

切削工具への窒化処理の適用に関する研究

佐野正明・八代浩二・米山 陽・坂本智明・堀越弘也^{*1}

Study on the Application of the Nitriding Treatment to the Cutting Tool

Masaaki SANO, Koji YATSUSHIRO, Akira YONEYAMA, Chiaki SAKAMOTO and Hiroya HORIKOSHI

要 約

過酷な環境下で用いられる切削工具は、被削面および切屑など反応性の高い金属新生面と、高温で接触することにより、摩耗が発生・進行しやすい。従来から切削工具には硬質皮膜である TiC, TiN, TiAlN 等の多くの薄膜付与が適用されてきており、その生産性・耐久性に大きく貢献しているが、硬質皮膜の適用だけでは過酷な摺動環境に耐えられず、早期に摩耗および折損となってしまう場合もある。

本報では従来の硬質皮膜に、更に窒化処理をベースとした特殊表面処理を適用し、その切削性改善について切削過程における切削抵抗の測定や工具摩耗の観察および被削材の表面あらさの変化等から検討し、切削工具への効果的な適用を図ることを目的とし、実験を行った。その結果、硬質皮膜処理した切削工具に本実験で提案した特殊表面処理を適用することにより工具寿命は延び、加工面状態も良好となることが分かった。

1. 緒 言

切削工具は、耐摩耗部品の中でも非常に過酷な環境下で用いられ、工具が被削面および切り屑など反応性の高い金属新生面と、高温で接触することにより、摩耗が生じる。切削工具や金型等の耐摩耗性の向上については、高温時の工具摩耗を抑制するための高硬度化、耐酸化性を改善するための耐熱性被膜の付与等が重要視されている。切削工具には硬質皮膜である TiC, TiN, TiAlN 等の多くの薄膜付与が適用されてきており、その生産性・耐久性に大きく貢献している¹⁾²⁾。

しかし硬質皮膜の適用だけでは過酷な摺動環境に耐えられず、早期に摩耗および折損となってしまう場合もあり、硬質皮膜の高機能化処理として下地処理を組み合わせた複合硬化処理も注目され、多くの開発がされている³⁾⁴⁾。イオンプレーティングをはじめとする低温製膜技術を適用した硬質皮膜の場合、数 μm 程度の薄膜厚さが刃先先端に付与され、鋭利な切れ刃部分の鈍化現象を生じさせてしまっていることも、切削特性を低下させる要因となることも一部指摘されている。そこで化学的反応のみで形状精度を損なわない窒化処理の適用が注目され始めてきている⁵⁾。

本報では、超硬合金に硬質皮膜を施した切削工具に対し、窒化処理をベースとした特殊表面処理した工具（以下、BC 処理と称す）適用し、その切削性改善について

切削過程における切削抵抗の測定や工具摩耗の観察および被削材の表面あらさの変化等から検討し、切削工具への効果的な適用を図ることを目的とし、実験を行った。

2. 実験方法

2-1 切削工具および被削材

切削工具は、表 1 に示す市販のインサートチップ方式 $\phi 30\text{mm}$ のボールエンドミル（三菱マテリアル製）に対し、窒化処理ベースの BC 処理を行ったものと処理を行わない（以下、無処理と称す）工具を用意した。

表 1 切削工具の詳細

工具直径	$\phi 30\text{mm}$
工具厚さ	7mm
工具材種	超硬合金
コーティング材種	(Al,Ti)N

表 2 切削条件

切削速度	660m/min
主軸回転数	7000min ⁻¹
送り速度	6000mm/min
ピックフィード	0.5mm
切り込み深さ	0.1mm
切削油剤	植物油剤
給油方式	ミスト外部給油(6.6cc/hour)

*1 株式会社カナック

被削材は一般的にプレス金型用鋳物として用いられる
 鋳鉄(FCD600)とし、X100Y200Z100mm に切り出したブ
 ロック材に対し、切削加工を行った。

2-2 切削加工条件および切削加工方法

切削加工機には三井精機製マシニングセンタ VU-50A
 を用い、表 2 に示す切削条件により行った。被削材は、
 テーブルに固定されたバイスを介した切削動力計上に、
 六角ボルトで固定した。切削抵抗の測定は圧電式切削動
 力計(kistler 製 9257B)を用いて所定の切削長さ毎に計測
 を行い、最終 10000m の切削長さとなるまで加工実験を
 行った。

