# 溝内面の磁気研磨における仕上げ特性と溝形状の変化

Polishing Characteristics and Groove Shape Change in Magnetic Polishing of Groove

信州大学 川久保英樹

## 1. はじめに

磁気研磨は,磁力線に沿って数珠つなぎに形成され る粒子ブラシを研磨工具として使用する加工法である. 粒子ブラシは,工作物の形状に倣ってフレキシブルに 変形することが可能であり,工作物表面に対して,磁気 吸引力による研磨圧力を発生する.研磨に必要な粒子 ブラシと工作物との相対運動については,回転運動, 振動運動,回転と振動の重畳,3 次元的運動などが挙 げられる.

ところで、金型は磁性工作物であることが多く、磁気 研磨法によって金型の仕上げを行う場合、加工中の工 作物は磁化されることになる.このため、粒子ブラシ先 端部の粒子が工作物表面に磁気力によって吸着残留 してしまい、加工面において十分な相対運動が得られ ないといった問題点が指摘されており、磁性工作物を磁 気研磨するための加工技術の確立が必要となる.

このような中で,磁性工作物の溝内面のみを部分的 に仕上げるために,工作物振動式磁気研磨法の適用を 試みた.本報では,磁性工作物の溝内面のみを部分的 に磁気研磨したときのエッジ,および溝の形状変化につ いて得られた知見を報告する.

#### 2. 工作物振動式磁気研磨装置

図1に工作物振動式磁気研磨装置の原理図と概略 図を示す.本装置は、工作物を溝方向に振動させること によって研磨に必要な相対運動を与える.粒子ブラシ (静止)に対して、1回の往復動作で溝全面が擦過でき るように、工作物振動のストロークを大きくして、磁気吸 引による粒子の工作物表面への吸着残留を抑制する. 表1に実験条件を示す.

## 3. R 溝の内面研磨

## 3.1 溝内面の部分的研磨方法

図2に工作物形状を示す. 材質は SKD11 である. こ

こでは, 溝半径が, 0.25, 0.5, 1.0mm の3種類について 研磨特性を比較検討した. なお, 工作物はワイヤーカッ ト放電加工機によってファーストカット後, セカンドカット 3回により製作した. 初期面粗さは, 5~6μmRz である.



#### (b) 概略図



表1 実験条件

工作物振動	振幅:60mm,振動数:4 Hz
磁極形状	先端部:10×20 mm
加工間隙	2 mm (平面部からの距離)
起磁力	1.5×3000 A•turn
磁束密度	0.35 T (磁極先端の中心部)
加工時間	10 min
強磁性材粒子	ショットピーニング用鋼球, 4.0 g
	平均粒子半径 r (0.058, 0.14,
	0.21, 0.30, 0.40, 0.50, 0.70 mm)
砥粒	WA#8000, 1.0 g
結合剤	オレイン酸,3.0 mL



図3 マスキングの方法

R溝内の部分研磨を行うため、図3に示すようにR溝 部のみを露出させて、それ以外はマスキングテープ(絶 縁ビニール製、厚さ 0.25mm)で保護する.マスキングは、 測定顕微鏡を用いてエッジ部を拡大観察しながら手作 業で行った.

## 3.2 マスキングによる部分的研磨とエッジの保護効果

図 4 に部分研磨後の工作物を示す.マスキングによって露出させた溝内面のみが研磨されているのがわかる.図5にエッジ近傍のSEM観察像およびプロファイルを示す.マスキングなしの場合には,エッジ部の形状の崩れが観察されるが,マスキングした場合には,エッジを保護しながらR溝内の部分研磨が可能であることがわかる.また,マスキングをした方が溝面にはっきりとした研磨条痕が観察された.この事象は次のように考えられる.表面に貼り付けたマスキングテープは非磁性であるため磁気抵抗となり,磁束はマスキングしていない溝部へ集中する.この結果,粒子ブラシの押付け力が溝部において増加し,研磨力が向上したためと考えられる.

# 3.3 強磁性材粒子半径と溝半径との関係

図6に半径比r/R(強磁性材粒子半径/溝半径) と表面粗さとの関係を示す.各溝半径において,表



図4 マスキングによる溝内面の部分研磨



図5 溝エッジ部の SEM 観察像とプロファイル

面粗さが最も良好になる強磁性材粒子半径との組み 合わせがあり、そのときの粗さは  $1 \mu$  mRz 程度であ った. 半径比 r/R と表面粗さとの関係から、半径 比 r/R が 1.0 に近づくほど、表面粗さが良好にな る傾向を示した.

加工中の粒子ブラシの状態を図7に示す.半径比が 0.28のように,溝に対して粒子半径が小さい場合,粒子



図 6 強磁性材粒子半径と R 溝半径の組み合わせによ る磁気研磨後の表面粗さ



(a) 半径比 0.28



(b) 半径比 0.80図 7 研磨中の粒子ブラシの様子(R 溝半径 0.5mm)

は磁東密度の高いエッジ部へ集中しやすくなり, 粒子ブ ラシ先端は先割れ形状になる. その結果, 溝の全面へ の押付け力が不足して表面粗さが向上しなかったと思 われる.

