

BSCCO-2223계 초전도 선재의 기계적 가공이 임계 전류 밀도에 미치는 영향

The effect of mechanical processing in BSCCO-2223 tape on critical current density

임성우, 강형곤, 최명호, 박정국, 한병성
전북대학교 전기공학과

Seong-Woo Yim, Hyeong-Gon Kang, Myung-Ho Choi, Kyung-Kuk Park, Byoung-Sung Han
Dept. of Electrical Eng., Chonbuk National Univ.

Abstract

BSCCO-2223 superconducting tape made by PIT method can be influenced in the critical characteristics by the heat treatment and the mechanical processing. Particular, it has been reported that the mechanical deformation affects the core density, texture of the core, sausaging and so on. Therefore the accurate control of the deformation process is very important to achieve high J_c . In this study, we measured the J_c variation for different rolling reduction rate and investigated the change of core shape to compare the formation of sausaging.

1. 서 론

PIT법으로 제작한 Bi-2223계 초전도 선재는 초전도 마그넷, 초전도 케이블 등의 응용에 적합한 임계 온도와 외형적특성을 지녔음에도 불구하고, 낮은 임계전류밀도, 자장특성의 취약점, 기계적 가공성의 결함등 개선되어야할 문제점을 보이고 있으며 이를 극복하기 위해 많은 연구가 행하여지고 있다.

선재의 임계 특성에 영향을 미치는 조건으로서는 코어의 밀도, 코어의 불균일성, sausaging 현상, 그리고 입자의 배열성 등을 들 수 있다. 이러한 문제점은 크게 열처리 공정과 기계적 가공의 개선에 의해 해결 할 수 있다. 특히 기계적 가공은 swaging, 압출, 인발, rolling등의 공정을 들 수 있는데 이러한 가공 공정으로 코어의 밀도, 입자의 일방향 배열, sausaging 등을 제어할 수 있어 특성 향상을 위한 많은 연구와 정밀한 제조를 필요로 한다.

본 연구에서는 각 열처리 사이의 rolling시 감소율이 초전도 선재의 코어의 밀도에 미치는 영향과 각 감소율에 따른 sausaging 현상의 변화를 조사하였으며, 이에 따른 최적의 rolling 감소율을 얻고자 하였다.

2. 실험 방법

PIT (Powder-In-Tube) 법을 이용하여 초전도 - 355 -

선재를 제작 하였으며 사용된 시료는 순도 99.999 % 의 고순도 $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 시료를 사용하였다. 외경 10mm 내경 8mm 의 순은 tube에 적당한 밀도로 packing 한 후 swaging을 거쳐 15% 의 단면적 감소율로 외경 1.24mm 까지 인발 하였다.

인발속도는 sausaging을 줄이기 위해 지름 4.8 mm 까지는 350 mm/min의 저속으로, 그 이후 최종 인발 까지는 620 mm/min의 속도로 인발하였다.

이렇게 인발된 지름 1.24 mm의 wire 형태의 선재를 두께 0.3 mm 까지 각각 감소율 10%, 30%, 50% 로 1차 rolling 하였으며, 각각의 시편을 843° C에서 100 시간 동안 1차 열처리 하였다. 1차 열처리가 끝난 각각의 시편을 다시 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 의 감소율로 최종 두께 0.14 mm 까지 동일한 두께로 2차 rolling 하고 다시 843° C에서 100 시간 동안 2차 열처리를 행하였다.

모든 공정이 끝난 시편은 4단자법을 이용하여 임계 전류 밀도를 측정 하였으며, 광학현미경을 통하여 단면과 조직을 관찰하였다.

3. 결 과 및 고 찰

1차 rolling과 2차 rolling 공정후 각각의 단면 사진을 그림 1에 나타내었다.

