

目次

表題は本協会初代理事長 故岡崎嘉平太書

巻頭言：「新世代噴射加工が拓く機能性インタフェース」	1
東北大学大学院 工学研究科 機械システムデザイン工学専攻 教授 厨川 常元	
技術紹介1：「コールドスプレーの最新動向」	4
東北大学大学院 工学研究科 エネルギー安全科学国際研究センター 教授 小川 和洋	
技術紹介2：「FCMを利用した機能性微粒子の創成」	7
ホソカワミクロン株式会社 粉体工学研究所 フェロー 横山 豊和	
技術紹介3：「パウダージェットデポジション法を応用した革新的歯科治療法」	10
株式会社サンギ 歯科材事業本部 部長 石崎 勉	
技術紹介4：「WPC処理による高密着性DLC被膜アルミニウム合金製ピストンの開発・製造」	13
部株式会社不二WPC 技術部 部長 熊谷 正夫	
協会関連事項、あとがき：	16

巻頭言

新世代噴射加工が拓く
機能性インタフェース

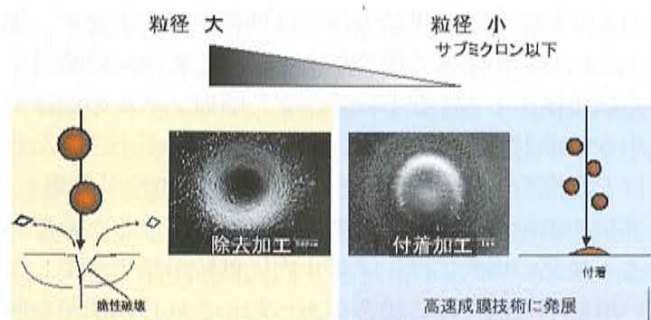
東北大学大学院
工学研究科
機械システムデザイン工学専攻
教授
厨川 常元

1. はじめに

これまで日本は、より高い精度と付加価値を持った製品開発を強力に推進し、“ものづくり”において世界をリードしてきた。超精密機械加工の分野においては、加工された製品の形状精度と表面粗さの二つが評価基準であるが、すでにこれらは原子オーダーに達し、限界に達しているのが現状である。そこで今後は、このようにして得られた加工表面上に微細構造体を創成したり、機能性膜を成膜したり、加工表面近傍の結晶構造を制御したりすることにより、新たな機能を加工表面に発現させるための工夫を加味した“ものづくり”が要求されようになってきている。すなわち単なる形状創成から、機能創成を加味した新しいものづくり技術への融合、発展である。本稿では私の研究室で開発された新しい噴射加工技術に関する研究成果の一部を紹介する。

2. 噴射加工による材料除去と材料付着

高速に加速した固体粒子を工作物に衝突させ、その衝撃力により材料の除去あるいは表面改質を行う加工を総称して噴射加工(blasting)という。固体粒子の有する運動エネルギーを工作物に投入し、塑性変形あるいはクラック、切り屑を生じさせ、材料除去や表面改質を行うもので、古くから行われている。このように通常、噴射加工といえば材料除去法として捉えられてきた。しかし近年では逆に噴射粒子を工作物表面に衝突させ、付着させることもできるようになってきた。本稿では、粒子を高速で噴射衝突させる加工法全体を粒子噴射加工法(powder jet machining)と定義し、その中で材料除去を行う加工法をアブレイシブジェット加工(abrasive jet machining、以下AJMと略記、図1(a))、材料付着を行う加工法をパウダージェットデポジション(powder jet deposition、以下PJDと略記、図1(b))と区別することにする。

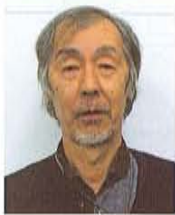


(a)アブレイシブジェット加工 (b)パウダージェットデポジション

図1. 粒子衝突による材料除去と付着

技術紹介 4

WPC 処理による高密着性 DLC 被膜 アルミニウム合金製ピストンの開発・製造



株式会社不二WPC
技術部

部長
熊谷 正夫

1. はじめに

アルミニウム合金は、軽量かつ比強度の大きい材料であり、耐食性、加工性やリサイクル性も良好である。現在では環境負荷低減のため、航空機や自動車をはじめとした輸送機器への使用が拡大してきている。しかし、それら優れた特性を有しているにもかかわらず、鉄鋼材料と比較して硬度や耐摩耗性が落ちる、疲労強度(限度)が小さいなどの弱点がある。

材料の硬度や耐摩耗性の向上には、材料表面に改質層を生成する、メッキ等の硬質膜の被覆を施すなどの処理が積極的に行われている。アルミニウム合金の表面改質や被覆としては、実用的に使用されている方法として、化成処理(アルマイト処理など)がほとんどである。

