

石炭灰を応用した打抜き加工用パンチの長寿命化技術の開発

高速粒子投射によるダイス鋼の耐摩耗性向上に関する基礎的研究

名城大学理工学部材料機能工学科

宇佐美 初彦

(平成 16 年度研究課題 AF-2004021)

キーワード：微粒子投射、石炭灰、耐焼付性、摩擦摩耗、表面改質

1. はじめに

摩擦摩耗等による表面損傷を軽減する手段として、材料表面の特性を改善する表面改質技術が古くから提案され、実用化されてきた¹⁾。具体的には浸炭や窒化等の拡散処理による表面の傾斜機能化および鍍金や蒸着処理等の被膜技術がこれに該当する。

表面改質技術の中でも、微粒子の高速投射による方法では、衝突により表面近傍が硬質化されるだけでなく、微細な凹凸が形成される。この結果、潤滑油が十分に供給されにくい条件での摩擦摩耗特性の改善に有効であることが報告されている²⁾。一方、最近の投射技術の改善により数 μm の微粒子が数百 m/sec で投射可能となり³⁾、新しい表面特性を付与できる可能性がある。

しかし、投射処理条件に関して、その改質機構や投射材の材種と改質効果に関して系統的に検討された結果は少ないのが現状である⁴⁾。筆者らはこれまでに炭化ケイ素 (GC)、アルミナ (WA) 砥粒を投射材として、鉄系合金の表面改質を実施し、これらの角状粒子投射処理も摩擦摩耗の低減に有効であることを確認した⁵⁾。一方、これまで適用されていなかった粉体を投射することによって、より優れた改質効果の発現も十分期待される。

本研究では、打ち抜き用パンチ材の一つであるダイス鋼 (SKD11) に各種微粒子を投射し投射粒子の種類と摩擦摩耗特性の関係を評価した。この中で、新規粉体として石炭灰および炭化タングステン (WC) 粒子に着目しその改質機構を検討し、パンチ材の表面処理手法としての適用可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 表面改質方法

投射材には粒径の異なる WC、FO および石炭灰 (Fly ash)、石英 (SiO_2) を用いた。FO はガラス用研磨材であり、その主成分はシリカ (SiO_2)、アルミナ (Al_2O_3) およびムライト ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) である。石炭灰は、火力発電所から排出される粉塵であり、その組成は FO と同様であるが、若干の CaO を含む。それぞれの粒子の SEM 像を図 1 および 2 に示す。粒子の形状は、 SiO_2 と FO が角状であるのに対し、WC 粒子と石炭灰粒子は球状である。今回、WC 粒

子に着目したのは、比重が大きく、凹凸の激しい表面の生成を期待するためである。

これらの投射材はプラストエロージョン装置 (不二製作所 (株) 製: ニューマブラスター-DPV-1) を用いて乾燥空気をキャリアガスとして直径 1.2 mm のノズルより 0.3 ~ 0.6 MPa の圧力で試験片表面に直角方向から投射した。投射時の粒子流量は約 20 g/min である。

供試材にはダイス鋼 SKD11 を用いた。素材を $\phi 55 \times t 10$ mm のディスク状に加工し、一端面に鏡面仕上げを施した後、各種粒子を投射した。

