小特集 I. 切削工具における表面改質技術の現状(1)

イオン窒化における切削工具の現状

寺 門 一 佳*

Application of Ion-Nitriding for Cutting Tools

Katsuyoshi TERAKADO*

Key Words : Ion-Nitriding, Glow Discharge, Cutting Tool

イオン窒化は切削工具の寿命を延長させる有効な処理法の1つである。切削工具用材料をイオン窒化する場合の処理条件の留意点を示し、バイト、ドリル、ホブへの応用例を紹介する。

1. はじめに

炭素工具鋼(SK)や高速度工具鋼(ハイス:SKH)などの切削工具に対する表面改質処理は、古くから500~550°Cの水蒸気中で30~60 min加熱を行い、金属表面にサブミクロンの青黒色の Fe_3O_4 皮膜を生成させる酸化処理(ホモ処理)が多く用いられてきた。一方、イオン窒化(プラズマ窒化とも言う)や塩浴軟窒化、ガス窒化などの窒化処理は、500~600°Cの温度で鋼の表面に窒素を拡散させて30~50 μm の硬化層を形成する方法で表面硬さは1000~1300 Hvとなり、また摩擦係数も減少するため工具寿命を延ばす表面処理として活用されてきた¹⁾。

その中でイオン窒化は、減圧容器内に被処理物を陰極とし炉体を陽極として N_2 ガスを含む低圧ガス雰囲気(0.66~13.3 $\times 10^2$ Pa)中で両極間に300~1000 Vの電圧を印加し、直流のグロー放電を発生させて被処理物表面への N^+ イオンなどのイオン衝撃によるイオン注入や熱拡散により窒化する方法である。その窒化プロセスを図1に示すが、この処理方法は1960年代にドイツで最初に

実用化された技術で、日本では1970年代に基礎研究と実用化が開始され、無公害・省エネルギー処理として金型や切削工具および自動車部品などに広く普及している^{2),3)}。

しかし、近年、CVD(Chemical Vapor Deposi-

図1 イオン窒化プロセスのメカニズム概要

* 日立製作所 (〒312-8503 茨城県ひたちなか市高場 2520)
Hitachi Ltd. (2520, Takaba, Hitachi-naka-shi, Ibaraki
312-8503)

図2 イオン窒化処理した高速度工具鋼の断面硬さ分布

tion；化学蒸着法）やPVD(Physical Vapor Deposition；物理蒸着法)によりTiN, TiCNあるいは(Ti, Al)Nなどやそれらが複合した硬質皮膜が開発実用化され⁴⁾、上述した窒化処理に代わって切削工具の分野において広く適用されるようになってきたことから、イオン窒化処理の切削工具の利用は少なくなっている。ここでは、イオン窒化の切削工具への基礎研究と応用事例について概説し、また、最近イオン窒化とPVDとの複合処理が行われているが、その効果についても簡単に示す。

2. 高速度工具鋼のイオン窒化

窒素との親和力の強いCrなどの成分を多く含んでいる高速度工具鋼をイオン窒化すると、図2①に示すような表面硬さが1500 Hv以上の非常に硬い窒化層が得られる⁵⁾。しかし、一方で表面に化合物層と呼ばれる白層が生成し、衝撃力や高荷重がかかる切削工具に対してはチッピングや欠けを生じて工具寿命を低下させることがある。その対策としては、図2②のように処理時間を10～15 minに短縮したり、あるいは同図③のように硬さ分布を表面から内部に向かってゆるやかにすることが必要である⁶⁾。このためにはイオン窒化で使用する N_2 と H_2 のガス組成を考慮して

図3 イオン窒化処理したSKH 51の H_2 ガス中でグロー放電加熱による拡散処理後の断面硬さ分布

N_2 ガスの比率を低下させたり、図3に示すように、窒化後、ガス組成を H_2 あるいはArガスに切り替えて拡散処理を行うことにより、表面の化合物層の除去やなだらかな硬さ分布にすることが有効である⁷⁾。これらの対応によりイオン窒化処理された工具が、チッピングや欠けが無く寿命を延長することが確認されている⁸⁾。

