스테인레스 강 안정화 YBCO 초전도선재의 접합 특성에 관한 연구

김태형, 오상수, 송규정, 김호섭, 고락길, 신형섭*
한국전기연구원, *안동대학교

A study on the bonding properties of YBCO coated conductors with stainless steel stabilizer

Tae-hyung Kim, Sang-soo Oh, Kyu-jeong Song, Ho-sup Kim, Rock-kil Ko, Hyung-seop Shin*
KERI, Andong national Univ*.

Abstract : For mechanical and electrical stability and environment protection, Cu and stainless steel stabilizer is laminated to Ag layer to produce a composite neutral-axis(N-A) architecture in which the YBCO layer is centered between the oxide buffered metallic substrate and stabilizer strip lamination. this architecture allows the wire to meet operational requirements including stresses at cryogenic temperature, winding tensions, mechanical bending requirements thermal and electrical stability under fault conditions. we have experimentally studied mechanical properties of laminated stainless steel stabilizer on YBCO coated conductors.

we have laminated YBCO coated conductors by continuous dipping soldering process. we have investigated lamination interface between solder and stabilizer, YBCO coated conductor. we evaluated bonding properties tensile / shear bonding strength, peeling strength laminated YBCO coated conductors.

Key Words : YBCO coated conductor, lamination, stabilizer

1. 서 론

제 2세대 고온 초전도선재는 박막형태로 세계적으로 실용화를 위한 연구가 진행되고 있다. 기존의 PIT공정의 BSCCO복합선재는 flux pinning에 대한 문제점으로 고자장 하에서는 임계전류밀도가 급격히 감소하는 특성이 있어 케이블, 변압기 등의 자장이 강하지 않는 전력기기에 적용이 제한되고 있다. 이러한 문제점에 대해 자기장에 대한 우수한 특성을 보이는 YBCO 등의 박막 제조공정의 연구가 진행되고 있다. 박막 초전도선재의 구조는 결정이 배향된 금속기판위에 완충층(Y_2O_3/YSZ/CeO_2)/초전도층(YBCO)/보호층(Ag)의 구조로 되어 있으며, 최종적으로 기계적, 전기적 안정성을 확보하기 안정화층을 접합하기 위해 라미네이션하고 있다.

초전도 선재에 접합한 안정화층은 응용분야 적용에서 변형으로 발생하는 응력에 대해 초전도층을 보호하고, 응용기기 사용 중의 발생하는 사고전류에 대한 전기적 안정성을 목적으로 사용하고 있다. 안정화층의 소재로는 구리, 스테인레스 강등이 사용되어지고 있으며, YBCO 초전도층은 neutral-axis위치에 있어 변형에 대한 손상을 최소화하고 있다.

지금까지 초전도 선재와 안정화층간의 연속 접합 공정에 관한 연구 및 안정화재의 접합 특성평가에 대한 연구가 전무한 상황으로 이에 본 연구에서는 연속 접합 공정에 대한 연구와 조건에 따른 고온 초전도 선재와 안전화재간의 접합 특성에 관한 연구를 하고자 하였다.

본 연구에서는 사용한 초전도 선재는 Ni-W합금의 결정이 배향된 금속기판위에 Y_2O_3/YSZ/CeO_2의 복합 완충층을 증착한 후 초전도 선재인 YBCO를 PLD공정으로 제조한 초전도 선재를 연속 접합 라미네이션을 하였다.

2. 실 험

초전도 선재의 연속 접합공정은 그림 1과 같은 순서로 진행하였다. 초전도 선재는 PLD공정으로 증착한 후 접합을 용이하게 위해 Ag 스퍼터링하여 사용하였고 안정화층은 가공에서 발생하는 불순물을 제거를 위해 알콜으로 전처리 세척하였다. 연속 접합의 공정속도는 롤의 회전속도를 컴퓨터로 제어하였다. 솔더의 균일한 젖음성과 접합면의 플럭스잔류를 최소로 하여 안전화선재에 자동적으로 공급하였으며, 롤을 회전시켜 솔더가 균일하게 도포되도록 하였다.

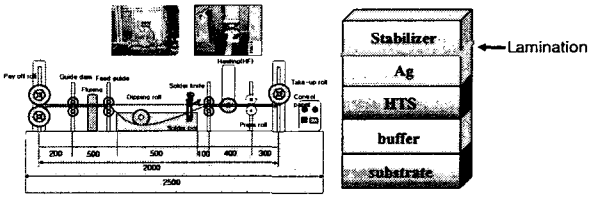

그림 1. 연속 접합장비 및 접합선재 모식도.

