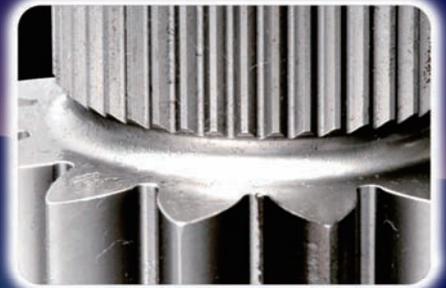


METAL SURFACE TREATMENT

WPC

DLC Coating
Fine Particle Bombarding

Wide Peening and Cleaning
Wonder Process Craft



金属の疲労強度・耐摩耗性向上に貢献



代表取締役社長 下平英二

当社は、金属の疲労強度・耐摩耗性・耐焼付き性向上などを目的に行われる表面改質技術「WPC 処理[®]」の受託加工を主業務として、1997 年より事業を開始しました。

事業開始より、自動車生産ラインで使用する工具や金型、及び工業用製品で採用されるとともに、モータースポーツや市販車のエンジン部品やミッションギヤ等に活用され、高い効果を証明しております。また、WPC 処理のさらなる有用性・有効性を実証するため、産学官公共同研究に積極的に参画しております。

品質方針

お客様の立場に立ってよく思考し、独自の固有技術と品質管理を用い、全従業員が一丸となってお客様から信頼を得る製品を提供する。品質方針が全従業員に理解されるために、以下の方針を定める。

1. 全従業員が品質方針を達成するために、必要な品質目標を設定する。
2. この品質マニュアルは、ISO9001 に基づき、ノークレームを目標として、ユーザーに適合した製品を提供する。そのために、実行、維持されなければならない品質マネジメントシステムを示すものである。
3. 品質方針、目標は全従業員が理解し、定期的に見直す。
4. 不詳の事態が発生した場合は、即時に 3 現主義に則って解決する。
5. 適用される事項を遵守し、将来を見越したユーザーのニーズを目指して期待を超えるように努める。
6. ユーザーとの協力関係を築きあげることで、お互いの発展と会社への貢献を目指す。



会社概要

商号	株式会社 不二 WPC
代表者	代表取締役社長 下平英二
資本金	1,000 万円
所在地	〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台 4 丁目 1 番 83 号 (Sia 神奈川工業団地内) Tel 042 (707) 0776 / Fax 042 (707) 0779
事業内容	WPC 処理 [®] ・DLC コーティングの受託加工

主要取引先

いすゞ自動車(株)、(株)本田技術研究所、日野自動車工業(株)、日産ディーゼル工業(株)、日産自動車(株)、(株)小松製作所、(株)リコー、(株)ミクニ、ジューキ(株)、三菱マテリアル(株)、日鍛バルブ(株)、日本ピストンリング(株)、オリンパス(株)、三菱重工業(株)、住友重工業(株)
(順不同)

沿革

平成 9 年	4 月 15 日、WPC 処理の普及並びに用途開発を目的に設立
平成 17 年	2 月 L.A に子会社 (WPC Treatment Co., Inc.) を設立
平成 19 年	3 月 ISO9001:2000 取得 8 月 経済産業省の「戦略的基盤技術支援事業」に採択
平成 20 年	2 月 経営革新計画の認定 6 月 神奈川県補助金事業 (DLC) に採択
平成 21 年	3 月 NEDO「実用化研究開発事業」に採択 6 月 経済産業省「元気なモノ作り 300 社」に採択 11 月 相模原新工場に移転 (Sia 神奈川工業団地)

WPC 処理[®]とは・・・

Wide Peening and Cleaning（幅広く 打ちつけて 清掃する）または Wonder Process Craft（不思議な、驚くべき 工程の 特殊技術）の略です。

