

Effect of Bi2212 Tubes Depending on Mold-design and Cooling Conditions

N. I. Lee^a, G. E. Jang^a, I. S. Oh, K. B. Park^b

^a Dept. Materials Science and Engineering Chungbuk national University, Cheongju Korea.

^b LS Industrial System Co., Ltd.

몰드 디자인과 냉각조건이 Bi2212 초전도튜브에 미치는 영향

이남일^a, 장건익^a, 오일성, 박권배^b

Abstract

For the practical application on SCFCL (Superconducting fault current limiters), Bi-2212 tubes were fabricated by Centrifugal Forming Process (CFP). The tubes were annealed at 830, 840, and 850 °C, respectively for 80 hours in oxygen atmosphere. The tubes heat treated at 840 °C demonstrated better electric characteristics than the tubes heat treated at 830 and 850 °C. The typical value measured at 77 K in the self field was around 556 A. In terms of cooling effect on superconducting properties, it was found the electrical properties were quite dependent on the mold design and shapes. In order to check uniformity along the tube, EFDLab for heat and fluid analysis of NIKA was adopted. It was found out that the simulation data was quite well matched with experimental results.

Keywords : Bi2212, Centrifugal Forming Process. SCFCL

I. Introduction

고 전류밀도를 유지하며 신뢰성과 재현성이 탁월한 초전도체와 이의 제조 기술은 자석, 한류기, 송전선 등의 전력기기 응용에 필수적이라 할 수 있다. NEXANS사에서 주로 사용하는 Melt Casting Process (MCP)는 일반적인 소결법으

로 얻어진 시편보다 높은 Jc를 나타내고 있으며, 현재까지 벌크를 이용한 공정 중에서 경제성이나 특성 면에서 가장 재현성이 높다고 평가되고 있다. 특히 임의의 크기나 두께 조절로 다양한 형태의 초전도체 제조가 용이하다 [1]. J. Bock 등은 BSCCO 고온 초전도 튜브를 MCP 법으로 제조하여 시편의 크기에 따라 600 ~ 4000 A/cm²의 Jc를 얻었다 [2-4]. MCP 공정에서는 초기 단계의 분말의 순도 및 균일성 등 분말에서 열처리, 가공공정에 이르기 까지 공정

*Corresponding author. Fax : +82 43 271 3222
e-mail : leenamil@daum.net

상의 많은 변수들이 복합적으로 중요한 요소가 되지만 높은 전류 밀도를 얻기 위해서는 몰드의 냉각 속도의 조절과 열처리가 매우 중요한 요소 중 하나로 평가되고 있다.

본 연구에서는 다양한 형태의 몰드를 이용, Bi2212 튜브를 제조한 후 열처리 온도, 냉각 속도, 몰드 구조가 미세구조와 초전도 특성에 미치는 영향을 체계적으로 조사하고자 하였다.

II. Experiment

본 연구에서 사용된 튜브는 길이 100mm, 직경 30mm, 내경 20mm, 두께 5mm로 원심 성형로에 의해서 제조되었다. 냉각 속도에 의한 전기적 특성을 알아보기 위해 공기 순환을 고려해 자체 제작한 몰드를 Fig. 1에 나타내었다. 제조된 튜브는 열처리의 온도에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해 830°C, 840°C, 850°C의 온도, O₂ 분위기에서 각각 80시간 열처리 하였다. 몰드에 따른 냉각 속도는 NIKA사의 열유동 해석 툴인 EFDLab을 이용해 열유동 해석 하였고, I_c의 전기적 특성을 측정 비교 하였으며, SEM, XRD등을 통하여 미세구조 및 성분을 분석하였다.

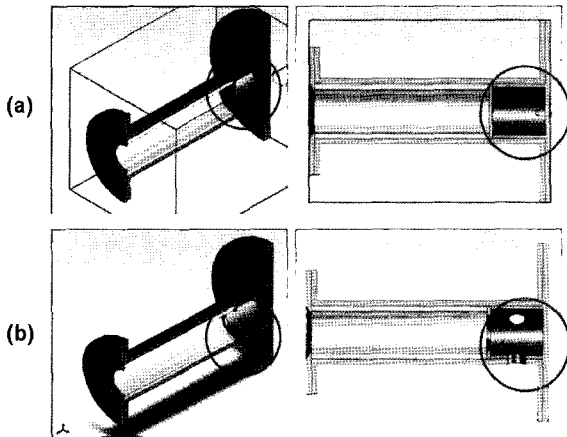


Fig. 1. The schematic diagram of mold: (a) the closed type and (b) the open type.

