

金属資源の有効利用に資する表面改質プロセスの開発

研究代表者
慶應義塾大学理工学部
小茂鳥 潤

1. 本研究の目的

鋼に代表される金属は、産業分野の基盤を支える重要な素材である。この金属素材の高性能化のためには、合金元素の添加が必須となる。しかし添加元素の多くは、希少金属に分類されるものでありその枯渇問題が地球規模でクローズアップされている。

形あるものは壊れる。すべての機械構造システムの寿命は有限である。その寿命を決定づけるひとつの要因が素材の劣化である。金属は、(i)腐食、(ii)摩擦・摩耗および(iii)疲労により使用中に劣化し、やがて寿命を迎える。これらはすべて表面で生じる現象である。したがって、金属の表面のみを高度化する技術の確立が必要と言える。

この点に関しては、すでに多くの表面改質や被覆プロセスが提案され幅広く実用化されている。被覆プロセスでは、自由自在な特徴をもつ表面の実現が可能ではある一方、基材の金属との間に界面が発生し、そこが破損の起点となることがある。表面改質の場合には、素材そのものを改質するため、界面は存在しないが高機能化には限界がある。

このような観点から申請者は、金属表面のマテリアルデザインを可能にする新しい手法が必要との認識に至り、雰囲気制御高周波誘導加熱微粒子ピーニングを提案するに至った。金属間化合物は、次世代の構造材料として実用化が期待されている。耐酸化性に優れ高温強度も高いAl系の金属間化合物(Ti-Al系、Ni-Al系)は、軽量であり自動車のエンジン部品としての実用化が期待されている。しかしながら、この金属間化合物は加工性に劣るという致命的な欠点を持っている。申請者らは、機械加工により形状が加工された部品に処理を施し、表面のみを金属間化合物化できれば、大幅な用途拡充につながるものと考えている。

金属間化合物は、コールドスプレー法により創られる。しかしこの方法では、金属間化合物層と基材との間に界面が生じ、それが弱部となる。本申請では、界面の存在しない金属間化合物被膜の創成技術の確立を目指す。

この目標の達成に向け、高周波誘導加熱と微粒子投射に加え、化学的な燃焼合成反応を積極的に利用した新しい表面改質手法を提案する。具体的には、雰囲気制御下で高周波誘導加熱した金属表面に種々の微粒子を 200 m/sec 程度の高速で投射 (AIH-FPP) することにより、その表面を金属間化合物化させるプロセスを構築する。また、構築したプロセスにより創成した金属間化合物の諸特性を評価し、従来手法に比べた優位性を明確にすることを目的とする。

2. 実験方法

供試材としてオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 を用いた。同材を機械加工した後、一方の端面をエメリ紙により研磨し、直径 15 mm、厚さ 3 mm の試験片を作製した。その試験片の研磨面に対して AIH-FPP 処理を施した。投射粒子には、高速度工具鋼の表面にアルミニウムが薄く被覆された粒子を用いた。また、粒子供給量は 1 g/s、粒子投射時間は 30 s、粒子投射温度は 673 K、加熱保持時間は 300 s、ガス流量は 50 L/min、ノズル内径は 4 mm、ノズル距離は 100 mm とし、加熱保持温度を 673, 973, 1173 K と変化させて処理を施した。作製した試験片は、エネルギー分散型 X 線分光分析 (Energy dispersive X-ray spectrometer : EDX) および X 線回折装置 (X-ray diffraction : XRD) を用いて分析した。試験片の縦断面における硬さは、マイクロビッカース硬さ計を用いて測定した。試験片の耐摩耗性は、ボールオンディスク式往復摺動摩擦摩耗試験により評価した。

3. 実験結果および考察

AIH-FPP 処理を施した試験片の縦断面を EDX により分析した結果を図 1 に示す。同図より、表面近傍からは Al 元素が検出されていることがわかる。これは投射粒子成分の Al が移着したためと考えられる。また加熱保持温度を上昇させると、Al 元素が試験片のより内部でも検出されていることが認められる。これは移着した Al が内部に拡散したためと考えられる。さらに表面近傍で Al が検出された領域からは、基材成分の Fe も検出されている。このことは、Fe と Al が反応し、化合物を形成した可能性を示すものである。