正式名称は「WPC 処理[®]」ですが、ほかに WPC 加工、ディンプル加工、マイクロディンプル処理、微粒子ピーニングなどと呼ばれ、学会では「FPB (Fine Particle Bombarding)」の名称を使用しております。処理方法としては大きく分けて表面加工熱処理、マイクロディンプル処理、モリブデンショットの 3 種類があり、お客様のニーズによって選定、またはコーティングなどと併用します。

WPC 処理は、金属製品の表面に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す。処理対象物の最表面で急熱・急冷が繰り返され、同時に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、微細で韧性に富む緻密な組織が形成されます。高硬度化して表面を強化すると同時に、表面形状を微小ディンプルへ変化させることによって摩擦摩耗特性を向上させます。そのため、機械部品・切削工具・金型などの強度と機能を向上させる表面改質技術として、幅広い分野でのご利用が可能です。



不二WPCは2010年現在、国内外のモータースポーツ関連の技術的支援をしています。



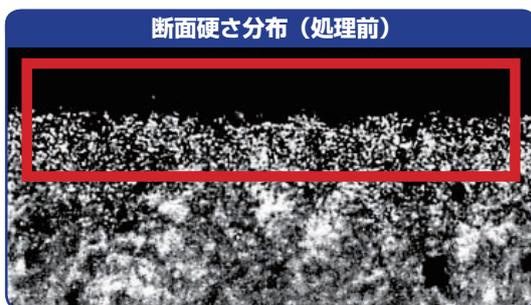
表面加工熱処理法による 疲労強度向上

金属表面の組織を微細化する効果で疲労強度を大幅に向上

疲労強度向上のメカニズム

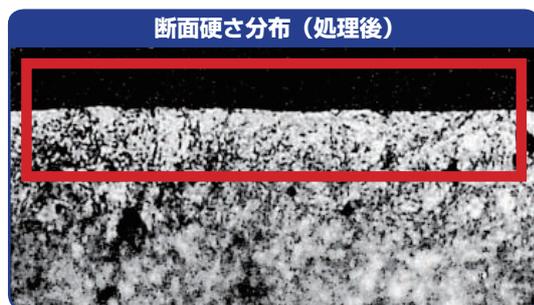
表面加工熱処理法は、金属製品の表面に製品高度と同等以上の硬度を有する $40 \sim 200 \mu\text{m}$ の微粒子を毎秒 100m 以上で噴射し、表面温度を $A3$ 変態点以上に上昇させる技術です。また、塑性変形が繰り返し生ずるプロセスの過程で、表層近傍に大ひずみ加工を導入します。局所的な超強加工は内部圧縮応力を付与すると共に、熱処理効果を有し転位運動を伴いながら加工硬化を引き起こします。そして、塑性変形による転位密度の増加は転位セルのサイズを微細化し、さらに転位密度がある臨界値を超えると動的連続再結晶によってナノ結晶組織に至ると考えられており、結果的に金属破壊の起点となるクラックや材質のムラなどの異常層を消滅し、疲労強度を向上させます。

SNCM420の顕微鏡画像による比較



断面硬さ分布（処理前）

ギヤなどに使用されるSNCM420（ニッケルモリブデン鋼）浸炭窒化品。肉眼でクラックなどがないように見える金属表面も、顕微鏡で見るとクラックや材質のムラなど不均一な状態となっています。



