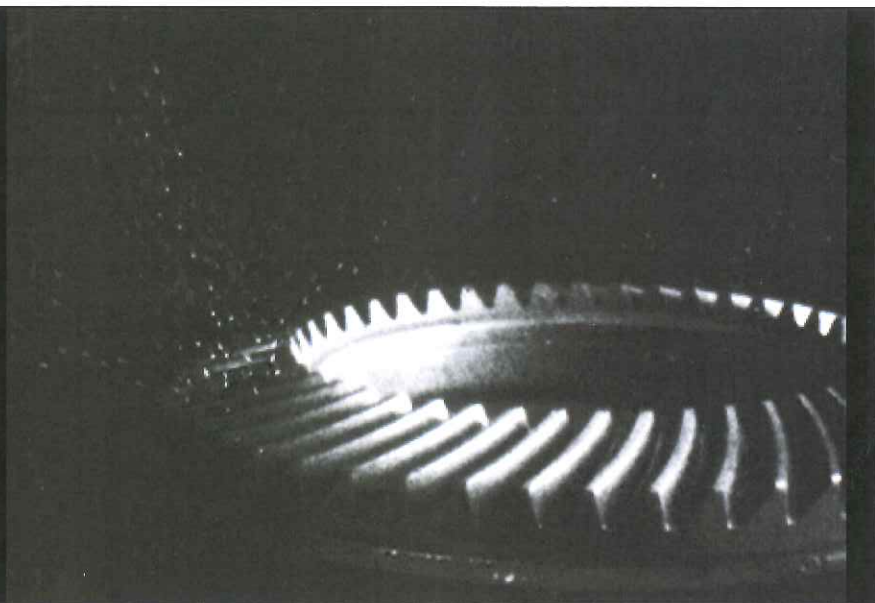




表面加工・改質に幅広く適用されるブラスト加工

対象物に細かな硬質の粒を当てて、材料表面を研削、あるいは改質する加工手法をブラスト加工と呼ぶ。塗装はがしや鑄造製品のバリ取り、梨地加工のほか、部品の表層硬化や微細粒化など、工業製品の製造工程で欠かすことができない加工となっているブラスト加工について紹介する。



投射材(鉄などの粒体)を高速で部品表面に衝突させ、表面を改質し疲労強度や耐摩耗性を向上させるショットピーニングは、自動車や航空機の分野を中心になくてはならない技術となっている。〔画像提供＝新東工業株式会社〕

■ブラスト加工の原理と用途

ブラスト加工とは、投射材と呼ばれる粒体を加工対象物に勢いよく衝突させ、表面の研削や改質を行う加工手法である。

歴史的には、1870年にアメリカの技術者ティルマン(B.C.Tilghman)が金剛砂を対象物に噴射し研磨する装置を考案し、「サンドブラスト」と名付けたのが最初とされる。その後、第二次世界大戦前のアメリカで、サンドブラスト同様に硬い粒体を対象物に衝突させることで表面の残留応力を均質化し、対象物の表層部に圧縮の残留応力を付与することで、対象物の疲労強度を向上させる表面改質技術として、「ショットピーニング」が実用化

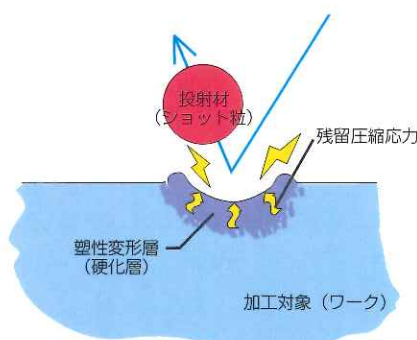
された。

「ブラスト加工」は、上記のように投射材を噴射する加工全般を指して使われる場合と、研削用途のみを指す場合があるが、本稿では前者を取り上げる。また、特に球形の投射材を用いる場合をショットブラスト、非球形の場合をグリットブラストなどと呼び分けるが、名称の使い方には若干の混同もある。

ブラスト加工の対象(ワーク)は、鉄系・非鉄系金属をはじめ、セラミックやガラス、プラスチックなど多岐にわたる。投射材には鋼などの金属のほか、セラミック、樹脂などが用いられることもある。加

