

APPLICATION OF BARREL POLISHING TO NIOBIUM SUPERCONDUCTING CAVITIES

T. Higuchi *, K. Saito, S. Noguchi, M. Ono, E. Kako, T. Shishido, and T. Suzuki*

KEK, National Laboratory for High Energy Physics
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

As a pre-finishing of electropolishing, barrel polishing is an easier and cheaper method compared with buffing that had been employed for the TRISTAN niobium superconducting cavities. We have investigated its finishing property using niobium samples. By the combination of barrel polishing and chemical polishing, surface roughness was fixed by grain size of the material. On the other hand, for electropolishing, that depended on the initial surface roughness. Barrel polishing has been applied to L-band niobium superconducting cavities instead of buffing. The acceleration field gradient larger than 30MV/m with $Q_0 \sim 10^{10}$ was obtained by the comparatively small amount of removal thickness.

バレル研磨のニオブ超伝導空洞への適用

1. はじめに

超伝導ニオブ空洞により高い加速電場（例えば 25MV/m）を得ようとする場合、フィールド・エミッションが大きな問題の一つとなる。これを克服するには空洞表面上のマイクロな突起を除去し滑らかな表面を作ることが重要である。

滑らかな表面を作るために、トリスタン超伝導空洞では電解研磨と、その前処理としてバフ研磨を採用した。しかしバフ研磨には、1) 熟練技術が要求される、2) 溶接されて一体構造となった空洞の内面研磨に適用不可能である、3) コスト高になること等、欠点がある。一方、バレル研磨は空洞内部に研磨剤（チップ、水、脱脂剤）を入れて回転させるだけであり、1) 技術的に簡単である、2) 溶接シーム部をも同時に研磨可能である、3) 低コストであること等、メリットが多い。

バレル研磨の超伝導空洞への適用を検討するための研究が現在進行中である。人工石チップを用い、ニオブサンプルのバレル研磨を行った実験結果を昨年の本研究会で報告した [1]。その後、使用チップについて検討を加え、また、バレル研磨を行ったサンプルに電解研磨（EP）や化学研磨（CP）を行い、それぞれの研磨方法での研磨

厚さと表面粗さの関係を調べた。さらに、ニオブ製L-バンド単セル超伝導空洞にバレル研磨をEPやCPと組み合わせ適用し、空洞性能への効果を調べた。その結果、比較的少量研磨で加速電場 $E_{acc} > 30\text{MV/m}$ 、 $Q_0 = 1 \times 10^{10}$ の良い結果が得られた。

2. バレル研磨用チップの検討

プラスチックチップは人工石チップに比較して次のような利点をもつ。1) 砥粒が微粉であるため仕上げ面の平滑度が大きい、2) 結合剤であるプラスチックは軟質であるから仕上げ面の表面硬化が少ない [2]。プラスチックチップを用い、サンプルをバレル研磨した結果を表1に示す。バフ研磨に匹敵する滑らかな研磨面 ($R_z = 0.7 \mu\text{m}$) が得られた。粗さは10箇所測定の前平均値である。プラスチックチップを用いバレル研磨を行ったサンプル表面には直径 $4 \mu\text{m}$ 程度の砥粒の埋め込みがSEM表面分析で確認された。

表1 プラスチックチップによるバレル研磨特性

Chip	Rz [μm]	Amount of Chips		Rotation Speed [rpm]	Removal Speed [$\mu\text{m/day}$]
		[cc]	[g]		
PV-1-10 (粗研磨用)	3.79 ± 0.44	500	540	110	16.6
PW-1-10 (仕上げ研磨用)	2.32 ± 0.36	500	540	110	16.3
PK-1-10 (超仕上げ研磨用)	0.70 ± 0.13	500	540	110	13.2

* Nomura Plating, Co., Ltd.

5-12-20 Himejima, Nishiyodogawa, Osaka, 555, Japan

3. 初期粗さと化学研磨、電解研磨の到達粗さ

3-1 化学研磨

プラスチックチップでバレル研磨を行った、粗さの異なる3サンプル(24φ、ニオブ製)に300μm程度の化学研磨を行った。研磨液は弗酸(46%)、硝酸(61%)、磷酸(85%以上)の混酸(1:1:1 v/v)を用いた。液温は14~18℃にコントロールされた。

結果を図1に示す。初期粗さが大きい場合(×印)、初期約80μmでCPによりスムージングが見えるが、その後、エッチングが進み次第に粒界が現われ、一定の粗さに到達した。一方、初期粗さが小さい場合(□印)、初期10μm以下で砥粒の埋め込みが除かれた後エッチングが進み、約140μmのCPで粒界が現われ、一定の粗さに到達した。到達粗さはサンプルの粒界の大きさに依存する。

