

潤滑経済

2011
No.558

12

●特集 / 表面テクスチャリングとトライボロジーの最近の動向

微粒子ピーニングによる表面改質とテクスチャリング効果 / しゅう動面におけるテクスチャリングによるトライボロジー効果 / WPC処理によるトライボ特性の向上 / 表面テクスチャ付与のための加工法 / 表面テクスチャリング加工機械・受託加工ガイド

●トピックス / 中国市場参入に向けた新しい試み—国際先進メンテナンス技術センターの挑戦—

ADDITIN®

Solutions for challenging applications

“環境との共存” / 工業用添加剤

ラインケミーは生物由来のエコラベル (EEL、Blue Angel、Swedish Standard 或は OSPAR) に対応した、環境にやさしい極圧添加剤 (EP)、摩耗防止剤 (AW)、腐食防止剤 (CI)、特殊添加剤 (SP) とパッケージ (PA) も製品群として揃えております。

ラインケミージャパン株式会社
〒100-0005
東京都千代田区丸の内 1-6-5
丸の内北口ビルディング 23 階
電話 (03) 5293-8041
Fax (03) 5219-9779
E-mail daizo.terui@rheinchemie.com

A company of the
LANXESS
Group

 **RheinChemie**

www.rheinchemie.com/jp/loa.html

WPC処理による トライボ特性の向上

熊谷 正夫

株式会社不二WPC

技術部 部長

〒252-0331

相模原市南区大野台4-1-83

TEL 042-707-0776 FAX 042-707-0779

E-mail kumagai@fujiwpc.co.jp

はじめに

自動車をはじめとした輸送機器の燃費向上など、環境負荷低減のための技術開発は地球温暖化対策、省資源など急務の課題である。とりわけ東日本大震災以降、エネルギー政策転換の

有無にかかわらず、製造あるいは使用段階での、エネルギーロスの低減、材料の寿命延長などの要素技術の開発や適応が迫られている。輸送機器に限らず、摺動や摩耗などによるエネルギー損失はGNPの1~2%を占めるといわれており、摺動や摩耗などトライボ特性の向上は上記の課題解決のための有効な手段となっている。

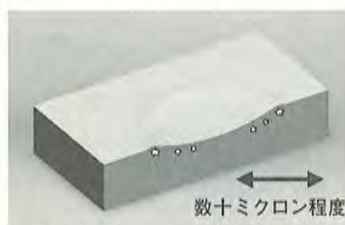
本稿では、WPC処理による摩擦・摩耗を主としたトライボ特性の向上に関して、実例も含めて紹介する。

1. WPC処理とは

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るが、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、投射速度も数十m/sec.~100mm/sec.であるが、WPC処理では、数十 μ m以下の微細粒子を、数百m/sec.の高速で投射する。投射粒径が小さく、高速なことから、被投射材表面に大きな塑性変形



(a) WPC



(b) ショット・ピーニング

図1 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

をもたらず。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図1に示す。

材料表面の大きな塑性変形により、投射材、被投射材の硬度や延性など機械的特性により様々な材料表面の改質が可能となる。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れば、非投射材表面に比較的均一なナノ結晶層¹⁾や微結晶層の形成、基材表面部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(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なども可能で、アルミニウム合金の表面改質^{2,3)}などに適応されている。

一方、トライボロジー的観点からも、WPC処理は微細ディンプル(凹凸)の形成など、表面テクスチャの形成に対して有用な手法である。WPC処理により形成される表面テクスチャは、投射粒径が数 μ mから数十 μ mであることから、平面では10 μ m

