

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲	第 10731号
------	-----	----------

氏 名 張 建国

論 文 題 目

Micro/Nano Machining of Steel and Tungsten Carbide Utilizing Elliptical Vibration Cutting Technology
(楕円振動切削による鋼と超硬合金のマイクロ・ナノ加工)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	鈴木 教和
委員	中部大学	教授	鈴木 浩文
委員	名古屋大学	教授	社本 英二
委員	名古屋大学	教授	梅原 徳次

論文審査の結果の要旨

張建国君提出の論文「Micro/Nano Machining of Steel and Tungsten Carbide utilizing Elliptical Vibration Cutting Technology(楕円振動切削による鋼と超硬合金のマイクロ・ナノ加工)」は、楕円振動切削技術を応用することにより鋼材や超硬合金に対してマイクロ/ナノ領域の超精密微細加工を実現し得ることを明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究背景としてマイクロ/ナノ形状を応用した機能性表面技術の動向と、それらに対して求められる形状や材料について調査を行った結果をまとめている。さらに、機能性表面を製造するための従来の微細加工技術として、各種技術の特徴をまとめるとともにその適用可能な領域について比較を行っている。これらの比較によって、鋼材や超硬合金といった材料に対する潜在的な需要が高いことを見出すとともに、それらの材料の微細加工に対しては楕円振動切削技術が有望であることを述べている。さらに、楕円振動切削技術に関する従来研究について調査を行い、超硬合金に対しては検討が十分でなく工具寿命が短いという問題があることを確認している。また、鋼材に対しては比較的検討が多いものの、微細加工を実現する上で加工可能な形状に対する制約が明らかにされておらず、高精度加工を実現するための技術検討も不足していることを説明している。以上の研究背景を踏まえ、実施した研究課題についてまとめた本学位論文の構成について述べている。

第2章では、超硬合金の材料物性と楕円振動切削の各種条件が延性モード加工に与える影響について系統的に実施した研究の成果について述べている。各種評価の結果、超硬合金に含有されるバインダ金属の含有量が多く、砥粒径が小さいほど脆性破壊の抑制に対しては有効に働く性質が確認されている。また、楕円振動切削プロセスにおける実質的な瞬間切り厚さが小さいほど延性モード加工に対して有利であることを明らかにしている。以上の検討により、超硬合金の粒径が $0.5 \mu\text{m}$ 以下で、本研究で新たに定義した最大瞬間切り厚さ (MIUCT) が 4 nm 以下となる条件においてのみ延性モード加工を実現し得ることを見出している。さらに、この条件に基づいて微細溝やパターンの加工に挑戦し、従来技術では不可能であったマイクロ/ナノオーダの微細形状の高効率加工を実現し得ることを明らかにしている。

第3章では、超硬合金の楕円振動切削における工具寿命について検討を行った結果をまとめている。工具の逃げ面摩耗が、材料の硬度と工具の結晶方位、および楕円振動切削特有の累積切削距離に依存することを明らかにするとともに、工具摩耗モデルを提案している。さらに、切削抵抗が摩耗量と工具の結晶方位に依存すること、および加工面の粗さが主に累積擦過距離に依存することを明らかにしている。これらの研究成果は、楕円振動切削技術による超硬合金の超精密微細加工の実用性を示す重要な知見である。

第4章では、楕円振動切削における振幅変調法を利用した微細加工技術に関する解析的な研究内容をまとめている。振幅変調法では、従来の高速工具サーボによる方法と同様の微細加工を難削材に対して実現し得るが、同時に加工可能形状に対して楕円振動切削特有の制約を持つ。本論文では、工具の相対振動をモデル化し、各種条件や工具形状に依存する加工可能形状の制約について定式化するとともに、数値シミュレーションによりその特徴について明らかにしている。さらに、高精度加工のための振幅変調指令の補正手法について提案を行い、数値解析において提案手法が有効であることを明らかにしている。

第5章では、第4章で解析的に検証した加工可能形状の制約と高精度加工の実現可能性について焼入れ鋼の加工実験により検証を行った結果を述べている。検証実験の結果は解析と極めてよく一致し、従来の方法では、 242 nm の誤差が生じる加工に対して、提案手法を適用することで 22 nm まで低減することに成功している。さらに、数 nm ~ 数十 nm の微細形状加工や高低差 $1 \mu\text{m}$ 程度の2次元正弦波グリッド面の高効率高精度加工などを実現し得ることが明らかにされた。これらは、従来の常識を覆すマイクロ/ナノ領域での超精密微細加工の実行可能性を示唆する結果であり、今後の機能性表面利用技術に新たな可能性を示すに有用な知見である。

第6章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、鋼材や超硬合金に対してマイクロ/ナノ領域の実用的な超精密微細加工を実現し得ることを明らかにしている。これらの評価方法並びに得られた結果は、機能性表面技術への応用を

論文審査の結果の要旨

実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である張建国君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。