III. Results and Discussion

1. The electrical property depending on heat treatment condition

열처리에 따른 전기적 특성(I_c)을 Fig. 2에 나타내었다. I_c 특정 결과 840°C에서 열처리한 초전도 튜브는 556A로 가장 높은 반면 850°C에서 열처리한 튜브는 260A로 가장 낮은 값을 나타내었다. 850°C에서 열처리한 튜브의 경우 부분적인 용융이 일어났으며 많은 기공을 SEM을 통해 확인 할 수 있었다.

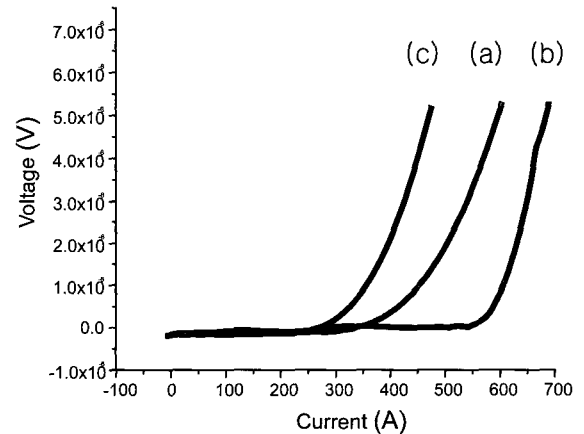


Fig. 2. I_c values in terms of different heat treatment condition: (a) 830°C, (b) 840°C and (c) 850°C.

2. Heat and fluid analysis depending on mold design

Fig. 3은 초기 온도 900°C 부터 냉각 시간 100s 일때의 몰드 디자인에 따른 열 유동 해석을 나타낸다. Open mold는 최고 온도 636.5°C로

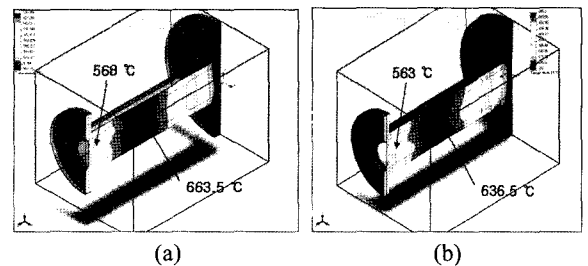


Fig. 3. Temperature distribution analysis on different areas after 100 s : (a) the closed mold and (b) the open mold.

Closed mold의 663.5°C 보다 27°C 정도 낮은 결과를 나타내었고, 최고 온도와 최저 온도 차이도 각각 73.5°C, 95.5°C로 open mold의 길이에 따른 온도 편차가 적음을 확인할 수 있었다.

3. SEM micrographs & XRD diffraction patterns

1000배율에서 closed mold는 많은 기공으로 인한 공극이 많은 조직을 나타냈으며, open mold는 비교적 적은 기공과 치밀한 조직구조를 보여

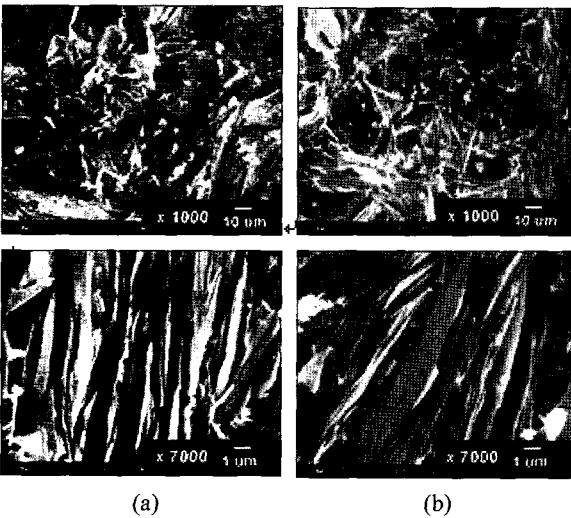


Fig. 4. Microstructure in terms of different mold designs : (a) the closed mold and (b) the open mold.

