

トライボロジー特性を劇的に変える 超短パルスレーザ加工

WPC処理[®]、DLCコーティング、有機モリブデン系高性能エンジンオイル添加剤と、フリクション低減や耐摩耗性の向上を追求してきた(株)不二WPCとグループ企業の(株)フリクションでは、トライボロジー特性を改善する新技術として、ピコ秒レーザ装置を導入した。この超短パルスレーザ加工および複合処理によって、トライボロジー(摩擦・摩耗)はいかに向上するのだろうか？以下に、超短パルスレーザ加工のメリットについて、適用事例を交えて紹介したい。

超短パルスレーザによる 表面テクスチャ形成による 摩擦・摩耗低減メカニズム

超短パルスレーザによる加工は一般に、アブレーションが主で熱影響が少ない。(株)不二WPCの導入したピコ秒レーザ装置による加工では、超硬合金(WC)や硬質コーティング被膜など通常の機械加工では加工の難しい材料に、10 μ m以下のディンプルが形成できる。このディンプルによる表面テクスチャの形成によって、摩擦や摩耗が低下するメカニズムとしては一般的に以下が考えられている。

(1) 流体動圧効果

表面の凹凸形状の制御で、摺動2面間の流体には正圧が発生し、摺動面を浮上させる力が発生する。摺動面の浮

上により隙間が確保され、摩擦や摩耗が低減される。

(2) 潤滑剤保持効果

ディンプル部に潤滑剤を保持することで、潤滑剤の供給が不足する摺動条件でも、固体接触や凝着を防ぐ。

(3) 摩耗粉の捕集

摺動の過程で発生した摩耗粉をディンプル部に捕集することで噛み込みを

防ぎ、摩擦を低減する。

(4) 表面の濡れ性

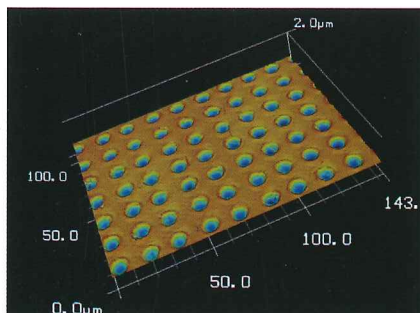
テクスチャにより摺動方向の潤滑剤の流動抵抗が小さくなる一方で、油は表面張力が小さくディンプルに入り込みそれを乗り越えて流動することが難しいことから、ディンプルの深さが大きくなるほど、潤滑剤の保持効果が高まる。

レーザ加工・3Dラッピング[®]・DLC 複合処理によるトライボ特性の向上

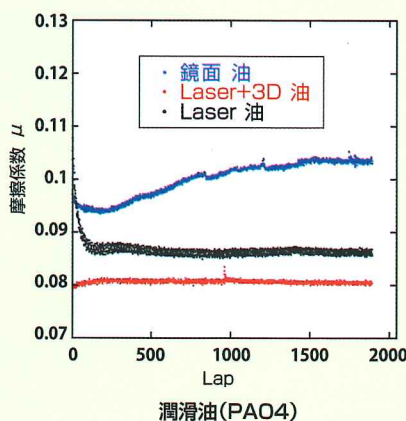
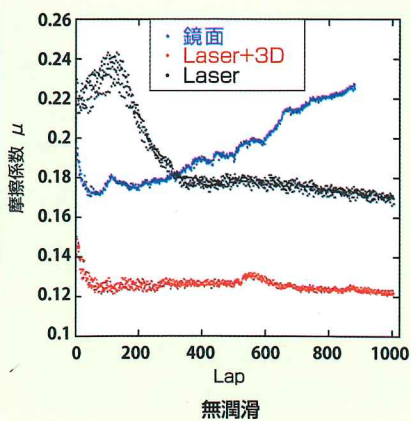
上述の表面テクスチャの形成によるトライボロジー特性を一層向上させる手法として、(株)不二WPCでは、超短パルスレーザ加工とDLCコーティングとの複合処理を提案している。

DLCコーティングは耐摩耗・低摩擦特性を示すため、超短パルスレーザによってテクスチャを形成した後でDLCコーティングを被覆すると、テクスチャの耐久性を高め、その特性を保持できる。

超短パルスレーザによってディンプルを形成した基材にDLCを成膜した結果、(特にレーザ加工後のバリや付着物の除去とエッジの丸めを3Dラッピング[®](砥粒研磨)で処理した場合：Laser+3D)では潤滑の有無によらず、摩擦係数の大幅な低下が実現されている。3Dラッピング[®]により、スムーズなじみ過程後の表面状態が形成され、摺動特性の向上が図られたものと考えられる。