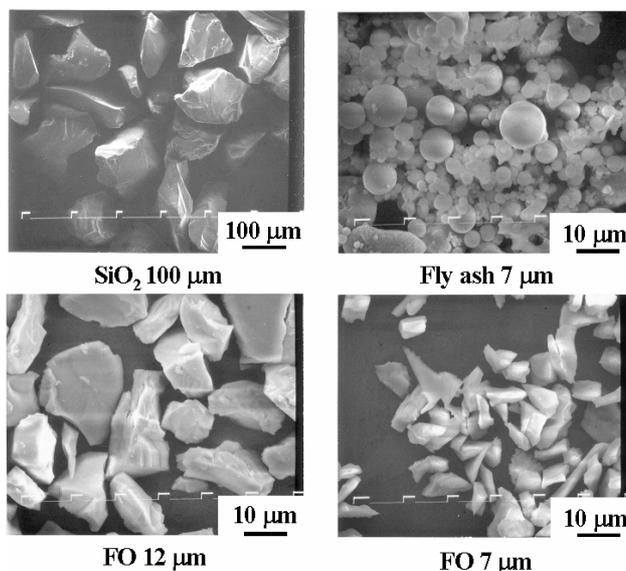


図 1 投射粒子の SEM 像

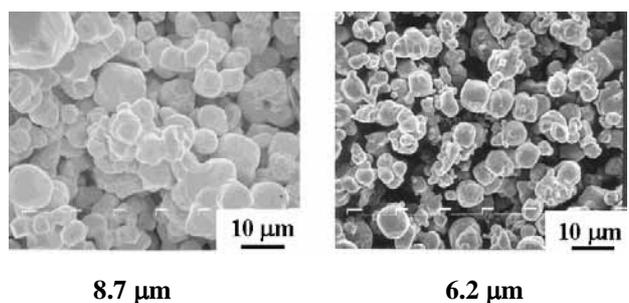


図 2 投射 WC 粒子の SEM 像

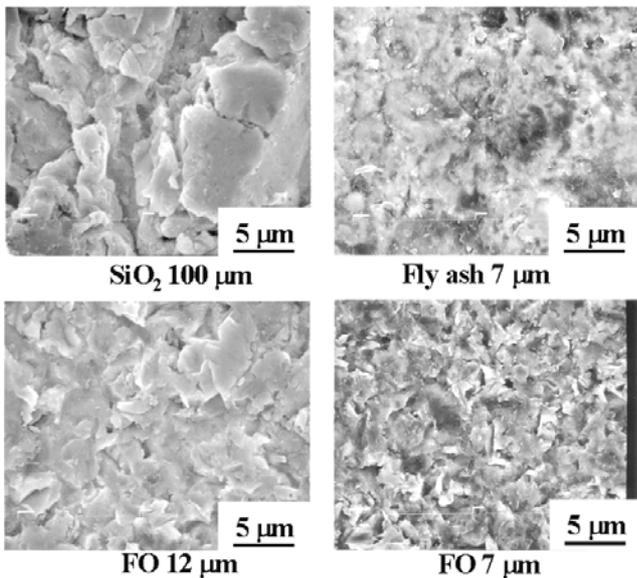


図3 粒子投射されたSKD11材のSEM像

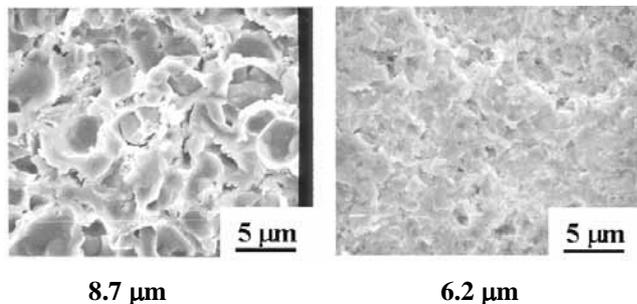


図4 WC粒子が投射されたSKD11材のSEM像

粒子投射によって改質された表面のSEM像を図3および4に示す。角状粒子(石英、FO)を投射した表面では、鱗を重ね合わせたような表面形状を呈し、凹凸の間隔は投射粒子径に対応しているようである。一方、石炭灰を投射した場合、2μm程度のくぼみ(クレータ)が形成される。WC粒子投射面では、石炭灰投射面に比して凹凸が激しい。この場合、クレータの底部にはWC粒子が埋没していることも確認された。

表1 粒子投射処理面の表面あらさ(Ra)

Material	Silica	FO	Fly-ash
Diameter, μm	100	12	7
Roughness, μm	3.0	1.36	0.88
Material	WC (Tungsten carbide)		
Diameter, μm	8.7	6.2	5.0
Roughness, μm	0.48	0.92	0.48

触針式あらさ計で測定された処理表面の表面あらさ(Ra)を表1に示す。石英を除き、いずれの条件でもあらさと投射粒子径の比は1/10程度である。石英の場合に

は、約1/30であり、投射粒子系に比して比較的小さい凹凸が形成された。

2.2 摩擦実験

摩擦摩耗特性はボール・オン・ディスク型の摩擦試験機で評価した。相手材はSUJ2球φ9.5mm、潤滑材にタービン油を使用し、温度22~28℃、相対湿度55~65%の雰囲気下で実験を行った。実験条件は、垂直荷重29.4N、すべり速度0.5m/sである。潤滑油が枯渇した、いわゆる焼付に至る過程を模擬することを意図して、タービン油を実験直前に0.5mg滴下するのみで以後、供給しない状態で実施した。したがって、潤滑油は実験の進行とともに消費される。実験中の摩擦係数を0.1sec(10Hz)の間隔でADコンバータを介してパーソナルコンピュータに記録した。摩擦係数が0.3に達した時点で焼付が発生したものと判断し、速やかにボールとディスクの接触を切り離し実験を終了した。焼付発生から実験終了までの時間は1sec程度であり、測定値に焼付後の状態が影響しないように配慮した。