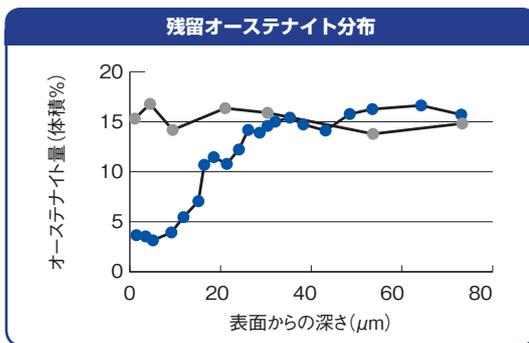
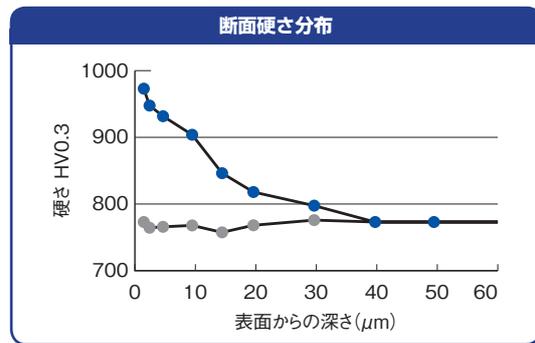
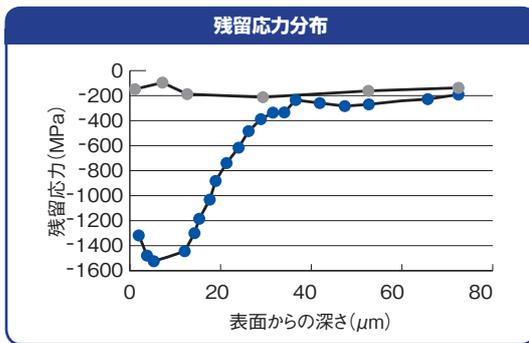
断面硬さ分布（処理後）

表面加工熱処理法を行った後は、表面組織が微細化することにより異常層が消滅していることが確認できます。これにより、金属の疲労強度が格段に向上します。

WPC Treatment



WPC 処理と真空浸炭による機械的特性評価の比較

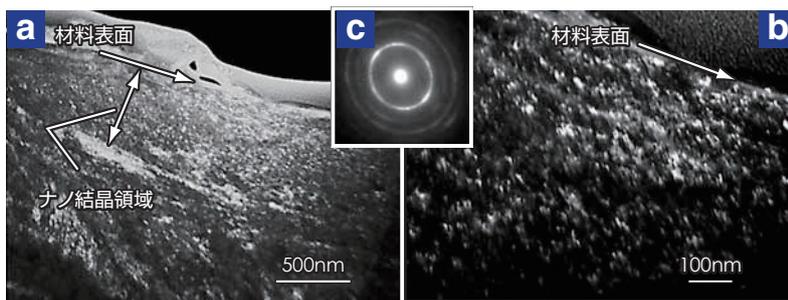


浸炭条件 : SCM420、日本ハイズ、アセチレンガス、CDE0.4mm 狙い

WPC 処理条件 : 30 秒投射 (スチールビーズ)

● 真空浸炭 ● WPC処理

SCr420 浸炭焼入れ鋼表面の組織変化



トランスマッションギヤ材に WPC 処理をした表面近傍の TEM 写真。白い粒が結晶で処理前のミクロンサイズが約 10nm (ナノ結晶) に微細化されています。

a : 暗視野像 (低倍率)

b : 暗視野像 (高倍率)

c : 制限視野解析図形 (視野直径 0.8nm)

WPC 処理条件 : 30 秒投射 (スチールビーズ)



