

特集

機械要素・部品の表面改質

処理別特集

固体潤滑

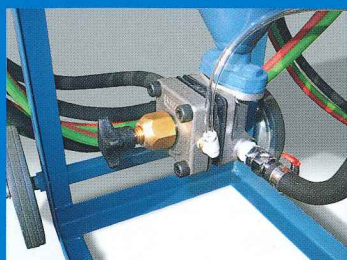
## ブラストマシンの総合メーカー アスコン®ブランドの厚地鉄工

### 小型・軽量の直圧式エアブラストマシン 「AM-5R」「AM-10R」登場

従来のブラストマシンより大幅に小型・軽量化を実現した当シリーズにより狭小なスペースに持ち込みができ、高所足場での作業を安全に行うことが可能になりました。また、コンパクトながらもタンク容量5ℓ (AM-5R)・10ℓ (AM-10R)、最大使用圧力0.68MPaと直圧式の強力噴射が行えるため、効率的なブラスト作業が行えます。

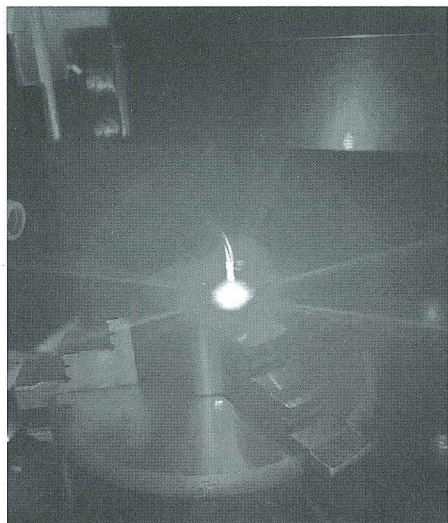
#### ■ 標準付属品 (5mセット)

- ・ ブラストホース：φ9mm・5m・ノズルホルダー、
- ・ リモコンホース：2芯ホース(ブラスト ON/OFF)
- ・ ノズル：CM-2, 3, 4 (セラミックノズル)  
※オプションでタングステンノズルに変更できます
- ・ 元エアホース：1/2 (φ12mm) 5mホースジョイント付



# 短パルスレーザー加工による実用部材への表面テクスチャリングの形成

株式会社不二WPC 取締役技術部長 熊谷 正夫



## 1. はじめに

軸受や歯車など摺動部品をはじめとして、金型や工具など機械構造部材、治具類は、部材同士あるいは生産物との摺動による摩耗や疲労破壊が主要な寿命要因である。各種部材の摺動抵抗（摩擦）低減は、部品の長寿命化やエネルギーロスの低減をもたらす。

各種部材の摺動抵抗低減の実現は、摺動部の負荷、形状ならびに使用される潤滑油や添加剤の有無や種類により手法の選択が重要である。また、実用部材への展開に当たっては、コスト的な観点も必要である。

現在、そうした取り組みの一つとして、レーザー加工とりわけ短パルスレーザーによる微細表面構造の形成（表面テクスチャリング）が各研究機関により実施されているが、それらは基礎的な効果の検討が主となっており、具体的な展開にはギャップが存在する。

当社は WPC 処理や DLC 被覆などによる摺動抵抗低減の実現に取り組んできているが、手法の豊富化のために短パルスレーザーを導入し、レーザー加工による微細表面構造の形成に関する取り組みを開始した。

当社は、受託加工を行っており商品化を目的とした実用部材への展開を目的としている。現在、レーザー加工を開始してから間もないため、各種部材へ試作提案を開始している段階であるために一部成果も含むが、主として提案例について紹介する。

## 2. 短パルスレーザーによる実用部材の加工

### 2.1 レーザ加工用短パルスレーザー

レーザー加工用短パルスレーザーは、パルス幅によりナノ秒、ピコ秒、フェムト秒の3種類に分けられる。フェムト秒は多光子吸収による周期構造の形成など、独自の現象などが発現し、研究開発的な要素が大きくなっており、装置価格もナノ秒、ピコ秒、フェムト秒の順に高価格であり、取り扱いやメンテナンスも難しい。一方、当社の検討結果では、ナノ秒では熱影響が大きく照射部の熔融や酸化が観察された。

