

# 真空中でコーティング 部品の高機能化へのアプローチ

## Hauzer Techno Coating B.V. の成膜装置 Flexicoat シリーズで実現する低摺動性<sup>しゅう</sup>、耐摩耗性

真空中で金属やプラスチック部品に、耐摩耗性、低摩擦性の機能をもった薄い層をコーティングする技術はドライコーティングと呼ばれている。装飾品用、自動車部品用、切削工具用などで実績のある Hauzer Techno Coating B.V. (以下、HTC) が、次世代のハードコーティング技術と装置を提供する。



HTC 成膜装置 Flexicoat シリーズ

### 表面処理とドライコーティング技術

スマートフォンの画面やゲーム機の画面に、指紋や傷を付けないなどの目的でフィルムを貼るのはおなじみのことであるが、もしも、フィルムを貼る代わりに画面の表面に指紋や傷が付かない加工がしてあれば、余計な手間は掛らず買ってすぐ使うことができる。このように表面に加工して、ある機能をもたせることは表面処理と呼ばれる。フィルムを貼ることでは機能をもたすことができなかつたり、フィルムが貼れない場所であったり、フィルムの方が高がついたりする場合は、この表面処理が使われていて、さまざまな製品のなかでしっかりとその役割を果たしているのである。

工業的に表面処理と言われる技術は、洗浄や研磨やエッチングなどに代表される除去加工と、付加加工に分類できる。付加加工とは、金属、プラスチック、セラミックス、ガラスなど物質の表面に別の素材をくっ付けて、物質の表面の性質だけを変える技術で、表面改質と称されることも多い。代表的な表面処理技術にめっきがあり、金属の表面が錆びないように加工する技術としてよく知られている。処理の際に液体を使うことからウェットコーティングとも呼ばれる。これに対して、真空を使って物質の表面に加工する技術があり、ドライコーティングと呼ばれる。金属の表面を硬くしたり、より高温でも錆びないようにしたり、紫外線をカットしたり、物質により高い機能を付加するときに用いられる。

## ドライコーティング技術あれこれ

まず、3つの代表的なドライコーティングの概要を説明する。

どの技術も、オーロラや雷などの現象で知られているプラズマ（気体が電離し、陽イオンと電子に分かれて自由に運動している状態）を利用している。プラズマを応用した製品としては蛍光灯、プラズマ TV などがある。

### イオンプレーティング

金属を蒸発させて、その金属をプラズマ化し、対象製品の表面に衝突させ金属化合物の薄い膜を堆積することで表面状態を硬くする技術である。この技術は、イオン化率（プラズマの中で電荷を帯びた状態になる比率）が高いことがポイントで、堆積した金属の膜は製品と強く密着し、一般に製品の硬度も高くなる。また、金属が製品に飛び込んできて膜になる速度（成膜速度）が速いため、生産性が高いという特長がある。一方で、この方法に使用できる材料が金属に限定されることや、飛び込んでいく金属が粒になりやすいため、平滑性が低いという欠点がある。最近では、均一に蒸発できるよう改良し、膜の平滑性を改善している。膜構造が制御しやすいため、産業界で広く利用されている。

### スパッタリング

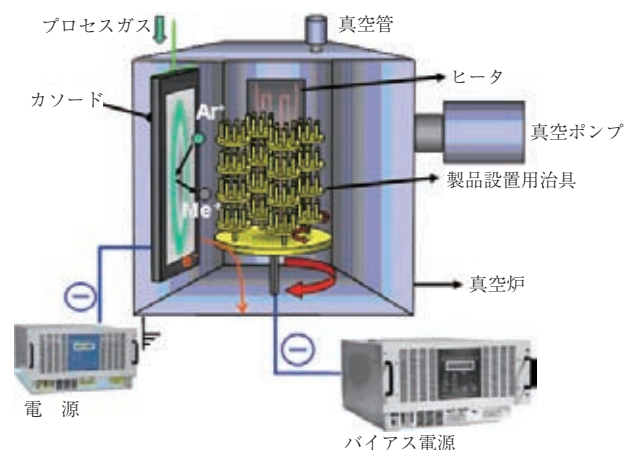
真空容器内に薄膜として付けたい材料と成膜対象の製品を対向して配置する。ここに Ar などのプロセスガスを入れ、高電圧を掛けてイオン化させ、材料に衝突させる。すると表面の原子がはじき飛ばされ、対向に配置された製品にその原子が付着する。こうして機能をもった薄膜が形成される。