マイクロディンプル（MD）処理による 耐摩耗性・焼付き性向上

金属表面に小さなディンプル（くぼみ）を無数に形成することで摺動面にオイル溜まりを形成し摩擦・摩耗を低減

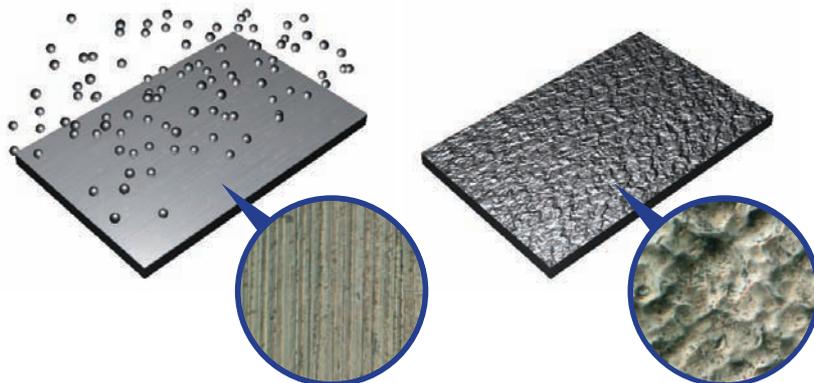
耐摩耗性・焼付き性向上のメカニズム

マイクロディンプル処理は、金属製品の摺動部の表面に 20 ~ 200 μm の微粒子を毎秒 50m 以上の高速で衝突させて、表面に精密な凹凸を創成する表面改質技術です。凹凸の直下には、内部圧縮応力の高い高硬度で靱性に富んだ微細組織が得られ、摺動の面圧に耐えることの出来る強化された表面組織となります。マイクロディンプル処理による半円弧状の凹部は、オイル溜りとなり油膜を保持し、無接触に近くなることで油温も下がり音も静かになり摺動部の摩耗を防止します。また、油切れを起こしにくい微小ディンプルは初期なじみを容易にし、耐焼付き性を向上させます。

金属表面の拡大画像（3,000倍）と顕微鏡写真による比較

通常の研磨面は縦にスジが通っています。見た目はきれいですが、オイル潤滑するとき、油膜がスジに沿って逃げてしまいます。

マイクロディンプル処理を行うことにより、無数のディンプルが形成され、これがオイル溜まりとなり潤滑性を確保することができます。



WPC Treatment

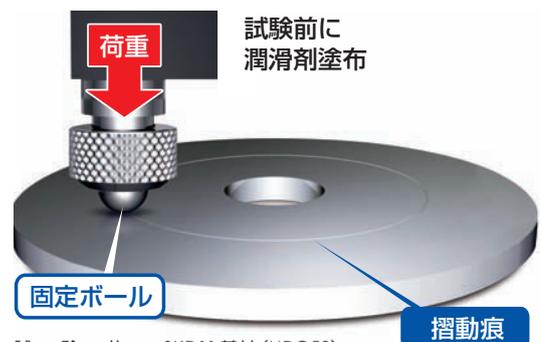


ボールオンディスクによる連続増加荷重摩擦摩耗試験

試験条件

固定ボールをディスクに押しつける力を徐々に増加させながら摩擦係数を測ります。焼付きが発生すると、摩擦係数が急激に上昇します。ボールへの負荷は 10kgf (ヘルツ面圧換算で約 1.4GPa) まで連続的に増加させて、焼付き (摩擦係数が急激に増加) 時の荷重を評価します。試験前に PAO 系の潤滑剤を塗布しています。

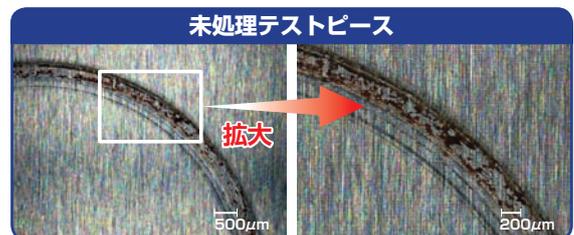
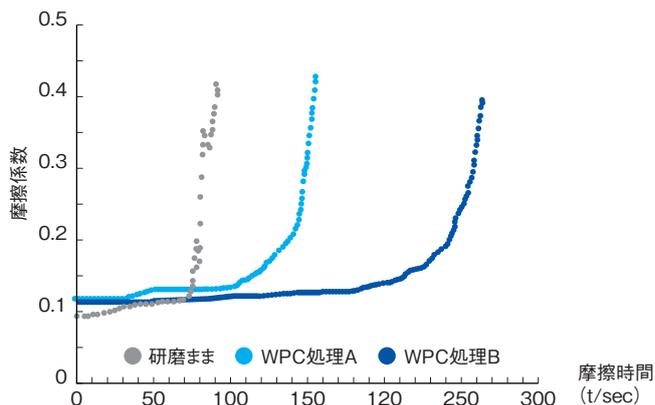
ボールとディスクの組み合わせのため、点接触となり潤滑剤が逃げるため、非常に厳しい潤滑条件です。当然のことながら通常のエンジンやギヤボックスでは起こらない極限状況であり、試験のために生まれた試験法といえます。



