

補助事業番号 2020M-181

補助事業名 2020年度 耐摩耗機能の向上に資するアークプラズマ表面処理技術の開発
補助事業

補助事業者名 佐賀大学 理工学部 理工学科 機械工学部門 准教授 長谷川 裕之

1 研究の概要

航空機エンジンの部材として用いられる超合金の切削時には、工具に摩耗・発熱・損傷が生じ、著しい工具寿命の低下を導く。現在に至るまで、国内外の研究開発者達がセラミック薄膜を工具の保護膜(耐摩耗膜)として応用し、表面強度および耐熱性の向上を試みてきたが、過酷な切削条件に適用できる耐摩耗膜は誕生していない。

本事業では、難削加工の要求特性を満たす耐摩耗膜を創製する手法ならびに設計指針の確立を目的とし、高活性イオンを用いる成膜技術を構築するとともに、遷移金属窒化物の相変態に注視した耐摩耗膜の開発を進め、微細構造・機械的性質・熱的性質を包括的に解析する。さらに、耐摩耗膜を実際に切削工具に被覆し、工具に作用する力(切削抵抗)のインプロセス測定)を通じて、先行研究において十分に検証されていない工具の動的な摩耗挙動を解明した。

2 研究の目的と背景

航空機産業では、安全性・環境適合性・経済性を考慮した機体製造の研究開発が進められている。ニッケル基超合金は、航空機エンジンのタービンブレード部材として利用されており、飛行時のガス燃焼により、部材温度は約1600°Cに到達する。エンジンの耐熱温度が向上すると、燃費が改善されるため、耐熱性に優れる超合金の開発が進められている。超合金の切削加工では、摩擦の増大により工具摩耗が進行し、切削熱が工具と切りくずを吸着させ、工具寿命を著しく短命にする。今後、工具の強度および耐酸化性を向上させ、高寿命・高効率・高精度を併せ持つ加工の実現が切望されている。

本事業では、次に示す(1)成膜装置の開発・(2)耐摩耗機能の解明・(3)切削試験による検証を実施し、過酷環境下で用いられる切削工具向けの表面処理技術の包括的な構築を目的とする。

- (1) 複雑組成を有する薄膜の作製においても、イオン化率の高い活性状態を生み出し、薄膜組織の緻密化・高密着性に寄与する成膜装置を開発する。
- (2) 難削加工に適用する耐摩耗膜には、過酷環境に耐えうる機械的性質・熱的性質が求められ、これらの性質は、微細構造の影響を強く受ける。本研究では、遷移金属窒化物の相変態に着目した耐摩耗膜の作製を進め、表面機能を決定づける組織・結晶構造・化学組成・硬度・弾性率・摺動特性・密着性・耐酸化性を体系的にまとめる。
- (3) 前項(1)(2)の実施により得られた耐摩耗膜を切削工具に被覆し、切削時に作用する力(切削抵抗)のその場測定(インプロセス測定)から工具の動的な摩耗挙動をとらえ、工具摩耗に与える表面機能の効果を総括する。

3 研究内容

(1) アークプラズマ成膜装置の開発

イオン化率の高い活性状態を生み出し、薄膜組織の緻密化・高密着性に寄与するアーク放電を用いた成膜装置を開発した【図1(a)】。事業期間において、ガス導入系、真空排気系等の周辺機器の整備を実施し、薄膜原料であるターゲットのイオン化の役割を担うプラズマガン、薄膜の膜厚分布に効果を与える基板加熱回転機構を設置した。本成膜装置では、電荷の充放電によりミリ秒オーダーの周期的なアーク放電を発生する機構を採用しており、蓄積する電荷量を制御し、ターゲットに集約することにより高活性のイオンを発現させる点に特徴がある【図1(b)】。

