平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車等の軽量・高強度化に対応した部材の汎用接合技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 1月

委託者 関東経済産業局

委託先 特定非営利活動法人 北関東産官学研究会

目次

第	1 章	研究開発の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
1	1-1	研究開発の背景
1	-2	研究の概要
1	-3	研究の目的および目標
1	-4	研究体制
		成果概要
1	_6	当該プロジェクト連絡窓口
第	2 章	難接合材との接合のための表面活性化接合法の開発10
	2-1	ワーク接合部の形状検討
	2-2	接合表面の活性化処理手法の検討
	2-3	接合条件の検討
	2-4	接合強度の測定および位置精度測定
	2-5	結合組織の観察
第	3 章	接合面積の比較的小さい接合に適した表面改質抵抗溶接法の開発16
	3-1	電極形状の検討
	3-2	電極の保護
	3-3	抵抗溶接法での接合条件検討
	3-4	ワーク形状および鍛造金型の検討
	3-5	横ずれが発生するメカニズム検討
	3-6	位置出し治具の検討
	3 - 7	表面改質処理方法の検討
	3-8	接合強度の測定および位置精度測定
	3-9	結合組織の観察
	3-9-	1 金属顕微鏡による組織観察
	3-9-	2 走査型電子顕微鏡(SEM)/透過型電子顕微鏡(TEM)による組織観察
第	4 章	難接合材との接合における接合条件の最適化の研究開発・・・・・・・26
	4-1	難接合材の材料選定
	4-2	表面処理の検討
	4-3	表面活性化接合法における異種金属接合条件の検討
	4—	3-1 各種異種金属の接合方法
	4-	3-2 A1と銅の接合検討
	4-	3-3 A1とSUS304の接合検討
	4—4	表面改質抵抗溶接法にて異種金属接合条件の検討
第	5 章	全体総括28
	5-1	序
	5-2	今後の研究開発および事業化に向けて
	5-3	用語集

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景

- ①自動車に関する事項「川下製造業者等の抱える課題及びニーズ」
- 1) 燃費向上及び省資源化のための軽量化

近年の燃費向上への取組として、軽量・高強度な先進部材加工品の構造体への導入が望まれている。しかしながら自動車等への導入が期待されるハイシリコンアルミニウム合金は、軽量・高強度であると同時に難接合材であるため、本合金を用いた既存の部材品は、切削により成形されており、加工時間及び切粉となる素材分に対し非生産的といった難点を抱えている。本合金同士あるいは他の素材との接合が可能になれば大幅な省資源化が期待できる。

2) 溶接品質及び信頼性の向上

現在アルミニウム合金同士を高精度かつ高速で溶接することは非常に困難である。 特に、横ずれを発生させ、位置精度に問題を生じているため、丸形状のアルミニウム 合金材同士の接合技術は未だに確立されたものはない。また、ハイシリコンアルミニ ウムに代表される難接合材においても接合部の最適形状あるいは最適な条件が定まっ ていないことから、品質安定化に難を生じている。

3) 製造コスト削減及び短納期化

本申請研究で対象とするハイシリコンアルミニウム合金は、鍛造・切削により成形されており、溶接性が困難であることから、本合金の溶接に関する研究及び国内・海外(北米・欧州・アジア)製品においても実用化例はほとんど見受けられない。本合金の高速溶接・接合技術が確立されれば、適用範囲の拡大と切削レスによる製造コスト削減及び短納期化に直結する要素技術となる。

②本研究開発の背景

本研究における開発の背景には、自動車社会における燃費の向上、そのための軽量化・省資源化がニーズの根源として存在する。現に顧客のニーズとして、材料のムダを極限まで省いた新旧部品における加工の新工法開発の要望が後を絶たない。

これまで切削で加工していたハイシリコンアルミニウム合金 (下線付き単語は専門用語等の解説を参照、以下同じ)素材の部品を、その形状が点対称であることからこれ

を二つに分割して、<u>冷間鍛造</u>による<u>ニアネットシェイプ</u>加工を実施し、溶接にて接合するという工法の案を策定するに至った。これにより元の素材から切粉を発生させることなくそのまま顧客の要求する形状にするという、いわゆる省資源化・省エネルギー化が図られる工法を開発し、地球温暖化対策のためのグリーン・イノベーションによる環境・エネルギー対応を実施していく。

ハイシリコンアルミニウム合金同士の接合において、接合の阻害要因となる表面の酸化皮膜を除去する為に2トン程度の加圧力を必要としているが、その力が大きいため、母材接合部の溶融と同時に2部品のワークが横滑りをしてしまう。(図1-1-1参照)

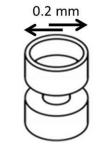


図 1-1-1 横滑りイメージ

1-2 研究の概要

自動車等の輸送機器に使われる部材は、軽量化の目的からアルミニウムが多用されているが、ハイシリコンアルミニウムにおいては国内外を見ても有効な直接接合法がなく、複

雑な形状は切削による加工が主流である。本提案では、有機酸及び低沸点の脂肪酸で酸化 皮膜を除去する手法により高精度接合を実現するもので、切削による原料・エネルギーロ スを削減し、従来工程を大幅に短縮するハイスピード・ローコストの加工技術を確立する。

1-3 研究の目的および目標

自動車等に使われる部材は、軽量化の目的からアルミニウムが多用されているが、軽量・ 高強度な先進部材加工品を用いた新工法開発が強く求められている。そこで、省資源新工法と して切削加工していたハイシリコンアルミニウム合金素材の部品を、冷間鍛造によるニアネット シェイプ加工を実施し、溶接にて接合するという工法の案を策定するに至った。しかし、難接合 材における直接接合法において、現在では技術が確立されていない。難接合材であるハイシリ コンアルミニウム合金同士を接合する場合、阻害要因となる酸化皮膜を破壊するために2トン程 度の大きな加圧力を有する。その力が大きいため、母材接合部の溶融と同時に2部品の横滑り が生じ位置精度を満足する事ができない。継手強度と接合ひずみは比例関係にあるため位置 精度を向上するには加圧力を低減する必要がある。

