

후열처리 조건에 따른 Bi-2212 고온 초전도선의 임계전류 특성 변화

하동우, 김상철*, 오재근, 오상수, 하홍수, 송규정, 고락길, 김호섭, 김태형
 한국전기연구원 초전도재료연구그룹, 넥상스코리아 기술연구소*

Effect of after annealing on critical current of Bi-2212 HTS round wires

Dong-Woo Ha, Sang-Chul Kim*, Jae-Gn Oh, Sang-Soo Oh, Hong-Soo Ha,
 Gyung-Jung Song, Rak-Kil Goh, Ho-Sup Kim and Tae-Hyung Kim
 KERI, Nexans Korea*

Abstract : The important merit of Bi-2212/Ag wire is to apply cable as round wire state. Bi-2212 high Tc superconducting wires were fabricated in order to apply Rutherford cable near the future. Various Ag ratio from 0.22 to 0.42 of Ag tubes for PID (powder-In-Tube) process were used to investigate the workability and to prevent breakage of filaments during drawing. In order to find proper heat treatment condition, we investigated micro-structure of Bi-2212/Ag wires by using differential thermal analysis, XRD and SEM. The effect of atmosphere on the peritectic decomposition temperature of precursor was investigated. The shape of grain was observed by SEM to investigate Bi-2212 phase formation in filaments. The higher of Ag ratio of mono filament had the higher critical current density, Jc. The wire with 0.42 of Ag ratio showed 7,886 A/cm² of Jc at 77K.

Key Words : Bi-2212, HTS wire, critical current

1. 서 론

고온초전도 도체를 이용하는 전력기기가 대형화될수록 가장 핵심적으로 개발하여야 하는 것이 바로 여러 가닥의 소선을 케이블 형태로 가공한 대용량 고온초전도 도체이다. 또한 고온초전도 선은 급속히 저온 초전도 선에 비해 더 높은 자장을 발생시킬 수 있는 특성을 가지고 있어 액체헬륨 뿐 아니라 극저온 냉동기를 이용한 시스템에서의 응용도 가능하다. 현재 전기기기에 응용할 수 있는 고온초전도 선은 Bi-2223 계와 Bi-2212 계가 있다. Bi-계 고온초전도 선을 사용하는 초전도 응용 시스템은 도체의 특성 상 35 K 이하의 온도에서 사용하여야 하는 실정이다[1]. 이러한 환경에서 Bi-2223와 비교하여 Bi-2212는 다음과 같은 몇 가지 장점을 가지고 있다. 첫째로 20 K 이하의 온도에서는 Bi-2223에 비해 비슷하거나 더 우수한 특성을 나타낸다. 둘째로 Bi-2212 선의 열처리는 1 단계로 끝낼 수 있어 Wind & React 공정의 열처리가 가능하며, 더 다양한 형상의 선재 제조가 가능하다는 것이다. 그래서 원형 소선을 이용하여 최종 열처리 전에 여러 가닥으로 이루어진 케이블, 즉 Rutherford 케이블의 제조가 가능하다는 것이다[2],[3]. SMES와 같이 펄스적으로 운전하는 코일에서 도체의 전류 용량을 증가시키면서 동시에 교류손실을 줄이는 방법으로 도체를 제조하기 위해서는 여러 가닥의 소선을 꼬아서 만드는 Rutherford 케이블로 제조할 필요가 있으며 이를

위해서는 소선이 원형 상태를 유지하고 있어야 한다. Bi-2212 초전도 선은 유일하게 원형 상태에서의 응용이 가능하므로 이 선의 개발 및 케이블 공정 개발은 매우 중요하다.

본 연구에서는 Rutherford 케이블 형태로 제조할 수 있는 Bi-2212 초전도 소선을 가공하여 열처리에 따른 초전도 선의 미세 조직을 관찰하고자 하였다.

2. 실험

Nexans SuperConductor의 Bi-2212 조성의 전구체 분말을 이용하여 선재를 제조하였다. 전구체 분말의 결정립 크기는 0.2 ~ 1.0 mm 정도 였다. 전구체 분말을 순은(Ag) 튜브에 충전하고 인발한 후 55개의 단심선재를 은 튜브에 적층하여 다심선을 적층하였다. 이 선재를 다시 인발한 후 7개의 55심 선재를 은 합금튜브에 다시 적층하여 다심선을 제조한 후 이것을 최종 직경 까지 인발하였다.

선재들은 포징반응 온도, T_p 아래에서 전열처리를 실시한 후 최대온도 T_m = 888 °C에서 30분 동안 유지한후 10 °C/h로 등은 어닐링 온도까지 냉각하였다. 소결 열처리 후 300 °C에서 600 °C 사이의 온도에서 산소분압을 달리하여 후열처리를 행한 다음 임계전류를 측정하여 후열처리 전후의 특성을 비교하였다. 또한 XRD와 전자현미경 분석을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

은비가 0.3인 'B' 선과 0.42인 'C' 선의 직경을 달리하여 열처리 조건에 따른 임계전류 특성을 비교하였다. 그림 1에는 'B' 선의 직경을 달리하였을 때의 임계전류밀도 특성을 나타내고 있다. 선재의 직경이 작을수록 임계전류밀도는 증가하였으며, 인가 자장을 증가시킬수록 임계전류밀도는 감소하였다. 선재의 직경이 작을수록 특성이 향상한 원인으로서는 초전도 필라멘트의 밀도가 증가한 것과 초전도 필라멘트와 Ag 매트릭스 간의 접촉 면적이 증가한 것이 될 수 있다. 그리고 초전도 선의 직경을 계속 감소시키는 가공을 하게 되면 필라멘트의 가공 균일성이 떨어져 필라멘트 간에 서로 붙어 버리거나 또는 단선으로 인하여 특성이 감소하게 된다. 이러한 결과를 고려하여 현재의 가공기술로는 약 0.8 mm 정도의 직경이 초전도선의 최적 직경이라 할 수 있었다.

