Progress in Superconductivity Vol.4 No.2 pp168-171 30 April 2003

The characterization of Bi-2223/Ag tape fabricated by using the rectangular dies

J. H. Jung [*,a], J. M. Yoo [a], J. W. Ko [a], Y. K. Kim [a], P. W. Shin [b]

[a] *Materials Technology Dept., Korea Institute of Machinery & Materials, 66 Sangnam-Dong, Changwon, 641-010, Korea*

[b] *Dept. of Physical metallurgy ,Changwon National University, Korea*

Received 20 August 2002

사각 다이스를 이용한 Bi-2223/Ag 선재의 특성평가

정재훈[a], 유재무[a], 고재웅[a], 김영국[a], 신평우[b]

Abstract

It was known that properties of superconducting tapes could be influenced by mechanical processing method. In this presentation, the effect of drawing method on the final properties of superconductor tape has been systematically studied. Firstly, BSCCO/Ag tapes have been fabricated via two-stage drawing method and conventional rolling process. The two-stage drawing process consists of circular dies drawing and rectangular dies drawi ng. Important parameters such as fill factor and critical current values of fully processed superconducting tapes have been evaluated to elucidate the effect of drawing method.

Keywords : Bi-2223/Ag , Drawing , Rectangular dies.

I. 서 론

고온초전도 현상이 1986년 발견된 이래 급속도로 발전을 해 왔으며 아직도 많은 부분에서 활발한 연구가 진행중이다. 특히 분말충진법(PIT)으로 제조되는 Bi-2223/Ag계의 고온초전도체는 대부분 테이프 형태의 선재로 제작 되어진다[1]. 이러한 선재로 장선화를 할 경우 수많은 실험외적 변수에 부딪히기도 하며 이러한 변수중의 하나로 선재의 균일성 즉, 장선화의 경우 선재의 직진성과 소세징 결함들은 예측불허의 변수 중의 하나이다[2]. 현재 산업 현장에서 쓰이는 기법중에 테이프 형상의 장선재를 가공할 때 압연가공 전에 각형 다이스를 이용하여 인발하는 경우가 있다. 이 방법을 초전도체 선재 가공 방법에 응용할 경우 선단의 모서리 분분과 직진성에 좀더 나은 특성을 나타내리라고 예상하였다. 각형 다이스를 이용할 경우 압연시에 나타나는 상하압축으로 인해 옆면에는 전혀 통제 불가능의 상태가 된다. 즉, 인위적으로 조절 할 수가 없으며 이로 인하여 원하는 형상을 얻기가 힘들어진다. 또한 초전도체 테이프 부분에서는 항상 모서리 부분에서 심재의 조대화로 인하여 텍스쳐가 잘 발달 되지 않으며 이는 곧 통전성에 직접적인 영향을

*Corresponding author. Fax : +82 055 280 3399
e-mail : thinkfly@hanmail.net

끼친다[3-4]. 본 실험에서는 각형 다이스를 인위적으로 설계하여 각각의 단계에 필요한 수축율을 가하여 실험적인 방법으로 다이스를 설계하였다. 이렇게 제작한 다이스를 이용하여 초기 외경 13.4 ㎜, 내경 10.5 ㎜의 pure Ag tube에 PIT(powder in tube)방법으로 제작 후 다시 이를 외경 12.1 mm, 내경 10.0 mm의 동종 재질의 tube에 61심으로 충진하고 재 인발하여 최종 압연 하는 과정으로 시편을 제작하여 각각의 특성을 평가 하였다.

