

学位論文 博士（工学）

炭素繊維強化プラスチックの高精度・高品位
切削加工に関する研究

2016年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

日開野 輔

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	日開野 輔
主論文題目： 炭素繊維強化プラスチックの高精度・高品位切削加工に関する研究			
<p>(内容の要旨)</p> <p>航空機や自動車をはじめとする輸送機器の分野では、軽量化による省エネルギー化を目的とした軽量かつ高強度な炭素繊維強化プラスチックの使用が増加している。この傾向は、輸送機器のみならず、一般産業用機械にも広がってきており、今後もその使用量の増加が見込まれている。近年は、熱硬化性樹脂をマトリクス樹脂に使用した高強度な CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)の他、リサイクルや製造コストに有利な熱可塑性樹脂を使用した CFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic)も注目を集めている。一方で、炭素繊維強化プラスチックの機械加工では、工具寿命が短いことや、層間剝離や炭素繊維の切残しなどの加工不良の発生が問題となっている。</p> <p>そこで本研究では、炭素繊維強化プラスチックのエンドミル加工時に発生する加工不良を抑制するために、湿式加工の他、液化炭酸ガスや液体窒素を用いた極低温加工技術の開発を目的とした。具体的には、1) 極低温加工を実現する装置の開発、2) CFRP の湿式加工特性の実験的解析、3) CFRP の極低温加工技術の開発、4) CFRTP の極低温加工技術の開発について研究を行った。</p> <p>本論文の構成は以下のとおりである。</p> <p>第1章では、本研究の背景として、CFRP/CFRTP の材料特性や市場動向ならびに機械加工に関する従来の研究動向について述べ、本研究の目的を明らかにした。</p> <p>第2章では、極低温加工を実現するための装置として、液化炭酸ガス供給装置と液体窒素供給装置の開発について述べた。そして、開発した装置による冷却性能を実験的に評価し、さらに極低温環境による工作機械構造の熱変形が加工精度に与える影響について検討した。また、提案する極低温加工を実用化する上で必要となる、作業環境中の酸素濃度への影響を調査し、ランニングコストについても検討した。</p> <p>第3章では、CFRP のエンドミル切削加工に水溶性切削油剤を用いた湿式加工を適用し、乾式加工との比較を行い、切削加工中の CFRP の温度上昇を抑制できることや炭素繊維の切り残しの抑制への効果を示し、加工精度への影響を明らかにした。</p> <p>第4章では、CFRP のエンドミル切削加工に液化炭酸ガスおよび液体窒素を用いた極低温加工を適用し、切削加工中に被削材温度が極低温に保たれることにより、良好な加工面が得られることを示した。また、極低温による材料特性の変化が工具摩耗へ及ぼす影響を明らかにした。</p> <p>第5章では、熱可塑性樹脂であるポリアミド 66 をマトリクス樹脂とした CFRTP のエンドミル切削加工について、液化炭酸ガスと液体窒素を用いた極低温加工を適用し、乾式加工および湿式加工での切削特性を比較検討した。液化炭酸ガス使用時には、バリやデラミネーションが発生せず、良好な仕上げ面性状が得られることを示した。併せて極低温条件下でのマトリクス樹脂の弾性率を調べ、マトリクス樹脂の弾性率上昇が、加工特性に影響していることを明らかにした。</p> <p>第6章は結論であり、各章の内容をまとめ、本研究で得られた成果を要約した。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, Given name HIGAINO, Tasuku
<p>Title A Study on High Precision and High Quality Cutting of Carbon Fiber Reinforced Plastics</p>		
<p>Abstract</p> <p>The amount of CFRP (carbon fiber reinforced plastics) used in aerospace industry and automotive industry has been increased in order to improve a fuel efficiency performance by reducing the weight. The similar trend in general machinery has been seen, and the market for general machinery is expected to grow. In recent years, CFRTP (carbon fiber reinforced thermoplastics) has been attracting attention because CFRTP can be molded at high speed and can be recycled easily. However, these composite materials are known as difficult to cut materials. Delamination of laminated films, occurrence of burrs and short cutting tool life are problems to be solved for accurate machining of CFRP and CFRTP. In this study, a cryogenic machining method was proposed in order to suppress the failure during cutting of CFRP and CFRTP. Liquefied carbon dioxide and liquid nitrogen were supplied to cutting point and cutting tool to obtain the cryogenic cutting condition.</p> <p>The key research focus areas are: 1) Development of liquefied carbon dioxide spray device and liquid nitrogen spray device for cryogenic machining, 2) Evaluation of end milling of CFRP under wet condition, 3) Development of end milling of CFRP under cryogenic conditions by using liquefied carbon dioxide and liquid nitrogen, and 4) Development of end milling of CFRTP under cryogenic condition.</p> <p>The thesis consists of six chapters as follows:</p> <p>In Chapter 1, the research background and objective are described, along with material properties, markets of composite materials and a review of recent relevant researches.</p> <p>In Chapter 2, a development of spray devices for cryogenic machining using liquefied carbon dioxide and liquid nitrogen are described. The performance of the developed devices are evaluated. The influence of very low temperature on the thermal deformation of machining center is also analyzed. In addition, oxygen concentration in working environment and running cost are evaluated.</p> <p>In Chapter 3, the end milling of CFRP under wet condition is analyzed. Comparing with the dry milling process, the cutting temperature is kept at low level and the burrs formation is suppressed.</p> <p>Based on the results shown in chapter 3, the performance of end milling of CFRP under cryogenic conditions is analyzed in chapter 4. The temperature rise of workpiece is effectively suppressed during cryogenic cutting, and the improvement of surface integrity is obtained. The change of material properties is also examined.</p> <p>In Chapter 5, the performance of end milling of CFRTP, which consist of carbon fibers and polyamide 66, is described. The cryogenic milling suppresses the burr formation and provides the better surface integrity of CFRTP comparing with the dry and wet milling process. It is also pointed out that the elastic modulus of matrix resin increases under cryogenic condition which influences the performance on end milling of CFRTP.</p> <p>Finally, the contents of each chapter are summarized and the results obtained by the research are summarized in chapter 6.</p>		