

微小径穴の精密仕上げ加工に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16457

氏名	杉森博
生年月日	
本籍	富山県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第478号
学位授与の日付	平成14年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	微小径穴の精密仕上げ加工に関する研究
論文審査委員(主査)	黒部 利次(工学部・教授)
論文審査委員(副査)	上田 隆司(工学部・教授) 山田 良穂(工学部・教授) 米山 猛(工学部・教授) 細川 晃(工学部・助教授)

学位論文要旨

Abstract

Tiny nozzles are progressively used in industrial applications such as fuel injection nozzle of engine, die, spinneret, water jet cleaner nozzle and so on. It is very difficult that the inner wall of the tiny nozzle is polished by ordinary finishing methods. In this study, two polishing methods recently developed, called high speed slurry flow finishing method and gyration flow finishing method, are applied to the tiny nozzle. High precision polishing of the inner wall of the die hole is performed by high speed slurry flow finishing method, in which the polishing is performed by letting the slurry flow through the nozzle at high speed. However this polishing method cannot be applied to the nozzle perpendicular to a pipe such as water jet cleaner nozzle. So gyration flow finishing method, in which the polishing is performed by gyrating the slurry contained with the powder of the peach seeds in the tiny nozzle, is developed. It is found that sucking in the polishing fluid from the back side of the tiny nozzle is very effective for chamfering the nozzle edge. It is shown that the jet force of the water jet cleaner is made to increase from 20% to 30% by polishing its nozzle.

1. 緒言

伸線ダイスや巻線機用ノズル, 化繊紡糸ノズル, 燃料噴射ノズル, ウォータジェットノズル, プリント基板など微細穴に対する要求は, 次第に細径化, 深穴化, 高品位化, 高能率化, 難削化の傾向にある。微細穴は, 一般にドリルによる機械加工と放電加工によって行われており, 仕上げを要するものは研磨などの後加工を施すことによって行われている。微細穴内壁面を研磨する方法の一つに, ダイヤモンドパウダーを練り込んだペーストを特殊な研磨棒に塗り付けて, 手操作で行われている例がある。その仕上げは, 経験的技能に負うところが多く研磨の自動化が極めて難しい。そこで本研究では, 内径 1mm 以下の微小径穴内壁面の研磨を, 新たに創案した2つの研磨方法(高速流動研磨法, 旋回流動研磨法)を適用して, その有用性について実験的検討を行った。

2. 微小径穴内壁面の研磨方法

2.1 高速流動研磨法

高速流動研磨は, 内径が1mm以下であり長さ数十cmから数mに及ぶ長尺の極細管(主にガス

系の配管等)の内壁面を研磨する目的で考案された研磨方法である。この研磨方法は、水等の流体に砥粒を混合したスラリーを、空気圧を介して細管内に強制流入させ管の左右端についてそれを交互に繰り返し往復動させて研磨する方法である。本研究では、高速流動研磨法が浅い微細穴を有するダイス穴内壁面の研磨にも適用可能かどうか検討した。図1に、本研磨装置の概略図を示す。本装置は、図1に示すように左右対称な構成となっており、被研磨ダイスの左右両端にはそれぞれ2個のカートリッジ(A, B)が配置されている。カートリッジAには、砥粒と水が、また、カートリッジBには水のみが入っている。加工は、次のように行われる。エアコンプレッサからの圧縮空気をフィルタレギュレータで一定の圧力に制御して直圧式増圧器に送気する。直圧式増圧器によってピストン内部の水を約12.7MPaまで増圧し、カートリッジA内の底部に予め沈殿させておいた砥粒を水ごと試料保持具内部のダイス穴内に注送する。ダイスを通過したスラリーは、ダイスの出口側(反対側)に設けてあるカートリッジAに入る。一定時間の停止(砥粒の自然沈降時間)の後、反対側の増圧器に送気する。このスラリーが左(右)のカートリッジから右(左)のカートリッジに移動する動作(1パス)を繰り返すことにより研磨を行う。