II. 실험방법

본 연구에 사용된 Bi-2223/Ag 테이프의 전구분말은 $(BiPb)_2Sr_2Ca_{2..2}Cu_3O_x$ 조성의 용액을 분무건조법으로 하소 과정과 분쇄과정을 거쳐 제조 하였다. 분말의 충진 방법은 PIT(powder in tube)방식으로 Ag tube에 충진 하였다. 실험용으로 사용된 Ag tube는 내경 10.5 ㎜, 외경 13.5 ㎜, 길이 120 ㎜인 순도 99.99 %의 pure Ag를 사용하였다. 실험은 제조된 전구 분말을 이용하여 밀도 3.2 g/cm^{2}으로 충진 하였으며 육각에서 1.04 mm 까지 인발 하여 이를 다시 61심으로 cutting한 후 외경 12.1 ㎜, 내경 10.0 ㎜에 심재를 충진 하였다. 이렇게 제작한 선재를 또 한번의 인발 과정을 거쳐 외경 2.04 ㎜의 샘플A와 다시 사각 다이스를 이용하여 샘플B와 샘플C를 각각 제작 하여 Table 1에 나타내었다. 사용한 다이스는 Fig. 1과 같으며 각각의 샘플을 가지고 실험하여 최종도체에서 형성된 Fill factor(Ag/SC.)는 평균 0.26정도로 나타났다. 본 실험에서는 기존의 원형 다이스에서 최종 외경 2.04 mm에서 이를 개선 하고자 다시 사각다이스에서 인발하여 최종 H:0.9 ㎜, W:2.3 ㎜의 선재를 제작 후 각각의 시편을 같은 조건 하에서 소결처리 하여 임계전류를 측정 하였으며 단면 형상을 관찰하여 임계전류와 가공 특성을 살펴보았다.

Table 1. The HTS tapes dimension with used rectangular dies drawing

Sample	A	B	C
Drawing method	Circle dies drawing	Rectangular dies drawing	Rectangular dies drawing
Tape dimension	W: 4.2 ㎜ T: 0.3 ㎜	W: 3.3 ㎜ T : 0.3 ㎜	W: 3.6 ㎜ T : 0.3 ㎜

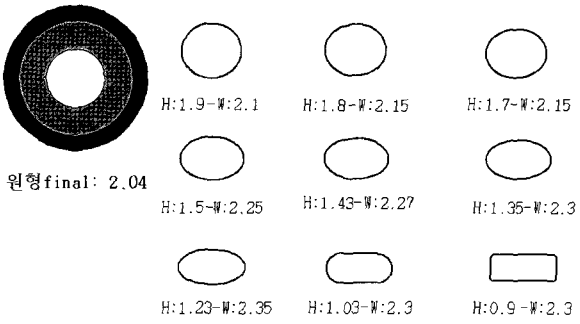


Fig. 1. The formation of rectangular dies with tape dimension. (unit: ㎜)

III. 결과 및 고찰

본 실험에서 사용된 $(BiPb)_2Sr_2Ca_{2.2}Cu_3O_x$의 전구분말의 평균 입도가 3 ㎛로 단심 Ag tube에 충진 하였다. 단심으로 제작한 육각 와이어를 61개로 절단 후 다심선재로 제 가공하여 일반적인 제조방법으로 최종 2.04 ㎜의 와이어와 사각다이스를 이용하여 최종 제작 하였다. 각각의 공정별 fill factor를 Fig. 2에 나타내었다. 인발 실험에서 얻어진 이전의 실험결과를 토대로 하여 적정한 수축률로 인발하였으며 원형 다이스를 사용한 경우와 사각다이스를 사용했을 때의 경우 각각의 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 초기의 원형에서 타원 형으로 변환 되는 과정과 평면으로 변형 되는 모습으로 직선시의 외형 또한 굴곡이 없는 미려한 모습을 관찰 할 수 있었다.

최종 사각 형상은 두께 0.9 ㎜, 넓이 2.3 ㎜의 선재로 제작하였으며 이를 다시 이용하여 압하율 5 %의 선재와 사각 다이스를 통과 한 시편은 각각 5 %와 10 %로 압연하였다. 제작한 시편을 가지고 임계전류 특성을 측정한 결과 Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 임계전류 측정후 통전 특성과 도체 단면 특성과의 상관 관계를 알아보기 위하여 테이프를 절단 하여 이를 관찰 하였다[Fig. 5]. 그 결과 그림에서

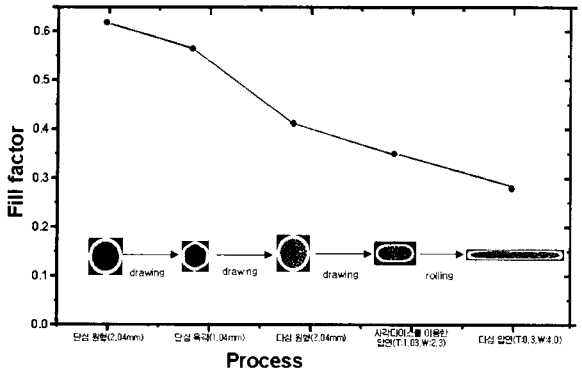
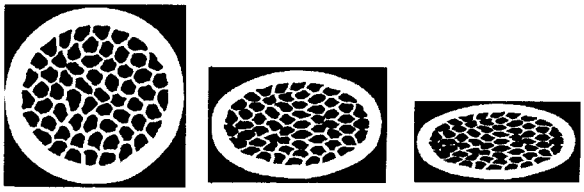


