

Introducing hydrostatic extrusion process for long -length processing of Bi-2223 superconducting tape

J. H. Joeng^{*,b}, J. M. Yoo^a, J. W. Ko^a, S. C. Kang^a, H. D. Kim^a, P. W. Shin^b

^aKorea Institute of Machinery & Materials, Changwon, Korea

^aKorea Institute of Machinery & Materials, Changwon, Korea^b Sarim-dong Changwon university, Changwon, Korea

정수압 압출법을 이용한 초전도 Bi-2223 장선재 제조공정 연구

정재훈^{*,b}, 유재무^a, 고재웅^a, 강신철^a, 김해두^a, 신평우^b

Abstract

There are many problems in wire fabrication of long length Bi-2223 superconductor by using conventional extrusion method. They are mainly due to high surface resistance and inhomogeneous distribution of inner stress. Hydrostatic extrusion process will not only decrease the extrusion pressure but also enhance homogeneous deformation of material by reducing friction force between billet and container. Hydrostatic extrusion method is considered to be useful for fabrication of the homogeneous wire with high density. In this paper, hydrostatic extrusion process is introduced to fabricate Bi-2223 superconducting tape, and also discussed are the interface homogeneity and microstructural aspects of extruded BSCCO/Ag billet.

Keywords : Bi-2223, hydrostatic extrusion

1. 서 론

초전도 장선재를 제조하기 위한 방안으로 현재 PIT(powder-in-tube) 공정을 많이 이용하고 있으며, 이 방법을 통하여 Bi 계 고온 초전도 선재제조에 대한 많은 연구와 성과가 보고되고 있다. 그러나 1km 급 이상의 장선재 제조시 제조원가의 고비용과 공정상의 복잡성 등이 초전도 선재제조의 상용화에 많은 장애요인이 되고 있다. 본 연구에서는 압출 공정을 이용하여 여

러 단계의 기계가공 공정을 줄여 제조시간을 단축하며 다심 장선재 제조시 단심 선재들을 튜브안에 적층 시키는 공정들을 생략할 수 있는 장점 등을 이용하여 압출방법을 이용한 제조방법을 연구 하였으며 압출 방법으로는 직접 압출과 정수압 압출을 이용하였다. 일반 압출은 압출시 sausaging effect 에 의해서 많은 결함과 심재의 불균일 분포 및 피복재의 강도에 따라 많은 변수를 가지고 있다. 하지만 정수압 압출의 경우 billet 전체에 균일한 압력을 가하여 압출 할 수 있으며 이는 균일한 분포를 가지는 심재를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 본 실험에서는 이러한 압출 방법을 상

*Corresponding author. Tel : +82 55 280 3346

e-mail : thinkfly@freechal.com

호 비교 분석하고 이를 바탕으로 정수압 압출의 다심 선재 제조공정에 응용 할 것이다. 고온 초전도 BSCCO 2223 장선재 제조를 위하여 압출에 의해 성형할 경우 결함 없이 성형 가능한 다심 및 단심 billet 을 설계하였다. 압출 후 최대 결함인 sausaging effect 를 모사실험[1]의 결과를 바탕으로 Brass/Talc billet 과 Ag/BSCCO 2223 billet 을 각각 제작하여 압출 실험을 진행하였고 각각의 압출 후 몇 번의 인발 공정을 거쳐 단면부와 길이방향으로 절단하여 powder의 유동을 관찰 하였다. 일반 압출과 정수압 압출을 같이 행한 이유는 각각의 장점과 정수압 압출의 이론적인 응력분포에 의해 심재의 거동을 알아보려고 하며 이를 바탕으로 향후 보다 나은 공정과 경제성을 고려하여 진행 할 것이다.

2. 실험

2-1. Billet 설계 및 제작

본 실험에서는 직접 압출에 의하여 성형 한 것과 정수압 압출을 이용하여 압출 한 것을 이용하여 실험에 임하였다. 직접 압출을 이용한 billet 은 초기 직경에 대한 최종 직경의 변형률 r 값이 약 1.09이다. 초기 항복응력의 크기가 전체 응력의 크기를 결정 하므로 초기 항복 응력의 크기가 낮고 선행연구결과[2]를 기초했을 때 심재로 쓰인 초전도 분말에 피복재의 경도 비가 크지않은 brass 와 pure Ag 를 사용 하였다. 초전도 분말재를 포함하고 있는 Ag billet은 압출시 단면적이 감소함에 따라 분말재가 압축되어 분말의 상대밀도를 증가시키게 된다. 상대밀도가 증가한 분말재는 피복재인 Ag소재에 영향을 준다[3]. 본 실험에서는 압출 billet 전체 단면적에 대한 심재 단면적의 비율인 충전률 (Fill factor)을 약 40%로 하고 이를 정육각형의 배열로 하였다. 육각형의 정점(Apex)에 위치한 분말 원주의 외각에서 billet의 외경사이의 간격이 압출 성형시 발생하는 높은 압축력은 초전도 분말재의 터짐에 관계되므로 이를 방지하기 위해 충분한 간격을 두었고 각각의 간격은 압출시 분말간의 혼합과 같은 결함을 방지할 수 있도록 설계하였다(Fig. 1). 또한 압출의 초

