



Title	Effects of processing parameters on interface morphologies and related mechanical properties in cladding of a group V or VI refractory metal plate on Cu plates using explosive welding
Author(s)	Parchuri, Pradeep Kumar
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/73567
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (PARCHURI PRADEEP KUMAR)	
Title	Effects of processing parameters on interface morphologies and related mechanical properties in cladding of a group V or VI refractory metal plate on Cu plates using explosive welding (第5, 6族金属/Cuクラッド材の爆発圧接条件と界面組織および機械的性質の関係)
<p>A clad between group V (Nb, Ta) or VI (Mo, W) refractory metal (RM) and Cu is highly attractive because of high melting temperature and wear resistance of RMs and high thermal conductivity of Cu, while differences of thermo-physical properties between RMs and Cu makes it impossible to clad them using conventional fusion welding techniques. Explosive welding (EW), which is one of the solid state welding techniques, possesses remarkable ability to join any similar or dissimilar metal plates, and was chosen in this study to obtain high strength RMs/Cu clads. This thesis presents a systematic study on Nb/Cu, Ta/Cu, Mo/Cu and W/Cu EW clads to design high strength clads. Clads were obtained at high and low collision velocities (HCV and LCV) in horizontal direction, respectively, and the LCV clads exhibited a wavy interface while the HCV clads with lower collision angle exhibited an interface with intermediate layer (IL). Features of the wavy and IL interfaces depended on the RMs' thermo-physical properties. In Nb/Cu and Ta/Cu systems, the clads with an IL exhibited higher bending stress than those without an IL. TEM observation confirmed that Nb nano-dendrites and various size of Ta fragments distributed in a Cu matrix in the ILs. Especially, in the IL at Ta/Cu interface, the Ta-Cu-based intermetallic compound or dodecagonal quasicrystal particles, which is a non-equilibrium phase, was also observed along with coexistence of Ta and Cu phases. Thus the ILs possessed the highest hardness in the IL and base plates in the both clads. Thus, the ILs resulted in higher bending strength than the LCV clads. Noted that less misorientation in RM plates near the joint interface was observed in the HCV clads than in the LCV clads, while recrystallization occurred in Cu plate near the interface leading to less misorientation in the both clads. On the other hand, cladding a group VI RM on Cu plates possess certain challenges because of shock wave damage in the RM plate during EW. The shock wave damage caused due to generation of high intensity reflected tensile waves as a consequence of the undissipated imparted kinetic energy (KE) at the collision interface. This problem is serious in the clads consisting of a group VI RMs plate because of their inherent brittle nature. Thus, the status of a RM plate of as-EWed clads plays a key role in deciding clad's bending strength. For example, visible cracks from the surface toward interface were observed in W plates of as-EWed W/Cu clads in many EW conditions. A crack-free W plate has been obtained in the HCV clads produced at lower collision angles, resulting in higher bending strength. The HCV clads consisted of an IL, which was associated with high consumption of KE and reduction of the intensity of reflected tensile waves. The IL consisted of nanometer- and submicrometer-sized W fragments distributed in a Cu matrix, leading to higher hardness than a Cu plate, which could have contributed a little to increase the bending strength of clads. Similarly, optimum EW processing parameters have been demonstrated in the weldability window for obtaining high bending strength and elongation in the Mo/Cu clads. The Mo plate of Mo/Cu LCV clads exhibited failure in an early stage of bending tests and cracks was observed on a Mo plate surface associated with severe shock wave damage. On the other hand, formation of ILs at the interface in the Mo/Cu HCV clads suggests high consumption of KE at the collision interface and restriction of the shock wave damage to a few top most area in a Mo plate of as-EWed Mo/Cu clad. Thus, the HCV clads showed higher bending elongation than the LCV clad. In addition, the HCV clad produced at the lowest imparted KE among the HCV clads showed shallow shock wave damage in a Mo plate. Thus, in order to obtain good combination of bending strength and elongation in Mo/Cu clads, it is important to clad them at HCV with lower KE near the weldability limit. Finally, comparison of microstructural and mechanical properties of the clads is summarized in terms of the group and period of RMs.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (P A R C H U R I P R A D E E P K U M A R)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主査 教授 伊藤 和博
	副査 教授 才田 一幸
	副査 教授 田中 学
	副査 准教授 三上 欣希

