

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| 氏 名 | SOLDATOV ALEXANDER | | |
| 授与した学位 | 博 士 | | |
| 専攻分野の名称 | 学 術 | | |
| 学位授与番号 | 博甲第 | 6 8 4 7 | 号 |
| 学位授与の日付 | 2 0 2 3 年 3 月 2 4 日 | | |
| 学位授与の要件 | 自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当) | | |
| 学位論文の題目 | Development of Advanced Polycrystalline Diamond Coatings on Cutting Tools for CFRP Composites (CFRP 用切削工具のための先進的多結晶ダイヤモンドコーティングの開発) | | |
| 論文審査委員 | 教授 岡田 晃 | 教授 藤井 正浩 | 教授 大橋 一仁 |
| 学位論文内容の要旨 | | | |
| <p>This thesis deals with improvement in cutting performance of diamond coated tools in machining difficult-to-cut composite materials, specifically CFRP. Such improvement has achieved through application of advanced polycrystalline diamond coatings for WC-Co based cutting tools. Also, a reconditioning approach to the diamond coated tools has been proposed. The developed approach gives significant advantages in CFRP machining in terms of the tool cost and the material savings and may facilitate a transition towards an eco-friendly circular economy.</p> <p>A hot filament chemical vapor deposition (HFCVD) method to prepare the diamond coatings with different film morphologies through boron doping was described in term of a fundamentals, applied equipment, a deposition parameter and a substrate pretreatment technique. Experimental investigations of cutting performance of CFRP with undoped, and boron-doped CVD diamond-coated drills were performed. In additional, the influences of the diamond coating properties, such as film morphology, boron doping, and etc., on the film adhesion itself and the drilled hole quality were clarified by evaluating the tool wear, thrust force, torque and CFRP delamination. According to the results, the boron-doped microcrystalline diamond (B-MCD) coated drills presented advantages in tool life and quality of drilled holes over the undoped nanocrystalline diamond (NCD) and boron-doped nanocrystalline diamond (B-NCD) coated drills. Also, the results reveal adhesion enhanced effect of the CVD diamond coating to WC-Co substrate through appropriate boron doping of the film.</p> <p>The developed reconditioning technique of the diamond-coated tools for industries applications was described. Also, the cutting performance of the reconditioned tools, when CFRP drilling, has been investigated. Experiments were performed by deposition B-MCD coatings on the WC-Co drills and following tool decoating by reactive ion beam etching (RIBE). Furthermore, cutting tests were carried out and repeated to evaluate cutting performance of reconditioned drills and compare with the new drills. As result, the cutting ability of the reconditioned drills was confirmed. Moreover, even the two-time reconditioned drills showed the cutting performance results comparable with the new drills in terms of tool flank wear and drilled hole quality. All produced CFRP holes kept the required hole size and showed the absence of critical delamination and burrs. In order to estimate an influence of reconditioning procedures on drills' cutting ability, tool substrate textures were investigated in terms of surface morphology, adhesion, and cutting edge geometries. The results obtained show that repeated tool substrate pretreatment before HFCVD process created in crater formation in the WC-Co and should be tailored for the tool reconditioning.</p> | | | |

論文審査結果の要旨

本論文は、CFRP の穴加工用工具に対する多結晶ダイヤモンドコーティングの高性能化、およびダイヤモンドコーティング工具の効率的再生のための除膜と再成膜プロセスを研究している。

CFRPはその高い比強度や疲労強度により航空機産業や自動車産業をはじめ様々な分野で応用されているが、ドリルによる穴あけ加工では、硬質炭素繊維の研磨作用により工具寿命が短く難削材とされている。この改善のために各種硬質皮膜コーティングのドリル工具が利用されるが、それでも工具摩耗が大きく、切削性能の低下や層間剥離などの加工欠陥が生じる。

そこで、切削性能改善のため、超硬合金製ドリル工具表面に多結晶ダイヤモンドコーティングを施すための、熱フィラメントCVD法を応用した成膜プロセスを提案し、成膜条件によって膜表面形態の異なる多結晶ダイヤモンド膜を得るためのコーティング技術を確立した。この際、超硬合金基材との膜の密着強度を高めるために、成膜時にボロンドーピングを併用し、膜の耐剥離強度向上にも成功している。そしてCFRPに対する穴あけ実験の結果、加工時のドリル工具に作用するトルク、スラスト力、および工具の逃げ面摩耗において、ボロンドープマイクロ多結晶ダイヤモンドコーティングの場合に優れた切削性能を示すこと、従来ドリル工具と比較して工具寿命が向上し、かつ、加工穴における層間剥離やバリの発生等を抑制できることを明らかにしている。

続いて、実用の観点からダイヤモンドコーティング工具の再利用技術についても検討を行っている。反応性イオンビームエッチングを用いた高性能な除膜技術について検討し、ドリル刃先形状をほとんど劣化させることなく、ダイヤモンド膜のみを除去するための除膜方法を実現した。また、ダイヤモンド膜の除膜後に化学エッチングによる超硬合金表面への微細凹凸形状付与を適切に行うことで膜密着強度を維持できることも示された。そして、2回までの再生ドリル工具において新しいものとほぼ同等の切削性能やドリル穴の良好な品質が得られることが明らかとなった。

本成果はCFRPの穴あけ加工技術の向上、およびドリル工具再生の点で有益な知見であり、学術的価値が高い。よって本研究は博士（学術）の学位に値するものと認められる。