被処理面に形成した化合物を同定するため、試験片表面を XRD により分析した。その結果を図 2 に示す。同図より、加熱保持温度が 673 K と 973 K の試験片からは、Fe-Al 金属間化合物のピーク (Fe_2Al_5 , Fe_3Al) が検出されていることがわかる。これは AIH-FPP 処理により、表面に単体の Al を残存させずに、Fe-Al 金属間化合物のみから成る改質層を創成できることを示すものである。このように短時間で Fe-Al 金属間化合物が創成されたのは、Fe と Al の燃焼合成反応が生じ、被処理面が高温化したためと考えられる。また加熱保持温度が 1173 K の場合、Fe-Al 金属間化合物に加えてアルミニウム窒化物 (AlN) のピ

ークも検出されている。これは投射粒子成分の Al と雰囲気成分の N が反応したためと考えられる。この結果は加熱保持温度を上昇させることにより、投射粒子成分は、基材成分に加えて雰囲気成分とも反応することを示すものである。

ステンレス鋼の耐摩耗性に及ぼす AIH-FPP 処理の影響を検討するため、ボールオンディスク式往復摺動摩擦摩耗試験を行った。なおこの試験は、未処理材と加熱保持温度 673 K、1173 K で処理を施した試験片に対して行った。図 3 に試験中に摩擦係数を測定した結果を示す。同図より未処理材と比較して、AIH-FPP 処理材の摩擦係数は低いことがわかる。この結果は、AIH-FPP 処理を施すことによりステンレス鋼の耐摩耗性が向上することを示すものである。また 673 K で処理を施した試験片よりも、1173 K で処理を施した試験片の方が摩擦係数は低いことも認められる。2 種類の AIH-FPP 処理材で耐摩耗性に差異が認められた要因を検討するため、試験片の縦断面においてビッカース硬さを測定した。図 4 にその結果を示す。同図より、2 種類の AIH-FPP 処理材の表面には硬化層が形成されていることがわかる。これは Fe-Al 金属間化合物やアルミニウム窒化物が形成されたためであり、AIH-FPP 処理によりステンレス鋼の耐摩耗性が向上した要因と考えられる。また同図より、最表面の硬さは加熱保持温度 673 K の場合の方が高く、硬化層厚さは加熱保持温度 1173 K の場合が厚いことがわかる。以上の結果は、耐摩耗性の向上には、最表面の硬さを上昇させる改質層の形成が特に有効であることを示すものである。

4. まとめ

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 に対して AIH-FPP 処理を施すことにより、被処理面に Fe-Al 金属間化合物層を創成し、ステンレス鋼の耐摩耗性に及ぼす効果を検討した。以下に得られた知見を示す。

- (1) アルミニウムを含有する粒子を用いて AIH-FPP 処理を施すことにより、短時間で被処理面に Fe-Al 金属間化合物層が創成される。これは投射粒子成分の Al と基材成分の Fe が燃焼合成反応を生じ、被処理面が高温化するためである。
- (2) 提案した処理を施すことにより、ステンレス鋼の耐摩耗性は向上する。これは、創成した改質層が高硬さを有するためである。

