

異材溶接・接合のニーズと 今後の技術開発の動向

中 田 一 博，牛 尾 誠 夫

溶接学会誌 第71巻 第6号 別刷

平成14年9月

特集

異材溶接・接合

異材溶接・接合のニーズと 今後の技術開発の動向*

中田 一博**, 牛尾 誠夫**



中田 一博



牛尾 誠夫

Needs and Prospects of Dissimilar Metal Joining and Welding*

by NAKATA Kazuhiro** and USHIO Masao**

キーワード

異材接合, 溶融溶接, ろう付, 固相接合, レーザ溶接, プレーズ溶接, FSW, 鉄鋼材料, アルミニウム, 非鉄金属,

1. はじめに

大阪大学接合科学研究所では5大学, 10民間企業の参加を得て, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の研究基盤施設活用型先導的基礎研究調査事業に係る委託調査として, (財)宇宙環境利用推進センターより委託を受けて平成12年度および13年度にわたって調査研究「異材溶接技術の基礎研究」(委員長:牛尾誠夫所長)を実施した。この中で, 21世紀初頭における異材接合技術への期待と, 従来までは困難とされてきた異材接合継手の実現に向けてのブレイクスルー技術の展望について調査を行った。本稿では, 調査研究の一環として(社)溶接学会の御協力を得て実施した異材接合に関するアンケート調査結果¹⁾と調査研究結果²⁾の一部を簡単に紹介する。

2. 異材接合に関するアンケート調査結果

2.1 アンケート調査の目的と調査範囲

異材接合技術の現状把握を行うと共に, 21世紀における異材接合に対するニーズ把握および次世代異材接合技術としての開発期待技術の調査を目的として, 溶接学会の各種研究委員会参加企業会員384名へのアンケート調査を行った。回答は我が国の製造業をほぼ網羅するように広範囲の製造業種の128名の方々から回答を得ており, 回収率は33%であった。

2.2 異材接合のニーズ

21世紀において異材接合が必要かどうかの問いかけに対しては図1に示すごとく, 実に90%が必要もしくは大いに必要としている。またこれまでに異材接合の実用化

経験のある企業は表1に示すように各業種ともに過半数に達している。これらのことから, 異材接合の技術開発のニーズは極めて大きいことが明白である。

2.3 今後望まれる異材接合の組合せとその接合法

さて, それでは21世紀に入って異材接合に対して何が望まれ, 必要とされているのであろうか?

(1) 異材接合の組合せに対するニーズ

まず, 図2及び3は異材接合の材料組合せにおいて, それぞれこれまでに実用化されたものと将来必要とされるものを示す。実用化例では金属同士の異材接合が約75%を占めており, また将来においても過半数を上まわっているが, その比率は減少している。これに代わって金属と非金属(セラミックス, プラスチック, 複合材)との異材接合が半数近くまで増加しており, 将来のニーズ増加が予想されている。

将来においても最も需要が多いと考えられる金属同士の異材接合について, 具体的な材料の組合せを示したのが図4である。現状の実用化技術では鉄・ステンレス鋼

表1 異材接合の実用化経験がある割合(業種別)

業種		異材接合実用化 経験有り
構造物・組立	機械	66%
	建設・土木	57%
	エンジニアリング	75%
	プラント製造	70%
輸送機器	造船	44%
	航空・宇宙	50%
	自動車	64%
	鉄道車両	57%
機能物	電機	52%
	精密	62%
材料	鉄鋼	42%
	非鉄金属	50%
	化学	71%
その他	その他	52%

*原稿受付 平成14年6月3日

**正 員 大阪大学接合科学研究所 Member, Joining & Welding
Research Institute, Osaka University

(SUS)系同士の組合せが30%を占めていたが(図は省略)、将来的にはこれが9%にまで減少し、代わって鉄・SUS/非鉄金属が過半数の52%まで増加している。特に、鉄・SUS/アルミニウムの組合せが全体の24%に達しており、次いで鉄・SUS/チタン、鉄・SUS/銅が多い。また非鉄金属同士ではアルミニウム/銅が多い。すなわちアルミニウム、チタン、銅、鉄・SUS間の異材接合が将来的にはより多く望まれていることが明らかになった。

これら異材継手の目的機能は表2に示すようになっており、一般製造業における構造材関係では軽量化、耐食性、導電性が、また電子・電気機器関係では導電性、熱伝導性が多く挙げられている。このような傾向は、現状実用化技術と同様であった。異材接合の組合せとその目的機能との関係では、軽量化の観点からは鉄・SUS/アルミニウム、アルミニウム/銅、耐食性に対しては鉄・SUS/チタン、導電性では鉄・SUS/銅、アルミニウム/

