

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	同種・異種金属電磁圧接材の波状界面形態を支配する諸因子の探索
Title(English)	
著者(和文)	木村慎吾
Author(English)	Shingo Kimura
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11771号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:熊井 真次,村石 信二,中村 吉男,史 蹟,小林 郁夫,多田 英司
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11771号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	木村 慎吾		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 熊井 真次
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub) 村石 信二

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は「同種・異種金属電磁圧接材の波状界面形態を支配する諸因子の探索」と題し、以下の 6 章で構成されている。

第 1 章「緒論」ではマルチマテリアル構造実現における異種金属接合の重要性ならびに強固で信頼性に富む異種金属接合法として期待されている電磁圧接の原理について説明し、既往の研究の概要ならびに未だ解明できていない課題を提示し、本研究の意義と目的について述べている。電磁圧接は、電磁力を用いて金属を高速で傾斜衝突させて接合する衝撃圧接法の一種で、衝突時に衝突点から金属表面がメタルジェットとして放出され、酸化膜や汚れが除去された清浄面同士が押し付け合うことで、強固な同種・異種金属接合が実現できる。数～数十  $\mu\text{s}$  オーダーという短時間で接合が完了することやバルクの温度上昇を伴わないという利点を持ち、波状の接合界面を形成するという特徴がある。この波の形態は、接合する金属間の密度差や衝突時の衝突速度  $V_i$  および衝突角度  $\beta$  によって決まることが知られている。しかし同じ衝撃圧接である爆発圧接の場合とは異なり、電磁圧接においては、これら条件が同じであっても波状界面が形成されない場合や異なった形態の波が形成されることがあり、よってこれらの因子のほかどのような因子が電磁圧接材の波状界面形態を支配しているのかについて明らかにする必要があると指摘している。よって本研究の目的は、接合する金属の種類や寸法、形状を様々に変化させた同種ならびに異種金属の電磁圧接を実施し、実験手法と数値解析手法を組み合わせ、極短時間に起こる電磁圧接界面での波の形成や急激な温度上昇および冷却現象について検討を行い、電磁圧接材の波状界面形態を支配する諸因子について明らかにすることであると述べている。

第 2 章「電磁圧接界面形成機構を解明するための電磁圧接手法と数値解析手法」では、本研究で用いた、電磁パルスによって同種・異種金属板を接合する実験手法、およびその過程を再現するための 3 種類の数値解析手法、すなわち、電磁力を受けて飛翔板 (Flyer plate) が固定板 (Parent plate) に高速で傾斜衝突する過程を再現するための有限要素法解析、衝突点からのメタルジェットの放出挙動および波状界面の形成過程と衝突面での温度上昇の過程を再現するための粒子法 (SPH 法) を用いた解析、接合界面の冷却過程を再現するための有限体積法による解析について、各々の原理、特徴、有効性とこれらの相互関係について述べている。

第 3 章「同種・異種金属電磁圧接界面の波状界面形態」では、第 2 章で述べた手法を用い、実際に Cu/Ni および Al/Cu を対象として  $V_i$  および  $\beta$  を系統的に変化させて電磁圧接を行い、併せて数値解析によってこれら電磁圧接材の波状界面形成過程を再現し、両金属の密度差、 $V_i$ 、 $\beta$  が波状界面形態に及ぼす影響について明らかにしている。

第 4 章「改良 SPH モデルによる波状界面形成挙動の解明」では、第 2 章で述べた SPH 法による数値解析モデルを改良し、金属板表面からの距離に従って粒子の色を系統的に変化させることによって、表

面からどの程度の深さの領域からメタルジェットが放出されているのか、接合中に衝突面近傍の各金属がどこからどこへどのように動いていくのかをより明瞭に可視化できるモデルを開発している。そして Cu/Ni および Al/Cu 電磁圧接材の波状界面形成過程を、既往の研究に比べはるかに詳細に再現することに成功している。

第5章「波状界面形態を支配する諸因子の探索」では、両金属の密度差、 $V_i$ 、 $\beta$ に加えて波状界面形態に影響を及ぼすと考えられる4種類の因子について検討を行っている。すなわち、接合する金属の板厚や組合せ、表面状態を系統的に変化させ、Flyer plateの運動エネルギー変化が波状界面形態に及ぼす影響、Parent plateの板厚変化が波状界面形態に及ぼす影響、Parent plateの変形抵抗が波状界面形態に及ぼす影響、Parent plateの表面粗さが波状界面形態に及ぼす影響等、従来知られていなかった因子の影響について調査している。その結果、Flyer plateの板厚を変え、Flyer plateの運動エネルギーを増加させると形成する波が大きくなること、Parent plateの厚さが薄い場合には衝突時にParent plateが大きく変形することにより衝突エネルギーが費やされ、波が小さくなること、Parent plateの変形抵抗が大きいと衝突点後方へのメタルジェットの入り込みが小さくなり、形成される波が小さくなること、表面粗さを変化させたParent plateに対し電磁圧接を行うと、板表面の荒れ、すなわち突起によってメタルジェットの放出方向が変化することによって大きな波が形成すること等を明らかにしている。

第6章「結論」では、各章で得られた成果を統括し、結論を述べている。

本研究で得られたこれら一連の成果は、電磁圧接材の波状界面形態が、従来から知られている金属間の密度差や衝突時の衝突速度 $V_i$ および衝突角度 $\beta$ だけではなく、その他のメタルジェットの放出挙動を変化させる要因となる因子によって決まることを明らかにしたものである。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 材料 系  
Department of Graduate major in 材料 コース  
学生氏名： 木村 慎吾  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員 (主)： 熊井 真次  
Academic Supervisor(main)  
指導教員 (副)： 村石 信二  
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Magnetic pulse welding (MPW) is one of the impact welding method that uses electromagnetic force to impact metals at high speed with certain angle, and it can establish strong bonding even with dissimilar metal combination. In MPW, it is known that a characteristic wavy pattern is generated at the bonding interface, and that the morphology of the waves varies with the impact velocity ( $V_i$ ) and the impact angle ( $\beta$ ). However, there is a chance that other factors affect the wavy morphology and it have rarely been investigated. In this study, the formation of waves, rapid temperature rise and rapid cooling phenomena in a very short period of time were investigated under various conditions using a combination of experimental and numerical analyses to clarify the effects of various factors on the interface morphology.

As a result, it was found that when the thickness of the Flyer plate is changed and the kinetic energy of the Flyer plate is increased, the interfacial waves become larger. When the thickness of the fixed plate (Parent plate) is thin, the plate is deformed greatly during the collision and the collision energy is expended by the deformation, resulting in smaller waves. When the surface roughness of the Parent plate is high, the interfacial wave become large. Thus, it was found that not only  $V_i$  and  $\beta$ , but also the surface condition and the energy change at the time of the collision affected the emission behavior of the metal jet, which in turn greatly changed the morphology of the joint interface.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).