



# 切削工具のコーティングに関する研究

山田, 保之

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1998-03-11

(Date of Publication)

2012-07-12

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2215

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3141260>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002215>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	やま だ やす ゆき 山 田 保 之	(兵庫県)
博士の専攻 分野の名称	博 士 (工 学)	
学位記番号	博ろ第168号	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の日付	平成10年3月11日	
学位論文題目	切削工具のコーティングに関する研究	

審 査 委 員	主査 教授 森 脇 俊 道
	教授 峯 本 工 教授 上 田 完 次
	助教授 柴 坂 敏 郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

切削加工は古くから利用されているか加工法であるが、最近では、高硬度の金型材やステンレス鋼、チタン合金などの難削材を高能率で、しかも精度よく切削加工したいという要求が増加している。切削工具においては、今世紀のはじめに高速度工具鋼が出現し、続いて、超硬合金が実用化され、さらには、これらの表面に硬質皮膜を被覆したコーティド工具が出現して、切削性能は大きく向上した。この切削工具へのコーティング方法や新膜質の開発について、従来、基本的な研究が種々行われてきた。しかしながら、コーティング方法とコーティング膜の特性、そして切削性能との関連は複雑であり、系統的かつ総合的な研究はあまり行われていない。また、新しいコーティング技術や新しいコーティング膜を実際の切削工具に適用し、形状も含めた新しい切削工具を開発・実用化した研究開発の報告も少ない。

そこで、本研究では、コーティド切削工具の大幅な性能向上を目標として、系統的にコーティング技術の研究を行った。そして、形状も含めた新しい切削工具を開発し、切削性能を評価した。

本研究の内容は、以下の3項目に大別される。

- (1) 低温下(500℃以下)での新しいコーティング方法の開発
- (2) 新しい膜質である(AI, Ti)N膜の基本特性評価
- (3) 新しい(AI, Ti)Nコーティド超硬工具の開発、および低温下高密着力被覆技術による(AI, Ti)Nコーティド高速度綱工具の開発

以上の研究の結果、従来のコーティド工具では困難であった高硬度焼入れ綱や耐熱性の難削材を高速で切削できる高性能なコーティド工具と、そのためのコーティング技術を開発することができた。

本論文は以下の11章で構成されており、各章の要旨をまとめて示す。

#### 第1章 緒 論

従来の切削工具の表面処理法の概要、本研究の背景、目的および本論文の構成と概要について述べる。

## 第2章 従来の切削工具へのコーティング方法

切削工具用に開発から研究・実用化されてきた種々のコーティング方法について述べる。従来、旋削用超硬チップに用いている高温CVD法は、断続切削用超硬工具や高速度工具綱には適用が困難であるのがわかった。低温でコーティング処理するために開発されたPVD法のうち、イオンプレーティング法が現在の主流である。HCD法によってTiNコーティングした高速度工具鋼製ホブが優れた切削性能を示した。また、著者が1985年に国内に最初に導入した陰極アークイオンプレーティング法が密着力に優れたコーティング膜を高い生産性で処理できることを示した。

## 第3章 新しく開発したコーティング方法

低温で緻密なコーティング膜を施すために、本研究で開発した処理方法について述べる。500°C程度の低温で処理できるCVD法として、内部にアンテナを設けた「高周波プラズマCVD法」を開発した。TiNコーティング膜中の残存CIが4%以下の場合に、高速度鋼チップの切削性能が良好であるのが認められた。また、陰極アークイオンプレーティング法は、イオン化率や密着力が高く、生産性も優れた方式であるが、数 $\mu\text{m}$ 程度のマクロパーティクルが皮膜に含有され、面粗度が劣化する欠点がある。そこで面粗度が良好で、かつ緻密な皮膜を高い密着力でコーティングできる「アーク・HCD併用法」を開発した。この新方式でTiN膜をコーティングした高速度鋼工具は優れた切削性能を示した。

## 第4章 切削工具用コーティング膜

イオンプレーティング法を用いて切削工具にコーティングされる皮膜として、従来のTiN, TiC, TiCN膜と新しい膜質の(Ti, Al)N膜について述べる。本研究では、新しいコーティング膜として陰極アークイオンプレーティングを用いて種々の組成比の(Ti, Al)N膜の特性について再調査した。その結果Al添加量が多い方が、硬度や耐酸化性が良好であることが再確認され、本研究ではAlがTiより多い組成を(Al, Ti)N膜と表現することにした。この(Al, Ti)N膜は、皮膜硬度が約2800HV、酸化開始温度が840°Cであり、特に耐酸化性がTiN膜より220°C程度優れている。また、スクラッチテストによる臨界荷重は、(Al, Ti)N膜で80.3N, TiN膜で60.3Nであり、陰極アークイオンプレーティングによるコーティング膜は、超硬基板への密着力も良好であることが認められた。