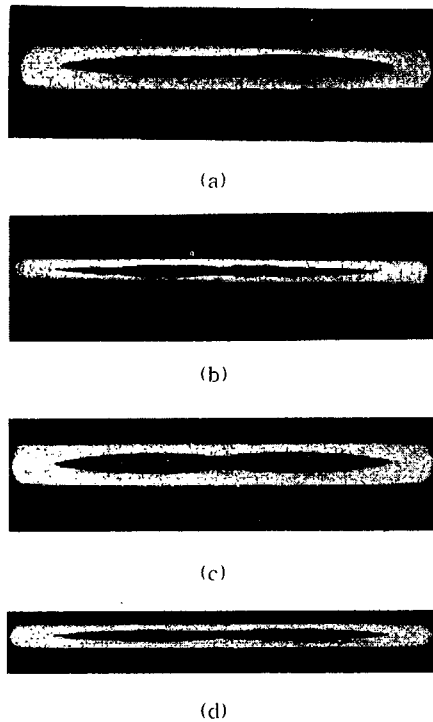


그림 1. 1차, 2차 rolling 공정 후 단면사진
 (a) 1차 rolling 감소율 10% 일때의 선재의 종단면 사진
 (b) 1차, 2차 rolling 감소율 10%, 10% 일때의 선재의 종단면
 (c) 1차 rolling 감소율 25% 일때의 선재의 종단면 사진
 (d) 1차, 2차 rolling 감소율 25%, 10% 일때의 선재의 종단면

1차 rolling 후에 감소율에 따라 코어의 종단면에 서로 다른 변화가 있음을 알 수 있다. 감소율이 높아질수록 더욱 큰 압력이 코어 중심부에 가해지며, 이에 따라 코어의 밀도 또한 높아짐을 그림으로부터 알 수 있다. 또한 2차 rolling 후의 단면 사진으로부터 코어 중심부의 밀도는 임계점에 다다르고 결국 가해진 압력은 코어 양 옆으로 전달됨으로써 단면 모양의 차이가 많이 줄어들었음을 알 수 있다. 이와 같은 rolling 감소율이 임계전류밀도에 미치는 영향을 그림 2. 3에 나타내었다.

1차 rolling 감소율이 10% 일때 2차 rolling 감소율이 증가함에 따라 임계전류밀도가 점점 증가함을 알 수 있다. 그러나 30%의 감소율의 경우, 완만한 증가를 보이고 50%의 감소율 일때는 오히려 2차 rolling 감소율이 증가함에 따라 임계전류밀도가 감소함을 알 수 있다.

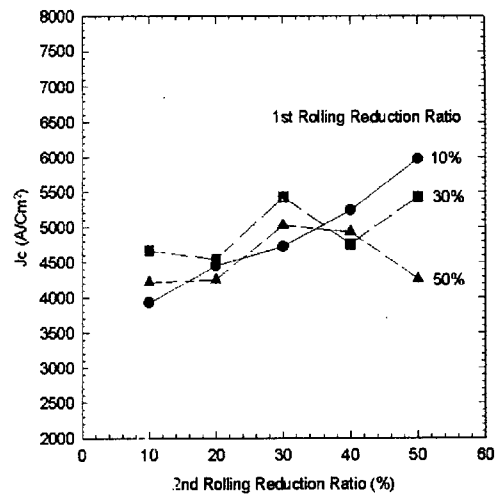


그림 2. 2차 rolling 감소율의 변화에 따른 각각의 1차 rolling 감소율에 대한 임계 전류 밀도

또한 그림 3은 각각의 1차 rolling 감소율에 대한 2차 rolling 감소율에 따른 임계 전류 밀도의 변화를 보여준다.

1차 rolling 감소율이 10% 일때는 2차 rolling 감소율이 증가함에 따라 Jc가 증가됨을 볼 수 있으며 1차 rolling 감소율이 증가함에 따라 2차 rolling 감소율에 따른 임계전류밀도변화는 적은 차이를 보이며, 위 결과로부터 1차 rolling 감소율은 될수록 작게 하고 2차 rolling 감소율은 크게 하면 대체로 큰 값의 임계 전류 밀도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

