

特 集：油空圧を支える要素技術

油圧・空気圧技術雑誌

2011 **9**

626. Vol.50. No.9

油空圧技術

Hydraulics & Pneumatics

**ANEST
IWATA**

給油式レシプロコンプレッサ5.5~11kW

TCP-B シリーズ

New



新型圧縮機を搭載してより高性能に

アネスト岩田株式会社

<http://www.anest-iwata.co.jp>



油空圧を支える要素技術

表面改質技術

WPC処理による材料表面の改質例

(株)不二WPC 熊谷 正夫

1 はじめに

機械構造部材の長寿命化は、低コスト化などの経済要因だけでなく、安全性の確保や、環境負荷低減など社会的な要請である。これまで、機械構造部材の長寿命化の取り組みとしては、材料それ自体の特性向上が追及されて来ている。しかし、現在、材料開発もほぼ限界にきている。また、部材の寿命を決定する故障要因も摩耗や疲労破壊など材料のバルク特性よりも表面特性に係わるものが主となってきている。

機械構造部材の耐摩耗性や疲労強度の向上、更には、新しい特性付与のため、様々な表面改質技術が試みられている。

表面改質は、大きく熱処理やショットピーニングなど材料表面そのものの改質と、メッキ、ドライコートなど新たな表面層を形成するものに分かれ、それぞれ特長を有している。材料そのものの表面を改質する手法は、改質する材料の特性に制限され大幅な特性の向上には限界があり、表面層を形成する手法は、付与する特性に制限は少ないが、異種界面が存在するために、表面層の剥離対策が必要となる。現在では、そうした材料表面の改質と表面層の形成などを組み合わせる複合処理も行われている。

本稿では、材料そのものの表面改質のひとつの手法である、WPC処理について解説する。また、WPC処理を用いた複合処理について紹介する。

2 WPC処理について

WPC処理は微粒子衝突法、微粒子ピーニングなどともいわれ、ショットピーニングの一種であり、材料表面に様々な特性を付与する方法である（WPC処理は不二機販、不二製作所、不二WPCの登録商標である）。

WPC処理の従来のショットピーニングの違いは、投射粒径が小さく、投射速度が速いことにある。WPC処理では、数10 μ m以下の粒子を、数100m/sec.程度の高速度で投射する（通常のショットピーニングでは、0.3mm以上の粒子が用いられて、投射速度も数10m/sec.~100mm/sec.程度である）。

WPC処理の特徴は、投射粒径が小さく、高速度なことにより、被投射材表面に大きな塑性流動をもたらすことにある。その結果、投射材と被投射材の硬度差など機械的特性に依存して様々な効果をもたらす。

具体的には、硬い（加工硬化性の高い）材料に硬い粒子を投射すれば、被投射材表面に比較的均一なナノ結晶層ならびに微結晶層の形成が可能である。また、同時に基材表面部に大きな残留応力を付加できる。また、軟質の微粒子を硬質の基材に投射することにより、表面被覆が可能であり、主として潤滑性向上のため二硫化モリブデン（MoS₂）やスズ（Sn）の投射による潤滑膜の形成などが行われている。さらに、軟

質粒子を軟質材料に投射すれば、軟質材同士の複合表面の形成も可能である。

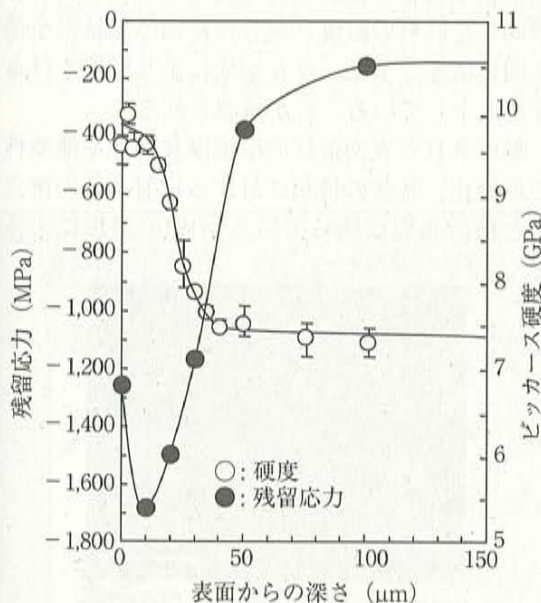
また、そうした材料表面の改質のみならず、衝突による表面形状の形成も重要な効果である。とりわけ、潤滑下に於いては表面に形成される凹凸（ディンプル）は油保持性の向上による焼き付き防止に効果が発揮される。

