

냉각 속도에 따른 Bi-2212 초전도 튜브의 균일성

이남일^a, 장건익^a, 박권배^b, 오일성^b
 충북대학교 재료공학과^a, LS 산전^b

Uniformity of Bi2212 Tubes Depending on Cooling Conditions

Nam-il Lee^a, Gun-eik Jnag^a, Gwon-bae Park^b, Il-sung Oh^b
 Dept. Materials Science and Engineering Chungbuk national University^a
 LS Industrial System Co., Ltd^b

Abstract : This study was progressed to value of Bi2212 tubes uniformity depend on cooling conditions. The tube from 150 mm in length, 30 mm in O.D., 20 mm in I.D., 5 mm in thickness was combined with electrodes by 3 sections. The tube from 60, 70 mm in length, 30, 50 mm in O.D., 20.4, 40.4 mm in I.D., 4.8 mm in thickness was in controled of cooling rate by a heat exchanger. Bi2212 tubes were fabricated by Centrifugal Forming Process (CFP) and they were annealed at 840 °C for 80 h in oxygen atmosphere. The tube from 150 mm in length was analyzed by EFDLab of NIKA to show cooling rate and temperature distributions. When the tube was cooled for 100s, the temperature distributions was 663 °C in the middle, 500~647 °C in inlet, 598~647 °C in the other side. Electric characteristics from I_c was 450 A in the middle, 650 A in inlet, 600 A in the other side. Electric characteristics by a heat exchanger showed the more fast cooling rate, the more high I_c .

Key Words : Bi2212, MCP, Centrifugal Forming Process. Uniformity.

1. 서론

Melt Casting Process (MCP)에 의한 결과는 일반적인 소결법으로 얻어진 시편보다 높은 J_c 를 나타내고 있으며, 현재까지 벌크를 이용한 공정 중에서 경제성이나 특성 면에서 높은 재현성을 나타낸다. 특히 임의의 크기나 두께 조절로 다양한 형태의 초전도체 제조가 용이하다[1]. J. Bock 등은 BSCCO 고온 초전도 튜브를 MCP법으로 제조하여 시편의 크기에 따라 600~4000 A/cm²의 J_c 를 얻었다 [2-4]. MCP 공정에서는 초기 단계의 분말의 순도 및 균일성 등 분말에서 열처리, 가공공정에 이르기 까지 많은 변수들이 복합적으로 중요한 요소가 되지만 높은 전류 밀도를 위해서는 냉각 속도의 컨트롤이 매우 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 MCP 법을 응용한 원심 성형로를 자체 설계 제작하여 Bi2212 튜브를 제조하고 냉각 속도와 전기적 특성 및 미세구조와의 연관성을 알아보기 위해 열 유동해석 툴을 이용 비교 분석 하였다.

2. 실험

본 연구의 튜브는 길이 150 mm, 직경 30 mm, 내경 20 mm, 두께 5 mm 형태의 튜브는 3부분으로 은 전극을 결속하였고, 길이 60 mm, 70 mm, 외경 30 mm, 50 mm, 내경 20.4 mm, 40.4 mm, 두께 4.8 mm의 형태의 튜브는 열교환기를 이용해 물드의 냉각속도를 변화 시켰다. 열 유

동 해석 프로그램인 NIKA사의 EFDLab을 이용하여 3등분된 튜브의 냉각속도 및 온도분포를 해석하였다. 제조된 튜브는 T_c , I_c 의 전기적 특성을 측정 비교 하였으며, SEM, XRD등을 통하여 미세구조 및 성분을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 3등분으로 단자를 결속한 모습과 부위별 SEM 결과 이다. SEM 측정 결과 세 부분 모두 방향성을 갖는 층상구조로 성장했음을 확인하였다.

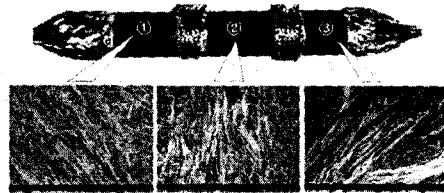


그림 1. 방향성을 가지는 층상구조의 각부위별 SEM사진

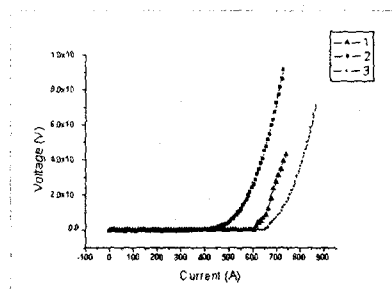


그림 2. 77k에서의 각 부위별 I-V 특성.

그림 2는 부위별 전기적 특성 측정 결과를 나타낸다. I_c 는 1번 부분이 600 A, 2번 부분이 450 A, 3번 부분이 650 A로 용융물 주입부인 3번 부분이 가장 높았다.