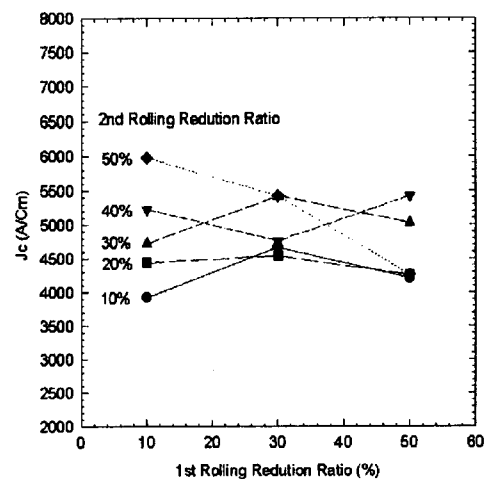


그림 3. 1차 rolling 감소율의 변화에 따른 각각의 2차 rolling 감소율에 대한 임계 전류 밀도

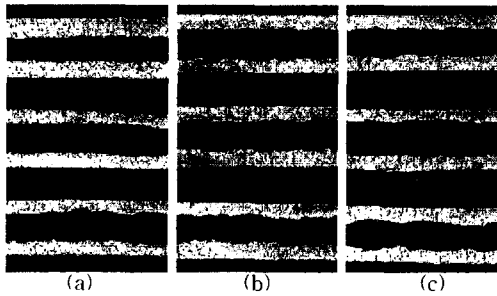


그림 4. 1차 2차 rolling 감소율에 따른선재의 횡단면
a) 10% 50%, b) 30% 50% c) 50%-50%
10% 30% 30% 30% 50%-30%
10% 10% 30% 10% 50%-10%

그림 4로부터 은 피복재내의 sausaging 효과는 실제로 선재의 임계 전류 밀도에 적지 않은 영향을 미침을 알 수 있다. 1차 rolling시 10% 감소율은 2차 rolling시 감소율이 높을수록 오히려 sausaging 현상이 덜 함을 보이고 있으며, 1차 rolling시에 각각 30%와 50%의 감소율로 rolling했을 경우 2차 rolling의 감소율이 높아짐에 따라 sausaging 현상이 줄어들지만 2차의 감소율이 50% 일때는 오히려 sausaging 현상이 심해졌으며 임계전류밀도 또한 저하됨을 볼 수 있었다.

4. 결 론

선재의 기계적 가공시 열처리 중간 단계의 rolling 감소율은 선재의 임계 전류 밀도에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다.

1차 rolling시 감소율이 작을 때는 2차 rolling 감소율이 커질수록 sausaging 현상이 줄어들고 이에 따라 임계 전류 밀도 또한 증가 하였다. 그러나 1차 rolling 시 감소율이 클수록 2차 rolling의 영향을 덜 받았으며, 1차 rolling 감소율이 30% 이상일때는 2차 rolling 감소율이 커질수록 오히려 sausaging 현상이 증가해서 임계 전류 밀도도 감소함을 알 수 있었다. 즉, 가장 높은 임계 전류 밀도를 보인 것은 감소율이 각각 10 - 50 %, 30 - 30 %이었으며, 실제 응용을 위한 감소율은 30 - 30%가 적당한 값이라고 할 수 있겠으나, 최대의 임계 전류를 위해서는 10 -50%의 감소율이 바람직 하다고 생각되며, 이러한 방법으로 입자의 고른배열이 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 더욱 양호한 선재를 얻기 위해 적절한 열처리 온도를 찾는 것이 매우 중요하며, 이러한 열처리 공정과 기계적 가공을 통해 더욱 높은 임계전류밀도를 얻을 수 있을 것이다.

5. 참 고 문 헌

1. Yamada Y., Sato M., Murase S., Kitamura T. and Kamisada Y., 1993, Advances in Superconductivity V ed Y Bando and H Yameuchi P 717
2. Korzekwa D. A., Bingert J. F., Podtburg E. J. and Miles P., 1994 Appl. Supercond. 2. 261
3. Han Z. and Freltoft T., 1994, Appl. Supercond., 2. 201
4. Wolf B., Paufler P., Schubert M., Rodig Chr and Fischer K., 1996, Supercond. Sci. Technol., 9. 589.
5. Osamura K., Oh S. S. and Ochiai S., 1992, Supercond. Sci. Technol., 9 589
6. Yamada Y 1996 Bismuth-based High temperature Superconductors ed H Maeda and K Togano
7. Z. Han, P. Skov-Hansen and T. Freltoft, 1997, Supercond. Sci. Technol., 10 371-387