

傾斜機能耐摩耗工具材料の開発

高橋 志郎、下野 功

Development of Wear-resistant Functionally Graded Tool Materials

Shiro Takahashi and Isao Shimono

要 旨

精密機械加工における重要な工具の一つに切削用工具がある。特に厳しい条件で用いられる加工工具には、通常、蒸着やディッピングといった手法で刃物の母材に主としてセラミックスによるコーティング（被覆）加工が施される。一般に、硬い材料の切削や精度を求められる切削には、サーメット（TiN：窒化チタン）被覆された超硬工具が多く用いられている。サーメット被覆は硬度が高い反面、靱性に乏しく、さらに、母材との密着強度が低いという問題点を有しているほか、実際に加工する際の加工条件を厳密に調整しなければならないといった複雑さも抱えている。

本研究では、既存の超硬工具が抱える問題点の解決を目的に、本来、被覆材として用いられる材料を母材とする耐摩耗工具材料の設計・開発を行った。傾斜機能材料（FGM）とすることで硬度や耐摩耗性を損なわずに靱性やチッピング性の向上を図ることを目的とした研究開発を行い、ある程度の成果が得られたことから、ここに報告する。

1. はじめに

機械部品製造において、最も多く用いられるのが切削用工具を用いる切削加工である。特に厳しい条件で用いられる加工工具には、通常、蒸着やディッピングといった手法で刃物母材に、サーメットや窒化珪素などの被覆材がコーティング（被覆）される。コーティングの目的としては、硬度、強度、耐摩耗性の向上のほか、耐食性の向上、摩擦抵抗の減少、構成元素の熱拡散や機械的な拡散防止など非常に多岐にわたっている。

機械加工の最重要部品の一つといえる切削用工具は、メーカーも積極的な開発を行っており、一般に、硬い材料の切削や精度を求められる切削には、超硬工具が多く用いられている。超硬工具は硬度が高い反面、靱性に乏しく、さらに、被覆材の密着強度が低いという問題点を有している。ま

た、実際に加工する際の加工条件を厳密に調整しなければならないといった複雑さも抱えている。

本研究では、地元機械金属企業の要望に従い、精度向上、加工コスト低減を最終目標とした切削工具用の耐摩耗工具材料の開発を目的とし、被覆材料を母材とした FGM 工具材料の開発を行った。

2. 実験方法

本研究では、切れ刃となる部分に TiN+2.0%Al、靱性を要する基部の材料に (Ti,W,Cr) B および切れ刃となる部分に Si₃N₄、靱性を要する基部の材料に (Ti,W,Cr) B の 2 種類の系を設計した。TiN 系材料に用いる粉末は平均粒径 10μm とし、添加する Al 粉末は平均粒径 20μm とした。これらを 1,3,10,30,100 時間遊星ボールミルにて混合粉碎し試験試料とした。Si₃N₄ 系材料は、添加物な

しに 1,3,10,30,100 時間遊星ボールミルにて混合粉碎し試験試料とした。

切れ刃部分から基部にかけては、焼結温度や熱伝導性を考慮して、切れ刃材 100% > 90% > 50% > 30% > 100% 基部材のような傾斜組成となるように設計した。工具材料の組成を表 1 に、傾斜組成の模式図を図 1 に示す。

焼結には、放電プラズマ焼結機を用い、焼結温度 2,400℃、加圧応力 40MPa にて焼結をおこなった。切れ刃材料はセラミックス、焼結温度 1,400℃ で一度焼結温度を保持して反応を促す処理を行い、焼結温度 1,500℃ より加圧を行った。その焼結温度プロファイルの模式図を図 2 に示す。

このように作製された種類の傾斜機能工具材料を用い試験片とした。この試験片について硬さ試験、摩耗試験および強度試験（曲げ試験：抗折力測定試験）を行った。

3. 結果および考察

3-1 耐摩耗材料の焼結

金型加工などの精密加工に用いられる耐摩耗工具のコーティングには、Ti-N 系の材料に、靱性向上、密着性向上のために Al などの微小添加元素を加えたサーメット系の材料が多く用いられていることから、上述のように材料設計を行ったが、このように Al などの元素を添加することにより焼結性は低下し、焼結体に気孔が形成されることで 100% 密度を有する焼結体の作製が困難になる。