程度、凹凸では μm オーダーであり、油保持性の向上による焼付き防止など潤滑において重要なスケール領域となっている⁴⁾。各種

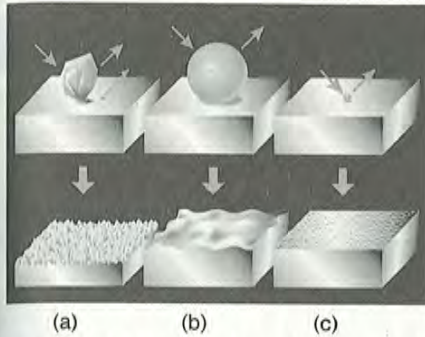
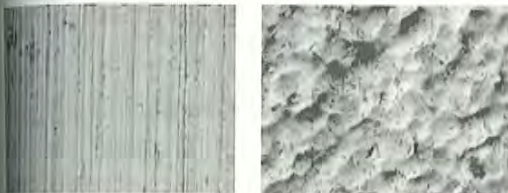


図2 サンドブラスト(a)、ショット・ピーニング(b)、WPC処理(c)により形成される材料の表面形状



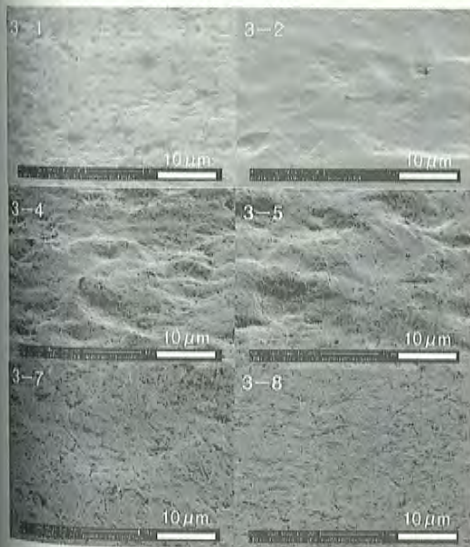
未処理 Rz 0.3
※肉眼では鏡面

WPC処理済 Rz 1.6

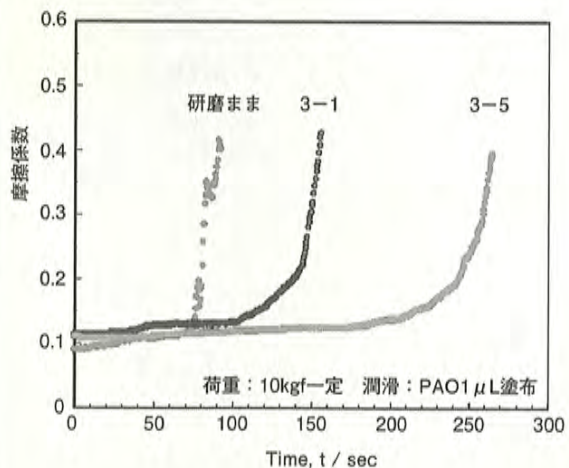
(a) 未処理

(b) WPC処理後

図3 WPC処理により形成される表面の光学観察像



(a) 表面形状のSEM写真



(b) 耐焼付き性試験の結果

図4 WPC処理ならびにSMAP処理により形成された表面形状(a)と耐焼付き性試験の結果(b)

で、試料表面にPAO 1 μ Lを塗布し、行った。

研磨（鏡面）試料に対して、表面にテクスチャを形成した試料の耐焼付き性が向上していることが確認できる。表面テクスチャの形状評価では、様々なパラメータが存在し、表面テクスチャを表わす、どのパラメータがトライボ特性と関連するのかは今後の課題であるが、本試験結果では突出山部高さ（RpK）を小さくし、突出谷部深さ（RvK）を大きくすることにより良好な結果が得られている。

上記結果の実施例として、ファインブランキングの高速化に適応した事例を次に示す。ファインブランキングは精密塑性加工を行う高精度のプレス加工であり、精度を維持したまま加工速度を上げると、金型の負荷が大きくなり、寿命延長のための対策が必要となってくる。金型表面には、Ti系の硬質薄膜を形成し耐摩耗性を向上させているが、加工時の相手材の凝着による摩擦の増大が要因と推定される金型の疲労破壊により、高速化は困難であった。5万ショット後の金型の損傷状態のSEM観察結果を図5に示す。基材への被加工物の凝着や、損傷が観察される。本金型にWPC処理を施し、同様にTi系の硬質薄膜を形成し、試験を実施したところ大幅な寿命延長が可能となり、高速化に成功した。WPC処理を施した金型の、10万ショット後のSEM観察結果ならびに表面部の拡大写真を図6、図7に示す。WPC処理金型は損傷が少なく、ディンプル形状も維持されている。