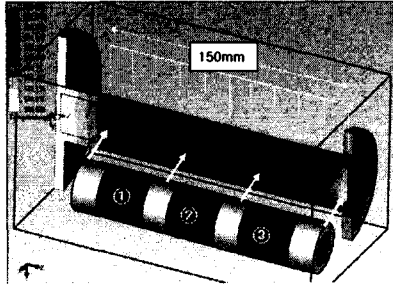


그림 3. EFDLab을 이용한 각 부위별 온도분포 분석

열 유동 해석 프로그램인 NIKA 사의 EFDLab을 이용해 냉각 속도와 튜브의 특성을 비교 분석하였다. 표 1은 해석시 여러가지 조건을 나타낸다. 그림 3은 냉각 시작 후 100s 때의 열 유동해석 결과와 실제 튜브를 비교한 그림이다. 결과에서 튜브의 중간 부분 약 4.5cm의 온도가 약 663 °C로 가장 높고 낮은 냉각속도를 보였고, ①번 부분 2.5cm의 온도분포는 598~647 °C, ③번 부분 3cm의 온도분포는 500~647 °C를 나타내었다

그림 4는 열교환기를 사용한 전과 후의 단면 튜브의 SEM 결과 이다. 열교환기 사용 전 보다 후의 조직이 층상구조로 잘 발달되었다. 표 1은 열교환기의 사용 전과 후 튜브의 I_c 값을 나타낸다. 열교환기 사용 후의 전기적 특성이 사용전보다 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

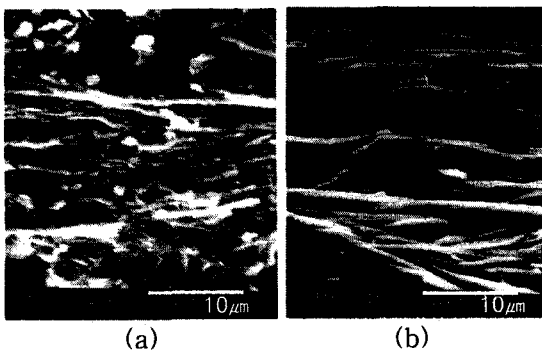


그림 4. 열교환기를 사용한 전과 후의 단면 튜브의 SEM 결과 (a)before, (b)after

표 1. 열교환기를 이용한 냉각속도에 따른 I-V특성. (at 77 K)

heat-exchanger	Tube dimension (mm)	I_c (A)
before	30×60×4.8	460
after	30×60×4.8	550
before	50×70×4.8	480
after	50×70×4.8	597

위 결과들에 따라서 튜브의 냉각 속도가 느린 부분보다 빠른 부분이, 열교환기를 통해 냉각 속도가 느린 튜브보다 빠른 튜브가 전기적 및 미세구조적 특성이 우수함이 확인 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 냉각 속도와 Bi2212 튜브의 전기적 및 미세구조적 특성과의 연관성을 평가 하고자 실험을 진행하였다.

1) 튜브는 원심성형법을 이용, 길이 150 mm의 튜브에 3부분의 전극을 결속한 후 제작하였고, 길이 60 mm, 70 mm 튜브는 열교환기를 사용해 냉각속도 변화를 주어 제작하였다.

2) 3 부분으로 나뉜 튜브의 전기적 및 미세구조적 특성은 열 유동 분석 결과 100s 때의 온도가 약 500~647 °C로 가장 낮은 용융물 주입부인 3번 부분이 가장 우수한 결과를 나타내었다.

3) 열 교환기 사용 전과 후 튜브의 전기적 특성은 열교환기를 사용 후의 튜브들의 I_c 가 30×60×4.8 mm 튜브는 550 A로, 50×70×4.8 mm 튜브는 597 A로 사용 전 튜브들보다 우수한 특성을 나타내었다.

5. 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용 기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] P. F. Herrmann, E. Beghin, J. Bouthegourd, C. Cotteville, G. Duperray, F. Grivon, A. Leriche, V. Winter and T. Verhaege "Current transfer conditions from a metallic conductor to a high T_c superconductor*1" Cryogenics, Volume 33, Issue 3, Pages 296-301, 1993.
- [2] Bock, J. Bestgen, H. Elschner, S. Preisler, E. "Large shaped parts of melt cast BSCCO for applications in electrical engineering", Applied Superconductivity, IEEE Transactions on, Volume 3, Issue 1, Pages 1659-1662, Mar 1993.
- [3] Chen M, Baumann T, Peter Untern?hrer and Willi Paul , "Fabrication and characterisation of superconducting rings for fault current limiter application" Physica C: Superconductivity, Volumes 282-287, Part 4, Pages 2639-2640, August 1997.
- [4] Hobl, A. Krischei, D. Schillo, M. Schafer, P. Bock, J. Gauss, S. "HTc current leads in commercial magnet systems applying Bi 2212 MCP BSCCO material" Applied Superconductivity, IEEE Transactions on, Volume 9, Issue 2, Pages 495-498, Jun 1999.