

磁気研磨法によるプラスチック成形用押出しスクリーの高エネルギー・高精度鏡面加工に関する研究

宇都宮大学 工学部 機械システム工学科

教授 進村武男

(平成4年度研究開発助成 AF-92007)

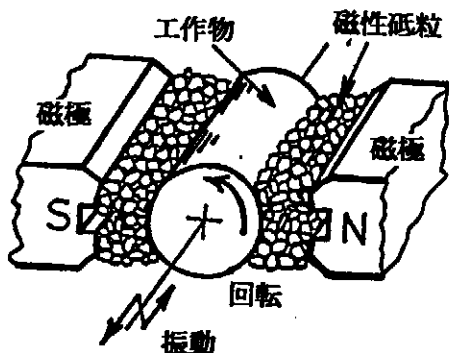
1. 研究の背景

磁気を用いて各種形状の部品表面を高エネルギーで鏡面に仕上げられる新しい加工技術『磁気研磨法』の開発研究は、我が国において筆者が14年間にわたり実施してきた。これまで、磁性砥粒の開発とその加工性能評価、円筒・平面・内面、および一部の複雑形状部品に対するそれぞれの加工装置の設計法の確立と装置製作、加工特性と加工機構の究明、さらに特定部品に対する応用研究を実施して今日に至っている [1]。

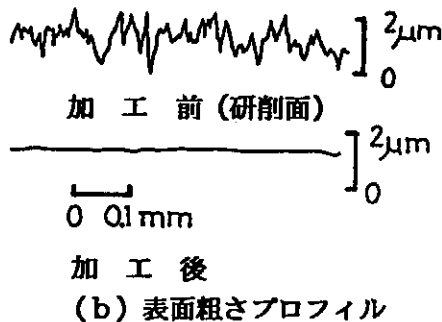
本研究は複雑形状を有するプラスチック押出し用スクリーウの鏡面仕上げに磁気研磨法を適用し、従来法にはない全く新しい加工法を提案すること、及びその加工原理、加工特性、加工機構をそれぞれ明確にすることを研究の目的に設定している。

複雑形状をもつスクリーウの鏡面仕上げに係わる磁気研磨法の特長を要約すると次のようになる。図1(a)に示すように、加工ゾーンに充填された磁性砥粒(鉄粉でも可)粒子はN-S磁極間の不均一磁場分布によって磁気結合してフレキシブルなブラシを形成する。この粒子から構成される独特なフレキシブルな挙動をするブラシ加工が特徴的であり、しかも磁極と工作物表面の間隙(加工間隙)が数mmから十数mmの大きな値であっても工作物表面粗さは $0.1\mu\text{m}$ 程度のほぼ鏡面に仕上げられる特長をもっている(図1(b)) [2]。このように、他の加工法には見られない特長によって、凹凸(段差)をもつ円筒表面(図2および図3参照)の精密仕上げに磁気研磨法が適用できるものと期待される。

本研究は、図2に示すプラスチック押出し用スクリーウの鏡面仕上げに磁気研磨法が適用できるか否かを実験的に確かめることを主な目的として研究を進めた。その結果、スクリーウ全面の鏡面加工に適用できること、および二、三の加工特性と加工機構を明らかにすることができた。



(a) 円筒磁気研磨法の模式図



(b) 表面粗さプロフィール

[研磨条件] 工作物: SK4、焼入れ鋼、直径30mm、長さ45mm; 磁性砥粒: $5\mu\text{m}$ のWA砥粒を鉄粉で焼結した平均粒径 $50\mu\text{m}$ の専用磁性砥粒; 加工液: 不溶性研削液2.5wt%; 加工間隙: 1mm; 工作物回転速度: $31\text{m}/\text{min}$; 工作物の振動: 浸透数15Hz、振幅1.5mm; 加工時間: 30s; 加工域の磁束密度: 1.2T; 磁極形状寸法などの他の条件: 文献[1]を参照。

