

N イオン注入による型寿命向上に関する研究

金沢憲一*

1. 緒言

加速されたイオンを材料に打ち込み、表層改質を行なういわゆる「イオン注入法」が近年材料表面研究の各分野で注目されている。本研究はこれを金型材料に応用するものである。現在産業界の種々の分野で使用されている被覆処理は、コーティング処理が主流である。しかし金型へのコーティング処理は、使用条件によっては処理層のはく離をまねくために一般的ではない。これに対して、イオン注入処理は処理層が薄く (0.1~1 μ m)、また下地との界面がないことから、苛酷な条件下でも型寿命が向上するのではないかと期待されている¹⁾。

2. 研究成果の概要

2.1 摩擦試験

実験に用いた型材料は W-Mo-V-Co 系の高速度鋼 (Co12%、以下 HSS と呼ぶ) とその高速度鋼の表面に TiN 膜を PVD 法でコーティングしたもの (以下 TiN-HSS と呼ぶ)、合金工具鋼 SKS3、炭素鋼 S55C の 4 種類である。これらの型材料の表面に窒素イオンを加速電圧 90kV、平均ビーム電流密度 4.98~7.70 $\times 10^{-2}$ A/m² で注入した。注入量は 5×10^{17} ions/cm² である。この注入量は型材料で一般的な値である。注入方向は注入面に垂直であり、注入後の熱処理等は行っていない。また、注入による表面の変化を調べやすくするために、高速度鋼以外については注入前の熱処理も行っていない。

これら 4 種類の型材料と成形材料との摩擦試験を行い、N イオン注入による摩擦力の変化を調べた。成形材料としては S45C 炭素鋼、純銅、純アルミニウム、塩化ビニル樹脂、アクリル樹脂を用意した。摩擦試験では図 1 に示すように旋盤を用い、回転する成形材料に対して型材料を押しつけ²⁾、そのときの摩擦力の変化を求めた。摩擦速度

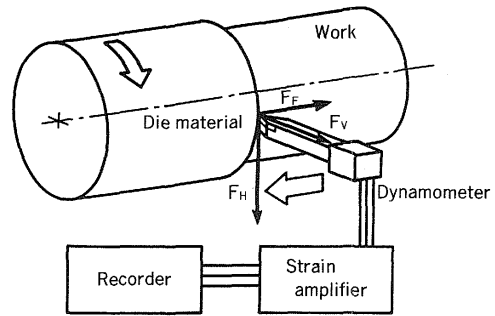


Fig.1 Test measuring frictional forces

は 1.7~8.3 m/s である。実際には成型材料の創製新面を型材料表面と接触させるためにわずかな切削を行っている状態になっている。

摩擦試験の結果を表 1 に示す。表中の HSS は高速度鋼を、TiN-HSS は TiN 膜をコーティングした高速度鋼である。○は N イオン注入により摩擦力が低下した場合であり、×は逆に摩擦力が増加したり、まったく効果が認められなかった場合である。型材料と成形材料の特定の組み合わせで効果が生じていることがわかる。ただし、生じる摩擦力の低下は最大でも 10~20% 程度であった。

次に N イオン注入した表面の摩耗特性を調べた。型材料は HSS および TiN-HSS、成形材料は S45C 炭素鋼である。摩擦力測定試験と同様な方法で、摩擦速度 1m/s で回転する成形材料に対して型材料の表面を押しつけ、N イオン注入面の摩耗深さを測定した。

摩耗試験の結果を図 2 に示す。△は注入前の HSS、▲は N イオン注入後の HSS、○は注入前の TiN-HSS、●は N イオン注入後の TiN-HSS である。HSS、TiN-HSS のいずれにおいても摩耗の減少がみられ、とくに TiN-HSS においては顕著である。表 1 からわかる