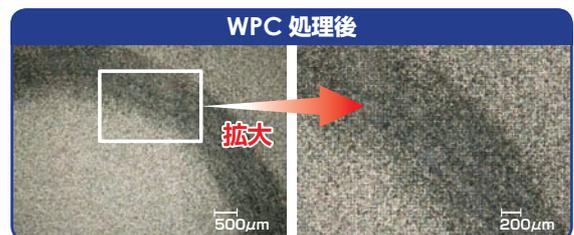
試験片	SKD11 基材 (HRC59) Ra 0.229 μm / Ry 1.78 μm
相手ボール材	軸受鋼: SUJ2 (HRC62)、表面粗さ: Ra 0.02
摩擦条件	滑り速度: 0.1 m/s、雰囲気: 大気中、室温 潤滑剤: PAO 系

試験結果

Ra=0.02 程度にまで研磨した試料は、試験初期には低い摩擦係数を示します。しかし、油膜切れが起き摩擦係数が上昇始めると急激に増加し大規模な焼付きに進展してしまいます。WPC 処理を施して表面にマイクロディンプル形状を付与すると、焼付きには長時間を要し、耐焼付き性が向上していることがわかります。また、摩擦係数が増加し始めても急激に上昇することはなく、徐々に増加する段階を経ています。



標準の表面状態。表面粗さは Ra 0.23 で通常の研磨仕上げです。拡大すると潤滑剤が黒く焼き付いているのが見えます。



微細な凸凹により表面はツヤ消しになっています。荷重を大きくしても焼き付きません。



二硫化モリブデンショットによる 摺動性向上

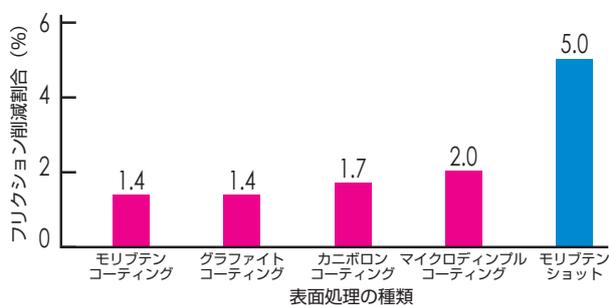
バインダーを必要とせずに金属の最表層に固体潤滑剤層を形成し大幅な摺動抵抗低減効果

摺動性向上のメカニズム

二硫化モリブデンショットは、WPC 処理の技術を使い、フリクション低減効果の高い固体潤滑剤の二硫化モリブデン (MoS_2) を高速で打ち込みます。表面に塗るコーティングと違ってバインダー（結合材）が不要なため、二硫化モリブデンの特性が大きく現れ、金属の摺動抵抗を大幅に低減することができます。また処理対象物に対し、WPC 処理を併用し固体潤滑剤を一部熱拡散させながら打ち込んでいるため、剥離や摩滅に対して非常に強固になっており、長期間にわたり摺動抵抗低減効果が持続します。従来のモリブデンコーティングでは不可能な寸法の厳しい箇所に処理できることも特徴の一つと言えます。

各種表面処理のフリクション削減割合

自動車メーカーの実験で、ピストンスカートに各種の表面処理を施し、エンジン単体をモーターリングしてフリクションを比較した (1L・3 気筒エンジン、部分負荷)。モリブデンコーティングは、フリクション低下率が 1.4% であるのに対して、マイクロディンプル処理で 2%、モリブデンショットは 5% の低下率を示す結果が得られた。



