

討20 イオンプレーティング法による高速鋼工具へのコーティング処理

銑神製鋼所 明石工場 手崎 宗昭、山田 保之

1 緒言 超合金へのTiC, TiN 系硬質化合物のコーティングは、欧州が始まり、現在は超硬チップの約半数がコーティングチップと言われる状況にある。このコーティング方法は、1000°C近い高温で反応させるCVD法であるため、完成された高速鋼工具に適用される表面処理法としては難点があった。この処理温度を600°C以下で行なおうと開発されたのがイオンプレーティング法に代表されるPVD法であり、これの高速鋼工具への適用は、わが国が最初に実用化された技術である。

本報では、イオンプレーティング法による処理方法の特徴とその条件、コーティング膜となるTiC, TiNの特徴、さらにコーティング処理された高速鋼工具の特性を報告する。

2 イオンプレーティング法の特徴 コーティング方法はついでには多くの文献^(1,2,3)で紹介されている。ここでは実際に生産ラインで用いられているイオンプレーティング法について述べる。この方法の特徴は、①付着強度が大きい ②生膜速度が大きい(約1 μ m/min) ③処理温度が600°C以下等である。

イオンプレーティング法の原理は1964年にMattoxによって開発され、その後BunshahによりARE法が、またわが国では高周波法、クラスティオンビーム法、HCD法などに展開された。現在、わが国の主流となっているのはHCD法で、その装置の概要を図1に示す。

HCD法は電子源としてHCDガン(Hollow Cathode Plasma Electron Beam Gun)を用いて低電圧(数10V)大電流(300~600A)の電子ビームをとり出す。その多量の電子により、蒸発粒子や反応ガスのイオン化率を20~40%に高め、容易に化合物が生成できる効率の良さが、他の方法に比べてすぐれている。またHCDガンが 10^{-3} Torrで作動できるため、装置が簡単になり、ワークへの蒸発粒子のつきまわりも良い。しかし、加速電圧が低いことから、W, Taなどの高融点金属を溶解できない欠点がある。

3 処理手順と条件

①ワークを正しい洗い洗淨した後、回転アークはセットする。②排気ポンプにて 10^{-5} Torrまで排気し、同時にワークを約500°Cに加熱する。③Arガスを0.1Torrまで導入し、ワークに-500V印加してイオンボンバードを行なう。④このArガスを排気した後、HCDガンを起動させ、水冷ハース上のTiを溶解させる。⑤ノズルから反応ガスを導入する。この時N₂を用いるとTiNが、C₂H₂などの炭化水素を用いるとTiCが皮膜としてコートされる。⑥所定の時間反応させた後にHCDガンを停止させ、降溫後ワークをとり出す。条件として、洗淨、処理温度、導入ガス量、膜厚等が管理され、ワークが高速鋼工具の場合、工具の種類、工具の使用条件等に応じた最も適当な組合せが必要である。

4 TiN皮膜とTiC皮膜の特徴

コーティングされたTiNとTiC皮膜のX線回折の結果を図2に示す。それぞれのピークはかなり明瞭であり、結晶化したTiNやTiC皮膜が生成しているとみられる。図3にはTiN皮膜の断面組織を示しているが、ワーク母材との境界がはっきりしており、TiNの母材へ

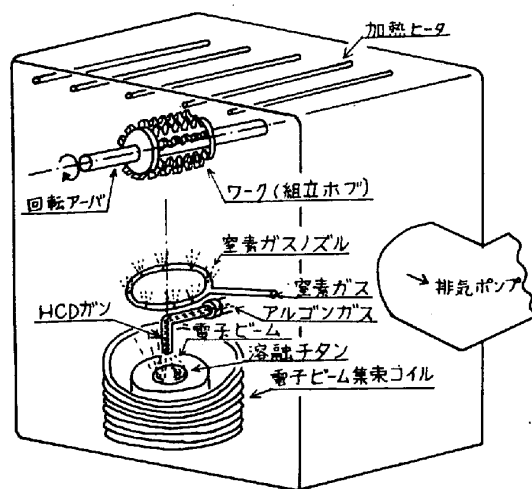


図1 コーティング装置(HCD法)の概略図

の拡散はほとんどないと考えられる。

4-1 かたさ 膜厚を $10\mu\text{m}$ にした時のかたさ測定結果を表1に示す。TiCはTiNに比べてかたさレベルが高い。

4-2 耐クラック性 皮膜の耐はくり性を調べる方法として、ビッカース硬度計を用い、圧子を膜表面に押しつけた際の圧痕の外周に発生するクラックを観察する方法が提案されている⁴⁾。著者ら