3. 結果および考察

3-1 切削工具の表面状態

図 1 に切削工具表面の X 線回折による分析結果を示す。
 両工具ともに工具素材である WC (タングステンカ
 ーバイド) の他に、コーティング材種である(Ti,Al)N の
 回折線ピークが認められた。両工具ともほぼ同様な回折
 線パターンであったが、特に BC 処理を施した工具では
 (Ti,Al)N 回折線の強度が増大していたことが確認された。

3-2 切削抵抗の変化

図 2 に切削加工過程における切削抵抗 (主成分) の測
 定結果を示す。初期切削時で切削抵抗は急激に増加し、
 その直後に急激に減少する不規則な抵抗の変化が見られ
 た(切削長さ 0-1000m の領域)。それ以降切削長さ 4000m
 の領域までは両工具ともに大きな変化はなく安定した加

工がなされていた。しかしそれ以降では両工具の切削抵
 抗は異なる挙動を示し、無処理工具では切削長さが
 4000m を超えたあたりから、切削抵抗は急激な増加が
 認められ、これに対し、BC 処理工具では 9000m までほ
 ぼ変化はなく安定した加工がなされていた。両工具とも
 に切削加工過程で工具摩耗は少なからず発生するものと
 考えられるが、BC 処理を行うことで、摩耗の発生・進

