

学位被授与者氏名	合屋 尚子 (Naoko Gouya)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 2 8 号
学位授与年月日	平成 2 4 年 3 月 2 0 日
論文題目	ナノメータ研削用マイクロ研削工具の開発
論文題目 (英訳または和訳)	Microgrinding Tool Adaptable to Nanometer Grinding
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 仙波 卓弥 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 朱 世杰 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 スーチュ・クラウゲ・ユ・ グァレンティン 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 内田 一徳
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>マイクロ研削加工は、超硬合金や炭化珪素といった高硬度金型材料に対して超精密微細形状を創成できる潜在能力を持っている。しかし、耐摩耗性に優れた工具素材の開発や、表面粗さが 10 nm Rz 以下の平滑な研削加工面を短時間で創成できる研削加工技術の開発が遅れており、マイクロ研削加工技術が実用化されるには到っていない。本研究では、ダイヤモンド電鍍工具や焼結ダイヤモンド(Polycrystalline Diamond: PCD)をマイクロ研削用の工具素材として使用した。また、表面粗さが 10 nm Rz 以下の平滑な研削加工面を短時間で創成するため、砥石作用面にあるダイヤモンド砥粒の先端を工具の輪郭に沿って平坦に成形できる、砥粒平坦化ツルーイング技術の開発を行った。</p> <p>本論文は序論、3つの章、ならびに結論で構成されている。序論では、本研究で実施したマイクロ研削加工技術の開発に関わる国内・国外の研究開発動向、当該分野における本研究の学術的な特徴、独創的な点、ならびに工業的有用性について紹介した。また、研究目的を達成するために行った研究実施内容と、各章に分けて記載した研究成果の概要について説明した。</p> <p>第2章では、ガラス製レンズの量産に用いられている超硬合金製金型を例にとり、従来金型の加工に用いられてきた算盤玉の形に成形されたレジンボンドダイヤモンドホイールを用いた超精密研削加工は、直径が 1 mm 以下のレンズ金型の成形には使用できないことを示した。また、直径が 1 mm 以下のガラス製レンズ金型を成形するためには表面粗さが 10 nm Rz 以下の平滑な研削加工面を短時間で創成できる、マイクロ研削加工技術を新たに開発する必要があることを示した。</p> <p>第3章では、工具の先端半径が 200 μm でメッシュサイズが#1000 のダイヤモンド電鍍工具に対して行った、砥粒平坦化ツルーイングの結果について紹介した。一次粒子径が 0.5 μm の PCD 製円板をツールアとして使用し、ツールアに予備成形した深さが 50 μm で円周方向の粗さが 0.5 μm Rz 前後の案内溝に工具を弾性接触させてツルーイングを行うことにより、砥石作用面にあるダイヤモンド砥粒の 93 % を平坦に成形できることを示した。</p> <p>第4章では、工具先端の半径が 50 μm の半球状でダイヤモンドの一次粒子径が 4~5 μm の PCD 製研削工具に対して行った、砥粒平坦化ツルーイングとドレッシング技術について紹介した。化学気相成長法(Cheical Vapor Deposition: CVD)で作られたダイヤモンド製円板をツールアとして使用し圧力切込み方式の研削加工を行うと、半球状の砥石作用面にあるダイヤモンド砥粒を平坦に成形できることを示した。また、共有結合しているダイヤモンド砥粒を砥石作用面に分離して露出させる手段としては、電解加工が有効であることを示した。</p> <p>結論では、第3章と第4章に分けて示した研究実施内容と研究成果が第2章で紹介した研究目的を完全に満たす内容になっていることを総括した。とくに、第3章で示したダイヤ</p>