3 微粒子衝突法の実例

3-1 機械構造物の疲労強度の向上

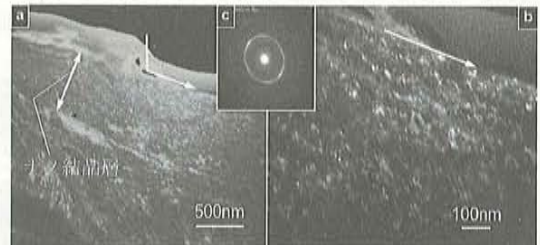
WPC処理の主要な効果として、構造材や機械部品に対する処理がある。

現在、機械構造物の故障要因は、材料品質の向上もあり、疲労破壊によるものが主となっている。疲労破壊は、繰り返し応力の存在下で、表面の傷等の表面欠陥、金属組織の不均一性や引張応力の存在などを要因として発生する。そのため、有効な対策としては、基材表面に圧縮残留応力を加える、表面の金属組織を微結晶化・ナノ結晶化するなどがある。WPC処理は表面に大きな塑性歪を加えるため、材料の表面部に大きな圧縮応力を付与することができる。



第1図 WPC処理を施したSCM420浸炭焼入鋼の残留応力ならびに硬度分布

ギアなどの機構部品に使用されるSCM420浸炭焼入鋼にWPC処理を施した試料の残留応力ならびに硬度分布の測定例を第1図に示す。表面層に1,700MPaの圧縮残留応力が付加され、表面硬度もビッカース硬度で750程度から1,000程度に上昇していることが確認される。また、同試料の電子顕微鏡像（TEM像）を写真1に示す。試料の表層が0.5μmの範囲でナノ結晶化していることが確認される。



(a) 暗視野像（低倍率）、(b) 暗視野像（高倍率）
(c) 制限視野回折図形（視野直径0.8μm）

写真1 WPC処理を施したSCM420浸炭焼入鋼の電子顕微鏡像

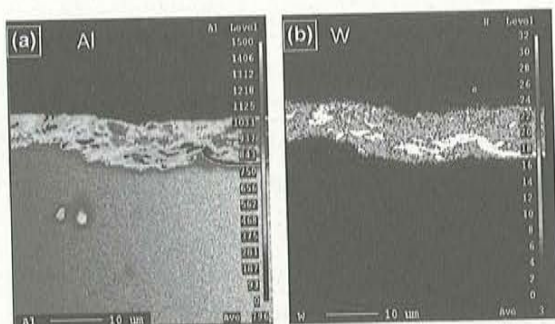
WPC処理による表面層への圧縮応力の付与、表面硬化、ナノ結晶層の形成などにより、ギア、パネなどの繰り返し応力のかかる部材の疲労強度は大幅に改善される。

3-2 DLC下地としてのAl基材の改質

軟質（延性）金属同士の組み合わせによる異種材料の複合組織形成の応用例として、Al基材へのダイヤモンドライクカーボン（DLC）膜形成技術を示す。

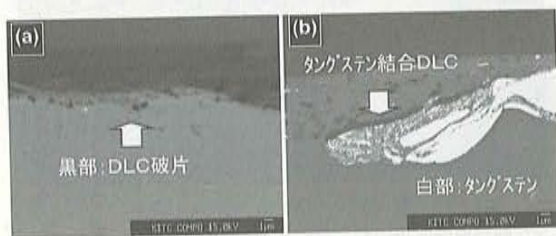
アルミニウム合金は、軽量性のため航空機、自動車関連をはじめとした輸送機器の低燃費化を目的に幅広く使用されている。アルミニウム合金は、軟質材のため表面の耐摩耗性の向上が課題となっている。従来、耐摩耗性の向上にはアルマイトをはじめとした化成処理によるものがほとんどである。

現在、耐摩耗、高潤滑皮膜としてDLC膜が加工用治工具、摺動部などに使用され、アルミニウム合金への応用が期待されている。アルミニウム合金へのDLCの適応については、アルミニウムと炭素との反応性がない事、硬度差が大き



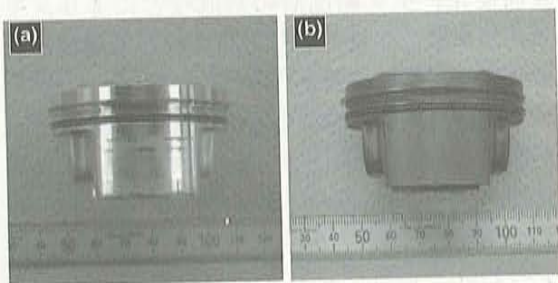
(a) アルミニウムX線像 (b) タングステンX線像

写真2 アルミニウム合金 (A5052) にタングステン微粒子を投射して形成した改質層



(a) 未処理試料 (荷重3.5kg滑り距離42m) (b) WPC処理試料 (荷重6.2kg滑り距離74m)

写真3 アルミニウム合金に被覆したDLC膜の密着性試験後の断面反射電子像



(a) 通常ピストン (b) DLC被覆ピストン

写真4 走行試験後のピストンの損傷状態の外観写真

く、変形追随性がない事などにより密着力性確保が大きな課題となっている。

アルミニウム合金とDLC膜を構成している炭素との反応性を考えて、タングステン (W) 微粒子を投射し、表面にAl-Wの複合組織を形成した。得られた複合組織 (DLC被覆) の断面観察の結果を写真2に示す。基材表面に10 μ mの厚みのAl-W複合組織が形成されている。また、複合組織の有無による摩耗・密着試験後の断面観