論文審査の結果の要旨

本研究では、高融点金属(RM)の第5族(Nb, Ta)や第6族(Mo, W)金属と、銅(Cu)との異種材料組合せを、爆発圧接(Explosive Welding, EW)により接合し、耐熱性・耐照射損傷等を有しながら十分な廃熱により内部を守ることが可能なクラッド材の作製を試みた。クラッド材曲げ強度や接合界面の硬さなどの機械的性質とその作製条件との関係などを、EW後のクラッド材概観やその断面組織観察から考察し、強固な接合界面を有し、曲げ強度の高いRM/Cuクラッド材を作製するための基礎的知見を得ることを目的とした。本研究で得られた知見を以下に総括する。

第1章は序論であり、高融点金属と銅との接合材の必要性、熱的、機械的性質が大きく異なる異材を溶融溶接した時の課題、その課題解決の一手法としてEWがあるとの研究背景を説明し、そのEWの原理や接合可能条件範囲などを述べている。これらを踏まえて、本研究の異材組合せと接合目的について述べている。

第2章では、第5族(Nb, Ta)とCuとの組合せについて述べている。この組合せでは、衝突点速度を出来るだけ速くし、衝突点角度を出来るだけ小さくしたEW条件にて、クラッド材の最も高い曲げ強度と大きな延性が得られた。これまで波状界面が最も接合強度が高いと考えられていたが、二元系状態図に金属間化合物を有しないRM-Cu二元系では、接合界面に中間層を有するEW条件で高接合強度が得られた。中間層では、微細な第5族金属相がCu母相中に分散し、その結果、この中間層が両母相よりもはるかに高い硬さを有していた。これは曲げ強度増加の主たる要因と考えられる。曲げ試験時には、硬い中間層の一部がチッピングしたが、クラッド材としては大きな損傷なく、高い延性を示した。また、Ta/Cu系では、その中間層にて、非平衡なTa-Cu金属間化合物や準結晶の微細な相を観察し、これらの生成も中間層の硬度増加の一因であり、また融点の高いTa相の一部が溶融Cuと反応したことを明らかにしている。

第3章では、WとCuとの組合せについて述べている。これまでの研究では、融点が高く硬いW板材はEW後に多くの直線的なき裂が生じていた。そこで、衝突点角度を小さくすることでW板材のき裂低減に成功した例が報告されている。本研究では、衝突点角度を小さくすることに加え、第2章でも述べた衝突点速度を出来るだけ速くし中間層を形成する条件にて、W板材にき裂なく、曲げ強度が高く、塑性変形可能なクラッド材を得ることに成功した。W板材にき裂が生じる理由は、衝突時に生じる衝撃波と、表面にて反射された反射波との双方が作用した引張応力である。脆性的なW板材ではその引張応力による塑性変形が起り難く、割れに至ったと考えられる。従って、き裂を生じさせないために発生する衝撃波を低減する必要がある。中間層形成は、爆発エネルギーによって加速した飛翔体の運動エネルギーを消費するのに役立ち、衝撃波発生の低減に寄与していると考えられる。

第4章では、MoとCuとの組合せについて述べている。W/Cuクラッド材と同様にクラッド材の曲げ強度と伸びは衝撃波の影響を受けることを明らかにした。W板材ほどMo板材は脆くはなく、EW後にMo板表面と断面に明確なき裂を観察できなかったが、表面からのダメージ厚さがEW条件に依存していることを系統的に調べ、EW条件と曲げ強度および伸びとの関係を衝撃波発生低減の観点から明らかにしている。

第5章では、本研究で得られた結果を総括している。

以上のように、本論文はRM/Cuクラッド材をEWにて作製し、クラッド材の曲げ強度と伸びが大きくなるEW条件を見出した。第5族RMでは微細粒を有する高硬度中間層、第6族RMでは中間層形成による衝撃波発生低減がその主要因であり、EW接合条件とクラッド材機械的性質の関係に関してRMの族と周期変化を考慮した基礎的知見を得ており、生産科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。