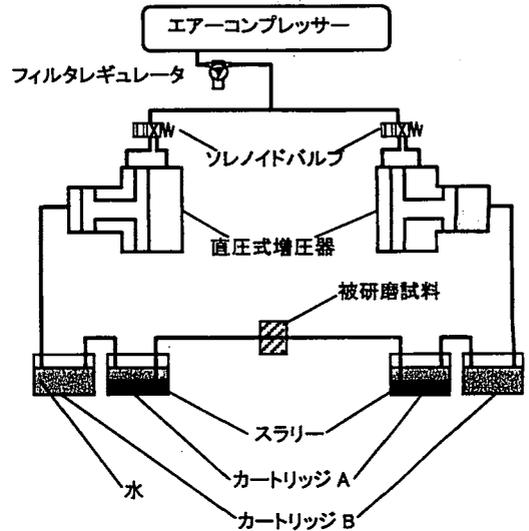


図1 高速流動研磨装置の概略図

2.2 旋回流動研磨法

高速流動研磨は、原理上その適用範囲はスラリーが往復できるような両端開きの穴に限定される。また、下穴の形状にならって研磨が進むため前加工の加工精度の影響を受け易い。え、実用化するには新たな研磨装置の構築が必要である。高速流動研磨法のこれらの問題点を克服するために、新たに考案した研磨法が旋回流動研磨法である。図2に、旋回流動研磨法の原理を示す。試料にあげられた微細穴に、研磨液を旋回させるための研磨工具を挿入する。研磨工具には、一定のリード角をもったねじれ溝2本が形成されている。研磨は、工具を回転させながら穴の一端からスラリー(砥粒と研磨油の懸濁液)と添加材を混合した研磨液を供給して、工具を穴から出し入れ(穴長手方向)させて行う。研磨装置は、高速スピンドルと2本のねじれ溝を持った研磨工具および砥粒を含んだ研磨液があれば実現可能であり、シンプルな構造で安価に実現可能な点が特徴として挙げられる。

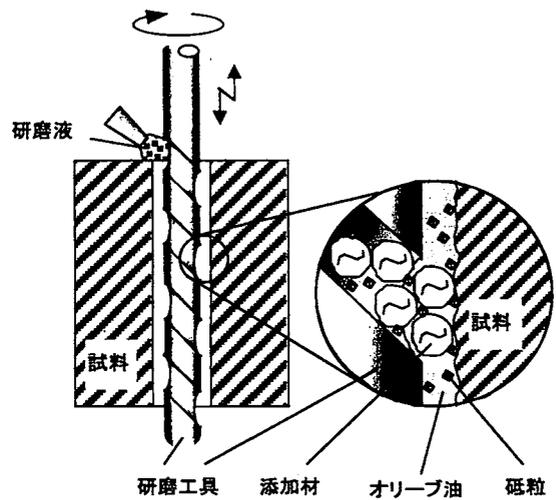


図2 旋回流動研磨の原理図

3. 微小径穴の研磨

3.1 ダイス穴内壁面の高速流動研磨

高速流動研磨法による、ダイス状試料の穴内壁面の研磨特性について検討した。図3に、ダ

イスの寸法形状を示す。図3に示すように、円筒の両端面にディフューザ形状をした非対称の座ぐりを入れている。まず、平均粒径 20, 60 μm の2種類の砥粒を用いて研磨した際のパス回数と表面粗さの関係について調べた。図4に、実験結果を示す。図4から、パス回数が増えると表面粗さが急減する様子がわかる。平均粒径 60 μm の砥粒の場合には、40パス以降ほぼ一定の値になる。しかし、約150パスを超える辺りから逆に表面粗さは幾分増加する傾向が見られる。一方、平均粒径 20 μm の砥粒の場合には、粗さの漸減傾向は200パスまで続く。これから、粗い砥粒で研磨すると研磨能率は良いが、パス回数を増やしていくと表面粗さの値は細かい砥粒で研磨した方が小さくなるのがわかる。次に、穴エッジ部の形状の変化について調べた。その結果、研磨によって穴エッジ部が丸みを帯びてくるのがわかった。以上のことから、高速流動研磨はダイス穴のような浅い穴の内壁面とエッジの研磨に有効であることがわかった。

3.2 微細穴の巡回流動研磨

巡回流動研磨法に関しては、特に添加材の研磨に及ぼす効果について検討した。図5に、穴内壁面のSEM写真を示す。図5(a)は研磨前 ($\phi 0.3\text{mm}$ のパイプ電極を用いてステンレス鋼板へ放電穴加工した後の穴を)、図5(b)は添加材を加えず平均粒径 25 μm の砥粒によって30分研磨した後の穴の様子を表す。図5(a)から、穴内壁面には放電痕が明瞭にわかる凹凸模様があり、荒れた面(梨地面)になっていることがわかる。一方、図5(b)から、内壁面は研磨前の放電痕が消失して細かい凹凸のある無光沢な面となることがわかる。

さらに、平滑な面を得るためにスラリーに種々の添加材を加えて研磨を行った。実験は、平均粒径 4 μm の砥粒を用い、添加材には、ガラスビーズ(平均粒径 76 μm)、桃の種(88 μm)、セルロース(40 μm)の3種類のものを用いた。ガラスビーズと桃の種は粒径が揃っており、粒に方向性があまり見られないものであった。それに対して、セルロースは粒径の分布がある程度あり、粒の大きさと形状に方向性がみられた。図6に、それぞれの添加材を加えて研磨した場