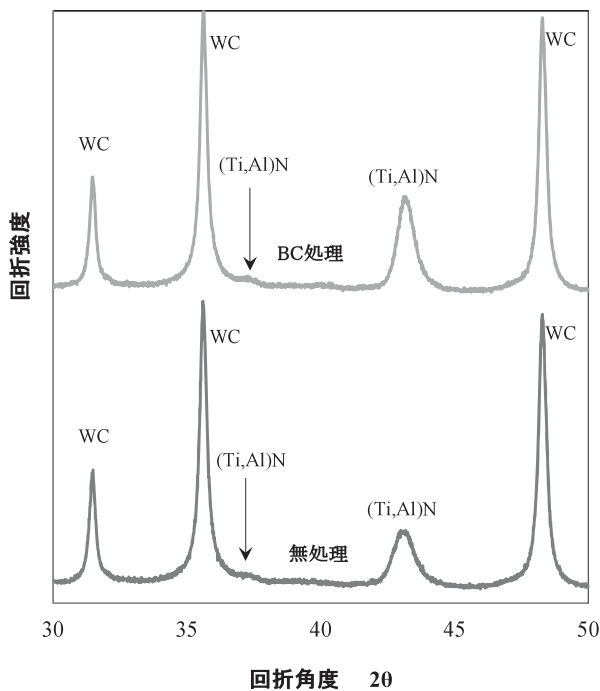


図 1 切削工具の X 線回折分析結果

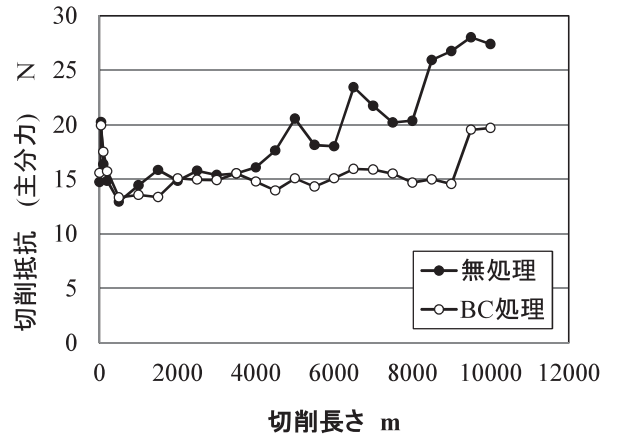


図 2 切削抵抗 (主成分) の変化

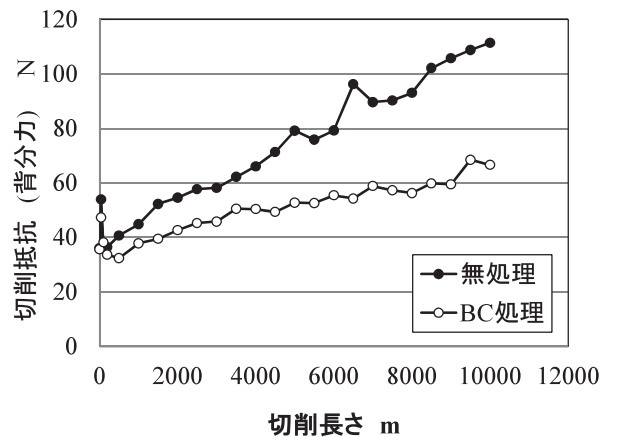


図 3 切削抵抗 (背成分) の変化

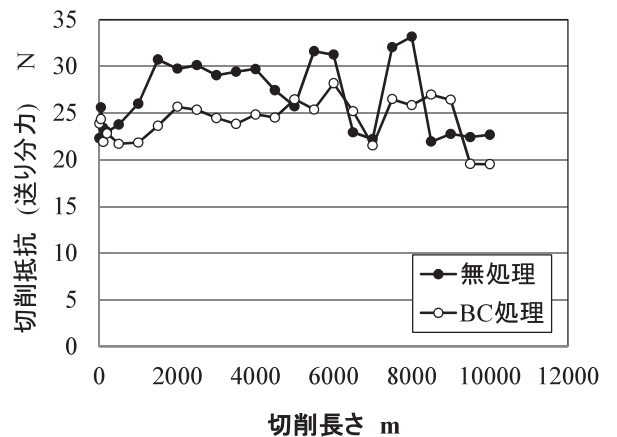


図 4 切削抵抗 (送り成分) の変化

展は遅延するものと考えられる。切削長さが9000mで両工具を比較した場合、切削抵抗（主分力）は2倍程度異なる結果となり、寿命向上が期待される。

次に、図3に切削抵抗（背分力）の測定結果を示す。主分力の時と同様に初期切削時に不規則な切削抵抗の変化が認められたが、これは切削工具の角あたりがとれ、被削性が向上したことによる急激な変化と思われる。その後は両工具ともに切削抵抗は増加する傾向を示したが、BC処理を施した工具の場合、その増加量は抑制される傾向を示した。

更に図4に切削抵抗（送り分力）の測定結果を示すが、両工具ともに大きな変化は認められなかった。

3-3 切削工具の摩耗量の変化

図5(a),(b)に加工前後の切削工具を逃げ面側から、図6(a),(b)にはすくい面側から、それぞれ走査型電子顕微鏡(SEM)による観察結果を示す。

逃げ面の観察において、加工前の工具図5(a)では中心刃においても、逃げ面においても、一切の摩耗痕のない健全な工具であったことが観察されるが、切削長さ10000m加工後の工具図5(b)では、中心刃から被削材と接触している逃げ面全体に摩耗が発生・進行している様子がうかがえた。逃げ面右端部に最大摩耗を示す位置が存在するが、これは中心刃から約1.5mmの位置で、この位置は切削工具が被削材上面と接触している位置に相当する。これは切削速度が最大となる位置に相当しており、これにより最大摩耗量を示していると考えられる。

またすくい面の観察においても逃げ面の観察の時と同様であり、切削長さ10000m終了後の工具図6(b)では、中心刃から約1.5mmの位置に最大摩耗量を示していた。

切削加工過程での両工具について、これら摩耗量の変化を測定した結果を図7(a),(b),(c)に示す。(a)は中心刃摩耗量、(b)は逃げ面最大摩耗量、更に(c)はすくい面最大

(a)に示す中心刃の切削長さに伴う最大摩耗量の変化は、両工具とも切削長さの増大とともに増加することが確認された。中心刃の摩耗は切削初期ではわずかであったが、2000mを超えたあたりから徐々に増加量を増し、無処理工具では4000m以降では急激に増加した。これに対し、BC処理工具では切削長さ8000mまでは緩やかに