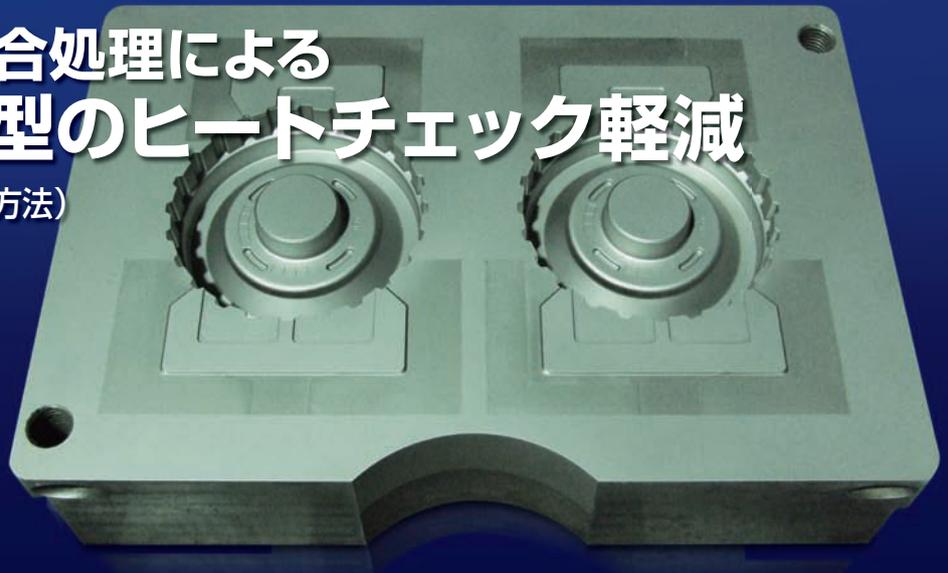
※ホンダテクニカルレビュー 萩原秀実

高い摺動抵抗低減効果が認められ、市販車で採用

自動車メーカーの量産車のエンジンでは、1999 年からピストンリングのトップリングとピストンのスカート部にマイクロディンプル処理が行われ、2001 年からは、モリブデンショットが量産採用、ピストンスカートに 11 μm 径の高純度二硫化モリブデンが打ち込まれました。このモリブデンは表面から少し深い層 (4 μm) まで入り込み、100 時間耐久試験後の摩耗状態でもモリブデンが残るとともに、摩耗後もモリブデンが残存し、フリクション低減効果が維持されていることが確認されました。これにより、ピストン単体でのフリクション効果は 50% に達し、自動車の低燃費化に大きく貢献、高い評価を得ました。

WPC+ 窒化の複合処理による ダイカスト金型のヒートチェック軽減

(特許出願中：熱間金型の強化方法)



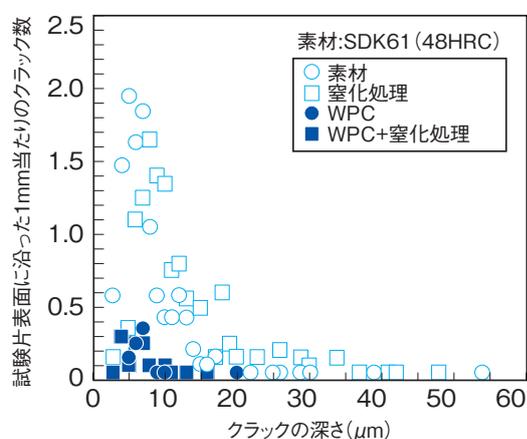
ヒートチェック軽減のメカニズム

ダイカスト金型の寿命延長は、ヒートチェックの抑制と溶損対策が重要と考えられます。耐溶損性には窒化処理が有効ですが、窒化処理後にできる化合物層は脆く、繰り返し起こる熱疲労によりクラックが生じやすくなります。さらにヒートチェック発生の要因の一つとして、旧オーステナイト粒界に沿った酸化被膜が挙げられます。

