

339 磁気研磨法による窒化けい素セラミック部品内面のメカノケミカルポリシングに関する研究

—高能率乾式加工法の開発とその研磨特性—

Study of Magnetic Field Assisted Mechanochemical Polishing Process for

Inner Surface of Si_3N_4 Ceramic Components

—Development of high-efficient dry finishing and its finishing performance—

○ 王 德斌 (宇都宮大院), 正 進村武男 (宇都宮大)

Debin WANG, Graduate School of Engineering, Utsunomiya University
Takeo SHINMURA, Utsunomiya University, Yoto 7-1-2, Utsunomiya Tochigi

Key Words: Abrasive Grain, Polishing, Non-traditional Machining, Surface Roughness, Internal Finishing, Mechanochemical Polishing, Magnetic Field Assisted Finishing, Silicon Nitride Ceramics

1. 緒 言

窒化けい素 (Si_3N_4) セラミックスは、低比重・耐熱性・耐摩耗性・高温強度などの特徴を有する。しかも、他のファインセラミックスに比べて破壊強さや破壊靭性や熱衝撃性に優れているため、新しい構造材料として注目されている。しかし、この期待に応えるためには、 Si_3N_4 セラミック部品の強度信頼性の向上と製造コストの低減が必要である。これらのうち製造コストにおけるセラミックスの加工コストの占める割合が極めて高いことから、加工部品の強度信頼性を考慮した比較的安価で高精度表面を創成し得る新しい内面研磨技術の開発が切望されている。このニーズに対応するため、筆者らは、 Cr_2O_3 砥粒を用いた磁気援用 Si_3N_4 セラミック部品内面のメカノケミカルポリシングに関して研究開発を進めている。

従来の研究によって、電解鉄粉単純混合 Cr_2O_3 砥粒を用いた Si_3N_4 セラミック部品内面の研磨加工を行うと、加工面の化学成分を変化することなく高精度の平滑面が得られるが、加工面の創成過程において、強磁性体としての電解鉄粉は非磁性の Cr_2O_3 砥粒との分離および加工面への融着によって加工能率が著しく低下する¹⁾ことを明らかにした。本報では、上記の問題を解決するために、酸化鉄 Fe_3O_4 粒子や WA 磁性砥粒などの磁性粒子を用いて、電解鉄粉の表面に Cr_2O_3 砥粒を保持するた新しい磁気研磨法を提案し、その加工挙動と加工性能を調べた。

2. 高能率磁気研磨法の提案

従来の問題点に対して、本研究は、電解鉄粉を加工面に接触させないように、新しいタイプ磁性砥粒を提案して試作した。

Cr_2O_3 砥粒を電解鉄粉の表面にコーティングして、電解鉄粉を核として Cr_2O_3 砥粒からなる層をもつ磁性砥粒を製作すると、効果的に従来の問題を解決できると推察される。しかしこの方法は、加工コストが高いと考えられる。そこで、取扱いの容易、低い試作コストの単純混合砥粒を考えてみる。

本研究では、提案された新しいタイプの混合磁性砥粒には、大径の電解鉄粉、小径の磁性粒子と Cr_2O_3 砥粒からな

る単純混合物である。その原理は、電解鉄粉と磁性粒子は強磁性体であるため、磁界中の電解鉄粉と磁性粒子は同時に磁化され、小径の磁性粒子は Cr_2O_3 砥粒を巻き込みながら磁化率の高い大径の電解鉄粉表面に磁気吸着するものと考えられる。そして、電解鉄粉を核として小径磁性粒子と Cr_2O_3 砥粒からなる層をもつ見掛け上 1 個の大きな磁性砥粒を形成する。研磨加工において、加工力、磁極に追従回転力は大径の電解鉄粉によって与えられ、磁性粒子および磁性粒子によって磁性砥粒表面に保持された Cr_2O_3 砥粒は、研磨加工に関与する。