図1 円筒磁気研磨法の模式図と加工前後の表面粗さプロフィール

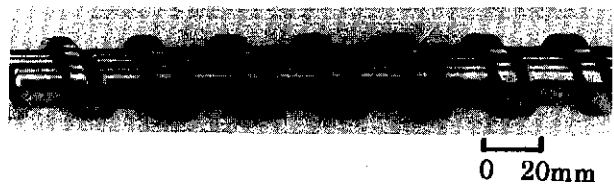


図2 プラスチック押出しスクリーウの外観写真の一例

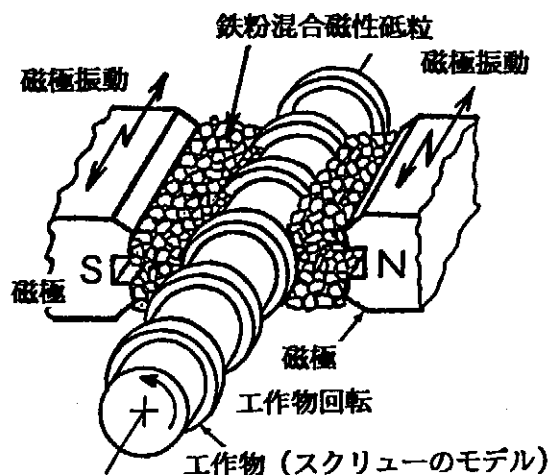


図3 押し出し用スクリーウ(モデル)の磁気研磨法概念図

2. 実験装置および実験方法

図1の円筒外面磁気研磨法をスクリー部品の表面仕上げに適用した。このときの加工部模式図を図3に示す。磁性砥粒（鉄粉）粒子から構成される磁気ブラシは図示のようにフレキシブルな挙動をもち、スクリー（段差）の山の部分、谷の部分、山と谷の側面部分にほぼ等しく接触する。その加工圧力は磁性砥粒に作用する磁気力によって与えられる。いまもし、加工間隙（磁極と円筒面の間隔）が大きく、磁場分布が山と谷の加工ゾーンにおいて極端に違わなければブラシ先端の加工圧力はほぼ等しくなる。その結果、スクリー表面は全面において等しく鏡面仕上げされることが期待できる。

以上の概念を実現するために実験装置を製作し、上記の事象が実現できるかを実験的に確かめることにした。磁気研磨装置の外観写真を図4に示す。N-S磁極は偏心カム機構によってスクリーの軸方向に加振できるようになっている[3]。スクリーは旋盤チャックに固定され、リード角の影響による磁性砥粒の流動を防止するために極く低速度の回転数で回転した。工作物には、ストレート円筒（図6(a)）とスクリーをモデル化したリード角のない単純段付き円筒（以下、段付き円筒と呼ぶ。図6(b)）の2種類を準備して実験に供した。