金型の寿命延長に関する、WPC処理の効



図5 未処理金型の5万ショット後の損傷状態 (SEM観察)



図6 WPC処理を施した金型の10万ショット後の外観 (SEM観察)

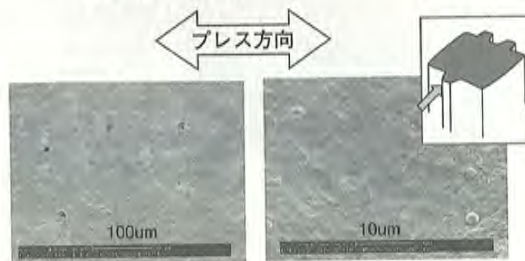


図7 WPC処理を施した金型の10万ショット後のパンチ上部の拡大像

果としては、表面に形成された微細なディンプルが油ダマリとなり相手材の凝着を防いだと考えられ、WPC処理による、表面テクスチャの形成は、高負荷下の摺動に対して極めて有効に作用すると考えられる。

すでに述べたように、WPC処理では表面改質と表面テクスチャの形成が同時に可能であるため、本事例でも、油ダマリの形成による潤滑性の維持、表面の圧縮応力の付加による疲労強度の向上、金属組織微細化による硬質薄膜の清浄化などが相互に補完しながら、効果を発揮していると考えられる。

本事例のほか、初期なじみと表現される接触状態の改善過程にも、WPC処理により形成される表面のナノ結晶化などが有効に作用すると考えられる。また、現在、金型や摺動部材の使用にあたっては、Ti系などのセラミックス薄膜やDLCなどの使用が増大している。薄膜下地処理としてWPC処理を用いることにより、下地の残留応力や表面硬化だけでなく、表面テクスチャ形成は剥離亀裂の進展を阻止するなど薄膜の密着性向上に有効である。

3. WPC 処理の課題と今後の展望

微細加工技術の発展に伴い、表面テクスチャリングによる摺動向上について積極的な適応の試みがなされてきている。WPC 処理は試料表面に表面テクスチャを作るための有力な手法として、自動車部品、金型などに適応され効果が得られている。しかし、実際の適応にあたっては、経験的な表面テクスチャリングに依っているのが現状である。表面テクスチャリングの適応にあたっては、形成法と計測・評価法の確立が一体としてなされる必要がある。現在のところ、表面テクスチャという3次元的な形状の評価法に関しては、標準的な形では確立されているとは言い難く、表面テクスチャの評価法の標準化が大きな課題である。

トライボ特性に与える表面テクスチャなどは、種々検討されつつあるが、テクスチャ形成にあたっては、多くの形成プロセスが基材

の改質を伴っており、トライボ特性に与える金属組織学的な影響⁵⁾などについても合わせて検討する必要がある。

いずれにしても、摺動部材や金型などでは高負荷状態での使用が必要とされており、表面テクスチャリングによるトライボ特性向上の取り組みがますます重要となると考えられる。

<参考文献>

- 1) 高木真一ほか：“微粒子ピーニングによるSCr420浸炭焼入れ鋼表面のナノ結晶化”，鉄と鋼，318,92 (5)，2006
- 2) 中村紀夫ほか：“微粒子ピーニングにより工業用純アルミニウムの表面近傍に形成されたナノ複合組織”，軽金属，155,61 (4)，2011
- 3) T.Horiuchi et.al.：“Method of Applying DLC Coating on Aluminum Alloys”，Tribology Online，136,5 (2)，2010
- 4) 佐々木信也：“表面改質によるトライボマテリアルの創製”，潤滑経済，2,6,2009
- 5) 熊谷正夫ほか：“DLC被覆による転動疲労寿命の延長”，表面技術，428,57 (6)，2006