そこで、焼結体の密度を測定したところ、100 時間の混合粉碎を行った試料の密度が最も高く、各焼結体の相対密度は、99.2% (TiN 系)、98.5% (Si_3N_4) となっていた。いずれも、100% 密度にはやや遠く、加圧や焼結温度、焼結前の粉末の前処理について検討が必要であると考えられる。

3-2 耐摩耗工具材料の特性評価

これらの試験片について、金型加工などの精密加工に用いられる耐摩耗工具に最も必要とされる特性である硬さ試験を行った結果を図 3 に示す。TiN 系、 Si_3N_4 系、基部の硬さは、それぞれ 2,200GPa、2,100GPa、1,550GPa であり、切れ刃部分がより硬く、基部は比較的硬度が低いことが示唆された。また、基部以外には、ビッカース圧痕のエッジにき裂が生じており、基部の靱性値が、TiN 系や Si_3N_4 系に比べて比較的高くなっていることがわか

表 1 耐摩耗傾斜組成工具材料の組成

組成	切れ刃	添加材	基部
TiN系	TiN	2.0%Al	(Ti, W, Cr)B
Si_3N_4 系	Si_3N_4	なし	(Ti, W, Cr)B

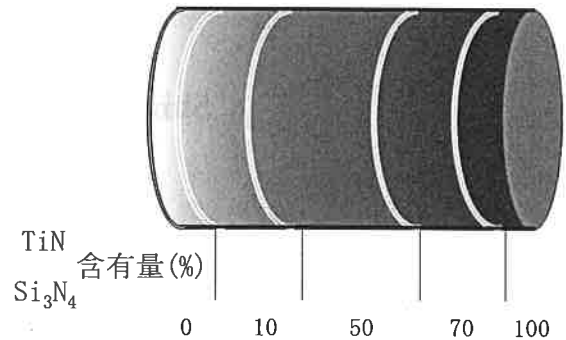


図 1 傾斜組成焼結体の組成的模式図

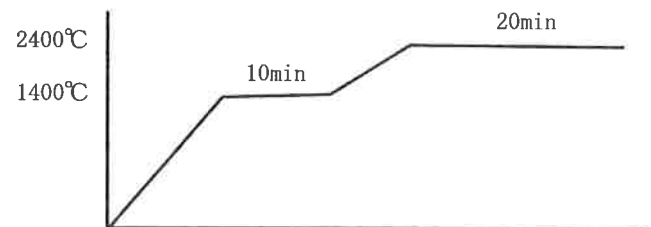


図 2 焼結温度プロファイルの模式図

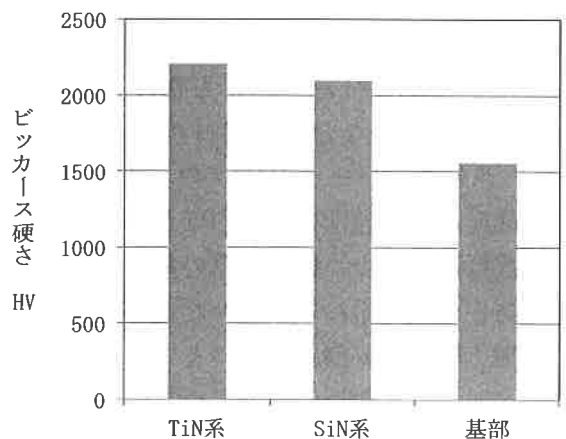


図 3 各材料のビッカース硬さ

り、材料設計自体には問題がないと考えられる。

摩耗試験は、TiN系、SiN系、基部について試験片を作製し試験に供した。相手材には、金型材料として比較的多く用いられるSKD61QCを用いた。その結果を図4に示す。最も高い耐摩耗性を示したのはSiN系でありその摩耗減少量は、約8mgであったが微細なチッピング（欠け）が発生しており原因の特定が課題となった。

一方、TiN系では、その摩耗減少量は、約9mgとSiN系に比べて高い値であったが、SiN系に見られたようなチッピングは発生せず、良好な摩耗状態であった。

3.3 機能性の追加に関する検討

硬さ試験、摩耗試験および強度試験（図5）の結果を踏まえて、各系の材料について付与すべき特性をあげると、① TiN系については耐摩耗性の向上、② SiN系については靱性の向上および一層の緻密化であると考えこれらの改善を目的に材料設計を行った。

