

セラミックスの高精度切削加工技術 —ベクトル磁気特性計測用Hコイル巻枠の加工—

水江宏*・大塚裕俊*・重光和夫*・相原茂**
*機械・金属担当・**西日本電線株式会社

Precision Cutting Technology of Ceramics —Cutting for H-Coil Bobbin of Local Two-Dimensional Vector Magnetic Sensor—

Hiroshi MIZUE*・Hiroto OHTSUKA*・Kazuo SHIGEMITSU*・Shigeru AIHARA*

* Mechanical and Metallurgical Engineering Group, **NISHI NIPPON ELECTRIC WIRE & CABLE CO.LTD.

要 旨

入隅部の形状精度が求められる磁気計測用のセラミックス製コイル巻枠を切削加工するために、市販のスクエアエンドミルを用いて加工実験を行った結果、工具および切削条件を最適化することで、削り残し幅を約 7.5μm に抑制することができた。

1. はじめに

ベクトル磁気特性を計測するには、被覆銅線をクロス型に巻線したHコイルを用いる。微小な範囲を計測するには、Hコイル巻枠の小型化と被覆銅線の細線化が必要である。各構成部品の寸法形状の高精度化が求められるなか、特に巻線の始端部と終端部の巻乱れを抑えるためHコイル巻枠の入隅部（以降コーナーRという）の形状精度の向上が求められている。

そこで本テーマでは、マシナブルセラミックスの脆性材料を対象として、軸回転型の切削工具を使用したコーナー加工の可能性を検証する。現状、コーナーRは約50μm 程度であるが、量産可能なコイルの被覆銅線径が約12μm 程度に達していることから、コーナーRは5μm 以下を目標とする。

2. 実験方法

加工機には安田工業製の精密立型高速マシニングセンターYMC325 を使用した(Fig.1)。被削材には(株)フェローテックセラミックス製ホットベールを使用した。被削材の機械的特性を Table 1 に示す。ホットベールは電気絶縁性、断熱性に優れ、半導体や液晶製造部品に使用される緻密なセラミックス材料であり、超硬工具を使用することで容易に切削加工ができる特性を持つ。

工具は市販の超硬合金製スクエアエンドミルを使用した(Table 2)。ただし、日進工具製 MS230P はコーティング無しの特注品とした。



Fig.1 使用加工機 YMC325

Table 1 ホットベールの機械的特性

| | |
|----------------------|------|
| 密度 g/cm ³ | 2.59 |
| 曲げ強さ MPa | 150 |
| 圧縮強さ MPa | 490 |
| 硬度 HV | 2.2 |

Table 2 使用したエンドミル

| 工具記号 | 使用工具 (メーカー型式) | 直径 (mm) | 刃数 | 刃長 (mm) |
|------|-------------------------|------------|----|------------|
| A | 日進工具製 MX225 コーテッド | 1.5 | 2 | 1.5 |
| B | 日進工具製 MS230P ノンコート | 1.5 | 2 | 3 |
| C | 三菱マテリアル製 MS2MS コーテッド | 1.5 | 2 | 3 |

工具突き出し量は、コレットナット端面から約 15mm とした。使用した加工機は主として金属加工用であり、セラミックス加工粉が加工機の摺動面を痛めないように浸漬加工とし、加工粉を含んだ加工液が機上に流失しないように努めた(Fig.2)。

工具摩耗および加工形状の観察には、ニコン製測定顕微鏡 MM-800 を使用した。

幅 10mm の被削材を横断しながら溝形状を形成し、1pass 毎に Z 方向に切り込んで溝形状を深くした。往復加工ではなく、片方向のみの繰り返し加工とした。切削条件を Table 3 に示す。一刃あたりの送り(切取り厚さ)は 3 μ m 一定として切削速度と Z 切込みを変化させた。