表1:ブラスト加工の主な用途

研削	表面の異物の除去	汚れや錆落とし、塗装落としなど。
	梨地加工	対象表面を研削しごく細かな凹凸を付けて、ざらざらした、あるいはつや消し・半光沢の表面仕上げを得る。目的には以下のようなものがある。 *意匠上の理由(高級感の演出、キズ隠しなど) *保油性や塗装の乗りの向上 *荒めに施し摩擦力を上げる(工具の握りの滑り止めなど) *摺動性の向上(細かなディンプルによって接触面積を減じる)
改質	彫刻・工芸	表面の研削を部分的に行う、もしくはその程度を変化させることによって、対象物表面に彫刻を行う。
	バリ取り	鑄造の型の合わせ部分や、切削加工後に生成するバリを削り落とす。
	応力付与による強度向上	金属表面に強く投射材を打ち付けることにより、表面近傍に残留圧縮応力を付与し、金属部品の疲労強度の向上、耐応力腐食割れの向上等に役立てる。これを特にショットピーニングと呼ぶ。ギアやばねの強度や耐久性の向上に広く用いられる。
	皮膜の形成	微小な粒子を音速以上で衝突させ、運動エネルギーにより表面に固着させ対象表面に皮膜を形成する。材料をあらかじめ溶融させないので、コールドスプレーと呼ばれる。



ショットピーニングの概念図

対象となる金属材料より硬い投射材が高速で衝突することで、金属材料の表面は変形し丸いくぼみができ、残留圧縮応力が付与される。表面を衝撃によるくぼみで覆うことで表面の残留応力が均一化し、疲れ強さ、耐摩耗性などが向上する。



歯車部品のショットピーニング加工

歯車の歯面に、写真右のノズルから投射材を吹き付ける。
〔写真提供＝株式会社東洋精鋼〕

工対象、投射材、投射方法などに対する選択肢は多く、非常に応用範囲の広い加工方法である(表1:プラスト加工の主な用途)。

このためプラスト加工は、機械部品製造を中心に、さまざまな産業分野で活用されるほか、工芸分野でも使われている。例えばガラス工芸の分野では、取り扱いに注意が必要な薬液を用いて腐食させるエッチングの代用として広く用いられ、「ガラスエッチング」の名で呼ばれることがある。また、表面に加工を施し白く曇りガラス状態にすることをフロスト加工と呼び、多用されている。

▼金属部品強化に多用されるショットピーニング

プラスト加工は、歴史的には研磨・研削のために開発された手法である。一方、鋼板の表面を金槌等で強く叩くと強度が上がることは古くから知られており、金属の表層組織に強い物理的力を加えて機能向上を図る「強加工」の技術もさまざまな開発されてきた。20世紀半ばに実用化されたショットピーニングは、プラスト加工による表面改質技術の主流であると同時に、強加工の一種と捉えることもできる。主に鉄鋼製部品の強度・耐久性の向上を目的として適用されており、常温で行う冷間加工の一種に分類される。

硬い投射材が高速で材料の表面に衝突すると、材料表面には無数の微細なくぼみができる。この塑性変形によって表面の硬さは増し、また繰返し荷重に対しては表面層に付与された圧縮残留応力が相殺する形で作用し疲れ強さが増す。この他、耐摩耗性の向上、耐応力腐食割れ特性の向上、放熱性の向上等の効果も期待できる。

■プラスト加工の投射材と投射法

投射材には、表2に挙げるようなさまざまな素材が用いられる。素材や粒の大きさ、形状は、ワークの素材や用途に合わせて選択される。粒径は40 μ m～2.0mm程度のものが主に用いられる。ショットピーニング用としては、自動車分野では0.3～0.8mm程度の粒径のものが多用され、40 μ mなど極小粒径のものは2段ピーニングの仕上げ用に使われている。

鋳鋼製ショットやガラスビーズ等は球形である。ワイヤを切断したカットワイヤはそのままでは円筒形だが、切断部分の鋭いエッジによるワーク表面の損傷や粉塵発生が問題となるため、エッジを落とし球形に近くしたもの(コンディションドカットワイヤ、ラウンドカットワイヤなどと呼ばれる)もある。ワーク表面に対する切削性が求められる用途では、ショットもしくはビーズを砕いて逆にエッジを鋭くした非球形粒子のグリットが用いられるケースもある。