3. 実験結果

3.1 硬さ分布

投射処理を施した試験片を切断し深さ方向の硬さ分布を測定した。その結果が図5である。未処理材では、硬さの分布は深さ方向に対して一定である。粒子投射処理を施すことによって、投射面近傍の硬さは増大する。石英砥粒投射面では、硬質化が比較的深い領域(20μm程度)まで及んでいる。表面が最も硬質化されたのは、WC粒子(8.7μm)投射面であり、基材に比して60%以上に達しているが、その領域は表面近傍(10μm以下)に限定される。

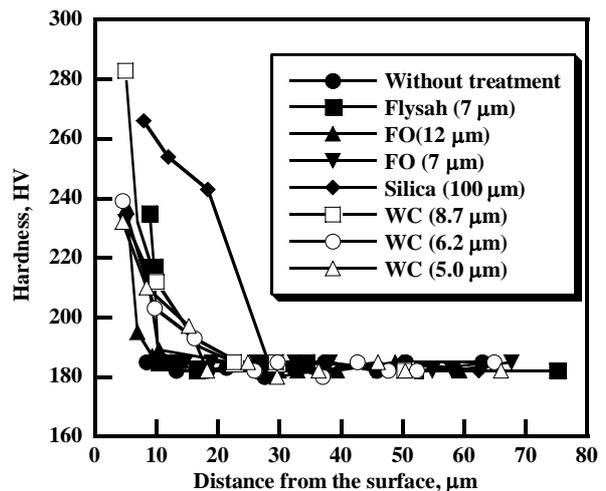


図5 投射処理面の内部方向の硬さ分布

表面の硬質化は粒子衝突による残留応力の発生に起因することから、比重や大きさによって粒子1個当りの衝突

エネルギーは増大する。また、衝突面積は粒子の大きさに依存するので大きな粒子ほど内部にまで衝突の影響が及ぶ。以上から、粒子径の大きい石英粒子では、比較的深い領域まで硬質化され、比重の大きい WC 粒子では、表面が局部的に硬質化されたと判断される。一方、石炭灰や FO 研磨材では、粒子径が小さく比重が軽いので WC 粒子や石英砥粒に比して硬質化の効果は小さい。

3.2 摩擦特性

石英砥粒、石炭灰、および FO 研磨材を投射した表面の摩擦係数の変化を図 6 に示す。未処理の試験片では、摩擦係数は実験開始直後から急増し続け、50 m 程度の摩擦距離で焼付きが生じた。粒子投射処理によって、焼付きに至るまでの摩擦距離は増加するが、その挙動は粒子によって全く異なる。石英砥粒投射面の摩擦係数は、摩擦距離の増加に伴い一様に上昇しつづけ、一旦 800m 付近で急増するものの低下し、再度上昇する。最終的には摩擦距離 1900m で焼付きに至った。FO 研磨材処理面では実験開始直後から摩擦係数は高く、短い摩擦距離で焼付きに至る。これに対して石炭灰処理面の場合、1000 m 摩擦した後でも約 0.15 の低い摩擦係数が維持され、他の処理面と比べや焼付きに至る直前の摩擦係数の増加も緩やかである。

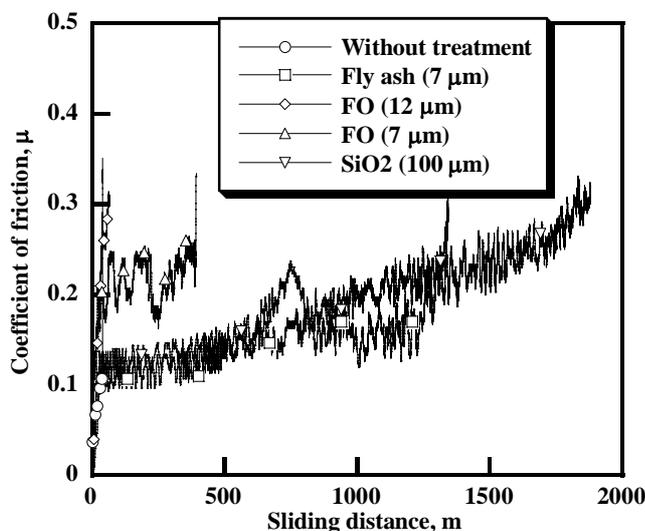


図 6 摩擦係数の測定結果

WC 粒子投射面の結果が図 7 である。WC 粒子の場合、投射による耐焼付き性の改善は全く見られず、いずれの場合も摩擦距離は未処理面と変わらない。以上から、石炭灰の粒子投射処理面では、焼付きに至るまでの摩擦係数は小さく、摩擦距離も同程度の投射粒子径での結果に比して大幅に改善されることがわかった。