総除去体積は、9mm³とし、4×4×1mm の直方体形状の素材から H コイル形状を削り出す場合を想定した。

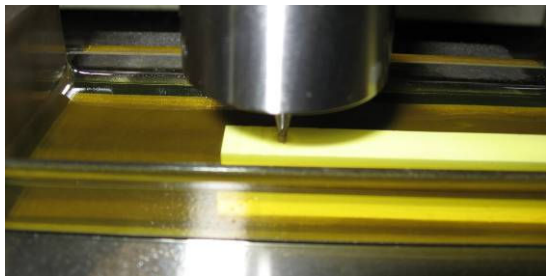


Fig.2 浸漬加工の様子

Table 3 切削条件

| 切削条件番号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|------|----|-------|------|
| 切削速度 m/min | 5.0 | ← | 10 | 2.5 |
| 回転数 min ⁻¹ | 1061 | ← | 2122 | 531 |
| 1 刃あたり送り μ m | 3 | ← | ← | ← |
| 送り mm/min | 6.37 | ← | 12.73 | 3.18 |
| Z 切込み μ m | 10 | 20 | ← | ← |

3. 実験結果

切削実験に先立ち、テストインジケータを用いて切削工具シャンク部の回転ぶれを測定した結果、2 μ m 以内であることを確認した。

工具 A はシャープエッジではなく、面取り加工が施されている。従って刃先部の摩耗の製品ごとのばらつきが少ないと考えられるため、基準工具として切削条件 1~4 すべてを実施した。その結果を踏まえて、シャープエッジ(いわゆるピンカド)工具である工具 B と C での切削加工実験を行っている。

加工前の刃先状態を Fig.3 に示す。いずれの工具も非常にシャープな切れ刃稜を形成していることが確認できる。

工具および切削条件の違いによる削り残し幅の違いを

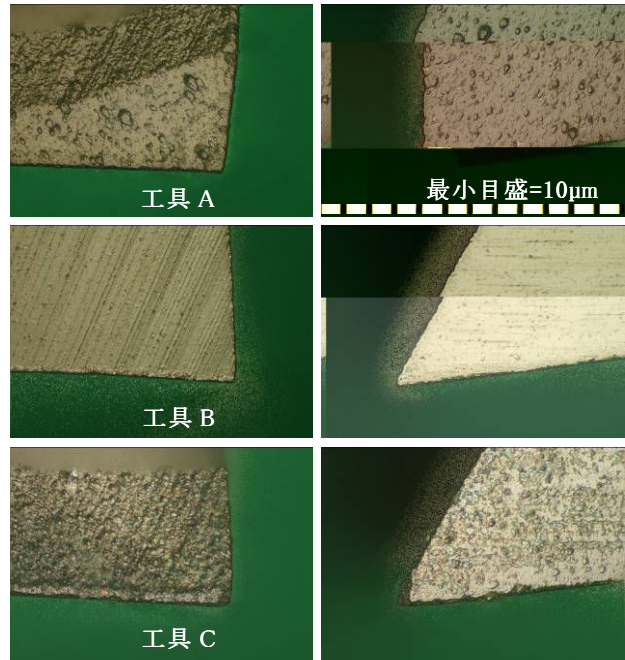


Fig.3 工具 A, B, C のすくい面と外周逃げ面

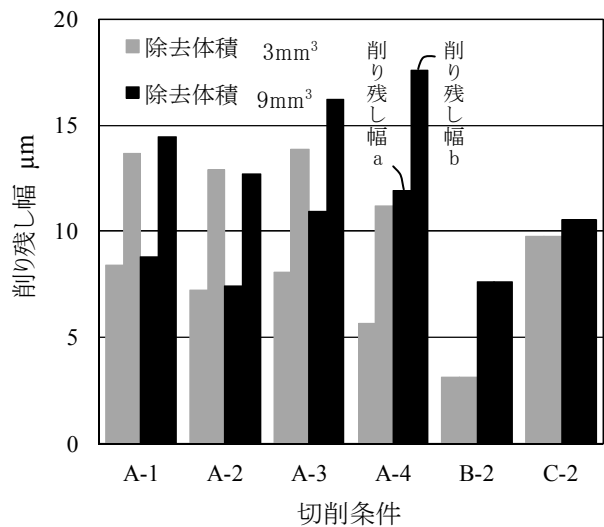


Fig.4 切削条件と削り残し幅 (C-2 は工具摩耗から評価)

Fig.4 に示す。工具 A による削り残し幅を Fig.5 に示す。工具 A は、刃先を面取りしている形状であり、削り残し幅は、摩耗による削り残し幅 a と、外周逃げ角による影響を考慮した削り残し幅 b の 2 種類定義している。これにより、Fig.4 に示すグラフは、同じ切削条件でそれぞれ 2 ずつの値を表示している。小さい方(左)が削り残し幅 a、大きい値(右)が削り残し幅 b である。