段付き円筒に対しては磁極の形状選定が問題となる。磁極エッジ部を直線状（ストレート）にした場合（図7(a)）

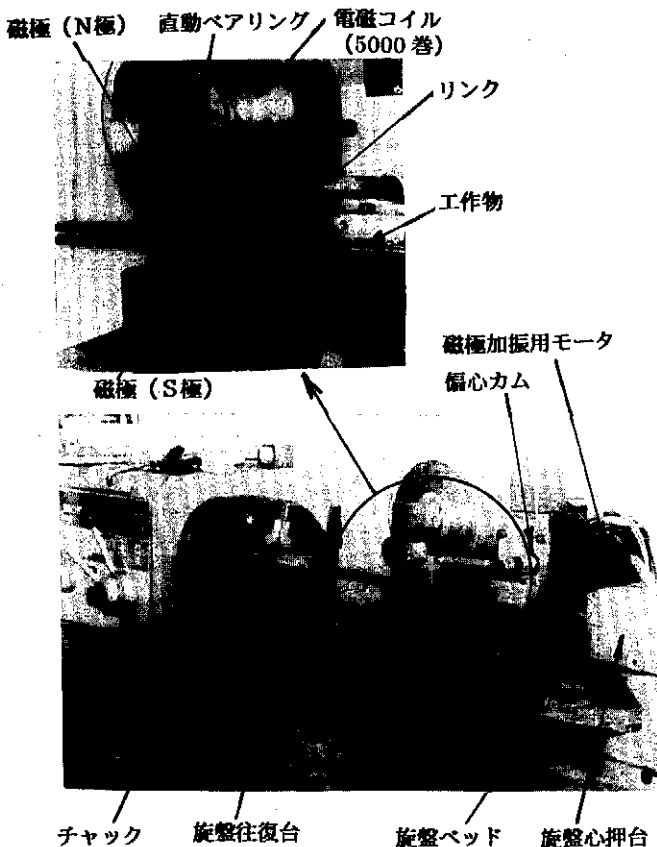


図4 実験装置の外観写真

には、加工ゾーンの磁場強度と磁場分布は段差の山の部分と谷の部分では異なる。この概念図を図5に示す[4]。すなわち、段付き円筒の山の部分の加工間隙が小さく、加工間隙が大きくなる谷の部分に比べて磁場強度とその変化率は高くなる。磁性砥粒に作用する磁力（すなわち、加工圧力）は磁性砥粒の体積と磁化率、磁場強度とその変化率に比例して決まるため[5]、段付き円筒の山と谷では加工圧力に差が生じ、その結果、研磨特性も異なることが考えられる。

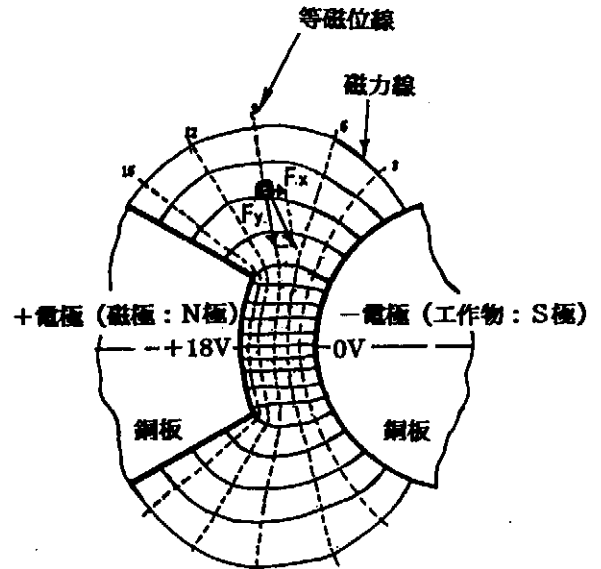


図5 電気抵抗紙上に貼付けた2枚の銅板を用いて測定した加工ゾーンの磁場分布（電解分布）と磁性砥粒に作用する磁力 F_x 、 F_y

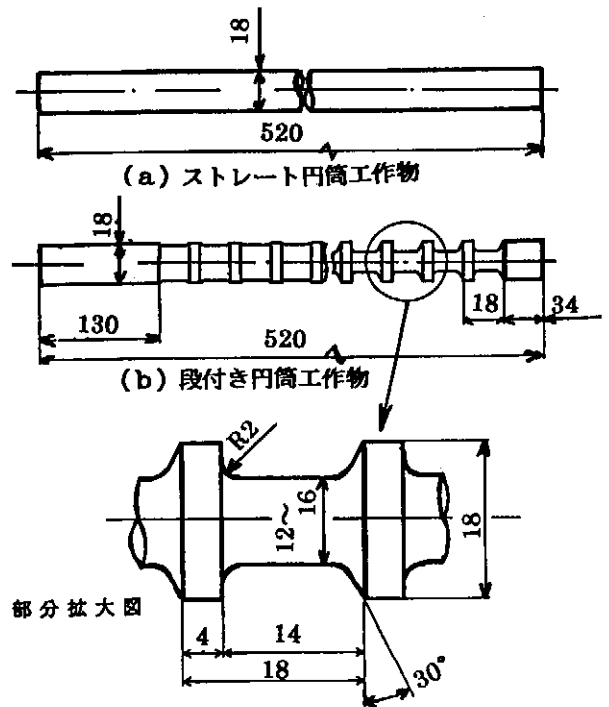


図6 実験に用いた工作物の形状と寸法 [材質: SS400]

この現象を回避するために、図7 (a) のストレート磁極以外に、図7 (b) に示すような段付き磁極を製作して実験した。このとき、加工間隙の値を何種類かに変化するため、段寸法 (B、C の値) を図示のように変えて実験した。

