

331 アルミニウム基材への TiN 厚膜の作成とその摩耗特性

四国化工機(株) 森口忠和

徳島大学 ○英 崇夫, 日下一也 新居浜高専 松英達也

1. はじめに

アルミニウム(Al)および Al 合金は軽さ、耐食性、加工性に優れ、機械部品として広範囲に使用されている。しかし、Al および Al 合金はその柔らかさから耐摩耗性に劣るという欠点を持っている。本研究ではアークイオンプレーティング(AIP)法を用いて Al および Al 合金基板上に TiN 皮膜を形成し、その硬さおよび耐摩耗性について検討した。また、皮膜表面の摩耗特性に対する基材の影響を抑制するためにはできるだけ厚い皮膜を形成することが効果的と考えられるため、工具などに施す一般的な皮膜よりも厚く形成する手法を試み、形成された厚膜の有用性について検討した。

2. 実験方法

2・1 試験片 基板材料として A1050、A5052、A2017 の 3 種類を使用した。これら 3 種類の基板は $25 \times 25 \times 5\text{mm}^3$ の形状に加工し、表面を研磨仕上げした後、片面に TiN を形成した。AIP 処理における成膜条件はアーク電流 60A、 N_2 ガス圧 3Pa とし、バイアス電圧および成膜時間を変化させた。また、成膜時の温度上昇による基板の軟化を防ぐため、30min の成膜ごとに 120 分間の冷却期間を設け、基板温度が Al 合金の焼き戻し軟化温度 433K を越えないようにした。

2・2 アークイオンプレーティング法

AIP 装置の基本構成を図 1 に示す。真空アーク放電はアノードとカソードの間で発生し、ターゲット材を瞬時に蒸発、イオン化して放出する。チャンバ内に放出された正イオンは、基板に印加された負のバイアス電圧によって加速されて基板に衝突し、窒素ガスと反応して基板表面に皮膜が形

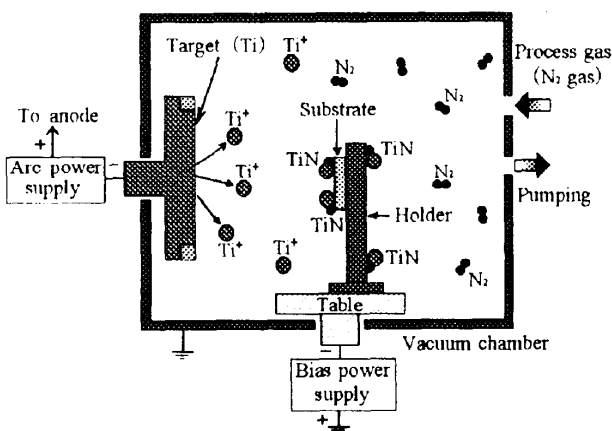


Fig. 1 Schematic illustration of the apparatus for arc ion plating.

成される。

2・3 TiN 皮膜の硬さ試験 TiN 皮膜の硬さはビッカース硬度計を用いて測定した。測定は対面角 136° のダイヤモンド四角錐圧子を用い、荷重 10gf で行った。

2・4 摩耗試験 皮膜の耐摩耗効果を調べるため、ボール・オン・ディスク型の摩耗試験を行った。摩耗試験はボールの直径 6mm、荷重 0.5N、摩擦半径 3mm、回転数 485rpm の条件で行い、摺動距離は 143m とした。試験終了後、表面粗さ計により摩耗痕の形状を測定し、被覆材の耐摩耗性を検討した。

また、カロテスト膜厚測定法を応用し、形成される摩耗痕の深さから被覆材の耐摩耗性を評価した。カロテストは基板に直径 30mm の鋼球を垂直加重 0.37N、回転数 125rpm で 60min 間回転させ皮膜を摩耗させた。摩耗痕の深さは光学顕微鏡を用いて鋼球による摩耗痕の半径を測定し、その値から計算した。

3. 実験結果および考察

3・1 TiN 膜の表面観察 TiN 皮膜の形成はバイアス電圧 -80V とし、成膜時間を段階的に変化させて行った。図 2 は TiN 皮膜の表面形態を示す。その結果、成膜時間が 40min 以上では膜表面に無数のき裂が発生していた。亀裂の発生については、これまでの研究¹⁾から AIP 法で生成した TiN 皮膜内部には約 -6GPa 以上の非常に大きな圧縮残留応力が存在することが明らかとなっており、膜厚が増加すると内部の圧縮残留応力に耐えきれなくなるためと考えられる。

3・2 バイアス電圧と亀裂の関係 AIP 法による TiN 皮膜の残留応力は成膜時に Ti イオンが基板に衝突するときが発生するイオン・ボンバードによって形成されと考えられる¹⁾。そこで、イオンボンバードのエネルギー量を決定するパラメータであるバイアス電圧を変化させて皮膜の形成を行った。皮膜の成膜時間は 90min とした。その結果、

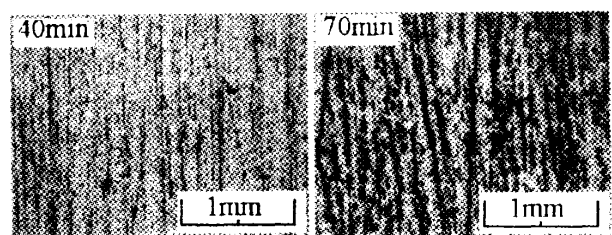


Fig. 2 Microscope images of TiN film surface.

