

博士論文審査の結果の要旨

氏名	YANG, LI
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 803 号
論文題目	Mechanical properties of CFRPs enhanced by carbon film using magnetron sputtering technology (マグネトロンスパッタ炭素膜強化 CFRPs の力学特性に関する研究)
論文審査委員	主査 夏木 俊明 渡邊健太郎 橋本 佳男 FU SHAOYUN（重慶大学，中国）

(博士論文審査の結果の要旨)

本学位論文は、マグネトロンスパッタを利用し、炭素繊維表面に炭素膜を堆積して欠陥を修復することを試み、修飾された炭素繊維及びその複合材料の界面及び機械的性質を著しく改善した。得られた主な成果は以下に示す。

(1) マグネトロンスパッタリングにより堆積した炭素膜は、炭素ナノ粒子から構成されている。改質後の炭素繊維の表面粗さは増加し、250 W, 50 分間条件では炭素繊維の粗さは 3.46 倍増加した。また、熱処理後堆積された炭素膜の表面形態と微細構造が変化し、表面は微小クラックを有する表面形態から層状結晶形態を有する炭素積層構造に転換した。また熱処理は炭素膜の秩序構造を増強し、炭素膜の機械的性質を改善した：硬度、ヤング率と摩擦抵抗が増加し、1000℃熱処理後の炭素膜摩耗率は熱処理前より 28%低下した。

(2) マグネトロンスパッタリング改質は、炭素繊維の力学性能を高めた。改質後、モノフィラメントとマルチフィラメントの炭素繊維の引張強度はそれぞれ 9.93%と 6.9%向上し、破断強度の分散性を著しく改善され、CV 値は最大 57.5%低下し、マルチフィラメント炭素繊維の破断強度 CV は最大 31%低下した。250 W, 50 min マグネトロンスパッタリング改質処理後、単糸炭素繊維とマルチ炭素繊維の引張破断エネルギーはそれぞれ 19.73%と 23%向上した。

(3) マグネトロンスパッタリングにより改質された CFRP 複合材料の力学性能（面内せん断強度、引張強度、曲げ強度と靱性）が著しく向上した。炭素膜は炭素繊維表面に堆積するため、CFRP 複合材料の界面層に複合界面層が形成された。また、250 W, 30 分で改質された CFRP 複合材料の面内せん断強度は 39%増加した。引張強度は未変性のものより 13.71%~31.54%大きくなった。

以上のことから、本学位論文は、マグネトロンスパッタリング技術が炭素繊維表面改質に有効な手段であることが確認できた。また炭素繊維表面修復及び複合材料の界面改善に新しい方法を提供し、炭素繊維強化複合材料多層界面改善メカニズムを明らかにした。また、得られた成果は、掲載済み SCI 論文 3 編にまとめられていることが確認できた。

以上を総合して、本学位論文の学術的価値及び工学応用に対する有用性が認められ、審査委員全委員一致して博士学位論文に値すると判断した。また、本論文は炭素繊維表面修復及び複合材料の界面改善に新しい方法を提供し、炭素繊維強化複合材料多層界面改善を実証した産業的な価値について十分に示し、工学分野における実応用展開が大きく期待される。その研究内容は博士（工学）の学位論文として十分に認められるものと判断した。

(公表主要論文名)

1. **Li Yang**, Hong Xia, Zhenzhen Xu, LiHua Zou, Qingqing Ni. Influence of surface modification of carbon fiber based on magnetron sputtering technology on mechanical properties of carbon fiber composites. Materials Research Express. Vol.7, pp.105602 (2020年10月発行に掲載)
2. **Li Yang**, Yuan Chen, Zhenzhen Xu, Natuski Toshiaki, Yusong Xi, Qingqing Ni. Effect of heat treatment on mechanical property of amorphous carbon films by magnetron sputtering. Diamond & Related Materials. Vol.129, pp.109328 (2022年9月発行に掲載)
3. **Li Yang**, Yuan Chen, Zhenzhen Xu, Hong Xia, Toshiaki Natuski, Yusong Xi, Qingqing Ni. Effect of surface modification of carbon fiber based on magnetron sputtering technology on tensile properties. Carbon. Vol.204, pp.377-386 (2023年1月発行に掲載)