超短パルスレーザ加工後にDLCコーティングを施した試料の摩擦・摩耗挙動



自動車の省燃費化(低フリクション化)に

貢献する超短パルスレーザ加工

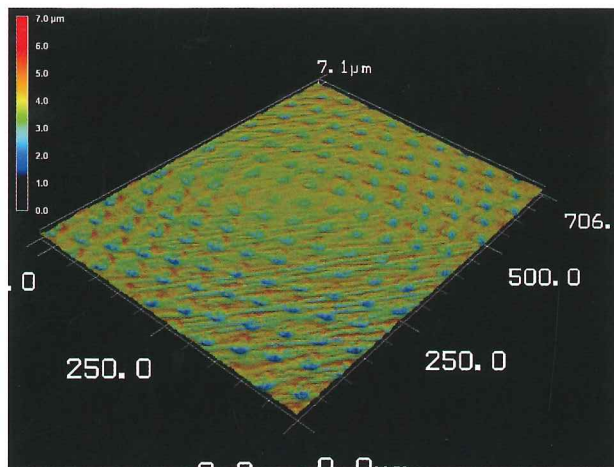
超短パルスレーザ+ 3Dラッピング®による バルブリフタの低フリクション化

自動車エンジンにおける機械損失の低減は燃費向上に直結するが、特に機械損失の大半を占めるカム/バルブリフタ間のフリクション低減は、燃費向上に著しく貢献する。

カム/バルブリフタ間は摺動面圧が高く境界~混合潤滑域の厳しい潤滑環境となるため、従来は接触部の摩擦抵抗を減らすためのカムおよびリフタの

平滑化や、カム側の表面粗さを向上するためのリフタへの硬質薄膜処理などが採用されてきた。

これに対し(株)不二WPCと(株)フリクションでは、バルブリフタ冠面に超短パルスレーザによるテクスチャを施すとともに研削痕のエッジを3Dラッピング®で除去する(写真)ことで、動圧効果による低フリクション化の現象を確認している。添加剤成分が含まれないPAO4を用いて動圧効果を比したところ、バルブリフタ冠面に超短パルスレーザと3Dラッピング®を施した試料は摩擦係数が0.075まで低減し、標準試料に比べ約20%の改善が見られた(図)。



超短パルスレーザを用いたピストンリングの低フリクション化

ピストンリングのフリクションを低減するために、リング摺動面(外周面)にディンプルを施すことが知られている。しかしピストンの上死点および下死点付近ではリングの摺動速度が遅いため、リング張力による押付け力によりディンプル部へと潤滑油が逃げるため、リング摺動面での油膜厚さが薄くなり、リングの摩擦係数が大きくなる。一方、ピストンのストローク中央

付近では、リングの摺動速度が速いため、潤滑油はリングの上下から摺動面に十分に供給され、かつディンプルで動圧が生じるため、ピストンのストローク中央付近ではリング摺動面での油膜厚さが厚くなり、リングの摩擦係数が低くなる。

ここで、リング摺動面に施すディンプルの面積率を制御することで、ピストンの上死点および下死点付近でも必要な油膜厚さを確保し、摩擦係数増大を抑制できることが報告されている¹⁾。

(株)不二WPCと(株)フリクションの提供する超短パルスレーザでは、ディンプル形成の位置や大きさ、面積率のコントロールを精密に容易に実行できることから、こうしたピストンリングの低フリクション化にも有用と見られる。

1) いすゞ自動車特許 公告番号 WO2014073430 A1

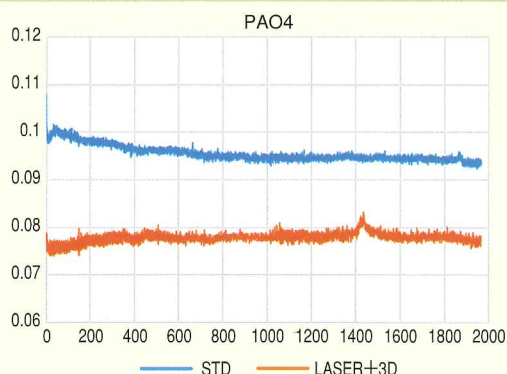
超短パルスレーザを用いたターボチャージャ軸受の低フリクション化

エンジンのダウンサイジングなどによりCO₂排出削減などに貢献するターボチャージャでは、最高回転数30万rpmに達する浮動ブッシュ軸受の、軸受ハウジングとの摺動面となる軸受外周にディンプルを設けたり、DLCコーティングを被覆することで摩擦抵抗を小さくし、ロータ軸の低回転域における浮動ブッシュの早期回転開始を行わせ、ロータ軸の回転抵抗を減少させる取組みがなされている。