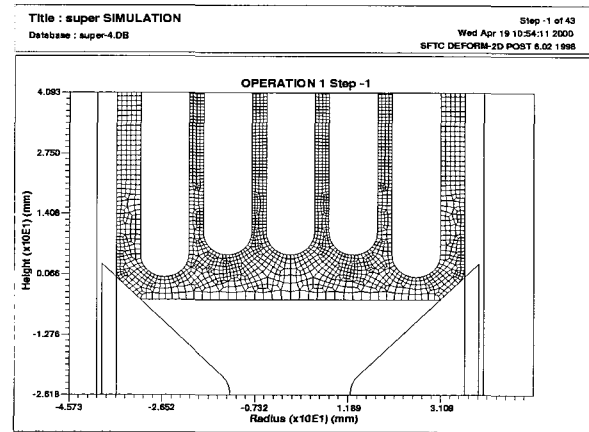


Fig. 1. Initial state billet

Table 1. Director extrusion and hydro static billet of spec.

| 소재 | Hv | die | length | 비고 |
|---------|-----|------|--------|-----|
| Brass | 105 | 75mm | 85mm | 다심용 |
| Brass | 105 | 75mm | 85mm | 다심용 |
| Pure Ag | 30 | 75mm | 50mm | 다심용 |
| Brass | 105 | 74mm | 130mm | 단심용 |

기에 billet 의 유동을 원활히 하기 위해 소재의 끝에 모따기를 하였다.

선행 연구 결과 Fig. 1과 같은 모습으로 설계했을 경우 가장 이상적 이었으며 이는 압출시 수반되는 내부응력과 외부응력 사이의 불균일한 형성이 압출시 속도차에 의해 고르지 않은 심재의 적층을 이루게 하였다. 따라서 길이의 편차를 맞추기 위해서 그림과 같이 유한요소 프로그램을 이용하여 설계하였다. 각각의 압출에 따라 총4개의 billet 을 제작 하였으며 brass 재질의 일반 압출용 billet 2종과 pure Ag billet 1종을 제작 하였고 정수압 압출에서는 brass 재질의 billet 1종을 제작 하여 실험 하였다.

직접 압출에 쓰인 Press 는 550ton 용량이며 400℃의 열간에서 압출하였다. 위 그림에서 보듯이 brass billet 은 두 가지의 방법으로 충전하였다. 한 가지는 통 billet 에 드릴링으로 구멍을 내어 충전 하였고 한가지는 원통의 billet