図6に工作物の形状・寸法を、図7に磁極の形状・寸法をそれぞれ示す。

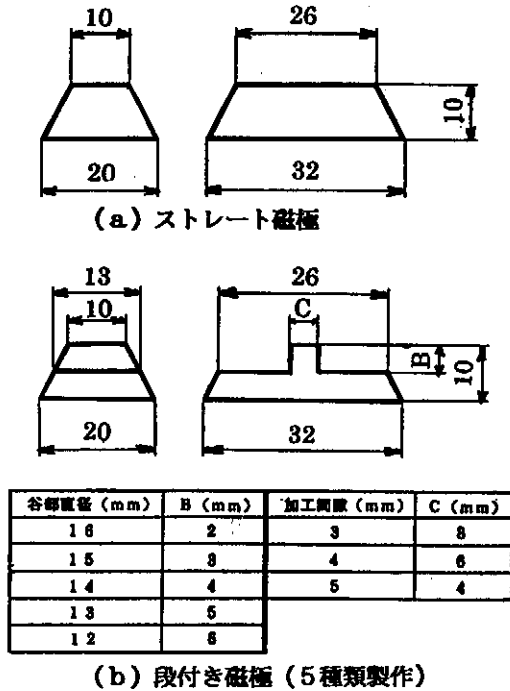


図7 実験に用いた磁極の形状と寸法 [材質: SS400]

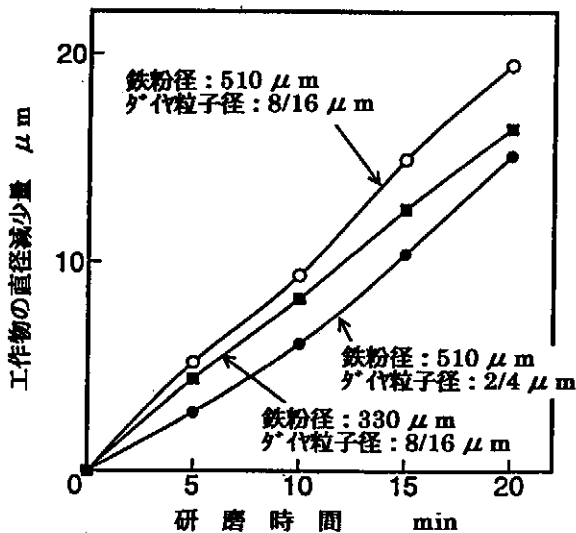


図8 研磨時間と工作物の直径減少量の関係

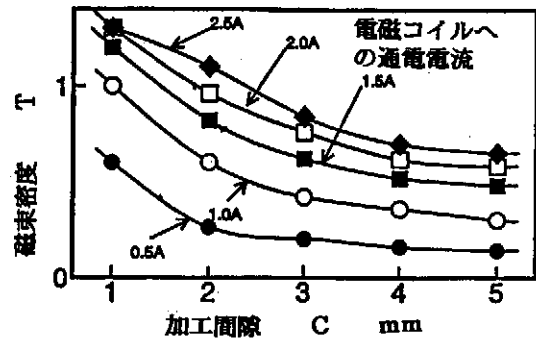
[研磨条件] 工作物: SS400、形状・寸法は図6 (a) を参照; 加工液: 不水溶性研削液 2mL; 加工間隙: 3mm; 工作物回転数: 48rpm; 工作物の振動: 振動数 5Hz、振幅 4mm; 磁極の形状寸法: ストレート磁極、図7 (b) を参照; 鉄粉混合磁性砥粒: 鉄粉/ダイヤモンド=3/2wt%、供給量 25g; 工作物前加工面粗さの設定: # 240 研磨紙仕上げ、 $2.1 \mu\text{mRy}$; コイルへの励磁電流: 2.5A

3. 実験結果および考察

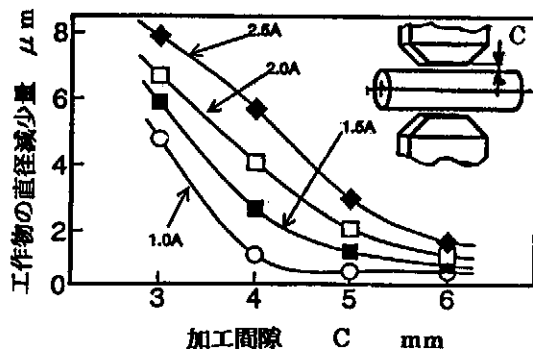
3.1 磁性砥粒の選定に関する実験 (図8)

