

Cu·Zn 共添加 Sn 合金芯の作製とそれを用いた Nb₃Sn 層形成

Preparation of Cu-Zn co-doped Sn alloy core and formation of Nb₃Sn layer using it

伴野信哉 (NIMS); 浅井航希 (上智大学, NIMS); 谷貝 剛 (上智大学)
 BANNO Nobuya, (NIMS); ASAI Koki (Sophia Univ., NIMS); YAGAI Tsuyoshi (Sophia Univ.)

E-mail: banno.nobuya@nims.go.jp

1. はじめに

Nb₃Sn 超電導線材は、次世代粒子加速器や原型炉用マグネットの候補線材となっている。これらの装置では、数千トンに及ぶ物量の Nb₃Sn 線材が必要であり、高臨界電流密度化だけでなく、線材コストパフォーマンス改善も重要な課題である。コストパフォーマンスは、ワイヤーのデザインと伸線性に密接に関連している。良好な伸線性は、断線のリスクを抑制し、歩留まりを向上させる。さらに、良好な硬度バランスは、良好な断面形状の維持に貢献する。本研究では、Sn 芯硬度を増大させるために Cu と Zn を共添加した様々な Sn 合金を作製した。その微細組織、組成および硬度を調べた[1]。

2. 実験方法

Sn 合金は Ar 雰囲気通常の誘導加熱炉で铸造した。添加元素として Cu, Zn, Ti を用いた。各構成材料を所定量組み合わせ混合物を調製した。この混合物を Cu の融点以上に加熱した。Ti の添加には、Ti 粉末(-325 メッシュ)を用いた。混合物は、Ti が完全に溶解するのに十分な時間、一定の温度で加熱した。試料の微細構造は電界放出型走査電子顕微鏡 (FESEM) を用いて観察し、組成分析は FESEM に付随するエネルギー分散型 X 線分光法 (EDS) を用いて行った。断面は、まず多結晶ダイヤモンド懸濁液で研磨し、最終工程で非結晶化アモルファス 0.05 μm および 0.02 μm コロイダルシリカ懸濁液 (MasterMet, Buehler 社製) で研磨した。Sn 合金の硬度は、マイクロビッカース硬度計を用いて 0.025kgf の圧力で測定した。

溶製した Sn 合金のうち Sn-20Cu-30Zn-2Ti および Sn-10Cu-40Zn-2Ti を用いてチューブ法により 19 芯の多芯線を作製した (Fig. 1)。拡散対の構成は、Nb/Sn 合金もしくは Nb/Cu/Sn 合金を採用した。後者は、高い Sn の拡散駆動力を抑制させるために薄い Cu 層を挿入した構造である。

試料は、Nb₃Sn 相形成のために 4h の昇温時間で 100h/650℃ の熱処理を行った。試料は、400、500、600、650 °C、20h/650℃、50h/650℃ で炉から取り出し、微細組織の時間変化を観察した。

3. 実験結果と考察

Table 1 に、Sn 合金の組成と加工性、ビッカース硬度 (Hv) をまとめた。Fig. 2 に、代表的な Sn 合金の組織を示した。Sn に 50at% の Cu を入れると、樹枝状 ε-CuSn 相が生成され、加工で深いクラックが発生する。一方、Zn と共添加することで (例えば 20at%Cu-30at%Zn)、トータル組成で 50% の元素添加が可能となる。Table 1 に示すように、Cu·Zn を共添加することで従来の Sn-2Ti 合金に比べ、Hv が 2 倍以上に増大可能である。Fig. 4 に、Sn-20Cu-30Zn-2Ti を用いて作製した線材の 650℃×100 h 熱処理後の組織を示す。Cu 層がない試料では、Sn の拡散駆動力が大きいことから界面に粗大な Nb₃Sn 層が形成される。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP23K04453 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] N. Banno et al., presented at ASC2024, 3M0r2A-07, Salt Lake City

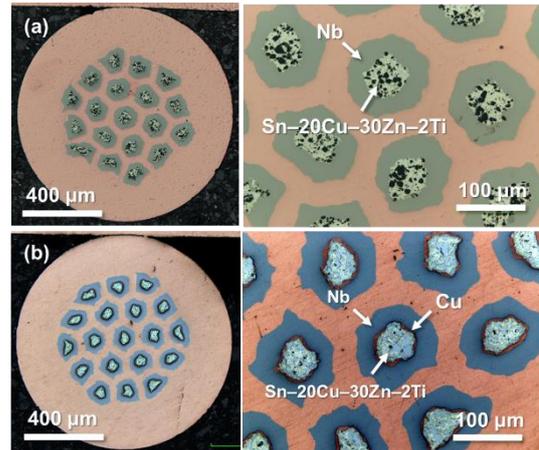


Fig.1. Cross-sections for RIT Nb₃Sn precursor wires without and with a Cu thin layer.

Table 1 Specifications of Sn-alloy (composition: at%)

Name	Sn	Cu	Zn	Ti	Ductility	Hv
Sn-2Ti	98	0	0	2	Good	11
Sn-20Cu	80	20	0	0	Good	32
Sn-50Cu	50	50	0	0	Brittle	—
Sn-20Cu-30Zn-2Ti	48	20	30	2	Good	25
Sn-10Cu-40Zn-2Ti	48	10	40	2	Good	20
Sn-31Zn	69	0	31	0	Good	20
Sn-5Cu-5Zn	90	5	5	0	Good	19
Sn-20Cu-5Zn	75	20	5	0	Good	23

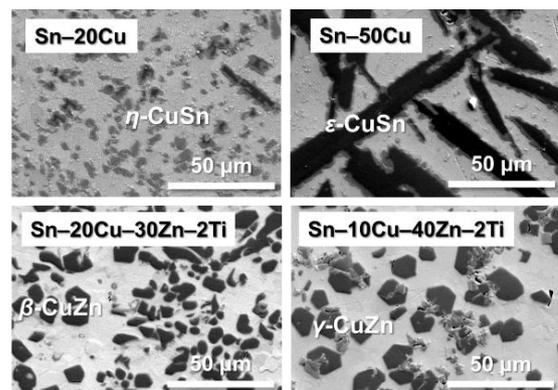


Fig.3. Comparison of microstructures of typical Sn-alloys.

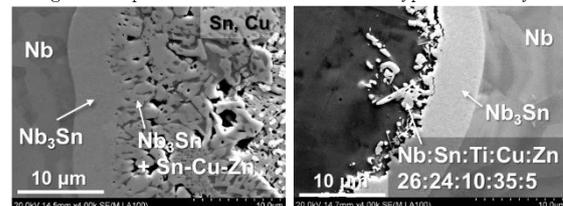


Fig.4. Comparison of microstructures at the reaction interface after annealing (650 °C×100 h) for wires using Sn-20Cu-30Zn-2Ti (a) without and (b) with Cu thin layer.