

## 鉄系材料の高速摩擦攪拌接合用ツール・裏当て板の開発 日本溶接協会賞技術賞（開発奨励賞）受賞

生産本部 技術部

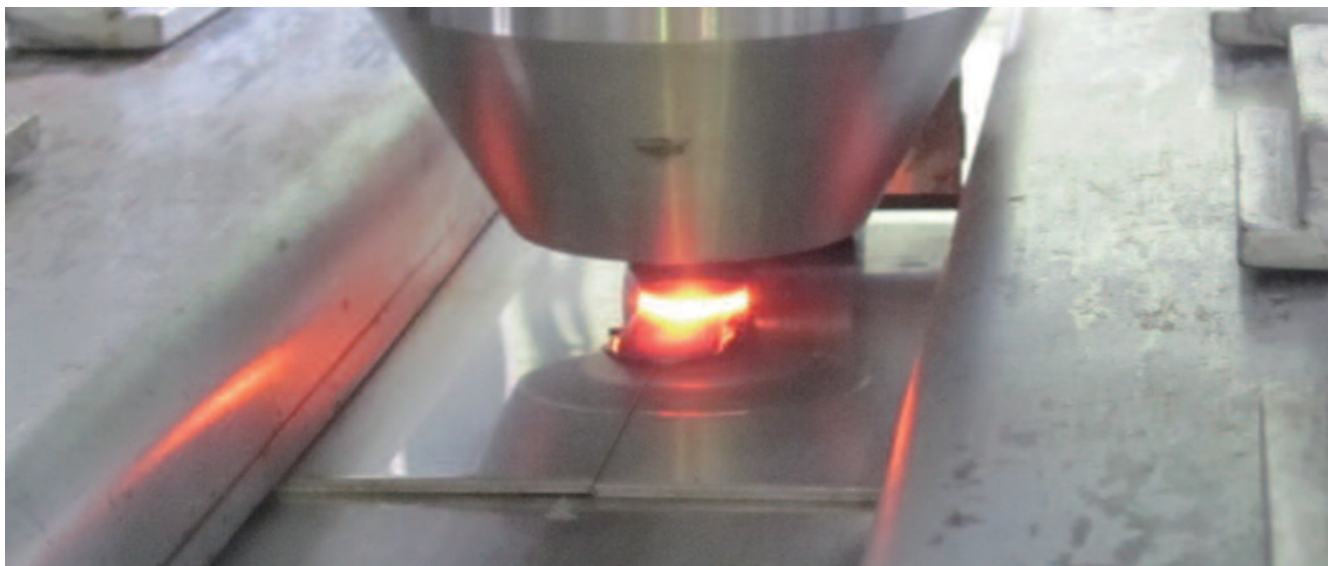


図1 SUS304鋼の高速摩擦攪拌接合

### 1 はじめに

当社と大阪大学接合科学研究所藤井研究室は「鉄系材料の高速摩擦攪拌接合用ツール・裏当て板の開発」において、社団法人日本溶接協会より第42回日本溶接協会賞技術賞（開発奨励賞）を受賞した。

本賞は、日本国内における溶接業界の発展のため貢献があり、今後の発展性が期待される優れたアイデアをともなった技術開発に贈られる賞である。

### 2 開発の背景と概要

摩擦攪拌接合（以下FSW）は、図1に示すように、ツールと呼ばれる円柱状の工具を回転させながら被接合材に押付けることで発生する摩擦熱を利用した接合法である。また、FSWは接合中の温度が熔融溶接と違い、被接合材の融点以下の温度で接合する固相接合である。被接合材の結晶粒の微細化による高強度化や低ひずみなどのいくつかの利点を有する。したがって、特にアルミニウム合金のような低融点材料において実用化がすすんでいる<sup>①</sup>が、構造用材料としてもっとも多く使用されている鉄鋼材料においては、実用化の報告は少ない。これは、アルミニウム合金と比較して、鉄鋼材料のFSWが困難であるためによる。FSWはその原理上、接合ツールは高温かつ高負荷という過酷な環境で使用される。特に鉄鋼材料においては、接合中の温度がアルミニウム合金よりも高く、かつ塑性流動がしにくいため、高い接合温度

に耐え得るための適切な接合ツール材質の開発が課題となっている。そこで、当社は接合ツールおよび被接合材の裏面に敷く裏当て板の材質に着目し、表1に示す各種材質より、高温強度の優れた窒化ケイ素を選定した。さらに、窒化ケイ素は表2に示すとおり他のセラミックスと比較しても高温における熱伝導率が低い特性を持ち、その特性を活かして裏当て板に適用し、発生させた摩擦熱を有効利用することで鉄系のFSWを可能にした。その結果、高速域の適正接合条件範囲と安定した継手強度を得ることができた。

