界面が形成することを明らかにしている。また、接合界面近傍、特に波の頭頂部においてはAlとFeの粒子数の比はほぼ1:1になっており、さらにAlとFeの融点を超える急激な温度上昇が起こっていることから、このような領域は局所溶融している可能性があると述べている。一方、接合界面から100μm離れた領域ではほとんど温度上昇が起こっていないため、この大きな温度勾配により抜熱が促進され、その結果局所溶融領域は10^8～10^9K/sオーダーの冷却速度で急冷され、よって、Al/Fe電磁圧接界面の中間層はこのような特異な条件下で生成したものであると述べている。数値解析で再現された波状界面形態、中間層の生成位置、AlとFeの構成比は、実験結果と良い一致を示しており、これは本数値解析手法が、Al/Fe電磁圧接材の接合界面形成過程の解明に有効であることを示している。

第5章「Effect of collision angle and impact velocity on Al/Fe magnetic pulse welding behavior and joint interface」では、まず、一定のVの下、異なったβで電磁圧接を可能とする治具を考案し、これを用いて種々の条件で接合材を作製している。一方、SPH法を用いた数値解析を実施し、メタルジェットの放出量や成分、波状界面の寸法変化、接合界面の温度上昇がVとβによってどのように変化するか調査している。その結果、実験と数値解析の両方の手法によりβが増加するほど局所溶融領域が減少し、よって接合界面に生成する中間層の量が減少することを明らかにしている。最後に本研究で得られた実験結果、数値解析結果ならびにメタルジェットの放出条件や波状界面形成のための限界条件に関する理論計算結果を基に、縦軸に衝突角度β、横軸に衝撃速度から求めた衝突速度、Vcをとり、良好なAl/Fe電磁圧接材が得られる条件を示したWeldability windowを作成している。

第6章「General summary and conclusions」では、各章で得られた結果を総括している。

以上を要するに本研究は実験と数値解析の両手法を用いて、Al/Fe電磁圧接材の特異な接合界面形成挙動ならびに接合界面における中間層の生成挙動を明らかにしたもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。