現在、摺動用硬質薄膜としてダイヤモンドライクカーボン(Diamond-like Carbon:以下 DLC)の使用が拡大しているが、アルミニウム合金に対しては、表面に強固な酸化膜が生成し除去が難しい、炭素(C)とアルミニウム(Al)の間に反応性が無い、DLC 膜とアルミニウム合金との間に硬度差があり下地の変形に追従できないなどを理由として、十分な密着性の確保が難しいといった課題がある。

ここでは、微粒子投射法によるアルミニウム合金の表面改質による密着性の向上と具体的な応用として、DLC 被覆アルミニウム合金製ピストンの開発について紹介する。

2. 微粒子投射法(以下 WPC 処理)について

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。WPC 処理と通常のショットピーニングとの違いは、投射材の粒径と投射速度にある。通常、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 10m/sec~100mm/sec 程度であるが、WPC 処理では、数 10 μ m 以下の微細粒子を数 100m/sec 程度の高速で投射する。WPC 処理では、高速な微粒子を投射することに

より、材料表面に大きな塑性変形をもたらすことが可能である。通常のショットピーニングと WPC 処理の材料に与える変形の模式図を図 1 に示す。表面層への大きな塑性変形は、金属組織の変化や表面形状の形成などショットピーニングとは異なる様々な特性を与えることが可能である。WPC 処理による特性の付与は、基本的に、投射粒子や非投射材の硬度や延性などの機械的特性に依存している。

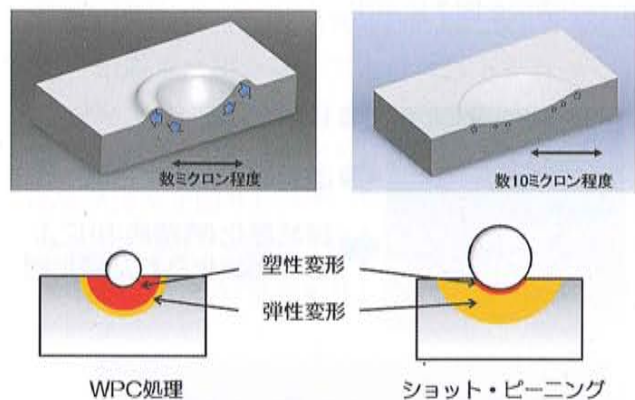


図 1. ショットピーニングと WPC 処理の材料に与える変形の模式図

鉄鋼材料など比較的硬い材料に対し、硬質粒子(ハイス鋼など)を投射する場合、塑性変形による表面の金属組織のナノ結晶化や微結晶化が起きる。また、変形により導入される転位や歪は表層に大きな残留応力や硬度の上昇をもたらす。その結果、材料の耐摩耗性や疲労強度は向上する。一方、二硫化モリブデン(MoS₂)やスズ(Sn)など軟質粒子を鉄鋼材料に投射すると、投射粒子材料による被覆が可能であり、潤滑性や耐凝着性が向上する。また、軟質材料(アルミニウム合金や銅合金など)に延性材料を投射すると、表面に投射材料と被投射基材との複合組織が形成される。

3. DLC 被覆のためのアルミニウム合金への WPC 処理

アルミニウム合金への DLC 被覆の密着性の向上のためには、基材表層(DLC との界面)にアルミニウムとの相互作用の大きい元素を存在させる、基材と膜の機械的性質(硬度など)を傾斜化させ、変形により膜・基材界面に発生する剪断力を低減させるなどが有効である。通常、密着性の向上のために中間層を挿入することが行われる。しかし、高硬度の中間層が得られないため中間層の厚膜化が難しい、界面が増加するために剥離要因が増える、機械的特性の変化が急峻なため界面に負荷がかかるなどの問題がある。

WPC 処理では、投射材料を選択することにより被投射基材との複合組織を形成することが可能である。また、WPC 処理は基材表面の改質であるため剥離要因にならないという利点がある。そこで、DLC 被覆のためのアルミニウム合金表面の改質層形成として、タングステン(W)投射による混合層形成を行った。タングステンは炭素との相互作用が大きく反応しやすいことや、質量が大きいため改質層の形成が容易だと考えられる。アルミニウム合金への DLC 被覆の密着性の向上のための構造を図 2 に示す。