そこで本申請研究の目標値は以下のように設定する。

<研究開発の目標値>

【1】素材形状を形成する鍛造条件、表面硬化処理の確立、接合部形状の研究、位置出し治具の開発

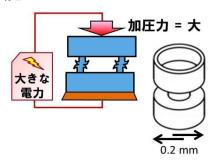


図 1-3-1 従来の抵抗溶接法イメージ

加圧力が大=使用電力が大
⇒ズレ量が大きい(BM:0.2mm)
T6熱処理による変化
接合部によるズレ
接合によるズレ
⇒部品の横ズレ 0.2mm 発生

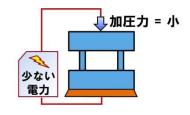


図 1-3-2 理想の抵抗溶接法イメージ



[接合部位形状の変更例]

- •接合部形状の最適化
- ・これらの課題に対応する解決策を実施

二部品の横ずれ位置精度 0.1mm 以下

【2】難接合材との接合のための表面活性化接合法の開発≪処理条件・接合条件の最適化≫

接合部の表面仕上げ ⇒酸化皮膜が発生

接合部の耐久性が低い ⇒引張、圧縮、曲げ、せん断力



① 接合阻害因子である酸化皮膜を還元除去 or 置換反応させる。

(環境調和型の有機酸・アルカリ処理等)

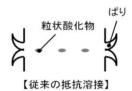
② 皮膜除去により低温で高い接続強度を得る。

表面処理条件・接合条件の確立

【3】接合面積の小さい接合に適した表面改質抵抗溶接法の開発 《処理条件・溶接条件の最適化》

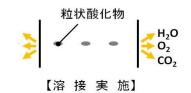
接合阻害因子である酸化皮膜を破壊分散 ⇒大きな溶接圧力が必要(BM:2ton)

溶接圧力が大きい ⇒溶接バリ発生、 位置精度悪化、 電力が大



① 面改質させ溶接時の急加熱を利用して酸化皮膜を破壊

② バリの排出を抑制



加圧力低減:1ton以下

L_

【4】難接合材との接合における接合条件の最適化の研究開発

- ・最適な溶接条件を決定する・難接合材を接合させる
- ・【2】【3】を組み合わせることによる最適条件を確立する







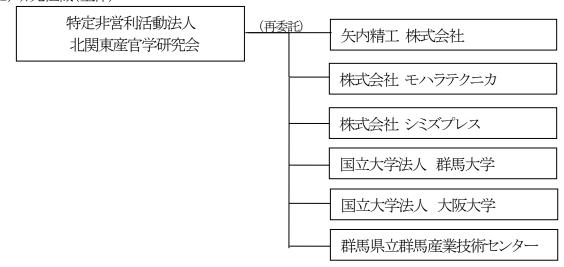


低温・短時間接合により溶接 熱影響部や金属間化合物層 (脆弱層)の形成を抑制

これらの課題を解決することで、自動車部品・附属品および家電、航空宇宙などの分野においても軽量・高強度化に資する新たな溶接技術の確立を目指す。

1—4 研究体制

- (1) 研究組織及び管理体制
 - 1)研究組織(全体)



<管理法人>

特定非営利活動法人 北関東産官学研究会 ・財務・事務管理

<仕入先> が方河スカイ株式会社(アルミニウム) JFE スチール 株式会社 (鉄) 技術 技術相談 🖊 発注 納入 指導 【研究開発実施機関(法認定申請企業)】 技術相談 🕕 ▼ 矢内精工株式会社 技術 総括研究の役割 指導 •冷間鍛造によるワークの作成 電気炉装置選定と接合 技術相談 ・接合強度に関する調査研究 技術 指導 発注 4 販売 技術 [販売先]アドバイザー 支援 日産自動車株式会社 技術 ・EV向けアルミ製熱交換器 相談 ·自動車軽量化部品開発 技術 支援 NISSAN SHIFT_the way you move 技術 相談 エア. ウォーター株式会社 医療用機器継手部品 ・ガスフィッティング類の構成部品 ✓ エアウォータ 株式会社 サンデン株式会社 ・自動車空調用コンプレッサー ·EV空調用熱交換器 ⇒本田技研工業/日産自動車など SANDEN ミツバ株式会社 ·EV空調機部品

·自動車電装部品(軽量化) ⇒本田技研工業/富士重工業など

MITSUBA

【研究開発実施機関】 群馬大学工学部

- 接合表面の改質手法の開発
- ・難加工材のトライ品作成
- 接合条件及び電極形状の最適化

【研究開発実施機関】 大阪大学

・接合界面のナノスケール観察に よる接続強度との関係解明

【研究開発実施機関】

群馬県立群馬産業技術センター

・結合状態の調査と観察 (切断装置、金属顕微鏡装置)

【研究開発実施機関】 株式会社シミズプレス

·金型、治具の設計製作 SHIMIZU PRESS

corporation.

【研究開発実施機関】

株式会社モハラテクニカ

難接合材の研究と製品開発

株式会社モハラテクニカ

鳥獸擊退装置

[販売先]

- JR東海(株)
- トコタ自動車(株)
- ダイハツ工業(株)

株式会社 モハラテクニカ MOHARA TECHNICA

○研究者氏名

【総括事業代表者(PM)】

氏名	所属·役職
長田 秀夫	矢内精工株式会社•専務取締役

【副総括研究代表者(SL)】

氏名	所属•役職
小山 真司	群馬大学大学院工学研究科•助教

【管理法人】事業管理機関

氏名	所属•役職
萩原 三男	特定非営利活動法人 北関東産官学研究会

【再委託先】

矢内精工株式会社

氏名	所属•役職
長田 秀夫	専務取締役
須田 義之	技術開発課
清水 吉明	技術開発課
内村 博人	技術開発課

株式会社モハラテクニカ

氏名	所属·役職
茂原 純一	代表取締役
根岸 弘行	事業部長
茂原 勝彦	工場長

株式会社シミズプレス

氏名	所属・役職
清水 紀幸	代表取締役
関根 健一郎	金型部門長
斉藤 正芳	営業技術

国立大学法人群馬大学

氏名	所属•役職
荘司 邦夫	教授
半谷 禎彦	准教授
小山 真司	助教

国立大学法人大阪大学

氏名	所属•役職
高橋 誠	講師

群馬県立群馬産業技術センター

氏名	所属•役職
小宅 勝	研究調整官
加部 重好	機械係

○アドバイザー

氏名	所属•役職
村上 裕一	日産自動車株式会社 企画グループ。エキスパートリーダー
北川 英二郎	関東エア・ウォーター株式会社 太田営業所所長
長瀬 裕一	株式会社ミツバ 常務執行役員生産技術担当
小和田 雅明	サンデン株式会社 製造本部