潤滑 NEWS

「ものづくりNEXT2011 ↑ メンテナンス・テクノショー」開催される

11月16日(水)～18日(金)の3日間、「ものづくりNEXT2011 ↑ メンテナンス・テクノショー」主催：(社)日本能率協会が東京ビッグサイト(東京都江東区)で開催された。

今年で51回目を迎える同展は、設計・生産・保守の連携を促進する場として、ものづくり革新・改修を支援する各種製品・サービスを一堂に集めた専門展示会。

今年は、昨年に引き続き「状態監視技術プラザ」が設けられ、コスト削減、生産性向上などに寄与する先進的な製品・サービスの展示や、ISO18436-2 準拠「機械状態監視診断技術者(振動)」・ISO18436-4 準拠「機械状態監視診断技術者(トライボロジー)」の資格認定制度が紹介された。

また、今年は緊急企画として「事業継続・危機管理支援フェア」が実施され、災害時に必要な電源確保やデータ保全、施設の耐震性向上などの事業継続



状態監視技術プラザの様子

にフォーカスし、災害・危機時の生産体制の維持に寄与する先進的な製品・サービスなどが集中展示された。なお、3日間の総来場者数は35,857人だった。

次回は2012年11月14日(水)～16日(金)の3日間、東京ビッグサイトで開催される予定。

表面テクスチャ付与の ための加工法

佐々木 信也

東京理科大学
工学部 機械工学科 教授
〒102-0073
東京都千代田区九段北1-14-6
E-mail s.sasaki@rs.kagu.tus.ac.jp

エネルギー問題や地球環境問題を背景に、機械システムの摩擦損失低減を目的とした技術的アプローチの1つとして、表面テクスチャリングに大きな期待が寄せられている。

表面テクスチャリングは、表面改質技術の1つに位置付けられるが、表面仕上げという観点から見れば、いかなる製品製造の場合にも必須となる加工プロセスとして捉えることもできる。特に表面性状や表面粗さは、機械部品の表面仕上げを規定する機械設計で、基本中の基本とも言えるパラメータであるが、それらは単に部品の幾何学形状を規定するだけではなく、摺動表面においてはトライボロジー特性という機能を発現する要因となることは周知の通りである。工作機械等の案内面に施すきさげ加工やシリンダライナー内面のホーニング加工などは、古くからある表面テクスチャの代表的な例である。この他、シール面の表面仕上げなど、実用上必要不可欠となっている表面テクスチャは事例を挙げればきりががない。最近では、より積極的に任意のテクスチャを表面に付与することで、トライボロジー特性の改善を図ろうとする試みが盛んに行われている。昨今の表面テクスチャに対する高い関心の背景には、ナノテクノロジーに牽引されて発展した微細加工技術をはじめとする表面加工技術の進歩とその普及がある。

一方で、目的とするトライボ要素の特性向上に対し、どのような表面テクスチャの付与が効果を発揮するのかという明確なガイドラインは未だ確立されていない。これは、つまるところはトライボロジーそのものが内包する現象の複雑さに起因するものではあるが、それ以前の問題として考えねばならないこと

は、ナノレベルからマクロレベルの幅広いレンジにおいて、意図する表面形状を創製する技術、そしてこれを汎用的に評価する技術が未熟なレベルに留まっているということである。それ故、表面テクスチャによる摺動特性向上のメカニズムとしては、マクロな視点からの効果、具体的には①動圧の発生、②摺動面への潤滑油の供給、③異物の排出とトラップという3つの働きが認められているに過ぎない。しかし、境界潤滑領域のように、表面のわずかな物性や組成の特性の違いがマクロな摩擦・摩耗特性に反映される摺動状態下では、潤滑油の濡れ性や化学反応性そして反応層の形成プロセスなどを介し、表面のテクスチャは大きな影響を及ぼすものと考えられる。さらに、トライボロジー現象の特徴である動的な変化にも着目する必要がある。摩擦・摩耗現象は、初期なじみ期間を経て定常状態へと移行するのが常であるが、このような経時変化をもたらすのは摺動表面の変化に他ならない。すなわち、表面テクスチャを考える場合には、その経時変化をあらかじめ織り込んだ上での表面設計が必要になる。これらを踏まえ筆者らは、表面テクスチャの新しい概念として、「マルチスケール・テクスチャリング技術」を提案した。これは、表面の3次元形状と組成の空間分布をナノ・マイクロオーダーからマクロオーダーまでの連続したスケールで捉えるとともに、支配的となる摩擦・摩耗メカニズムとの関係から表面の経時変化を考慮することで、実用的な性能向上を可能にする摺動表面の創製を図るというものである。