こうした場面でも、超短パルスレーザによるディンプル形成とDLCコーティングとの複合処理により、高速回転での油膜保持や、動圧効果による低フリクション化が期待されている。

PAO4による動圧効果の比較

PAO4は添加剤成分が含まれないため、動圧効果の比較用として使用した



レーザ加工と3Dラッピング®を施した試料は摩擦係数が0.075まで低減し、標準試料に比べ約20%の改善が見られる

超短パルスレーザー加工が

食品・医薬品の搬送工程を変える

食品・医薬品製造での フッ素樹脂被膜フリーに貢献

食品・医薬品の製造ラインでは、安全衛生管理の徹底から、各機器の洗浄業務が義務付けられている。近年は「食の安全」への高まりから、混入異物となる潤滑油剤について、安全性に配慮した食品機械用潤滑剤が使用されるケースが増えてきているものの、定期的な洗浄業務によって、潤滑油剤は洗い流される可能性があることから、たとえば飲料水の容器や錠剤などを次工程に送る搬送レールなどの摺動面には、フッ素樹脂のコーティングが施されるケースが多い。しかし同コーティングは近年、熱分解の問題などから部分的に規制が始まってきており、食品・医薬品の製造ラインでは代替技術を模索する動きが出始めている。

これに対し、(株)不二WPCと(株)フリクションではすでに、DLCとWPC処理[®]の複合処理でのDLC膜の密着性向上による摺動面の潤滑性向上を提案しているが、超短パルスレーザー加工によるテクスチャリング(ディンプル加工)によって、さらなる摩擦低減効果を提案している。



多くの搬送レールを持つ飲料製造ライン

搬送レールの静摩擦特性改善で 製造ラインの効率向上に寄与

フッ素樹脂コーティングを用いない食品・医薬品の搬送レールでは衛生面から多用されるステンレス材を鏡面加工したもので滑りやすくしたり、ステンレス材にヘアライン加工(単一方向に髪の毛ほどの細かい傷をつける仕上げ加工)を施して蛇行させずに滑らせようといった試みがなされている。

一方で、食品・医薬品の搬送レールでは、搬送物を滑りやすくするようレールの傾斜角度をある程度大きく設ける必要がある。アモントン-クーロンの法則にあるように、動摩擦係数は静摩擦係数よりも小さいため、動き出す寸前に摩擦力は最大となり、滑り出した後はこれよりも低い力で動く。

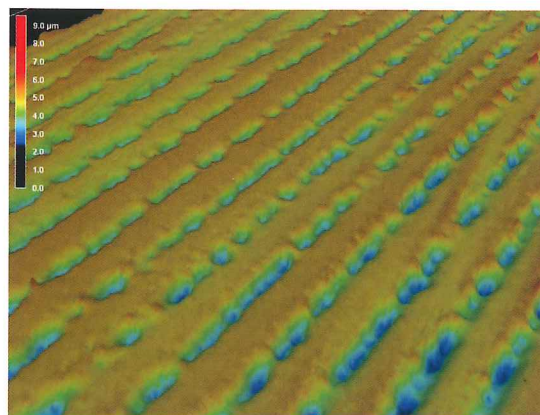
(株)不二WPCと(株)フリクションでは、#400バフ研磨により鏡面加工したレールに対して、超短パルスレーザーで搬送方向にテクスチャを施したレールを作製し、静摩擦性能をいかに改善

できるかを評価した。搬送物が滑り出す静摩擦係数の計測評価には、斜面上においた物質が滑り出す角度を計測して静摩擦係数 μ

を求める、新東科学(株)製の静摩擦係数測定機 TYPE: 10を用いた。

比較測定の結果、静摩擦係数は#400磨きの鏡面レールが $\mu = 0.255$ だったのに対し、超短パルスレーザー加工を施したレールは $\mu = 0.175$ まで改善。傾斜角度でみると、 14° だったものを 8° に改善できる結果になった。

