

# 延伸制御圧延による酸化物超伝導線材の特性向上

大阪大学大学院工学研究科 マテリアル科学専攻  
 助手 宇都宮 裕  
 (平成9年度研究開発助成 AF-97017)

キーワード: Bi系酸化物超伝導体, 銀シース法, 臨界電流密度

## 1. 結言

銀シースBi2223相線材の臨界電流密度  $J_c$  を向上させるためには, コア酸化物を圧密化すること,  $c$ 軸をテープ面の法線方向に平行に配向させること, シースとコアの界面の波立ち(ソーセージング)を減少させることなどが重要である<sup>1)</sup>. 圧延時に張力を付加することは, 圧密化の点では不利であるが, 板厚の制御や安定な操業のほか, ソーセージングの低減の点でも有効であると考えられる.

著者らは別に延伸制御圧延機と称する圧延機を開発している<sup>5)</sup>. その圧延機は5スタンドからなる連続圧延機であるが, 各スタンドを近接して直動ベアリング上に配置することによって, スタンド間力を引張から圧縮まで広範囲に制御かつ直接検出することができる. そのためにスタンド間力を利用した各種材料のサイズフリー圧延が可能である. またスタンド間力による新たな材質制御法として有効である可能性もある.

本研究では銀シースBi2223相の線材化プロセスにおいて, 単スタンド圧延で前後方張力を種々の組み合わせで付加し,  $J_c$  に及ぼす張力の影響を調査した.

## 2. 実験方法

$\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.2}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$  組成の仮焼粉末を外径6mm, 内径4mmの銀管に充填し, スウェーピングによって外径3mmまで縮径した. この丸線を径100mmの平ロールを用いて圧下率4.5%×57パスで平線圧延を行い, 厚さ0.2mm, 幅4.71mmのテープに成形した. このテープに最適化されたFig. 1に示す加工熱処理<sup>2, 4)</sup>を適用した. すなわち, まず大気中で1113K×50hの焼成を行い, その後二次加工としての圧延と再焼成を2回繰り返した. 各圧延は大径400mmの圧延機を使用し, 1パスで圧下率を16%とした. このとき無張力のほか, 前方のみ, 後方のみ, 前後方両方の組み合わせで, それぞれ5MPa, 10MPaの張力を付加した. なお張力のレベルは2回の圧延ともに同一とした. 再焼成の条件はいずれも1113K×25hである.

得られたテープの臨界電流  $I_c$  は液体窒素温度, 零磁場(77K, 0T)下で直流四端子法により1 $\mu$

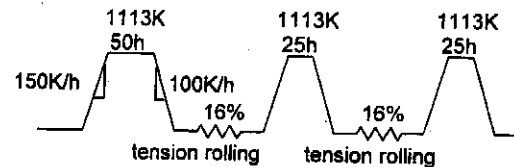


Fig. 1 Schematic diagram of rolling-sintering treatment.

Table 1 Effect of tension on lateral spreading of tape ( $w_0=4.71\text{mm}$ ).

Applied tension/MPa		Width /mm	Lateral spread/%
Front	Back		
0	0	5.66	20.2
5	0	5.57	18.3
10	0	5.48	16.3
0	5	5.53	17.4
0	10	5.33	13.2
5	5	5.28	12.1
10	10	5.05	7.2

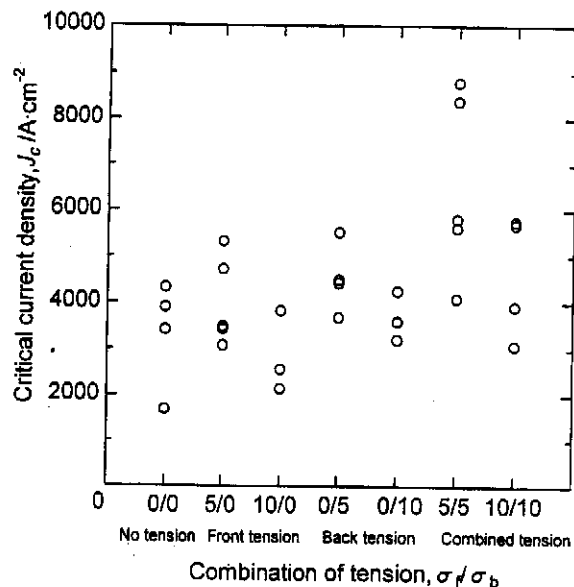


Fig. 2 Effect of tension during rolling on the critical current density,  $J_c$  (77K, 0T).