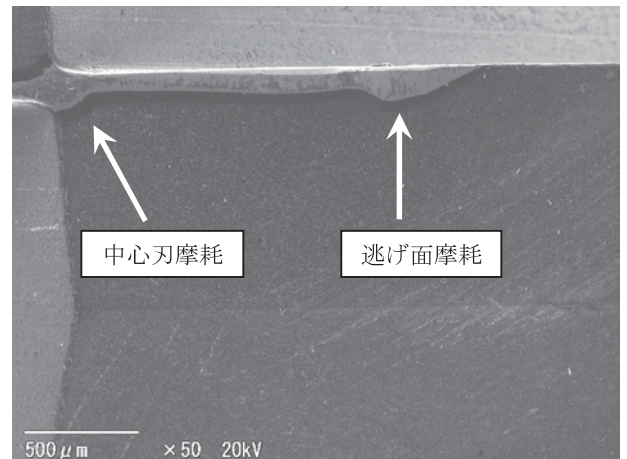


図5(b) 切削加工後のSEMによる逃げ面観察

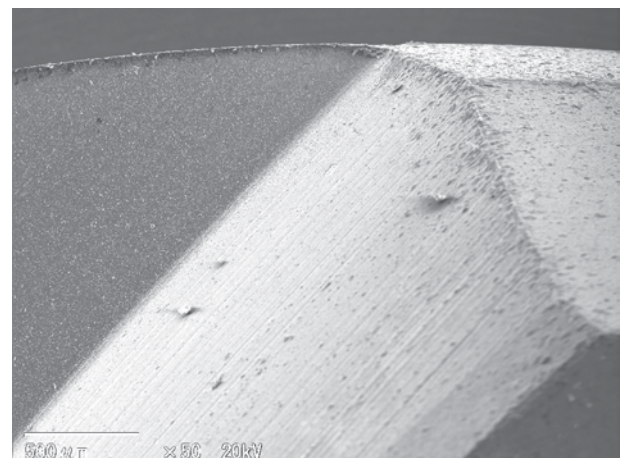


図6(a) 切削加工前のSEMによるすくい面観察

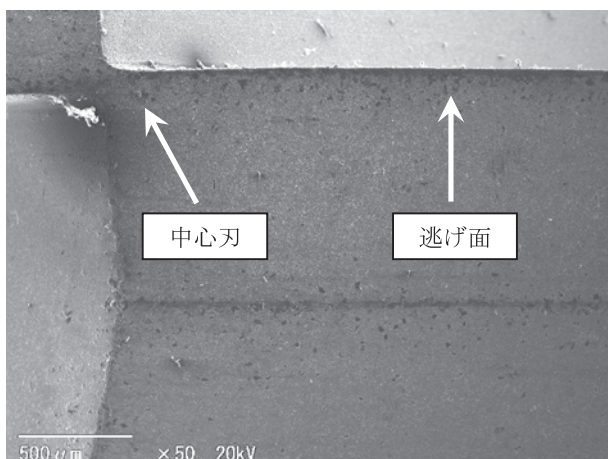


図5(a) 切削加工前のSEMによる逃げ面観察

摩耗量の変化を示す。

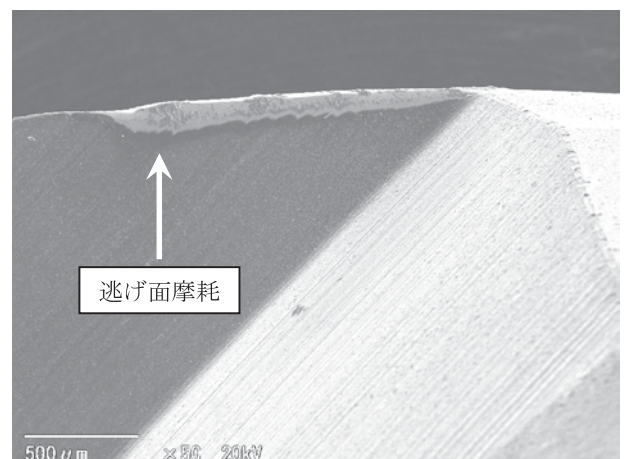


図6(b) 切削加工後のSEMによるすくい面観察

増加し、それ以降急激に増加した。中心刃の摩耗量が50

μm となる切削長さで比較すると無処理工具は約4000mに対し、BC処理工具では約8000mであり、2倍程度異なる結果となった。

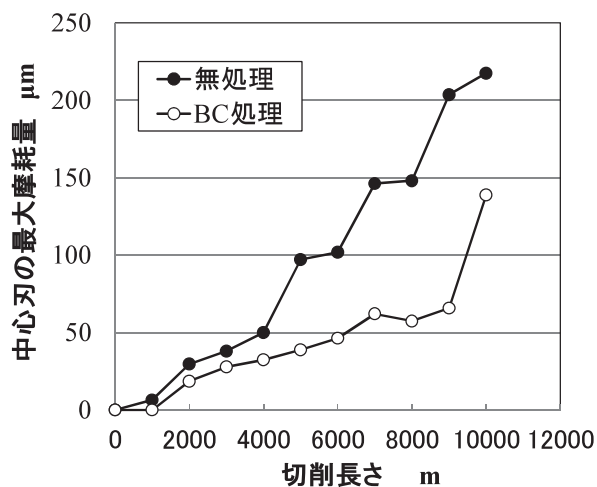


図 7(a) 切削長さに伴う中心刃の最大摩耗量の変化

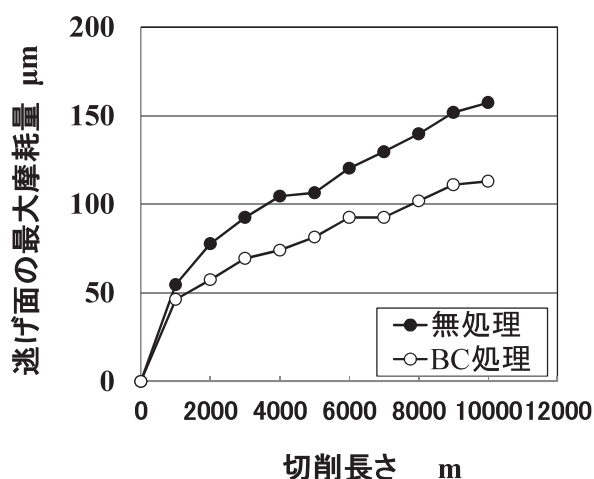


図 7(b) 切削長さに伴う逃げ面の最大摩耗量の変化

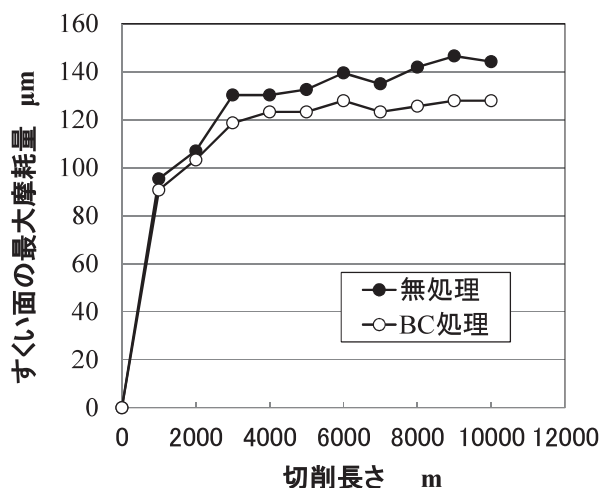


