

油圧・空気圧技術雑誌

2014 5

661. Vol.53. No.5

特集：フレッシュメンに贈る
材料と加工技術②

油空圧技術

Hydraulics & Pneumatics

RoHS

モジュラタイプ F.R.L.コンビネーション



視認性&安全性向上

透明ケースガードで
ケース全周を覆いました!

2層
構造

- 360°目視確認可能
- 外部環境からケースを保護し、安全性向上
※ボアサイズ30以上



ケースガード

作業性向上

エレメントとケースの一体化により
手元でのエレメント交換が可能となりました。



手元での
交換作業が
可能に!

※AF, AWのみ

メンテナンススペース削減

AF40-A

最大**46%減**

※AF40-Aの場合



35mm減

AF40



省エネルギー

圧力降下量：最大**50%改善**



条件：・入口圧力：0.5MPa ・出口圧力：0.3MPa
・流量：500L/min (ANR)

AC Series





フレッシュメンに贈る材料と加工技術②

微粒子ピーニング (WPC処理) による表面改質

(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的要因だけでなく、安全性確保、環境負荷低減など社会的な要請になっている。現在、部材の寿命を決定する故障要因は静的破壊など材料のバルク特性に係るものよりも摩耗や疲労破壊なども表面特性に係わるものが主となってきており、様々な表面改質法による表面特性の向上が図られている。

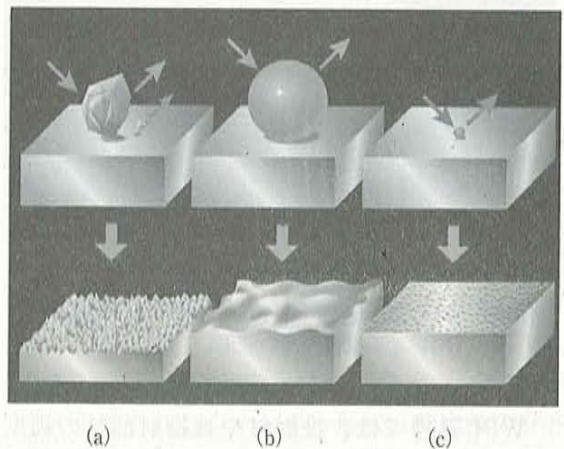
機械構造部材の長寿命化のための表面改質として、表面硬度を上げるもの(熱処理、硬質皮膜の形成等)、残留応力を付与するもの(ショット・ピーニング)やしゅう動特性を向上するもの(DLC被覆、形状形成等)などが行われている。

本稿では、それら表面改質法の一つであるWPC処理に関して、残留応力の付与や表面硬度の向上による疲労強度の向上、表面形状の形成による潤滑性能の向上ならびにDLC被覆などの複合技術について解説する。

2 WPC処理とは

材料表面に各種の粒子(メディア)を投射すると、粒子の特性(硬度、靱性、形状や粒径)や投射条件(速度や投射量)に対応して研磨、加工硬化や形状形成などが起きる。一般

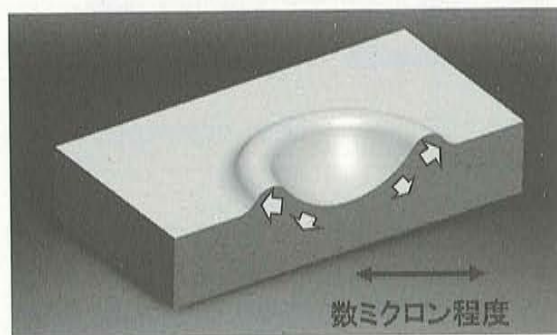
に、研磨作用が主となる処理をブラスト、加工硬化や形状形成など主となる処理をショット・ピーニングと呼ぶ。WPC処理は微粒子衝突法、微粒子ピーニングなどともいわれ、ショット・ピーニングの一種であり、材料表面に様々な特性を付与する方法である。各処理により形成される表面形状の模式図を第1図に示す。



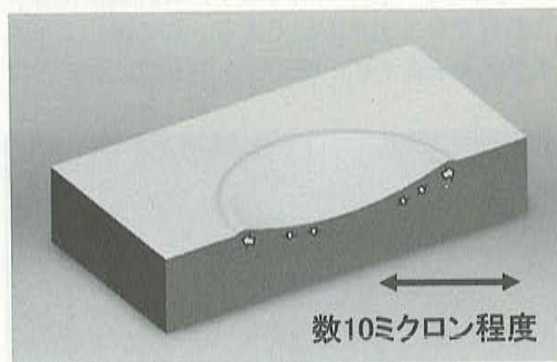
第1図 各種粒子の投射による表面の形成
(a)ブラスト処理、(b)ショット・ピーニング、
(c)WPC処理

WPC処理は投射材の粒径と投射速度が通常のショット・ピーニングと大きく異なるため、WPC処理特有の表面改質が可能である。ショット・ピーニングでは、0.3mm以上の粒子が用いられ、投射速度も数10m/sec.~100m/sec.

