

# スラリー・エロージョンを用いた窒化処理鋼材の極表層の表面強さ評価

Evaluation of surface strength in superficial layer of nitriding steel using slurry erosion

富山県立大・院（学）\*越前 拓也 富山県立大・工（正）宮島 敏郎

YKK（非）高崎 瑛司 YKK（非）里見 大地 YKK（正）見角 裕子

Takuya Echizen\*, Toshiro Miyajima\*, Eiji Takasaki\*\*, Daichi Satomi\*\*, Hiroko Mikado\*\*

\*Toyama Prefectural University, \*\*YKK Corporation

## 1. 緒言

近年、製品の高強度化や薄肉化に伴い、金型への負荷が大きくなっており、そのため、金型摩耗の問題がより深刻になっている。そこで、耐摩耗性を向上させるために、鋼材に様々な窒化処理<sup>1)</sup>が行われている。窒化処理鋼材の表面強さ評価手法として、スクラッチ試験や様々な硬さ試験などがある。しかし、窒化処理技術の高度化に伴い、硬さと実際の金型寿命が合わないことや、窒化処理条件を変更しても硬さに差が現れない問題が出ている。そのため、新たな表面強さ評価手法が求められている。そこで、著者らの研究室では、新たな表面強さ評価法として、マイクロ・スラリージェット・エロージョン（MSE）法<sup>2)</sup>の研究を進めている。特に、MSE 法に関する研究の中でも、研究室独自で大粒子を用いたスラリー・エロージョン評価法を進め、様々な材料に適用して評価している<sup>3)</sup>。

そこで、本研究では、大粒子を用いたスラリー・エロージョン評価法を窒化処理鋼材に適用し、その表面強さを評価した。今回評価対象とした窒化処理鋼材の場合、表面に黒色部と白色部が混在し、また、凹凸形状が形成されている。そのため、黒色部と白色部による表面強さの違いと、凹凸形状に伴う黒色部および白色部の頂部と底部による表面強さの違いについて評価した。

## 2. 供試材料

試験には、大きさ  $20 \times 10$  mm、厚さ 4 mm の窒化処理鋼材を使用した。Figure 1 に 3D 測定レーザー顕微鏡（エビデント製、OLS-5000）を用いて撮影したカラー画像を示す。図中の青枠を黒色部、薄い青枠を白色部として試験を行った。Figure 2 に、3D 測定レーザー顕微鏡を用いて、黒色部と白色部の中央部を拡大観察したカラー画像と高さ情報画像、および断面形状曲線を示す。また、マイクロSCOPE（キーエンス製、VHX-1）を用いて撮影した断面組織の画像の一例を Fig. 3 に示す。極表層には化合物層が存在し、頂部（Fig. 3 の黒枠）では約  $20 \mu\text{m}$ 、底部（Fig. 3 の赤枠）では約  $15 \mu\text{m}$  の厚さである。このことから、頂部の化合物層は、底部に比べて厚いことがわかる。そこで、試験は Fig. 2 の黒色部と白色部の頂部（黒丸、灰丸）と、底部（赤丸、桃丸）に着目して行った。

