

摩擦攪拌接合による Na 高速炉炉心材料の新たな接合技術に関する研究

(受託者) 国立大学法人東北大学

(研究代表者) 佐藤 裕 大学院工学研究科

(再委託先) 独立行政法人日本原子力研究開発機構

(研究開発期間) 平成 22 年度～ 23 年度

1. 研究開発の背景とねらい

本事業では、次世代の高速炉炉心材料のうち、ラップ管用材料として開発されたフェライト鋼 (PNC-FMS) に対し、摩擦攪拌接合 (FSW) (図 1) による共材および異材接合を行い、炉心材料への新たな溶接技術としての可能性を探るとともに、試作した接合継手における微細構造・強度データベースの確立とそれらに及ぼす接合条件の影響を明らかにすることを目的とした。

平成 22 年度は「フェライト鋼 (PNC-FMS) の共材接合に関する研究」を実施した。一般にフェライト鋼に対して FSW を行うと、接合部に硬化組織が形成してしまうが、接合中温度の高精度制御により回避

できる可能性がある。そこで、フェライト鋼共材に対して種々の接合条件を用いて FSW を実施する過程で、既存の FSW 装置に設置可能な温度測定装置を用いて接合中ツール温度をリアルタイムでモニタリングし、さらには得られた接合部の微細構造を定量化するとともに、継手強度を評価して、接合条件、ツール温度、微細構造、継手強度に関するデータベースを確立した。本事業の成果は、優れた強度特性を有する継手作製において重要な指針を提示した。

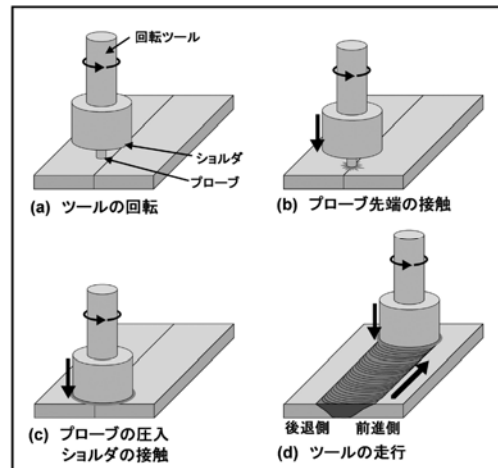


図 1 摩擦攪拌接合 (FSW) の概念図

2. 研究開発成果

2-1. 無欠陥継手を得るための接合条件範囲

FSW における接合条件、すなわちツール回転速度、接合速度を種々に変化させて、無欠陥継手を得るための接合条件範囲を調べた結果、表 1 に示した接合条件にて欠陥のない継手が得られることが示されたため、これら接合条件にてデータベース作成を実施することとした。

表 1 データベース作成に用いた接合条件と FSW 中の出力データ

試験体番号	回転速度 (rpm)	接合速度 (mm/s)	挿入深さ (mm)	継手形式	ツール温度 (°C)	消費E (kW)	トルク (Nm)	主軸方向荷重 (kN)
1	100	1	4.2	BOP	672	21.8	2098	45.3
2	150	1	4.2	BOP	753	16.2	1036	37.5
3	200	1	4.2	BOP	775	13.2	633	39.4
4	300	1	4.2	BOP	844	9.9	317	32.7
5	200	2	4.1	BOP	789	15.5	739	40.3
6	200	1	4.7	BOP	866	16.1	776	41.4
7	100	1	3.9	Butt	692	18.3	1756	35.9

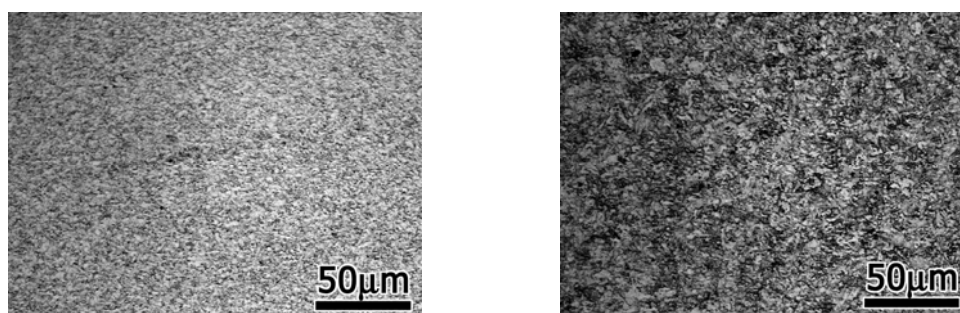
* 継手形式の BOP はビード・オン・プレート、Butt は突合せを意味する。

2-2. 接合中のツール温度

表1の接合条件でFSWを行い、接合中ツール温度を測定した(表1)。ツール温度はツール回転速度と挿入深さとともに増加する傾向が見られた。一方、接合速度および突合せの影響はほとんどなかった。

2-3. 微細構造

図2に接合体番号1と3の攪拌部の光学顕微鏡写真を例として示す。ツール回転速度が高い場合、フェライトを含むラス状マルテンサイト(硬化組織)が生成したが、回転速度の低下とともにマルテンサイト量が減少し、極めて微細なマルテンサイトとフェライトからなる等軸粒組織が得られた。ツール回転速度と挿入深さが増加するほどツール温度は増加し、それに伴って硬化組織の生成量の増加、結晶粒径の増加が明らかとなった。



(接合体番号1; 100rpm, 1mm/s, 4.2mm) (接合体番号3; 200rpm, 1mm/s, 4.2mm)

図2 接合体番号1および3の攪拌部における光学顕微鏡写真

2-4. 継手強度

継手引張試験の結果、全ての接合体は接合条件に依らず、ほぼ母材と同等の継手強度を示した。これは、いずれの接合体でも攪拌部が硬化していたため、最も弱い母材部で破断したためである。

攪拌部の強度は室温、550℃のいずれの温度でも母材よりも著しく高い値を示したが、攪拌部強度に及ぼす接合条件・ツール温度の影響はあまり大きくなかった。一方、攪拌部の伸びはツール温度が低いほど増加した。これはツール温度が低いほどのマルテンサイト量の減少するためと考えられる。

2-5. データベース

以上の結果をまとめ、接合条件、ツール温度、微細構造、継手強度に関するデータベースを確立した。フェライト鋼共材接合部に優れた強度・延性を得るためには、低い回転速度を用いてツール温度を700℃以下に保つことが有効であり、良好な強度特性は硬化組織の存在率の低い極めて微細なマイクロ組織の形成により達成されることが明らかとなった。

3. 今後の展望

ラップ管構造では、フェライト鋼(PNC-FMS)とステンレス鋼(SUS316)の異材接合が必要となる。平成23年度は「フェライト鋼(PNC-FMS) / ステンレス鋼の異材接合に関する研究」を実施中であるが、平成22年度の成果を踏まえて、低い回転速度を用いたFSWを異材接合に適用しており、接合条件、ツール温度、微細構造、継手強度に関するデータベース確立を目指している。