○研究開発委員会

氏 名	所属·役職	備考
長田 秀夫	矢内精工株式会社 専務取締役	PL
須田 義之	矢内精工株式会社 技術開発課	
清水 吉明	矢内精工株式会社 技術開発課	
内村 博人	矢内精工株式会社 技術開発課	
茂原 純一	株式会社 モハラテクニカ	
清水 紀幸	株式会社 シミズプレス	
荘司 郁夫	群馬大学大学院工学研究科 教授	
半谷 禎彦	群馬大学大学院工学研究科 准教授	
小山 真司	群馬大学大学院工学研究科 助教	SL
高橋 誠	大阪大学接合科学研究所 講師	
小宅 勝	群馬県立群馬産業技術センター 研究調整官	
加部 重好	群馬県立群馬産業技術センター 機械係	
村上 裕一	日産自動車株式会社 企画グループ	
	エキスパートリーダー	アドバイザー
北川 英二郎	関東エア・ウォーター株式会社太田営業所所長	アドバイザー
長瀬 裕一	株式会社ミツバ 常務執行役員生産技術担当	アドバイザー
小和田 雅明	サンデン株式会社 製造本部	アドバイザー

1-5 成果概要

アルミニウム同士の接合において接合阻害因子である酸化皮膜を還元除去あるいは置換させるために接合部の最終表面仕上げとしてアルカリ処理および有機酸処理を施すことで接合部の接合強度(原子間結合)をより低温・低変形量で行う事に成功した。

接合ひずみが、非常に小さいことから接合における横ずれも微小であり懸念するレベルではない。また、接合強度においても材料強度以上を満足している。表面活性化処理条件及び接合条件については、一定の技術見極めができたと考える。

今後は、現在も取り組んでいるハイシリコンアルミニウムと異種金属の接合条件の見極めを進めていきたい。

また、事業化に向けて取り組むべき課題は多々あるが、製品開発に向けて取り組んでいきたい。

接合面積の比較的小さい接合に適した表面改質抵抗溶接法の開発

アルミニウム同士の接合を行う上で、表面処理を行い接合阻害因子である酸化皮膜を還元除去あるいは置換させた物と、処理を行わない物とで接合条件が大きく変わり、接合強度に差が生じることを確認した。表面改質を施すことで、大幅に接合強度を向上させることができる。また、本接合法は、接合時に材料を溶融して接合しているのではなく酸化皮膜が除去されることにより母材同士が拡散して接合している。接合条件については、一定の技術見極めができたと考える。今後は、ハイシリコンアルミニウムと異種金属の接合条件の見極めおよび更なる低加圧力・低電力(エネルギー)で接合させる条件の研究開発を進めていきたい。また、事業化に向けて電極の寿命把握(長寿命化)、治具の精度維持管理、ワーク供給搬出方法の考案などの研究を進めていきたい。

1-6 当該プロジェクト連絡窓口

特定非営利活動法人 北関東産官学研究会 萩原三男

〒376-0024 群馬県桐生市織姫町2番5号(財)桐生地域地場産業振興センター4階

TEL: 0277-46-1061 E-mail: hagiwara@hikalo.jp

第2章 難接合材との接合のための表面活性化接合法の開発

2-1 ワーク接合部の形状検討

形状を決めるために必要な項目

ハイシリコンアルミニウム同士の接合を行うのに適したワーク形状の検討を実施

- ・接合加圧力に耐えうる形状
- •接合面積の設定。※接合加圧力、電流密度を考慮
- ・位置精度及び継手強度を保持するため接合部と電極接触部の平行度
- ・接合後の変形量(ひずみ量)を考慮した接合部材間のクリアランス設定

上記項目を有限要素法(CAE解析)や実際の接合ワーク測定(同心度測定など)で検証。

接合部形状をいくつかのパターン準備し、3次元モデル化して、接合時の加圧力を加えた時の変形量・変形箇所・応力集中箇所などを有限要素法(CAE解析)にて検証を実施した。 解析条件を図 2-1-1 に示す。

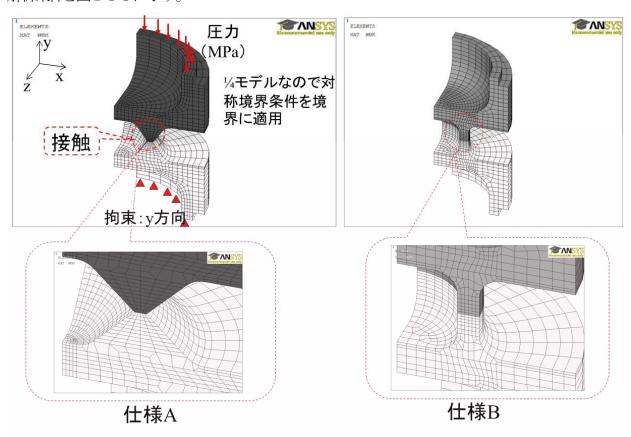


図2-1-1 解析条件(例 仕様 A、仕様B)

解析結果(仕様A)

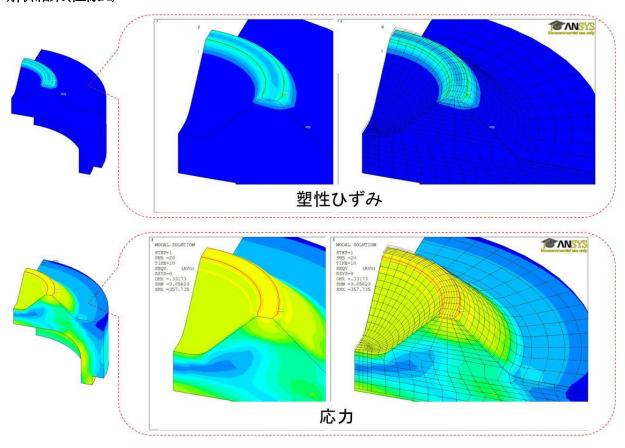


図2-1-2 解析結果(仕様A)