テクスチャリングの単位スケールとその創製方法を図1にまとめた。近年の加工プロセ

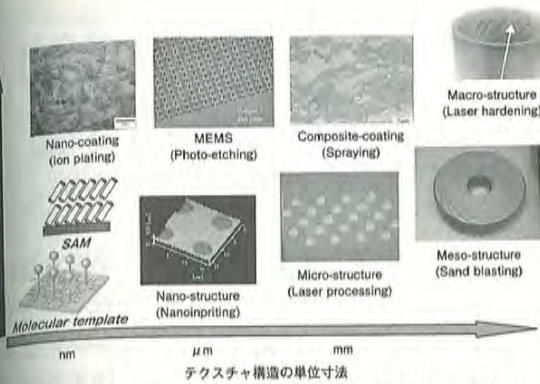


図1 表面テクスチャリングのスケールと加工プロセス

スや材料創製技術の進歩によって、SAMやナノコンポジットといったナノスケールの表面制御から、ナノインプリントやLIGAプロセスのようなサブミクロンスケールの表面構造創製プロセス、そしてレーザーや電子・イオンビームなどによるミクロンレベルの高エネルギー加工プロセス、そしてサンドブラストや化学エッチング、精密機械加工といった低コスト・高効率プロセスを比較的容易に組み合わせることも可能となっている。レーザー加工は、高密度エネルギーの制御性が良く、また電子ビーム多イオンビームのように高真空環境を必要としないことから、今後の利用が拡大するものと考えられる。その理由として、近年のレーザー技術の進歩には目覚ましいものがあり、高出力化、短波長化、短パルス化、高パルス周波数化、長寿命化、高効率化といった新しい機能と性能を有した様々な製品が、市場に次々と提供されている

ことが挙げられる。それぞれの特徴を生かした複数のレーザーの組み合わせにより、マルチスケールをカバーする複合加工も可能になりつつある。本特集では、フェムト秒レーザーを使った最新の表面テクスチャリング技術が紹介されている。恐らく10年前であれば、フェムト秒レーザーを摺動表面の加工に利用するというようなことは、生産性とコスト面で非現実的との見方が大半であったかと想像する。しかし、フェムト秒レーザー加工による摺動特性の改善例を踏まえ、今日ではその実用性と有用性が十分に高い水準にあることをご理解いただけるものと思う。また、トライボ要素への汎用性の高い表面加工技術として、従来のショットピーニングやサンドブラスト技術を進化させたマイクロショットピーニング法やWPC法が紹介されている。どちらもすでに製品への応用実績のある信頼性の高い技術であるが、今後のさらなる普及が見込まれる表面テクスチャ加工技術としての期待も大きい。他にも多くの表面テクスチャ加工技術が実用化あるいは研究開発されているが、重要なことは対象とするトライボ要素に適したマルチスケール・テクスチャを設計し、これを具現化するための加工方法を選択・組み合わせることにより、最適な加工プロセスをカスタマイズすることである。本特集の加工方法の事例紹介が、表面テクスチャリングについてのインスピレーションを大いに刺激するものと期待している。