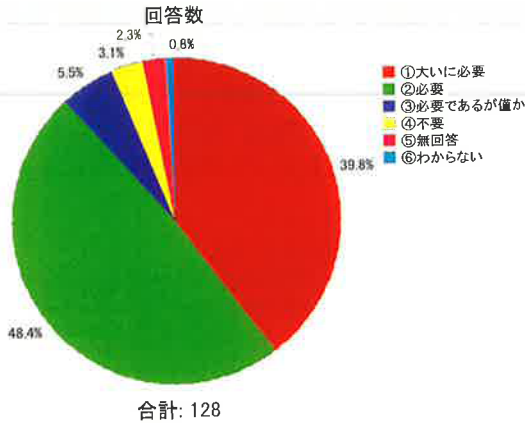


図1 21世紀における異材接合継手の必要性

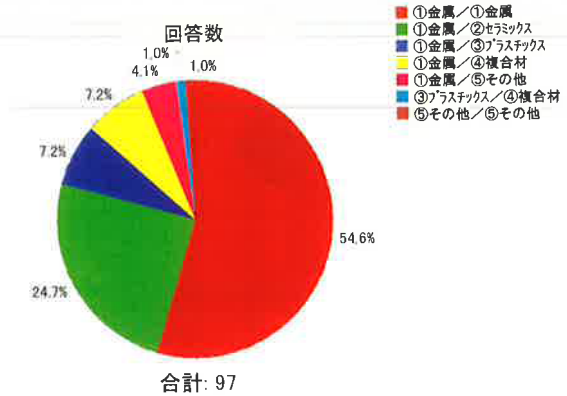


図3 将来的に必要と考えられる異材接合継手の組合せ

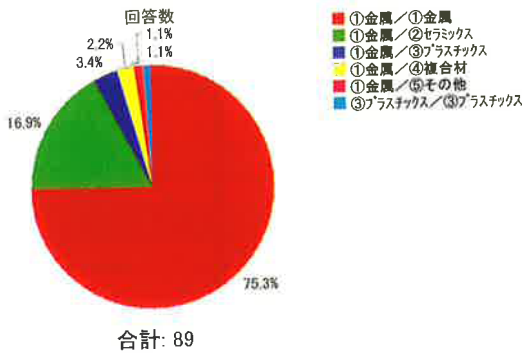


図2 実用化した異材接合継手の組合せ

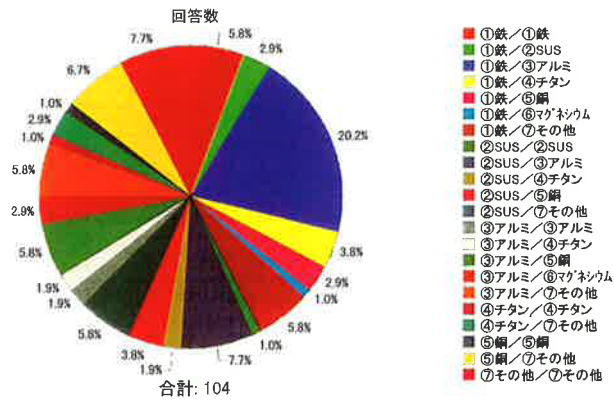


図4 将来的に必要と考えられる金属同士の異材接合継手の組合せ

表2 異材継手の目的機能(電子・電気機器、構造部材)

目的機能	全件数	件数 (電子・電気)	件数 (構造材)	具体的目的例
軽量化	17	1	16	軽量化/剛性;自動車、福祉機器
耐食性	14	-	14	歯科医療
導電性	12	4	8	回路形成、コア部と電極の接合、導電性セラミックスの電極 インクジェットヘッド、圧電素子、デバイス、ヒーター線端子
高強度	7	-	7	低温強度、橋、構造材
コストダウン	7	2	5	
耐熱性	5	-	5	
形状自由度	5	-	5	成型性
耐磨耗性	5	-	5	
熱伝導性	6	2	4	電熱/強度
絶縁性	2	-	2	
低温接合はんだ	2	-	2	プラスチックキャリアとSiチップ
鉛フリーはんだ	2	-	2	
接合不可材料の接合	2	-	2	鋳鉄の接合、はんだ、ろう付け不可材料の接合
施工性	1	-	1	(新幹線)
単純化	1	-	1	防蝕のための絶縁継手の使用が不要になる
断熱性	1	-	1	(LNG船)