3. イオン窒化工具の切削性

イオン窒化処理により切削工具へ適用し寿命向上を図っている実用化事例はあるが、実際はKnow Howのところが多いためにデータとしてはあまり公にされていない。そこで、学協会などでバイトやドリル、ホブなどの切削工具にイオン窒化処理を行い、無処理品と切削性を比較評価している内容について紹介する。

(1) イオン窒化処理温度の影響

高速度工具鋼(AISI-M2；SKH 51)のバイトにガス組成 $N_2:H_2=2:98$ 、ガス圧力 2.93×10^2 Pa、処理時間1 hの条件で処理温度を 400°C から 525°C の間で変化させてイオン窒化を行い、外径 $\phi 63.5$ mm、肉厚2.9 mmの低炭素鋼のパイプを連続切削し、処理温度の工具寿命への影響を調査

図4 イオン窒化処理温度の工具寿命への影響
(連続切削 $V=20$ m/min)

図5 イオン窒化したバ이트の切削速度と工具寿命
の関係
(断続切削 $f=0.067$ mm, $t=0.75$ mm, イ
オン窒化温度: 500°C)

した試験結果を図4に示す⁹⁾。工具寿命は、バ이트のフランク摩耗量が0.3mm以上となる切削時間としている。その結果、処理温度が 400°C では工具寿命が38minであるが、処理温度が上がるにつれて寿命は増加し、 500°C で64minの最大寿命となり 525°C では50minに低下する結果であった。この傾向は、処理温度を上げると窒化硬化層深さが増加することにより寿命も増加するが、 525°C になると硬化層深さが大きいために窒化層の靱性が低下して欠けが発生するものと推定される。なお、無処理のバ이트と比較すると、約2倍の長寿命化となる。

また、イオン窒化した工具には適切な切削条件があり、 500°C で処理したバ이트を用いて切削速度と工具寿命の関係を断続切削試験により調査した。その結果を図5に示すが、切削速度120m/minでは工具寿命は75000サイクルであるが、200m/minでは16000サイクルに低下することを示している⁹⁾。

(2) スローアウェイチップへの応用

高速度工具鋼SKH4のスローアウェイチップを用いてイオン窒化処理時間と逃げ面摩耗およびコーナー部摩耗の関係を検討した¹⁰⁾。窒化条件はガス組成 $\text{N}_2:\text{H}_2=1:50$ 、ガス圧力 2.66×10^2 Pa、処理温度 500°C で処理時間を5minから180minに変化させた。被加工材は難削材の1つであるSUS304($\phi 99$ mm)を用い、切削速度30m/min、送り速度0.2min/rev、切込み量1mmの切削条件で乾式の切削試験を行ったところ次のこ

とが分かった。

- ①イオン窒化による母材の表面粗さの変化は、ほとんど見られなかった。
- ②処理時間30minまでのチップは切削時間5min以内でいずれもコーナー部の欠損が生じて工具寿命となった。
- ③処理時間60minから180minまでのチップは、コーナー部の欠損もなく正常摩耗のまま5min間切削が続けられた。
- ④横逃げ面摩耗は処理時間が15min以上ではあまり差がないが、コーナー部の摩耗は60minおよび90min処理が最も少なく特に優れている。

(3) ドリルへの応用

高速度工具鋼SKH51の $\phi 6$ mmおよび $\phi 8.5$ mmのドリルに皮膜厚さ4~5 μm のTiN(PVD)コーティングと、イオン窒化を下地としてTiN(PVD)コーティングの複合処理を行い、穴あけ試験による寿命比較を行った¹¹⁾。イオン窒化条件はガス組成 $\text{N}_2:\text{H}_2=5:95$ 、ガス圧力 4.0×10^2 Pa、処理温度 505°C で処理時間を15minとし約20 μm の窒化層を形成した。ドリルの穴あけ深さ(貫通)は $\phi 6$ mmでは18mm、 $\phi 8.5$ mmでは25mmとし、刃先摩耗量が0.3mm以上で寿命と判断した。その結果を図6および図7に示すが、TiNコーティングしたドリルBは無処理品Aに比較していずれも1.4~1.7倍に寿命が延長している。一方、イオン窒化にTiNコー