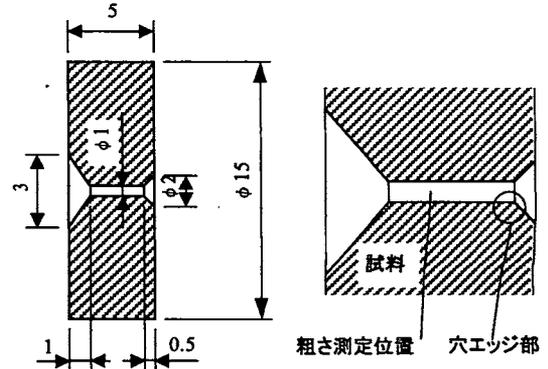


図3 ダイス

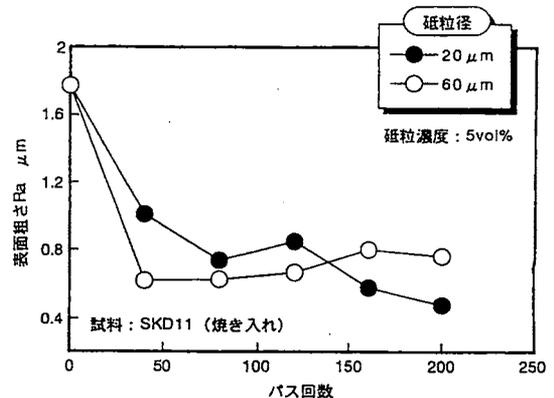


図4 パス回数と表面粗さの関係

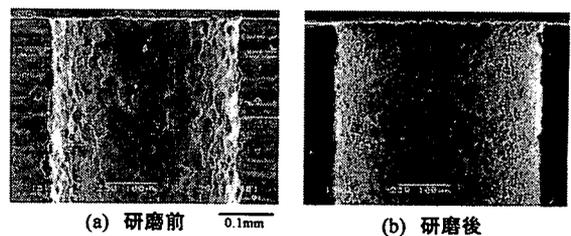


図5 穴内壁面のSEM写真

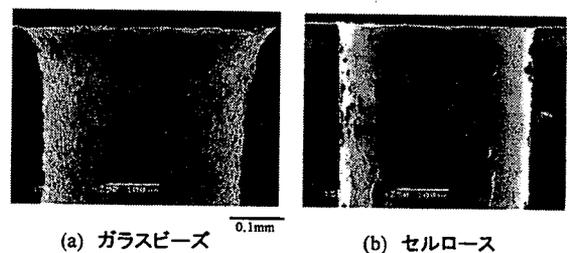


図6 添加材の効果(穴内壁面のSEM写真)

合の穴内壁面の SEM 写真を示す。ガラスビーズの場合(a)には、細かい凹凸があり穴入口付近がラッパ状に広がっている。セルロースの場合(b)には、平滑な面も見られるが研磨前の放電痕の名残が認められる。一方、桃の種の場合(c)には、光沢のある平滑な面が得られた。これらの添加材について、研磨時間が表面粗さに及ぼす効果について調べたところ、ガラスビーズと桃の種の場合、研磨時間が増すにつれて表面粗さは急減し、その後ほぼ一定の値となった。しかし、セルロースの場合にはほとんど効果は認められなかった。以上の結果から、添加材に桃の種のような軟質で粒径の揃った形状に方向性の少ないものを選ぶと、砥粒が添加材に保持されてすべり運動によって研磨が行われ、平滑な光沢面が形成されることがわかった。

次に、細かい砥粒（平均粒径 $4\mu\text{m}$ ）に桃の種の添加材を加えた研磨液で研磨した際の研磨特性について検討した。添加材を加えずスラリーのみで研磨すると、砥粒径を大きくするに従って研磨能率が上がるが工具消耗が増す。一方、添加材に桃の種を用いると、短時間で光沢のある平滑な面に仕上げることが可能で、且つ工具の消耗を抑えることも可能であった。本研磨法の場合、ねじれ溝のある研磨工具と穴で構成されるねじ型粘性ポンプの作用によって研磨液を穴の一端から穴内壁面全域に送りながら研磨が行われる。添加材を加えずに研磨すると、研磨は主として工具と穴の狭い部分（工具の外周部分）で行われることになる。その際、工具外周部が砥粒に直接力を及ぼし、砥粒が穴内壁面の仕上げ作用を営むことになる。一方、添加材を加えると、添加材は工具の溝に沿って移動しながら微細な砥粒を保持して、一種の軟質の弾性砥石となって研磨を行うものと思われる。その際、研磨によって添加材の桃の種自身も摩耗し角が丸くなり大きさも小さくなっていく。