程度であるが、WPC処理では、数 $10\mu\text{m}$ 以下の微細粒子を、数 100m/sec 程度の高速で投射する。投射粒径が小さく、高速なことにより、被投射部材表面に大きな塑性変形をもたらす。ショット・ピーニングとWPC処理によりもたらされる材料表面の変形の模式図を第2図に示す。



(a) WPC処理



(b) ショット・ピーニング

第2図 WPC処理(a)ならびにショット・ピーニング(b)による材料表面の変形

WPC処理では、投射材や被投射部材の硬度や延性などの機械的特性により様々な改質効果を与える。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ることにより、被投射部材表面の金属組織の変化(ナノ結晶層や微結晶層の形成)と基材表面層への大きな残留応力の付加が可能である。

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、二硫化モリブデン(MoS_2)やスズ(Sn)の投射による

潤滑膜の形成が行われている。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なども可能で、アルミニウム合金の表面改質などに適応されている。

さらに、WPC処理では $10\sim 20\mu\text{m}$ の微小なディンプル(凹凸)形状の形成が可能であり、潤滑下(潤滑油使用時)において、油保持性の向上による焼き付き防止やしゅう動抵抗の低減などに有効である。

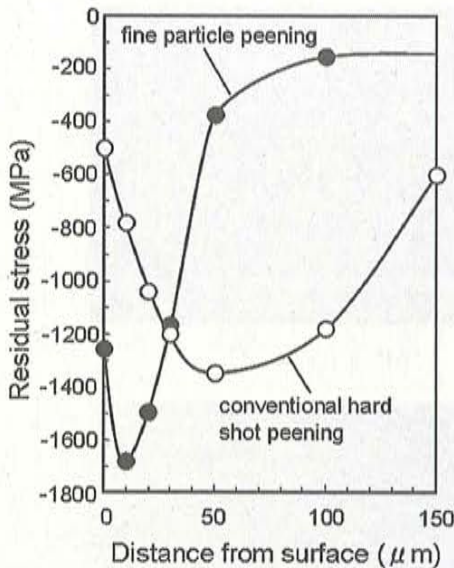
WPC処理の技術的優位性は、材料表面の改質による表面硬化、疲労強度の向上など機械的な特性改善と表面形状形成というトライボ特性の向上が同時に実現できる、DLC被覆など潤滑性皮膜の形成などと複合化が容易であることなどが挙げられる。また、プロセス的に真空系などを使用しないため、処理面積が大きく取れ、マスキングなどにより必要な個所のみ処理が可能である、装置構成が簡単なため比較的低コストであるなどの利点も有している。

3 WPC処理の効果

3-1 疲労強度向上のための圧縮残留応力の付与

機械構造物の故障要因は、材料の清浄化など品質向上が著しいため、延性破壊や脆性破壊などの静的破壊より、疲労破壊(高サイクル、低サイクル等)が主となっている。疲労破壊は、繰り返し応力(引張応力)の存在下で、表面の傷等の表面欠陥、金属組織の不均一性を要因として発生する。そのため、表面への圧縮残留応力の付与や金属組織の均一化をもたらす金属組織の微結晶化・ナノ結晶化などが疲労強度の向上に有効である。

WPC処理は部材の表面に大きな塑性歪を加えるため、材料の最表面層に大きな圧縮応力を付加することができる。事例として、ギアなどの機構部品に使用されるSCM420浸炭焼入鋼に、WPC処理ならびに通常のショット・ピーニングを施した試料の残留応力分布の測定例を第3図に示す。WPC処理による残留圧縮応力