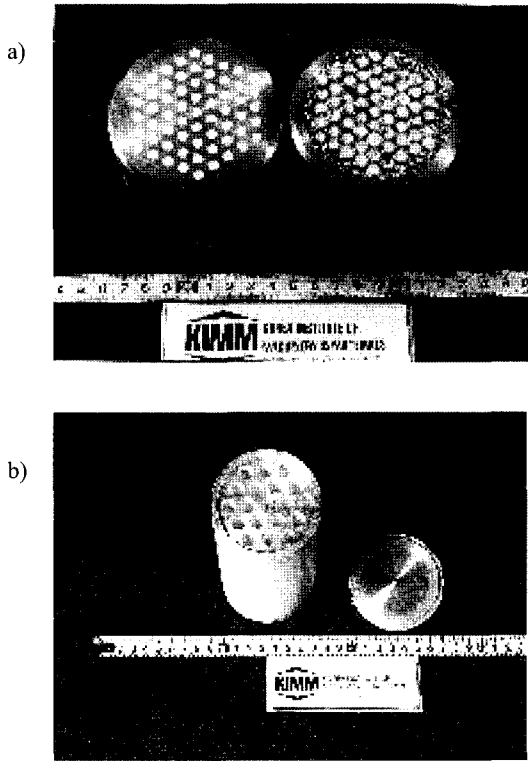


Fig. 2. a) Brass billet b) Pure Ag billet

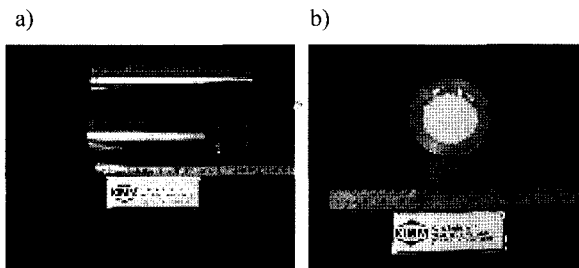


Fig. 3. a) Packing 전의 billet 형상, b) Packing 후의 billet 형상

에 내부를 파내고 다시 10mm 튜브에 충전 후 다시 이를 원통에 넣어 나머지 부분을 같은 재질의 brass core 를 이용하여 충전 하였다. Pure Ag billet 역시 통으로 된 billet 에 드릴링으로 구멍을 내어서 충전 하였다.

Fig. 3 은 단심으로 제작한 billet 으로 sausinging effect 를 알아 보고자 한 것이며 일반 압출이 아닌 정수압 압출을 이용하여 압출 하였다. Packing 밀도를 높이기 위해서 기존의

hand packing 보다 더 효율적인 50ton 급 다목적 유압 press 를 이용하여 단위 면적당 1200psi 의 압력을 가하여 packing 하였다. Packing 후 분말의 경도를 측정한 결과 Hv 75 정도의 경도 값을 나타내었다.

2-2. 압출실험

우선 일반압출로 압출한 것은 내부에 많은 응력이 존재하여 균일한 압출 비를 얻을 수 없었다. 즉, Sausaging effect 에 의해 내부가 불균

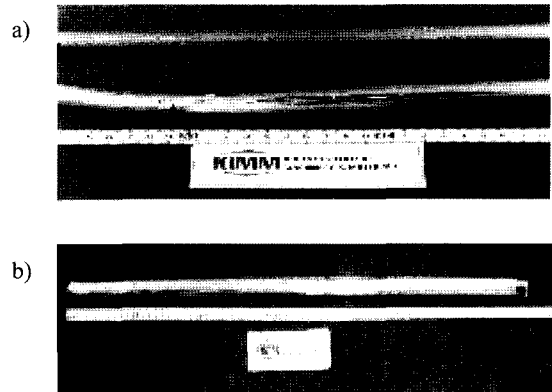


Fig. 4. a) Brass billet 의 압출후 외형 b) Pure Ag billet 의 압출후 외형

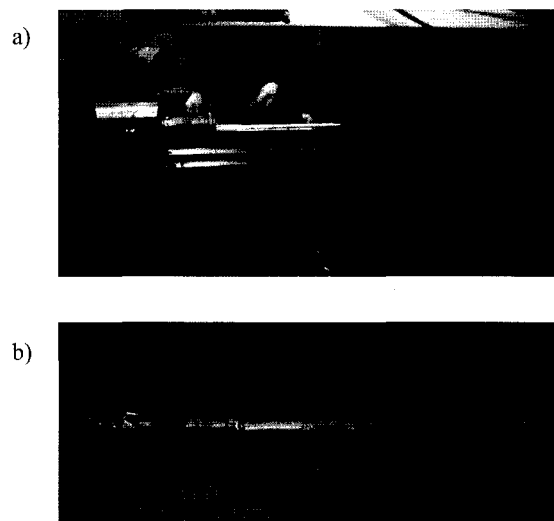


Fig. 5. a) 정수압 압출기 container 에서 압출 되는 모습 b) 압출후 봉재화된 billet

일 하게 분포되어 있었다. Brass 의 경우 내부 심재가 규칙적으로 배열되어 있는 것을 볼 수 있었으나 피복재의 경도 및 강도가 상대적으로 훨씬 낮은 Ag 의 경우 내부의 심재가 서로 혼합되어 있고 또한 압출방향에 대하여 터짐 현상이 발생하였다(Fig. 4).

정수압 압출에서는 600ton 급의 압출기를 이용하여 실험하였다. 정수압 압출의 장점은 소성가공 공정에서 정수압이 걸리면 항복응력은 변하지 않지만 인장응력은 crack 을 유발하는 임계값 이하로 낮추어주는 결과를 가져온다. 따라서 정수압은 물체의 일반압출에 비하여 연성을 유지하며 damage 를 적게 준다. 결과적으로 많은 소성변형이 가능하다. 압출의 경우 다이 반각이 크면 인장응력이 커지고 작으면 정수압이 커져 많은 가공이 가능하게 된다. 본 실험에서는 die 반각을 30° 로 주어서 실험하였다(Fig. 5).