	<p>モンド電鍍工具に対する砥粒平坦化ツルーイング技術は、ダイヤモンド砥粒の先端が平坦に成形されるメカニズムを解明することに成功したという意味において研削加工分野の研究者から学術的に高い評価を頂いていることを紹介した。また、表面粗さが10 nm Rz以下の平滑な研削加工面を短時間で創成できるマイクロ研削工具の作成に成功したという意味において超精密研削加工にかかわる産業界から工学的にも高い評価を得ていることを示した。</p>
<p>論文内容の要旨 (英文)</p>	<p>Microgrinding techniques have the potential to be used to fabricate ultraprecision microstructures from hard materials such as cemented carbide and silicon carbide, which are commonly used as the materials of dies and molds. However, a microgrinding tool with not only superior wear resistance but can also be used with microgrinding techniques to grind surfaces of hard materials to a roughness of less than 10 nm Rz has not been developed, which means that microgrinding has never been applied in practical industrial use. In this study, an electroformed diamond tool with the same bending strength as P-type cemented carbide and a polycrystalline diamond (PCD) were used as a microgrinding tool. A truing technique was developed that enables diamond grains on a tool working surface to be flattened with the aim of rapidly fabricating ultraprecision ground surfaces.</p> <p>This doctorate thesis is made up of five chapters: an introduction, three chapters in which the background, objectives and results of this research project are presented, and a summary. Previous studies and the context of this research project in relation to trends in microgrinding, its objectives, and its effectiveness from both theoretical and practical viewpoints are discussed in chapter 1.</p> <p>In chapter 2, it is argued that the conventional ultraprecision grinding technique using a V-shaped resin-bonded diamond wheel with the shape of V-formation, which is commonly used for the production of glass lens molds made of cemented carbide, cannot be adapted to the production of tiny lens molds with a diameter of less than 1 mm. In addition, the objectives of this research project are given.</p> <p>In chapter 3, the results of truing tests conducted on an electroformed diamond tool with a tool tip radius of 200 <math>\mu\text{m}</math> and a diamond mesh size of #1000 are presented. A PCD disc with a diameter of 15 mm and a primary diamond grain size of 0.5 <math>\mu\text{m}</math> was used as a truer, and a guide groove with the reverse profile of the tool was preformed on the truer using laser machining and wet lapping. 93% of the diamond grains on the hemispherical tool working surface were successfully flattened by bringing the tool into elastic contact with the guide groove.</p> <p>In chapter 4, the results of truing and dressing tests conducted on a PCD tool with a tool tip radius of 50 <math>\mu\text{m}</math> and a primary diamond grain size of 4 to 5 <math>\mu\text{m}</math> are presented. A diamond disc with a diameter of 15 mm fabricated by chemical vapor deposition was used as a truer. The tips of the diamond grains on the hemispherical tool working surface were successfully flattened by bringing the tool into elastic contact with the truer. A new dressing technique using electrochemical machining was developed that caused diamond grains to protrude from the tool working surface by separating the covalent linking of diamond grains on the tool working surface.</p> <p>In Chapter 5, it is concluded that the results of this research project discussed in Chapter 3 and 4 satisfy the objectives given in Chapter 2. It is emphasized that the truing technique proposed in Chapter 3 is original from a theoretical viewpoint and is essential for fabricating smooth ground surfaces with a roughness of less than 10 nm Rz on cemented carbide, which has so far not yet been accomplished. Moreover, the effectiveness of these microgrinding tools with flattened diamond grains for nanometer grinding has been acknowledged in practical industrial fields, indicating their suitability for use in microgrinding techniques in industry.</p>