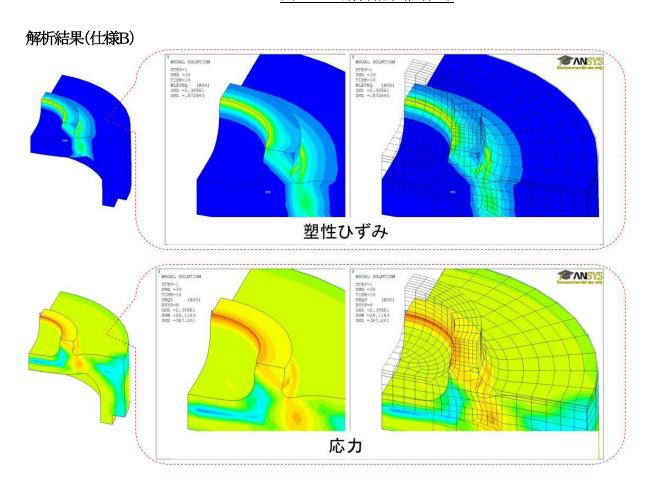


図2-1-3 解析結果(仕様B)

【結論】

解析の結果、接合部の変形を極力減らすことで安定した接合部を得るには、仕様Aの台形型が最も適している。また、形状の寸法は、要求される接合部の継手強度により異なることから一概には決定できないが今回の接合条件における形状については見極めができたと考える。

②接合面積の設 定

接合面積は、接合条件因子である「加圧力」・「電圧」に大きな影響があるため重要である。従って、接合面積と表面改質の影響を確認する。

接合面積:A、2A、3A(面積比率)

接合条件:加圧力、電圧は一定

接合面積と継手強度の関係を図2-1-4に示す。

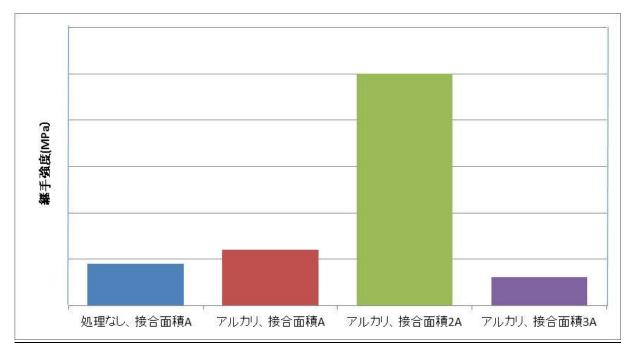


図 2-1-4 接合面積と接合部の継手強度の関係

【結論】

接合面積が狭い A 仕様は、表面改質の効果が十分でないため接合界面性状が不安定になり表面改質の有無により接合部の継手強度に差が生じない。逆に3倍にした3A仕様は、加圧力と電圧のバランスがとれず継手強度が低かったと考える。要求される接合部の継手強度により条件は異なるが、加圧力・電圧を極力抑えた状態で表面改質処理が有効に作用する接合面積を見極める必要があり、今回の接合ワークにおいては、接合部の継手強度が大きく向上する接合面積2A仕様が適している。

2-2 接合表面の活性化処理手法の検討

アルミニウムのバー材を切断して円柱のテストピースを作成し、接合面を①機械研磨 ②アルカリ 処理 ③アルカリ処理+有機酸処理 の3仕様として活性化を行い、接合部の継手強度及び接合時のひずみについて実験を行い処理条件の効果確認を行った。

写真 2-2-1 に機械研磨およびアルカリ処理および有機酸処理を施した処理表面を走査型電子顕微鏡(SEM)にて観察した結果を示す。

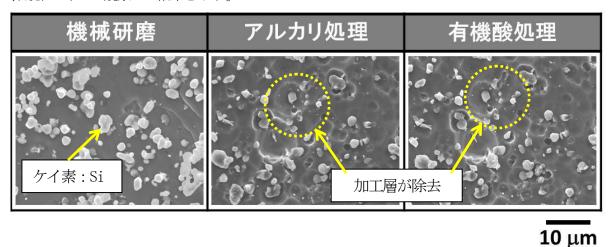


写真2-2-1 機械研磨およびアルカリ処理および有機酸処理後の処理表面(SEM)

2-3 接合条件の検討

本接合は、群馬大学機械システム工学科の実験室に設置されている設備を使用した。接合条件の因子としては、①低真空中(Pa) ②時間(min) ③圧力(MPa) ④温度(K) について条件出しを行い見極めを行った。

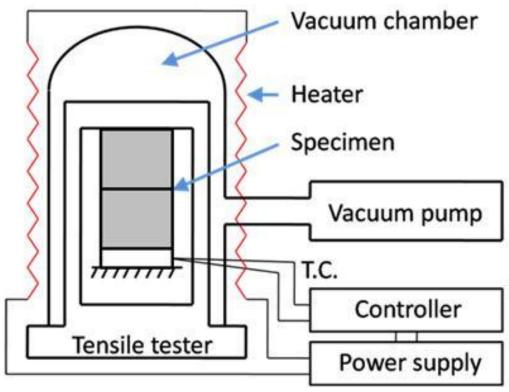


図2-3-1 表面活性化接合設備イメージ図

2-4 接合強度の測定および位置精度測定

接合したワークの継手強度評価は、直接ワーク自体を引張って破断させる方法をとるために㈱シミズプレスにてワーク接合部のくびれに爪が入り接合部を破断する治具を作成した。実際の引張荷重測定は、群馬産業技術センターの引張試験機(100KN)を使って測定を行った。



