

REBCO 超伝導線材の実用的半田接合技術の開発

Development of practical solder joint technology for REBCO superconducting wires

前田浩太郎、○松本 要、堀出朋哉（九工大）

富田 優（鉄道総合研究所）

Kotaro Maeda, ○Kaname Matsumoto, Tomoya Horie (Kyushu Inst. Technol.)

Masaru Tomita (RTRI)

E-mail: matsu@post.matsc.kyutech.ac.jp

I. Introduction

REBCO ($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$: RE=Y,Gd,Sm,etc)高温超伝導線材は、その優れた性能から磁場コイルや電力ケーブル等の様々な応用が期待されている。しかし、現時点では REBCO 線材は数 100 m 長でしか製造できないため、機器に導入した場合多数の接合が必要となる。この場合、永久電流モードを必要とする磁場コイル用途では接続抵抗値は $10^{-13} \Omega$ オーダー、長尺電力ケーブル用途では適当な区間ごとに冷凍機での冷却が必要であることから $10^{-9} \Omega$ オーダーの接続抵抗値が要求される。加えて、磁場コイル応用では接続部が磁場下に置かれることから電磁力に耐えうる機械的強度が必要である。さらに、ケーブル応用では冷却時に数トン規模の収縮に伴う引張応力がケーブル断面に加わることから、接続部位には十分高い接合強度が要求される。そこで本研究では、直流送電ケーブルにおける実用的な接続技術開発を目的とし、標準～低融点の半田合金を用いて接続要素となる単純重ね継手 (single lap joint) を試作し、基本データとなりうる機械的強度と接続抵抗値を調べたので報告する。

II. Experimental

本研究では、各種の半田合金を接合材とし、市販の銅被覆 GdBCO 線材を単純重ね継手 (single lap joint) 形状に接合した試料を作製し、その機械的強度と接合抵抗を調べた。この際、半田接合長さを 10 mm、20 mm の 2 水準、半田層厚さを 20 μm 、40 μm 、80 μm の 3 水準、および、半田組成として 99.3Sn-0.7Cu (融点～230℃)、60Sn-40Pb (～180℃)、48Sn-52In (～120℃) の 3 種類を用意した。Fig. 1 に接合部の断面 SEM 写真を示す。作製した lap joint 試料は引張試験 (室温、77 K) および I_c 測定 (77

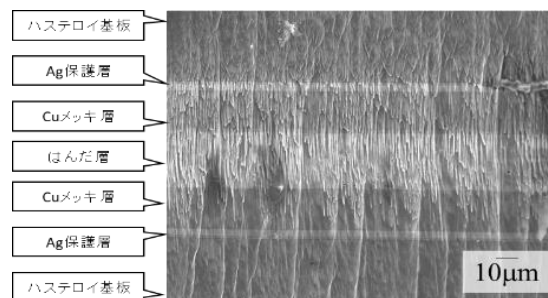


Fig.1 Sn-In 接合部 SEM 像

K、無磁場下) を行い、引張強度と接続抵抗を評価した。また走査型電子顕微鏡(SEM)によって微細組織の評価を行った。

III. Results and Discussion

Sn-Cu および Sn-Pb 接合の引張試験によれば、半田部での破断はなく、チャック部での母材剥離・破断が観察された。この時の破断強度は半田接合長さや半田層厚さに関わらず約 1000 GPa であり、REBCO 線材自身の破断強度と同等であった。一方、Sn-In 接合では破断強度はおよそ 700-800 GPa となり、接合半田部での変形・破壊が観測された。この際、半田接合長さが 10 mm より 20 mm の方が破断強度は大きくなっていた。力のつり合いから導出される応力の平衡方程式を解くことで接合部におけるせん断応力の変化も調べた。その結果、接続端部において、接続厚さが薄くなるほど応力集中が大きくなることが明らかになった。また、 I_c 測定 (77 K) によって、ベースラインからの電圧増加から見積もった接続抵抗は、接続長さが 20 mm の場合 Sn-Cu 接合で $0.196 \mu\Omega \cdot \text{cm}^2$ 、Sn-Pb 接合で $0.036 \mu\Omega \cdot \text{cm}^2$ 、Sn-In 接合で $0.070 \mu\Omega \cdot \text{cm}^2$ であり、接続長を 100 mm 長程度まで増やすことで $10^{-9} \Omega$ オーダーの接続抵抗値が得られる見通しが得られた。