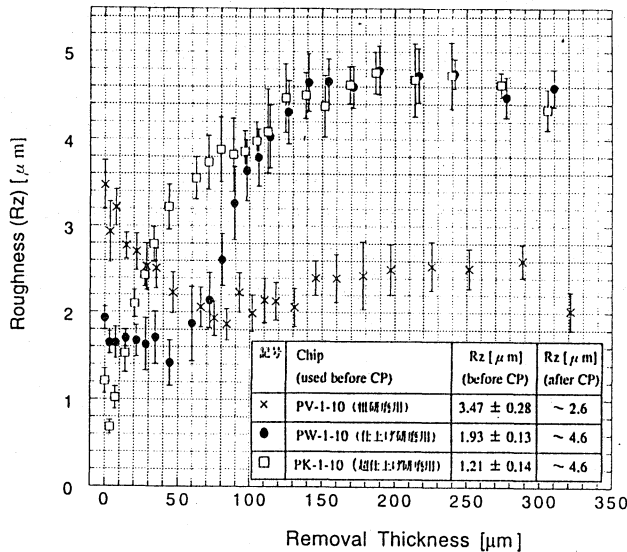


図1 化学研磨による粗さの推移

3-2 電解研磨

人工石チップ、プラスチックチップを使ってバレル研磨を行った、粗さの異なる3サンプルに250μm程度の電解研磨を行った。研磨液は硫酸(95%)、弗酸(46%)の混酸(10:1 v/v)である。電流密度は平均50mA/cm²にコントロールされた。

結果を図2に示す。電解研磨の初期に砥粒の埋め込みが取れた後は、各サンプルとも指数関数的に粗さが減少した。約250μmの電解研磨を行い、指数関数でフィットして求めた、粗さが1/eとなる研磨厚さは、EP前Rz=5.5μmのサンプルに対し

65μm(●印)、Rz=1.6μmのサンプルに対し22μm(○印)、Rz=0.98μmに対し48μm(×印)であった。電解研磨では初期粗さが到達粗さに履歴する。化学研磨では到達粗さが粒界の大きさに決まったが、電解研磨では粒界の効果が観察されない。これは、電解研磨の極間電圧が粒界エッチングを起こす化学ポテンシャルより十分大きく、電解プロセスが優先されるためと思われる。

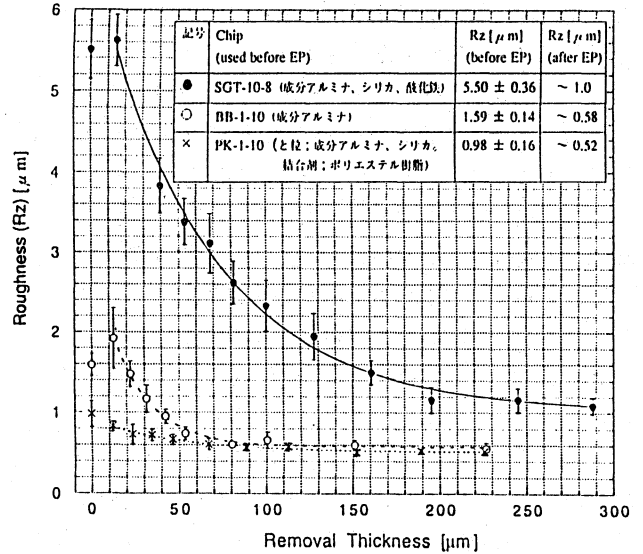


図2 電解研磨による粗さの推移

4. バレル研磨の空洞への適用

4-1 ニオブ空洞のバレル研磨速度

プラスチックチップを用いてL-バンドニオブ単セル空洞の内面のバレル研磨を行った。研磨重量を空洞内面積で割って研磨速度を求めた結果を表2に示す。表2に掲げた空洞のバレル研磨速度は、表1のサンプル試験結果の場合に比較して小さい。これは赤道部が最も回転速度が大きく、研磨され易い箇所であり、サンプルが空洞赤道部に取り付けられたためである。

表2 空洞のバレル研磨速度

Chip	Amount of Chips [g]	Rotation Speed [rpm]	Removal Speed [μm/day]
PV-1-10 (粗研専用)	750	110	7.5
PW-1-10 (仕上げ研専用)	750	110	3.7
PK-1-10 (超仕上げ研専用)	680	110	3.4
	750	110	3.8
	864	110	3.3