그림 2에는 'C' 선의 부분용융 열처리의 온도를 달리하였을 때의 임계전류밀도 특성을 나타내었다. 온도는 882 °C에서 890 °C에까지 변화시켰다. 대체적으

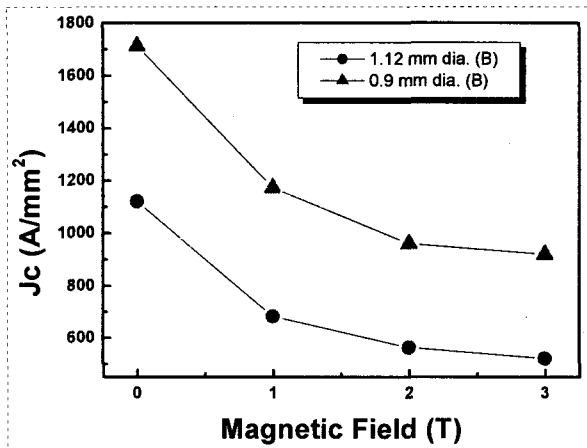


그림 1. 'B' 선의 직경을 달리하였을 때의 임계전류밀도 특성

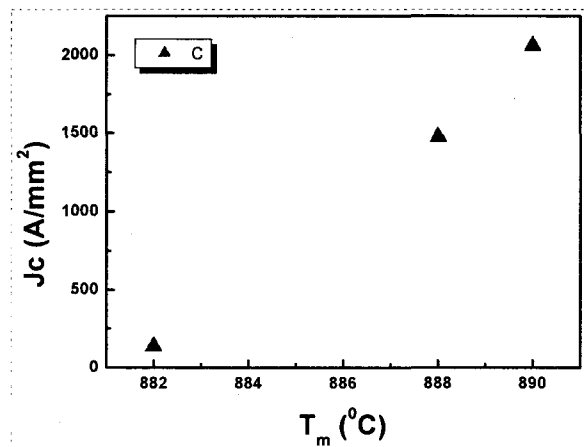


그림 2. 'C' 선의 열처리 온도를 달리하였을 때의 임계전류밀도 특성

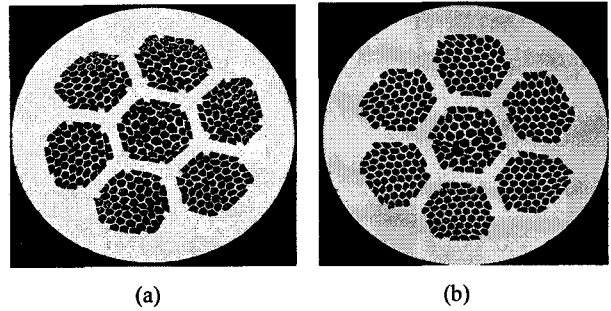


그림 3. 은비의 변화에 따른 Bi-2212 초전도선의 가공 균일도 비교. (a) Ag/SC ratio=0.3, (b) Ag/SC ratio= 0.42

로 열처리 온도가 증가할수록 임계전류밀도 특성이 향상되었음을 알 수 있었다. 따라서 향후 최적의 열처리 온도를 찾는 연구가 필요함을 알 수 있었다.

그림 3은 은비 변화에 따른 Bi-2212 초전도선의 가공 균일도를 나타내었다. 은비가 높을수록 필라멘트의 가공이 균일하였다.

4. 결론

Bi2212/Ag 원형 선재의 은비에 따른 가공성과 임계전류밀도 특성 변화를 조사하였다.

4.2 K, 자기자기장 하에서 필라멘트의 직경이 33 μm에서 16 μm으로 줄어들었을 때 임계전류밀도는 증가하였으며, 'C' 선재의 0.74 mm의 직경에서 최대 2,062 A/mm² (at 4.2 K, 0 T), 7,866 A/cm² (at 77 K, 0 T)의 임계전류밀도의 특성을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Mazur L J, Kellers J, Pegrum C M and Cardwell D A, Handbook of Superconducting Materials, vol. 1 (Bristol: IOP)p. 27, 2003.
- [2] Hasegawa T, Koizumi T, Hikichi Y, Nakatsu T, Scanlan R M, Hirano N and Nagaya S, Proc. 17th Conf. on Magnet Technology MT-17, Geneva, 2002.
- [3] Collings E W, Sumption M D, Scanlan R M, Dieterich D R, Motowildlo L R, Sokolowski R S, Aoki Y and Hasegawa T, Supercond. Sci. Technol., no. 12, p.87, 1999.