がこの方法を検討した結果、外周のクラックだけでなく、圧痕内面のクラックが皮膜の特性に関連すると考えられる。図4, 5に圧痕の模式図とSEM観察結果を示す。圧痕の先端と、圧痕内面は明瞭にクラックの発生しているのが認められる。このクラックの状況をTiNとTiC皮膜と比較してみると異なる特徴を示していることが解る。即ちTiNの方はクラックラインの幅が狭く、しかも網目状に発達しているのは好し、TiC皮膜は直線状の鋭いクラックラインとその間隔もない。

圧痕内面の状況は、ダイヤ圧子により徐々に押し込まれた母材が塑性変形していく過程で、コーティング皮膜の変形能が追従できなくなりから順次クラックとなって破壊されていく。そのクラックは皮膜質の特性により異なる様子を呈することは当然予想されることであり、今後、皮膜特性を判定する手段としてよりよい解析を進めている。

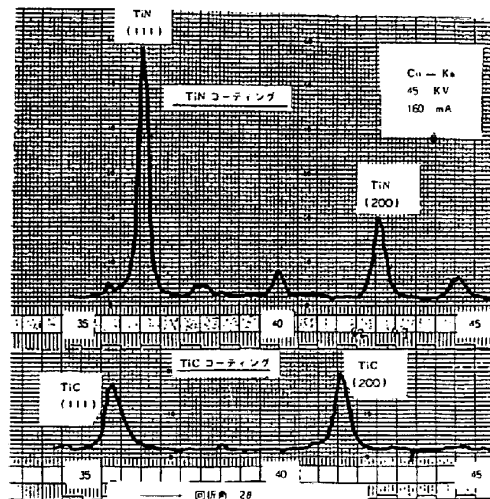
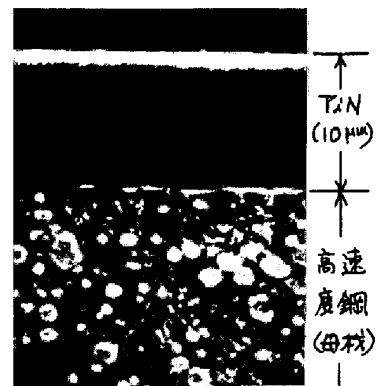


図2 X線回折による分析結果



「タイトルエッチング」
X3000

図3 TiN皮膜の断面組織

表1 皮膜のかたさ(Hv)