論文審査結果	<p>マイクロ研削加工は、高硬度金型材料に対して超精密微細形状を作り得る潜在能力を持っており、ガラス製マイクロレンズの量産に用いられる超硬合金製金型の製造にマイクロ研削加工を用いるための研究が各国で行われている。しかし、耐欠損性や耐摩耗性に優れた工具素材が開発されていないことに加え、研削加工を行い粗さが 10 nm Rz 以下の平滑な加工面を作ることが容易でないことが原因で、マイクロ研削加工が実用化されるには到っていない。</p> <p>本論文には、マイクロ研削加工を実用化するために行った研究の成果が纏められている。工具素材として当該研究室で開発したダイヤモンド電鍍工具の他に、同素材よりもさらに耐欠損性や耐摩耗性に優れた焼結ダイヤモンド (Polycrystalline Diamond: PCD) を使用した。その上で、砥石作用面にあるダイヤモンド砥粒の先端を平坦かつ平滑に成形することにより、超硬合金に対して粗さが 10 nm Rz 以下の平滑な加工面を短時間で成形できるマイクロ研削加工技術の開発を行っている。</p> <p>工具素材にダイヤモンド電鍍工具を用いた場合には、PCD 製円板を工具を成形するためのツールアに使用し、工具半径が 0.2 mm で半球状の砥石作用面にある 90 %以上のダイヤモンド砥粒を平坦かつ平滑に成形することに成功した。工具素材に PCD を使用した場合には、化学気相成長 (Chemical Vapor Deposition: CVD)法で作られた CVD ダイヤモンド製円板をツールアに使用し、工具半径が 50 μm で半球状の砥石作用面の粗さを 20 nm Rz 前後の値に成形することに成功した。また、試作した 2 種類のマイクロ研削工具を用いて超硬合金に対する研削加工を行い、粗さが 10 nm Rz 以下の平滑な加工面を短時間で成形できることを検証している。</p> <p>本論文に記載された研究の成果につき、申請者は過去 3 度にわたって優秀講演論文賞 (砥粒加工学会) とベストプレゼンテーション賞 (精密工学会九州支部) を受賞しており、学術的ならびに工業的に質の高い研究内容であると判断した。また、本論文に纏められている研究の成果は、査読付き論文 3 編 (第 1 著者 2 編) と国際会議 Proceedings 2 編 (第 1 著者 1 編) に公表されており、学位論文審査基準を満たしている。これら 2 つの観点から、学位審査委員会は本論文が学位論文として認められる内容であると判断した。</p> <p>平成 24 年 2 月 21 日に学位論文公聴会を実施した。出席者は、教職員ならびに大学院・学部学生を合わせて計 46 名であった。発表の後に行われた質疑応答では、30 分の間に副査を含む教員から計 7 件の質問を頂いた。教員からは申請者を教育する見地からの質問と助言、申請者からは教えを請う真摯な態度での回答ができていたように判断する。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることを確認した。</p> <p>学位審査委員会は、学位論文審査結果、学位論文公聴会結果、および最終試験結果を総合評価し、この学位論文が博士 (工学) の学位に適切であると判断した。</p>
主な研究業績	<p>参考論文 5 編 1 冊</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. “Tool Materials Adapted to Ultraprecision Microgrinding“, 3rd International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Programme &amp; Abstract, No. 2B-13, pp.69 (2009) Authors : Takeshi HARADA, Naoko GOUYA, Yoshiki ITOH, Takuya SEMBA</li> <li>2. 「極微粒ダイヤモンド電鍍工具に対する砥粒平坦化および平滑化ツルーイング技術」, 日本機械学会論文集 C 編、76 巻、771 号、pp. 3126-3133 (2010) 著者 : 合屋尚子、孫万福、原田武志、仙波卓弥</li> <li>3. 「焼結ダイヤモンド製マイクロ研削工具に対する砥粒平坦化ツルーイングとドレッシング技術」, 日本機械学会論文集 C 編、76 巻、771 号、pp. 3134-3142 (2010) 著者 : 伊東好樹、合屋尚子、原田武志、仙波卓弥</li> <li>4. 「極微粒ダイヤモンド電鍍工具に対する砥粒平坦化ツルーイングのメカニズム」, 日</li> </ol>

本機械学会論文集C編、77 卷、782 号、pp. 3904-3915 (2011) 著者：合屋尚子、孫万福、天本祥文、仙波卓弥

5. “Electroformed Diamond Tool Adaptable to Nanometer Grinding of Cemented Carbide”, 4rd International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Programme & Abstract, No. P001, pp.75 (2011), ( to be published in Key Engineering Materials) Authors : Naoko GOHYA, Wanfu SUN, Yoshifumi AMAMOTO, Takuya SEMBA