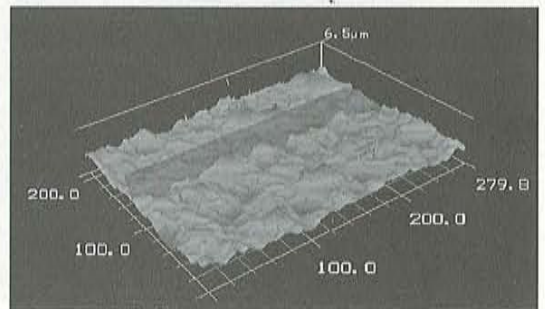
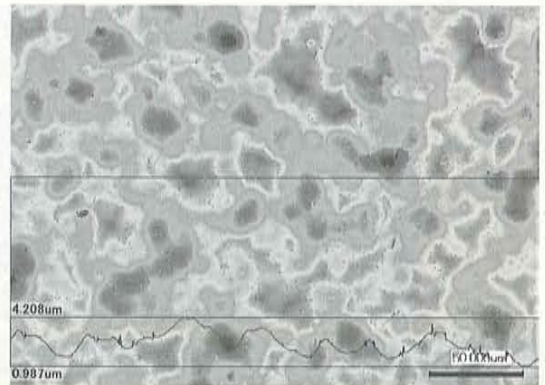
第3図 WPC処理 (●) とショット・ピーニング (○) による残留応力分布

の分布は、ショット・ピーニングとの比較でより表面部分にある事、量的にも大きなものとなっている事が確認される。また、硬度測定の結果では、残留応力分布に対応して、バルク硬度 (Hv: 750) から表面層硬度が (Hv: 1000) に上昇していることが確認されている。さらに、金属組織の観察ならびに電子顕微鏡 (TEM) 観察の結果、WPC処理を施したでは、ショット・ピーニングでは観察されない、試料の表面にナノ結晶層の形成がみられ、表面部分の微結晶化も確認されている。

疲労強度の観点から見ると、WPC処理は、疲労強度に影響を与える基材表面に大きな残留応力を与える事、表面硬化層により疲労の起点となる傷等の損傷を受けにくくなること、金属組織をナノ結晶化、微細化する事により均一化する事により疲労の起点の生成を防止する事など、構造部材の疲労強度の向上をもたらす事が可能である。実際、バネ材などをはじめ歯車など構造部材にWPC処理を行うことにより、疲労強度の大幅な向上を実現している。

3-2 表面形状形成による しゅう動特性の向上

古くは、きさげ加工、現在では、表面テク



第4図 WPC処理で形成したディンプル形状のレーザ顕微鏡観察結果

スチャリングの形成として、機械構造物をはじめとしたしゅう動部材表面に微細な形状を形成し、しゅう動特性を向上させることが行われている。微細形状の形成法として、機械加工やレーザ加工が用いられているが、WPC処理により、容易に微細形状が形成される。WPC処理による形成される表面形状は、投射する微粒子の形状に対応し、基本的にはディンプル形状 (10~30μmφ、深さ1~3μm) を示す、典型的な形状のレーザ顕微鏡観察結果を第4図に示す。形成されたディンプル形状は潤滑油の存在下では、油ダマリを形成し、潤滑油や添加剤の供給源として金型やしゅう動部品 (歯車、軸受など) の低摩擦化や寿命延長に寄与する。ディンプル形状は機械加工などで形成される直線状の形状と比較して、容易に閉鎖されるため油保持性は良好である。WPC処理による潤滑下の摺動特性については前報 (油空圧技術2011. 8月号) を参考として、無潤滑下 (Dry環境) での表面形状の効果について示す。