察結果を写真3に示す。未処理品では3.5kgの負荷荷重で膜が剥離、破碎しているが、複合組織が形成試料では6.2kgの負荷荷重で基材が座屈するまで密着が確保されている。

上記処理により作製した、DLC被覆アルミニウム合金製ピストンの走行試験後の結果を写真4に示す。未処理ピストンのスカート部には上死点を中心にスカuffing摩耗とみられる摩耗痕が観察されるが、DLC被覆ピストンには摩耗は観察されない。

3-3 WPC処理による表面形状制御

機構部品の摺動や金型の離型性において、表面の形状の制御は重要な課題である。とりわけ潤滑油など非圧縮性溶液の使用下においては、鏡面状態ではなく微細な凹凸の形成が流体圧力や油溜りの形成など優れたトライボロジー特性をもたらす。現在、フェムト秒レーザーなどを用いた周期構造の形成などが試みられているが、装置価格や生産性などから機械構造部品への適応は現実的ではない。WPC処理では容易に表面にディンプル形状を形成することが可能である。WPC処理で形成される表面形状の走査電子顕微鏡観察の結果を写真5に示す。また、鏡面状態ならびに投射条件を変えてディンプルを形成した試料の耐焼き付き性を調べた結果を第2図に示す。ディンプル形成により耐焼き付き性が向上していることが確認される。

形成された表面形状の摩擦摩耗特性や離型性の最適化、基材の種類に対する投射条件の確立など検討課題は残っているがWPC処理による

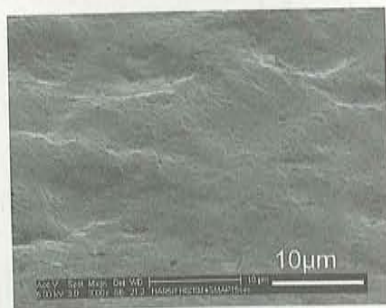
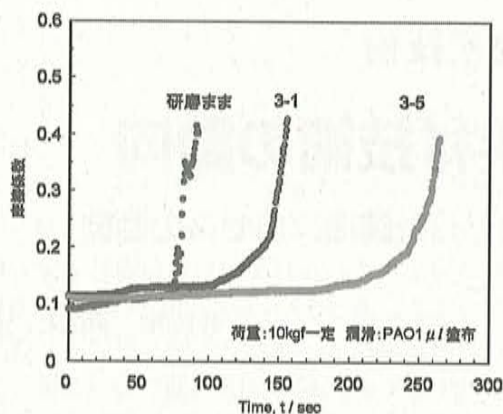


写真5 WPC処理により形成した凹凸の走査電子顕微鏡写真



第2図 未処理（鏡面状態）と投射条件を変えて形成したディンプルによる耐焼き付き性試験の結果

表面形状の形成と制御によるトライボロジー特性の向上は有効な手法である。

また、ディンプル形成を液体や気体のシール面に施すことにより、機密性と潤滑性の両立をはかることなどもなされている。

4 おわりに

WPC処理の特長としては、他の表面改質法と比較して、基材と投射粒子を選択することにより様々な特性が得られること、処理する箇所も自由に選択することが可能で部分処理ができること、大規模な装置が不要で処理が容易なこ

と、などが挙げられる。また、使用するメディアも循環して使用しており、基本的には使用するのは空気だけという環境負荷の少ない手法である。

WPC処理は本質的には、基材そのものの改質であり、剥離などの問題点を有していないため、複合化が容易である。そのため、DLC下地処理のような、硬質皮膜形成との複合化など、複合技術の開発が有力なものと考えられる。

また、WPC処理そのものが、塑性流動という動的な過程をへてなされているために、改質のメカニズムに関しても十分には解明されていないと同時に、様々な目的に実用展開の可能性の高い手法と考えられる。

筆者紹介

熊谷 正夫

(株)不二WPC 技術部 部長

〒252-0331 相模原市南区大野台4-1-83

Sia神奈川工業団地内

TEL : 042-707-0776

FAX : 042-707-0779

E-mail : kumagai@fujijwpc.co.jp

Web検定 実力診断テスト 日工検定道場



住宅設備チャレンジ

住宅設備技術者のための実力検定

建築設備士試験を中心に、一級、二級建築士試験問題より住宅設備関連の厳選された問題を出題、あなたの実力を即、合否回答により診断いたします。

料金500円

1ヶ月単位で毎月月末まで何度でも受験可能申込時のカード決済により受験パスを自動発行します。

今すぐチャレンジ! で検索

日本工業出版 WEB サイト <http://www.nikko-pb.co.jp/>