

平成 30 年度若手奨励支援予算 成果報告書

めっき皮膜の界面密着強度の的確な評価を可能とする落錘衝撃試験法の開発と それに基づく環境親和型 3 価クロムめっきの信頼性向上

工学部機械工学科

亀山 雄高

1. 研究背景・目的

産業界ではさまざまなめっき皮膜が使用されている。しかしながら、それらのめっき皮膜の密着性を、現実の使用条件に即した負荷条件のもとで的確に評価可能な方法は、必ずしも確立されているとは言えない。そこで報告者は、単なる「密着性の良さの判断」にとどまらず、実際の摩耗負荷様式に近い力学的条件下で密着力を定量的に測定できる手法の開発と、それを利用しためっき皮膜の高度化に関する研究に取り組んでいる。

本研究の第一の目的は、めっき皮膜に想定される用途の一つである耐エロージョン（飛翔する硬質な微粒子の衝突に曝される表面が、その衝突に起因して摩耗する現象をエロージョンという）性に着目し、エロージョンを模擬した負荷様式を通して皮膜・基材界面の密着力を推定するための試験法の開発である。具体的には、ある質量を有する落錘を任意の高さから皮膜上へ自由落下させることによって飛翔微粒子の衝突を模擬することに主眼を置いた「落錘衝撃試験機」を構築し、それを密着性評価試験へ用いることを試みた。

関連して、各種めっきの密着性向上に関する研究も行った。なかでも、提案する密着性評価法を適用して環境親和型 3 価クロムめっきの皮膜の密着性を評価し耐はく離性向上につなげることを目指した研究に取り組んだ。3 価クロムめっきは、従来より耐摩耗性めっきとして汎用されてきたが近年環境対策を理由に規制されつつある 6 価クロムめっきを代替しうる存在として位置付けており、その密着性に着目して信頼性向上を図ることを、長期的な視野に入れている。

2. 研究成果の概要

本支援予算を受けて平成 30 年度には、(1)皮膜のエロージョン損傷挙動の解明、(2)落錘衝撃試験機の構築、および(3)めっき密着性向上に寄与すると考えられる各種前処理プロセスに関する基礎的研究を実施した。本報では、研究の骨子となる(1)、(2)の内容について述べる。

(1) 皮膜のエロージョン損傷挙動の解明

本研究で開発する落錘衝撃試験では、皮膜のエロージョン損傷を模擬することを意図している。そこで、実際のエロージョン損傷がどのように生じるかという点についてまず詳細を明らかにした。本研究では最終的には 3 価クロムめっきに着目する計画であるが、現段階では安定的にめっきが可能な従来の 6 価クロムめっきを S45C 炭素鋼円盤 ($\phi 15$, t4)へ施したものを準備し、その皮膜に対して鋼製粒子 ($200\mu\text{m}$) をゲージ圧 0.3MPa の圧縮空気によってノズルから吐出し衝突させる実験を行った。

図 1 はエロージョン試験を行った後のめっき試験片の表面および縦断面を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察するとともにエネルギー分散型 X 線分光法 (EDS) によって

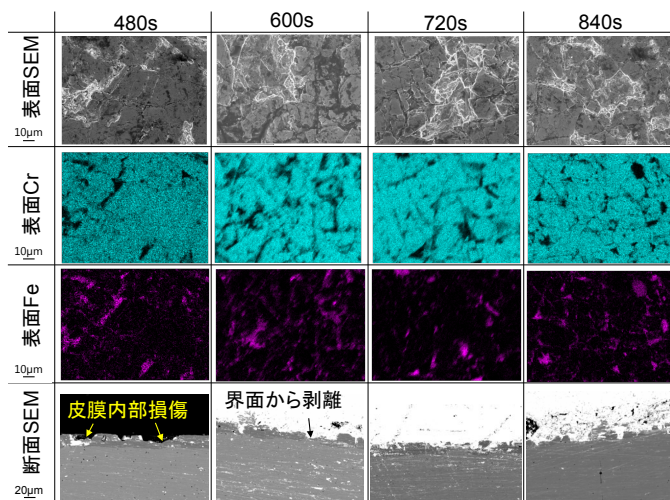


図 1 エロージョン試験後のクロムめっきに生じた皮膜損傷の様子(基材：S45C 鋼，めっき膜厚 $20\mu\text{m}$)

Cr, Fe 元素の分布を調べた結果である。めっき表面には、粒子の衝突に伴いき裂が生じ、クロムめっきが局所的に脱落している様子もうかがわれた。断面観察結果より、皮膜のエロージョン損傷は、まず皮膜内部にき裂が発生してこれが連結することによって皮膜内部での損傷がおき、その結果残存膜厚が漸減するにつれて界面での皮膜はく離へ遷移していることが示唆された。図では示していないが、界面はく離の発生までに要するエロージョン試験時間は、皮膜の硬さが低い場合に長いことも明らかとなった。

(2) 落錘衝撃試験機の構築および実証試験

作製した落錘試験機の概観を図3に示す。落錘は、ボールスプラインによって支持された直動軸の先端に軸受球(φ0.8mm)を取り付けて構成した。落錘軸上部にはL字形の切り欠きを有する板が取り付けられている。板の下面に接触して回転するクランク機構によって落錘軸が持ち上げられ、クランクピンが最上部に到達したときに跳ね上げ板の切り欠き部に差し掛かり、落錘軸が自由落下する構造とした。