表面テクスチャリング加工システム 供給・受託加工会社一覧

システム名	ショット ブラスト	レーザー 加工	エッチング	機械 加工	特殊 加工	その他	特長や用途など
KKショット機 ☎ 052-604-1215 FAX 052-604-1285							
EOP SYSTEM	○						低流量微細粒子投射装置
キヤノンマシナリー機 ☎ 077-566-1821 FAX 077-566-1838							
Surfbeat-R		○					摩擦低減、凝着防止、濡れ性制御など 多彩な機能表面形成
不二 WPC ☎ 042-707-0776 FAX 042-707-0779							
WPC処理・鏡面仕上げ用 プラストマシーン	▲				▲		凹凸（精密マイクロディンプル）を制御 して油溜りの創成

○：システムの供給 ◎：システムの供給と受託加工 ▲：受託加工

WPC 処理による 製品の強度アップ

株式会社不二 WPC

〒252-0331 相模原市南区大野台 4-1-83
TEL (042) 707-0776 FAX (042) 707-0779
URL <http://www.fujiwpc.co.jp/>

WPC 処理とは

WPC 加工, ディンプル加工, MD 加工, マイクロディンプル処理, MD 処理, 微粒子ピーニングや精密ショットピーニングとも呼ばれている。

WPC 処理は, 金属製品の表面に, 目的に応じた材質の微粒子を圧縮性の気体に混合して高速衝突させる表面改質技術のことである。

WPC 処理では, 材料表面の局所領域に多方向・多段・非同期の強加工が導入されることにより, 表面層への圧縮残留応力の付与や金属組織の微細化やナノ結晶化がなされる。その結果, 疲労強度の大幅な向上や表面の高硬度化による耐摩耗性が向上する。また, 表面に微小なディンプルが形成され, 油ダマリの効果などにより摩擦摩耗特性が向上する。

WPC 処理の特長

金属製品の表面に製品硬度と同等以上の硬度を有する 40 ~ 200 μm の微細なショットを噴射速度 100m/sec 以上の高速で噴射し, 表面層を改質する。投射粒径が小さく高速なこ

とにより, 次のような優れた特性が得られる。

- ①表面層への圧縮残留応力の付与による疲労強度の向上
- ②組織の微細化, ナノ結晶化による耐摩耗性の向上
- ③表面形状制御 (マイクロディンプル形成) による摺動特性の向上

キズなどないように見える金属表面も顕微鏡で観察した画像を図 1 に示す。

未処理試料では不均一な状態となっており, 目に見えないクラックや材質のムラが存在する。金属疲労でパーツが破損するという場合, そのような部分が起点となって破損が始まる。

これに, WPC 処理を行ったものでは, 表面組織が微細化し異常層も消滅し, 疲労強度が格段に上がる。

<ここがポイント！>

WPC 処理は金属の強度を上げるのではなく, この金属疲労に対して非常に強くなる。ある力が加わると 1 回で壊れてしまう部品に処理をしても, 壊れなくなる可能性は少ない

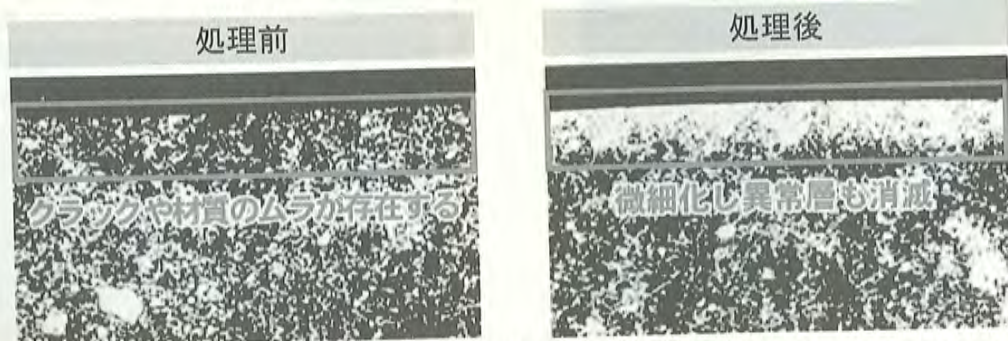
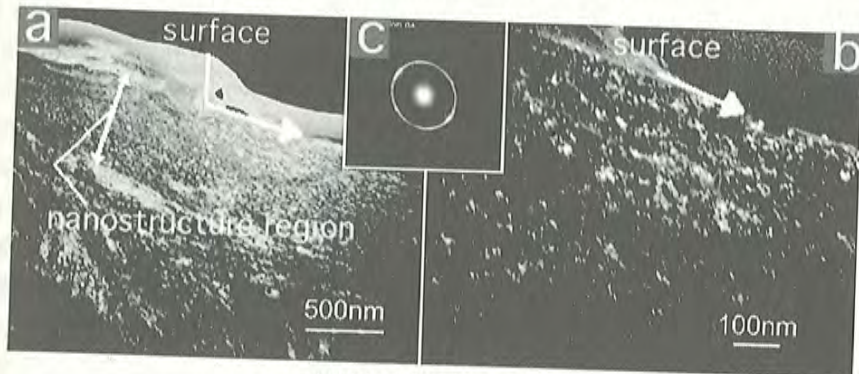


