

Title	Shape Optimization of Adhesive Layer and Plastic Formability of Multi-materials Bonded by Adhesives
Author(s)	薛, 陽
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/96422
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (XUE YANG)

論文題名

Shape Optimization of Adhesive Layer and Plastic Formability of Multi-materials Bonded by Adhesives
(接着接合されたマルチマテリアルの接合面形状最適化と塑性加工性)

論文内容の要旨

The present thesis described the mechanical integrity of material and structure aspects of the layered metal sheet bonded by the adhesives. It comprised six chapters. In Chapter 1, the imperative need for weight reduction in transportation equipment, with a specific emphasis on multi-material structures in automobiles, was elucidated. Adhesion was introduced as a significant joining method for diverse materials, crucial in the design of multi-material structures. A comparative analysis of two adhesive materials, epoxy, and acrylic, was presented, encompassing their properties and applications. The co-design process of adhesive-bonded structures, inclusive of testing methods for adhesive strength evaluation and the methodology for shape optimization of bonded interfaces, was comprehensively reviewed. Additionally, the advantages of bonded metal laminates and the significance of evaluating the plastic formability of such laminates were discussed. The chapter delved into the limitations of conventional testing methods and outlines the requisites for establishing proper testing methodologies. Finally, the chapter elucidated the objectives and purposes of the study.

Chapter 2 introduced a method for evaluating the strength of adhesive materials under multi-axial stress states and applied it to establish the failure criterion of epoxy adhesives based on mean stress and octahedral shear stress. The results were meticulously discussed and compared with those of acrylic adhesives, considering failure behavior and thickness dependencies.

In Chapter 3, the derived failure criterion of epoxy adhesive was applied to shape optimization methods. The methodology, encompassing the theory of shape optimization and the construction of FEM models with boundary conditions, was presented. Results from the optimization process were compared with those of acrylic adhesive, exploring the influence of material properties and initial conditions on the shape optimization of bonded structures.

Chapter 4 introduced the conical cup testing method for evaluating the plastic formability of bonded metal laminates, covering the design of the testing machine and the manufacturing process of specimens. Testing results for various specimen types were discussed based on load-displacement relations. Further exploration involved post-testing and on-testing specimens through the conical cup value (C.C.V.) and observation from the see-through aperture. A comprehensive comparison of different specimen types was conducted to verify the adhesive's effect in enhancing the formability of metal laminates.

In Chapter 5, FEM simulation of conical cup testing using bonded metal laminates was performed to unveil features unobservable in real testing. FEM models were constructed based on real testing parameters, including material properties obtained from tensile testing using specimens identical to those used in real conical cup testing. The results were discussed and compared with real testing outcomes. A specific focused discussion on the stress states of the adhesive layer concerning mean stress and octahedral shear stress was conducted to identify the adhesive's effects established from testing.

Chapter 6 served as the concluding chapter, summarizing the results obtained in each preceding chapter and providing a comprehensive conclusion to the paper.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (XUE YANG)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	澁谷 陽二
	副 査	教 授	林 高弘
	副 査	教 授	中村 暢伴
	副 査	教 授	近藤 勝義

論文審査の結果の要旨

本論文は、接着材により接合された異なる材料の接着接合面の形状最適化と、接着接合された積層板の塑性加工性について検討しており、6章から構成されている。1章では、自動車等の輸送機器の軽量化のため、異なる材料を積層するマルチマテリアルの必要性和、実用化に向けた塑性加工性等の重要性について述べられている。異種材料の接合には種々の方法があるが、その中で接着接合は接着材自身が軽量であり、かつ非接合材料にほとんど制限のない汎用性の高い接合方法である。しかし、施工状況に応じて変化する接着層の厚みや非接合材料の寸法に依存する剛性等構造体としての因子がその強度に大きく影響を与える。そのため、一般にはその評価に材料と構造の両因子が関わることになる。従来からの接着強度評価試験方法の問題点や接着界面形状の最適化の必要性等に基づき、本論文では有限要素法と形状最適化手法により引張りとなじりの複合負荷に対する界面形状最適化と、板材としての接着積層板の塑性加工性の検討を目的としている。

2章では、単軸引張試験であるが多軸応力状態を生成する円筒接着接合試験片を用いた試験結果から、接着層の平均応力（静水圧）と八面体せん断応力に着目したエポキシ接着材の破損則を確立している。従来より得られているアクリル接着材との比較検討から、エポキシ接着材では平均応力が8MPa程度作用している状態でせん断強度が最大になることを見出している。

3章では、2章で求めたエポキシ接着材の破損則を形状最適化手法に適用している。形状最適化の理論と適切な境界条件に基づく有限要素解析から、アクリル接着材との比較とともに、引張りとなじりの複合負荷に対する強度向上の期待できる最適な接着面形状を予測している。

4章では、接着接合された積層板の塑性加工性を評価するためコニカルカップ試験方法を提案し、変形中での最下面付近の変形状態と破断がリアルタイムに観察されるシステムを新たに構築している。純アルミニウム A1050、アルミニウム合金 A5052、SPCC の鋼板について、同種、異種材料の接着接合された板材の作成手順と試験方法について述べている。また、接着しない同じ材料の板材、同種の材料をエポキシとアクリルの接着材で接合した板材、アルミニウム合金 A5052 と SPCC 鋼板の異種材料を接着接合した板材を用いたコニカルカップ試験の結果がまとめられている。その一連の結果より、接着接合された板材の塑性加工性は同じ板厚を持つ単体材料と同程度の加工性が確認され、異種材料については SPCC 鋼板の単体材料に比べ、重量は 32.8%減少する一方、成形限界は 35%向上した。この要因は、接着材が材料の表面あれを抑制し、板厚方向の局部くびれを遅延させたことによるものと考察している。

5章では、変形過程での応力状態、特に接着層の応力分布や円板縁の円周方向応力分布に着目し、接着効果や座屈発生の検証のために、4章の実験とほぼ同じ条件のもとで弾塑性有限要素解析(FEM)が行われている。FEM モデルは実際のコニカルカップ試験で使用された治具や試験片と同じ幾何形状、そして試験片の材料特性は引張試験から得られた

実材料の特性を用いている。単層円板は、変形初期では軸対称変形を維持しているが、変形中後期には円板縁の周方向に座屈が発生する。しかし、接着材がある積層円板ではその非軸対称変形が抑制されることを明らかにしている。また、接着層の平均応力と八面体せん断応力の変形に応じた変化を求めており、観察された最下面付近の周方向局部くびれの生成付近と円板縁で著しい応力の上昇を得ている。これらのことから、接着層の変形拘束が塑性加工性の指標である板材のランクフォード値を維持し、塑性伸びの向上に寄与していることを明らかにしている。

6章は各章で得られた結果を要約し、マルチマテリアルのための接着接合は有効な手法であり、単体材料と同等の塑性加工性を維持しつつ軽量化が図られることを結論づけている。

以上のように、本論文はCO₂削減に貢献する輸送機器等の軽量化のためのマルチマテリアル化において、接着面の形状最適化の適用性ととも、接着積層板の塑性加工性の優位性を得ている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。