銅が主に求められていた。

(2) 接合法に対するニーズ

図5は今後望まれる接合法を示す。溶融溶接法を希望する回答が最も多く、中でもアーク溶接とレーザー溶接が

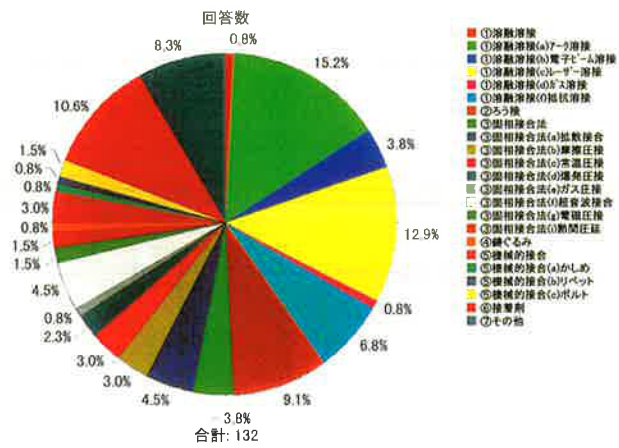


図5 将来的に使用を希望する異材接合法

表3 現在注目されている新しい異材接合技術

接合法	技術内容	注目材料・用途	件数
溶接	材料組合せ	鋼(含SUS)/Al(含Mg);自動車	15
		(セラミックス、複合材)/金属	14
		Ti/鋼;メガフロート、歯科材料	8
		Cu/Al;コンデンサー	3
		Fe/(Fe,SUS)	3
		鋼/金属	2
		セラミックス/プラスチック	2
		Mg/Al	1
		セラミックス/セラミックス	1
		半導体/金属	1
	FSW	Al/鋼	17
	レーザー溶接	電子部品の微細スポット	11
	摩擦接合		8
	拡散接合		4
	液相拡散接合		2
	超音波振動エネルギー真空/加圧		2
	自己燃焼反応焼結		1
	固相接合(アーク/スラグ発熱利用)		1
	パルス接合		1
	シーム溶接		1
表面活性化		1	
マイクロ接合		1	
A-TIG		1	
直接接合		1	
(用途)	福祉機器等(軽量化)	1	
	Ni合金;ガスタービン	1	
機械的接合	かしめ(微細)		1
	リベット		1
はんだ	Pbフリーはんだ		5
	200°C以下の接合技術	Al	2
	はんだ材料		1
	フラックスフリーはんだ(表面改質)		1
ろう付け	ろう材	(Al, Ti)/(Fe, Cu)	2
常温接合	接着		3
	-		2
	溶湯鍛造		1
	印刷		1

多い。また、ろう付法の希望も多い。溶融溶接とろう付とを併せた割合は50%に達している。この理由としては、施工性、量産性、コストなどが挙げられている。また使用材料の形状や継手形状も上記の結果に対応するように板材同士の突合せ継手や重ね継手のニーズが多い傾向にあった。もちろんその他の接合法に対してもそれぞれのニーズがある。

このように異材継手を作る上で溶融溶接に対する希望が多いことが明らかになった。しかし実際に適用できるかどうかについての回答は、可能性ありと困難・不可能とが拮抗した結果が得られた。困難・不可能な理由としては脆弱な金属間化合物の形成が最も多く、次いで大きな物性差(融点、熱伝導度、密度など)、板厚差等があり、また供用時の問題として電蝕(接触電位差による腐食)が挙げられていた。したがって溶融溶接による異材接合

表4 異材接合に対する「夢」的技術

接合法	技術内容	注目材料・用途	件数
溶接	異材接合	Fe/Al, Ti/鋼, Al/Cu 鋼/Fe, 鋼/複合材	15
	可逆的接合技術		6
	超微細溶接法		4
	高信頼性接合技術(不良0等)		3
	常温接合		3
	大気中フラックス無しのCu,Niの接合		2
	一括処理接合法	マイクロエレクトロニクス	2
	爆着		1
	電蝕のない異材接合	Al/Fe	1
	接合材無しの常温接合(真空蒸着等)		1
	酸化膜の除去技術		1
	小型化		1
	表面処理技術(プラズマ等)	表面実装、半導体組立	1
	接合材料の長期安定化技術		1
	真空装置なしの金属/セラミックス接合		1
	面接合継手での逐次接合		1
	経時変化のない接合技術		1
	非接触溶接法		1
	簡便固相接合法		1
	機能材料の直接接合	高密度実装分野	1
	液相拡散接合		1
	in-situ検査技術		1
	自己修復可能な接合技術		1
	非熱溶接(電気、化学溶接)		1
	高性能溶材		1
	耐食、耐摩耗肉盛技術	ディーゼルエンジン部品	1
	小入熱(小荷重)接合技術		1
	機能の制御可能な接合技術		1
	傾斜機能材料		1
	複合溶接技術		1
	真空化、超音波接合		1
	(用途)	航空機部材の溶接化	1
	はんだ	常温はんだ接合	電子部品とプリント基板
低温はんだ材でのパンプ接合		シリコン上でのAl/Sn接合	1
ろう付け	中間的熱膨張係数のろう材でのろう付け	セラミックス/金属	1
	ろう付け	Al/Cu	1
	小入熱でのろう付け用ろう材		1
常温接合	導電性ジェル	電子分野	1
	母材並み強度	金属/セラミックス接合	1