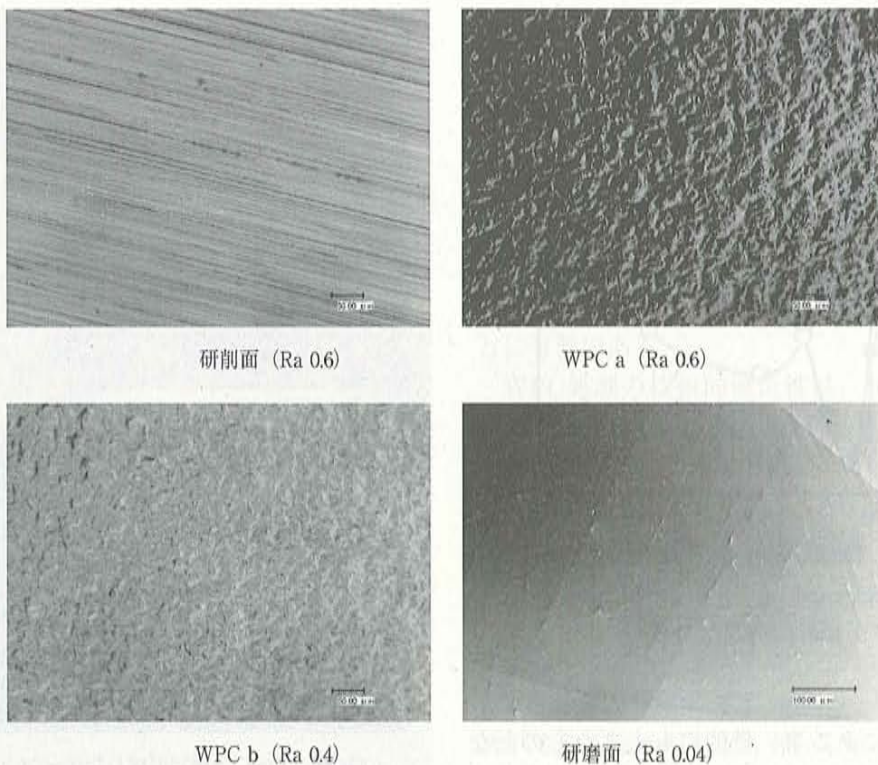
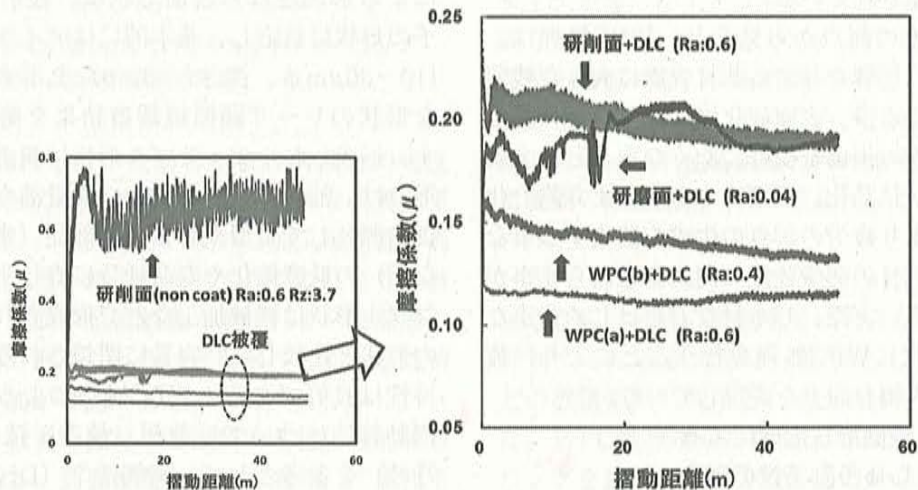


写真1 WPC処理により形成した表面のレーザ顕微鏡観察像

第1表 ポール・オン試験の試験条件

測定条件		試料		ボール		環境	
半径	4mm	表面処理	WPC、DLC	表面処理	無	温度	20℃
速度	10mm/s	基材	SCM415	寸法	6mm	雰囲気	大気
荷重	5.0N					湿度	35%



第5図 WPC・DLC複合処理の摩擦試験結果

試料として、クロムモリブデン鋼 (SCM415) にWPC処理によるディンプル形状の形成を行い、鏡面試料などとの摩擦・摩耗特性の比較を行った。無潤滑下での摩擦・摩耗試験では、凝着や摩耗の進行が速く形状の効果が確認しにくいいため、各試料の表面にDLC被覆を行った。試料は鏡面 (Ra0.04)、研削面 (Ra0.6)、WPC処理2条件 (Ra0.4、Ra0.6) ならびに未被覆 (研削面Ra0.6) である。試験試料の光学観察 (デジタル・マイクロスコープ) の結果を写真1に示す。しゅう動特性は無潤滑 (dry) 条件でボールオン試験により摩擦係数を測定した。測定条件を第1表に、摩擦摩耗試験の結果を第5図に示す (鏡面研磨試料は再現性が良くないために1例を示す)。