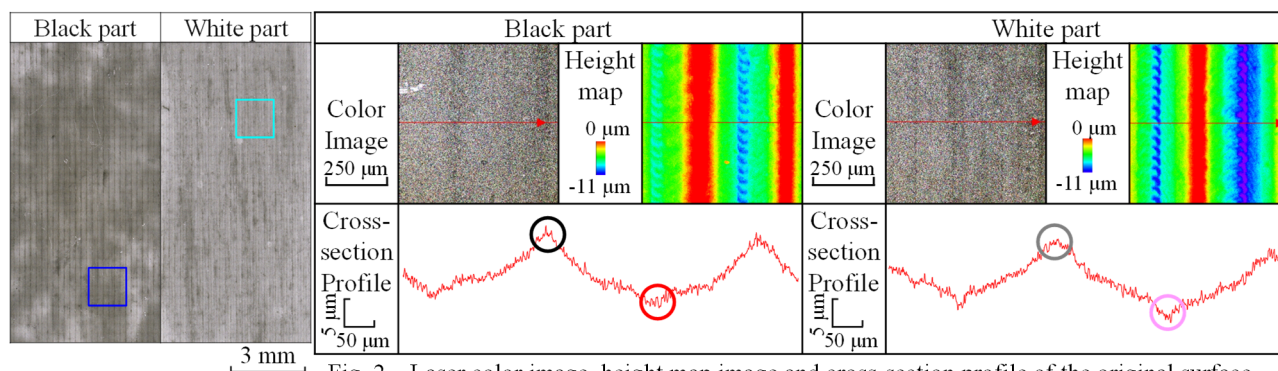


Fig.1 Laser color image of the original surface

Fig. 2 Laser color image, height map image and cross-section profile of the original surface

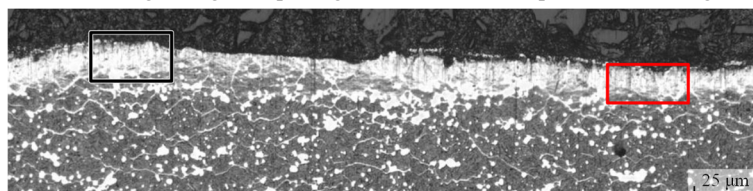


Fig. 3 Microscope image of cross-section surface

## 3. 試験機および試験方法

試験機は、大粒子投射型微粒子エロージョン試験機<sup>3)</sup>（ノズル断面形状  $3 \times 3$  mm、投射距離 10 mm、投射角度  $90^\circ$ ）を用いた。投射粒子には、平均粒子径  $100 \mu\text{m}$  の球形アルミナ粒子（TB-01）を用いて純水と混合し、スラリー濃度は 3 mass% とした。試験条件はスラリー流量を 700 mL/min、エア流量を 40 L/min とした。粒子は 2.5 g 投射まで 0.5 g ずつ投射を行った。その投射ごとに、マイクロSCOPEで投射表面の撮影と 3D 測定レーザー顕微鏡による投射面の測定、2 次元触針式粗さ計（東京精密製、SURFCOM NEX 001 SD-12）で投射中心部の断面形状の測定を行った。

## 4. 試験結果および考察

### 4.1 投射粒子量によるエロージョン面の変化

3D 測定レーザー顕微鏡を用いて、投射ごとに黒色部と白色部のエロージョン面を測定した。投射前の表面、および 0.5 g と 1.0 g 投射後のエロージョン面を拡大して測定した、カラー画像、および高さ情報画像と断面形状曲線を Fig. 4 に示す。黒色部の場合、投射前の表面において形成されていた頂部と底部は、0.5 g 投射において、エロージョンにより一部見えなくなり平坦化される。その後、1.0 g 投射において、再び、頂部と底部形状が見えるようになった。一方、白色部の場合、投射前の表面に形成されていた頂部と底部は、その後の投射においても、エロージョンされながら維持されることがわかった。このことから、黒色部の極表層には、エロージョンに対して弱い層があると考えられる。

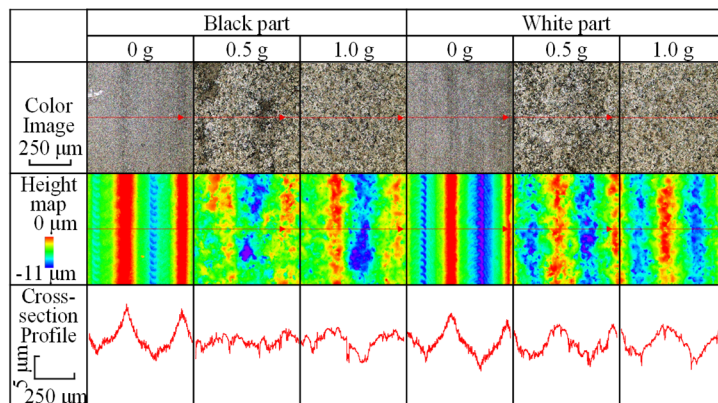


Fig. 4 Laser color image, height map image and cross-section profile of the original and eroded surface