一方,半径比が 0.80 のように,粒子半径が溝半径に 近くなると,粒子ブラシ先端がエッジ部へ集中することな く溝の全面へ接触し, 溝内の強磁性材粒子は適度に循 環して他の粒子と入れ替わりながら溝内を擦過するよう になる. このため表面粗さが向上したものといえる.

以上より,粒子半径が溝半径未満であり,半径比が 1.0 に近い粒子を使用すると良好な仕上げ面が得られ ることが明らかになった.このことは,磁性工作物を磁気 研磨するときの特性であり,非磁性工作物の場合には, 粒子ブラシの先割れは発生せずに,半径比 r/R に関 係なく,同程度の表面粗さに研磨される.

#### 3.4 R 溝形状の変化について

図8に溝半径Rが0.5mmの断面形状の一例を示す. 研磨前後のR溝形状の変化を検討するため,R溝の中 心位置を溝位置0°と定義し,-90°から90°の範囲に おける研磨前後の溝半径を測定した.ここでは,測定し た半径値と図面半径値との差を形状誤差として定義し た.

図9に形状誤差を示す.なお,形状誤差が正の場合 は溝半径が図面半径値よりも大きく,負の場合は小さい ことを示している.各溝半径ともに研磨後の形状誤差は 研磨前よりも正の方向へシフトしており,前加工時の形 状誤差を継承しながら均一な除去が行われている.こ の結果は,磁気研磨が形状精度を向上させるよりも平 滑化を目的とした加工法であることを示している.図10 に,図9におけるシフト量を研磨による除去量として整 理した結果を示す.エッジ部近傍は測定誤差が大きく ばらついているが,除去量は10μm~20μmであった.

エッジ部近傍の R 溝面の SEM 写真を図 11 に示す. これは溝半径 R が 0.5mm の場合の事例であるが, エッ ジから 30  $\mu$  m の範囲において, 研磨面への付着物が観 察された. このエッジから 30  $\mu$  m までの角度位置は, 86°~90°の範囲であり, 図 10 のエッジ近傍のばらつ



図8 断面形状の一例と溝形状測定位置





図 10 溝位置と除去量との関係



図 11 R 溝エッジ近傍の SEM 像

きは、この付着物によるものといえる.以上から、本研磨 法は±85°の範囲において、一定の除去量で研磨可 能であることを実験的に明らかにした.

#### 4. 幅広溝の内面研磨

溝幅 1.5mm, コーナーR0.5mm の溝内面研磨を行い, 形状変化について検討した.工作物の形状は図 12 に 示すとおりである.材質は SKD11 である.前章の実験と 同様に,マスキングして溝内面のみを研磨した.図示し ていないが,エッジを保護しながら溝内面のみを部分研 磨することができた.

図 13 に溝内面形状の評価箇所を示す. 溝の中心を 「C」, 溝左側 R 部を「L-0°~L-90°」, 溝右側 R 部を 「R-0°~R-90°」と表記した. なお, 溝底部は「L-0°」 から「R-0°」までの区間である.

図 14 に形状誤差の値を示す.ここでは,粒子ブラシ を形成する強磁性材粒子を変化させて(粒子半径 0.05mm と 0.4mm),研磨状態を比較した.強磁性材の 粒子半径が 0.4mm の場合(溝コーナーR 値に対する粒 子半径rの比r/R=0.80),全体的な傾向として各溝位 置における研磨後の形状誤差は研磨前よりも,ほぼー 定量で正の方向へシフトしていた.形状誤差の変化量 が磁気研磨による除去量であると考えると,前加工時の 形状誤差を継承しながら均一な除去が行われていると いえる.これは,前章の実験結果と同様の傾向である.



図 12 幅広溝の形状測定位置

これに対して, 強磁性材の粒子半径が 0.05mm の場合 (溝コーナーR 値に対する粒子半径 r の比r/R=0.10), 溝の位置によって形状誤差の変化量, すなわち除去量 に差がみられる. 具体的には, 溝の R 部近傍の除去量 は多いが, 溝底中心部ではほとんど除去量がなかった. これは, 粒子がエッジ近傍へ集中してしまい, 内面へ均



図13 幅広溝の形状と形状変化測定位置

ーに接触しなかったためと思われる.以上の実験結果から,磁性工作物の磁気研磨において,粒子ブラシの 粒子サイズが加工特性に大きな影響を及ぼすことが明らかになった.

## 5. おわりに

金型表面などを磁気研磨する一例として,磁性工作 物の溝内面の仕上げを取り上げた.その中で,溝内の 部分的な仕上げ方法として,マスキングテープによって 溝内面のみを露出させて磁気研磨する手法を提案した そして,エッジの保護効果,溝の半径Rと強磁性材粒子 半径rとの組み合わせが,研磨後の表面粗さや除去特 性に及ぼす影響を明らかにした.



(a) 強磁材粒子:r=0.4mm 使用



(b) 強磁材粒子:r= 0.05 mm 使用図 14 幅広溝の内面研磨における形状誤差