図 1 処理前後の顕微鏡による比較



図2 処理前後の顕微鏡による比較



表面近傍の透過型電子顕微鏡増
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 0.8 ナノメートル)

図3 S-Cr420 浸炭焼入れ鋼表面の組織変化

と言える。これは、材料の強度が足りないからである。逆にしばらくは持つが何回かすると壊れてしまう部品に処理すれば寿命の長期化が図れる。

「摺動性向上」とは、滑りを良くして摩擦を減らすということである。

金属製品の摺動部は通常潤滑油が使用されているが、使用条件により潤滑油切れにより摩耗する。表面に WPC 処理することにより、潤滑剤切れを起こしにくい凹部を形成することにより、油温も下がり、音も静かになり、摩耗を防止することができる。

WPC 未処理品、処理品の表面観察像を図4に示す。通常の研磨面は縦にスジが通って一見きれいだが、オイル潤滑するとき、膜がスジに沿って逃げてしまう。WPC 処理では、細かいメディアがぶつかり無数のインプルができています。これがオイル溜りになり、潤滑性を確保することができる。

トランスミッションのギア材に WPC 処理をした TEM 写真を図3に示す。

適用などの事例紹介

疲労強度の向上／耐衝撃性の向上／摺動性の向上／表面硬度の向上／各種コーティング、メッキとの密着性向上／低温脆性の防止／各種腐食の防止／燃費向上／耐用年数向上／etc

WPC 処理による性能比較グラフを図4、製品画像を図5に示す。

加工可能な部品の例

ミッション／クラッチ／デファレンシャル／コンロッド／ドライブシャフト、CVJ／ピストン、ピストンリング／クランクシャフト／ロッカーアーム、バルブリフト／バルブスプリング／ターボチャージャー／オイルポンプ (トロコイドギア)／カムシャフト／