技術に対しては、従来の溶融溶接技術の延長では困難であり、新しい着想による技術開発が求められていることになる。

(3) 注目される新しい異材接合法

表3に現在注目されている新しい異材接合法を示す。新しい異材接合法としては摩擦攪拌接合 (FSW) が最も多く、次いでレーザー溶接、摩擦接合、拡散接合・液相拡散接合であった。新しい接合法としてその開発・実用化が進められているFSWが異材接合法としても注目されていることは特記すべきである。FSWが注目されているのは、溶融溶接ではなく固相接合であり、金属間化合物の形成を抑制できると考えられること、かつアーク溶接のように突合せ継手や重ね継手による連続接合部が得られることなどが挙げられる。また、レーザー溶接は溶融溶接ではあるが、高エネルギー密度のビーム熱源の高指向性と短時間加熱・高冷却速度の特長を生かし、異材継手の溶融制御 (溶融位置、組成制御) により金属間化合物形成の抑制が容易になると考えられる。表3では電子ビーム溶接が挙がっていないが、真空室中での溶接という欠点を除けば、ビーム熱源としての特長はむしろレーザービームよりも優れており、異材接合法としては無視できないと考えられよう。

それではさらに考え方を斬新にし、異材接合に対して将来の夢的な技術を回答頂いたのが表4である。鉄とアルミニウム、チタンなどとの異材接合が最も多く挙がっており、この組合せによる異材接合が現状ではまだ「夢」の段階であることが伺える。これは、施工・コスト面から、直接的な接合で、なおかつアーク溶接のような連続した接合継手が得られるという条件が暗に含まれているためであろう。それ以外では、可逆的接合技術という新しい接合概念が挙がっており、リサイクル技術と関連して注目される。電子・電気機器関連では、常温接合、超微細溶接法、高信頼性接合技術 (不良率0%) などが期待されている。

3. アンケート調査まとめ

以上の異材接合・溶接技術に対するアンケート結果より、今後期待される異材継手としては軽量化の観点からは鉄・SUS/アルミニウム、アルミニウム/銅、耐食性に対しては鉄・SUS/チタン、導電性では鉄・SUS/銅、アルミニウム/銅が主であることが明らかになった。

また接合法としては、施工性、量産性、コスト性の観点から、溶融溶接法であるアーク溶接とレーザー溶接、およびろう付法が期待されているが、その実現には脆弱な金属間化合物の形成、大きな物性差、さらに電蝕など解

決すべき問題があり、既存の溶接技術の延長では実現困難であり、新しい着想による技術開発が求められている。この観点から、新しい溶接・接合技術として、FSW (摩擦攪拌接合) とレーザー溶接が大いに注目されており、異材接合への新技術としての展開が期待される。

4. 鉄/アルミニウム異材接合の検討

以上のアンケート調査に基づき、ブレイクスルーが期待された幾つかの新規接合法により鉄/アルミニウムの組合せに対して異材接合の可能性調査を実施した。その結果、まず溶融溶接法としては、レーザー溶接により溶融量制御と開先形状の最適化を行うことにより継手強度も十分に高い異材継手が得られることが示された。また、ろう付法では、アルミニウム合金ろう材を用いたレーザーブレード溶接法により良好な濡れ性を示すろう付部が得られることが分かった。さらに、固相接合法としてFSWによる検討も行われ、重ね継手では高い可能性を有していることが示された。これらの結果の詳細は平成13年度調査報告書²⁾を参照されたい。

5. おわりに

本調査研究により、異材溶接・接合技術は21世紀において我が国で、ものづくり産業を持続的に発展させていくためには必要不可欠な基盤技術であることが改めて認識させられたとともに、にもかかわらず、技術的に越えなければならない多くの課題を抱えていることもまた明白となった。この分野の基礎研究、技術開発の持続的な展開に期待したい。

最後に、本調査研究に御協力を頂いた調査委員の皆様へに深謝致しますとともに、平成12年度調査報告書より本稿への図、表の引用を許可された新エネルギー・産業技術総合開発機構ならびに (財) 宇宙環境利用推進センターに対して感謝致します。またアンケート調査に御協力を頂いた溶接学会会員の方々に紙面をお借りして深謝いたします。

参考文献

- 1) 新エネルギー・産業総合開発機構：異材溶接技術の基礎研究，平成12年度調査報告書，NEDO-ITK-0009，(2001年3月)，p.68-82.
- 2) 新エネルギー・産業総合開発機構：平成13年度「異材溶接技術の基礎研究」，公開用報告書PDF (公開用11401046-0-1.pdf)