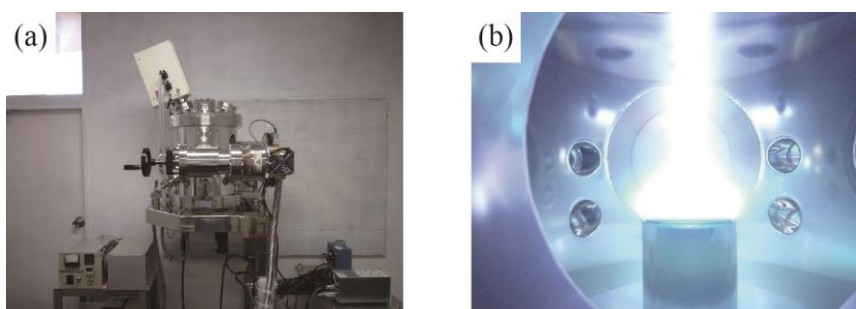


図1: (a) アークプラズマ成膜装置外観 (b) アーク放電の様子

(2) 相変態に基づく耐摩耗膜の機能設計

申請者は、遷移金属窒化物の相変態領域で生じる硬度値の上昇ならびに薄膜組織の微細化といった興味深い現象を耐摩耗膜の機能設計に活用することを着想した。本事業では、相変態に着目した耐摩耗膜の作製を進め、表面機能を決定づける微細構造(組織・結晶構造)・機械的性質(硬度・弾性率・摺動特性・密着性)・熱的性質(耐酸化性)を体系的にまとめた【図2(a)・(b)】。

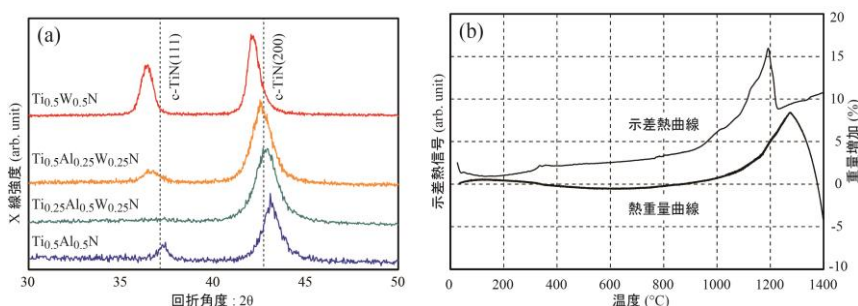


図2: 耐摩耗膜の(a)結晶構造解析および(b)耐酸化性評価

(3) 切削試験による耐摩耗膜の性能評価

本事業において得られた耐摩耗膜を切削工具に被覆し、切削時に作用する力(切削抵抗)のインプロセス測定を実施した【図3】。切削抵抗の測定では、ひずみゲージ・ロードセルを用いて、工具に作用するひずみと荷重の相関を検定し、その後、切削時に作用するひずみから荷重を求め、切削抵抗に変換した。本項目では、工具の摩耗挙動をとらえ、工具摩耗に与える耐摩耗膜の効果を総括した。

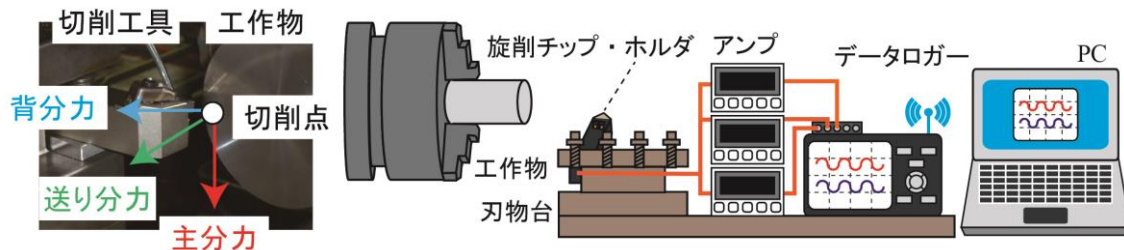


図3: 切削抵抗のインプロセス測定

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

(1) アークプラズマ成膜装置の開発

本事業で開発した成膜装置では、薄膜原料であるターゲットから放出される粒子のイオン化率と運動エネルギーが高い状態のもとで耐摩耗膜を作製する。高活性のイオンを基板・工具に入射させるため薄膜の緻密性・密着性の向上が図られ、切削性能の向上に貢献できる。

