

322 永久磁石と磁性粒子を利用した新しい磁気援用加工法に関する研究

— 加工原理と二、三の加工特性 —

Development on a Magnetic Field Assisted Deburring Process Using Magnets and Magnetic Particles
(Finishing Principle and a Few Deburring Characteristics)

○正 進村 武男 (宇都宮大)

正 鄒 艶華 (宇都宮大)

Takeo SHINMURA, Utsunomiya University, 7-1-2 Yoto, Utsunomiya, Tochigi
Yanhua ZOU

Key Words : Magnetic Field Assisted Finishing, Deburring, Magnet tool, Magnetic Particle

1. 緒言

切削・研削工程で発生したバリは様々なトラブルを発生させる。従来からのバリ取り・仕上げ工具の多くは部品外面には簡単に適用できるが、小形部品の内側や細長い円管内面などの見えない、狭い箇所が生じたバリの除去や精密仕上げには適用できない。このため、新しい加工法の開発が求められている。

筆者らは、このニーズに応えるため、「永久磁石と磁性粒子を利用した磁気援用加工法」を提案した^{1) 2)}。磁性粒子のみを利用した場合に比べて数十倍高い磁力(加工力)が得られ、加工能率を著しく向上できことを明らかにした。さらに、希土類永久磁石がもつ強力磁気を利用して、永久磁石端面に磁性粒子を磁気吸着させ、磁石工具が磁性粒子を介して間接的に砥粒に加工作用させる新しい磁気援用加工法を提案した。そして、本加工法が工作物の面精度と形状精度を同時に向上できることも明らかにしてきた³⁾。

本研究は、永久磁石表面に磁性粒子を磁気吸着させた新しいタイプの磁気バリ取り法を提案している。本加工法は、磁石工具の加工力を自由に調整でき、加工面に対して柔軟な加工挙動が得られ、砥粒の新陳代謝と切り屑排出が促進される効果をもち、粒子径を自由に選択できる特長も有している。本加工法により、切削バリや研削バリを除去でき、精密なエッジ仕上げ加工が実現できることが期待される。ここでは、加工原理と二、三のバリ取り特性を明らかにし、本加工法の有用性を検証した。

2. 本加工法の加工原理と特長

2.1 加工原理 図1に本加工法の加工原理と加工部の拡大図を示す。図示のように、閉ざされた細長い工作物内部に挿入された永久磁石工具は、工作物の外側に設置した永久磁石(あるいは磁極)によって磁気吸引力(磁石工具の加工力にあたる)を受ける。磁石工具の加工力と運動力は磁力線を介して外部磁極によって遠隔制御できる特長をもつ。したがって、見えない、細長くて狭い、通常の加工工具が入らない部品箇所の内面加工に適用できる特長をもつと考えられる。

磁石工具表面に磁気吸着させた磁性粒子が加工抵抗を受けても磁石表面から離脱しなく、磁石工具に磁気吸着されながら工具と共に運動し、工作物内面との間に相対運動を発生すれば加工が実現できる。このとき、加工部に切れ刃となる砥粒を加えれば加工が促進される。磁石表面に固定された磁性粒子の挙動は研削砥石のような固定砥粒工具ではなく、また、ラップ加工のような完全遊離砥粒でもなく、個々の磁性粒子が磁石工具表面に磁気吸引されて加工する独特の半固定的な挙動を示す。

さらに、本加工法は永久磁石を利用した工具であることから、磁石寸法を小さくしても磁力は極端に低下せず、所定の加工圧力を与えながら加工を進めることができる特長をもつ。このため、

狭い箇所の内面加工も比較的簡単に実現できるものと期待される。

磁力によって保持された半固定粒子群は比較的自由的な動きをするため、粒子間にチップポケットを簡単に作ることができ、粒子間の目詰まりを防止し、粒子の新陳代謝が促進されて工具の切れ味を長く維持でき、工具寿命を格段に向上できる特長がある。

2.2 加工のメカニズム

永久磁石表面に磁気吸引された磁性粒子が加工抵抗を受けて磁石表面から離脱するか否かについて検討する。磁性粒子が磁石表面から離脱・飛散すれば加工不能に陥る。一方、離脱しないで磁石表面に留まっていれば加工が可能になる。