作製した試験機によって皮膜損傷を与えられるか否かという点について実証するため、S45C炭素鋼円盤(φ15, t4)の表面に研磨し、その表面へ膜厚約5μmの6価クロムめっきを成膜した試験片を準備し、落錘試験を行った。図4, 5はそれぞれ、落錘試験によって形成された打痕を表面および断面上で観察した結果の例である。打痕周囲に放射状き裂および円周状き裂の発生が観察された一方、打痕内部では皮膜のはく離や脱落は認められなかった。また、断面上での観察においても、界面に損傷が生じている様子は認められなかった。すなわち、今回の実験条件では、落錘の衝突を受けて基材が変形し、それに皮膜がはく離することなく追従していたものと判断された。前述の(2)の結果からは、エロージョン損傷のメカニズムは、き裂の発生と連結に起因した一種の疲労破壊現象であると考察される。今回行った落錘試験で確認された皮膜のき裂も、同一個所へ落錘を繰返し落下させた場合に進展・連結して皮膜の脱落やはく離に至る可能性がある。落錘試験によって、皮膜・基材界面に損傷が生じる状況が再現される条件を見いだせれば、それを指標として密着性の評価を行うことができるほか、後述するように皮膜・界面間密着強度を逆問題的に解くことにもつなげられると考えている。

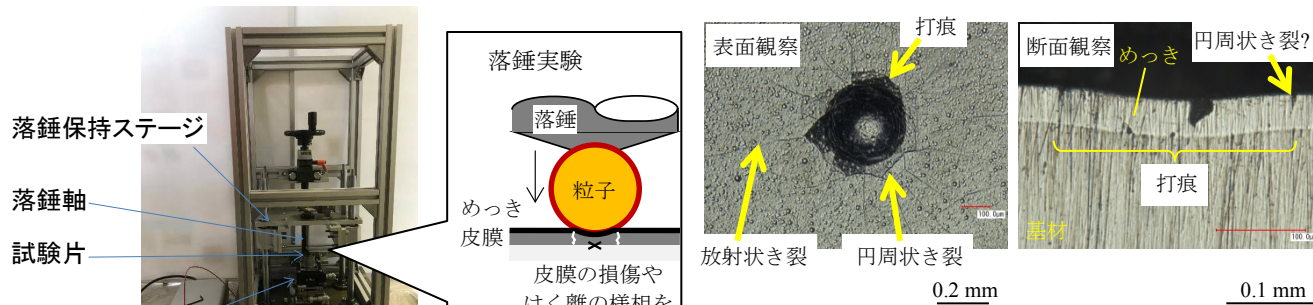


図2 作製した落錘衝撃試験機の概観

図3 落錘試験によってクロムめっきに形成された打痕の観察結果 (基材: S45C 鋼, めっき膜厚 30μm, 落錘質量 1N. 落錘運動エネルギー 20mJ, 落下回数 1 回)

3. 今後の展望

実験と解析とを組み合わせ、めっき皮膜の界面密着性を推定する手法の開発を目指した研究を行った。今後は、めっき皮膜のエロージョン損傷メカニズムを念頭に置きながら、落錘試験において皮膜・基材間界面に損傷が及ぶ条件を見出す。そのためには、落錘の衝突に伴う皮膜損傷や応力分布をその場観察するための仕組みも必要になる。落錘試験をモデル化した数値解析を実施し、解析から推定される皮膜損傷と落錘試験による皮膜損傷とが合致するようにモデルの合わせ込みを行うことで、界面の強度を推定できるようにすることが最終的な目標である。

また、環境親和型3価クロムめっきをはじめとする各種の機能性めっきについて、種々の基材との密着性を改善するための前処理技術についても引き続き注目し検討を進める。それら前処理の有用性についても、開発を目指す密着強度推定法を適用して検証を行えるものと考えている。

研究成果一覧

審査あり学術論文

(1) 亀山雄高, 大月洗, 山本裕之, 佐藤秀明, 眞保良吉; 微粒子ピーニング処理したアルミニウム合金へのめっき密着性及ばす粒子移着の効果, 砥粒加工学会誌, vol.62, No.12 (2018) 625-631

学会発表

(1) 佐々木慶太, 亀山雄高, 佐藤秀明, 眞保良吉; 噴射加工によるめっきのエロージョン・はく離現象の時系列的評価, 2019年度砥粒加工学会学術講演会, 発表予定

(2) 亀山雄高, 高橋尚斗, 伊藤佑介, 佐藤秀明, 眞保良吉, 大森整; 斜投射微粒子ピーニングによる周期的テクスチャ形成のメカニズムおよび応用, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議秋, 2018年11月, 伊勢

(3) Yutaka Kameyama, Shunta Kawasaki, Yusuke Ito, Naoto Takahashi, Hideaki Sato and Ryokichi Shimpo; Investigation on the Wettability of Ridge-textured Surface Created by Angled Fine Particle Peening, The 21st International Symposium on Advances in Abrasive Technologies, 2018年10月, Toronto

(4) 佐々木慶太, 亀山雄高, 佐藤秀明, 眞保良吉; 噴射加工によるめっきのエロージョン・はく離現象, 日本材料科学会第二回インフォマティク・バイオマテリアル研究会, 2018年11月, 東京

(5) 小野崎航平, 眞保良吉, 佐藤秀明, 亀山雄高; ニッケル中間層を有する3価クロムめっきの電析, 日本材料学会関東支部 2018 学生研究交流会, 2018年10月, 東京(ポスター発表)

以上