表1 接合ツールに適した材質の検討結果

材質	検討結果
窒化ケイ素	◎ (良好)
超硬	○ (シオルダが変形)
ジルコニア	× (高温強度不足)
炭化ケイ素	× (耐熱衝撃性不足)

表2 裏当て板に適した材質の検討結果

材質	熱伝導率		曲げ強度 (MPa)
	(K)	(W/mK)	
窒化ケイ素	1273	14	1020
SUS304	1273	32	—
アルミナ	1273	5	400
ジルコニア	1273	3	1470
炭化ケイ素	1073	38	540

### 3 技術開発の成果

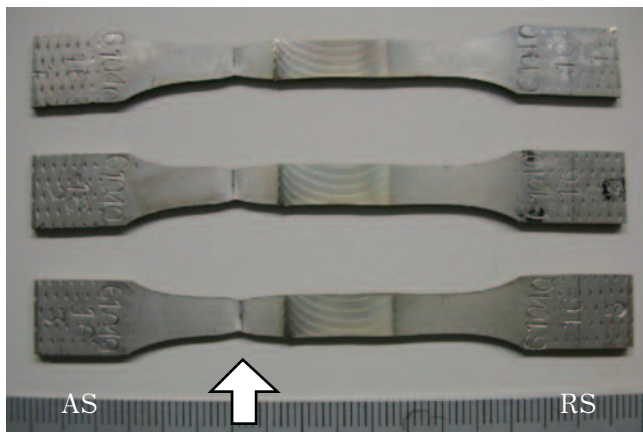
#### 3. 1 オーステナイト系ステンレス鋼のFSW

本接合法は、FSWツールと裏当て板に窒化ケイ素を採用して高温強度を確保し、ツール形状、特にプローブとショルダ周辺の形状の最適化によって熱エネルギーの効率化をはかることにより、オーステナイト系ステンレス鋼のFSWで接合速度1m/minの高速化、継手効率100%および耐食性の向上を達成することができた<sup>(2)</sup>。図2は今回開発した窒化ケイ素製FSWツールの外観で、図3の引張試験片はSUS304鋼を1m/minで接合した継手の引張試験後の試験片外観である。母材が破断して、接合部が母材と同等以上の強度を持っていることがわかる。オーステナイト系ステンレス鋼は、鉄道車両に使用され、高温強度が大きいために塑性流動しにくく、接合ツールへの負荷も大きくなる被接合材料である。

本接合法は、接合ツールの回転数と送り速度、ツール荷重の制御が必須であり、ツールの形状はプローブ部がネジなしであることを特徴としている。



図2 窒化ケイ素製ツール外観



母材破断

図3 SUS304鋼1m/min継手の引張試験後の試験片

#### 3. 2 冷間圧延鋼板のFSW

オーステナイト系ステンレス鋼にて窒化ケイ素製の接合ツールおよび裏当て板の有効性を立証したのち、適用材料の拡大を目的として、冷間圧延鋼板を被接合材としてFSWをおこなった。冷間圧延鋼板はオーステナイト系ステンレス鋼と比較して、高温での変形抵抗が小さく塑性流動しやすい材料である。本接合技術により、オーステナイト系ステンレス鋼のFSWと比較して3倍の3m/minの接合速度で、継手効率が100%となる接合を可能とした。

### 4 実用化状況と今後の展望

本開発の窒化ケイ素製の接合ツールおよび裏当て板（商品名：「Smart FSW<sup>®</sup> Tool & Backbar」）は、鉄鋼材料の摩擦攪拌接合において、高速度で母材と同等の強度を持ち、耐食性を保持した継手が得られる<sup>(3)</sup>。

本接合法は、薄板の連続接合や点接合継手に対応した製品群を研究開発用として販売を開始している。

これらの接合ツールおよび裏当て板は低融点材料の接合への適用も可能で、継手効率向上、耐食性向上といった効果をすでに一部の材料で確認し、軽量化を要求されている輸送機器の接合品質の向上に寄与する可能性がある。

また、難接合材の摩擦攪拌接合における接合速度の高速化と接合ツールの高温強度の確保は、接合ツール寿命の延伸にも期待でき、摩擦攪拌接合におけるランニングコストの低減が期待できる。

#### 参考文献

- (1) 岡村久宣，他：「アルミニウム合金の摩擦攪拌接合と構造物への適用」，軽金属，第50巻，第4号166-172，(2000)
- (2) 石川武，他：「SmartFSW<sup>TM</sup>ツール&バックバーの開発」，東急車輛技報，第61巻，18-25，(2011)
- (3) 石川武，他：「オーステナイト系ステンレス鋼の摩擦攪拌接合継手における耐腐食性の評価」，東急車輛技報，第59巻，26-33，(2009)

(増田 藍，石川 武 記)