4-2 バレル研磨を行った空洞の性能

3つの新作空洞にEPまたはCPの前処理とし

てバレル研磨を適用し、その性能測定を行った。結果を図3に示す。

空洞にプラスチックチップを用い、合計 $55\mu\text{m}$ のバレル研磨を行い(約11日を要した)、 $250\mu\text{m}$ のEP、アニール(760°C 、5時間)、純水高圧洗浄(85kgf/cm^2 、50分)を行い性能を測定した結果、 34.5MV/m の加速電場が達成された(●印)。この測定結果により、バレル研磨を空洞に適用しても、その後、多量のEPを行えばバレル研磨の影響は残らないことが確認された。

同様に別のバージンの空洞にプラスチックチップを用い、合計 $46\mu\text{m}$ のバレル研磨を行い(約10日)、EPを $10\mu\text{m}$ 、アニール(800°C 、5時間)、水洗(超純水メガソニック洗浄; 30分、純水高圧洗浄; 85kgf/cm^2 、2時間)を行い性能を測定した結果、 30MV/m 以上の加速電場が達成された(○印)。この測定結果により、バレル研磨の影響は、少量($10\mu\text{m}$ 程度)のEPで除去されることが確認された。

さらに別のバージンの空洞にプラスチックチップを用い、合計 $28\mu\text{m}$ のバレル研磨を行い(約5日)、アニール(800°C 、5時間)、水洗(メガソニック洗浄; 32分、純水高圧洗浄; 85kgf/cm^2 、2時間)、合計 $30\mu\text{m}$ のCPを行い性能を測定した結果、 25.2MV/m の加速電場が達成された(×印)。

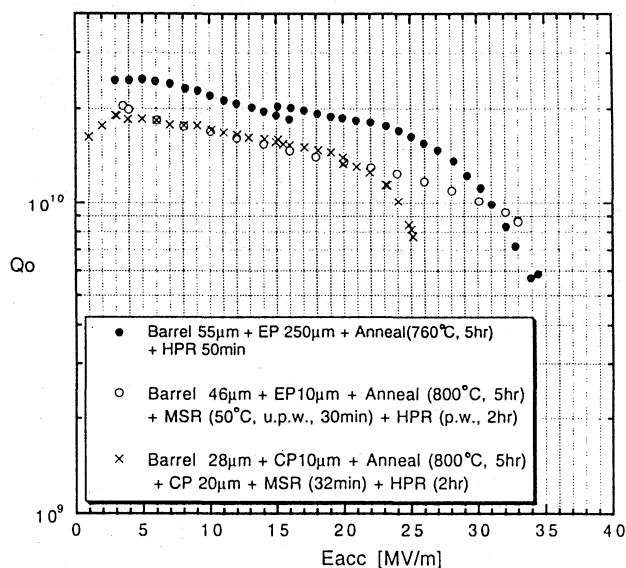


図3 バレル研磨を行った空洞の性能

5. まとめ

フィールド・エミッションの問題を克服するには滑らかで清浄な表面を作ることが重要である。

ニオブにCPを行った場合、研磨初期にはスミージングの効果が観察されるが、その後の表面粗さは材料の粒界の状態で決まる。一方、EPでは研磨量の増加に伴い平滑化が進むが、初期粗さが研磨後の粗さに履歴する。バレル研磨で粗さを $1\mu\text{m}$ 程度にすれば、比較的少量のEPで滑らかな面を得ることが出来る。このことはEPの時間短縮、表面処理のコスト・ダウンにつながる。

空洞にバレル研磨を適用しても、少量の電解研磨ないし化学研磨を行えば、優れた性能が得られる。従来、高性能の超伝導加速空洞を作るには空洞内面を $100\sim 200\mu\text{m}$ 研磨することが必要と考えられてきたが、バレル研磨の適用により、 $50\sim 60\mu\text{m}$ 程度の少量研磨で、加速電場 30MV/m 以上、Q値 10^{10} の高性能の空洞を作成出来る。ただし、現時点では測定例は3例のみと統計性に不安がある。今後はさらに実験を増やし信頼性を上げる必要がある。また、安定に高性能を達成するために必要なバレル研磨量の適正化を図る必要がある。

参考文献

- [1] HIGUCHI T., SAITO K. et al., "ニオブ超伝導空洞用バレル研磨の研究", Proc. of the 19th Linear Accelerator Meeting in Japan, JAERI, 20 - 22 July 1994
- [2] 友野 理平 著「実用めっきマニュアル」オーム社 1971年10月25日 発行