

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	異種金属爆発圧接における接合界面形成メカニズム
Title(English)	
著者(和文)	西脇淳人
Author(English)	Junto Nishiwaki
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10443号, 授与年月日:2017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,小林 郁夫,木村 好里
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10443号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(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		西脇 淳人	
論文審査 審査員		氏 名		職 名			
	主査	熊井 真次		教授		木村 好里	准教授
	審査員	村石 信二		准教授			
		中村 吉男		教授			
		小林 郁夫		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「異種金属爆発圧接における接合界面形成メカニズム」と題し、7 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、爆薬の爆轟を用いて金属板を高速傾斜衝突させ、固相状態で異種金属を接合する手法である爆発圧接について紹介している。爆発圧接においては衝突点からメタルジェットが放出され、清浄化された金属表面が高圧力で圧着されることにより極短時間で固相接合が実現するが、接合界面には特徴的な波状界面が形成すること、衝突面での急激な温度上昇により接合界面には局所融解領域が生じ、このため金属の組合せによっては接合界面に沿って脆弱な中間層が生成して接合材の機械的、物理的、化学的特性が低下するという問題があることを述べている。さらに、強固な爆発圧接材を得るには中間層の生成を抑制する接合条件を確立する必要があるが、爆発圧接における数～数十マイクロ秒間で起こる高速変形、急速加熱、急速冷却等の挙動を従来の実験的手法によって明らかにすることは困難であり、よって数値解析によるシミュレーションを活用してこの障害を克服する必要があると述べている。本論文では、接合界面に合金化領域の形成が予測される Cu/Ni と、中間層の生成が予測される Cu/Al の対照的な 2 種類の異種金属の組合せを供試材として選定し、数値解析手法と実験的手法を組み合わせることによって、異種金属爆発圧接における接合界面形成メカニズムを明らかにし、さらに中間層の生成を抑制する方策を見出すことを目的としている。

第 2 章「爆発圧接挙動を再現する解析モデルの考案」では、まず爆発圧接挙動の全体を再現し得る数値解析手法は未だ存在しないことから、その挙動を（Ⅰ）爆轟を受けた板材の衝突過程、（Ⅱ）メタルジェットの放出と波状界面の形成過程、（Ⅲ）接合界面の昇温過程、（Ⅳ）接合界面の冷却過程、（Ⅴ）合金化領域や中間層の生成過程という 5 つの過程に分類している。そして考案した 3 つの数値解析モデルを用いて（Ⅰ）～（Ⅴ）の過程を再現している。すなわち、（Ⅰ）の過程について検討するため、爆薬と空気の解析に用いる Euler 法と板材の解析に用いる Lagrange 法を連成させた Euler-Lagrange coupling model (Model 1)を考案し、爆発圧接における気体、液体、固体の挙動を再現している。本解析により、界面形態を決定する重要なパラメーターである板材の衝突速度と衝突角度を求めている。次に Model 1 から得られた結果を基に、衝撃ならびに大変形問題に適したメッシュフリーの解析手法である Smoothed Particle Hydrodynamic (SPH) model (Model 2)を用い、（Ⅱ）と（Ⅲ）の過程を再現し、接合界面における温度上昇範囲、局所融解領域の

生成位置，その形状ならびに組成を明らかにできることを示している．さらに Model 2 で得られた結果を基に，熱伝導解析に適した OpenFOAM model (Model 3) を用いて(IV)と(V)の過程を再現し，本解析により合金化領域や中間層の位置，量ならびにその形態が予測可能であることを示している．

第 3 章「Cu/Ni 爆発圧接挙動の数値解析ならびに実験的検証」では，密度差が小さく，全率固溶する Cu と Ni の爆発圧接について検討を行っている．Cu と Ni の接合界面には正弦波状の波状界面が形成され，数値解析で再現した波状界面の波高と波長は実験結果と定量的によく一致すると述べている．メタルジェットが衝突点前方の Cu と Ni の表面に交互に衝突することにより波が生成すること，メタルジェットの成分は Cu と Ni の SPH 粒子数比でほぼ 1:1 であること，波の渦部ならびに界面では衝突点近傍で生じる圧縮により急激な温度上昇が生じるのに対し，界面から数百 μm 離れるとほとんど温度上昇はなく，そのため界面近傍の冷却速度は $10^6 \sim 10^7 \text{ K/s}$ オーダーとなることを見出している．また SPH 粒子分布から求めた局所融解領域の組成は，電子線マイクロアナライザーにより測定した実際の接合材の合金化領域の組成とよく一致すると述べている．

第 4 章「Cu/Al 爆発圧接挙動の数値解析ならびに実験的検証」では，密度差が大きく，種々の金属間化合物を生成する Cu と Al の組合せについて第 3 章と同様の解析を行っている．Cu と Ni の場合とは異なり Cu と Al の爆発圧接界面にはトリガー状の波状界面が形成されるが，これはメタルジェットが主に Al から放出され，衝突点前方の Cu 表面にのみ衝突することに起因することを見出している．Cu/Al 爆発圧接においても，数値解析により求めた局所融解領域の組成が実験結果とよく一致すること，局所融解領域が $10^6 \sim 10^7 \text{ K/s}$ オーダーで急冷凝固し，中間層が生成されることを明らかにしている．

第 5 章「Cu/Ni 爆発圧接挙動に及ぼす衝突角度の影響」では，一定の衝突速度の下，様々な衝突角度における Cu/Ni 爆発圧接挙動を解析し，衝突角度の低下とともにメタルジェットの放出量は減少するが，その温度は上昇すること，衝突角度が小さいほど接合界面の温度が上昇し，局所融解領域が生成しやすくなることを見出している．

第 6 章「Cu/Al 爆発圧接挙動に及ぼす衝突角度の影響」では，第 5 章と同様の解析を Cu と Al の組合せについて行い，衝突角度が小さい場合に接合界面に沿って連続した局所融解領域が生じ，これが急冷凝固することにより中間層が生成することを明らかにしている．一方，衝突角度が大きい場合には，接合界面近傍の広範囲で温度が上昇し，このため渦部のような領域以外では局所融解領域は生じにくいことを見出している．よって，衝突角度を制御することによって中間層の生成を制御でき，接合強度の向上が図れると結論している．

第 7 章「結論」では，各章で得られた成果を総括し，今後の課題について述べている．

以上を要するに本論文は，爆発圧接による接合界面での波状界面の形成と温度上昇を取り扱う数値解析モデルならびに爆発圧接直後からの温度変化を取り扱う数値解析モデルを連成させた新しい数値解析手法を考案し，実験的手法と組み合わせることで，爆発圧接における接合界面形成メカニズムを明らかにするとともに，接合界面における中間層の生成過程を再現し，接合強度を低下させる中間層の生成を抑制するための条件を見出したもので，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．