写真 2-4-1 インストロン社製 100KN 引張試験機

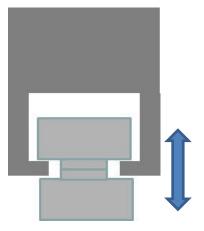


図 2-4-1 引張治具

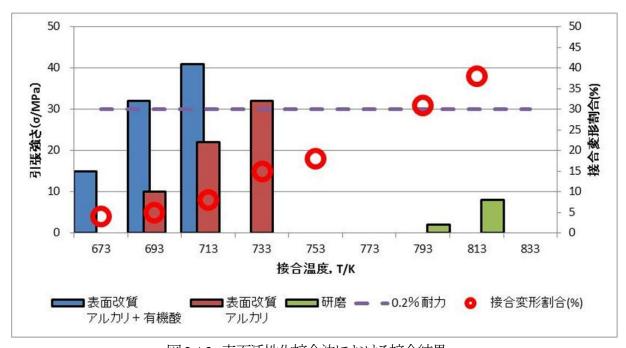
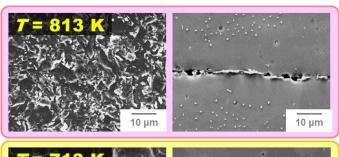
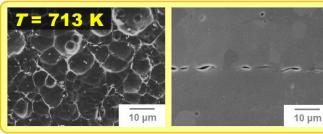


図2-42 表面活性化接合法における接合結果

2-5 結合組織の観察

走査型電子顕微鏡(SEM)にて接合界面の観察を行った。 写真 2-5-1 破面観察および接合部の界面観察結果を示す。





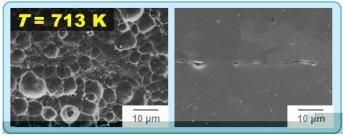


写真 2-5-1 破面観察および接合部の界面観察結果

【結論】

表面活性化接合法における接合結果(図 2-4-2)からも分かるように、接合温度を上昇させると改質処理の有無に関わらず継手強度は向上する。0.2%耐力で比較すると③アルカリ処理+有機酸は 693K で接合しているが②アルカリ処理は 733K と③より 40K 高くなる。①機械研磨は、100K 以上高くしても 0.2%耐力まで到達しない。改質処理を施すことで、より低温で接合することができる。また、接合時の変形量についても 0.2%耐力接合条件である 693K での変形割合量 5%と非常に微小であり目標の 0.1mmを達成した。

接合表面の活性化を行う事で、より低温・低変形量で高い継手強度を得ることができる。

第3章接合面積の比較的小さい接合に適した表面改質抵抗溶接法の開発

3-1 電極形状の検討

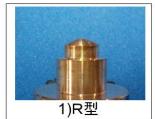
①......電極材料の選 定

ハイシリコンアルミニウムを接合させる電極は、通電性を考慮して銅電極を使用する。

②......電極の課題と 対策

接合時に電極先端の損傷が激しく繰り返しでの使用が困難なため交換頻度が高い。 ⇒電極交換の簡略化と経済性を考慮してチップのみ脱着できる吸込み式とする。

③......チップ先端形 状の選定







先端形状	チップ損傷具合	ワークへの影響 変形	ワークへの影響 外観	接合条件	コスト	得点	判定
1)R型	2	2	1	4	2	11	×
2)テーパーフラット型	5	5	3	3	3	19	0
3)凸フラット型	5	5	3	5	5	23	0

写真 3-1-1 チップ先端形状および表 3-1-1 検討結果

2)テーパーフラット型、3)凸フラット型にて接合実験を複数回行い、接合部の継手強度データを整理したところデータにバラツキが多いことが分かった。

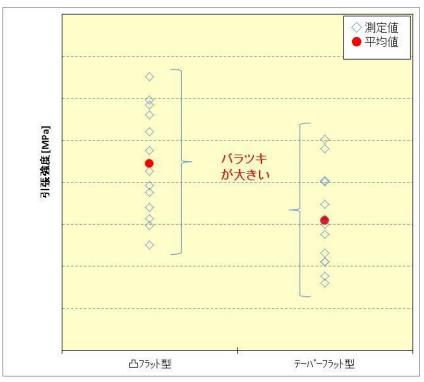


図3-1-1 チップ先端形状違いによる継手強度測定結果

バラツキが大きくなってしまう原因として考えられる以下の事について検討を行った。

- ・上下の電極が水平にワークに接していない。
 - →威圧紙を挟んで電極の当たり具合を確認。問題なし。
- ・ワークと電極が接触する箇所の発熱が課題になる。
- ⇒ワークと電極の接触部でスパッタが発生していることからワーク側接点の磨き処理を実施。スパークが無くなり効果あり。ただし、若干の電極損傷は発生する。(3-2項で対策検討)
- ・電極が接合時の加圧荷重に耐えられずアダプターに入り込んでしまう。
- ⇒繰り返し実験を行っているとアダプターに電極が入り込んでいるケースがありテーパー ϕ 16× T16×1/10 では受けきれない。

チップ先端のみの交換式で検討を進めてきたが、ある一定以上の加圧力を加える方が安定することが分りこの条件下では、耐荷重不足によりチップアダプターに入り込んでしまう。 対策としてチップとチップアダプターを一体化した。

【結論】

チップ先端形状は先端凸フラット型とし、電極形状はチップとチップアダプターを一体化とする。

3-2 電極の保護

接合検討において、電極状態が変化することにより接合条件が変わってしまう事を懸念して当初はチップのみ脱着できる吸込み式を採用したが3-1項で設定加圧力を保持することができず接合強度がばらついてしまう事が分かり一体化電極とした。従って、チップ先端の摩耗・損傷などにより接合状態が変わってしまうためチップ先端の保護検討が必要になる。

チップ先端の損傷を防ぐためプロセスシートを挟み込むことで、電極とワークが接触する事無く 接合できるためチップ先端が損傷しない。

【結論】

繰り返し電極を使用できることに成功し接合条件の変化を抑えることができた。

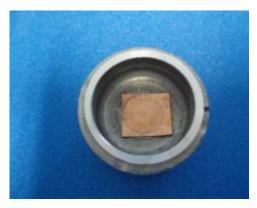


写真 3-2-1 プロセスシートセット状態

3-3 抵抗溶接法での接合条件検討

溶接機を使って、ワーク同士に加圧を加えることで接合部に抵抗をもたせ電圧を印加することで接合阻害因子である酸化皮膜を除去させ接合させる。プロジェクション溶接と異なる大きな点は、ワークを溶融させて接合していないところにある。