TiN系については、耐摩耗性向上のため Si_3N_4 微細粒子（平均粒径0.8 μm ）を添加し、これまで同様試験片を作製したが、図6に示すように相対密度97.3%までの緻密化しかできず、摩耗試験でも摩耗減少量13mgと耐摩耗性が減少した。

また、SiN系については、より高靱化を目的とした微細粒子の使用を試みたが、こちらも相対密度95.1%という低い値であり、摩耗試験の結果チッピングは認められなかったものの、摩耗減少量が10mgと期待値より大きな値を示し、耐摩耗性に問題を残した（図6）。いずれの材料においても、現状の耐摩耗性では直ちに実用化は難しいが、焼結条件をさらに検討し焼結体の密度を向上させることで特性が大きく改善されることが期待

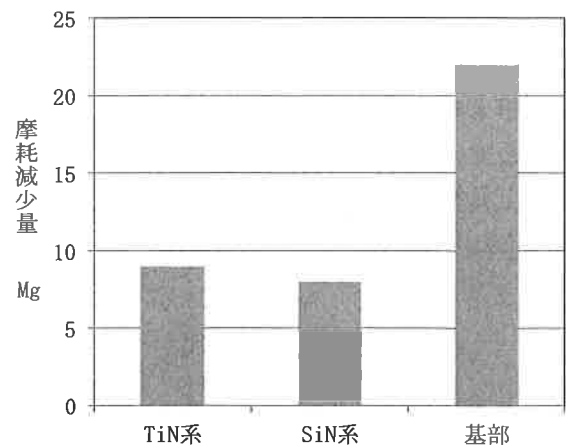


図4 各材料の耐摩耗性

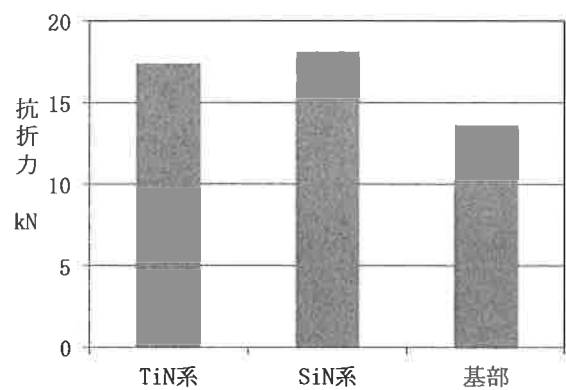


図5 各材料の抗折力

できる。本研究で得られた知見に基づき、実用化に向けた応用開発へと発展させたいと考えている。

4. まとめ

以上のように、本研究では、既存の超硬工具が抱える問題点の解決を目的に、耐摩耗傾斜機能工具材料の研究開発を行ったが、いくつかの試作材料において、良好な硬度特性、耐摩耗性、強度は得られたものの、緻密化が不十分であったり、目的の特性を付与できなかったりと、現段階での実

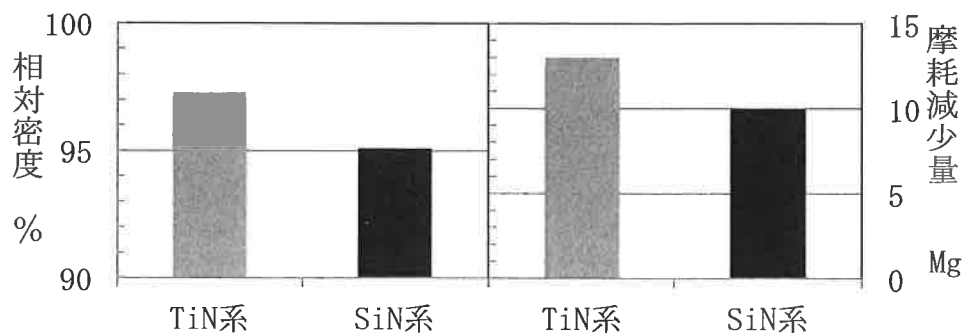


図6 各材料の相対密度と耐摩耗性

用化は困難であると考えられる。

ただし、基本的な要求特性は満たしていることから、粉末の前処理の検討や焼結条件の最適化を図ることで、極めて優れた特性を有する耐摩耗傾斜機能工具材料が得られる可能性が高く、今後の研究でこれらの問題点を解決したいと考えている。