3.3 摩耗特性

相手材 (SUJ2 球) の比摩耗量が図 8 である。比摩耗量

は実験前後の摩擦面の形状を測定し体積摩耗量から算出した結果である。焼付き発生直後に実験を終了しているため、測定結果は概ね焼付き直前までの結果を反映しているものと判断した。WC 粒子の結果を除き、投射処理によって相手材の摩耗は減少している。特に石炭灰投射面でその効果は顕著であり、未処理材に比して比摩耗量は 1/100 以下に減少している。

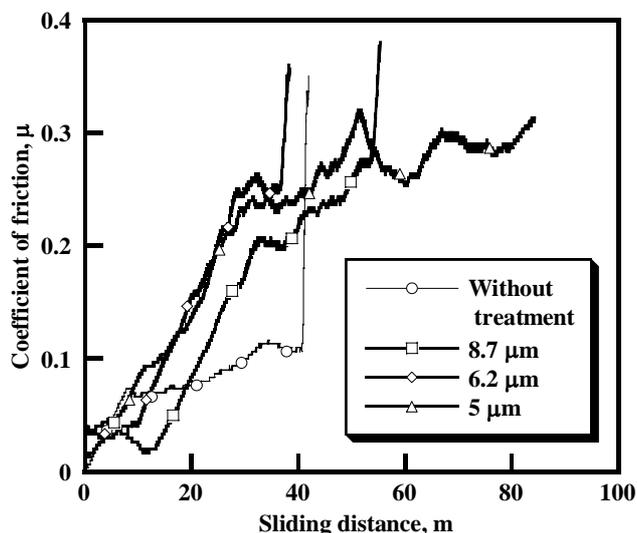


図 7 WC 粒子投射面の摩擦係数

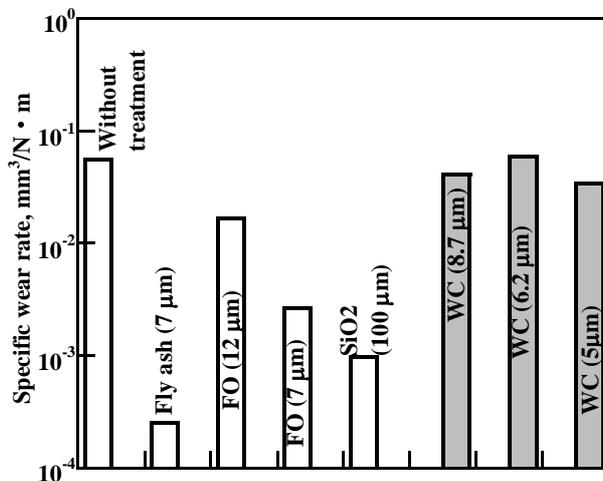


図 8 相手材 (SUJ2) の摩耗量

4. 考察

摩擦摩耗実験の結果より、石炭灰の投射によって改質された SKD11 材は摩擦係数が小さいだけでなく、相手材の摩耗を抑制する効果も確認できた。図 9 は焼付きに至る前の摩擦係数の平均値と相手材 (SUJ2 球) の比摩耗量の関係である。同図には各種粒径の WA (アルミナ) および GC (炭化ケイ素) 砥粒を投射した結果も併記した⁵⁾。

図示のごとく、摩擦係数の増加に対して相手材の摩耗量は一様に増加する傾向にある。これは、焼付き前の接触状態

が境界潤滑状態であることを考慮すれば、石炭灰処理面の場合、固体接触面積の割合が小さいか、あるいは固体接触部の摩擦が小さいことになる。表面あらかの小さい場合、油溜りとして機能する微小凹凸が小さくなり、結果として固体接触面積は減少する。表面あらかを比較すると、石炭灰の結果はWC粒子やFO研磨材の場合と同程度であることから、石炭灰処理面は摩擦を低減する効果を有すると考えられる。