Table 1 Result of test measuring frictional forces

Die material	Shape	Work material				
		S45C Steel	Pure Copper	Pure Aluminum	Polyvinyl chloride resin	Acrylic resin
HSS	Square pole	×	○	×	×	×
	Triangle pole	×	×	○	○	×
TiN-HSS	Square pole	○	○	×	×	×
	Triangle pole	○	×	×	○	×
SKS3	Square pole	×	×	×	×	×
S55C	Square pole	×	○	×	×	○

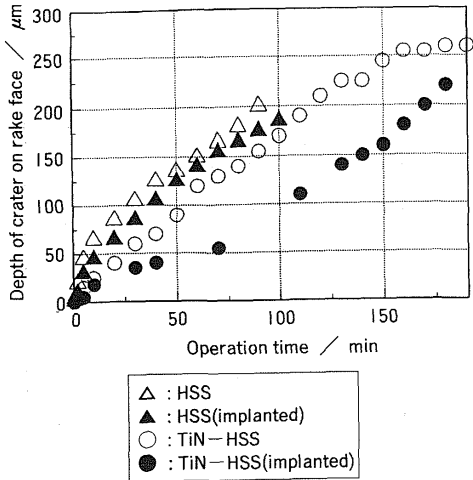


Fig.2 Wear on N-ion implanted HSS and TiN-HSS

ように HSS と S45C 炭素鋼との組み合わせでは摩耗力に変化がなかったが、摩耗に対する抵抗力は増加したことになる。また、摩耗が注入層厚さよりも深い領域まで進行しても効果が消失しなかったことは注目すべき点である。これは HSS、TiN-HSS の注入層が簡単に摩滅しないようなものであるだけでなく、摩耗が進行する過程で、高い摩擦温度が注入された N イオンをより深い部分まで拡散させたからであると考えられる。

2.2 表面分析

N イオン注入層の組成を調べるためにオージェ電子分光法 (AES) による深さ方向の元素濃度分析を行った。分析した型材料は HSS と TiN-HSS であり、それぞれ注入前と注入後の分析を行い比較した。

図 3 に HSS の分析結果を、図 4 に TiN-HSS の分析結果を示す。HSS に注入された N イオンは内部にピークをもつ近似的なガウス分布形状をしており、表面付近で高い濃度の Fe が注入により大きく減少していることがわかった。また Fe とは逆に、内部まで均一で低濃度であった

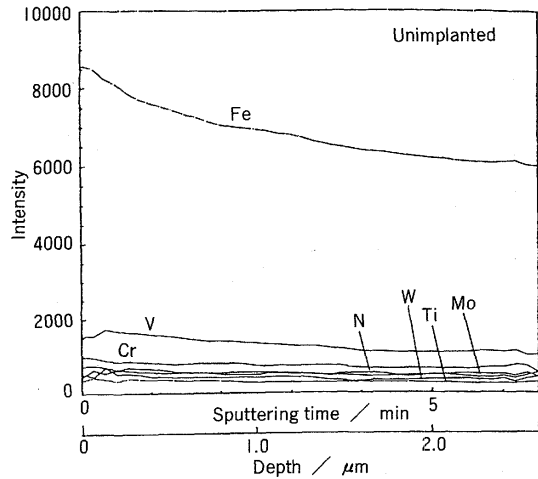
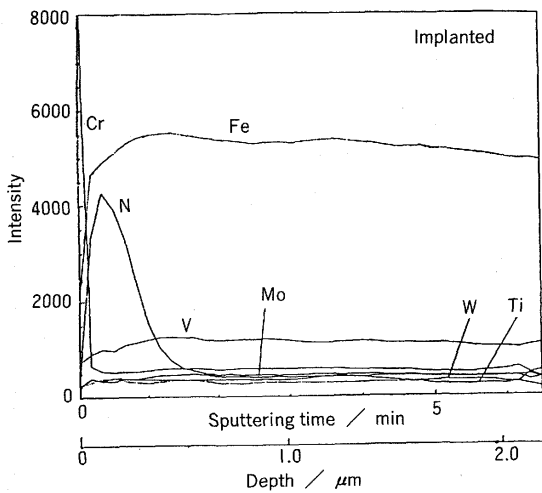