工具 A での比較において、除去体積 3mm³ 後では、切削条件 4 が最も削り残し幅が少ないが、除去体積 9mm³ まで加工を進めると切削条件 4 は削り残し幅が急激に大きくな

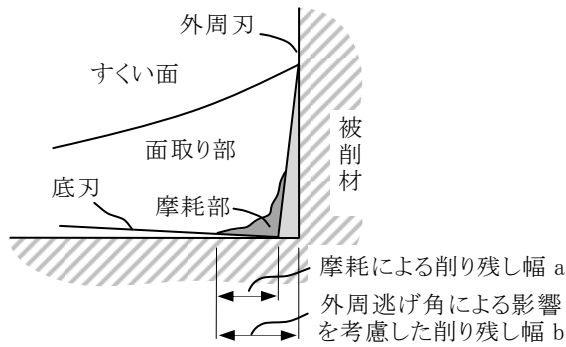


Fig.5 削り残し幅

る。一方、切削条件 2 の場合は、除去体積 9mm^3 まで加工を進めても削り残し幅は拡大しなかった。工具を B, C(切削条件はいずれも 2)に変更した結果、工具 B を用いることで除去体積 9mm^3 において、削り残し幅は約 $7.5\mu\text{m}$ に抑制できた。

また、コーテッド工具条件 A-1, A-2, C-2 では、初期の摩耗が大きいですが、除去体積 3 から 9 にかけては、摩耗はほとんど増大していない。一方ノンコート工具条件 B-2 では、初期の摩耗は小さいが、除去体積が大きくなるに従い摩耗も増大している。

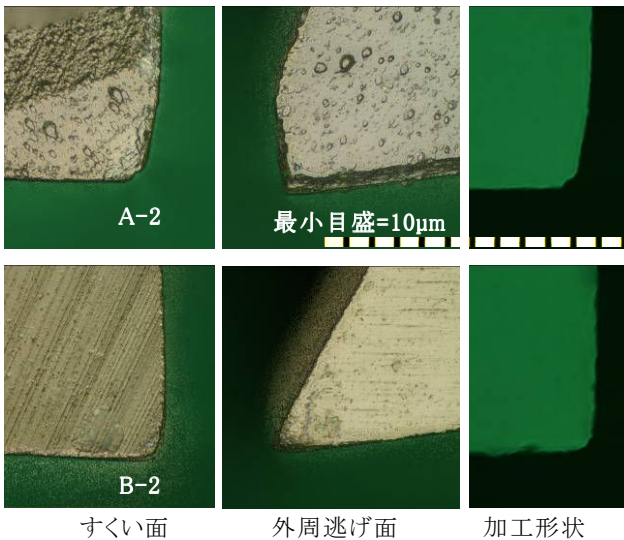


Fig.6 摩耗の状態および加工形状

条件 A-2 および B-2 における、除去体積 9mm^3 後の工具摩耗状態と加工形状を Fig.6 に示す。工具 A ではコーナからランドにかけてチッピング形態を呈して広範囲に摩耗が生じている。コーティングのはがれと思われる摩耗が確認できる。すくい面の面取り部も外周付近でチッピング状の摩耗が確認できる。一方、工具 B では、先端部のみにきれいに摩耗が進行しており、加工形状は削り残し幅が小さく、高品位な形状となっている。

4. まとめ

- (1) 工具および切削条件を選定することで、削り残し幅を約 $7.5\mu\text{m}$ に抑制することができる。
- (2) コーテッド工具は、加工初期時にコーティングがはがれることで摩耗が大きく進行し、その後摩耗量はあまり増大しない。一方、ノンコート工具は、加工初期時の摩耗は小さいが、切削長さに比例して徐々に摩耗量が増大する。
- (3) 4mm 角の H コイル巻枠の溝幅は 3mm であるので、直径 3mm の工具を使用することで、1 ステップあたりの Z 切込みを大きくすることができ、除去体積を確保したまま切削長を短くできるので、実際の加工では削り残し幅をさらに抑制できる可能性がある。