

PIT법에 의한 Bi-2223 고온 초전도 테이프의 임계전류밀도 향상에 관한 연구

A study on the improvements of Critical Current Density of Bi2223 Superconducting Tapes in PIT process

장 현만*, 오 상수, 하 동우, 류 강식, 김 상현**
한국전기연구소 초전도응용연구사업팀
경상대학교 전기공학과***

H.M. Jang*, S.S. Oh, D.W. Ha, K.S.Ryu and S.H. Kim**
Korea Electrotechnology Research Institute
Gyeongsang National University***

Abstract

In order to investigate control factors to critical current density, Ag sheathed Bi2223 superconducting tapes were fabricated using PIT process. Optimizing the reduction ratio of rolling, critical current density of rolled Bi2223 tape could be improved with the value of 15,000 A/cm²(77 K, zero field). The correlation between J_c and work inhomogeneity was revealed as a dependence of COV of measured oxide layer thickness.

1. 서론

Maeda에 의해 Bi-Sr-Ca-Cu-O 산화물 초전도체가 발견되어진 후 BPSCCO를 사용해서 실제로 응용할수 있는 초전도 선재를 제작하는데 많은 노력을 기울여 왔다¹⁾. BPSCCO는 YBCO 초전도체와 비교할 때 판상의 결정구조를 가지기 때문에 선재로 제작하는데 매우 용이하다²⁾. 세가지의 초전도상 중 Bi₂Sr₂Ca₁Cu₂O_x(Bi2212)는 주로 4.2K에서 고자장용 초전도 마그네트의 삽입코일로 응용하는데 연구가 진행되어 왔으나, Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x(Bi2223)는 4.2K 뿐만 아니라 액체질소온도 77K에서도 응용할 수 있어 많은 관심을 기울이고 있다. EPRI에서는

초전도 전력 케이블, HTS 모터, 발전기, SEMS에 중점적으로 연구하고 있으며 거의 실용화 수준에 도달했다³⁾⁻⁶⁾. 산화물 초전도 선재를 실제 시스템에 적용하기 위한 가장 중요한 파라미터는 임계전류밀도(J_c)의 향상이며 Ag 시스 Bi2223 초전도 테이프의 J_c를 향상시킬 수 있는 요소는 여러 가지가 있으나 산화물층의 밀도와 가공상의 균일성 그리고 2223상의 Volume fraction에 중점적으로 연구하였다⁷⁾⁻⁸⁾.

Powder-In-Tube(PIT)법은 Bi2223 선재를 제조하는데 매우 편리하고 효과적인 방법이다. PIT법에 의한 Bi2223 초전도 테이프의 J_c 향상에 관한 연구는 이미 많은 그룹들에 의해 보고되어진바 있으며, 이에 따르면 2223상의 Volume fraction에 영향을 미치는 가장 중요한 변수는 열처리 조건이다. 그리고 과거 연구자료를 살펴보면 산화물층의 두께와 임계전류밀도와 관계에 대하여 조사된바 있다. 본 연구에서는 가공상 최적조건을 찾고 이로 인해 J_c를 향상시키기 위해 많은 노력을 기울였다.

2. 실험방법

800℃에서 하소된 Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x 분말을 내경 6 mm, 외경 8 mm 은 튜브에 충전한 후 직경이

1.05 mm인 선재로 만들었다. 그림 1은 은시스 Bi2223 테이프의 제작과정을 개략적으로 도식화한 것이다. 산화물 분말을 충전한 튜브는 Groove Rolling에 의해 1.05 mm 까지 줄였으며, 이것을 압연하여 테이프의 형태로 만들었다. 이렇게 제작된 시편은 대기중에서 840℃의 온도로 100 시간동안 열처리 하였다. 이러한 가공 열처리 과정을 2회 반복하여 Bi2223 초전도 테이프를 제작하였다.