V/cm基準で測定した。縦断面の組織をSEMで観察し、Schulzの反射法により(0 0 14)極点図を測定した。なお、反射X線の強度は全体の平均強度で規格化した。

### 3. 実験結果と考察

得られた  $J_c$  (77K, 0T) を Fig. 2に示す。無張力時の  $J_c$  は 2000~4000 A/cm<sup>2</sup>である。5MPaの張力を付加すると  $J_c$  はいずれも向上している。張力による  $J_c$  の向上の効果は、組み合わせ張力で最も高く、前方よりも後方の方がわずかによい。しかしながらいずれも10MPaの張力を付加すると  $J_c$  は5MPaの場合に比べてかえって低下している。

Table 1は2回の張力付加圧延での幅広がりを示したものである。幅広がり率は張力の増加とともに減少するが、前方張力、後方張力、組み合わせ張力の順に小さくなり、通常材料の圧延と同じ傾向を示した。得られたテープ材の横断面のプロファイルを Fig. 3に示す。酸化コアの厚みには幅方向に変動が見られる。この変動は5MPaの張力を付加すると減少している。この減少の効果は前方張力よりも後方もしくは組み合わせ張力で顕著に見られる。しかしながら、10MPaの張力を付加するとコアの厚み変動はいずれもかえって増加している。Fig. 4は縦断面のSEM写真である。コアとシースの界面にはソーセージングと呼ばれる波立ちが存在するが、その程度は組み合わせ張力を付加した場合、減少している。また張力、特に前方張力を付加した場合、コア内のポイドや界面でのシースとコアの剥離が見られる。

Fig. 5は無張力および5MPaの張力付加圧延材のコアの(0 0 14)極点図を比較したものである。いずれもBi2223相は  $J_c$  の向上に有利な c軸/ND に配向

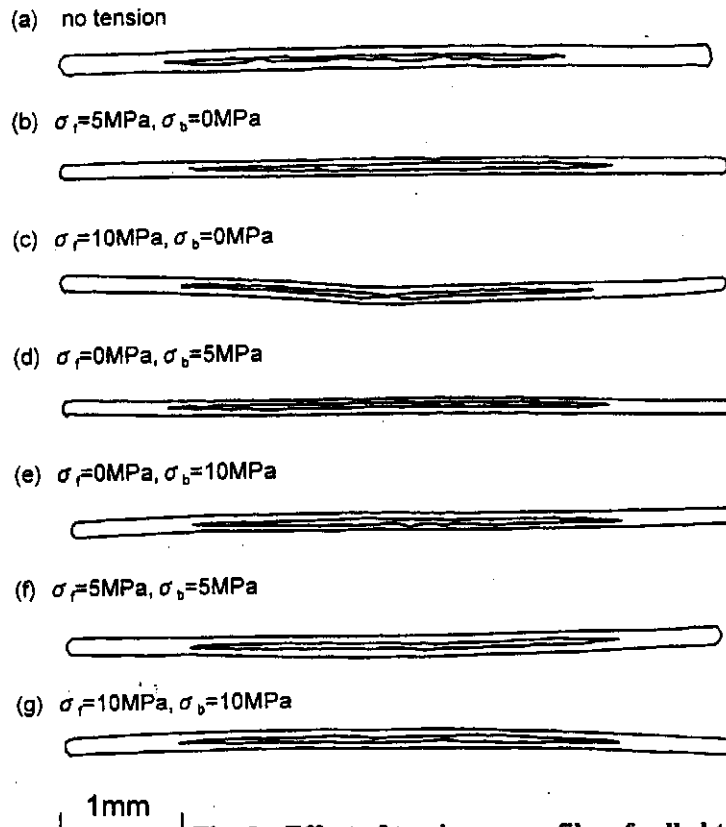


Fig. 3 Effect of tension on profiles of rolled tape.