磁石工具と対向磁石(磁極)の間隙が比較的狭い場合には、次式で表される磁力 F を受ける。

$$F = B^2 S / 2 \mu_0 \quad (1)$$

ここに、 B :磁束密度、 S :面積、 μ_0 :真空(空気)の透磁率。
磁性粒子1個に作用する加工力 f は次式で表される。

$$f = B^2 d^2 / 2 \mu_0 \quad (2)$$

ここに、 d :球形モデルの粒子径。磁性粒子1個が加工力 f で工作物内面を押しつけると同時に、磁石工具表面も押しつける。また、磁石工具表面と磁性粒子には2種類の磁力(図2の磁気吸引力 F_m と f_m)が作用することから、磁性粒子が磁石工具表面を押しつける力は工作物内面を押しつける力より常に大きくなる。

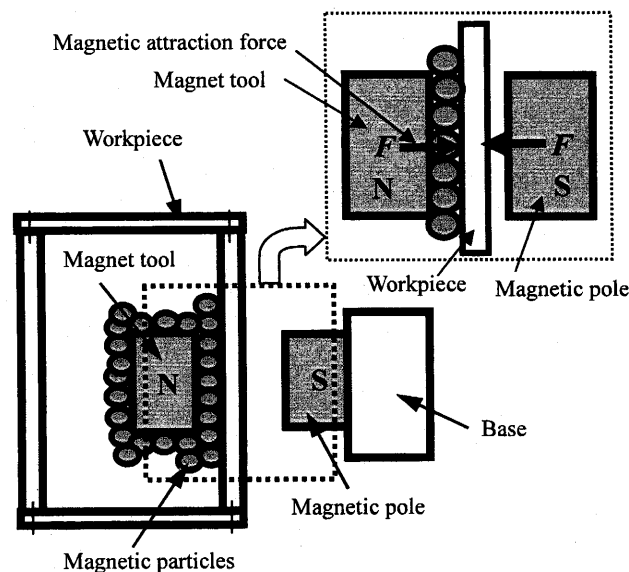


Fig.1 Schematic view of experimental setup

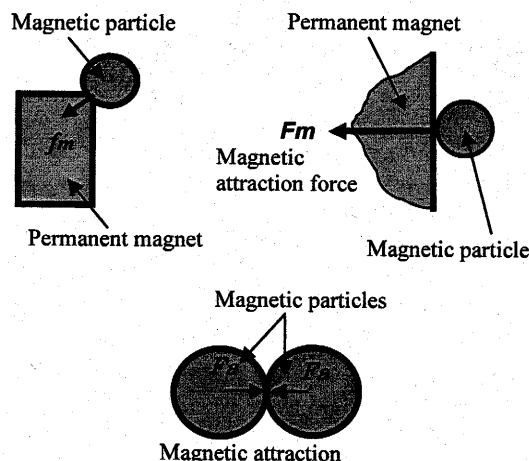


Fig.2 Analysis of forces acting on a magnetic particle

そこで、磁石表面を押し付ける磁性粒子の力(式(2)による押し付け力 f と図2の磁気吸引力 F_m の和)に基づく摩擦抵抗と、工作物表面の押し付け力(式(2)の押し付け力 f)に基づく加工抵抗を比較する。このとき、磁性粒子表面の砥粒切れ刃の加工抵抗が砥粒加工に関する文献で見られるように、加工面に対する鉛直方向力の1/2と仮定する。

磁気吸引力 F_m は次式で表される⁴⁾。

$$F_m = \pi d^2 B^2 / 12 \mu_0 \quad (3)$$

磁束密度 B が等しいとすれば、磁性粒子の磁石表面上の摩擦抵抗は、式(2)の f と図2の磁気吸引力 F_m の和に摩擦係数(0.2と仮定)を乗じた値となる。一方、工作物の加工抵抗は $0.5f$ となり、両者の比は下記になる。

$$\xi = 0.2(f + F_m) / 0.5f = 0.4(1 + F_m/f) = 0.4(1 + \pi/6) \approx 0.6 \quad (4)$$

以上から、磁性粒子は磁石工具表面上を加工抵抗により滑り、磁石工具のエッジに移動していくことになる。一方、磁石工具エッジには次式の磁気吸引力 f_m が磁性粒子に作用する⁴⁾。

$$f_m = (\pi d^3 \chi B / 6 \mu_0^2) (\Delta B / \Delta x) \quad (5)$$

ここに、 χ :磁性粒子の磁化率、 $\Delta B / \Delta x$:磁束密度の変化率。そこで、加工抵抗($=0.5f$)との比をとり、比較する。

$$f_m / 0.5f = \pi \chi c d (\Delta B / \Delta x) / 1.5 B \quad (6)$$

仮に、 χc (磁性粒子の比磁化率) $=1000$ 、 $d=100$ 、 $B=0.7T$ 、 $\Delta B / \Delta x = 100T/m$ とおくと、 $(F_m / 0.5f)=30$ となり、粒子の離脱・飛散は生じない。いま、粒子径 d を3と著しく小さくした場合の $(F_m / 0.5f)$ を計算すると0.9となり、磁性粒子が磁石工具エッジから離脱・飛散する現象が始まる。

