

# 論文内容要旨 (和文)

平成21年度入学 博士後期課程

専攻名 システム情報工学専攻

氏 名 鈴木 庸久



論 文 題 目 機能性ナノ材料複合被膜による電着・電鍍工具の高性能化に関する研究

本論文では、機械的強度や熱伝導性に優れる機能性ナノ材料であるカーボンナノチューブの複合化技術として、カーボンナノチューブを均一分散させ、かつカーボンナノチューブの含有量を制御できる複合めっき手法を確立し、そのカーボンナノチューブ複合めっき被膜の物性値を明らかにした。さらに、カーボンナノチューブを適切な形態で複合化することによるダイヤモンド電着砥石や放電加工用電極などの電着・電鍍工具の高性能化について検討し、特に工具寿命の改善効果を明らかにした。

本論文の構成と各章の構成は以下のとおりである。

第1章は序章であり、本研究の背景として、従来のカーボンナノチューブの複合化技術、複合めっき技術、さらにダイヤモンド電着砥石や放電加工用電極などの電着・電鍍工具の用途と求められる性能について述べ、本研究の目的について述べた。

第2章では、「カーボンナノチューブ複合めっき手法」を提案し、その原理、手法および効果について述べた。初めに、めっき液中で凝集しやすいカーボンナノチューブの分散状態を保ちながら、均一な複合めっき被膜を形成する超音波援用めっき法を検討し、超音波振動を加えることで、 $0.1 \mu\text{mRa}$ 以下の均一なカーボンナノチューブ複合めっき被膜を形成できることを示した。次に、カーボンナノチューブの含有量を制御しためっき被膜を形成するパルスめっき法を検討し、パルスめっき条件によるカーボンナノチューブの含有量がコントロール可能であり、特に表面近傍にカーボンナノチューブの含有量を20vol%程度に高濃度化できることを示した。

第3章では、「カーボンナノチューブ複合めっき被膜物性」として、被膜硬さ、弾性率、耐摩耗性、摩擦係数について述べた。カーボンナノチューブを適切な含有量で複合することにより、ニッケルめっき被膜の硬さおよびヤング率が向上し、カーボンナノチューブを表面に高濃度に配置することにより、耐摩耗性および摩擦係数が向上することが分かった。カーボンナノチューブ複合化による各物性値の変化について、カーボンナノチューブによるOrowan強化機構、マトリックスの結晶構造、特に結晶サイズに関するHall-Petch則、結晶配向性の見地から考察した。

第4章では、「カーボンナノチューブ複合ダイヤモンド電着砥石」の工具寿命改善について検討した。カーボンナノチューブ複合ニッケルめっき被膜を電着砥石に応用し、砥粒保持力および工具寿命を評価した。単粒保持力評価において、カーボンナノチューブ複合ニッケルめっき被膜は、通常ニッケルめっき被膜に比べて平均で約2倍の砥粒保持力を示した。さらに $\phi 3\text{mm}$ の砥石によるガラスの加工において、カーボンナノチューブ複合ダイヤモンド電着砥石では、通常のニッケル電着砥石に比べて、砥粒の脱落が減少し、平均で約8倍の工具寿命を得るなど、工具寿命の改善が確認できた。砥粒保持力および工具寿命の改善は、主にニッケル被膜の機械的強度の改善であるとしたが、カーボンナノチューブのダイヤモンド砥粒との界面での相互作用による密着性向上の可能性についても示唆した。

第5章では、「放電加工用カーボンナノチューブ複合電極」の低消耗化について検討した。カーボンナノチューブ複合銅めっき被膜を放電加工用電極に応用し、電極消耗を評価した。銅にカーボンナノチューブを複合させることで、通常の銅電極に比べて、電極消耗量を1/2~1/3に低減することができた。放電加工後の電極表面に形成された放電痕内に見られたカーボンナノチューブ状態、カーボンナノチューブ表面の付着物のTEM観察および分析結果から、銅が溶融する温度においてカーボンナノチューブが耐え得ることが分かり、カーボンナノチューブによる低消耗効果は、カーボンナノチューブが表面に残留することによる電極の保護作用によるものであると考察した。

第6章では、さらなる「電着・電鋳工具の高性能化」のために、適切なカーボンナノチューブ複合化の形態を提案し、カーボンナノチューブをめっき表面やダイヤモンド砥粒周辺など必要な部分に効果的に配置することによる電着・電鋳工具の高性能化について検討した。初めに、めっき被膜表面を高濃度化することで、砥粒周辺部のめっき被膜が盛り上がり、砥粒が脱落しにくい形状を形成できることが分かった。次に、カーボンナノチューブを被覆したダイヤモンド砥粒の作製方法およびその砥粒保持力の改善効果を示した。シランカップリング処理、UV処理により、ダイヤモンド砥粒をアミノ化し、カーボンナノチューブ分散液に浸漬することで砥粒表面にカーボンナノチューブを自己凝集させることができ、カーボンナノチューブ被覆砥粒を作製することができた。カーボンナノチューブ被覆砥粒は、通常の砥粒に比べて、ニッケル被膜との密着性が高く、砥粒保持力が約2.5倍に向上した。