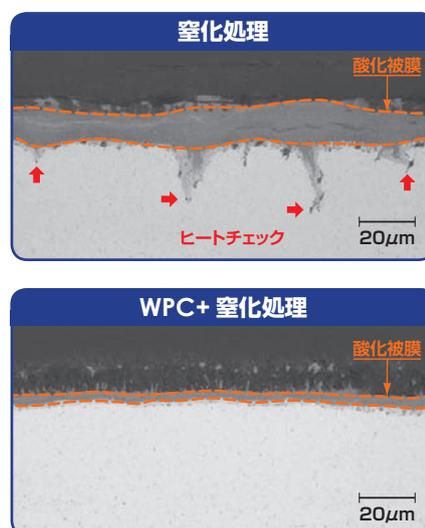
当社では、クラックの原因になる化合物層と粒界への対策として、窒化処理前・後に WPC 処理を行っています。窒化処理前に行う WPC 処理で創成される表面のナノ結晶組織は、窒化温度 (580℃) でも再結晶化することなく微細化組織を維持します。この微細結晶組織は、ヒートサイクルで生じる酸化被膜を緻密な酸化被膜へ変化させることで、熱疲労亀裂の発生と内部への亀裂の成長を抑制します。

また、窒化処理後に WPC 処理をすることにより、亀裂の起点となる化合物層のポーラス層やクラックを取り除き、表面を均質なディンプル形状にして湯流れを向上させます。

ヒートサイクル試験後のヒートクラック分布



ヒートサイクル試験後の試験片断面の様子



金型に窒化処理のみを行った場合と、WPC 処理+窒化処理をした場合の酸化被膜層の比較写真です。

WPC 処理を行うことにより、緻密な酸化被膜層となり、ヒートチェックの発生を減少させていることが分かります。



WPC 処理を併用した進化した DLCコーティング

Diamond-Like Carbon DLC (Diamond Like Carbon) コーティングは、低摩耗抵抗性 (高硬度)、低摩擦係数、耐凝着性、赤外線透過性、デザイン性、生体親和性、ガスバリア性、耐腐食性など様々な機能を持っています。

しかし、これまではアルミニウムとの密着性が低いため、被膜形成が難しいとされていました。当社では、神奈川県産業技術センターと共同で、WPC処理を併用することによりアルミニウムと相性の良い高密着型DLCコーティング技術を完成させました。



DLC 成膜装置

真空チャンバー内にアセチレンやベンゼンといった炭化水素系のガスを導入し、放電プラズマでガスを分解すると、DLC 膜が電極上の基材に成膜されます。チャンバー内部ではプラズマによる光が見えます。PCVD による成膜は、絶縁物にも成膜が可能で面粗さが良く、200℃以下で密着力の大きい DLC 被膜を形成します。



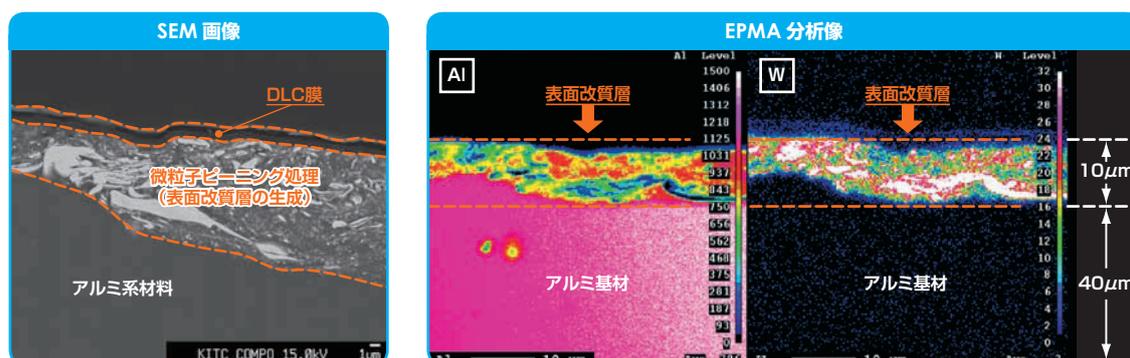
当社独自技術でアルミニウムと相性の良い DLC コーティングを完成、従来以上に DLC の用途が拡大 (特許第 4503097 号)