鏡面研磨試料では、摩擦係数の時間的な変動が大きく不連続な挙動も示している。一方、WPC処理により表面形状を形成した試料は摩擦係数の変動も小さく、摩擦係数も小さくなっている。鏡面試料では、吸着水の影響やスティックスリップ現象などが起きやすいためと考えられる。WPC処理による表面形状の形成により、それらのしゅう動特性に影響を与える現象を抑制する事が可能であることが確認される。また、形成される表面形状 (WPC処理条件) でしゅう動特性 (摩擦係数) が異なるが、使用した基材の物性や試験時の面圧などによる

下地の変形などが関与していると考えられる。

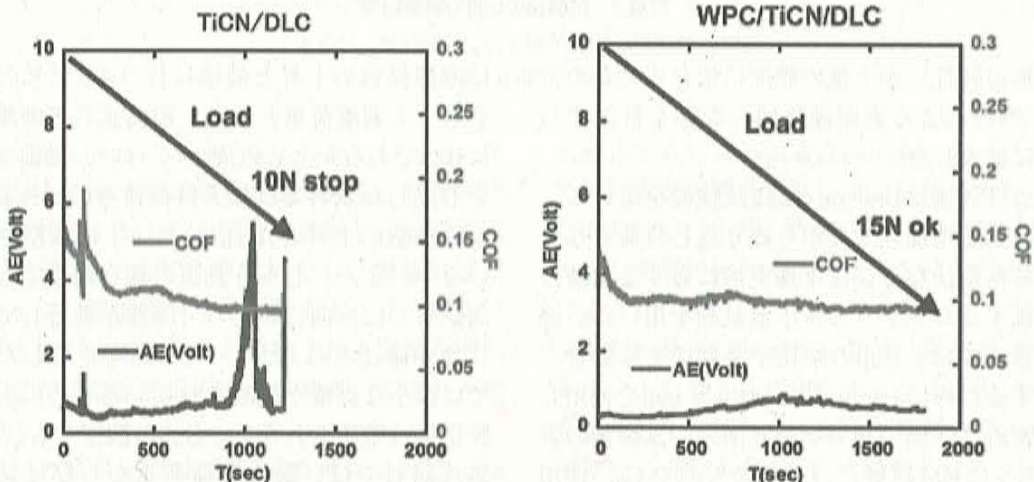
上記、表面形状の形成を実製品に適用する場合、実際に使用する条件 (材質、相手材、負荷面圧など) と表面形状に関する知見の蓄積は、3次元的な表面形状の評価法も含めて、残念ながら十分ではないために、経験の蓄積やノウハウが重要である。

4 WPC処理・DLC被覆の複合処理について

DLC膜は、高硬度、低しゅう動などの優れた特性のため様々な機械部材に使用されているが、DLC膜は基材に対する密着力の確保が難しいという課題を有している。WPC処理・DLC被覆の複合処理として、下地にWPC処理による表面形状を形成することにより、DLC膜の密着性を向上する事が出来る。

鏡面ならびにWPC処理を施した試料のDLC膜の密着性評価の例を示す。膜の基材に対する密着性に関しては、膜・基材界面の付着力だけでなく、負荷による下地基材の変形に対する追従性も重要であり、種々の評価法を用いて評価する必要がある。