第7章では、本論文の総括と今後の展望について述べた。

(注) ① タイプ、ワープロ等を用いてください。10pt 2,000字程度（2頁以内）とします。

② 論文題目が英文の場合は、題目の下に和訳を（ ）を付して併記してください。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成24年 2月 9日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 飯塚 博



副査 栗山 卓



副査 佐野 正人



副査



副査



副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学専攻  
氏名 鈴木 庸久

2. 論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記する。)

機能性ナノ材料複合被膜による電着・電鍍工具の高性能化に関する研究

3. 審査年月日

論文審査 平成24年 1月24日 ~ 平成24年 2月 9日

論文公聴会 平成24年 2月 9日

場所 山形大学工学部 100周年記念会館 セミナー室

最終試験 平成24年 2月 9日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 最終試験 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	システム情報工学専攻	氏名	鈴木 庸久
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本学位論文の研究内容は、機械的強度や熱伝導性に優れる機能性ナノ材料であるカーボンナノチューブ (CNT) の複合めっき被膜の形成技術、CNT 複合めっき被膜の物性と強化メカニズムの解明、その応用として CNT 複合めっき被膜による電着・電鍍工具の高性能化について検討したものである。本研究のターゲットとなる電着・電鍍工具は、複合めっき技術を用いて作られる小径ダイヤモンド電着砥石、ダイシングブレード (電着ブレード、電鍍ブレード)、電着ワイヤー、放電加工用電極などであり、半導体産業、ディスプレイや太陽電池の製造業、金型製造業において不可欠な精密加工を担う工具である。これらの工具に求められる性能を分析し、CNT の特性を生かして、工具の長寿命化を成し遂げ、実用化に近いところまで研究を進めている。本論文は以下の7章により構成されている。</p> <p>第1章の序論では、CNT の複合材料の可能性、複合化における課題、その応用製品である電着・電鍍工具 (電着砥石、放電加工用電極等) に求められる性能を解説している。</p> <p>第2章では、CNT 複合めっき手法として、超音波援用めっき法が被膜中の CNT の均一分散に、PR パルスめっき法が CNT 含有量制御に有効であることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、CNT 複合めっき被膜の硬さ、弾性率、耐摩耗性、摩擦係数について、CNT 複合化の効果を示すとともに、マトリックス金属の細粒化効果、残留応力と合わせて議論し、その CNT 複合化による強化メカニズムを示している。</p> <p>第4章および第5章では、CNT 複合めっき技術を CNT 複合ダイヤモンド電着砥石、放電加工用 CNT 複合銅電極に適用し、CNT 複合化による工具寿命の改善効果を示している。電着砥石においては主に機械的強度等の砥粒保持力向上への作用を示し、放電加工用電極においては低消耗化における CNT の電極保護作用を示している。</p> <p>第6章では、電着・電鍍工具のさらなる高性能化のために、適切な CNT 複合化の形態を提案し、CNT をめっき表面やダイヤモンド砥粒周辺など必要な部分に効果的に配置する手法を示している。特に、CNT とアミノ基の相互作用を用いた自己組織化的手法を用いた CNT 被覆ダイヤモンド砥粒の製造方法を示し、その砥粒の密着性、加工性能がノンコート砥粒に対して優位性があることを示している。</p> <p>第7章では、本研究により得られた成果および実用化に向けた展開を述べている。</p>			
<p>本学位論文の内容については、日本機械学会、砥粒加工学会、電気加工学会等の分野において4編 (在学中2編) の論文掲載、複合材料学会等の分野において5件 (在学中3件) の国際会発表を行い、このうち1件ではベスト論文賞を受賞しており、本研究結果の客観的評価が得られている。</p>			
<p>以上に示すとおり、本論文で得られた知見は科学的および工業的に有益であり、学協会および産業界においても高い評価を得ている。よって、これらの研究業績により、審査委員全員による協議の結果、本論文の内容は学位論文として十分に評価できるものと認め、博士 (工学) の授与に値するものと判断し、合格とした。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>本学の規定に従い、本論文および関連分野に関して、各審査員がそれぞれ口頭により最終試験を行い、本論文の内容ならびに基礎となる学問について十分な知識を持っていると判断した。また、英文論文の執筆、国際会議の発表実績により、英語の知識も十分であると判断した。さらに、複数の外部研究費を受けており、提案力、研究推進能力も十分であると判断した。</p> <p>以上を踏まえ、審査委員全員による協議の結果、合格と判定した。</p>			