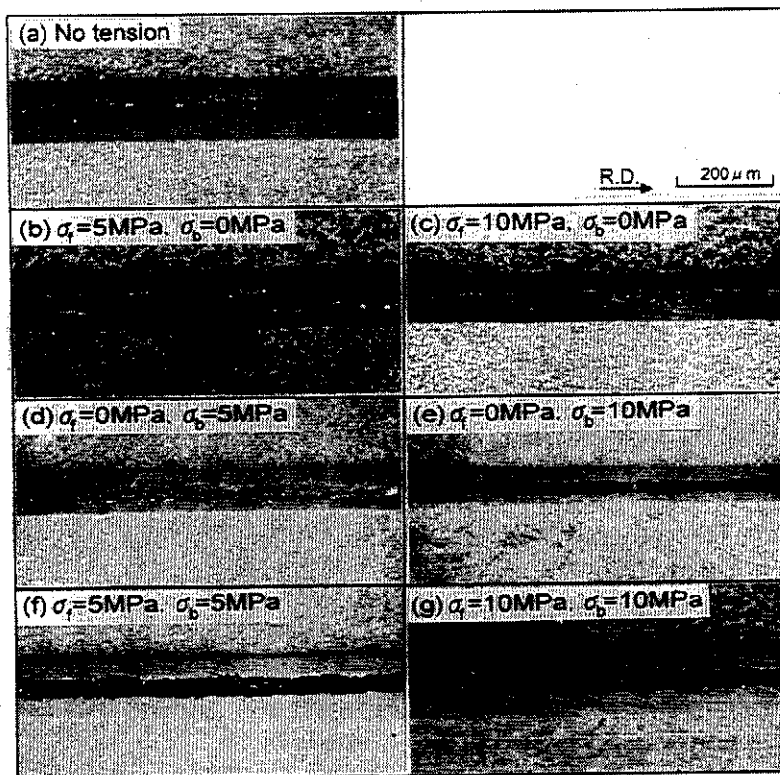


Fig. 4 SEM photographs of longitudinal sections as a function of applied tension.

しているが、5MPaの張力を付加すると、その最高強度  $I_{max}$  は増加しており、配向度が向上することがわかる。その効果は後方よりもむしろ前方もしくは組み合わせ張力で顕著である。また10MPaの張力を付加するといずれの場合も、配向度は5MPaの場合よりも、かえって減少した (Fig. 6)。

#### 4. 考察

以上の実験結果より張力圧延は界面、弱結合、配向度の点で  $J_c$  に影響を与えると考えることができる。界面の波立ちは塑性不安定現象でありロールバイト入口で発生するため、前方張力よりも後方張力が作用する場合にその抑制効果は顕著になると考えられる。またいずれの場合も張力を付加すると静水圧が減少するため圧密化や弱結合の点で不利となるが、その度合いは後方張力では少ないようである。なぜなら後方の場合は、圧延中に再び圧密化が期待できるためであり、弱結合部が少ない場合は再焼成過程でそれらは修復され、 $J_c$  に及ぼす影響は小さい。酸化物は塑性変形をせずに、c面で劈開するため、張力を付加すると配向度は増加するが、後方より付加する場合はロールバイトを通過することにより、配向度は減少するため、前方張力の方が効果が顕著に現れると考えられる。以上の相乗効果の結果、5MPa程度のわずかな前後方の組み合わせ張力が最も  $J_c$  の向上につながったものと考えられる。

#### 5. 結言

銀シースBi2223相超伝導テープの二次加工に張力付加圧延を適用して、臨界電流密度  $J_c$  (77K, 0T) に及ぼす張力の影響を調査し、以下の知見を得た。