当社は受託加工を前提としており、性能とコストの両面からピコ秒レーザーを導入した。

### 2.2 短パルスレーザー加工の応用

現在、試作として金型、摺動部品や刃物などにレーザー加工を実施している。

金型に対するレーザー加工の目的は、潤滑油や離型剤の保持効果の向上である。金型表面は、加工精度の向上や被加工材の凝着防止のために、鏡面研磨を施して使用されている。現在、ファイブランキングなど加工精度の向上や生産効率の向上を目指した加工速度の高速化など、金型に対する要求は苛酷になってきている。それらは、加工接触部の油膜切れを誘発し金型寿命の大幅な低下をもたらす。WPC 処理（微粒子投射処理）により金型表面へのディンプル形成がファイブランキングなどの精密金型の寿命延長に効果があることが確認されているが、金型材料として超硬合金を用いる場合、ディンプル加工などの微細な形状形成は機械的な手法では困難であり、レーザー加工は有用な手法である。ピコ秒レーザーでの形状は基本的にドット加工であり、線はドットの連続で加工される。ピコ秒レーザーによる超硬合金への加工例を図1に示す。金型に施す加工は、潤滑油や離型剤の保持効果の向上が目的のため、ディンプル形状が適していると考えている。現在、金型ならびに構成刃先の防止や寿命延長を目的として超硬合金製バイトの刃先にディンプル形状を形成し、効果を検証中である。

金型やバイトなどへのディンプル形状に

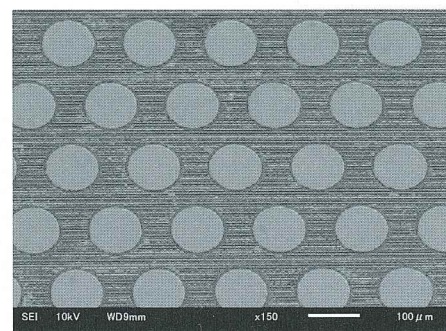
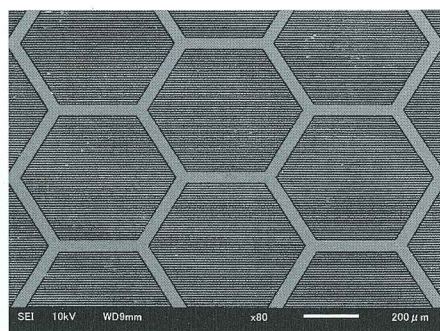


図1 超硬合金へのレーザー加工例

関しては、デインプル形状のサイズ、深さならびに面積率に関する知見の蓄積が必要であり、現在、データを収集している。

摺動部品に関しては、主として摺動部表面への形状形成による動圧効果を目指している。形状形成による動圧効果に関しては、理論計算も含め様々な取り組みがなされているが、レーザ加工にかかるコストを考慮すると加工深さや加工面積には限界があり、実用部品の加工精度も考慮すると理論計算の適応は困難なため、経験的な加工形状形成による試作を行っている。具体的には、円錐ころ軸受のスラスト面（つば面）への加工を実施している。円錐ころ軸受は線接触であるために負荷能力が高いが、スラスト面が滑り接触を行っているため、摩擦低減には滑り接触の摩擦低減が重要である。スラスト面に図2のような加工を施すことにより、円錐ころ軸受のトルク低減（摩擦低減）が実現できている。

その他、特殊な例として樹脂フィルム切断用の刃物への加工例を示す。ペットボトルや各種食料品などの包装部材には樹脂フィルムが使用されており、通常、印刷された袋状フィルムを切断して使用される。樹脂フィルム用の刃物（カッター）は高速度鋼（SKH）や超硬合金などが用いられており、薄刃円板状のものが主流となっている。樹脂は刃物への損傷が大きく寿命が短い。樹脂フィルム用刃物の寿命延長のためのレーザ加工の適用を試みた。樹脂フィルムの切断機構は鉄鋼材料などの金属材料の加工機構と異なると考えられる。金属材料の加工

機構は刃先による先端部の塑性変形（転位滑り）と刃先角による亀裂進展の複合であると考えられるが、樹脂フィルムなどの場合、金属材料と違い共有結合で構成されているため、転位などによる塑性変形は起きにくい。樹脂フィルムは通常鋭利（刃先角度の小さい）刃物による押込による亀裂進展により切断するが、樹脂フィルム表面はキャスト（急冷面）のため密度が高く機械的強度が高い。また、樹脂フィルムは均一ではなく、密度の疎密や充填剤、添加剤の存在のため容易に亀裂進展の停止が発生する。したがって、切断初期や亀裂進展の停止時に剪断や宥り取りによる亀裂の開始が必要となる。