以上の結果から、磁性粒子径が5以上あれば、粒子は磁石工具表面から離脱せず、内面加工に関与させることができる。磁性粒子が磁石工具表面および磁石工具エッジに磁気吸引される力は、いずれも磁性粒子の粒径の2乗と3乗に比例して大きくなる。また、磁束密度 B が大きくなるほど磁気吸引力は大きくなる。したがって、強力な磁化を持つ永久磁石はいずれの磁気吸引力も増大させ、磁性粒子をいつまでも磁石工具表面に止めおく作用が強くなるといえる。

磁化率の高い磁性粒子は強い磁力を受け、磁場の変化率の大きな磁石工具エッジの磁気吸引力は大きく、磁性粒子は磁石工具エッジに集まり、加工を続行する。

また、磁性粒子同士には、図2下の磁気吸引力 F_a が作用して粒子が疑似的に一体化して加工に関与する⁴⁾。磁石工具表面の粒子は弱い結合力の塊をつくり、多層粒子群として工作物内

面を加工する。磁気吸引力は粒子径と磁束密度に依存する。

$$F_a = 3\pi \chi^2 d^2 B^2 / 8 \mu_0 (3 + \chi)^2 \quad (7)$$

以上の式(2),(3),(5),(7)は、加工条件の選定指針を与える。

3. 本加工法の有用性の確認 (検証実験)

図3に示すように、非磁性工作物(SUS304)を機械加工したときに、加工部のエッジに多数のバリが発生する。このバリを、本報で提案した新しい加工法で除去できるかについて実験的に確認した。加工条件を図3に示す。図3上図の加工模式図が示すように、希土類永久磁石を工具として、その表面に磁性粒子(平均粒径330)と磁性砥粒(平均粒径80)を混合して磁気吸着させ、図示のような複雑形状部品のバリ取り実験を行った。その結果、図3右側の写真が示すようにバリはきれいに除去できた。本加工法によりバリ取り・エッジ仕上げが実現できることを明らかにすることができた。

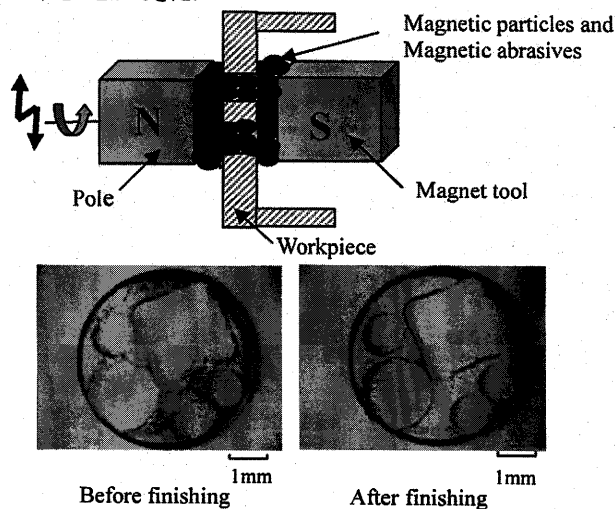


Fig.3 Photographs of work surface before and after finishing
[Conditions] Work: SUS304 (thickness: 3mm), magnetic particles: iron particle(mean dia.330), magnetic abrasives: WA magnetic abrasive(mean dia.80), wet finishing, finishing time: 1min, magnets: rare earth permanent magnet($\Phi 3 \times 5mm$)

4. 結言

本研究では、「永久磁石と磁性粒子を利用した新しい磁気援用加工法」を精密部品のバリ取りに適用することを試みた。加工原理と特長、実現可能性について検討した結果、小形部品の内面のバリ取り・エッジ仕上げに適用できることを明らかにした。

謝辞

本研究は日本学術振興会の科学研究費補助金(特別研究員奨励費1705076)の援助を受けて行ったものである。また、研究の一部は文部科学省「都市エリア産学官連携促進事業(宇都宮・県央エリア)」の支援を受けた。お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鄒艶華・進村武男, 砥粒加工学会誌, 48-8(2004) 444-449.
- 2) Y. Zou and T. Shinmura, Key Engineering Material, 257-258 (2004) 505-510.
- 3) Y. Zou and T. Shinmura, Key Engineering Material, 291-292 (2005) 281-286.
- 4) 進村武男, 磁気研磨法の加工機構の解明と装置の開発に関する研究, 博士論文(東北大学, 1987年).