

(様式 5)

2022 年 6 月 16 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学専攻 (major) 2019 年度入学(Admission year) 学籍番号 19833702 氏名 伊藤幸男 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	笹原 弘之
論文題目 (Title)	CFRP の研削加工における薄肉砥石を用いた冷風供給の効果と 赤外線放射温度計による加工状態モニタリング (Effect of cold air supply with thin-walled grinding wheel in CFRP grinding and process monitoring with an infrared thermometer)
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract(400 words))	※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 本論文では、まず、CFRP を研削液を用いないドライ研削することを目指し、研削液の代わりに冷風を供給する研削加工を提案している。外周に多数のスリットを設けた薄肉電着カップ砥石の内側から冷風を供給する手法を開発しその特性を調査した。次いで、加工後の CFRP の健全性を保ち加工の成否を判断するうえで重要な加工時の温度をインプロセスで計測できる手法として、赤外線放射温度計を用いた新たな研削面の温度測定手法を提案している。さらに、この提案手法が CFRP のドライ研削加工に適用可能であることを示すとともに、赤外線放射温度計の測温部位置と測定値の関係性を調査している。最後に加工の異常の検知が可能であることを検証している。本論文は全 6 章から構成されており、各章の概要は以下のとおりである。 第 1 章「緒論」では、CFRP に係る社会的・工学的な背景について概説し、その加工に求められる特性や条件を述べるとともに、現在の課題と加工状態モニタリングの重要性と本研究の目的を述べている。 第 2 章「砥石内冷風研削による CFRP の加工面性状と加工特性への影響」では、スリットを有する薄肉電着カップ砥石を提案し、その内側から冷風を供給して CFRP の端面研削をした際の加工面性状と加工特性への影響を実験的に調査している。加工面性状については表面粗さと加工面の観察、加工特性については研削抵抗と加工面温度により評価している。切り込み深さが 0.02mm 程度と小さい場合だけでなく、切り込み深さ 1.0 mm という研削加工では非常に大きな条件まで、幅広い条件において砥石内冷風による温度低減効果がみられることを明らかにしている。また、外部からの供給では冷風は加工点まで行き届かないが、薄肉砥石の内側からの供給により有効に加工点まで供給されることを示した。

第3章「ノズルの設置条件が冷風の流れに及ぼす影響」では、第2章において実験的に明らかにできなかったスリットに対する冷風ノズルの角度などの設置条件に関する課題について解析的に検討している。ノズルの最適な角度を砥石の周速と冷風の流速の関係から近似的に求め、その結果を用いて流体解析を行い、最適な砥石内冷風供給方法について検討している。

第4章「赤外線放射温度計を用いた研削面の温度測定手法の提案」では、はじめに赤外線放射温度計を用いた新しい研削面の温度測定手法の測定原理、従来の加工温度の測定手法に対する優位性について論じている。次いで黒体炉を測定対象として、主軸回転速度に対する測定温度波形の応答性について論じている。測定対象、工具軸の垂直線上に小穴を設けた中空の砥石、赤外線放射温度計の順に配置することで、砥石の2つの小穴を通して加工面の温度を計測可能としている。300℃に均熱した黒体炉をターゲットとして提案手法を適用したところ、7000r/minの高速回転においても、5℃程度の誤差で温度計測が可能であることを明らかにしている。

第5章「赤外線放射温度計を用いた研削面の温度測定手法によるCFRPの研削加工時の異常の検知への適用」では、CFRPのドライ研削加工に対し、赤外線放射温度計を用いた温度計測手法を適用した結果について論じている。まず、CFRPのドライ研削加工時の赤外線放射温度計を用いた測定において、砥石の内側から冷風を供給することで切りくずが光路に侵入し、温度測定を阻害する影響を低減することができることを示している。これにより、精密削りから高能率研削を想定したいずれの切込み深さにおいても、周期的に研削面温度と砥石表面の温度を測定できることを明らかにしている。測定される温度はΦ8mmの测温領域の平均値であり空間分解能は必ずしも高くないことに関して、数値解析結果を基に赤外線放射温度計の测温部の位置と測定温度との関係性を明らかにしている。さらに、CFRP研削時のインプロセス計測を行い、目づまりが生じる異常が発生した際、研削面と砥石表面温度ともに急激な温度上昇が見られること、また、その急激な温度上昇が発生する直前に、砥石表面温度測定時の波形に小さな変動が見られ、これが加工面に損傷が発生する程の目づまりが生じる予兆であると考えられ、事前にトラブルを回避することに適用できる可能性があることを示している。

第6章「結論」では、本研究を通じて得られた新たな知見をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べている。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

This research focused on the finish grinding process of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with a cold air supply instead of the cooling fluids. For successful dry machining of CFRP, it is essential to monitor the machined surface of CFRP and the grinding wheel surface in-process. For this purpose, a new temperature measurement method using an infrared thermometer has been developed and its effectiveness has been clarified.

Firstly, it has been clarified that supplying coolant from inside of the grinding wheel has an effect of suppressing clogging and reducing temperature compared to supplying coolant from the external nozzle in grinding. A thin-walled grinding wheel with slits that can provide cold air from the inside of the grinding wheel was made and CFRP grinding was conducted. As a result, it was clarified that the grinding temperature was reduced compared with the case with external cold air. Improvement of surface roughness and reduced grinding force by suppressing clogging were also observed. In addition, the flow of cold air supplied from the inside of the grinding wheel was clarified by fluid analysis.

Secondly, A new method for measuring the grinding surface temperature is developed. A hole of $\Phi 10$ mm is provided on the thin wall hollow grinding wheel on a line perpendicular to the tool axis, and then the workpiece, grinding wheel, and infrared thermometer are placed in this order. Then the temperature on the ground surface can be measured through the two holes on the grinding wheel. Alternately, the temperature on the grinding wheel also can be measured. Essential measurement characteristics were examined for the target of the blackbody furnace.

Thirdly, the developed measuring method was applied for the dry grinding of CFRP. The temperature of the grinding surface was measured every 1/4 rotation of the grinding wheel at any depth of cut, assuming precision grinding, rough grinding, and high-efficiency grinding. The measurement value changed depending on the temperature measurement position of the infrared thermometer from numerical analysis of the grinding surface temperature. When the depth of cut was small, the temperature, including the workpiece's surface before machining, was measured at a specific temperature measurement position. It was shown that the newly developed temperature measurement method is capable of in-process measurement of the grinding surface temperature and of detecting temperature rise when the grinding wheel is clogged.