図 7(c) 切削長さに伴う逃げ面の最大摩耗量の変化
また(b)に示す逃げ面最大摩耗量の変化は、中心刃の

時の摩耗形態とは異なり、両工具ともに切削初期において急激に摩耗は進行し、その後の切削長さの増大とともに緩やかに増加する傾向を示した。それぞれの切削長さで比較すると、2000m以降ではBC処理を施すことにより、30%程度摩耗量は減少することが明らかとなった。逃げ面の最大摩耗量が100 μm を超えた時の切削長さを比較すると、約2倍程度の違いがあった。

更に(c)にすくい面の最大摩耗量の変化を示すが、逃げ面の摩耗形態と同様な傾向を示しており、わずかに無処理工具の方が大きくなる傾向を示した。

3-4 表面あらしの変化

図 8 に加工面の表面あらし測定結果を示す。表面あらし計は小坂研究所製 SurfcoorderDSF1000 (接触式、2 次元表面評価) を利用し、評価長さ 0.8mm で測定を行った。無処理工具および BC 処理工具ともに切削長さの増加に伴い、表面あらしは不連続な形態をとりながらも増大する傾向を示した。両工具を比較した場合、切削長さ 7000m までは、大きな差は見られなかったが、7000m 以降では BC 処理工具の方が表面あらしはわずかに低下