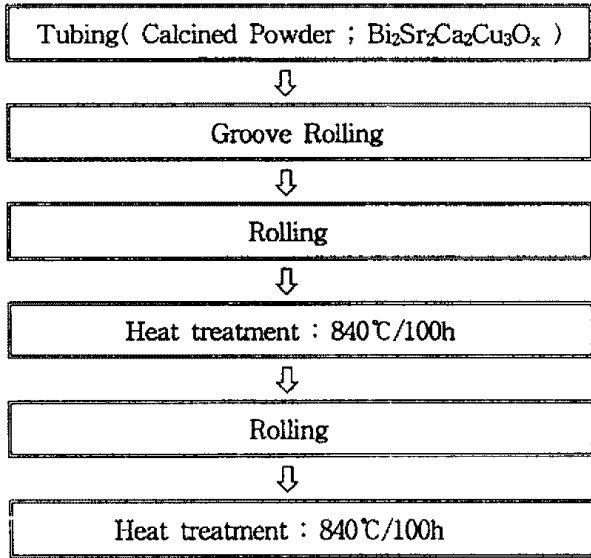


Fig. 1 Flow chart of tape fabrication

임계전류(J_c)는 77K, 0T에서 4단자법에 의해 측정하였으며 임계전류는 $1 \mu V/cm$ 때의 전류로 정의하였다. 임계전류밀도는 임계전류치를 시편의 실제 산화물 단면적으로 나누어 계산하였다. 시편의 미세조직을 관찰하기 위해 광학현미경, 전자현미경 (SEM), 경도계 등을 사용하였으며 XRD로 Bi2223의 Volume fraction을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림. 2는 77K, 0T에서 산화물층의 두께에 대한 임계전류밀도의 관계를 나타낸 것이다. 산화물의 두께가 감소할수록 증가하나 산화물 두께가 대략 $70 \mu m$ 이하에서는 J_c 의 증가 추세가 차츰 줄어들기 시작한다. J_c 의 증가는 산화물의 밀도가 높고 Bi2223 초전도 결정이 치밀하고 배향성을 띄기 때문이다.

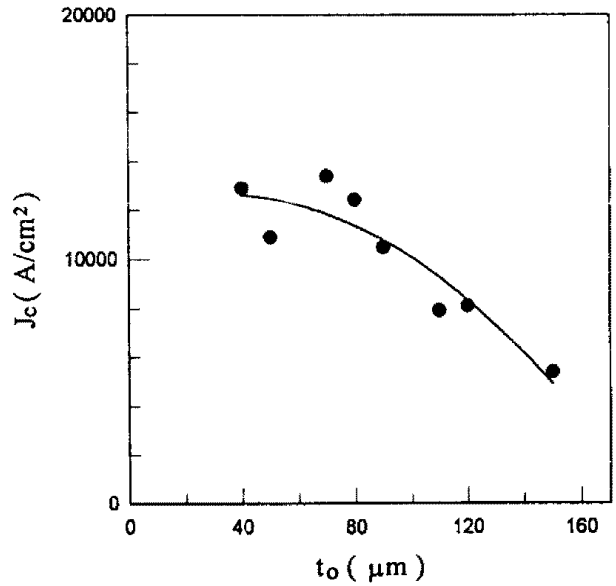


Fig.2 Oxide layer thickness dependence of J_c for the specimens prepared with cold working.

테이프를 가공되는 방향으로 산화물층을 관찰해 보면 두께가 일정하지 않은데 이는 groove rolling 되는 과정에서 sausaging effect 때문이다. 산화물층의 불균일성이 J_c 에 주는 영향을 고려하기 위해 전류가 흐르는 방향으로 산화물층의 두께에 대한 COV(coefficient of variation)를 계산하였다. 그림. 3에서 보이는 것 처럼 산화물층 두께가 $70 \mu m$ 이하에서 COV가 급격히 증가함을 알 수 있다. 이것으로서 J_c 의 증가 추세가 두께가 얇은 부분에서 서서히 감소하며 이는 산화물층의 불균일성과 밀접한 관계를 가진다는 것을 알 수 있다. 그러므로 J_c 는 가공상의 불균일성을 줄임으로서 향상되어 질 수 있다.

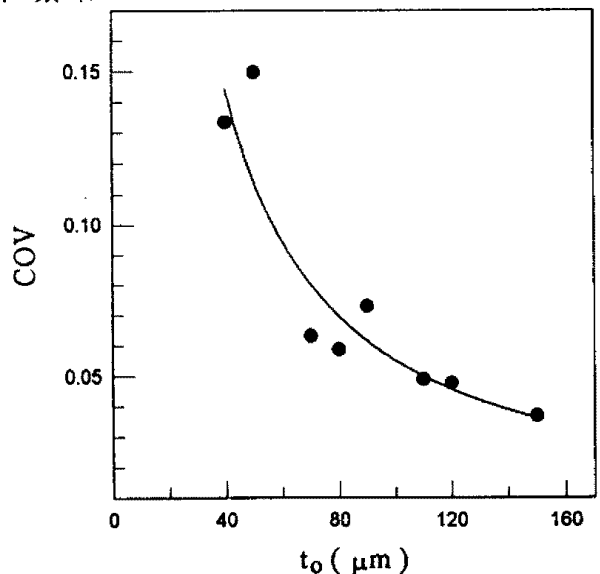


Fig. 3 The relation between the oxide layer of 199 BPSCCO tape and the COV of oxide layer thickness.