本技術では、金属を付けても粒が発生しないため、平滑な膜ができる。またイオンプレーティングと異なり、たたき出す材料への導電性が不要なので、さまざまな組成の膜ができる。その一方で、イオン化率が低いため成膜速度が遅く、製品との密着性も高くない傾向にある。

### プラズマ CVD

#### （化学蒸着：Chemical Vapor Deposition）

真空中にコーティングしたい材料成分を含むガスを導入し、プラズマと化学反応を利用して、製品上に膜を形成する技術である。特長は、比較的成膜が速く、



ドライコーティングの概念図

高い表面平滑性を有する膜ができ、膜を付けたい製品のすき間や裏側にもプラズマ化ガスが回り込むため、複雑な形状の製品にも比較的均一に膜が付けられることである。さらに材料がガスであるため、安価に成膜できる。しかし、実用上すべての材料がガスにできる訳ではなく、成膜できる材料が限定されるという欠点がある。半導体、液晶ディスプレイ、太陽電池などで利用されるシリコン系の膜や、部品を硬くするために使われているダイヤモンドライクカーボンに代表されるカーボン系の膜への適用が広く知られている。

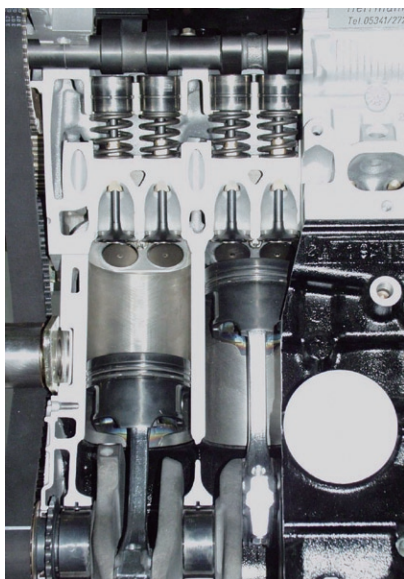
## HTC のドライコーティング

ドライコーティングを使った硬質膜はさまざまな分野で使用されている。

ここからは、Hauzer Techno Coating B.V. で取り組んでいるドライコーティングによる新たな成膜技術と、その注力分野を紹介する。

### トライボロジー分野

回転運動や往復運動を用いた機械では部品同士の摩擦・摩耗・潤滑などの現象を考慮しなければならない。これらを扱う分野はトライボロジーと呼ばれている。トライボロジー分野の代表的な製品としてエンジ



IST Fraunhofer Institut Schicht- und Oberflächentechnik

ドライコーティング技術が使われているエンジン

ンがある。HTC のドライコーティング技術は、このエンジン関連部品に広く適用されており、多くの実績をもつ。

ディーゼルエンジンを主流とする欧州では、排ガス規制導入に際し、コモンレールをはじめとした燃料噴射装置の開発が大きく貢献している（コモンレールとは、燃料やオイルの噴射圧力をエンジン回転数と無関係に制御でき、排ガスをクリーンにできるシステムである）。規制が強化されるなかで、主要部品へ窒化系硬質膜を使うことによって、コモンレールの高性能化が実現された。最近では、自己潤滑性の高いカーボン膜の適用が進んでいる。HTC では市場の動きを正確に把握し、いち早くマーケットニーズの変化に対応している。

