

氏名	福田 千紗
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第149号
学位授与の日付	令和4年3月24日
学位論文の題目	多孔質ニッケルめっき皮膜の形成と異材接合およびゴムへの転写に関する研究
学位審査委員会	主査 尾崎 公一 副査 福田 忠生 副査 妻屋 彰 副査 末岡 浩治

学位論文内容の要旨

活性炭やシリカゲルなどに代表される多孔質材料は、その表面や内部に無数の気孔を有することから軽量かつ高比表面積であることはもちろんのこと、緻密材料では得られない特異な性質を示す。代表的な特性として、吸着特性、機械的特性、伝熱特性、音響的特性が挙げられ、脱臭剤、触媒担体、応力緩和・衝撃吸収材、断熱材、熱交換器、吸音・遮音材などの機能性材料として幅広い分野で利用されている。これらの優れた特性は、セラミックス材料に限定されず金属材料でも得ることができ、ポーラス金属として注目されている。しかしながら、ポーラス金属の製造方法の多くが粉末の焼成工程や金属の溶解工程を必要とするため多大な時間とエネルギーを要すること、また、多孔質構造を有することで優れた機能を発揮する反面、多孔質構造であるが故に機械強度が劣ることから、製造コストや信頼性といった点で懸念が生じており、産業分野での実用化における課題となっている。

上記の問題点を解決できるポーラス金属の製造方法として、めっきによる多孔質皮膜の形成に着目した。めっき皮膜の形成は、金属イオンを含有する水溶液を用いて常温付近で電解処理を行うため、粉末の焼成や金属の溶解のように莫大なエネルギーを必要としない。また、被めっき物として緻密な基材を用いることで、多孔質皮膜単体よりも機械強度を向上できる。さらに、基材表面に多孔質皮膜を形成するため、内部に存在する基材の特性に多孔質皮膜の特性を新たに付与することができるなど、多くの利点を有する。本研究では、耐食性、耐薬品性に優れ、硬さなどの物理的性質も良好で、かつ各種基材に対して密着性の高いニッケルめっきを対象とし、多孔質ニッケルめっき皮膜の形成手法について検討する。さらに、マルチマテリアル化で重要となる異材接合の強度向上、凹凸形状のゴムへの転写とゴム表面の撥水性および摩擦特性の制御について定量的に評価し、工学的な有効性を明らかにする。

以下、本論文の構成について述べる。

第 1 章では、本研究の背景および目的について述べる。

第 2 章では、めっきによる多孔質皮膜の形成手法に焦点を当て、多孔質ニッケルめっき皮膜の形成方法および各種めっき条件がめっき皮膜の多孔質構造に与える影響について検討した。その結果、ニッケルイオンとアンモニウムイオンを含有する水溶液中に被めっき物を浸漬し、常温付近で陰極電解することでロータス型構造の多孔質ニッケルめっき皮膜を形成できることを明らかにした。また、陰極電流密度や電解時間、めっき液中の増粘剤濃度をコントロールすることで多孔質構造を制御できることを明らかにした。

第 3 章では、異材接合に焦点を当て、金属と樹脂の接合強度を向上させるための表面処理として多孔質ニッケルめっきの評価を行った。接合する樹脂材料としてポリエチレン、ポリプロピレンおよびポリカーボネートを用い、表面に多孔質ニッケルめっき皮膜を形成した冷間圧延鋼板との接合強度を引張試験で評価した。その結果、3 種類すべての樹脂材料について接合強度が増大し、多孔質ニッケルめっきが異材接合のための表面処理として有効であることを明らかにした。

第 4 章では、表面に微細構造を形成する加工方法として、金型となる基材の表面に多孔質ニッケルめっき皮膜を形成し、シリコーンゴム、天然ゴム、エチレンプロピレンジエンゴムおよびフッ素ゴムへの微細構造の転写方法の検討、および転写により作製したゴムシートの濡れ性と摩擦特性を評価した。その結果、多孔質ニッケルめっき皮膜を金型として凹凸形状を転写することで、無数の突起を有するゴムシートを作製できることを示した。また、ゴムシート表面に突起を形成することで撥水性が向上することや、接触角が突起の形状とゴム材質の影響を受けることを定量的に明らかにした。さらに、シリコーンゴムシート表面に突起を形成することで摩擦係数が変化し、相手材の材質 (SUJ2, アルミナ) によって異なる挙動を示すことを明らかにした。

