

氏 名	李 亜国
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成 26 年 03 月 20 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研 究 科 専 攻	秋田県立大学大学院システム科学技術研究科 博士後期課程総合システム科学専攻
学 位 論 文 題 目	Fixed-Abrasive Polishing of Glass with the Assistance of Ultrasonic Vibration (光学ガラスの超音波援用固定砥粒研磨に関する研究)
指 導 教 員	教 授 <u>吳 勇波</u>
論 文 審 査 委 員	主査 教 授 <u>吳 勇波</u> 副査 教 授 <u>周 立波(茨城大)</u> 教 授 <u>邱 建輝</u> 教 授 <u>谷内 宏行</u>

## 論 文 内 容 要 旨

Ultrasonics that dates back to 1940s has been utilized in numerous fields, inclusive of ultrasonic cleaning, ultrasonic detection, ultrasonic welding as well as ultrasonic machining. In manufacturing community, ultrasonics has been identified as a practical and vital technique, especially in the high efficiency and precision machining of difficult-to-machine materials, which, in some cases, is otherwise considerably difficult to be accomplished without ultrasonics. Traditional machining in the presence of ultrasonics can be categorized into ultrasonic machining and ultrasonic assisted machining.

The work presented focuses on fixed abrasive polishing of fused silica with the assistance of ultrasonics. The theoretical basis on which 2-D vibration is created is introduced first. Following the design, the manufacture and evaluation of the designed PZT was made. With the designed PZT, experiments on material removal and micro-surface roughness follow. The results on the two major issues evidence that applying vibration noticeably elevates material removal while the surface roughness was not degraded significantly.

Another issue in machining refers to subsurface nature of machined workpiece. More often than not, although the surface appears plausibly smooth, the subsurface is damaged severely after a chemical processing. In our experiments, the subsurface defect is experimentally related to chips incurred in the course of polishing. In some cases for which the chips were dispelled timely, the subsurface damage is reduced remarkably. Otherwise, on the machined surface plenty of cracks and/or scratches are characteristic of the subsurface.

The thermal aspect in dry polishing, especially chemistry-involved processes, is of paramount importance. Without exception, the temperature was examined in the polishing. The temperature lies in the range of  $\sim 20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ , far lower than as imagined. The temperature is comparable to that in chemical mechanical polishing where slurry is generally circulated in the course of polishing. Inferring from the experimented temperature, the mechanism of dry fixed abrasive polishing differs from CMP.

The last part of the work is to extend the method so as to open a door to potential industrial applications. To that end, the first and foremost thing is to ascertain if the polishing process is stable and repeatable. Thus, influence function was tested tentatively. We are pleased that the influence function exhibits excellent linearity with time and external controllable factors, implying that the fixed abrasive polishing is a technology well suitable for being automated.

All in all, the developed fixed abrasive polishing with the assistance of ultrasonic vibration is a promising technology from the viewpoint of material removal and subsurface properties. The technology has the potential to being further extended to other materials.

論文提出者氏名	李 亜国
論文題目	Fixed-abrasive Polishing of Glass with the Assistance of Ultrasonic Vibration (光学ガラスの超音波援用固定砥粒研磨に関する研究)
指導教員	呉 勇波
論文審査委員	主査 教授 <u>呉 勇波</u> 副査 教授 <u>周 立波</u> 教授 <u>邱 建輝</u> (茨城大学大学院理工学研究科) 教授 <u>谷内 宏行</u>

## 論文審査結果要旨

本論文は、石英ガラスをはじめ光学ガラスの高能率高精度かつ環境にやさしい研磨技術の開発について検討したものである。従来の光学ガラス研磨加工は、硬質ラップとガラス間に粗粒研磨剤を供給しながらラッピングしたのち、軟質パッドとガラス間に微粒スラリーを供給しながらポリシングを施すといった2工程で行われており、遊離砥粒による環境への負荷や長い加工時間による高コストという欠点があった。本論文では、光学ガラスと化学反応性を示す固定砥粒工具を超音波楕円微振動させながら定圧研磨を行う1工程だけの新しい研磨法を提案し、超音波ヘッドを中心要素とする実験装置の設計・製作を行った上、提案方法の妥当性を実験的に検証した。また、この新しい加工法における材料除去メカニズムの解明や加工特性の安定性検討を行い、実用化への道筋を示した。全文は序論と結論を含め7章からなる。

第1章は序論であり、研究背景や目的および論文構成について述べている。第2章では、超音波楕円振動ユニットを中心要素とする実験装置を設計・製作し、その性能評価を行った上、実験方法を検討した。第3章では、超音波援用の有無による材料除去率・面粗さ・面テクスチャーの違いについて実験的解析的比較を行い、超音波を援用すると面粗さがほとんど変わらないが、材料除去率が大きく向上し、また面テクスチャーも特徴的となることを明らかにしたのち、材料除去における化学反応の発生や研磨工具の摩耗についても検討した。第4章では、超音波の有無による表面スクラッチや内部クラックの発生の違いについて実験的に比較検討し、その対策も講じた。第5章では、初めは加工点温度を異なる測定手法で実測した上、加工点における加工熱の分布を理論的に求めた。そして、材料の除去における加工点温度の役割について定量的検討を加えた。第6章では、本提案・開発技術の実用化を図る目的で、材料除去量が加工変数と直線関係にあることを示し、加工特性の安定性検討を行った。第7章では本研究で得た結果をまとめ、今後の関連研究課題を提起している。

以上、本論文はこれまでにない新しい加工原理の提案から加工メカニズムの理論的な解明とプロセスの実験的な最適化検討まで多くの知見と成果を得ており、工学的価値が高いだけでなく実用化の見通しも立っている。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。