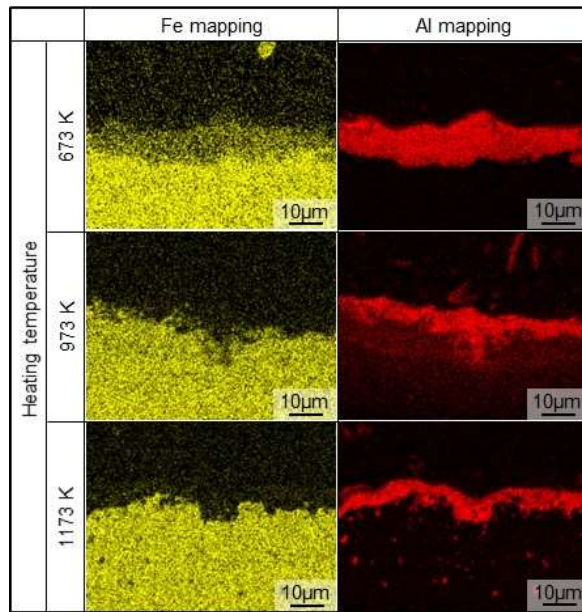


図 1 EDX による被処理面の分析

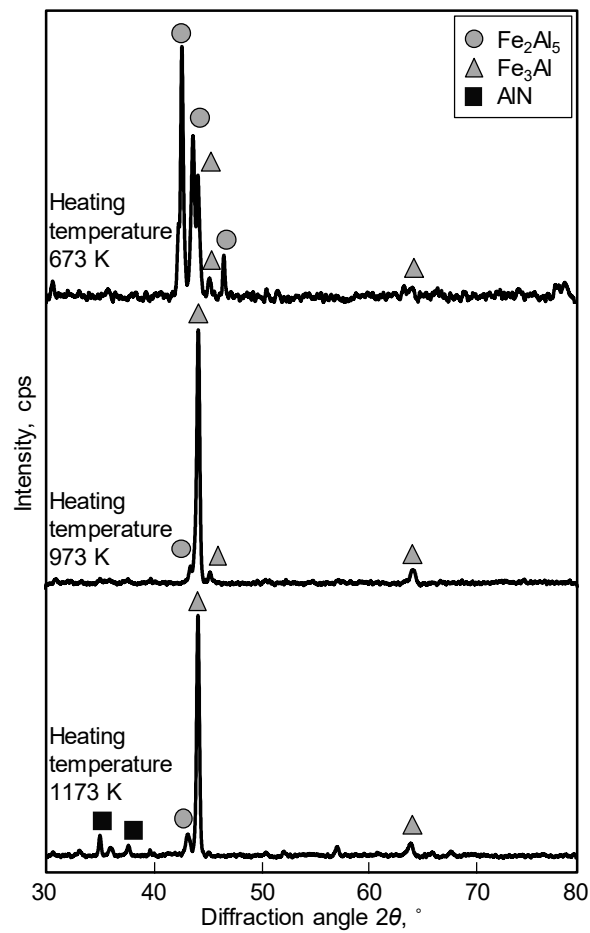


図 2 AIH-FPP 処理により創成した表面の化合物同定

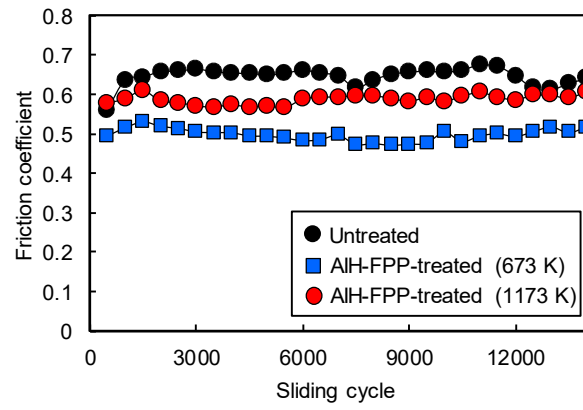


図 3 被処理面の摺動特性の評価

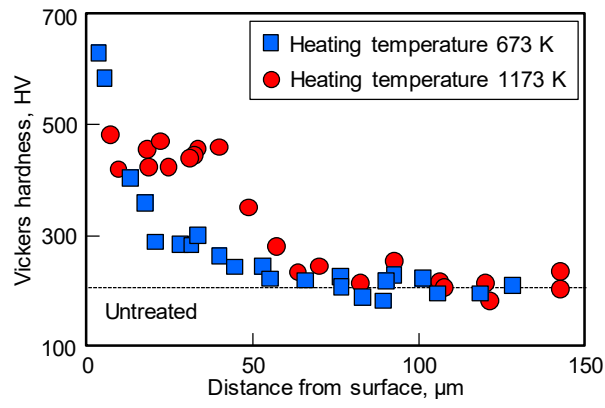


図 4 被処理断面の硬さ分布の比較