試料基材としてハイス鋼を用い、鏡面ならびにWPC処理試料にTiCN膜を形成後、DLC被覆を施した。TiCN膜は薄膜の密着性 (とりわ



第6図 連続荷重式密着力試験による密着力の評価結果

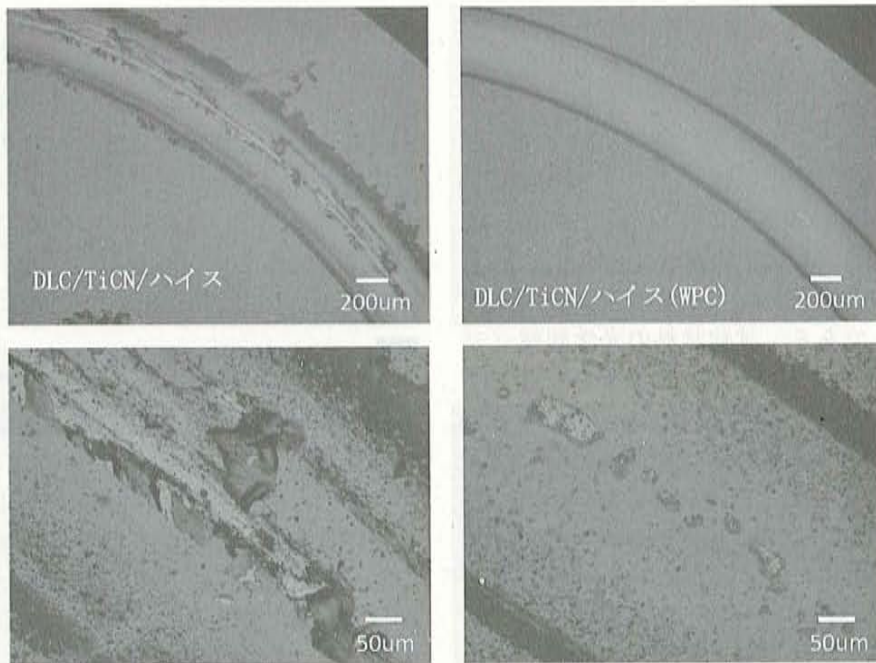


写真2 試験後の摺動面の観察結果



写真3 試験後のballの観察結果

け変形追随性)が下地の硬度に依存するため、WPC処理による表面硬化層の影響を低減するために挿入した。

密着性評価はBall on Disk試験機を用いて、負荷荷重を増加させながら繰り返し負荷を与える連続荷重法ならびに下地変形に対する追随性を評価するロックウェル圧痕試験を用いた。連続荷重法では、Ballの摩耗や凝着による影響を防止するために4.0mm^φのアルミナballを使用した。密着性評価の結果を第6図に、試験後の表面観察 (SEM観察)の結果を写真2に、使用したballの損傷観察を写真3に示す。膜の剥離

は摩擦係数の上昇と破壊に伴うAE信号の発生をもって剥離荷重とした。鏡面試料の剥離荷重は10Nであるが、WPC処理を行い、微細な凹凸を形成した試料では最大負荷荷重の15Nまで、摩擦係数の上昇とAE信号の発生は観察されていない。また、しゅう動痕の観察結果でも、鏡面試料では全面にわたって剥離が進行していることが確認されるが、WPC処理を施した試料では微小な剥離が観察されているものの大きな膜損傷は確認されない。Ballの観察でも、WPC処理試料では、最大負荷荷重ならびに試験時間が、鏡面試料 (10N、1,200sec)、WPC処理

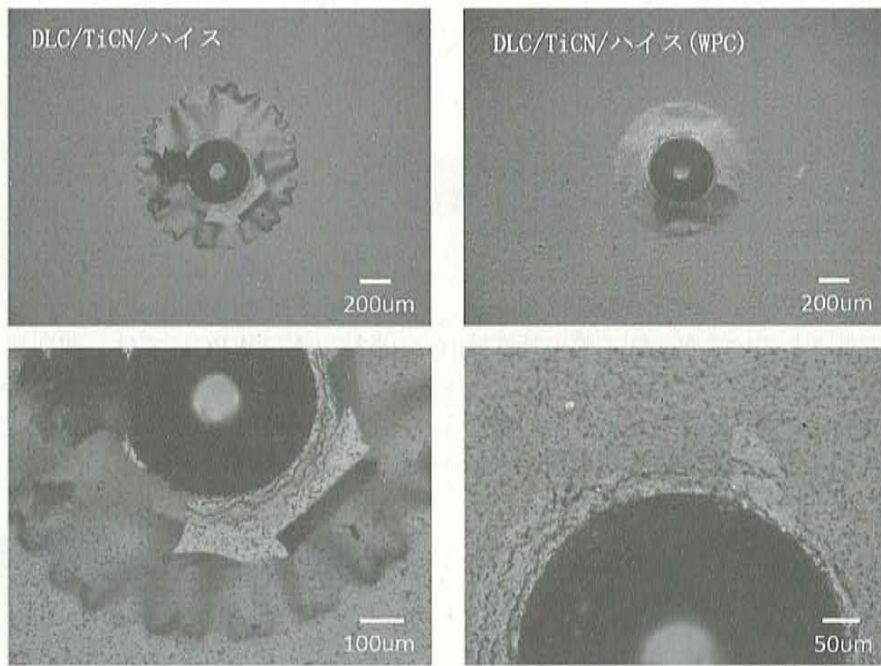
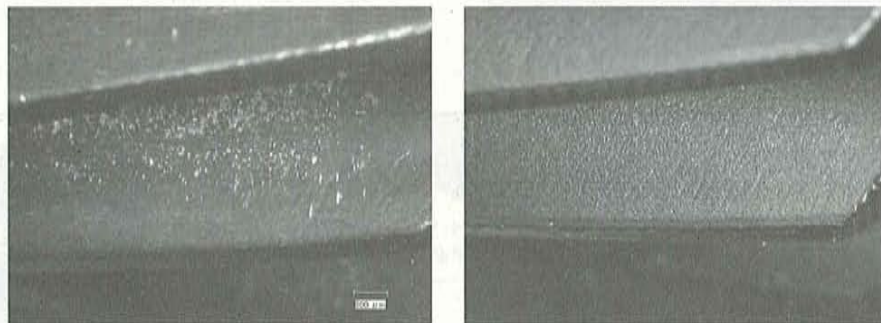