従って、抵抗溶接法は求める継手強度に応じて加圧力・印加電圧条件を見極める必要がある。

3-4 ワーク形状および鍛造金型の検討

ワーク形状は、「2—1」同様に酸化皮膜を除去するのに最適な形状で実施。鍛造金型については、微小形状造形押出し装置を使って1 工程にて冷間鍛造成型する。成型工程は1 工程ではあるが今回導入した微小形状造形押出し装置は、成型中に成型速度を任意で設定することができるため従来のプレス機と異なり成型において自由度が増えるため本製品を成型するには必要となる。成型の形状については、特に接合部の接合面積及び形状の剛性が重要であり高い金型成型精度が求められる。

3-5 横ずれが発生するメカニズム検討

抵抗溶接法による接合は、前述したように接合時に加圧してかつ、電圧を印加して酸化皮膜を除去させることから接合時に横ずれが発生してしまう課題がある。

<横ずれ発生のメカニズム>

ワークを加圧しながら設定加圧力に達した時に電圧を印加する。接合部が発熱して酸化皮膜が外部に飛散することで、接合阻害因子である酸化皮膜が除去され接合される。

仮説:酸化皮膜が外部に飛散して接合する時に加圧力が高いと横ずれ量が大きくなる。

接合実験

印加電圧を一定にして加圧力を3水準 $(\alpha < \beta < \gamma)$ とし、加圧力の差による横ずれの影響度を確認する。

印加電圧:一定(印加電圧:b(V))

加圧力:3水準($\alpha < \beta < \gamma$)

表面処理:機械研磨(未処理品)

接合面積:2A ※図 2-1-4 結果より

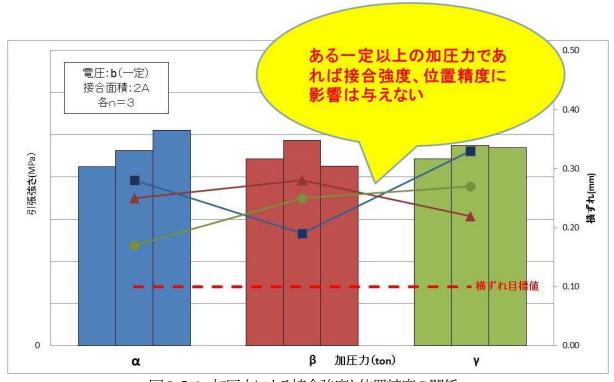


図 3-5-1 加圧力による接合強度と位置精度の関係



写真 3-5-1 接合実験

【結果】

図3-5-1より加圧力の差による横ずれ量を比較すると、0.20~0.35mm であり加圧力の差による横ずれの影響は確認できない。

接合強度に於いては加圧力を上げても強度に有意差が生じない。

横ずれについては加圧力変化による有意差がなく他の要因が影響していると考える。当初考えていた横ずれ発生の仮説と異なることが分かった。

従って、接合時にワークを固定している治具精度の改善を進める。

3-6 位置出し治具の検討(ワーク固定治具の見直し)

開発当初からワークを固定させる治具について検討を進めてきたが、3-5 項で横ずれの原因が接合時の加圧力設定値ではないことがわかったため、治具の見直しを行う。

<対策項目>

上記の対策を施した治具にて接合における横ずれの効果確認を実施する。

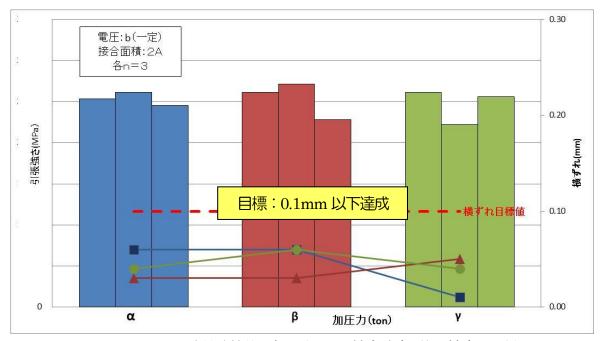


図3-6-1 治具改善後の加圧力による接合強度と位置精度の関係

【結論】

当初、接合荷重を低減することで位置精度(横ずれ)を改善できると考えて取り組んでいたが、加圧力は接合部の継手強度を安定的に向上させるためにある一定以上は必要であることが分かった。 また、図 3-6-1 の結果からも分かるように加圧力の差により位置精度は変化しないことから、治具の形状改善などを盛り込むことで拘束力を向上させ、目標であった位置精度半減化 0.1mm 以下を達成することができた。

3-7 表面改質処理方法の検討

成型したワークの接合面に①機械研磨 ②アルカリ処理 ③アルカリ処理+有機酸処理の3仕様に表面改質処理を行い接合部の継手強度及び接合時のひずみについて実験を行い処理条件の効果見極めを行った。

写真 3-7-1 に②アルカリ処理を施した接合部を走査型電子顕微鏡(SEM)にて観察した結果を示す。

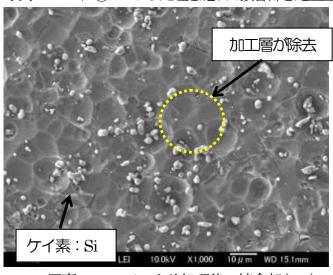


写真 3-7-1 アルカリ処理後の接合部(SEM)

ハイシリコンアルミニウム接合目標値を下記のように設定する

接合部の継手強度:材料強度以上

位置精度:横ずれ 0.1mm 以下

抵抗溶接法による表面改質接合結果を図3-7-1に示す。

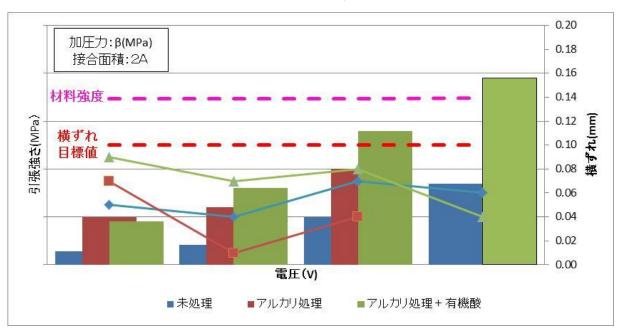


図3-7-1 抵抗溶接法による表面改質接合結果

【結論】

接合条件において電圧を上げると継手強度の向上が確認できる。更に表面改質処理を施すことで継手強度が向上することから、より低電圧で接合強度を材料強度に近づけることができる。 横ずれについては、表面改質による影響は受けていない。