第 5 章では、本論文の総括を行い、結論とした。

主業績

No.1	
論文題目	Porous Nickel Plating as a Surface Treatment for Bonding Dissimilar Materials
著者名	Chisa Fukuda, Koya Takahashi, Yoshiyuki Nishimura, Koichi Ozaki
発表誌名	Advanced Experimental Mechanics, Vol.6, pp.65-70, 2021
No.2	
論文題目	多孔質めっきによる微細凹凸表面から転写したゴムシートの濡れ性と摩擦特性
著者名	福田千紗, 高橋昂弥, 西村宜幸, 砂田潔, 尾崎公一
発表誌名	日本ゴム協会誌, Vol.95, No.1, pp.20-24, 2022

副業績

No.1	
論文題目	Effect of Surface Morphology of Silicone Rubber on wettability and Friction Coefficient
著者名	Chisa Fukuda, Koya Takahashi, Yoshiyuki Nishimura, Kiyoshi Sunada, Koichi Ozaki
発表誌名	INTERFINISH 2020, G-SEP08-005, 2021
No.2	
発明の名称	めっき品の製造方法
発明者	高見沢政男, 西村宜幸, 福田千紗
特許番号	特許第 5758557 号, 2015

論文審査結果の要旨

活性炭やシリカゲルなどに代表される多孔質材料は、その表面や内部に無数の気孔を有することから軽量かつ高比表面積であり、脱臭剤、触媒担体、応力緩和・衝撃吸収材、断熱材、熱交換器、吸音・遮音材などの機能性材料として幅広い分野で利用されている。これらの優れた特性は、金属材料でも得ることができ、ポーラス金属として注目されている。しかしポーラス金属の製造には粉末金属の焼成工程や金属の溶解工程を必要とするため、多大な時間とエネルギーを要することや、多孔質構造であるが故に機械強度が劣ることから、製造コストや信頼性が実用化への課題となっている。

本研究では、まず、上記の問題点を解決できるポーラス金属の製造方法として、めっきによる多孔質皮膜の形成方法を開発した。本方法は、水の電気分解により陰極表面で発生する水素ガスがめっき皮膜の成長を阻害することを利用してロータス型構造の多孔質ニッケルめっき皮膜を形成する、画期的な方法である。また、めっき条件により、細孔径など多孔質構造を制御できるという特徴も有している。

次いで、上記の方法で作製した多孔質ニッケルめっき被膜の工学的な有効性を検討するため、マルチマテリアル化で重要となる異材接合の強度向上と、凹凸形状のゴムへの転写とゴム表面の撥水性および摩擦特性の制御について定量的に評価した。異材接合に関しては、金属と樹脂の接合強度向上を目的に、金属表面に多孔質ニッケルめっき処理を行い、ポリエチレン、ポリプロピレンおよびポリカーボネートとの接合強度を実験的に評価した。その結果、3種類全ての樹脂材料について接合強度が増大し、多孔質ニッケルめっきが異材接合に有効であることを明らかにした。凹凸形状のゴムへの転写に関しては、まず、金型となる基材の表面に多孔質ニッケルめっき皮膜を形成し、シリコーンゴム、天然ゴム、エチレンプロピレンジエンゴムおよびフッ素ゴムへの微細構造の転写を検討した。その結果、多孔質ニッケルめっき皮膜を金型として凹凸形状を転写することで、無数の微細な突起を有するゴムシートを作製できることを示した。次いで、転写により作製したゴムシートの濡れ性と摩擦特性を実験的に評価し、ゴムシート表面に突起を形成することで撥水性が向上することや、接触角が突起の形状とゴム材質の影響を受けることを定量的に明らかにした。さらに、シリコーンゴムシート表面に突起を形成することで摩擦係数が変化し、相手材の材質によって異なる挙動を示すことも明らかにした。

以上の結果より、本論文の内容は、学術的、実用的価値が極めて高いものと判断し、本学位論文審査委員会は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。