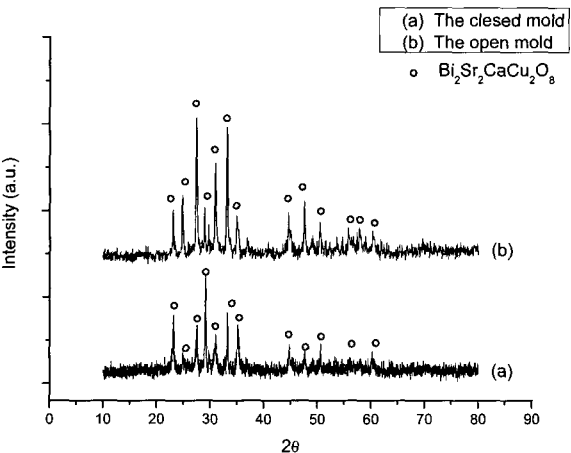


Fig. 5. XRD diffraction patterns taken from different mold designs : (a) the closed type and (b) the open type.

주었고, 7000 배율에서 SEM상의 미세구조는 두 몰드에 의한 튜브 모두 방향성이 뛰어난 층상 형태의 조직으로 성장함을 확인할 수 있었다 (Fig. 4).

XRD 측정 결과 두 시편 모두 Bi2212 상으로 잘 발달해 있는 결과를 Fig. 5에서 확인할 수 있었다. 특히 Open mold는 closed mold 보다 높은 강도의 2212상 피크를 확인할 수 있었다.

4. I-V measurement

Fig. 6은 몰드 디자인에 따른 I-V 측정이다. Closed mold는 약 480 A, open mold는 약 563 A를 나타내었다.

위 결과로 비추어보면 open mold 형태 몰드에서 제조된 초전도튜브는 비교적 냉각속도나 공기흐름이 낮은 closed mold에 비해 기공이 적고 밀도가 훨씬 높음을 확인할 수 있었고, XRD 결과에서도 Bi2212 상이 잘 발달됨을 알 수 있었다. 전기적 특성에서도 open mold에서 제조된 튜브는 Ic가 563 A로, closed mold의 480 A 보다 약 83 A 높은 결과를 나타내었다. 이것은 open mold가 냉각속도가 빠르고 냉각 시 온도 편차가 적어 튜브의 균일도가 향상된 결과로 판단된다.

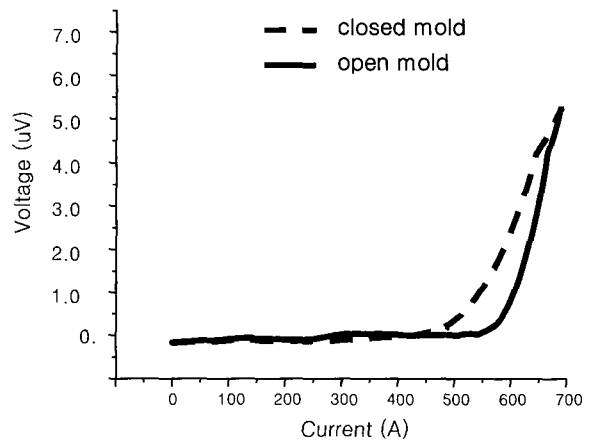


Fig. 6. Ic values depending on different mold designs.

IV. Conclusion

- 1) 다양한 열처리 결과 840°C 온도에서 열처리한 초전도 튜브의 I_c 가 약 556A로 400A보다 낮게 나온 830°C나 850°C에서 열처리한 초전도 튜브보다 나은 전기적 특성 결과를 나타내었다.
- 2) 몰드 디자인에 따른 열 유동 해석 결과 Open mold는 최고 온도 636.5 °C로 Closed mold의 663.5 °C 보다 27 °C 정도 낮은 결과를 나타내었고, 최고 온도와 최저 온도 차이도 각각 73.5 °C, 95.5 °C로 open mold의 길이에 따른 온도 편차가 적음을 확인 할 수 있었다.
- 4) 몰드 디자인에 따른 미세구조 및 전기적 특성 측정 결과 미세구조는 open mold가 closed mold에 비해 dense한 SEM 결과를 나타내었고, 각각 563 A, 480 A로 open mold가 약 83 A의 높은 결과를 나타내었다.

Acknowledgments

본 연구는 21 세기 프런티어 연구 개발 사업인 차세대 초전도 응용 기술 개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [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.