

氏 名 汪 強  
 授 与 学 位 博士 (工学)  
 学位授与年月日 平成 30 年 9 月 26 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 Fundamental Investigation on High Quality Hole Drilling of CFRP  
 (Carbon Fiber Reinforced Plastic) Using a Tilted Helical Milling Technique  
 (チルトヘリカル加工による CFRP (炭素繊維強化プラスチック) の高品質穴  
 開けに関する基礎研究)  
 指 導 教 員 教 授 尾藤 輝夫  
 論 文 審 査 委 員 主査 教 授 尾藤 輝夫  
 副査 教 授 鈴木 庸久 教 授 水野 雅裕  
 教 授 呉 勇波

※本研究科以外に所属する場合はその所属を括弧書きすること

## 論文内容要旨 ※(20 ポイント)

Carbon fiber reinforced plastics (CFRP) is used for various mechanical structures because of its superior mechanical and physical properties. A lot of drilling is demanded during the processing and manufacturing of CFRP components. However, characterized by nonuniformity, anisotropy and high hardness, CFRP is susceptible to bearing following defects when processed with conventional drilling technology: entrance cleavage, exit laceration, delamination, and burrs. The aforesaid defects may affect the service life of CFRP components and even cause scrapping of such components.

To solve the problem, this paper has investigated and compared all sorts of CFRP drilling techniques in terms of processing efficiency and quality, and it was found that the conventional helical milling (CHM) technology was advantageous than others in both processing efficiency and quality. But CHM was still faced with a few problems such as zero-point in cutting speed of cutting tool terminal, delamination at hole exit due to extruding of material at hole bottom, and inner surface scratch of the hole caused by friction between side edge of cutting tool and inner hole wall. Therefore, this study proposed a novel method for drilling holes in CFRP products. This new method is

performed by replacing the revolving motion of the tool in CHM with conical pendulum motion in which the tool axis is tilted towards the hole axis at a certain angle, consequently it was called tilted helical milling (THM). With THM processing, when the cutting tool revolves on its own axis, its axis keeps tilting in relation to the hole axis at a certain angle and maintains screw-feed along the hole axis.

Firstly, an experimental device of THM was designed and manufactured for verifying the effectiveness of the proposed method, then a theoretical analysis of the hole forming process and material removal rate during THM was performed and experiments were conducted to verify its basic processing properties and strengths. Further, the exit formation of the hole was studied, and the inhibition mechanism of the hole exit formation on the exit delamination defect was figured out. The obtained results revealed that during hole drilling by THM, a circumferential V-groove exists between the end face of the tool and the bottom of the hole, whereas in CHM this phenomenon does not occur. This fact is beneficial to timely chip removal, drilling force reduction and zero cutting speed point problem avoidance. Moreover, the hole exit formation in THM was divided into two stages: formation of small-diameter hole and hole enlargement processing. The extruded layer resulting from the first stage would be removed through hole diameter enlargement in the second one to inhibit the generation of delamination at the hole exit.

Both cutting force and cutting temperature can produce a significant effect on the CFRP processing quality. Therefore, this paper established a mechanical model about the cutting force of THM to study the factors performing on the cutting force. A string of plans was adopted to measure the cutting temperature during THM processing, and the effects of cutting force and cutting temperature were analyzed in different machining conditions. Lastly, the processing quality of hole entrance, exit and inner surface in different processing conditions was assessed to optimize the processing conditions and provide guidance for potential industrial application. The research results indicate the THM can generate high-quality holes on CFRP at a high efficiency.

According to the above results, THM was proven to have such strengths as speed zero-point evading, delamination inhibition, smooth cuttings discharge, strong heat radiation capacity, and low thrust force. Subsequently, high quality holes can be successfully obtained with high efficiency by THM.

論文提出者氏名	汪 強
論文題目	Fundamental Investigation on High Quality Hole Drilling of CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) Using a Tilted Helical Milling Technique (チルトヘリカル加工による CFRP (炭素繊維強化プラスチック)の高品質穴開けに関する基礎研究)
指導教員	尾藤 輝夫
論文審査委員	主査 教授 <u>尾藤 輝夫</u> ㊞ 副査 教授 <u>鈴木 庸久</u> ㊞      教授 <u>水野 雅裕</u> ㊞ (岩手大学) 教授 <u>呉 勇波</u> ㊞ (南方科技大学)

## 論文審査結果要旨

本論文は、チルトヘリカル加工法を用いて CFRP (炭素繊維強化プラスチック)の高品質穴あけを行う技術を確認するための基礎研究の成果を取りまとめたものである。本論文は全 6 章で構成されている。

第 1 章では緒論として、本研究の背景や目的について述べている。CFRP は、比強度・比剛性・耐食性に優れ、従来の金属材料を置き換えられる構造材料として航空宇宙、防衛産業、交通輸送などの分野で広く使われている。しかし、CFRP 部品の加工製作には多くの穴あけが必要であるが、CFRP は非均質、異方性、高硬度という特徴のため、従来のドリル加工では入口部の割れ、出口部の引き裂き、層間剥離、バリなどの欠陥が起きやすく、これらの欠陥が CFRP 部品の安全性や使用寿命の低下をもたらす。そこで本論文では、チルトヘリカル加工という新しい手法を用いて、CFRP の高品質穴あけを行う技術を開発するための基礎研究を進めている。第 2 章では、工作物を傾斜(チルト)設置し回転運動を与える回転テーブルを製作して、NC フライス盤に搭載することによって実験装置を構築している。第 3 章では、工具と工作物間相対運動の理論解析を行い、慣用ヘリカル加工とチルトヘリカル加工における材料の除去メカニズムと穴の生成過程を比較し、同時に実験による検証も進めた。その結果、新しい手法では慣用法における工具底刃の速度ゼロポイント問題が避けられ、切りくずの排出も容易になり高品質の穴あけが可能であることを明らかにした。第 4 章では、工作物チルト角や工具偏心などの加工条件が切削抵抗や熱、及び工具摩耗に及ぼす影響についての体系的調査を実験的に行い、理論的考察も加えた。第 5 章では、穴の入り口や出口および内壁の品質に対する加工条件の影響を実験的に検討し、慣用ヘリカル加工に対するチルトヘリカル加工の優位性が確認され、更に加工条件の最適化検討に指針を与えている。第 6 章では本研究で得た結果をまとめ、今後の課題を提起している。

本論文はこれまでにない CFRP の新しい穴あけ技術の確立を目指して、基礎加工特性の把握や加工メカニズムの解明から最適加工条件の特定まで多くの知見と成果を得ており、工学的価値が高く実用化への道筋も期待できる。また研究業績として、査読付き学術誌論文 5 編(公表済み 3 編、査読回答済み 1 編、査読中 1 編)、国際会議発表 3 件、国内学会発表 4 件を公表している。

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。