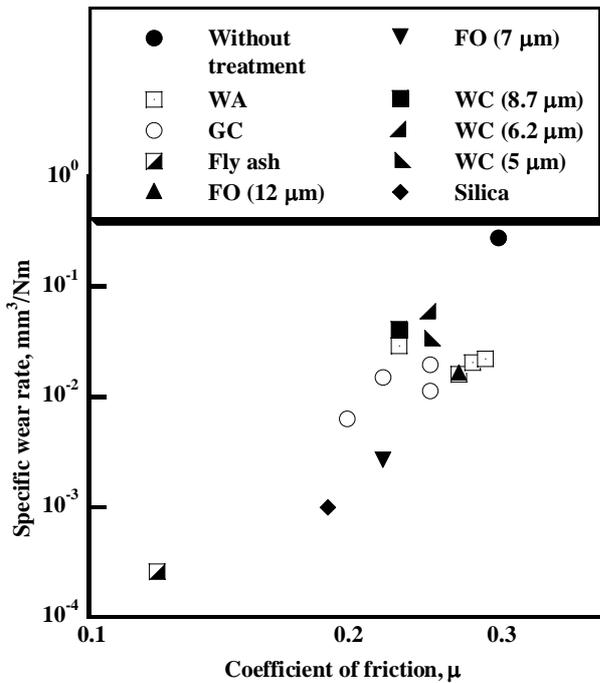


図9 摩擦係数と相手材 (SUJ2) の摩耗量の関係

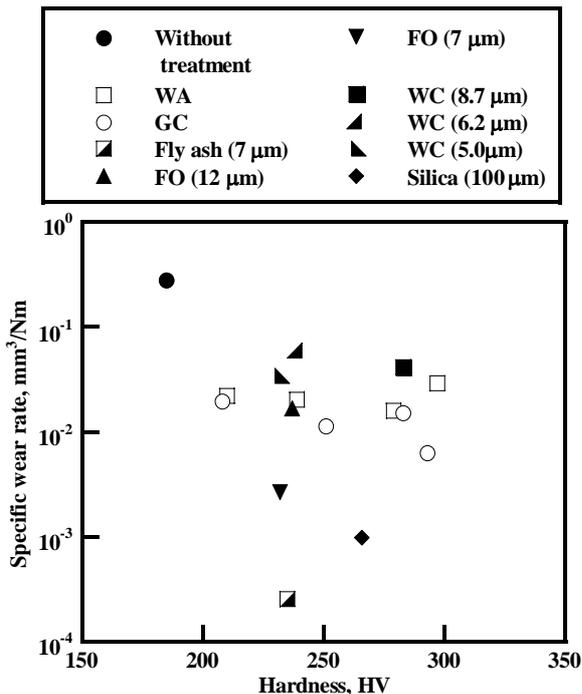


図10 投射処理面の硬さと相手材 (SUJ2) の摩耗量
 粒子投射によって表面および表面下部が硬質化される。処理表面の硬さとSUJ2球の比摩耗量の関係が図10である。図示のごとく、処理表面の硬質化による相手材の摩耗の増加はみられない。同一硬さで比較しても石炭灰処理面は他に比して相手材の摩耗を抑制する。このことから石炭灰投射によって、その一部がSKD11上に転写され、これが固体潤滑機能を有する可能性は十分大きい。

5. まとめ

ダイス鋼 (SKD11) 材に各種微粒子を用い、その高速投射による表面改質効果を摩擦摩耗特性および硬さ試験の結果から検討した。その結果、石炭灰粒子 (Fly-ash 7 μm) を投射材として使用することによって、摩擦係数の低減、耐焼付性の向上および相手材 (SUJ2) の摩耗抑制の効果を確認した。

以上から、打ち抜き用パンチに粒子投射処理を施すことによって、その寿命を改善できる可能性が示唆された。また、同手法を軟質金属 (Ti) に適用することによって、投射した金属粒子 (Cu) の被膜を形成することにも成功した。これは、粒子衝突による Ti 表面の温度上昇による拡散が影響しているものと考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、(財)天田金属加工機械技術振興財団により研究助成 (課題番号 AF-2004021) を賜りました。ここに記し深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小川 喜代一: 金属の潤滑摩耗とその他対策, (1977) 1-14
- 2) 加賀谷 忠治: トライボロジスト, 47, 12, (2002), 869-875
- 3) 三島 彰生 他: 1991 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1991) 57
- 4) 青木 茂: 表面処理技術ハンドブック, (2000) 416
- 5) 宇佐美 初彦 他: トライボロジー学会 2004 春 東京 予稿集 (2004)211