

別紙1 (博士論文の審査結果の要旨)

専攻名 システム創成科学専攻

氏名 北御門 雄大

自動車および航空機にかかわる機械部品は、アルミニウム合金やニッケル基超合金を代表とする機械材料を切削加工することにより作製される。これら材料の機械強度、融点を代表とする固有の特性が影響し、工具損傷および工具寿命の低下を導くことから、遷移金属と軽元素からなるセラミック薄膜が1950年代初頭より開発され、切削工具の耐摩耗膜として実用化された。近年では、加工液を用いないドライ加工、高強度材料の高速切削が製造現場で行われており、高寿命工具の実現のため、従来の薄膜に比べ、高性能かつ多機能な薄膜が求められている。

本論文では、切削加工分野の現状を踏まえ、プラズマを用いた熱力学的非平衡状態下において、相平衡状態図に出現しない、複雑組成および多様な微細構造を有する遷移金属窒化物を作製している。そして、耐摩耗膜として必要とされる表面特性を包括的に明らかにするとともに、切削試験を通じた応用面での検証を実施している。

本論文は、全8章で構成されている。

第1章では、序論として、表面処理技術および遷移金属窒化物の変遷について概説し、従来の窒化物薄膜に関する研究の問題点および本研究の目的を述べている。

第2章では、X線分析、機械的試験、熱分析、切削試験の原理および方法をまとめ、本研究で用いた各種評価方法について述べている。

第3章では、薄膜の原料になるターゲットの作製に用いた放電プラズマ焼結法、薄膜の作製に用いた高周波マグネトロンスパッタリング法の原理について述べている。

第4章では、ターゲット作製の困難さが要因にな

り、研究事例が少ない $Ti_{1-x}W_xN$ の単層膜を作製し、タングステン(W)含有量に対する表面特性の変化について検証した。W含有量に依存して、格子定数の変化が見られることから、 $X=0-1.0$ においてW原子がTiNに固溶したNaCl型構造を呈することを明らかにした。また、 $X=0.34-0.66$ で最大硬度が得られ、特に、 $X=0.34$ では、高温環境下での気孔および割れの形成が少なく、良好な耐酸化性を発現することを明らかにした。

第5章では、相境界の化学組成を持つCrAlSiNの単層膜を作製し、添加元素であるSiが表面特性に与える効果を検証した。CrAlSiNには六方晶の析出は見られず、立方晶を形成することが確認され、Siを添加により微小硬度が上昇し、耐摩耗性の向上に寄与することを見出した。さらに、熱分析の結果では、薄膜に内在するアモルファス相が酸化の遅延効果を与え、切削試験では、切削抵抗がCrAlSiNの被覆により減少し、工具の初期摩耗が低減することを明らかにした。

第6章では、CrAlSiNおよびTiAlSiNからなる積層膜を作製するとともに、単層膜との比較を通じて、積層化が薄膜の表面特性に与える効果を検証した。積層構造は、塑性変形量を決定づける転位の移動を抑止し、高硬度化を導くと考えられ、実際に積層構造の形成より微小硬度は最大で45GPaまで上昇した。上記の硬度値の変化に対応して、積層膜を被覆した工具の摩耗は最小で77 μ mを示した。

第7章では、新規性のある窒化物薄膜の創製を目的とし、遷移元素であるジルコニウム(Zr)と典型元素であるアルミニウム(Al)を含有する単層 $Zr_{1-x}Al_xN$ を作製し、表面特性に与えるAl添加効果を解明した。 $X=0-0.26$ ではNaCl型構造、 $X=0.43$ ではNaCl型およびWurtzite型の混合相、 $X=0.73-1.0$ ではWurtzite型構造を形成した。また、 $X=0.12$ において最大硬度である37GPaを示し、摺動試験後の摩耗深さが低減され、良好な耐摩耗性が得られた。

第8章では、各章を要約し、本研究を総括した。

以上、本論文では、単層構造、積層構造を代表とする微細構造の制御および相境界の不安定領域の活用により遷移金属窒化物の機械特性、耐摩耗性、耐酸化性の向上が図られることを明らかにしており、応用時に求められる表面特性を発現するための有用な知見が示されている。

平成31年1月31日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本研究は、審査付学術論文3編で報告されており、著者は研究者としての十分な能力を有していると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。