

窒化チタン複合表面改質膜の結晶配向制御による耐摩耗性向上

加工技術課 岩坪 聡、富山県立大学 春山義夫、堀川教世、YKK(株) 河村新吾、石井淳哉

1. はじめに

切削工具や冷間加工の金型には、摩擦摩耗の低減による寿命の向上と製品の品質向上が求められている。例えば自動車用構造鋼板として主流となりつつある高張力鋼であるハイテン(高張力)鋼板の成形プレス用金型はまだ非常に短寿命であり、その寿命延長技術の開発が急務となっている。そのため、TiN に代表される硬質薄膜による表面改質処理の重要性は非常に高い。これまで、基材を窒化処理したものに窒化チタン被覆をする複合表面改質は、耐摩耗性を高めるための有効な方法であり、基材の窒化処理後に焼戻し処理をすることにより、顕著な耐摩耗性向上効果があることを明らかにしてきた^[1]。この表面改質技術の応用においては、膜の特性のみならず、基材となる材料との密着性や硬さの違いなど、膜と基材との様々な関係を明らかにしなければ、実用上の特性向上は見込めないことになる。そこで本研究では、窒化チタン複合表面改質膜の製膜方法やバイアス電圧等の製膜条件を改良して、被膜の緻密化と結晶配向を制御した膜を作製し、摩擦摩耗試験等による性能評価を行い、膜の磨耗特性に及ぼす影響因子を検討することで、優れた膜の条件を明確にした。

2. 実験方法及び結果

工具材料として良く使用されている合金工具鋼SKD61を鏡面研磨し、プラズマ光輝窒化処理装置とHCD型イオンプレーティング装置を用いてTiN膜を作製した。その後、水素雰囲気中で焼戻し処理を行い、イオンプレーティングでTiN被膜を形成した試験片を作製し、その特性を調べた。摺動試験はマイクロスラリージェットエロージョンMSE試験機と摩擦摩耗動試験機を用いて評価した。

窒化チタン複合表面改質材のクラッキングなどに対する膜寿命の延長を目指し、TiN膜の配向性の制御を試みた。膜成長過程を変化させるために、膜成長を一端切らす方向で基材を回転した状態で膜堆積するもの(C-coating)、基材への入射の方向を固定し、単に回転させて変化させて膜堆積するもの(N-coating)で膜を作製した。

作製した膜の配向性はX線回折にて分析した。C-coatingは(200)面の回折ピークが高いのに対し、N-coatingは細密面である(111)面の回折ピークが高いも

のが多く(111)面の(200)面に対する回折強度比 $R_{(111)/(200)}$ は、C-coatingでは0.1~0.7、N-coatingでは0.07~300の範囲で、粒子の入射方法によって膜の配向性制御が可能であることが分かった。

作製した膜の硬さをナノインデンテーション法にて、測定した。膜の塑性硬さを示すHVは2300~2600の範囲の値を示し、(111)面の多いものが少し硬くなる傾向があった。また、(200)面が多くなる膜では軽荷重で測定値がばらつく傾向があった。

作製した膜の摩耗試験の結果は、 $R_{(111)/(200)}$ が50以下ではマイクロチップングで摩耗が進行した後に、スクラッチングが発生して進行し、皮膜寿命に至った。一方、 $R_{(111)/(200)}$ が100以上の場合は、マイクロチップングのみで摩耗が進行して皮膜が消滅して膜寿命に至った。スクラッチングは、すべり方向に垂直に膜厚さ方向に発生したクラックが膜と基材との界面に沿ってすべり方向下流側に進展するもので、これが発生すると急速に膜が消滅することが分かった。これが発生していない構造が膜寿命の大幅な延長につながるということが分かった。

TiN膜の結晶構造はNaCl型の立方晶であるため(111)面がすべり面になり、(200)面が最も硬い面になることが予想される。しかし、硬さに関する実験結果はその逆の傾向を示した。硬さは歪みによる影響や膜構造の変化も受けるため結晶粒子の直接的な硬さ変化だけではなく、粒界などの膜表面構造自体が変化している可能性が考えられる。そこでEBSPにて、 $R_{(111)/(200)}$ の異なる膜表面粒子の配向性を観察した。その結果、 $R_{(111)/(200)}$ の大きな膜は、膜表面の結晶粒は1 μm 程度の径の大きさで、そのほとんど(111)方向であった。一方、 $R_{(111)/(200)}$ が小さな膜は(111)~(101)方向に配向している1.5 μm 程度の径結晶粒の中に、(200)に配向している大きな結晶粒が部分的に観察された。つまり、 $R_{(111)/(200)}$ が小さい膜は、局所的に膜内部方向にすべり面をもつ粒子が存在することになり、これがマイクロチップングを起点としてスクラッチングを発生させたと考えられることができる。このことから、膜表面に膜内部にすべりを誘導する(200)配向面をなるべく作製しないことが、安定な摺動特性を得るために不可欠であると考えられる。

(参考文献)

[1] 石井・春山・河村 etc, トライボロジスト, 54, 3, 209-216, (2009)