(2) 相変態に基づく耐摩耗膜の機能設計

本事業では、機械的性質はもとより応用時に不可欠な耐酸化性を兼ね備えた機能性を得るため、遷移金属窒化物の相変態領域での硬化ならびに微細化現象を活用する表面機能の設計に回帰した。企図する表面機能を最適化することにより、工具の長寿命化ならびに高速切削による生産効率の向上に貢献する耐摩耗膜の創出が可能になる。

③ 切削試験による耐摩耗膜の性能評価

従来の研究開発では、耐摩耗膜の開発スピードの短縮のため、切削後の被覆工具の摩耗の観察から耐摩耗膜の優劣を比較しており、切削過程の摩耗進行をとらえていない。本事業では、切削抵抗のインプロセス測定を通じて、耐摩耗膜の開発にフィードバックすることで、高寿命・高効率・高精度加工の実現に資することができる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者は、切削工具・機械部材への被覆を目的とする表面処理技術の研究に従事し、チタン、クロムを代表とする遷移金属を含有する窒化物耐摩耗膜の研究に従事し、耐摩耗膜の微細構造・機械的性質・熱的性質の相関関係の探求をテーマとして研究活動を推進してきた。近年では、切削工具に窒化物耐摩耗膜を被覆し、切削性能を検証してきたが、耐摩耗膜の密着性・組織の緻密性に問題があり、十分な工具寿命を得ることができなかった。

耐摩耗膜の緻密性・密着性の向上を図るため、高エネルギー状態下での薄膜作製を着想し、アーク放電を用いた成膜装置の設計製作を2018年より開始した。本事業を通じて、アーク放電を間欠的に発生する装置を完成させ、耐摩耗膜の基礎的特性の解明ならびに工具の状態をインプロセスで検知する応用面での評価手法を構築することができた。今後、本事業の成果を活用・発展させ、高寿命・高効率・高精度加工に資する耐摩耗膜の創製を試みる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 窒化クロムアルミニウム系耐摩耗膜の切削工具への応用 ―切削抵抗のインプロセス測定による摩耗挙動の検証―, 2021年度 精密工学会 春季大会学術講演会 講演論文集, F0105 (2021).
- (2) セラミック被覆工具の摩耗挙動に影響を及ぼす切削抵抗のその場測定, 2020年度 精密工学会 九州支部 学生Web講演会 講演論文集, 2-⑥ (2020).
- (3) Transition in microstructure, mechanical and oxidational properties induced by phase transformation of $Zr_{1-x}Al_xN$, Journal of the Surface Finishing Society of Japan, Vol. 71, pp. 418-422 (2020).

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの (<http://saga-mech-surface.jimdo.com>)

研究成果をまとめ、下記の研究概要(図4)を作成した。

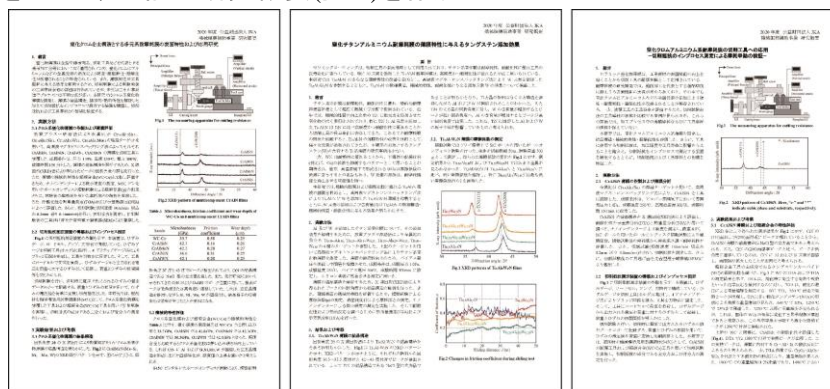


図 4: 本事業の研究概要

- (2) (1)以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 佐賀大学 (サガダイガク)

住所: 〒840-8502

佐賀県佐賀市本庄町1番地

担当者: 准教授 長谷川 裕之 (ジュンキョウジュ ハセガワ ヒロユキ)

担当部署: 理工学部 機械工学部門 (リコウガクブ キカイコウガクブモン)

E - m a i l: hasegawa@me.saga-u.ac.jp

U R L: <http://saga-mech-surface.jimdo.com/>