Fig. 2. Graph of average fill factor Vs Bi-2223/Ag tape process for various drawing methods.



a) circle dies (2.04mm)

b) rec- dies (H:1.7, W:2.15)

c) rec- dies (H:1.25, W:2.35)

d) rec-dies (H:1.03, W:2.3)

e) after drawing (T:0.3 , W:3.6)

Fig. 3. After drawing – circle dies and rectangular dies.

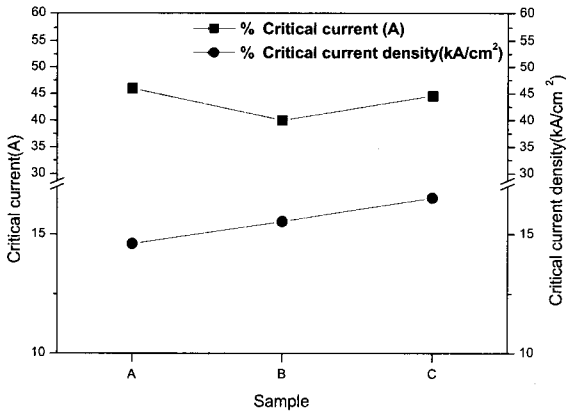
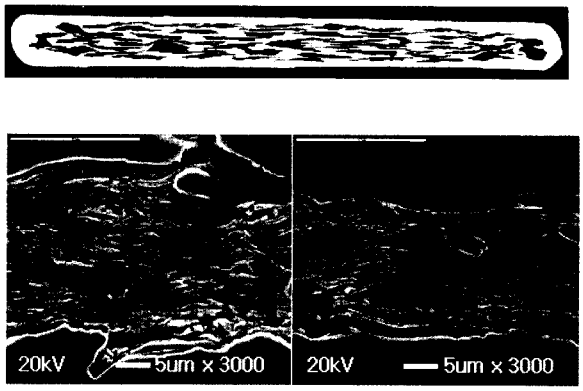
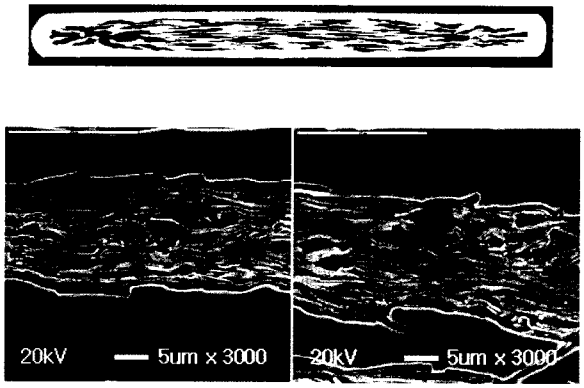


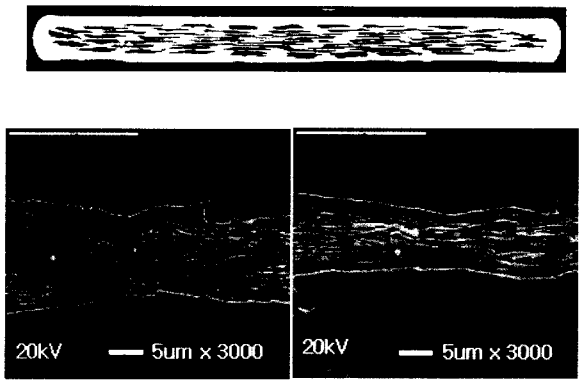
Fig. 4. Sample 1, 2, 3 characteristics of Bi-2223/Ag tapes circle and rectangular dies drawing.



a) Sample A cross section L:center, R:edge Fill factor: 0.25 , I_c:46.0 A at 77 K , J_c=14.6k A/cm^3



b) Sample B cross section L:center, R:edge Fill factor: 0.26 , Ic:40.0 A at 77 K, Jc= 15.5k A/cm^3



c) Sample C cross section L:center, R:edge Fill factor: 0.25 , Ic:44.6 A at 77 K ,Jc =16.5k A/cm^3

Fig. 5. OM image and SEM analysis.