バイアス電圧-20V 以下で成膜した場合に亀裂のない皮膜が得られた。

また、バイアス電圧が高いほど膜厚は薄くなることが明らかとなった。これは、バイアスが増加するとイオン・ボンバードによるエッチング効果が高まり、成膜速度が低下したと考えられる。

3・3 バイアス電圧と TiN 皮膜の硬さの関係

TiN 皮膜のビッカース硬度とバイアス電圧の関係について検討した。図 3 はその結果を示す。皮膜のビッカース硬さはバイアス電圧が増加すると高くなる傾向がある。これは、バイアス電圧が増加するとイオン・ボンバードの効果により結晶粒が微細化することにより起因すると考えられる。

3・4 TiN 皮膜の摩耗特性 図 4 はボール・オン・ディスク型の摩耗試験後における TiN 皮膜の摩耗痕を示す。A1050 基板上に膜厚 $3\mu\text{m}$ 堆積させた被覆材では摩耗痕の深さは約 $40\mu\text{m}$ に達していた。それに対して膜厚 $9\mu\text{m}$ の被覆材においては摩耗痕が確認できなかった。

そこで、摩耗試験中の摩擦力を測定した。その結果を図 5 に示す。膜厚 $3\mu\text{m}$ の試料では回転数が 2500 回をこえたあたりで摩擦力が急激に増加しており、この時点で皮膜に何らかの破壊が起こっていると考えられる。また、基板がやわらかく皮膜が薄い場合は、ボールに加えられた荷重によって基板が変形し、皮膜がたわむことが破壊につながると考えられる。

次に、カロテスト膜厚測定法を応用して膜厚 $9\mu\text{m}$ の被覆材の摩耗試験を行った。図 6 はその結果を示す。被覆材はバイアス電圧が大きいほど摩耗痕は小さくなる傾向がある。これは図 3 から、バイアス電圧が増加するほど皮膜の硬さも高まっていることから、皮膜の硬さが摩耗を効果的に抑制していることを示している。したがって、成膜時に皮膜に亀裂を生じない範囲内でバイアス電圧を印加して成膜を行うことにより耐摩耗性に優れた硬質の皮膜を得られることが明らかとなった。

4. おわりに

- (1) AIP 法により Al および Al 合金基板を軟化させることなく TiN 皮膜を成膜できた。
- (2) TiN 皮膜はバイアス電圧-20V 以下では正常な厚膜が形成できるが、バイアス電圧が増加すると皮膜に亀裂が発生する。
- (3) TiN 皮膜はバイアス電圧を増加によって硬さが増加し、耐摩耗性も向上する。
- (4) 摩耗特性は膜厚が増加することで効果的に向上する。

参考文献

- 1) 三木靖浩他, 日本機械学会論文集 (A 編), 65, 1635 (1999)。

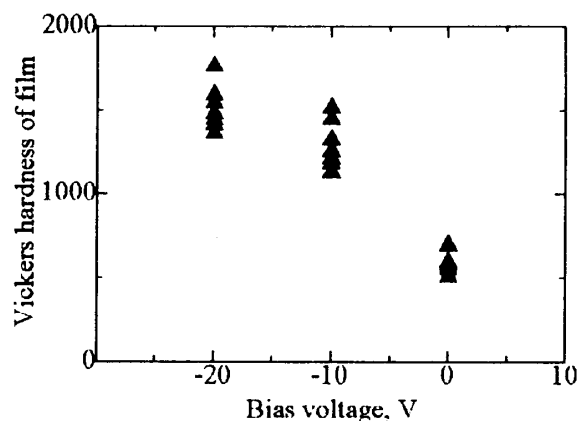


Fig. 3 Vickers hardness of TiN film.

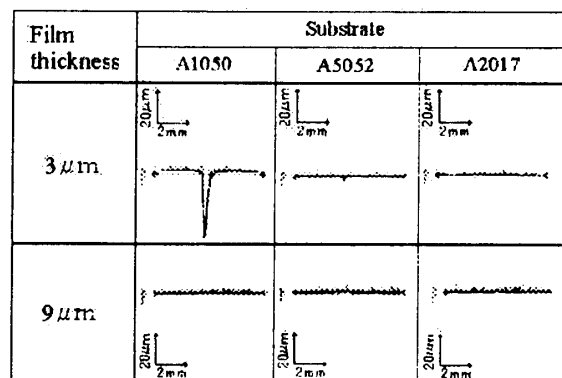


Fig. 4 Profiles of Wear scars.

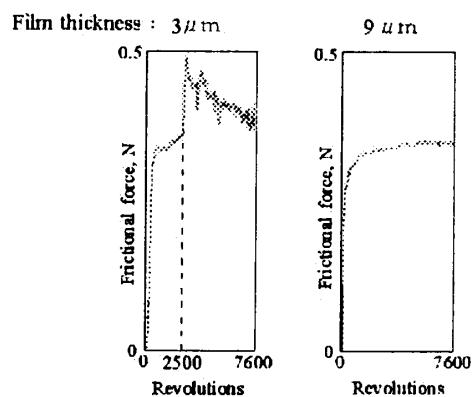


Fig. 5 Frictional force in ball on disc test.

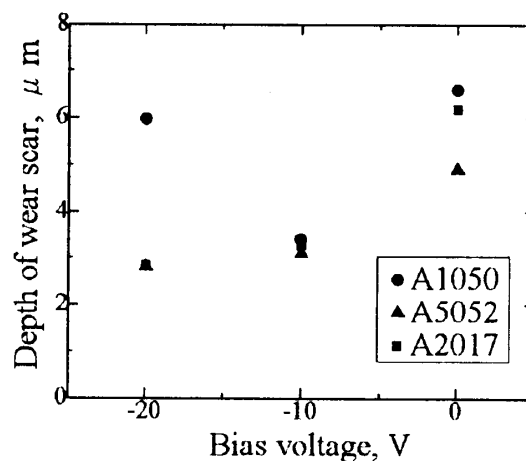


Fig. 6 Depth of waer scar.