通常、樹脂フィルム、樹脂切断用の丸刃、直刃には刃先製作時の加工による微細な凹凸やバリが亀裂の開始の役割を担っている。高分子フィルムや樹脂は化学結合的には共有結合で強固なため、微細な凹凸やバリは使用に伴い容易に脱落あるいは摩耗し切れ味が悪くなり、寿命となると考えられる。そうしたメカニズムを想定し丸刃の刃先に、図3の様に周期的な溝を形成し切れ味を確認したところ、使用済み丸刃（切断不能）に対しての溝形成により、新品以上の切断性能と寿命延長が確認されている。

### 3. レーザ加工の課題

#### 3.1 レーザ加工実施上の課題

実用部材に対して短パルスレーザ加工を施す場合、様々な課題がある。金属材料では、ピコ秒レーザの場合、自由電

子の存在により完全なアブレーションとは言い難く、各材種により加工条件の最適化が必要であり、加工条件を間違えると熔融等が発生する場合がある。また、同じ鉄鋼材料でも表面酸化膜の状態や熔融温度の違いにより条件が異なってくるため、加工条件の最適化が必要である。

短パルスレーザ加工に対する超硬合金（WC-Co）のようなセラミックメタルの複合系や鉄鋼材料でも炭化物、窒化物などの介在物の存在などの金属組織の影響などはあまり報告されておらず、今後、知見の蓄積が必要である。

#### 3.2 加工痕の清浄化

超硬合金のレーザ加工の収束イオンビーム（FIB）による断面観察の結果を図4に示す。加工痕周辺に付着物が観察される。短パルスレーザ加工では、基本的に熔融を伴わないが、アブレーションにより原子化した材料の酸化物や微細な分解物（デブリ）が付着すると考えられる。デブリ（再付着）防止には、一般的には雰囲気ガスなどによる除去などが実施されるが、実用部材に展開する場合はデブリを完全に除去することは困難と考えられる。当社は3Dラッピングという形で砥粒による研磨技術を開発しており、デブリ除去に有効に使用される。

レーザ加工を摺動部（金型なども含む）に使用する場合、パルス幅が狭くなるほどアブレーションが優先となりエッジが鋭利となる。金属材料は負荷により変形するため、シャープエッジによる相手攻撃性が問題となる。上記の3Dラッ

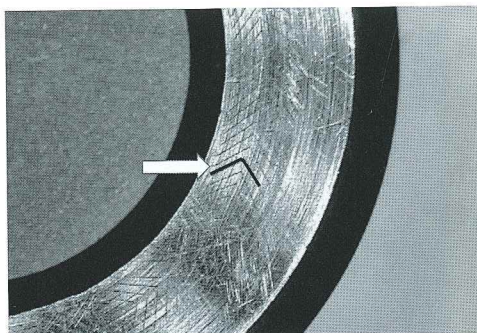


図2 円錐ころ軸受のスラスト面（つば面）への加工例

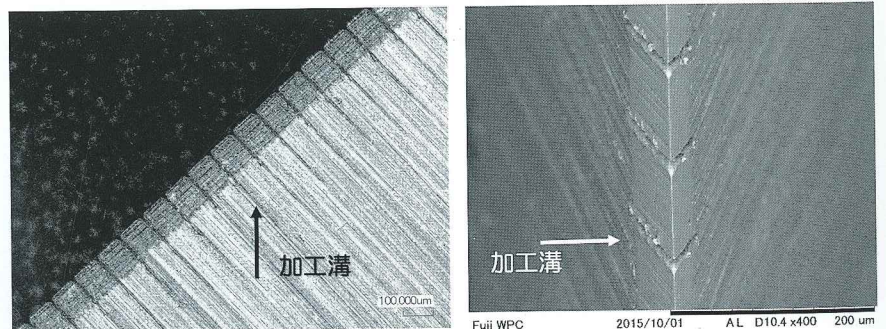


図3 刃先への加工例

ピングを応用することにより、エッジの丸めが可能となり摺動抵抗（摩擦係数）の大幅な低下が得られる。レーザー加工のままレーザー加工+3Dラッピングの表面形状を図5に、摩擦係数を図6に示す。3Dラッピングを施すことによりデブリ除去ならびにエッジの研磨が実現され、摩擦が大幅に低下することが確認される。

### 3.3 DLC 被覆との複合化

レーザー加工による表面形状形成は実用的にみれば深さ方向に数 $\mu\text{m}$ 程度であり、形成した表面形状は摺動による摩擦で容易になくなることが予想される。レーザー加工の効果を有効に保つためには耐摩擦のための被覆が必要であり、その中でもDLC被覆による表面被覆が有効と考えられる。DLC被覆とレーザー加工との複合に当たっては、DLC被覆とレー