Fig.3 AES depth profiles of N-ion implanted HSS

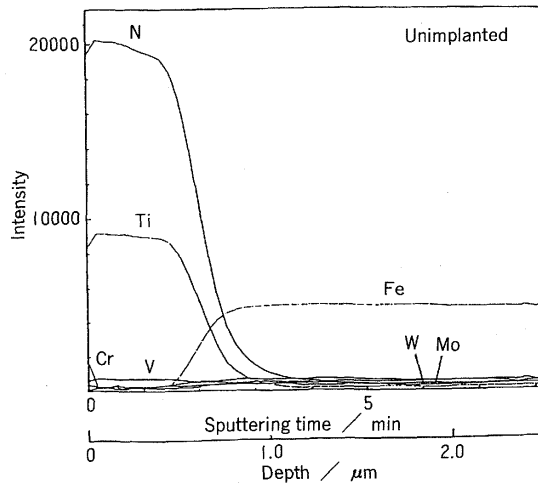
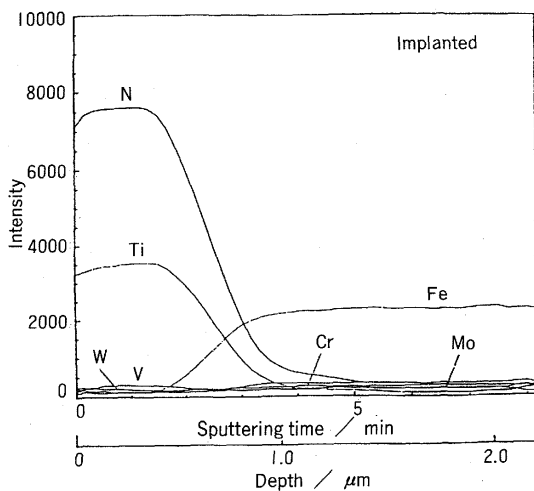