3-8 接合強度の測定および位置精度測定

2-4 同様に接合したワークの継手強度評価は、直接ワーク自体を引張破断させる。 (株)シミズプレスにて治具を作成。 群馬産業技術センターにて引張測定を実施。



写真 3-8-1 インストロン社製 100KN 引張試験機

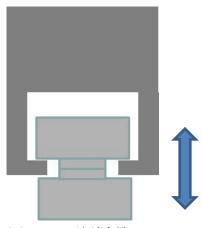


図3-8-1 引張治具

位置精度の確認は、ワークの上下で同心度を測定した。

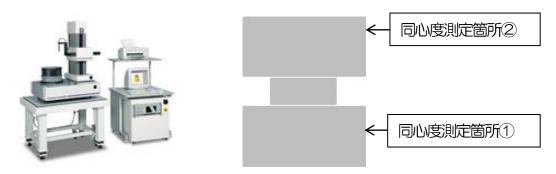


写真 3-8-2 東京精密製の真円度測定機

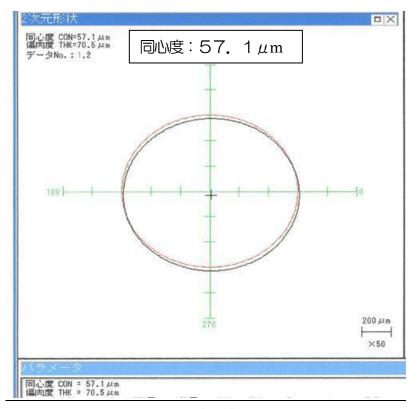


図3-8-1 真円度測定結果

目標値:100μm以下を達成

3-9 結合組織の観察

3-9-1 金属顕微鏡による組織観察

群馬産業技術センターの金属顕微鏡(光学顕微鏡)を使って接合したワークの接合界面の組織観察を行った。

観察方法は、テストピースのセンターを切断した後、樹脂に試料を埋め込み研磨仕上げする。 観察倍率:50倍 400倍 1000倍

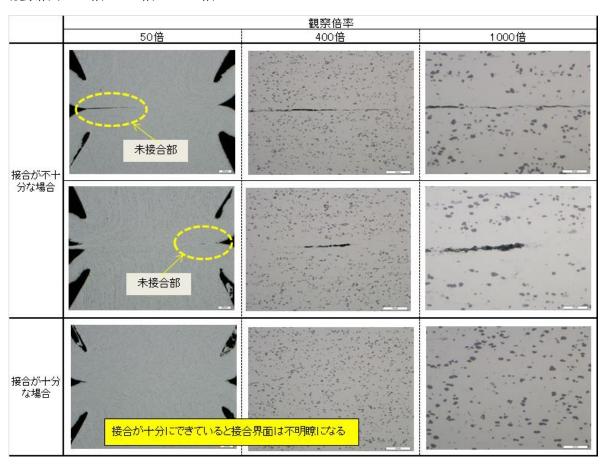


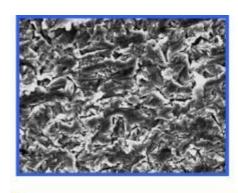
写真 3-9-1 接合部の組織観察

【結果】

接合部を観察してみると接合が不十分な場合、空隙(未接合部)が観察できる。接合が十分にできている場合、同種金属同士の接合であるため接合界面が不明瞭になる。

3-9-2 走査型電子顕微鏡(SEM)/透過型電子顕微鏡(TEM)による組織観察

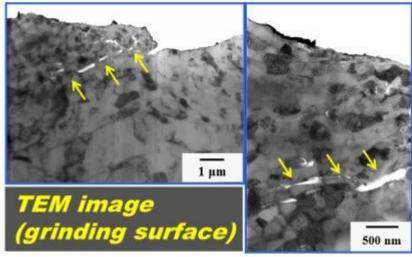
表面改質処理の有無により接合部の継手強度に有意差が生じた原因追究として更に接合界面を大阪大学の走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope; SEM)と透過型電子顕微鏡(Transmi ssion Electron Microscope; TEM)を使って確認する。



研磨面

(SEM 像)

めくれあがりや掘り起こされた層が観察された。



研磨面の断面 (TEM 像)

写真 3-9-4 未処理品の接合界面観察(SEM・TEM)

表面近傍の結晶粒が微細化:加工硬化層→接合時に塑性変形阻害→密着化を阻害 脱落した研磨屑が再付着:脱落しやすい→引張試験時に簡単にはく離

◇これらが「未処理では低い接続強度」の原因になったものと考えられる

表面改質処理の有無による接合界面の観察結果を写真 3-9-5、写真 3-9-6 に示す。 **処理を施さなかった場合**

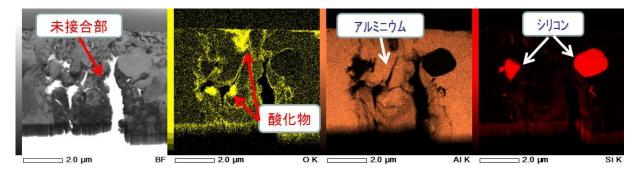


写真 3-9-5 未処理品の接合界面観察

処理を施した場合

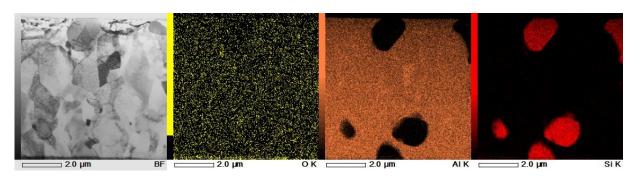


図 3-9-6 アルカリ処理+有機酸処理の接合界面観察

【結論】

表面改質としてアルカリ処理により加工層が除去され、有機酸により酸化皮膜をより高効率で除去 することができるようになったことで、同条件において接合部の継手強度に有意差が生じた。

未処理品の接合界面からは、未接合部が観察され、接合部周辺から酸化物が検出された。処理 を施した接合界面では、未接合部・酸化物が観察できないことから原子間結合しているといえる。