ザ加工の順番やDLC膜に対してサブミクロンの加工を施して膜に構造を形成するなどの手法があるが、それぞれ課題が存在する。

レーザー加工後にDLC被覆を行う場合、3Dラッピング等の表面形状の清浄化や摺動状態の制御が容易である。一方、デブリの存在がDLCの密着性を阻害するため、デブリの完全な除去が必要である。また、レーザー加工により形成されるエッジの存在が微細なアーキングをもたらし、膜の劣化などの起因になる可能性がある。

DLC被覆試料に対して、レーザー加工を施し形状形成を行う場合、成膜に関する課題は存在しないが、DLC膜に構造を形成する場合あるいは完全に除去して形状を形成する場合、レーザー照射によるDLC膜のグラファイト化等の変質、エッジ処理の困難さなどの課題が存在する。

当社では、DLC被覆を実施しており、現在、DLC被覆とレーザー加工との複合技術の開発を実施中である。

### 4. おわりに

短パルスレーザー加工を実用部材に展開するに当たっては、現在行われている表面形状の形成技術との棲み分けやDLC被覆との複合などの複合技術の開発などが必要である。また、コスト面からの視点も重要である。

当社では、WPC処理による表面形状の形成技術やDLC被覆の蓄積もあり、各実用部材への適応の最適化ならびにDLC被覆との複合技術の開発を実施中である。また、コスト的にも加工過程の最適化を通じて実用部材への適応を進めている。

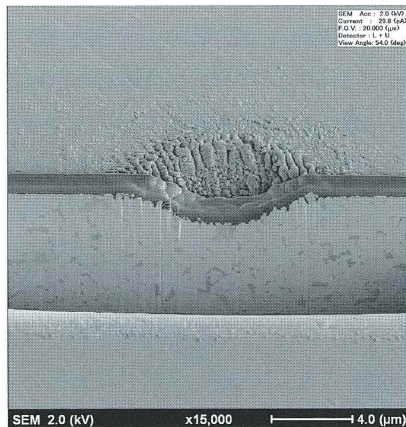
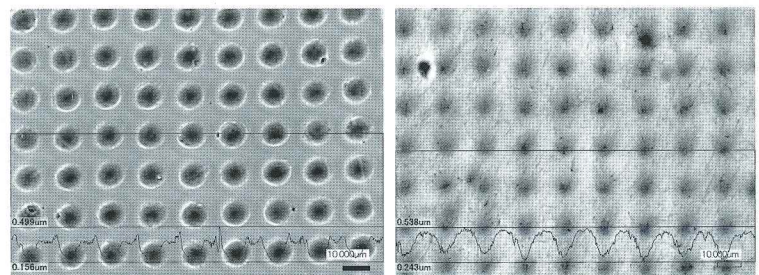


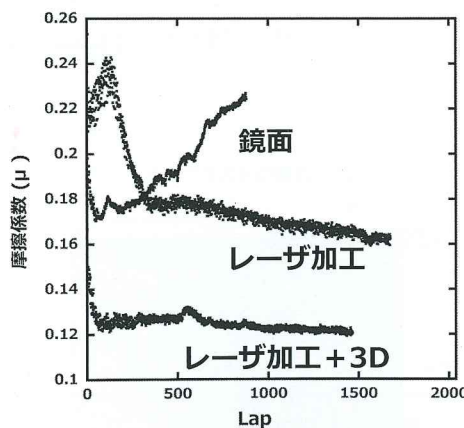
図4 超硬合金への加工のFIBによる断面観察



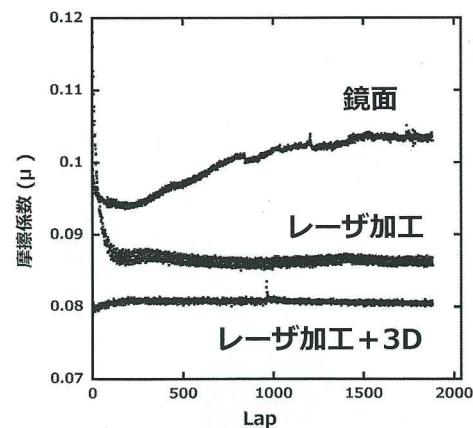
(a)レーザー加工

(b)レーザー加工+3Dラッピング

図5 レーザ加工の顕微鏡観察



(a)無潤滑



(b)潤滑油 (PAO4)

図6 摩擦摩耗試験