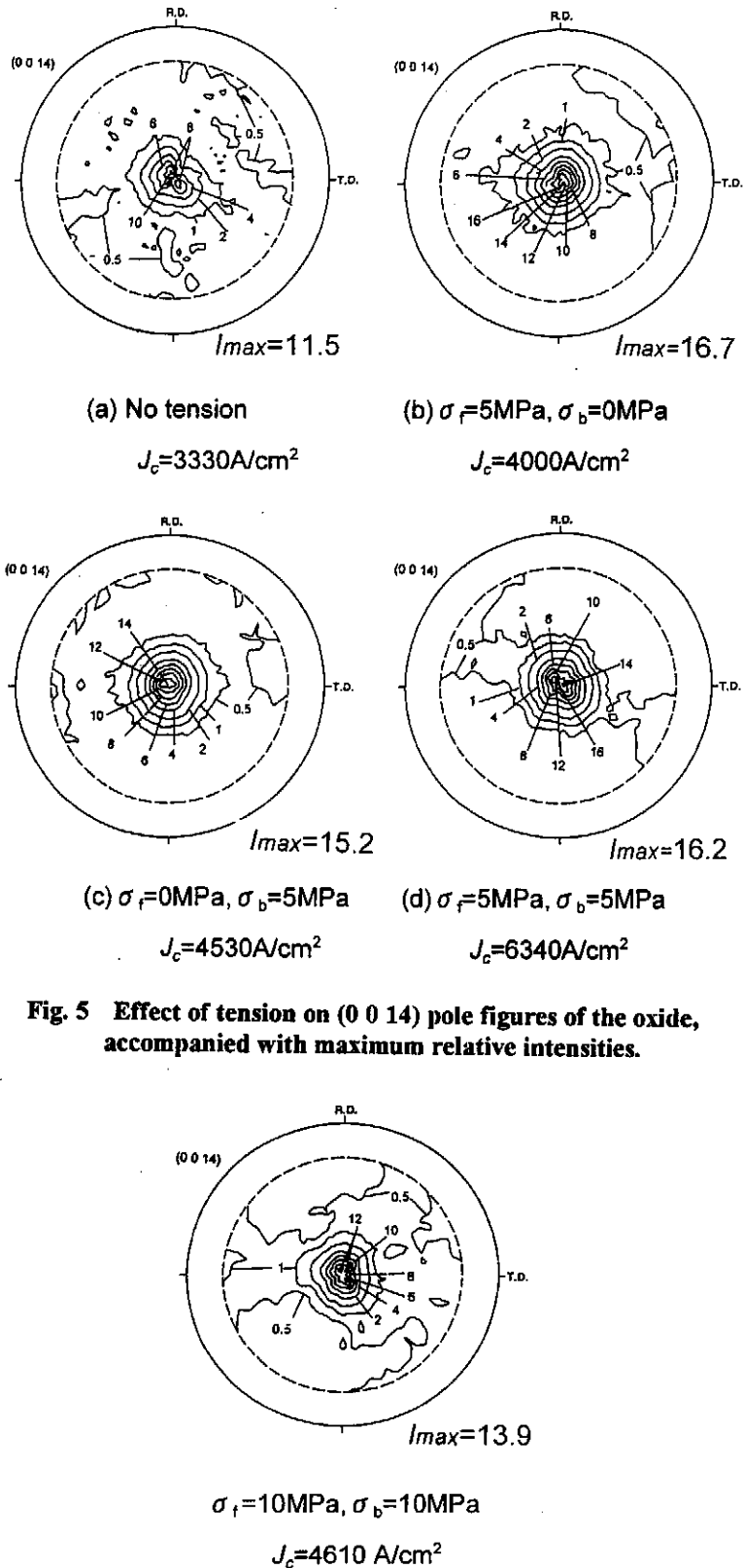


Fig. 5 Effect of tension on (0 0 14) pole figures of the oxide, accompanied with maximum relative intensities.

Fig. 6 (0 0 14) pole figure of the oxide in the tape rolled with combined tension of 10MPa.

(1) わずかな張力 (~5MPa) の付加は臨界電流密度  $J_c$  を向上させる。この効果は前方または後方の一方よりも前後方張力を組み合わせて付加した場合に特に顕著である。

(2) わずかな張力の付加により界面の波立ち (ソーセージング) は抑制される。この効果は前方張力よりも後方もしくは組み合わせ張力で大きい。

(3) Bi2223相はc軸//NDに配向するが、その配向度はわずかな張力を付加することにより向上する。その効果は後方よりも前方もしくは組み合わせ張力で顕著である。

本研究の結果、張力付加圧延により  $J_c$  が向上することが明らかになった。張力付加圧延は長尺超伝導線材の工業的な製造に極めて有利であり、実用的な意義は高いものと考えられる。

おわりに、本研究は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の平成9年度研究開発助成によることを付記し、謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 宇都宮裕・左海哲夫・斎藤好弘・新川雅樹: 塑性と加工, 37 (1996), 676.
- 2) 斎藤好弘・左海哲夫・新川雅樹・宇都宮裕: 平8春塑加講論, (1996), 396.
- 3) H. Utsunomiya, M. Shinkawa, T. Sakai and Y. Saito: Proc. IPMM' 97, (1997), 1424.
- 4) M. Shinkawa, H. Utsunomiya, T. Sakai and Y. Saito: *Physica C*, 281 (1997), 64.
- 5) 斎藤好弘・宇都宮裕・新川雅樹・岡景則: 塑性と加工, 40 (1999), 966.
- 6) 斎藤好弘・宇都宮裕・新川雅樹・左海哲夫: 49回塑加連講論, (1998), 9.
- 7) H. Utsunomiya, M. Shinkawa and Y. Saito, *Adv. Tech. of Plasticity*, 2 (1999), 1537.
- 8) H. Utsunomiya, T. Sakai, K. Hatsuda, M. Shinkawa and Y. Saito, *Physica C*, 311 (1999) 23.