## 第5章 汎用形(Al, Ti)Nコーティド超硬工具の切削性能

汎用形状の超硬ドリルや超硬エンドミルに、陰極アークイオンプレーティング法により(Al, Ti)N膜をコーティングして切削試験を行った結果について述べる。新しいコーティング膜である(Al, Ti)N膜を適用した結果、従来のTiN膜に比べ2~3倍に寿命が向上し、しかも切削条件が高速になる程、摩耗が減少する優れた切削機能を示した。

## 第6章 高硬度用(Al, Ti)Nコーティド超硬工具の切削性能

剛性や刃先強度が優れた新しい形状の超硬ドリルや超硬エンドミルを開発し、(Al, Ti)Nコーティングを施して切削性能を調査した結果について述べる。この新しい形状の高硬度用の(Al, Ti)Nコーティド超硬工具では、従来のTiNコーティド超硬工具では穴明けやフライス加工が困難であった高硬度材の加工が可能になった。

## 第7章 高硬度金型材の高速フライス加工

高硬度用の(A1, Ti)Nコーティド超硬エンドミルにて熱処理後のSKD61(52HRC)とSKD11(60HRC)を高速でフライス加工し、その摩耗状態を調査した結果について述べる。熱処理後のSKD61(52HRC)の側面加工において、TiNコーティド超硬エンドミルは切削速度が200m/minが限界である。これに対し、(A1, Ti)Nコーティド超硬エンドミルは、切削速度が600m/minの高速条件においても優れた耐摩耗性を示した。詳細な摩耗状態の分析の結果、コーティング膜は、皮膜自体と超硬母材の両者の摩耗進行を抑制する効果が重要であると考えた。この効果を‘Levee Effect’（堤防効果または踏ん張り効果）と呼ぶことにする。この‘Levee Effect’において、(A1, Ti)N膜の方がTiN膜より優れている。これは(A1, Ti)N膜の優れた耐酸化性、硬度、密着力によるものと推察される。

続いて、SKD61よりもさらに硬度が高い熱処理後のSKD11(60HRC)を、高硬度用(A1, Ti)Nコーティド超硬エンドミルを用いて、高速(200m/min)で側面加工試験した結果について述べる。従来のTiCNコーティド超硬エンドミルでは、切削速度の増加につれて超硬素材の露出部領域が増加した。切削速度が150m/minで摩耗が急速に大きくなり、200m/min以上の高速ではコーティング膜の効果が小さくなって、切削加工は困難であった。これに対し(A1, Ti)Nコーティド超硬エンドミルでは、50~200m/minの切削速度の範囲で、超硬素材の露出領域およびコーティング膜の摩耗領域においても摩耗量は小さく、優れた耐摩耗性を示した。その結果‘Levee Effect’において(A1, Ti)N膜が従来のTiCN膜より非常に優れているのが認められた。

## 第8章 難削材の高速フライス加工

熱伝導率の小さい難削材であるステンレス鋼やチタン合金を被削材として種々の切削試験を行った結果について述べる。(A1, Ti)N膜は、ステンレス鋼やチタン合金のフライス加工においても、従来のTiN膜に比べて寿命延長の効果が大きい。特に切削抵抗の低減を重視した形状の(A1, Ti)Nコーティド超硬エンドミルは、ステンレス鋼の高速加工(300m/min)が可能であった。

## 第9章 (A1, Ti)Nコーティングの高速工具鋼への適用

(A1, Ti)N膜を低温でかつ高い密着力でコーティングする技術を開発し、この技術を各種の高速工具鋼製の切削工具に適用した結果について述べる。従来の陰極アークイオンテンプレートコーティング法の処理条件では、高速工具鋼に(A1, Ti)N膜を高い密着力でコーティングすることは困難であった。そこでコーティング条件を種々深索した結果、高速工具鋼に(A1, Ti)N膜を低温でかつ高い密着力でコーティングする技術を開発した。この技術を各種の高速工具鋼に適用し切削試験をした結果、従来法の(A1, Ti)Nコーティド高速工具鋼に適用し切削試験をした結果、従来法の(A1, Ti)Nコーティド高速工具鋼の1.5~1.8倍に寿命が向上した。その結果、改善法の(A1, Ti)Nコーティド高速工具鋼は、TiNコーティド高速工具鋼の2~3倍の寿命となった。これは、(A1, Ti)N膜と高速工具鋼との密着力が向上し、硬度や耐酸化性の高い(A1, Ti)N膜の優れた特性が十分機能するようになったためと考えられる。

## 第10章 (A1, Ti)N膜の摩耗特性と酸化膜硬度

(A1, Ti)N膜の基本的な摩耗特性を調査するために、大越式迅速摩耗試験を実施し、また高温酸化処理後の皮膜硬度や酸化挙動について調査した結果を述べる。大越式迅速摩耗試験の結果、相