TiN	1700~1900
TiC	2300~2700

荷重100gr, 膜厚10μ

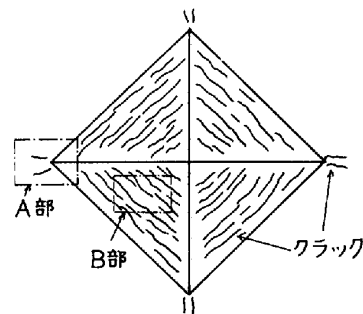


図4 圧痕の模式図

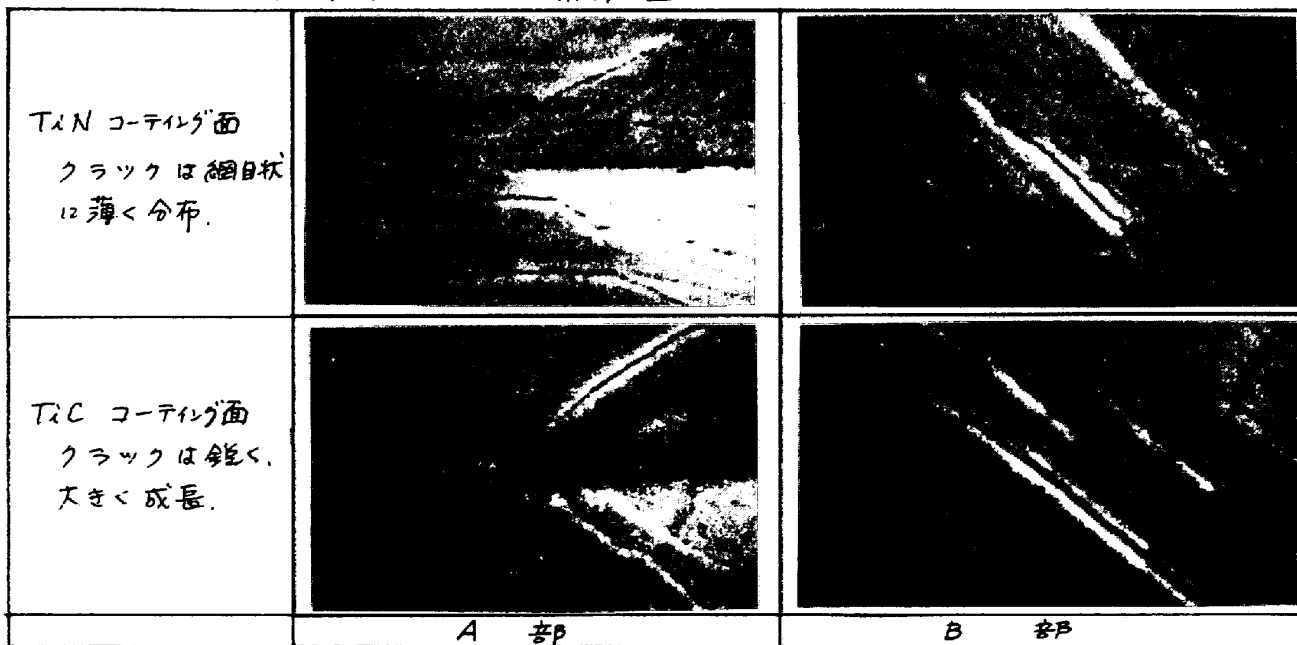


図5 ビッカース圧痕にみられる皮膜のクラック Hv荷重50kg 膜厚1.5μm X5000

4-3 耐摩耗性 CVD法によるTiC膜はすぐれた耐摩耗を示すことが報告されている⁵⁾。イオンプレーティング法によってコーティングしたものを大径式迅速磨耗試験機によりテストした。その結果を図6で摩擦速度と比摩耗量の関係を示す。母材には高速度鋼SKH56を用いた。コーティングされたものは、無処理のものに比べて非常にすぐれた耐摩耗性を示した。特に摩擦速度が大きい程、その効果が大きくなっていく。TiNとTiCの挙動としては低速域で差が表れ、TiCが多っている。図7に試験片の磨耗面を示す。特に摩擦速度の低い0.3%secの場合を観察すると、TiNの方は皮膜が浅く、TiCの皮膜は無くならない。この違いが比摩耗量の差となっており、これはTiC皮膜の厚さが低速域で破壊されはくりとなり、その結果、磨耗が進行したものと考える。摩擦速度1%sec以上ではTiNとTiCの両者に差はなく、すぐれた耐摩耗性を示している。いずれにしてもコート皮膜が残っている場合はよいが、これが衝撃等クラックが発生し、はくりを起すと急速に磨耗が進むのであり、皮膜の付着強度や耐クラック性(クラック伝播速度)等の特性が重要な要素と考えられる。

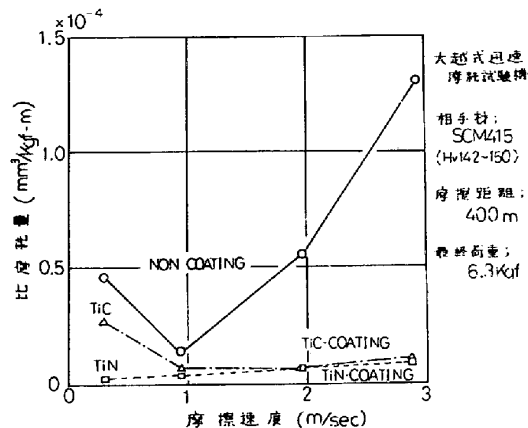


図6 磨耗試験結果 (母材:SKH56)

4-4 耐蝕性 高速度鋼のチップにTiNを全面にコーティングし、これを塩酸及びリン酸に浸漬して重量の減少量を測定した。図8にその結果を示す。

1時間の浸漬ではコーティング皮膜は殆んど蝕食もなく、腐蝕減量から無処理に対して4倍以上の耐蝕性を示した。これを3時間に延長すると部分的にコーティング皮膜のはくりが起り、特にリン酸1:1溶液では皮膜は殆んどはげ落ちていく。この状態から、TiN皮膜は殆んど侵蝕エロをうすぐれた耐蝕性を持つが、機械的に腐蝕液が皮膜と母材の境界部に浸入すると急速に皮膜のはくりが起り、加速度的に腐蝕が進んでいくと見られる。