3.3 旋回流動研磨の応用

旋回流動研磨法を水洗浄機用ノズルの仕上げ加工に適用してみた。水洗浄機用ノズルは、一端を閉じた中空円筒に微細な穴（ $\phi 0.52\text{mm}$ ）がつけられたものである。穴は、円筒の中心軸に対して垂直にあけられている。図7に、ノズルの外観を示す。ノズルには、高压水が円筒上方（開放端側）から注送さ



図7 洗浄機用ノズル

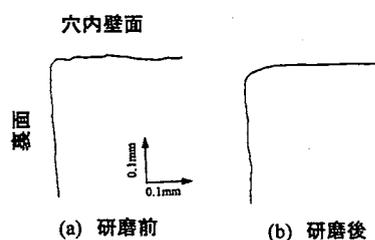


図8 穴裏側エッジ部の形状

れ、水平にあけられた微細穴を通して水が噴射される。このノズルを、旋回流動研磨するためノズルを中空円筒の中心軸が鉛直方向になるようセットした。その後、一端を閉じた円筒に溜められた研磨液をノズルの表側に向けて排出させることで研磨を行った。これは、左ねじれ溝の研磨工具をノズルの表側から挿入し、それを左回転（逆回転）することで工具とノズル穴で構成されるねじ型粘性ポンプ作用が実現し得たことで可能となった。本研磨方法によって、ノズル穴内壁面の研磨と穴裏側エッジ部の丸め付けが可能であることを確認した。図8に、穴裏側エッジ部の形状測定の結果を示す。(a)は研磨前、(b)は20分研磨後の状態である。研磨前に比べると研磨後の穴裏側エッジ部は角が取れて滑らかに丸まっているのがわかる。この研磨方法を、図7に示した洗浄機用ノズルの研磨に適用して、研磨前後の洗浄機の性能について調べた。洗浄機の性能は、一定圧（50MPa）の水をノズルから噴射させ、これを $\phi 10\text{mm}$ の円盤（荷重検出器内蔵）が受ける荷重で評価した。その結果、研磨後のノズルは、研磨前のものに比べて約2~3割程度噴射力が大きくなった。研磨によって穴裏側エッジ部の丸み付けがなされ、穴内壁面が平滑になったため噴射性能が向上したものと思われる。

4. 結 言

微小径穴の仕上げ加工について2つの研磨方法に関して検討したところ、以下のことがわかった。高速流動研磨法は、ダイスのような両端開きの微小径穴内壁面の研磨や穴エッジ部の丸み付けに有効なことがわかった。また、水洗浄機用ノズルのような一端を閉じた中空円筒にかけられた微小径穴内壁面の研磨・穴エッジ部の丸み付けには、旋回流動研磨法が有効であることがわかった。

学位論文審査結果の要旨

平成14年1月23日に第1回学位論文審査委員会を開催し、平成14年1月31日に口頭発表ならびに第2回審査委員会を開催して慎重に審査した結果、以下のように判定した。

本論文は、内径1mm以下の微小径穴内壁面の仕上げ加工を目的として、砥粒を管内で高速流動させて研磨する方法（高速流動研磨法）を創案し、その研磨特性について研究したものである。本論文では、線引きダイスの微細穴の研磨に高速流動研磨法を適用し、超硬合金に穿たれた微細穴の研磨が効果的に行えること、また流動研磨によってベアリング部の形状創成も可能なことを示している。一方、簡易な装置で微細穴内壁面を仕上げる旋回流動研磨法も提案している。本研磨法は、微細穴とドリル状の研磨工具との間に形成されるねじ型粘性ポンプ作用を巧みに援用して、研磨液を工具の回転によって穴内壁面に送りながら研磨する方法である。スラリーに軟質の添加材を加えると微細穴内壁面を効率よく平滑な面に仕上げ得ることを明かにしている。また、本研磨法を横穴の穿たれた一端封止の微細管の研磨に適用し、管に予め挿入されているスラリーを吸入する方法で横穴内壁面の研磨と同時に研磨液流入側の穴エッジ部の丸み付けも可能であることを実証している。そして、本旋回流動研磨法を水洗浄機用ノズルに適用し、研磨によって洗浄機の性能が向上することを確認している。

以上、本論文は産業界からの要望の高い微細加工技術の開発に係るものであり、微細管内壁面を高精度・高能率で研磨する方法を提案したものである。実用性の高い技術として評価できる。従って、その内容は博士（工学）論文に値するものと判定する。