DLC は多くの特徴を有していますが、主に金属の摺動性向上を目的に処理されます。摺動抵抗の低減により、摩擦熱の減少、各種機械部品などの焼付き防止による耐久性の向上が期待できます。当社では DLC 専用の WPC 処理をプライマーとして活用し、アルミニウムと DLC 膜の密着性を大幅に向上することに成功しました。これにより、自動車などで推進されている部品の軽量化など、様々な分野に応用することが可能になります。工業用途では、アルミニウム合金のドライ加工用として DLC コーティングが工具に採用されていますが、WPC 処理を併用することで DLC コーティング工具への密着力を向上し、工具の長寿命化を図ることができます。また、これらの用途で万が一 DLC 膜が剥離する事態が生じても、下層に WPC 処理が施されていることにより、耐焼付き性に大きな効果を発揮します。

WPC 処理後の断面 SEM 画像と EPMA 分析

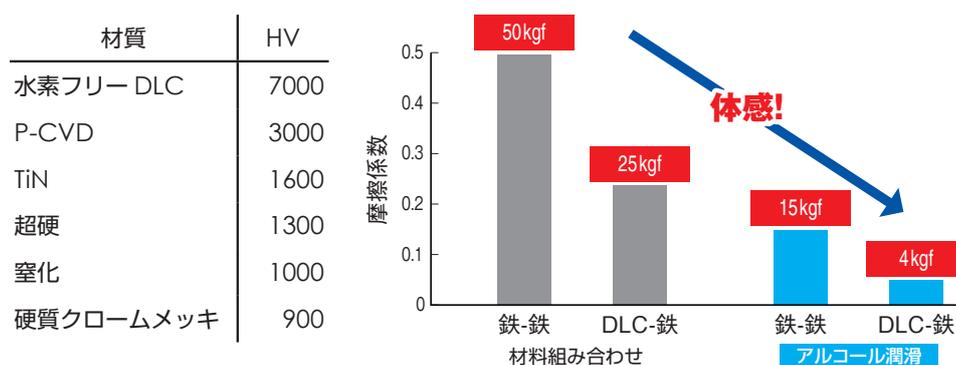
炭素との親和性が高く質量の重いタングステン (W) 微粒子を用いてアルミ基材 (Al) に WPC 処理を行った後に DLC を成膜したときの WPC 改質断面の状況。

EPMA 分析像が示すように、表層にタングステン (W) 粒子が微細に分散した約 $10\mu\text{m}$ の層とその直下に約 $40\mu\text{m}$ の機械的に硬化された層の 2 層からなる硬化層が形成されています。これにより、DLC 膜のアルミ (Al) 基材に対する密着性と耐摩耗性を高めています。



DLC の硬さと滑り性

DLC は薄膜にもかかわらず、非常に硬質膜を形成することができます。一般的に窒化処理の 3~7 倍、TiN に対しても 2~4 倍以上の硬度があります (DLC の成膜法により変わります)。鉄同士の摩擦係数が乾燥状態の摺動で半減、潤滑下においても 25% 程度になるなど、非常に低い摩擦係数を実現します。



株式会社 不二 WPC

〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台4丁目1番83号 (Sia 神奈川工業団地内)
<http://www.fujiwpc.co.jp/>

tel.042-707-0776 fax.042-707-0779

WPC処理®・DLCコーティングの受託加工

米国工場

2909 Oregon Court, Unit C2 Torrance, CA 90503

tel 1.310.782.8647 fax 1.310.782.7624