### 4.2 エロージョン深さと投射粒子量の関係からの表面強さ評価

2 次元触針式粗さ計を用いて、投射ごとに黒色部と白色部のエロージョン深さを測定した。エロージョン深さと投射粒子量の間を Fig. 5 に示す。投射前から 0.5 g 投射までの極表層では、黒色部と白色部両方において、エロージョンが急激に進行する。その後、黒色部の頂部では 1.0 g 投射から 2.5 g 投射、黒色部の底部では 1.5 g 投射から 2.5 g 投射、白色部の頂部と底部では 0.5 g 投射から 2.5 g 投射まで、エロージョンがほぼ一定に緩やかに推移した。このことから、極表層には、黒色部・白色部ともに弱い層が存在し、その厚さは黒色部の方が厚いと考えられる。

そこで、極表層とその層より深いところ（以下、内部）について、エロージョン深さと投射粒子量の間を Fig. 6 に示す。極表層（(a)参照）では、黒色部のエロージョン率は白色部よりも高いことから、黒色部に弱い層があるとわかる。また、極表層での頂部のエロージョン率は、底部よりも高いことから、頂部に、より弱い層があるとわかる。一方、内部（(b)参照）では、黒色部と白色部、頂部と底部によらず、エロージョン率はほぼ一定で低いことから、均一な層であるとわかる。

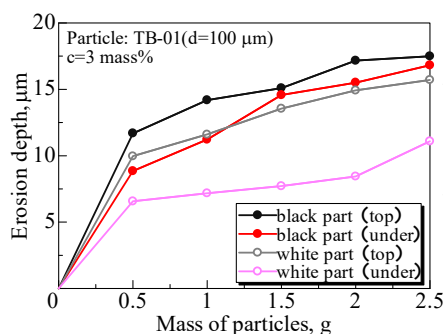
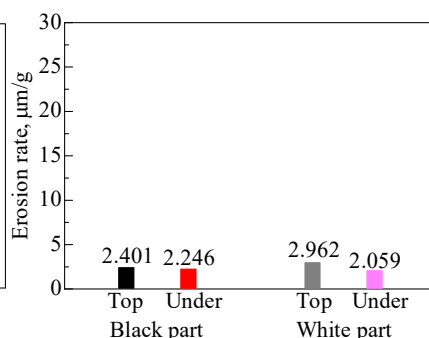
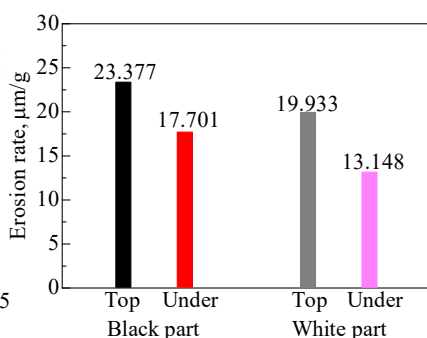


Fig. 5 Relationships between mass of particles and erosion depth of specimens



(a) Top surface

(b) Inner

Fig. 6 Relationships between projection area and erosion rate of specimens

## 5. 黒色部と白色部の表面強さの違いについて

これまでの結果を総合すると、黒色部では、白色部に比べて極表層に弱い層が厚く存在していること、また、その弱い層は表面形状に依存し、頂部の方が底部よりも弱い層であることがわかった。

## 6. 結言

- (1) 本評価のスラリー・エロージョン手法により、窒化処理鋼材の黒色部と白色部の極表層に弱い層があること、また、その弱い層について、黒色部の方が白色部よりも厚いことを明らかにした。
- (2) 窒化処理鋼材の極表層について、頂部では、底部よりも弱い層が形成されることを明らかにした。

## 文献

- 1) 日本熱処理技術協会：熱処理ガイドブック，大河出版（2002）161-165.
- 2) 例えば，岩井・松原・平井・春日井：硬質薄膜の摩耗特性評価のためのマイクロスラリージェットエロージョン（MSE）試験法とその装置の開発，日本機械学会論文集（C編），第74巻，第739号（2008）218-224.
- 3) 例えば，岡田・宮島・南条・新田：金型用硬質薄膜被覆材のMSE法による表面強さ評価—基材に施された異なるショットピーニング処理条件の影響—，トライボロジー会議2022秋 福井 予稿集（2022）C15.