

液体増殖ブランケットへの適用に向けた
Al添加高MnオーステナイトODS鋼の開発

Development of Al-added high-Mn austenite ODS steels for liquid metal blanket

野呂 崇史、Liu Jiarui、Wang Haoran、余 浩、近藤 創介、笠田 竜太

NORO Takashi, LIU Jiarui, WANG Haoran, YU Hao, KONDO Sosuke, KASADA Ryuta

東北大

Tohoku Univ.

【背景・目的】核融合炉においてブランケットは、①トリチウムの増殖②熱エネルギーの取り出し③放射線遮蔽といった重要な役割を担う。核融合原型炉では、液体 Li-Pb 合金を増殖剤として用いた先進ブランケットが検討されている。しかし、液体 Li-Pb 合金は腐食性が高く構造材料の溶解が問題となる。そのため、構造材料として用いるには、耐食性や高温強度特性、耐中性子照射性、低放射化といった特性が必要となる。

SUS316 のような従来のオーステナイト鋼のオーステナイト相の安定化に必須の Ni はコストアップにつながるとともに、低放射化の観点から核融合炉ブランケットでの利用は極めて制限される。そこで、新たに Ni を Mn に置き換え、耐食性の観点から Al を添加した Fe-Mn-Cr-Al-C 系オーステナイト鋼を作製したところ、液体 Pb-Bi 合金に対して優れた耐食性を示した[1]。

本研究では、機械的特性、耐食性、耐照射性を向上させるために、 Y_2O_3 を起源とする酸化物粒子を Fe-Mn-Cr-Al-C オーステナイト鋼に導入した Al 添加高 Mn オーステナイト酸化物分散強化 (ODS) 鋼を作製し、引張特性、高温強度特性を調べた結果を報告する。

【実験方法】ODS 鋼の原料粉末には、Fe、Mn、Al、Cr、C、 Y_2O_3 の粉末をアルゴン雰囲気中で Fe-22Mn-5Al-1Cr-0.42C-0.45 Y_2O_3 (ODS 5Al) よび Fe-22Mn-7Al-1Cr-0.8C-0.45 Y_2O_3 (ODS 7Al) の組成で混合したものを使用した。この混合粉末を、ボールミルにより Ar 雰囲気、300 rpm で 40 時間メカニカルアロイング (MA) した後、放電プラズマ焼結 (SPS) により 1050 °C、15 分、50 MPa の荷重で焼結させた。この焼結体を 1050 °C で 18 mm から 8 mm まで熱間圧延した後、1050 °C で 2 時間の固溶化熱処理を行い、最後に水冷を行った。

作製した材料に対し、XRD、EPMA による同定、組織観察、引張試験、スモールパンチクリーブ (SPC) 試験等の強度試験を実施した。SPC 試験は、青森県量子科学センターにおいて、3mmφ×

0.25mmt の円盤状の試験片を用いて、500°C、16～25 kgf の荷重で行った。

【結果および考察】XRD の結果、新たに作製した ODS 鋼においてもオーステナイト単相が得られることを確認した。しかし、EPMA や抽出残渣試験の結果から、気密性の低い MA 容器を用いると、粒界上に Al 窒化物が析出することが分かった。これらの ODS 鋼は、SPC 試験では脆性的に粒界で破断しており、MA 工程時における大気への混入を高いレベルで避ける必要があることが分かった。

気密性を改善した MA 容器を用いることによって作製した ODS 鋼については、Al 窒化物の形成は見られなかったが、不均一な Al 酸化物の形成が見られ、SPC 試験の結果は改善されなかった。室温引張試験の結果より、ODS 鋼の降伏応力は約 1750MPa となり、近い組成を有する非 ODS 鋼の約 400MPa よりも著しく高い強度を持つことと伸びが極めて低いことが示された。これらの結果より、Fe-Mn-Cr-Al-C 系オーステナイト鋼においては、ODS 化によって高い強度を得ることができるものの、脆性破壊を防止するために、MA 雰囲気や原料粉末における更なる酸素量の制御が必要であることが示唆された。

【結論】Fe-Mn-Cr-Al-C 系オーステナイト鋼の ODS 化を目指して、MA と SPS 焼結によって試作した材料の微細組織や強度特性を評価した。MA 中の混入を防ぐなどの改善のもとに得られた ODS 鋼は、極めて高い室温引張強度を示したものの、不均一に形成する Al 酸化物に起因すると考えられる脆性的な破壊を示した。

[1]Wang, Haoran, et al. "Corrosion behaviour of Al-added high Mn austenitic steels in molten lead bismuth eutectic with saturated and low oxygen concentrations at 450°C." Corrosion Science 175 (2020): 108864.