従来の筆者の研究成果によれば、磁性砥粒 (あるいは、通常の研磨材) に大径の鉄粉を混合して磁気研磨すれば、著しい研磨量増大効果が得られることを明らかにした [5、6]。このことは加工間隙を増大でき、低い磁場強度でも加工が可能になることを意味している。本研究でも、この効果を利用するために鉄粉混合砥粒を使用することにした。砥粒にはダイヤモンド粒子を用いた。図8に、鉄粉とダイヤモンド砥粒の粒径をそれぞれ変化させたときの研磨時間と工作物直径減少量 (加工量) の関係を示す。鉄粉径とダイヤモンド砥粒径がともに大きいときに加工量が増大する。この現象は一般の砥粒加工において観察される事象と同じである。

図示していないが、加工後の表面粗さは鉄粉径とダイヤモンド砥粒径が大きいほど粗くなるのがわかっている [1]。この事象も砥粒加工における表面粗さと砥粒径の関係と同様である。本研究では、段付き工作物の表面が山の部分と谷の部分とでほぼ等しくなる仕上面粗さであれば、研磨の目的は達成したものと考えることにした。従って、形状精度に関係する因子として加工量 (工作物直径減少量) を取り



(a) 加工間隙と磁束密度の関係



(b) 加工間隙と工作物の直径減少量の関係

図9 加工間隙が磁束密度と工作物の直径減少量に及ぼす影響

[研磨条件] 工作物: ストレート円筒、SS400、寸法は図6 (a) を参照; 加工液: 不水溶性研削液 2mL; 加工間隙: 3mm; 工作物回転数: 48rpm; 振動数 5Hz、振幅 4mm; 磁極の形状寸法: ストレート磁極、図7 (a) を参照; 鉄粉混合ダイヤモンド砥粒: 鉄粉/8/16 μm ダイヤモンド=3/2wt%、供給量 25g; 工作物前加工面粗さの設定: # 240 研磨紙仕上げ、 $2.1 \mu\text{mRy}$

上げ、十分な加工量が得られる条件として鉄粉とダイヤ砥粒の粒径を選定した。この意味において、以下の実験では、鉄粉径：510 μm 、ダイヤ砥粒径：8/16 μm を使用した。

3.2 ストレート円筒とストレート磁極を用いた実験 (図9)

最初に、加工間隙が磁束密度と工作物直径減少量に及ぼす影響を調べるために、ストレート円筒とストレート磁極を用いて実験した。加工間隙の設定はN-S磁極をそれぞれ上下に等しい距離移動させて行った(図4参照)。実験結果を図9に示す。加工間隙が磁束密度と工作物直径減少量に及ぼす影響である。コイルへの励磁電流(磁場強度)をパラメータにして示した。

電流値を大きくすると磁場強度が高くなり、それに伴って直径減少量(加工量)も増大する。加工量は加工間隙とともに急激に低下するが、その値は、加工間隙の変化値:数mmに対して高々数 μm であることがわかる。この数 μm の差が工作物の形状精度として問題視されなければ、磁気研磨法をスクリー表面の新しい磁気援用鏡面仕上げ法として適用できることになる。

なお、加工間隙が増大すると加工量が減少する事象は、間隙の増大とともに磁場強度とその変化率が減少するため鉄

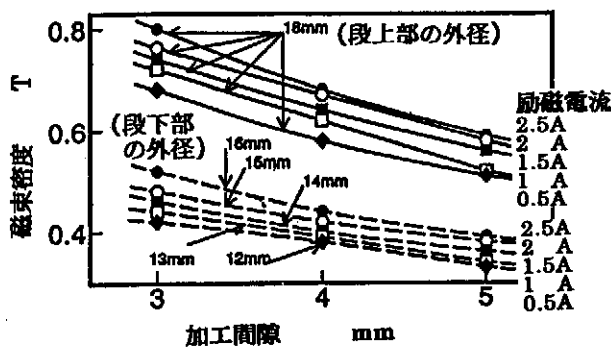
粉に作用する磁力(加工圧力)が低下するためである[5]。

3.3 段付き円筒とストレート磁極を用いた実験 (図10)