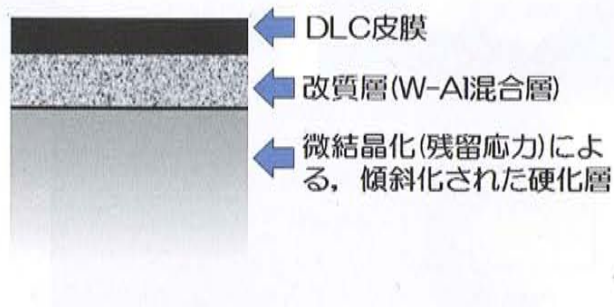


図 2. アルミニウム合金への DLC 被覆の密着性の向上のための構造

タングステン(W)投射により形成された改質層の電子線マイクロアナライザ(EPMA)による分析結果を図 3 に示す。Al-W の混合層が 10 μ m 程度の厚みで形成されていることが確認される。また、基材の深さ方向の硬度分布を図 4 に示す。

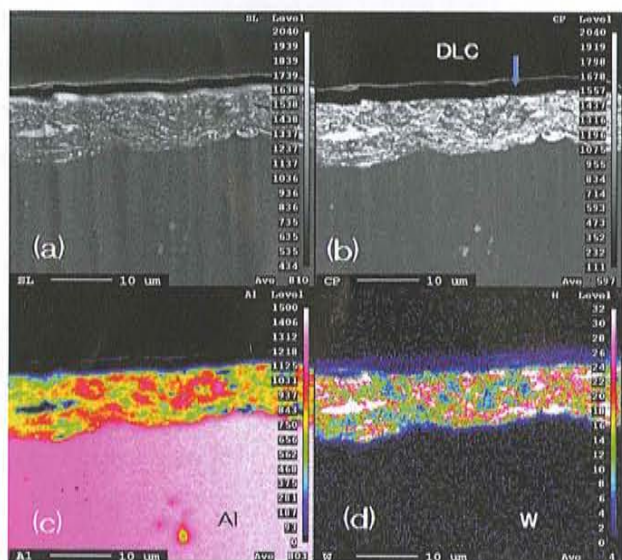


図 3. 改質層の電子線マイクロアナライザ(EPMA)による (a)二次電子像 (b)反射電子像 (c)Al の X 線像 (d)W の X 線像

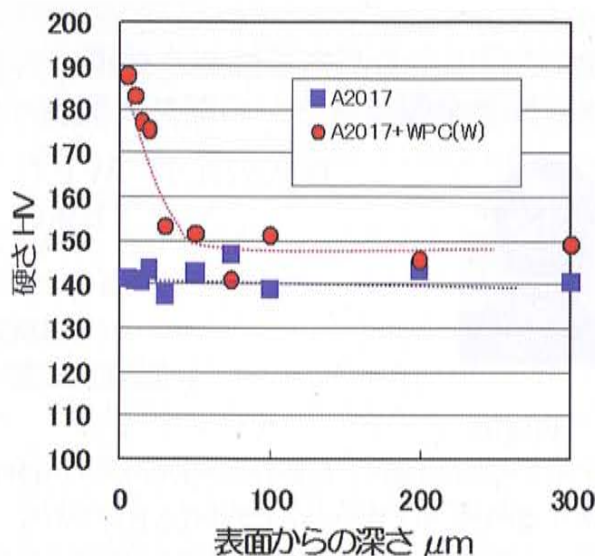


図 4. A2017 材の硬度分布
●:WPC 処理、■:未処理

改質層の構造を透過電子顕微鏡観察、押し込み硬度計(ナノインデンター)などで評価した結果、表面から Al-W 混合層、基材の微結晶組織、残留応力による傾斜化した硬化層となっており、目的とした膜構造(図 2)が得られていることが確認できる。

上記の DLC 被覆試料の密着性の評価を行った。密着性は ball on disk 試験機を用い、負荷荷重を増加させながら繰り返し負荷をかけ、摩擦係数の増加ならびに AE 信号の検出時の負荷荷重で評価した。剥離時の荷重は未処理試料が 35N(摺動距離 42m)、WPC 処理試料は 65N(摺動距離 74m)であり、WPC 処理により密着性が倍近く向上していることが確認される。

試験後の試料の断面反射電子写真を図 5 に示す。未処理試料では、基材表面に DLC 膜は存在せず、基材中に破砕片が観察されるにすぎないが、WPC 処理による改質層を形成した試料では、65N の負荷がかかり基材が座屈しているにもかかわらず、改質層表面に DLC 被覆が残っており、膜の密着性が確保されている(DLC 膜上部の Al は座屈後の凝着物)。現在では、投射粒子の粒径や投射条件を工夫することにより、未処理と比較して 4 倍程度の密着性が確保されている。