WPC 処理条件：30 秒投射（スチールビーズ）

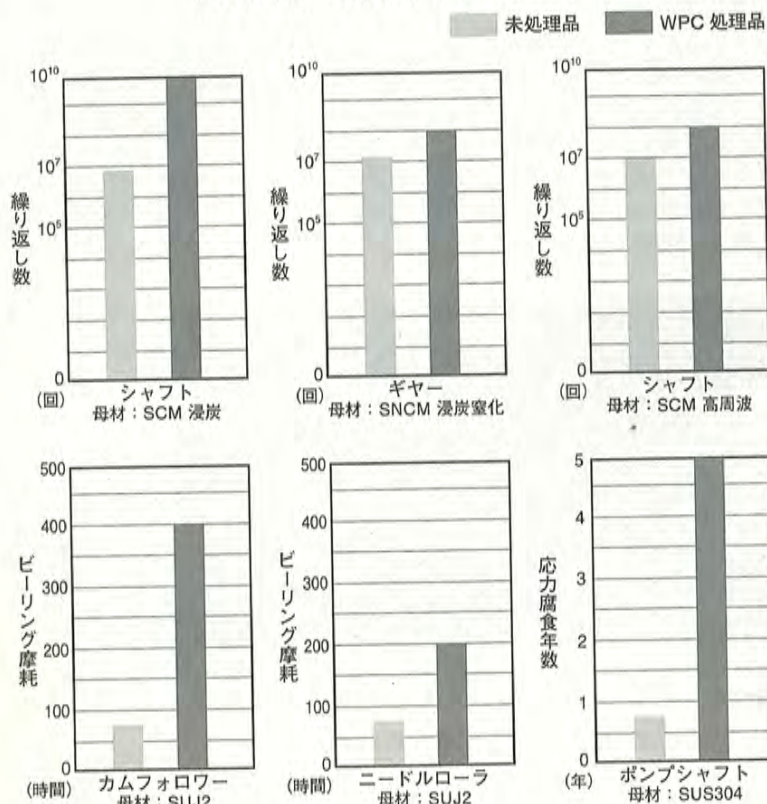


図4 性能比較グラフ

エキゾーストマニホールド／バルブ／メタル／シリンダーブロック／アベックスシール（ロータリー）／コーナーシール（ロータリー）／サイド／ローター（ロータリー）／etc…

WPC 処理によるピッチング摩耗の抑制効果

トランスミッションの歯車に発生する不具合の中でも、図6に示すピッチング摩耗に関して、WPC 処理を行うことにより、表面に存在するマイクロクラックを減少させ、異常摩耗の発生を抑制する。WPC 処理後の歯面（図7）はツールマークがWPC 処理により慣らされていることが確認できる。

トランスミッションへのWPC 処理は、近年の競技用自動車や競技用モーターサイクルには必要不可欠である。

エンジンの高出力化やタイヤのグリップ

性能向上により高負荷状態になりつつあり、エンジンのコンパクト化に伴い小さくなった歯車に対する耐久性・摩耗性の向上が求められている。

レース等では、定期交換部品が必ずある。その交換サイクルは非常に短い部品と長持ちする部品との組み合わせで使用されている場合があり、このような寿命の違う部品の組み合わせの場合、寿命の短い部品に合わせて点検・交換時期が定められるが、点検時に寿命や編摩耗が発生している場合、最適な状態で運転していなかったことになる。

良い状態を長く保つことが重要になり、WPC 処理などを有効に使い最適な状態を保っている間に、定期

交換品（消耗品）を交換することが大切である。交換を怠ると、編摩耗等により本来、長寿命の部品まで早期に編摩耗が発生し、結果非常に短い時間で不具合が発生しトラブルの原因になる。

今後の課題や展望など

WPC 処理は、バブル崩壊後、大手自動車メーカーに本格的に採用されている。装置が安価で、用途が広く比較的效果が大きく、使用条件等により限界がある場合、他の表面改質との多重複合等が容易に行うことができ、飛躍的な効果を得ることもできる。

今後は複合処理として、トライボロジー効果を得ることができる金属製品の摺動部の摩耗防止法。表面の微細な略円弧状の凹部を利用することにより油膜切れを防止し、摺動部



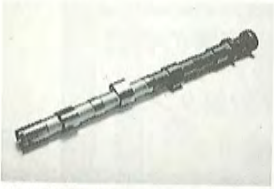
メタルクランク



インプットシャフト



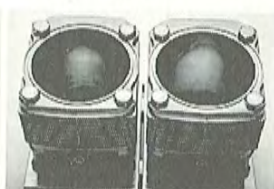
クランクシャフト



カムシャフト
(左: 処理後 右: 処理前)



トランスミッションギア



シリンダー
(左: 処理後 右: 処理前)



ピストン



ファイナルギア



ピニオンギア



コネクティングロッド



トロコイドギア



シリンダーライナー
(左: 処理前 右: 処理後)

図5 WPC処理製品



図6 ピッチング摩耗痕



図7 WPC処理後の歯面

の摩耗を低減する。また、セメンテーション効果を得ることができる。

このように今後、ますます WPC 処理の用

途が拡大し、産業界全般に貢献できるものと思われる。