3. 実験装置および実験方法

既存の磁極回転方式内面磁気研磨装置²⁾を用いて熱間静水圧 (HIP) 形成された Si_3N_4 セラミック円管内面 (表面粗さ 5~5.5 μmRy) の研磨実験を行い、表 1 に示す新しいタイプの磁性砥粒の研磨性能を調べた。図 1 に、加工部の 2 次元模式図を示す。円管内に上述の提案された混合磁性砥粒を供給すると、大径の電解鉄粉は円管外部に設置した磁極により磁化され、磁束の流れに沿って加工部に集中する。同時に磁化された小径磁性粒子は Cr_2O_3 砥粒を巻き込みながら電解鉄粉の周りに磁気吸着する。磁極を高速回転すると、電解鉄粉は Cr_2O_3 砥粒を円管内面に押し付けながら磁

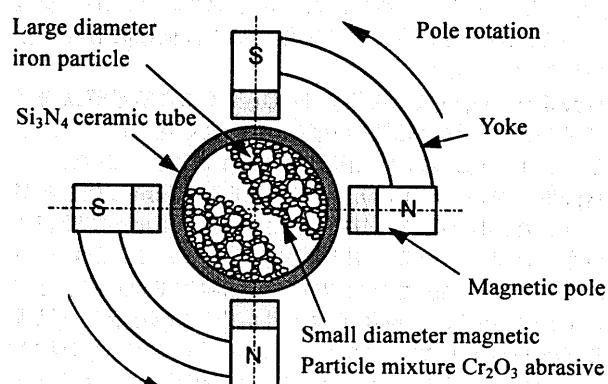


Fig.1 Schematic of two-dimensional machining portion

Table 1 Experimental conditions

Workpiece		Si_3N_4 ceramic tube $\varnothing 30 \times \varnothing 22 \times 50 \text{ mm}$
Mixed-type abrasive	Type I	Iron particle: 1.5g (510 μm in mean dia.) Cr_2O_3 abrasive: 1.5g (3 μm in mean dia.)
	Type II	Iron particle: 1.5g (510 μm in mean dia.) Fe_3O_4 particles: 0.5g (2-3 μm in mean dia.) Cr_2O_3 abrasive: 1.5g (3 μm in mean dia.)
	Type III	Iron particle: 1.5g (510 μm in mean dia.) WA magnetic abrasive: 0.5g (20 μm in mean dia.) Cr_2O_3 abrasive: 1.5g (3 μm in mean dia.)
Magnetic pole		Nd-Fe-B permanent magnet $10 \times 12 \times 18 \text{ mm}$
Pole revolution	1800 min^{-1}	
Pole vibration	Amplitude: 5 mm Frequency: 0.8 Hz	
Machining fluid	Non (dry finishing)	

極の回転に追従する。そして、 Cr_2O_3 砥粒と円管内面との接触点では、 Si_3N_4 と Cr_2O_3 の間に化学反応が発生し、生成反応物は高速回転する混合磁性砥粒により機械的に除去され、円管内面が平滑加工される。実験条件を表 1 に示す。

4. 実験結果および考察

4.2.1. 実験観察

Type I ~ Type III の混合磁性砥粒を用いた Si_3N_4 セラミック円管内面磁気研磨したとき、混合砥粒の結合状態と工作物加工表面の融着物の残留現象を目視観察して比較した。その結果、下記の事象が得られた。

Type I : 従来の電解鉄粉単純混合 Cr_2O_3 砥粒である。電解鉄粉と Cr_2O_3 砥粒の分離はかなり良く見られ、67wt%の Cr_2O_3 砥粒は加工部を外したことが確認された。加工過程において、加工 30 分までに工作物加工表面に融着物の存在が目視で確認された。

Type II : Cr_2O_3 砥粒は磁性の Fe_3O_4 粒子による電解鉄粉表面に保持され、混合砥粒の分離現象が全く見られない。しかし、加工 10 分後の加工面には融着物が観察された。