写真4 ロックウェル試験による変形追隨性の評価結果



(a) 未処理

(b) WPC処理

写真5 ギヤ試験後の刃面の実態顕微鏡観察写真

(a)未処理、(b)WPC処理

(15N、1,800sec) と異なるにもかかわらず、摩耗径が小さく、摩耗面も綺麗である。ロックウェル試験による変形追隨性を評価した結果を写真4に示す。WPC処理試料でも、剥離は観察されるが、鏡面試料では剥離も大きく、周辺部が浮きあがっているのが観察され、微細な凹凸の形成が変形追隨性も向上させていることが確認できる。

上記の結果からは、WPC処理によりDLC膜の密着性が向上していることが確認される。表

面形状形成による密着性向上のメカニズムとしては、表面の凹凸形状による負荷時の膜に対する応力分布の不均一性がDLC膜に微細な亀裂を生成し変形追隨性や亀裂伝播を防いだと考えている。

上記の結果に基づき、製品試験を行った結果を示す。自動2輪用ギヤボックスを用いた性能評価装置を作製し、市販ギヤを用いて、未処理ギヤならびに各種WPC処理ギヤにDLC被覆を施し作製した試験装置でDLC膜の損傷を評価し

た。試験後の歯面の外観観察の結果を写真5に示す。ギヤ試験の結果、使用した市販ギヤの表面の加工精度の影響や各歯面の当たり具合によるバラつきがあるものの、WPC処理により歯面の損傷が低減しており、実用部材においてもWPC処理・DLC複合処理の有効性が確認される。

これまでの結果では、表面形状の形成により相手攻撃性も低下しているが、DLC膜の特性は幅広く、異なる特性を有している。そのため、表面形状の形成にあたっては、相手材料の硬度やDLC膜の膜種により相手攻撃性が増加する場合も考えられるため、注意が必要である。

5 | おわりに

WPC処理は、材料表面の改質や表面形状の

形成などを複合的に生起させる。実際、金型などの疲労強度の向上には、残留応力の付与などの素材の強化と加工時のしゅう動抵抗の低減の複合的な効果により大幅な寿命の向上が図られている。このことは、反面、科学的・技術的に処理効果の機構説明が難しい事を意味しており、効果の発現にはノウハウや技能的な要素が大きいのが実際である。

当社(不二WPC)では、個別要素技術の見の蓄積と同時にノウハウや技能の蓄積を通じて実際の部品(産業部材)に合わせた処理を実施している。

著者紹介

熊谷 正夫
 (株)不二WPC 技術部長

工業プロセス用調節弁の実技ハンドブック

調節弁の各種プロセスにおける仕様決定から、メンテナンスにいたるあらゆる業務や多様なアプリケーションを記述した制御エンジニア必携のハンドブック

■主な内容

- 調節弁の基礎
- バルブサイジングと騒音計算
- 圧力・温度定格と接続方式
- 操作機、材料の選定
- グラッドパッキンとガスケット
- バルブポジション
- 関連法規、規制、団体規格
- トラブルと対策と保全管理 他

日本工業出版社 0120-974-250
<http://www.nikko-pb.co.jp/> netsale@nikko-pb.co.jp



- 著者：アズビル(株)
調節弁ハンドブック編集委員会
- 体裁：A5判432頁
- 定価：3360円

広告製品のカタログ等の資料は、本誌の「カタログ・資料請求用紙」または「www.nikko-pb.co.jp」お問い合わせよりご請求下さい。

編集部では、10日毎に処理し、広告主へお知らせします。
 広告主より直接読者へその資料が送られますが、お急ぎの場合は直接広告主へご連絡下さい。