도포한 후, 초전도선재와 안정화재를 함께 고주파 유도가열공정을 거쳐 압착하였다. 솔더는 초전도 선재의 Ag 코팅층과 젖음성과 기계적 특성이 우수한 무연솔더의 Sn-3Ag-0.5Cu를 사용하였으며, 접합성이 우수한 불소/로진을 함유한 플럭스를 사용하였다. 또한, 공정상에 발생하는 흄을 제거하기 위해 집진기를 사용하였다. 접합한 초전도 시편의 접합계면에 대해 미세구조를 관찰하였고, 접합특성을 분석하기 위하여 SEM 및 XRD분석을 하였다. 기계적 특성을 분석하기 위하여 접합면의 접합 강도 및 박리시험을 실시하였다. 박리시험한 후 파단면에 이미지 분석

하여 파단부위별 분율을 측정하였다. 또한, 열충격에 대한 접합특성을 평가하기위해 액체질소온도와 상온에서 측정하였다.

3. 결과 및 검토

그림 2는 접합한 YBCO선재의 박리시험 모식도를 나타낸 것으로 시험규격은 KS M 3725를 기준으로 하여 실시하였으며, 박리강도는 박리시험시 최고값으로 정하였다.

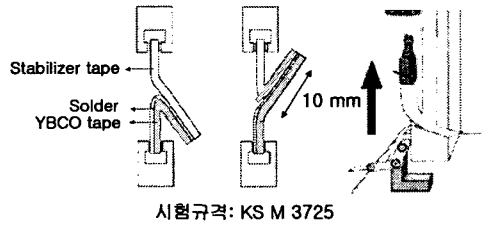

그림 2. 초전도선재의 박리시험 모식도.

그림 3은 안정화재로 구리와 스테인레스 강으로 접합한 초전도선재의 박리강도를 나타낸 것으로 구리와 스테인레스 강을 접합한 것이다. 구리 안정화재를 접합한 초전도선재의 최고 박리강도는 99kPa을 나타내었고, 스테인레스 강의 경우는 49kPa을 나타내었다. 두 선재 모두 박리가 시작되면서 강도가 증가하다가 떨어지는 비슷한 경향을 보였다. 스테인레스 강 안정화재의 박리강도 응력에 대한 소성변형으로 상대적으로 낮은 박리강도와 스테인레스 강의 경우와 다른 박리강도 경향을 나타내었다.

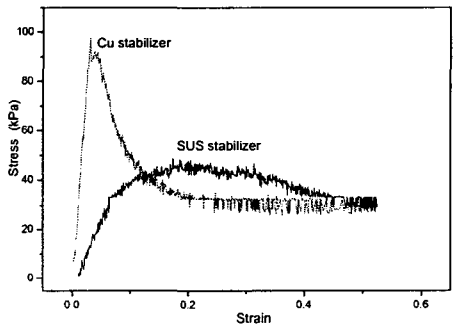

그림 3. 연속접합 초전도선재 박리강도.

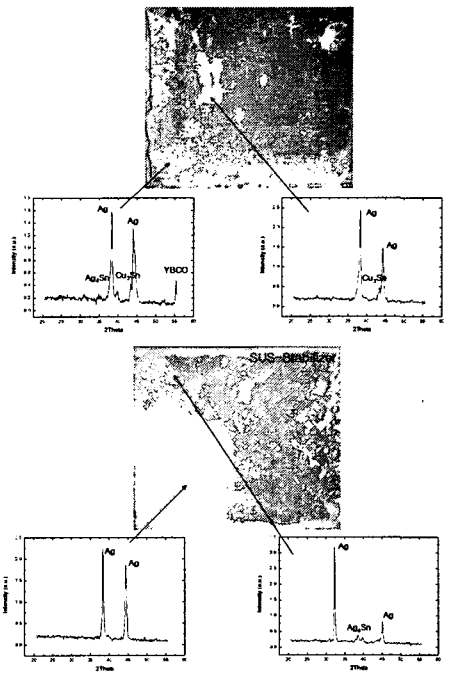

그림 4. Cu and SUS 박리 파면.

그림 4는 박리파면 조직사진과 파단면을 XRD분석한 것으로 구리 안정화재를 접합한 초전도선재는 Ag와 YBCO층 착층계면에서 박리가 주로 일어났으며, 일부 모서리부분은 솔더부위에서 박리되었으나, 스테인레스 강으로 접합한 경우는 솔더와 Ag계면부위에서 주로 파단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 구리와 스테인레스 강의 안정화재를 연속 접합공정으로 YBCO 초전도 선재를 라미네이션 제작하였다. 접합특성을 평가하기 위해 박리시험, 이미지 분석, SEM, 접합강도, 열충격 시험을 하였다. 박리강도는 구리 접합한 것이 상대적으로 스테인레스 강보다 높았으며, 박리시험 파단면은 단일계면박리가 아니라 복합 계면박리 양상을 보였다.

참고 문헌

[1] Verebelyi D.; Harley E.; Scudiere J; Thieme C. "Practical neutral-axis conductor geometries for coated conductor composite wire", Superconductor Science and Technology, vol. 16, no. 10, pp. 1158-1161(4), 2003

[2] Howard H. Manko "Solder and Soldering" McGraw-Hill, Vol. 4, p. 225, 2003.

[3] B.Salam, N.N. Ekere and J.P. Jung. "A Study on the comparison of Solderability Assessment" Journal of the korean institute of Surface Engineering. Vol.35, No2. p129 ~ 137, 2002.