Fig.4 AES depth profiles of N-ion implanted TiN-HSS

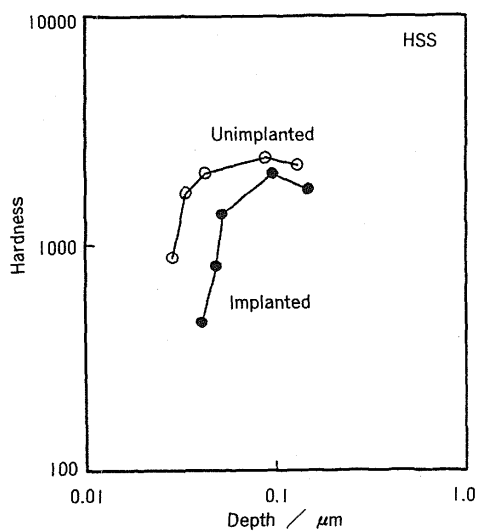


Fig. 5 Hardness of N-ion implanted HSS

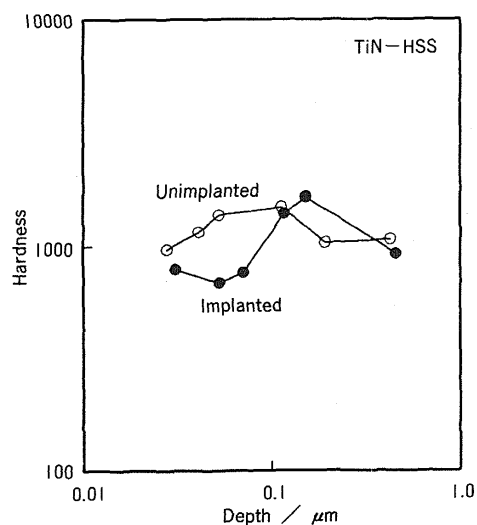


Fig. 6 Hardness of N-ion implanted TiN-HSS

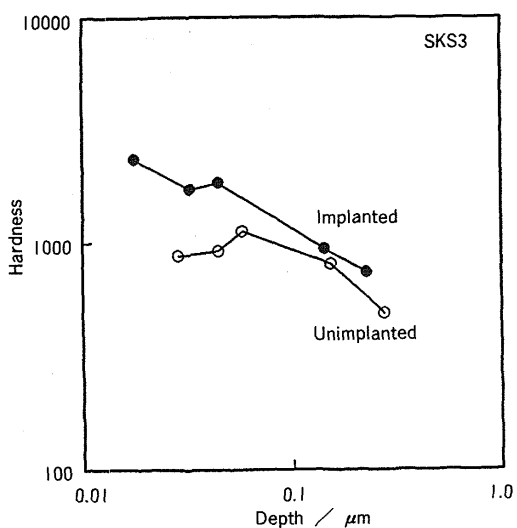


Fig. 7 Hardness of N-ion implanted SKS3

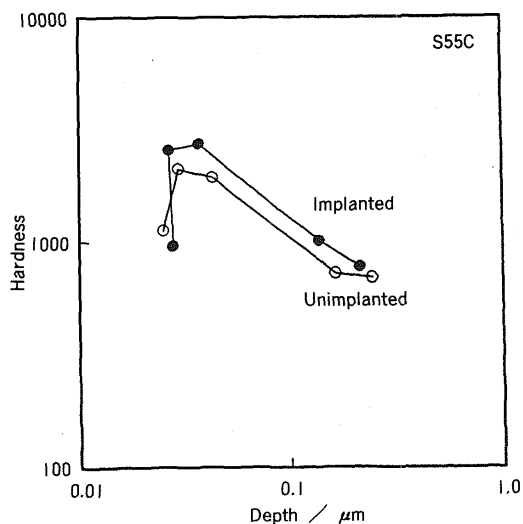


Fig. 8 Hardness of N-ion implanted S55C

Crが注入により表面付近で高い濃度を示した。なお、このNの分布のピーク位置およびNが検出されなくなる位置は、それぞれ表面から $0.11\mu\text{m}$ 、 $0.68\mu\text{m}$ の深さである。

TiN-HSSの場合は、Nイオンの注入によりNおよびTiのピークが内部に移動しており、またTiNコーティング膜と下地のHSSとの界面でNがより深い部分まで検出された。注入層の深さ方向元素濃度分布は2次イオン質量分析法でも測定したがほぼ同様の結果を得た。

Nイオン注入による表面層の硬度変化を調べるために、くぼみ深さ測定方式の超微小硬度計³⁾を用いて深さ方向の硬度分析を求めた。分析した型材料はHSS、TiN-HSS、SKS3、S55Cであり、それぞれ注入前と注入後の試験を行った。

図5～図8にそれぞれの深さ方向の硬度分布を示す。硬度はすべて押し込み荷重負荷時の硬度である。それぞれ○は注入前の、●は注入後の硬度を示している。HSSとTiN-HSSはNイオン注入により硬度が低下し、SKS3は上昇した。S55Cはほとんど変化しなかった。

また、図9～図12にそれぞれの深さ方向の弾性変形率(弾性変形の割合)の変化を示す。HSSとTiN-HSSについては、Nイオンの注入により弾性変形率が減少していることが分かった。HSSとTiN-HSS以外の他の材料についてはすべてNイオン注入により弾性変形率が増加し、塑性変形しにくい強固な注入層を形成していることがわかった。