バルブリフタ上では、転がり摩擦が発生するため、通常のすべり抵抗のみの摺動部品と違って、基材との高い密着性と高い硬度が必要とされる。以前は、一定の硬度で基材密着性の高い窒素系硬質膜が多く使われていたが、技術開発が進み、非常に高硬度のカーボン膜と添加剤を含んだ潤滑油という組合せによって、高い耐摩耗性と自己潤滑性の両立が確認された。HTC ではこれまで以上に量産性に優れたプロセスや装置を開発し、市場への技術提供を開始している。

また、ジャーナルベアリングなど、非常に低硬度な膜が必要とされる部品などへのアプローチについて

も、お客さまを交えて、積極的にプロセス開発に参加している。

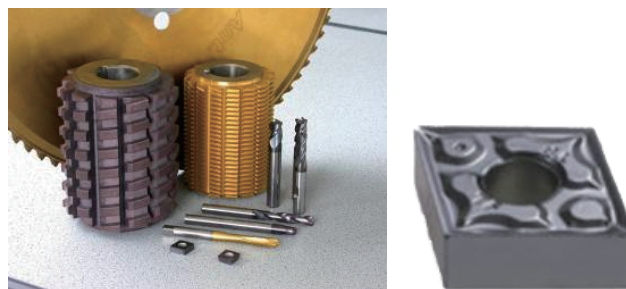
一方、ピストンリングのなかでもトップリングへの表面処理は、幾分歴史が古い。技術開発によって、ピストンリング素材が変化し、それに合わせて表面処理の組合せも変化してきた。かつては、鋳鉄製リングと湿式めっき処理の組合せが主流であったが、近年では鋼製リングに CrN（窒化クロム）を形成したものが主流になっている。保油性の高い CrN を形成するプロセス提供を行うことで、マーケットニーズに応じている。さらに最近では、自己潤滑性を高めることができるカーボン膜の導入といった、膜の世代交代への取り組みも進んでいる。

そのほか、ピストンスカートやピストンピンへの膜形成も継続して適用が広がっており、今後、ドライコーティング技術の役割がますます重要になってくる。

## 産業用工具分野

HTC が、マーケットシェア拡大を目指しているのが産業用工具分野である。この分野では、工作機械の高性能化と被削材料の多様化によって、切削工具の高性能化や長寿命化を目的とした硬質膜適用が広がっている。特に、製品を削るために必要な刃であるエンドミルや超硬チップ上に TiN（窒化チタン）や AlTiN（窒化アルミニウムチタン）といった窒素化合物を形成することで長寿命化を達成している事例は有名である。

しかし、最近では、環境負荷の低減やコストの削減を目的として、冷却・潤滑用の切削油を使用しない条件でも固着（凝着）が発生しにくいより高性能な切削工具が求められている。さらに、これまで鋳造や溶接などによって製作されていた製品を、機械加工で製作できるようにするため、工具に新たな機能を付加できる膜の開発にも期待が高まっている。



工具適用例

前述のトライボロジー分野では、膜の素材はほとんど決まっており、膜が使用される環境もほぼ決まっているため、良質の膜を製作する技術開発が主体である。これに対して、産業用工具の分野では、工具での切削対象の素材、形状のみならず、温度や油の使用不使用などの条件も定まっていない。そのため、どのような条件でも密着性の高い硬質膜が作製できるような技術開発が主体で、膜組成の選定や膜構造の調整など開発要素が多数ある。これらの技術がこの分野に広がっていくためには、膜を作製するコーティング業者や工具メーカーが膜そのものの開発や最適条件調整を行うのはもちろんであるが、ドライコーティング材料を提供するメーカーでの素材開発や、われわれ成膜装置メーカーによる成膜技術開発も重要である。HTC では、市場や業界の要望に応えられるよう、最適な膜組成や構造の検討、試験と並行し、新たな成膜技術の開発にも取り組んでいる。