압연과정에서 압력, P는 다음공식과 같이 정리되어진다.

$$P \propto k_f \cdot w \cdot \sqrt{R \cdot \Delta t} \text{ ----- 1)}$$

여기서 k_f 는 압연되는 재료의 변형저항, w 는 테이프의 평균 폭, R 은 롤러의 반경, 그리고 $\Delta t = t_i - t_f$ 는 압연 전후의 두께 변화량이다. 테이프가 처음 열처리 후 2차로 압연될 때 Δt 를 변화시켰다. 그림. 4는 Δt 를 변화시킴으로써 변화되는 Δt_o (산화물층의 두께변화)에 따른 산화물의 Vickers hardness를 측정 한 결과이다. 이 결과로써 Δt_o 가 커질수록 압력이 커져 산화물이 더욱 치밀하게 가공되었음을 예측 할 수 있다.

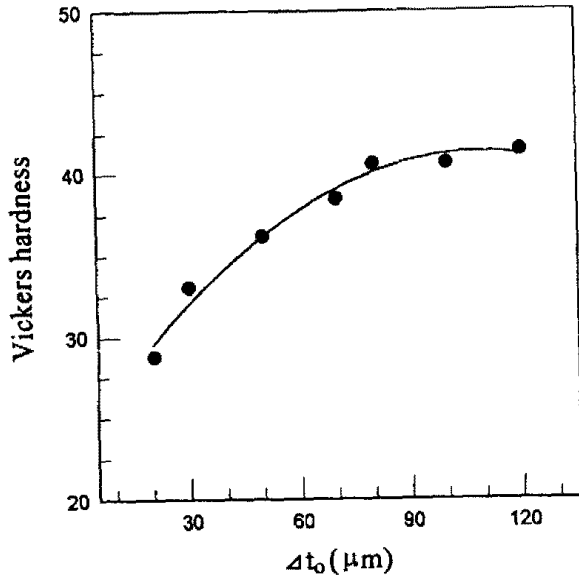


Fig. 4 The relation between the Vickers hardness of oxide layer and the oxide layer thickness difference before and after the rolling(Δt_o).

그림. 5는 산화물 두께가 70 μm 와 50 μm 인 두 가지 다른 시편을 가지고 Δt_o 에 대한 J_c 의 관계를 보이고 있다. J_c 는 Δt_o 가 증가 할수록 증가 하지만 어느 임계치 이상에서 Δt_o 가 증가 할수록 오히려 J_c 는 감소한다. 비록 J_c 는 그림. 2에서 산화물 두께가 얇을수록 증가함을 보였지만, J_c 는 압연될때의 조건에 더욱 민감하게 반응함을 알 수 있다.

그림. 6은 COV와 Δt_o 의 관계를 보여준다. COV는 Δt_o 에 비해하여 증가하며 두께가 얇은 샘플에서는 이 차이가 현저하다. 이 결과는 두께 변화량이 증가할 때 산화물층의 불균일성이 커지며 그리고 그 경향은 시편의 최종 두께가 얇을수록 더욱 현저함을 말 해준다. Δt_o 가 큰 부분에서 J_c 가 감소 하

는 거은 그림. 5에서 실험과정에서 생긴 산화물의 불균일성에 기인한다고 볼 수 있다.

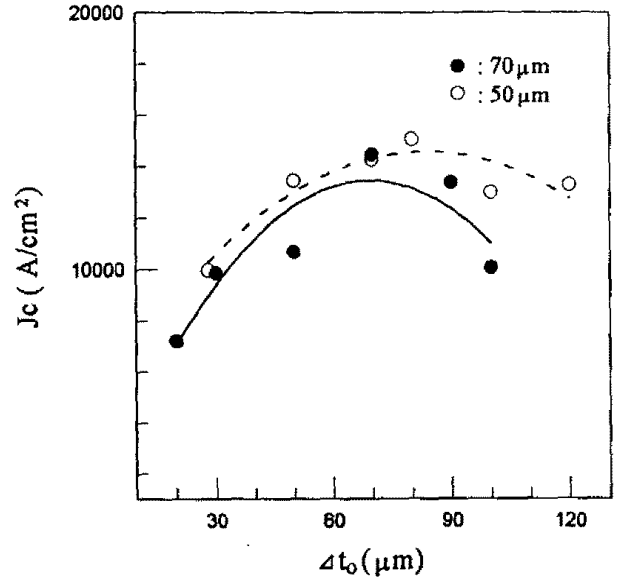


Fig. 5 Δt_o dependence of J_c for the two kind of specimens.