第 4 章 難接合材との接合における接合条件の最適化の研究開発

4-1 難接合材の材料選定

材料選定は、各分野で使われている金属材料の中で特に使用用途が多いものと考えられる「アルミニウムと銅」「アルミニウム+ステンレス」の難接合材を選定する。

異種金属の接合

1)	アルミニウム
- +銅	
②	
+SUS 3 0 4	

4-2 表面処理の検討

表面処理については、2-2、3-7 で実施して効果の確認ができたアルカリ処理およびアルカリ処理+有機酸処理を施して効果の確認を行う。

4-3 表面活性化接合法における異種金属接合条件の検討

4-3-1 各種異種金属の接合方法

供試品:各材料を φ 20 の円柱形状にして 2-3 同様に、群馬大学機械システム工学科の実験室に設置されている設備を使用した。接合条件の因子としては、①低真空中(Pa) ②時間 (min) ③圧力(MPa) ④温度(K) について条件出しを行い見極めを行った。

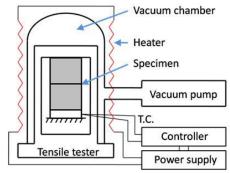


図 4-3-1 表面活性化接合設備イメージ

4-3-2 アルミニウムと銅の接合検討

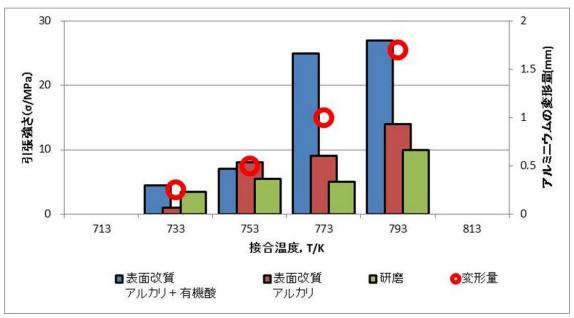


図 4-3-2-1 アルミニウムと銅の表面活性化接合結果

【結果】

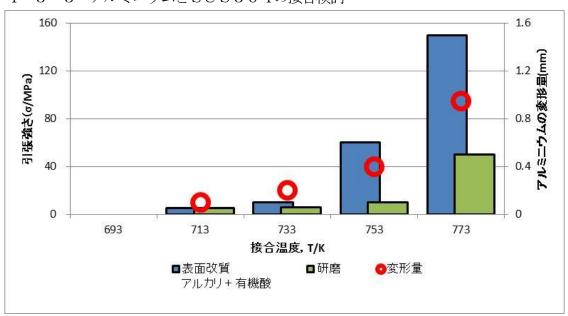
表面改質処理の効果

接合温度上昇:改質処理の有無に関わらず継手の引張強さが上昇

改質処理の適用:接合温度をより低温・低変形量で高い引張強さをもつ継手が得られる

【結論】

表面化活性化接合法にてアルミニウムと銅を接合することは可能。また、表面改質処理の 効果も大きく特に有機酸による酸化皮膜除去効率は高いことが分かった。



4-3-3 アルミニウムとSUS304の接合検討

図4-3-3-1 アルミニウムとSUS304の表面活性化接合結果

【結果】

表面改質処理の効果

接合温度上昇: 改質処理の有無に関わらず継手の引張強さが上昇する。

改質処理の適用:接合温度をより低温・低変形量で高い引張強さをもつ継手が得られる。

【結論】

表面化活性化接合法にてアルミニウムとSUS304を接合することは可能。表面改質処理 (アルカリ処理+有機酸処理) において酸化皮膜除去効率の高いことが分かった。 異種金属 (ステンレス) の接合においては、SUS 材の Cr を主体とする酸化物に比べアルミニウムの酸化物の方が接合を大きく阻害すると考えられる。従って、表面活性化接合法にてアルミニウムの酸化物を除去することにより、他の品番 (SUS316、430)においても接合については問題ないと推測する。

4-4 表面改質抵抗溶接法にて異種金属接合条件の検討

供試品:3章で実施したハイシリコンアルミニウム同士の接合と同様に各種異種金属を (株モハラテクニカにて作成し抵抗溶接法で接合実験を行った。

【結果】

異種金属との接合実験は、接合部の表面改質を実施し接合条件は、加圧力・電圧を変更して接合を行った。しかし、異種金属による物理的性質(融点)が異なることから酸化皮膜を十分に除去することができず接合には至らなかった。

今後、更なる原因の追究を行い接合形状の検討および物理的性質を近づけるための表面処理条件などを研究して表面改質抵抗溶接法を実施する。

第 5 章 全体総括

5-1 序

平成23年度の単年ではあったが、汎用接合技術の開発に取り組んできた。今後も参画機関やアドバイザーと協力して補完研究を続行し、そのための研究資金の確保に取り組む。

5-2 今後の研究開発および事業化に向けて

本研究では、難接合材であるハイシリコンアルミニウム材料の接合において表面活性化接合法と表面改質抵抗溶接法の2つの手法で接合方法の研究を行っている。この2つの接合研究において接合阻害因子である酸化皮膜について、アルカリ処理を施すことにより加工層を除去し、有機酸にて処理を施すことにより酸化皮膜をより効果的に除去することができることが実証された。酸化皮膜を除去することにより金属同士での拡散接合が可能となりハイシリコンアルミニウムの高精度・高強度接合に成功した。

今後の研究開発の課題としては、他の難接合材である銅やステンレスなど異種金属との接合条件の見極めおよび更なる低加圧・低電力で接合させる条件の研究開発を進めていく必要がある。

本研究で難接合材であるハイシリコンアルミニウムを接合する技術の開発により軽量・ 高強度な製品は自動車産業に留まらず家電産業や航空産業など様々な産業においてニーズ があることから要求製品にあった接合方法で、今後も異種金属など多くの難接合材の接合 技術を開発して製品化していきたいと考えます。

5-3 用語集

ハイシリコンアルミニウム合金

アルミニウム合金の中で、シリコン比率が高い合金の名称。

冷間鍛造

鍛造工法の中で、再結晶温度以下の常温で成形する。

ニアネットシェイプ

完成品もしくは、加工取代が僅かである形を有した部品形状のこと。

点対称

当該部品の中心を軸に 180 度回転させても同一形状となる、左右上下対称であること。 拡散接合

母材を密着させ、母材の融点以下の温度条件で、塑性変形を生じない程度に加圧して、 接合面間に生じる原子の拡散を利用して接合する方法をいう。