보듯이 테이프 절단면의 모서리부분에서 초기 2.04 ㎜의 원형 다이스를 통과한 테이프의 모서리 형상은 다소 볼록한 형상을 지니고 있으며 압연한 결과 폭 4.2 ㎜, 두께 300 ㎛의 크기를 가졌다.

반면 10 %의 압하율로 압연한 샘플 C에서는 조금 평활한 모양의 모서리부분을 보였으며, 압하율 5 %의 샘플 B에서는 완만한 모서리 부분을 관찰할 수 있었다. 테이프의 형상에서 모서리부분에 생기는 초전도 코어의 형성은 원형 압연시 중앙 부분에서 먼저 압연이 되므로 이로 인한 선재 중앙부의 두꺼운 면과 낮은 모서리부분의 압연차로 생기는 압력이 서로 다르기 때문이다. 따라서 이러한 압연차에 의한 압력차이는 중앙부분과 모서리분분의 기계적인 응력에 의해서 중앙분분은 응력을 많이 받아 변형율이 커지며 상대적으로 모서리 부분은 변형율이 작아져서 Fig. 5 a)의 사진에서 모서리부분과 같이 가운데 부분의 눈썹형태와 다른 구형의 형태를 가진다. 일반적으로 판상 형태의 2223상 적층은 눈썹 형태에서 유리하며, 양호한 적층은 임계전류 밀도에 크게 기여한다. 원형 다이에 인발했을 경우 사각 다이 인발시보다 높은 임계전류를 가졌지만, 임계전류 밀도는 오히려 감소하였다. 이것은 사각다이에 인발했을 경우 초전도 코어가 통전성에 많이 기여한 것으로 사료된다. Fig. 5에서 관찰 할수 있듯이 사각다이 인발시 모서리 부분의 초전도 코어가 적층성에 유리한 눈썹모양으로 더 잘 발달되어 있고, 배열성 또한 더 양호한 것으로 관찰되어진다. 그리고 10 % 압하율로 압연한 경우 5 %보다 거대 초전도 이차상의 생성이 감소하였고, 2223상의 배열 양호하게 나타나 임계전류밀도 향상에 기여한 것으로 보인다.

IV. 결 론

PIT 법으로Bi-2223/Ag계 고온 초전도체 테이프를 제작 하였으며 기존의 인발 공정에서 향상된 특성을 나타내기 위하여 본 실험을 행하였다. 여기에 사용된 사각다이스는 이론응력과 실제 실험시 나타나는 가공 경화 현상을 고려하여 현장 실험을 통하여 제작 하였으며 이를 토대로 실험하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Bi-2223/Ag계 고온초전도 선재 제작시 사각 다이스를 이용하여 인발할 경우 원형 다이스보다 향상된 임계전류 밀도 값을 얻을수 있었다.
2. 심 선재 제작시 원형 다이로 인발시보다 사각 다이로 인발시 선재의 초전도 코어 형상이 텍스쳐를 잘 발달할 수 있는 눈썹 모양을 생성시키는데 유리하였다.
3. 압연과정 중 압하율을 5 % 보다 10 %로 하였을 경우 임계전류 및 임계전류 밀도를 향상 시킬 수 있었다.

V. 감사의 글

본 연구는 국가지정연구실 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] G. Grasso, F. Mart, Y. Huang and R. Flukiger "Development of Ag-sheathed Bi(2223) tapes with improved microstructure and homogeneity" J. Superconductivity.11.5.489-494(1998)

[2] H.S.Ha, S.S.Oh, D.W.Ha, S.C.Kim, S.W.Bae, Y.K.Kwon, K.S.Ryu "the effect of mechanical working on processing the Bi-2223/Ag tapes using PIT method", The Korean Superconductivity Society Vol. X, pp276-279, 2000

[3] J. Jiang, J.S. Abell, Physica C 296 (1999) 13.

[4] N.V. Vo, J.O. Willis, D.E. Peterson, H.K. Liu, S.X. Dou, Physica C 299 (1998) 315.