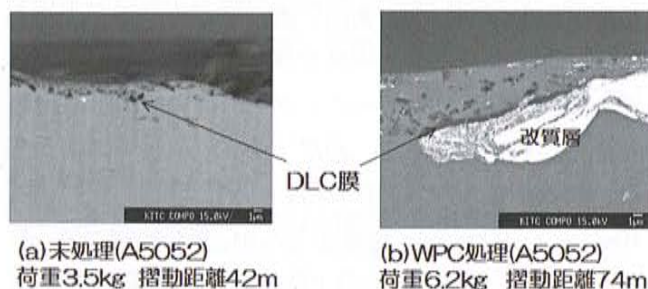


図 5. 密着性試験後の断面反射電子像

4. DLC 被覆アルミニウムピストンの開発

アルミニウム合金への WPC 処理による高密着性 DLC 被覆の実用化として、DLC 被覆アルミニウムピストンの開発を行った。自動車をはじめとした輸送機器の低燃費化にあたって、各種部品の低摩擦化は重要な取り組みである。エンジン内部のピストンは、首振りや膨張によりピストンスカート部とシリンダーとの摺動が発生する、そのため、ピストンスカート部の耐摩耗性の向上と低摩擦化の要求は大きい。それら課題に対応するために、前節で示したタングステン WPC 処理を下地処理とした、DLC 被覆アルミニウム合金製ピストンを作製した。作製したピストンの外観を図 6 に示す。ピストンの素材には A2618 (Al-Cu 系) を用いている。



図 6. 開発した DLC 被覆アルミニウム合金製ピストン

作製したピストンの耐摩耗性を評価するために、自動車用エンジンに実装し摩耗状況を確認した。DLC 被覆ピストンは、DLC 被覆を行ったシリンダーボアと組み合わせた。比較として、未処理ピストン (A2618) と Ni-P メッキを施したシリンダーボアの組み合わせの試験も行った。試験条件としては、1,000~13,000rpm で 10 分間回転させ、外観観察により摩耗状態を評価した。試験後のピストンの外観を図 7 に示す。



図 7. エンジン試験後の外観写真 (a) 未処置、(b) DLC 被覆

未処理ピストンには明瞭なスカuffィング (scuffing) 損傷が確認されるが、DLC 被覆ピストンには損傷が観察されず、耐摩耗性が向上していることが確認される。その後、DLC 被覆ピストンをミニバイクレースなどに使用し、外観観察を行ったがほぼ同様な結果が得られた。また、DLC 被覆ピストンと組み合わせたシリンダー内面の摩耗も抑えられ、良好な結果が得られている。

以上の取り組みを基礎に、アルミニウム合金製ピストンをはじめとした、各種摺動部品に DLC 被覆を施して、市販車に組み込んで走行テストを行った。約 15,000km 走行後の各部材の外観写真を図 8 に、DLC 被覆アルミニウム合金製ピストンの外観写真ならびにその拡大写真を図 9 に示す。写真から、DLC 被覆は目立った損傷もなく剥離なく残存していることが確認され、実用的にも十分な性能を有していることが確認された。

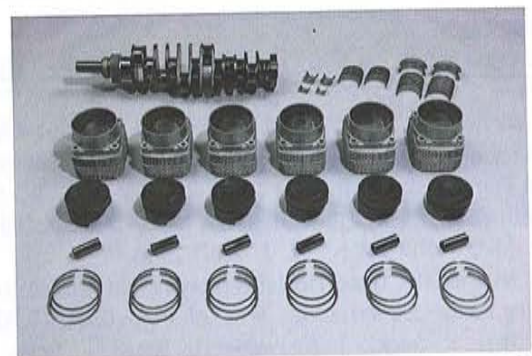


図 8. 市販車に搭載した 15,000km 走行後の各部品の外観写真

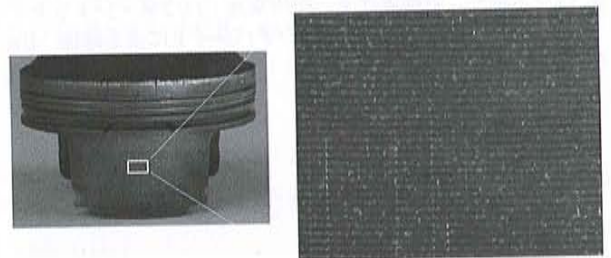


図 9. 15,000km 走行後の DLC 被覆アルミニウム合金製ピストンの外観写真と拡大画面

5. おわりに

本稿では、WPC 処理によるアルミニウム合金製ピストンの DLC 被覆に関して紹介した。従来、WPC 処理は鉄鋼材料を主たる対象に行われており、アルミニウム合金への適応は新たな取り組みである。医療系材料としてのチタン (Ti) 合金をはじめ銅 (Cu)、マグネシウム (Mg) など非鉄系金属材料は、それぞれ特有の優れた材料特性を有しており、WPC 処理による表面改質の対象として取り組んでいきたい。