図6 φ 6 mm ドリルの寿命比較

図7 φ 8.5 mm ドリルの寿命比較

図8 各表面処理を行ったホブの切削試験によるフランク摩耗量比較
 (回転数: 200 rev/min, $V = 54$ m/min, 送り速度: 0.8 mm/rev, 切削液: REZOL 21)

ティングしたドリルCの寿命は著しく増加し、TiN コーティング品と比較して2.5～3.5倍となり切削性がさらに向上することが分かる。この場合のイオン窒化は、TiN コーティング皮膜の鋼表面に対する付着性を改善するとともに、TiN 皮膜の下地硬さを増加させることにより刃先表面を傾斜構造とし、耐摩耗性のみでなく耐疲労性や耐衝撃性を向上させる役割があると考えられる。

(4) ホブへの応用

イオン窒化した高速度工具鋼(AISI-M 35;

SKH 55)のホブを用い、自動車用クランクシャフトギヤを被削材として切削試験を行った結果を図8に示す。その結果、イオン窒化を施したホブは無処理品に比較して約5倍の工具寿命を有することが分かる。また、イオン窒化品は、寿命後の再研磨品も無処理品に比較して約3.5倍の寿命向上となり工具の低コスト化にも大きく貢献できることを示している¹²⁾。

なお、同図にイオン窒化後にマグネトロンスパッタリングにより(Ti, Al)N皮膜を5.5～6

μm コーティングした複合処理を行ったホブの試験結果を示すが、イオン窒化品に比較してフランク摩耗をさらに1/2に低下させることが分かり、(Ti, Al)Nのような硬質皮膜処理は一層の工具寿命延長に効果があることが明らかである。この場合でも硬質皮膜処理の下地処理としてイオン窒化層は有効であることが窺えられる。

4. おわりに

切削工具へイオン窒化を適用する際のポイントと適用事例について述べたが、イオン窒化による切削性向上と工具寿命延長の効果は大きいことが分かる。しかし、近年 PVD による切削工具への実用化が著しく、その効果も大きいため、今後、イオン窒化単独での工具寿命改善は難しいことが予想される。

一方で、PVD による硬質皮膜のみでは母材との密着性の改善や表面構造体としての耐衝撃性、耐疲労性の改善が課題である。そこで適用事例でも紹介したように、今後イオン窒化は、PVD 皮膜との複合処理により切削工具刃先の新たな表面

改質構造開発に寄与することが多いに期待できる。

最後に、本稿を執筆するにあたり御協力をいただいたオーエスジー(株)村上様、日立ツール(株)岸本様に紙面をお借りして感謝申し上げます。

(2000-1-19 受理)

文 献

- 1) 原田和孝；ツールエンジニアリング, 9, 98 (1995)
- 2) 山中久彦；イオン窒化法(日刊工業新聞社, 1976)
- 3) 浦尾亮一；金属表面技術, 31, 17 (1980)
- 4) 表面技術協会編；PVD, CVD 皮膜の基礎と応用(槇書店, 1994)
- 5) 小林；金属材料, 15(7), 57 (1975)
- 6) 曾根 匠；ジョイテック, 5(8), 79 (1989)
- 7) 高瀬孝夫；鋳鍛造と熱処理, 5, 13 (1983)
- 8) 高瀬孝夫；熱処理, 19(4), 176 (1979)
- 9) M. A. Bejar and N. Vranjican；*Journal of Materials Processing Technology*, 35, 113 (1992)
- 10) 鈴木好明；島根県工業試験場研究報告, 16, 75 (1994)
- 11) 志津野嘉定(訳)；応用機械工学, 8, 170 (1989)
- 12) M. Zlatanovic and W. D. Munz；*Surface and Coating Technology*, 41, 17 (1990)