3. 결 과

압출 실험 후 각각의 시편은 대략 1m 정도의 길이를 가졌으며 중간에서 두 부분을 절단하여 비교 분석 하였다.

Fig. 6 에서 a)~d) 까지는 brass billet 의 단면을 보여 주며 a), b) 는 원통으로 된 billet 에 같은 재질의 core 를 넣어서 충전 한 것으로 길이 방향의 내부에서 서로 엉키고 터진 것을 발견할 수 있다. c), d) 역시 brass billet 을 드릴링 하여 만든 것으로 a), b)보다는 양호하나 고르지 않은 심재의 분포를 볼 수 있다. e)~h) 까지는 pure Ag billet 으로 이 역시 심재의 고르지 않은 분포와 옆 터짐 현상이 나타난다. 일반적으로 이상적인 압출 변형은 billet 과 container 사이의 마찰이 낮은 경우 균일한 변형이 나타나고 또한 billet 의 변형은 die 입구 부근까지 거의 균일하다. 하지만 container 벽의 마찰이 커지게 되면 die 의 벽면에서 변형이 거의 일어나지 않는 영역(dead zone)이 형성되고 그 부분과 변형부 사이에서 greeed 의 찌그러짐이 크게 나타난다. Billet 의 중심부는 순수 인장변형을 받지만 표면부는 심한 전단 변형을 받는다. 정수압 압출에서는 billet 이 균일한 정수압 하에 놓이

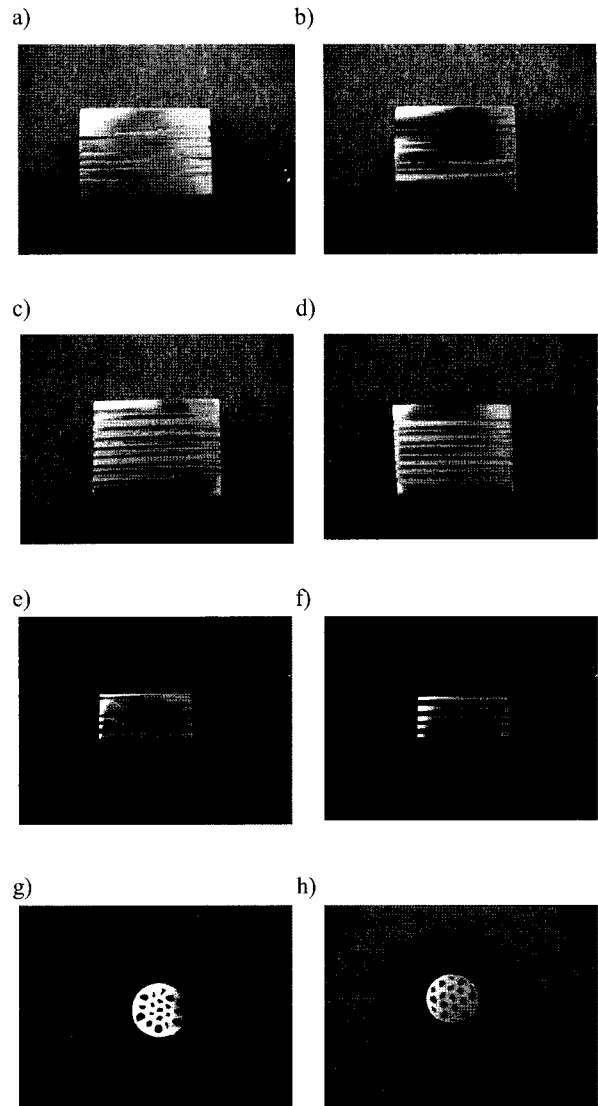


Fig. 6. 압출후 각 billetd 의 단면 형상

a) b) Fig. 2 의 단면모습(우측), c) d) Fig. 2 의 단면 모습(좌측), e) f) Fig. 2 의 b)의 단면 및 횡단면

게 되므로 일반 압출에서처럼 container 공간에 전체가 billet 으로 채워질 필요가 없다[4]. 이것은 billet 의 직경에 대한 길이의 비가 커도 좋다는 것을 의미한다. Container 와 billet 계면에 마찰이 존재하지 않기 때문에 낮은 die 반각을 사용할 수 있고 따라서 잉여변형을 줄일 수 있다.

Fig. 7 은 정수압 압출기를 이용하여 압출 한 것으로 단심 선재로 압출 하였다.