Type III : 36wt%の Cr_2O_3 砥粒は加工部を分離したことが確認された。混合砥粒の分離現象が Type I に比べて顕著に軽減されたが、Type II の場合より多くなったことがわかった。本報では、供給された WA 磁性砥粒は Fe_3O_4 粒子と同じ 0.5g であるが、粒径が大きいため、 Cr_2O_3 砥粒を保持する WA 磁性砥粒数が少なく、これに対して Cr_2O_3 砥粒の混合割合が大きくなつた。そして、混合砥粒の結合度を低下するものと考えられる。WA 磁性砥粒の粒径を細粒化すれば混合砥粒の分離現象を軽減し、加工能率を向上できる

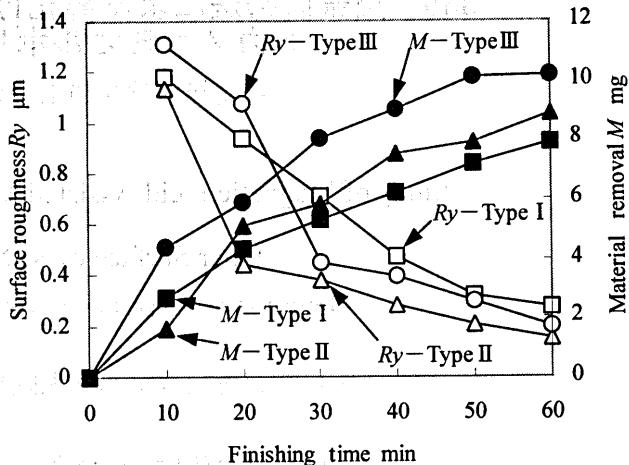


Fig.2 Changes in material removal and surface roughness with finishing time

ものと期待される。なお、目視観察では、工作物加工表面の融着物が全く見られない。

4.2.2. 加工性能

図 2 に、各種タイプ磁性砥粒を用いた Si_3N_4 セラミック円管内面の表面粗さと加工量の時間的変化を示す。図 2 によって、従来の混合砥粒 Type I の場合に比べて、本研究に提案された Type II と Type III の場合は、 Cr_2O_3 砥粒は磁性粒子によって電解鉄粉表面によく保持されたため、加工量は多く、表面平滑化速度も速いことを示す。

Type II の場合は、 Fe_3O_4 粒子が Cr_2O_3 砥粒を保持しながら加工面に接触する際、 Si_3N_4 との何かのメカノケミカル反応が生じ、生成物は Cr_2O_3 砥粒と Si_3N_4 の化学反応物と一緒に加工面に融着する。その後、融着物の除去工程は硬度の高い Cr_2O_3 砥粒だけによって行われる。そこで、 Cr_2O_3 砥粒は除去加工をしながら表面の平滑化加工を進んでいくものと推測される。図 2 に示す加工開始直後の表面粗さは融着物を含む測定値であるといえる。

これに対して、Type III の場合は、加工過程において、WA 磁性砥粒は融着物の除去加工に関与するため、除去工程の加工時間を短縮するものと考えられる。そして、 Cr_2O_3 砥粒は Si_3N_4 セラミック表面に直接接触するチャンスが多くなり、両者の化学反応が得て、加工表面が平滑化される。そこで、図 2 に示すように、加工表面の平滑化速度が Type II の場合よりも低いが、加工量の時間的変化割合が最も大きい値を示した。

5. 結 言

本報では、得られた結果は次のようにある。(1) 小径磁性粒子を利用することにより、電解鉄粉と Cr_2O_3 砥粒の分離が顕著に軽減され、効果的な精密仕上げ加工が可能であることを実験的に明らかにした。(2) 小径磁性粒子の粒径は小さいと、混合砥粒の分離現象を軽減することがわかつた。(3) 切れ刃をもつ WA 磁性砥粒を利用すると、効率的に加工面の融着物を除去できることを明らかにした。

参考文献

- 1) 王、山口、進村：2001 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集、173.
- 2) H.Yamaguchi, T.Shinmura and T.Kaneko, Int. J. JSPE, 30, 4(1996), 317–322.