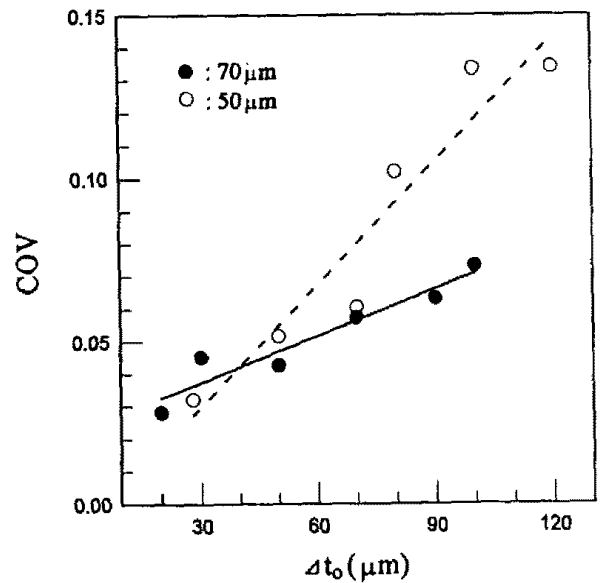


Fig. 6 The relation between Δt_o and the COV of oxide layer thickness prepared two kind of specimens.

테이프가 압연되면서 변화되는 두께에 대해 미세조직 변화를 조사하기 위해 Bi-2212와 Bi-2223상의 XRD 피크의 intensity를 비교하여 Δt_o 와의 관계를 그림. 7에 나타내고 있다. XRD의 intensity는 Bi-2223상의 배향성과 Volume fraction에 관계있

다. 그림. 7에서 보는 것 처럼 Δt_0 가 커짐에 따라 intensity 비가 거의 선형적으로 증가한다. 이에 의해 압연전후의 Δt_0 가 커지면 커질수록 Bi-2223 초전도 결정이 방향적으로 배열되고 volume fraction도 증가 한다.

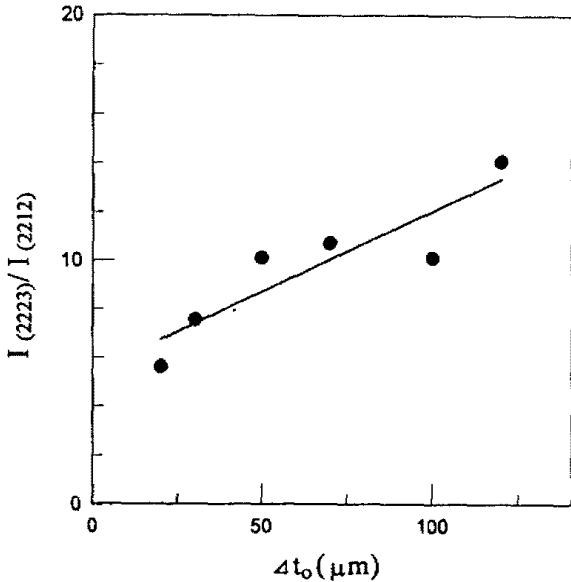


Fig. 7 The relation between the relative intensity of XRD peak from 2212 and 2223 phases and Δt_0 .

4. 결론

본 연구에서는 PIT법으로 은 시스 Bi-2223 초전도 테이프를 제작 하였다. J_c 는 테이프가 압연과정의 두께 변화량에 매우 민감하다. 그러므로 압연

등의 가공성이 J_c 를 향상시키는데 매우 중요한 역할을 차지한다. 그러나 가공상의 불균일성 즉 압연시 두께의 변화량이 너무 크면 오히려 J_c 에 좋지 않은 영향을 끼친다.

5. 참고문헌

- 1) H.Maeda, Y.Tanaka, M.Fukutomi and T.Asano : Jpn. J. Appl. Phys., 27(1988)L209
- 2) H.Kumakura, H.Kitaguchi, K.Togano and H.Maeda : Science reports of the Research Institutes, Tohoku University, Nov. 1992 p.161
- 3) M.Hiraoka, K.Sawada, A.Okuhara and J.Kai : Proc. of US-JAPAN Workshop on High T_c Superconduct, Nov., 1992 Japan p,17
- 4) D.W.Von Dollen and T.R. Schneider : Proc. of US-JAPAN Workshop on High T_c Superconduct, Nov., 1992 Japan p,54
- 5) M.satou, Y.Yamada, S.Murase, T.Kitamura and Y.Kamisada : Appl.Phys.Lett. 10(1994)640
- 6) K.Sato, T.Hikata, H.Mukai, M.Ueyama, N.Shibuta, T.Kato, T.Matstude, M.Magata, K.Iwata and T.Mitsui : IEEE Trans Mag. MAG27(1991),1231
- 7) K.Osamura , S.S.Oh, and S.Ochiai : Super cond Sci Technol., 5(1992)1
- 8) S.X.Dou, K.H.Song, H.K.Liu, C.C. Sorell, M.H.Apperley and N.Savvides : Appl. Phys, Lett., 56(1990)493