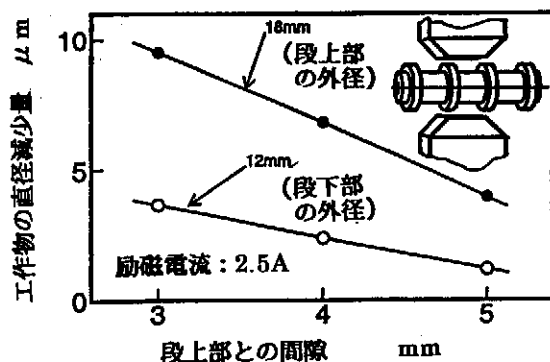
図10に段付き円筒とストレート磁極を用いたときの実験結果を示す。加工間隙が磁束密度と工作物直径減少量に及ぼす影響である。図9の実験結果の傾向がほぼそのまま加工量変化に現れていることがわかる。コイルへの励磁電流(磁場強度)をパラメータとして示しており、電流の増大とともに磁場強度も高くなる。図10(b)に、励磁電流が2.5Aのときの段付き円筒の段上部と段下部の直径減少量(加工量)を示す。加工量差は5 μm 程度になることがわかる。加工量は加工間隙とともに減少するが、その値は、間隙変化が数mmであるのに対して高々数 μm であることがわかる。

3.3 段付き円筒と段付き磁極を用いた実験 (図11)

図11に段付き円筒と段付き磁極を用いたときの実験結果を示す。加工間隙が磁束密度と工作物直径減少量に及ぼす影響である。段付き磁極を用いたため加工間隙は段付き円筒の山の部分と谷の部分とはほぼ同じに設定される。その結果、段差の上部と下部の磁束密度は図10の結果よりも著しく小さくなる。

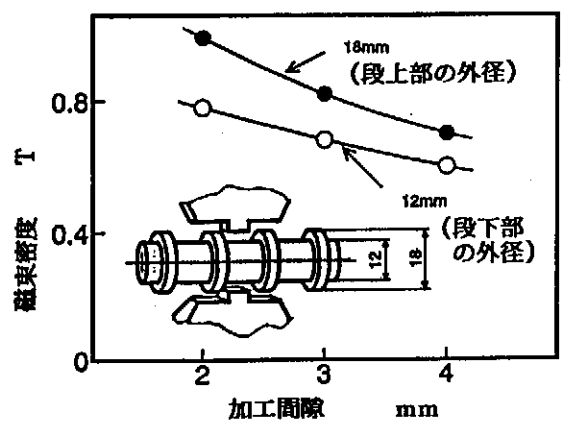


(a) 加工間隙と磁束密度の関係

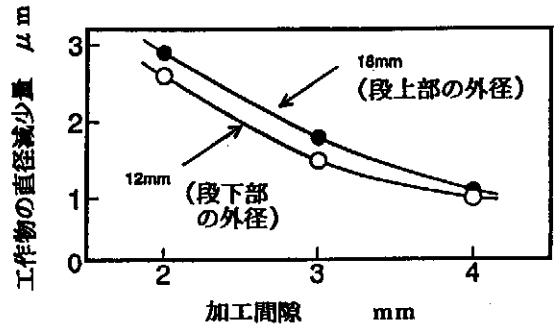


(b) 段上部との加工間隙と工作物の直径減少量の関係

図10 加工間隙が磁束密度と工作物の直径減少量に及ぼす影響
[研磨条件] 工作物: 段付き円筒, SS400, 寸法は図6(b)を参照; ストレート磁極, 図7(b)を参照; その他の条件は図9を参照



(a) 加工間隙と磁束密度の関係



(b) 加工間隙と工作物の直径減少量の関係

図11 加工間隙が磁束密度と工作物の直径減少量に及ぼす影響
[研磨条件] 工作物: 段付き円筒, SS400, 寸法は図6(b)を参照; 段付き磁極, 図7(b)を参照; 励磁電流: 2.5A; その他の条件は図9を参照

