Nb₃Sn 線の臨界電流におよぼす応力効果

大 西 利 只* • Masaki Suenaga**

* 電子技術総合研究所 東京都田無市向台町 5-4-1

** Brookhaven National Laboratory Upton, New York 11973, U.S.A

(1978年2月13日受理)

Critical Current Characteristics of Monofilamentary Nb₃Sn Wire under Tensile Stress

Toshitada ONISHI* and Masaki SUENAGA**

* Electrotechnical Laboratory

5-4-1 Mukodai-cho, Tanashi-shi, Tokyo

** Brookhaven National Laboratory

Upton, New York 11973, U.S.A.

(Received Feb. 13, 1978)

Synopsis :

Experimental apparatus for measurements of the stress-induced change in critical currents of the monofilamentary Nb₃Sn wires is described, and also shown is an example of the critical current characteristics as a function of tensile strain. The sample used is a round Nb₃Sn wire with the diameter of 0.25 mm, the thickness of Nb₃Sn layer of about 7 μm and the bronze to Nb ratio of 3.4.

1. はじめに

核融合用マグネットではその巻線に強い応力が生じる。特に Nb₃Sn などの A-15 型化合物超電導線を用いる場合その応力による超電導特性の劣化が懸念されるため近年各所で応力効果の研究が実施されつつある。

応力による臨界温度の変化についてはかなり定量的に研究されており、ブロンズ法による単芯 Nb₃Sn 線の場合、ブロンズと Nb の比が15程度ないしそれ以上の領域ではおよそ1%のひずみを印加しても T_c が劣化するどころか逆に増加することなどが詳細に示されている¹⁾。 T_c の増加の原因として、ブロンズと Nb の熱収縮率の差による圧縮応力が、張力を印加するとともに除去される点でほぼ応力フリーの状態になることによる、と理解されている。

ここではブロンズ法により作成した単芯の Nb₃Sn 線に、引張り試験機により張力を加えていったときの臨界電流の変化に関する実験の技術的側面について報

告する。

2. 実験装置および結果

用いた試料は線径約 0.25 mm, ブロンズと Nb の比が 3.4 の線を 725°C で 64 時間熱処理し、約 7 μm の Nb₃Sn 層を形成したものである。試料の長さは約 30 cm で、Fig. 1 に示すように 10,000 ポンドまで印加可能なインストロン社製の引張り試験機で張力を加える。磁界はスプリット型の超電導磁石 (ギャップ間隔約 19 mm, コイル内径 51 mm, コイル定数約 1487 G/A) により線に垂直方向に 40 kG 印加する。臨界電流は試料上にとりつけた約 40 mm の電圧タップ間に 1 μV の電圧が現われた点とした。ひずみは同図に示されるように上下2枚の撓み板 (その間隔は約 12.7 mm, 材質は Cu+2W%Be) のそれぞれ上面および下面に張りつけたひずみゲージ (合計4ヶ) でブリッジを構成し (これにより温度変動による影響を除くことができる), 試料にハンダづけされた撓み板が線の伸びとともに撓む量を検出する方法で測定できるようにな

Fig. 1 Schematic illustration of the experimental apparatus.

っている。ゲージの感度は 0.4 mm/mV で精度は約 $\pm 1 \mu\text{m}$ である。試料およびひずみゲージは液体ヘリウムに浸漬されている。電流リードは試料に力がかからぬように配慮し薄い Nb_3Sn テープが用いられた。試料の両端の支持方法にも注意を配りここではビスによる圧着方式を採用している。ハンダづけの場合その箇所から線の破断が生じることがあるからである（原因としてはハンダとブロンズの反応が考えられる）。実験の手順は、まず 40 kG の磁界を印加しておき、ひずみを 0 から少しづつ（約 0.064 パーセントのひずみ）増加していき臨界電流値 I_c を求める。また途中数点で印加した張力を 0 にもどし、そのときの I_c も求めた。この I_c を検討することによって試料にクラック等の大きい欠陥が生じたかどうか、あるいはこの

Fig. 2 Critical currents as a function of tensile strain.

The sample used is a Nb_3Sn wire where the thickness of Nb_3Sn layer is about $7 \mu\text{m}$, the diameter of the wire about 0.25 mm and the bronze to Nb ratio 3.4.

The mark (○) shows the critical currents where the stress applied goes down to zero.

試料がどの程度までひずみに耐え得るかどうか判断する重要な手がかりを得ることができる。

ひずみゲージは電圧タップと同じ場所にとりつけるのが好ましいが、空間的制約から Fig. 1 に見られるようにタップの少し上方に置いた。このため厳密にいうと試料の I_c を測定している位置のひずみを求めていることになる。そこで我々は同じ熱処理をした 2 ケあるいはそれ以上の試料について同様の測定を行ない再現性をチェックした。そして試料のばらつきの範囲内ではほぼ同じ結果であることを確認した。実験結果の 1 例を Fig. 2 に示す。同図の (•) 印はひずみを増加していったときの I_c , (○) 印は矢印の起点までひずみを加えその点で張力を 0 にしたときの I_c 値を示している。(○) 印の点に対応するひずみは張力を 0 にしたときの残留ひずみである。前にも述べたように Nb_3Sn 層はブロンズから圧縮応力（線方向と半径方向、前者は後者の約 2 倍）を受けているため、張力を加えていくと線方向の応力が徐々にとり去られ I_c が増加する。本試料の場合約 0.51% で I_c が最大になっているので、その点でほぼ圧縮応力が 0 になっているものと考えられる。さらに 0.9% までひずみを増加してもひずみが 0 のときの I_c より大きい。また最大 I_c 点に対応するひずみを少しこえる範囲内では張力を 0 にすれば、ほぼそのときの残留ひずみに対応する I_c まで回復する。しかし相当に大きいひずみ (Fig. 2 の

場合では約1.3%)を加えると I_c の劣化が激しく張力を0にしても再び I_c が回復することはない。これはクラック等の大きい欠陥ができたことによると考えられる。同様の実験をブロンズとNbの比を種々かえ、また熱処理をかえて行っており、その結果によれば適当な試料においては約1.5%のひずみを加えても I_c の大幅な劣化はみられない。それらについての総合的な報告は別の機会に行う予定である。以上の結果から応力に充分「強い」Nb₃Sn線の製作の可能性もあるように思われる。

本研究はブルックヘブン国立研究所において行われたものである。研究の機会を与えられかつ種々御指導賜わった Dr. D. Guriusky に深謝するとともに実験に協力された Mr. F. Derez にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) T. Luhman, M. Suenga and C. Klamut :
Intern. Cryogenic Materials Conf., CA-4
(Aug. 1977, Univ. of Colorado)