雰囲気	保持時間	侵食速度 (g/m²hr)	
		100	200
塩酸: 水 = 1:1	1 hr	NON-COATING	
	3 hr	TiN-COATING	
リン酸: 水 = 1:1	1 hr	NON-COATING	
	3 hr	TiN-COATING	

図8 TiNコーティングの耐蝕性

摩擦速度 (m/sec)	NON-COATING	TiN-COATING	TiC-COATING
0.301			
0.94			
1.96			
2.86			

図7 磨耗試験における磨耗面の状態

5. コーティド高速鋼工具の性能

図9にコーティングした組立ホブの使用結果を示す。無処理のものではワーク120 μ の加工で逃げ面摩耗が0.3 μ mに達しているのは好し。コーティングされたものは2倍の240 μ 加工で逃げ面摩耗量は1/3であり、しかも両研削後にはおいても殆んど劣化することはない。

TiCとTiNの比較では、ほぼ同等の性能を示しているが、TiCの方は多少チップングの傾向がみられ、摩耗状態も不安定であった。

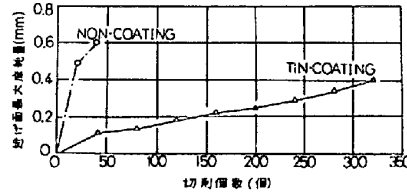
実用工具におけるTiCとTiNのついでには、同等の評価を受けているようであるが、現場における管理上の識別が容易であるとして黄金色のTiNが多く利用されている。

図10、と図11はTiNコートしたピニオンカッター及びエンドミルの切削結果を示す。いずれも著しい性能向上がみられる。その他、フライスカッター、バイト、ドリル、リーマなど、殆んどの高速鋼工具で顕著な効果が表れている。ただし、いずれの場合も、その使用条件は従来の高速鋼工具と同一条件である。

切削回数	再研削回数	逃げ面平均摩耗量 (mm)		
		0.1	0.2	0.3
120	なし	NON-COATING		
240	なし	TiN-COATING TiC-COATING		
240	1回目	TiN-COATING		
360	15回目	TiN-COATING		

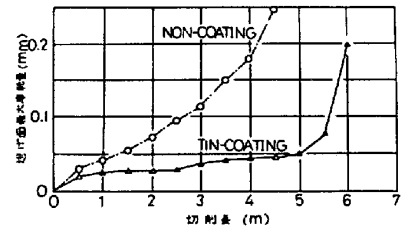
WORK 語言: M3, PA20 $^{\circ}$, NT34, ϕ 113.6 X 18
SCM415, HB 160~200, 4+重,
切削条件: V=56 m/min, F=2.0 mm 2 /rev.
クライムカット, 油性切削液,

図9 組立ホブによる歯切加工結果



M3, PA20 $^{\circ}$ NT40
SCM21, HB 240
STD- ϕ 数 360 ST/min (粗)
480 ST/min (仕上)

図10 ピニオンカッターの加工結果



エンドミル ϕ 10 X 25 X 75 2枚刃
切削中 20 X 切込 1.0
V=18 m/min, F=130 mm 2 /min
work SKD4, HB 310

図11 エンドミルの切削結果

6. 結 言 高速鋼工具はTiCやTiN皮膜を600 $^{\circ}$ C以下でコーティングできるイオンプレーティング法が実用化され、既にホブやピニオンカッターなどの歯切工具は市場で好評である。特に同一条件で使用して、無処理の従来の工具に好し、数倍から数十倍の寿命の伸びがみられ、高速鋼工具の永い歴史の中でもかつてない効果的な処理と言える。今後高速鋼の材質選定標準や、工具設計標準などに好しても新しい考え方が生み出されてくるであろう。但し、この処理技術は、はっきりと確立したものがなく、より安定な皮膜生成のための条件探求が続けられている。同時に皮膜の特性を把握適切な工程方法の確立も必要である。

参考文献 1) 麻崎: 薄膜作成の基礎, 日刊工業新聞社 (1977)
2) 武内, 山田: 工具技術, 神戸製鋼所, No. 27 (1980)
3) 金屋表面技術: (表面処理特集) Vol. 30, No. 5 (1979)
4) 李木, 近藤, 森原: 88年53年度精機学会秋季大会講演会前刷, 31 (1978)
5) 小川: 熱処理 Vol. 20, No. 2 60 (1980)