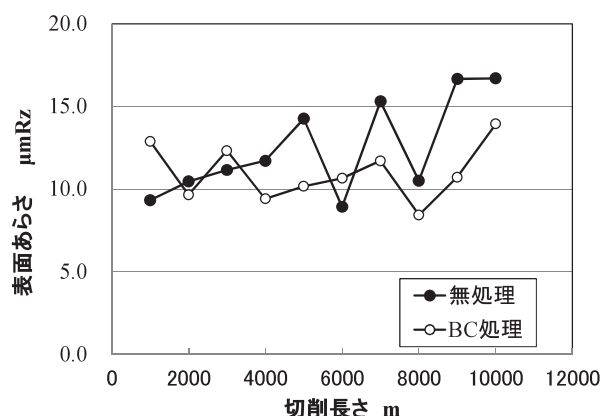


図 8 表面あらしの変化 (2次元評価)

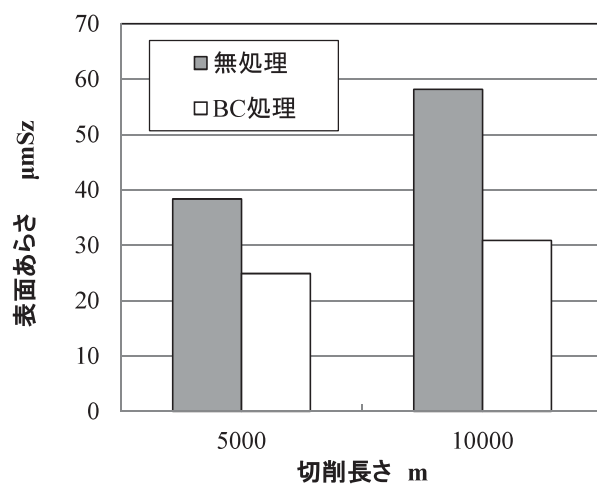


図 9 表面あらしの変化 (3次元評価)

する傾向が見られた。

2次元断面評価では詳細な表面あらしの変化を観察することができなかつたため、3次元表面評価を行うために、Ametek社製表面あらし計 FormTalysurfPG1830(接触

な評価を行った。その結果を図9に示す。2次元断面評価の時と同様に両工具ともに、切削長さの増加に伴い表面あらしは増大する傾向を示した。両工具を比較すると、BC処理工具の方が表面あらしは低下する傾向を示した。図10(a),(b),(c),(d)に測定範囲5mm×5mmでの表面あらしを鳥瞰図表示した結果を示す。切削長さ5000m時点の無処理工具による加工面図10(a)には、規則性のやや崩れたツールマークが観察され、不規則であり凹凸の激しい加工面の形態が観察された。これに対し、BC処理工具による加工面(図10(b))には、規則性が高く凹凸が一様で良好なツールマークが観察された。

更に加工が進行し、切削長さ10000mの時点では、無処理工具の場合更に凹凸は大きくなり、良好な加工面は形成されていなかった。なお送り方向にそって筋状の形態が表れているのは、工具刃先の摩耗により切削性が低下したことによるものと考えられる。これに対し、BC処理工具の場合は、やはり摩耗の進行によりツールマークの規則性はやや崩れた形態を示しているが、ある程度の規則性は保たれていることがうかがえる。

結 言

- 1) X線回折による分析の結果、無処理工具とBC処理工具の両工具ともに素材成分WCとコーティング成分(Ti,Al)Nの回折線ピークが認められた。両工具を比較すると、窒化処理工具の方が(Ti,Al)Nの回折線強度は増大していた。
- 2) 切削抵抗(主分力,背分力)の測定結果から、BC処理工具は無処理工具に比べ、切削抵抗は減少することが分かった。
- 3) 切削工具の摩耗量は、BC処理工具は無処理工具に比べ、減少することが分かった。切削長さの増加に伴い、その差は更に顕著に大きくなる傾向を示した。