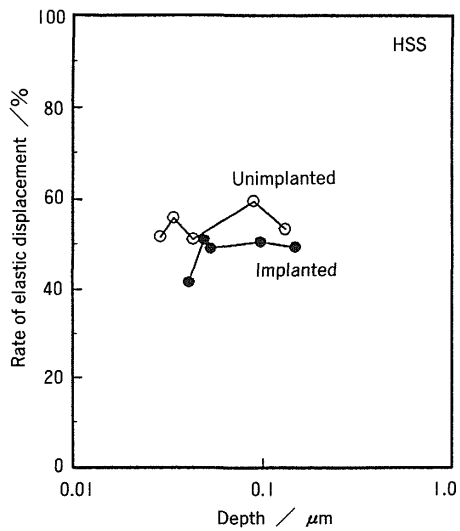


Fig. 9 Rate of elastic displacement on N-ion implanted HSS

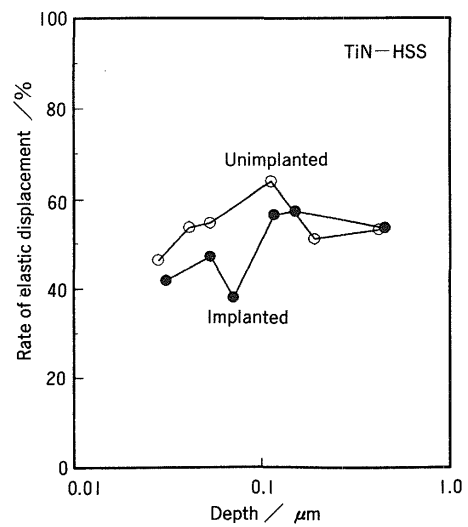


Fig. 10 Rate of elastic displacement on N-ion implanted TiN-HSS

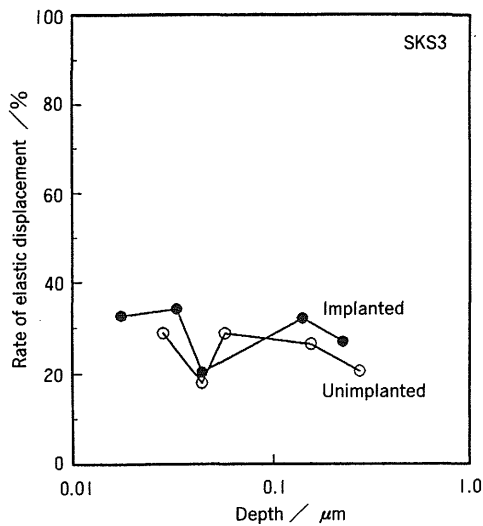


Fig. 11 Rate of elastic displacement on N-ion implanted SKS3

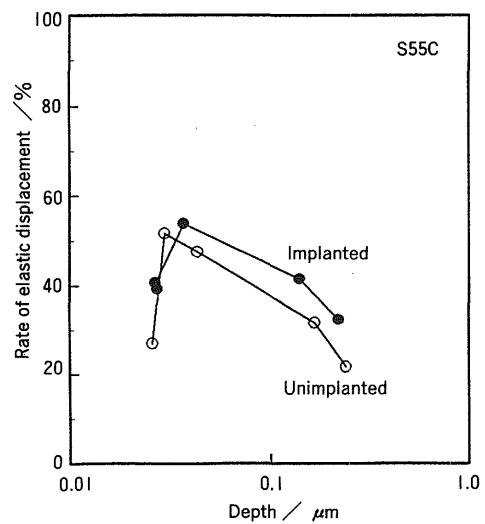


Fig. 12 Rate of elastic displacement on N-ion implanted S55C

謝辞

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団からの奨励研究助成金により行われたものであります。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 金沢憲一；イオン注入表層改質技術、P212、(吉田清太監修、サイエンスフォーラム社、1987)
- 2) 金沢憲一、千々岩健児；表面技術、39,603 (1988)
- 3) 金沢憲一、河野彰夫、佐田登志夫、田代良雄；精密機械、53,1626 (1987)