(株)不二WPCと(株)フリクションでは、フッ素樹脂コーティングを排除した搬送レールにおいて、超短パルスレーザーを施し滑りを改善することで、製造ラインの効率向上と衛生安全面の改善に寄与できると見ている。



超短パルスレーザーで搬送方向にテクスチャを施したレールのレーザー顕微鏡像



レール：SUS304、摺動物：PET樹脂で評価。
レーザー加工品は鏡面レールに対して低摩擦化、傾斜角度を 14° から 8° に改善した。

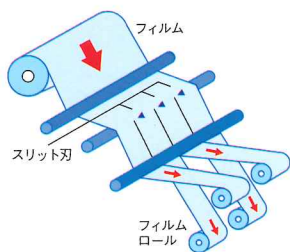
超短パルスレーザー加工による

カッターナイフの切れ味向上

カッターナイフなどによる高分子フィルム・シートや樹脂成形品などの切断では、刃先の滑りや刃先への高分子の溶着などにより、刃先の切れ味が落ち、生産効率の悪化をもたらす。

下図のとおりナイフによるフィルムなどの切断には、刃先の押し込みによる切り裂き(亀裂の進展)と、上下方向の刃の移動に伴う刃先の凹凸による硬い部分のカッティングが有効で、超短パルスレーザー加工によって刃先に周期的な切欠きを作製することにより、切断時に切り裂きと硬い部分の破壊が繰り返されることとなり、切れ味を落とすことなく、フィルムなどの切断を可能にする。

一般にシート表面や樹脂成型品の表

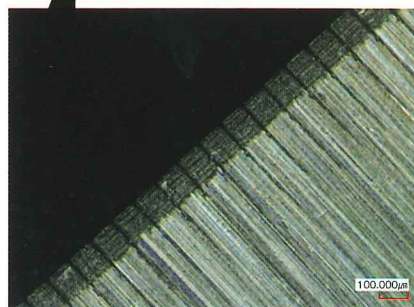
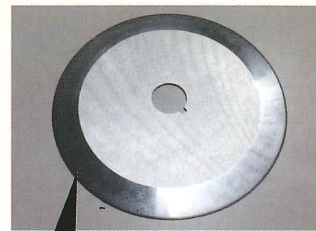


面は、キャストイングの影響によって高密度・高結晶度化のため機械的強度が高い場合が多く、初期的な食い込みには強いせん断力が必要である。

ここで高分子材料は、配向性、結晶部と非晶部などのマイクロ組織や添加剤、充填剤の影響で、ミクロ的には不均一組織となっていると考えられる。そのため、押し込みによる亀裂進展の停止が起き、せん断による亀裂の開始が必要となる。

したがって、高分子材料の切断には、亀裂進展とせん断力の周期的な付加が有効と考えられる。

通常刃先の凹凸は、刃先加工時のバリや結晶粒の脱落といった加工欠陥により形成されるが、この刃先によるせん断では、摩耗によるせん断力の低下や、凹凸が小さいため初期的な硬化層への食い込みに対して、有効に作用しない可能性がある。



これに対し超短パルスレーザー加工では、加工材の材質、期待寿命、加工面の形状に合わせた、加工深さや加工ピッチ幅が可能のため、刃先角度の選定も含めた、刃先設計が可能になる。

上写真に、レーザー加工処理を行ったナイフと刃先の実態像を示す。周期的な加工痕が形成されており、亀裂進展とせん断力の周期的な付加が可能となっている。

超短パルスレーザーの強み：難加工材や薄板材料の加工

これまで紹介した事例のほか、超短パルスレーザーは高精度で、アブレーション効果によって熱影響の小さい加工が可能で、超硬金属、セラミック、ガラス、金属箔、CFRPといった、機械加工の困難な材料への加工を可能にする。

一方、電化製品やIT機器などの軽薄短小化に伴い、機械加工による精密微細加工が難しさを増す中、材料に対する物理的な負荷が少なく、機械加工に比べ工具の摩耗や騒音、振動などが無いといった利点を持つ超短パルスレーザーでは、10 μ m厚以下の銅箔やアルミ箔などへの微細穴あけ加工を実現できる。機械加工で必要とされるワークの保持が難しい薄板材料の加工では、超短パルスレーザーによってのみ、精密加工を施すことが可能と言える。

問い合わせ

株式会社 不二WPC

URL <http://www.fujiwpc.co.jp/>

株式会社 フリクション

URL <http://www.frixion.co.jp/>

〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台4丁目1番83号

TEL: 042-707-8617 FAX: 042-707-0779