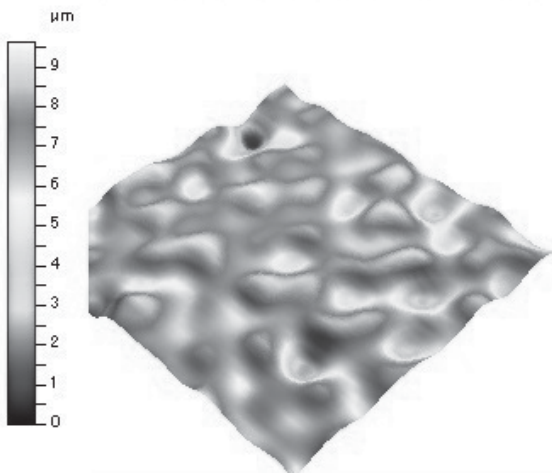


図10(a) 表面あらしの変化(鳥瞰図表示,無処理5000m)

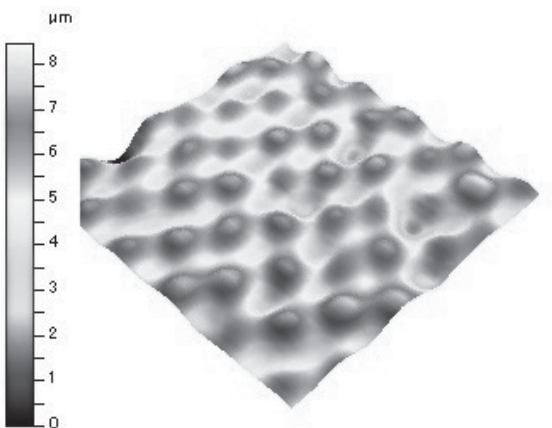


図10(b) 表面あらしの変化(鳥瞰図表示,BC処理5000m)

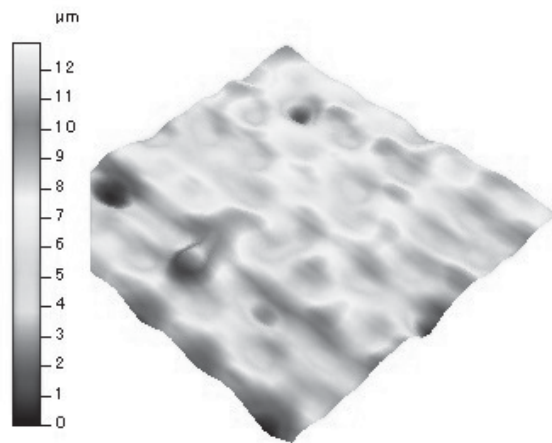


図10(c) 表面あらしの変化(鳥瞰図表示,無処理10000m)

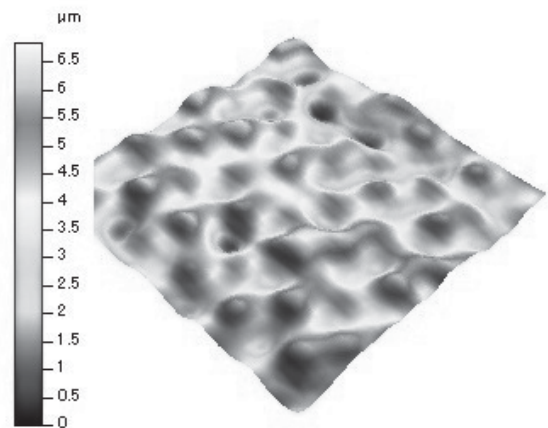


図10(d) 表面あらしの変化(鳥瞰図表示,BC処理10000m)

式、3次元評価)を利用し、測定範囲5mm×5mmで詳細

- 4) 加工面の表面あらさの状態は、両工具ともに 2 次元評価手法では明確な差は認められなかったが、3 次元評価手法では、BC 処理工具で加工した方が無処理工具に比べ、良好な加工面が得られていた。

参考文献

- 1) 山本兼司：高 Al 含有窒化物硬質皮膜の特性と切削工具への応用,高温学会誌,Vol.33,No.2,pp.85(2007)
- 2) 臼井年：切削工具のコーティング技術における総論,砥粒加工学会誌,Vol.58,No.5,pp.285(2014)
- 3) 石井芳朗：ラジカル窒化処理を応用した切削工具の現状,表面技術,Vol.51,No.3,pp.8(2000)
- 4) 南守：加工工具用表面処理に関する研究,福岡県工業技術センター研究報告, No.15(2005)
- 5) 寺門一佳：イオン窒化における切削工具の現状,表面技術,Vol.51,No.3,pp.227(2000)