磁気を利用したステンレス鋼平板のナノレベル表面創成技術の開発

Development of nanometer level polishing for stainless steel plate by the application of magnetic abrasive process

正 進村 武男 (宇都宮大) ○ 榎田 弓貴也 (宇都宮大) 正 鄒 艶華 (宇都宮大)

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

Key Words: Magnetic Field Assisted Finishing Process, Stainless Steel Plate, Surface Roughness

1. 緒言

現在、ステンレス鋼は各種精密機器産業において需要が拡大しており、製品の付加価値を高める新たな精密加工技術の開発が望まれている。研磨技術の分野においてはナノレベルの平滑度を持つ表面を短時間に仕上げる技術が切望されている。従来、ステンレス鋼の表面仕上げに広く利用されているバフ研磨では、バフの劣化やステンレス鋼の難削性などが原因となり、表面に微細な引掻き傷が残留することがある。本研究は精密磁気研磨法の特徴を活かし、平滑面上の傷を除去できる超精密磁気研磨技術の開発可能性について検討し、加工特性と加工機構について考察した。

2. 加工原理及び実験装置

Fig.1 Schematic of processing principle

図1に加工原理の模式図を示す。工作物上部に磁極を配置し、球形の磁性粒子と微少な砥粒を混入したスラリーを磁極に供給する。このとき磁性粒子は磁化され、磁力線に沿って粒子ブラシを形成する⁽¹⁾。粒子ブラシを工作物表面に押し当て、磁極に回転運動を与え工作物に送りかけることで、工作物に対し相対運動が発生し、加工が行われる。本加工原理は粒子ブラシが工作物に対し柔軟に形状変化するため⁽²⁾、磨きすぎによって本来の形状を損なわず精密に表面を仕上げられることを期待している。

Fig.2 Photographs of experimental setup

図2に加工原理を具現化した実験装置を示す。磁極とモータを同一直線上に接続し、工作物台を搭載し電動スライダを

垂直方向に配置することにより、図1の相対運動を実現した。

3. 実験方法

加工前の工作物に、表面粗さ測定器で使用されているダイヤモンド触針を用いて、幅 $2\mu\text{m}$ 深さ $0.1\mu\text{m}$ 程度の微少なモデル傷を創成し、傷の除去状況を確認することで加工特性の評価指標とした。粒子ブラシを形成するための球形の磁性粒子にマグネタイト（平均粒径 $50\mu\text{m}$ ）を用い、各スラリー条件において加工特性に及ぼす影響を検討した。非接触光干渉式表面粗さ測定器を用いて、モデル傷の形状及びモデル傷周囲の加工域中心部の平滑面を測定した。

4. 実験結果及び考察

Table.1 Experimental conditions

Work piece	SUS304 stainless steel plate(100×100×1 mm)
Magnetic particle	Magnetite (mean diameter $50\mu\text{m}$) : 3 g
Slurry	(a) Water-insoluble type finishing oil : 4 mL (b) Alumina slurry : 4 mL (c) Colloidal silica slurry : 4 mL (d) Dilute nitric acid (pH 1) : 4 mL
Magnetic pole	Nd-Fe-B rare earth permanent magnet
Clearance	2 mm
Mean feed velocity	30 mm/s
Rotation	300 min^{-1}

表1に実験条件を示す。(a)不水溶性研削油剤（砥粒含まない）、(b)アルミナスラリー（水 70–80 wt%、酸化アルミニウム 15–25 wt%、硝酸アルミニウム 0–5 wt%）、(c)コロイダルシリカスラリー（ SiO_2 ）（平均粒径 20 nm ）、(d)希硝酸（pH 1）の各スラリー条件が加工特性に及ぼす影響を以下に示す。図3に加工量の時間変化を示す。図4に加工後のモデル傷の断面形状と高低差を可視化した表面形状を示す。

Fig.3 Changes in material removal with finishing time

条件(a)砥粒を含まない潤滑剤を用いた場合において、加工能率は他条件に比べ低い値を示していることから、球形の

磁性粒子が持つ切削能力は切れ刃をもつ砥粒よりも低いと考えられる。触針によるモデル傷は加工後の工作物表面上に目視で確認でき、完全に除去されていないことがわかった。以上の結果から、傷の除去には切れ刃を持つ砥粒をスラリー中に混入する必要があることがわかる。

次に条件(b)スラリー中にアルミナ系砥粒を混入した場合では、加工時間 50 分後に、モデル傷底部と傷周囲の面が同程度の高さになり、傷形状の判別が困難になった。傷周囲の平滑面を観察したところ、他の条件より平滑度は加工前より凹凸が顕著に現れた。これは砥粒の切削能力が高かったため、過大な切込み深さを得た可能性が考えられる。また、加工後の工作物を目視により観察したところ、加工域が白く濁っている様子が確認できた。これは加工によって生じた凹凸に砥粒が入り込み洗浄を困難にしたことが原因と考えられる。

続いて条件(c)シリカ砥粒（条件(b)より小径）を用いた場合において、加工時間 300 分後にモデル傷がほぼ除去された。傷周囲の平滑面の変化は、条件(b)の様子と比べ加工前の平滑度からの変化が少なく一様な平滑面が得られていることから、モデル傷周囲の平滑度を必要以上に損ねずに傷の除去が可能であることが確認できた。しかし、加工後の工作物表面形状を観察したところ、微小なピット（くぼみ穴）が無数に点在している様子が確認できた。数箇所ピックアップし、ピット径と深さを測定して球面と仮定し球面半径を算出したところ、磁性粒子の球面半径と同程度の値を示した。これは、加工中に少数の磁性粒子に過大な力が加わり、必要以上に工作物に干渉したことが原因として考えられる。また、加工能率は条件(b)の 8 分の 1 程度に低くなった。

最後に条件(d)は砥粒による切削加工ではなく希硝酸の化学的作用により工作物を溶出させ加工能率の向上を図ることから選定した。砥粒を用いていないにもかかわらず、条件(b)を上回る加工能率が得られた。傷周囲の平滑面の様子は、条件(c)とほぼ同程度の平滑度を得られた。これは砥粒を使用しないことで工作物の洗浄が容易になったこと、並びに化学的作用による除去加工が切削加工による深い切削痕を残さないことが影響していると考えられる。しかし条件(c)と同様、加工後の工作物表面に微少なピットの点在が確認された。

5. 結言

本報で得られた成果をまとめると次のようになる。

- (1) 磁性粒子（平均粒径 $50\ \mu\text{m}$ ）は他条件に用いた砥粒に比べて加工能力が低い。
- (2) アルミナスラリーの場合、高い加工能率は得られるが、モデル傷周囲の平滑度を下げ、顕著な凹凸面を形成する。
- (3) コロイダルシリカスラリーの場合、加工前の平滑度を必要以上に損ねずに傷が除去できるが、実用性のある加工能率は得られなかった。また磁性粒子の過大な干渉により微少なピットが創成された。
- (4) 希硝酸の溶出効果は、他の条件に比べ加工能率が向上し、傷周囲の平滑度の維持しながら傷が除去された。また条件(c)と同様に微少なピットが創成された。

参考文献

- (1) 尹・進村：振動磁気援用加工法によるマグネシウム合金の表面平滑化特性とエッジ仕上げ特性，砥粒加工学会誌，Vol.46, No.3, (2002), pp. 141-145.
- (2) 森・広田・川嶋：磁気研磨メカニズムに関する力学的考察，2001 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，pp. 395.

Fig. 4 3-D surface shapes measured by optical profiler