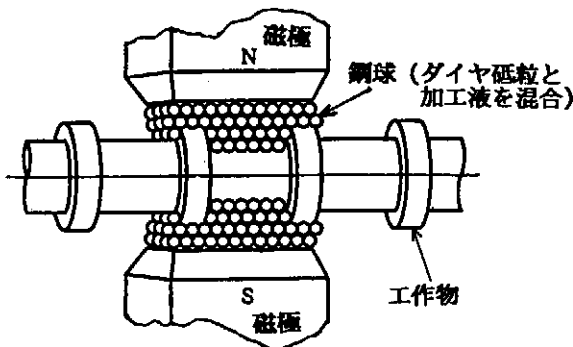
図11 (b) に、励磁電流が2.5Aのときの段上部と段下部の工作物直径減少量（加工量）を示す。この場合の加工量差は $1\mu\text{m}$ 以下 ($0.3\mu\text{m}$) になることがわかる。

この $0.3\mu\text{m}$ の加工量差は工作物の形状精度として問題にならないと考えられる。従って、プラスチック押出し用スクリューの新しい表面仕上げ技術として磁気研磨法が適用できるものと期待される。

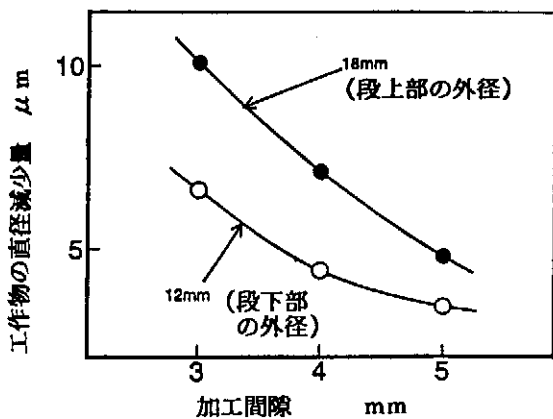
3.4 ストレート磁極で鋼球を用いたときの

工作物直径減少量（図12）

図7 (b) に示した段付き磁極は、その磁極に対応する特定のスクリューの加工にしか使用できない欠点がある。そこで、剛体である磁極の段付き部分を鋼球によって形成する疑似段付き磁極を着想した。加工部の概念図を図12 (a) に示す。鋼球による疑似段付き磁極が実現できれば、各種形状寸法のスクリューに対して磁極は一種類でよい利点がある。



(a) 加工部の模式図



(b) 加工間隙と工作物の直径減少量の関係

図12 鋼球を用いた実験における加工間隙と工作物直径減少量の関係

[研磨条件] 工作物：段付き円筒、SS400、寸法は図6 (b) を参照；段付き磁極、図7 (b) を参照；励磁電流：2.5A；鋼球：直径2.6mm；ダイヤモンド砥粒： $8/16\mu\text{m}$ ；その他の条件は図9を参照

直径2.6mmの鋼球を用いた磁気研磨実験の結果を図12 (b) に示す。段付き円筒の段上部と段下部の加工量差は図11 (b) の値よりも大きく、図10のストレート磁極の結果とほぼ同じ値を示している。形状精度が $5\mu\text{m}$ 程度許容される工作物で在れば、一つの新しい手法として考えることもできる。

4. 結 言

本研究は、磁気研磨法がもつ鉄粉粒子ブラシの特長に着目し、プラスチック押出し用スクリューの鏡面仕上げに磁気研磨法が適用できるか否かについて実験的に調べた。

その結果、寸法精度として $1\mu\text{m}$ 程度が許容される場合には、磁気研磨法によってスクリュー形状部品全面の鏡面加工が可能であることを明らかにした。また、鋼球による疑似段付き磁極を使用できる見通しも得た。

今後は、ねじのリード角が大きい場合の実験について検討する必要がある。これについては、現在すでに、リード角をもつ段付き円筒の磁気研磨実験を進めているところである。

謝 辞

本研究は、天田金属加工機械技術振興財団の研究助成を受けて初めて実施が可能になったものである。ここに記して心から感謝申し上げます。

当時、博士課程に在学中の山口ひとみ氏（現在、東京大学生産技術研究所）には種々ご討論いただいた。厚くお礼申し上げます。また、卒業研究として実験に協力された加藤市郎氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 進村：機械技術、44, 1 (1996) 49 - 53.
- 2) 進村、他：精密工学会誌、52, 10 (1986) 1761 - 1767.
- 3) 進村：精密工学会誌、54, 11 (1988) 2170 - 2175.
- 4) 進村、他：精密工学会誌、52, 5 (1986) 851 - 857.
- 5) 進村、他：日本機械学会論文集 (C), 59, 560 (1995) 1261 - 1267.