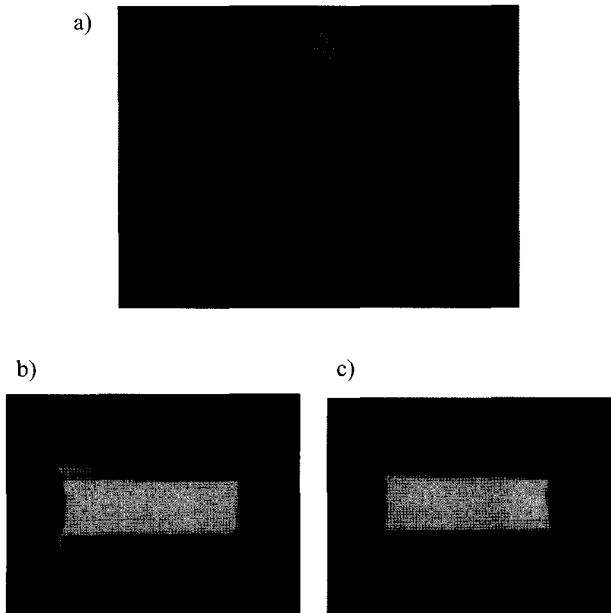


Fig. 7. 정수압 압출후 봉재의 단면 형상
a) 압출후 봉재의 종단면 b), c) 압출후 봉재의 횡단면

일반압출에서 다심 선재와 billet 내, 외부의 잉여변형의 차이에 의해 뒤틀리거나 터짐 현상이 나타났었다. 하지만 정수압 압출에서는 어떤 양상을 나타내는가를 알기 위해 단심으로 제작하여 실험 하였고 실험 결과 중, 횡단면 모두 양호하고 고른 분포를 가지는 모습을 확인할 수 있다. 압출력에 영향을 주는 중요한 인자는 (1)압출형식, (2)압출비, (3)작업온도, (4) 변형속도, (5)Die 와 container 에서의 마찰 조건 등 이다. 적절한 압출속도와 온도는 주어진 재료와 billet 의 크기에 대하여 시행착오법으로 결정되고 있으며 본 실험에서는 최대 압출력 550ton 까지 가용 압력을 가한 후 여러 압출된 시편을 분석한 결과 외부에서 가해지는 힘이 billet 전체에 골고루 분산되어 길이 방향에 대하여 일정한 변형을 주었기 때문에 전체적인 심재의 형상이 고르게 분포된 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

초전도 장선재 제작공정연구의 일환으로 이

루어진 본 실험에서는 4 가지의 billet 을 이용하여 압출하였다. 직접압출에서는 brass 와 pure Ag 다심 billet 을 사용 하였고 이로 인한 결과 brass billet 에서는 옆 터짐과 불균일한 선재의 양상을 보였다. Ag billet 역시 중간 부분과 표면쪽으로 갈수록 잉여 변형에 의해 불균일한 양상을 보였으며 그 정도는 brass billet 에 비하여 심하였다. 정수압 압출을 이용한 brass billet 은 단심으로 제작 되었으며 이는 다심 선재의 제작 이전 기초 방안으로 다심선재에서 일어나는 sausaging effect 를 관찰 하기 위함이며 심재와 피복재의 충진율(fill factor) 을 45%대비로 하여 압출한 결과 양호한 표면과 균일한 심재의 분포를 확인 할 수 있었다.

1. 일반 압출의 경우 심재와 피복재의 경도차가 많이 날수록 즉, 잉여 변형이 클수록 sausaging effect 가 많이 일어남을 알 수 있었다.
2. 다심 선재의 경우 내부 심재의 충진 밀도가 잉여 변형에 많이 기여함을 알 수 있고 내부 심재의 경도 값이 적을수록 sausaging effect 의 영향을 많이 받는다.
3. 정수압 압출의 경우 billet 의 길이방향으로 압력이 골고루 가해져 내외부 모두 양호한 분포를 볼 수 있었다. 즉, 어느 한 부위에 응력 집중 현상이 없었다.
4. 단심 선재의 경우도 분말의 경도가 많은 영향을 끼치며 피복재인 billet 의 설계(두께)에 따라 충진 할 수 있는 한계 압력값(psi) 을 가진다.

참고 문헌

- [1] Ki-Hyun Cho, Jongung Choi*, Jaimoo Yoo, Jae-Woong Ko, Hai-doo Kim., KSS200 Vol X page 230
- [2] J. M. Yoo, H. S. Chung, J. W. Ko, H. D. Kim, Advances in Supercond., VIII Vol. 2, p835 (1996)
- [3] H.J.Park, K.H.Na, N.S.Cho, Y.S.Lee, S.W.Kim M P technol 67 24-28(1997)
- [4] A.H. Elkholy . Materials Processing Techno-ogy., Vol 70 111-115(1997)