手リング材が熱処理後のSKD61 (52HRC) の場合、低速域ではTiN膜のアブレッシブ摩耗が著しい。一方、(Al, Ti)N膜の摩耗は小さく、優れた耐摩耗性を示した。また、大気雰囲気中での加熱により、無処理の超硬基板とTiN膜は600℃から硬度が低下した。他方、(Al, Ti)N膜は700℃付近までは高い硬度を維持し、800℃から硬度低下を始めた。X線回折とオージェ電子分光分析の結果、800℃で加熱した(Al, Ti)N膜の最表面には極めて薄い非晶質のAl酸化物が形成されているのが認められた。

## 第11章 総括

本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題と展望について述べる。

### 論文審査の結果の要旨

切削加工は機械加工法の中で最も重要な加工法として位置づけられ、現在も広く用いられている。特に最近では、焼入れ鋼などいわゆる難削材の高効率切削、高速切削をはじめとする新たな展開が求められている。こうした中であって、切削工具の開発は極めて重要な問題となっている。切削工具には基本的に硬度と靱性という相反する性能が求められ、それを実現するものとして、高速度工具鋼や超硬合金の表面に硬質皮膜をコーティングした工具が開発され、実用化されている。本論文はコーティング切削工具の大幅な切削性能向上を目標として、系統的にコーティング技術の研究を行い、新たなコーティング工具を開発した結果を集大成したもので、以下の各章からなっている。

第1章では、従来の切削工具の表面処理法についてまとめ、本研究の背景、目的および論文の構成について述べている。

第2章では、これまでコーティング法として主流をなしてきたCVD法およびPVD法の特徴について検討し、PVD法の内、HCD法及び陰極アークイオンプレーティング法が優れていることを示している。

第3章では、陰極アークイオンプレーティング法の欠点を改良し、面粗度が良好で、かつ緻密な皮膜を高い密着力でコーティングすることができる「アーク・HCD併用法」を開発し、この方式でTiN膜をコーティングした高速度鋼工具がすぐれた切削特性を有することを示している。

第4章では、新たな皮膜として(Al, Ti)Nに着目し、陰極アークイオンプレーティング法によって生成した種々の組成比の(Al, Ti)Nの特性について検討した結果、皮膜硬度が約8000HV、酸化開始温度が840℃、スクラッチテストによる臨界荷重がTiNの約1.3倍という新たな膜質を見出している。

第5章では、一般的な形状の超硬ドリルや超硬エンドミルに対して、陰極アークイオンプレーティング法によって新しいコーティング膜である(Al, Ti)N膜を被覆した結果、従来のTiNコーティング法に比較して、工具寿命が2ないし3倍に向上することを示している。

第6章では、剛性や刃先強度が優れた新しい形状の超硬ドリルや超硬エンドミルを開発し、(Al, Ti)Nコーティングを施して切削性能を検討した結果、従来のTiNコーティング超硬工具では困難であった高硬度材(50~65HRC)の穴あけ加工やフライス加工が可能となったとしている。

第7章では、高硬度用(Al, Ti)Nコーティング超硬エンドミルを用いて、熱処理後のSKD61 (52HRC)材の高速側面切削加工を行い、優れた切削特性を有することを確認している。また工

具の摩耗状態を詳細に分析した結果、コーティング膜の優れた耐酸化性、硬度、密着力によって膜と超硬母材の摩耗進行を抑制する効果があるとして、これをLevee Effectと呼んでその効果を確認している。また、高硬度用（Al, Ti）Nコーティング超硬エンドミルを用いて、より硬度の高い熱処理後のSKD11（60HRC）材を200m/minの高速で側面切削加工した結果、（Al, Ti）Nコーティング工具が従来のTiCNコーティング工具より優れた特性を示すこと、またその結果として既述のLevee Effectの点で優れていることを示している。

第8章では、代表的な難削材であるステンレス鋼やチタン合金を被削材とした切削実験を行った結果、（Al, Ti）Nコーティング工具が従来のTiNコーティング工具に比較して切削特性の点で優れており、ステンレス鋼を300m/minの高速でエンドミル加工し得ること確認している。

第9章では、（Al, Ti）N膜を低温で、かつ高い密着力でコーティングする技術で開発し、高速度鋼工具（ホブ、エンドミル、ドリル）に適用した結果、従来法に低くして切削工具の寿命を1.5～1.8倍程度に延ばし得ることを示している。

第10章では、（Al, Ti）Nコーティングの基本的な摩耗特性を調べるために大越式迅速摩耗試験を実施し、さらに高温酸化処理後の皮膜強度や酸化特性について検討した結果、（Al, Ti）N膜は優れた耐摩耗性、高温硬度特性を有することを明らかにしている。

第11章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

以上、本論文は切削工具の新たなコーティング材の研究開発を行ったものであり、コーティング工具の切削性能向上について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者山田保之は博士（工学）の学位を得る資格があると認める。