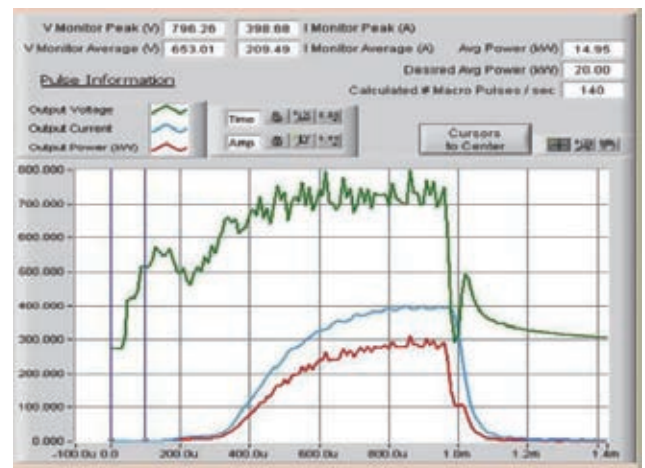
### 最新成膜技術 (HIPIMS+) 開発

HTC では、これまでイオンプレーティング、スパッタリング、プラズマ CVD を中心に成膜装置の市場提供を続けてきた。ユーザーニーズに応えたプロセスの準備と合わせて、最適な成膜技術と装置の提案をしてきている。一方、これらの取組みと並行して、既存の成膜技術より生産面や性能面で優れる新たな成膜技術も開発している。

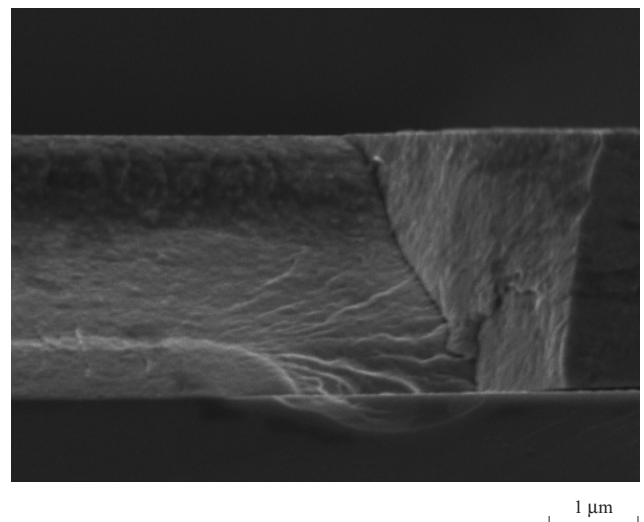
近年、欧州では Sheffield Hallam University (イギリス) らが開発した HIPIMS (High Power Impulse Magnetron Sputtering) 技術が注目されている。この技術は非常に短いパルス長の波形を使用することによって、瞬間的に数千アンペアのイオン電流を発生させるスパッタリング技術である。金属イオン比率が非常に高いが、成膜速度が低いことから成膜技術としての実用化が難航していた。HTC では、HIPIMS 技術の実用化に向けた技術 HIPIMS+ の開発を続けている。

高い成膜速度を実現するために、パルス波形を工夫した。HIPIMS では、各パルス長が数十  $\mu\text{s}$  であるのに対し、HIPIMS+ では、数  $\mu\text{s}$  のマイクロパルスの集合体とした 1 ms 程度のパルス波形を形成し、安定的な電圧出力とピーク電流の制御に成功した。

この技術を基に試験を重ね、膜特性として重要な硬さと平滑性を両立する膜が作製できるようになった。



HIPIMS+ 出力波形の一例



HIPIMS+ により作製された被膜断面例

### コンピテンスセンタージャパン (Competence Center Japan)

日本においても HIPIMS+ の特長を最大限に活かして、成膜技術を向上させるため、また、装置の安定性をさらに高めて、生産装置としての完成度を上げるため、横浜にコンピテンスセンターを開設した。コンピテンスセンターは、お客さまのニーズを実現させるための試験を行って、いち早く技術を確立させる役割も担っている。

これからも、HTC は市場に先行した技術開発を進めていく。

問い合わせ先

Hauzer Techno Coating B.V.

電話 (045) 759-2066

URL: [hauzertechnocoating.com/](http://hauzertechnocoating.com/)