表2: プラスト加工の主な投射材

金属系	鋼製	研削加工用としても、ショットピーニング用としても最も一般的に用いられる。炭素鋼、ステンレス等のワイヤを粒状に切断したカットワイヤ、その角を丸めたコンディションカットワイヤ、鋳鉄や鋳鋼による球形粒子(スチールショット、スチールビーズ)がある。
	非鉄金属	アルミ、亜鉛系など。軽合金のバリ取り加工、梨地仕上げ用等に用いられる。
	超硬合金	炭化タングステン、コバルト粉末を造粒・焼結したもの。高比重、高硬度が特徴で、硬度の高いワークへのピーニング等に使用する。
	アモルファス合金	高硬度で長寿命な投射材として、高精度のショットピーニング等に用いられる。
セラミック系	アルミナ、炭化ケイ素(SiC)など高い硬度を持つ素材の球状粒子、または微粉末を用いる。主に高硬度のワーク表面の研削や模様の彫刻に用いられる。	
ガラス系	微小なガラス球であるガラスビーズ、それを破砕したガラスパウダーなど。加工物のクリーニング加工、精密加工品のバリ取りなどを主な用途とする。	
人工樹脂系	ナイロン、ポリカーボネイト、メラミン等の樹脂を使用した比較的軟質の投射材で、金属のワークの表面を傷めたりエッジを丸めたりすることなく塗装を剥がしたり、表面の洗浄を行う用途に用いられる。	
植物系	人工樹脂以上に軟質の投射材として、対象がプラスチック部品等でも傷めることなくバリ取り、付着物の除去を行うために、植物のクルミ殻・とうもろこし芯・桃の種・あんの種の粉末が使用されることもある。	
ドライアイス	使用後に消失(蒸発)するため、後処理の手間が軽減される。柔らかいので、ワーク表面を傷めずに不純物を除去する用途に使われる。	



ブラスト加工の投射材の形状

ブラスト加工に使用される鋼製の投射材。2点とも径0.71mm(写真下部の1目盛=1mm)。カットワイヤ(写真左)は線材を切断したままの円筒形のもの。エッジを落としたコンディションドカットワイヤ(写真右)や球状のスチールビーズは、ワーク表面を必要以上に傷つけず、投射材の耐久性も高い。

鋼製の投射材は、研削加工用としても、ショットピーニング用としても最も一般的である。ステンレスではSUS430系(Hv硬度250～450程度)、SUS304系(同400～600程度)、炭素鋼線材ではSWRH42A～82A(同100～600)等が多く用いられる。特に大きな圧縮残留応力を付与するハードピーニングでは、スチールでもHv硬度800程度、超硬合金でHv硬度1400程度の高硬度の粒子も使われる。

これらの投射材を機械力式、空気圧式、湿式等の投射方法でワークに衝突させるが、投射材の種類(素材や粒径、密度、硬度など)に加え、投射速度、投射角度、投射量なども、ワークの硬度や作業量に応じて適切に選定する必要がある。

投射材の投射方法には、主に以下の種類がある。

機械力式：インペラ(羽根車)式とも呼ばれ、高速で回転する耐磨耗合金製の羽根車によって投射材を送り出す。比較的広範囲に大量の投射材を投射できるため、大きな対象物や、連続して大量のワークを処理する場合に適している。

空気圧式：圧縮空気によって投射材を吹き付けるもので、エア・ブラストとも呼ばれる。空気流の負圧によって投射材を吸い上げる吸引式と、圧縮空気に直接投射材を混合して噴射する直圧式とがある。機械式に比べ投射条件を細かく設定することができ、より細かい粒子を投射材に使用することができるため細部加工に適しており、手作業での小規模な加工にも多用される。噴射ノズルをマニピュレーター等の先端につけることにより、パイプ状のワークの内面や複雑な形状のワークの処理を行うこともできる。

湿式：水流に投射材を混ぜて噴射する。ワークの錆発生が問題となるため従来あまり用いられなかった方式だが、粉塵が発生せず粉塵爆発の危険性がない、ワーク表面の油分・水分を予め除く必要がないなどの利点もあり、採用例が増えている。

■ブラスト加工の新しい技術と進化

ブラスト加工は広い工業分野で、さまざまな対象物や目的に使用される加工方法だが、そのなかでも、近年特に広がりを見せている用途とその課題等について、いくつかの例を紹介する。

▼高精細サンドブラスト

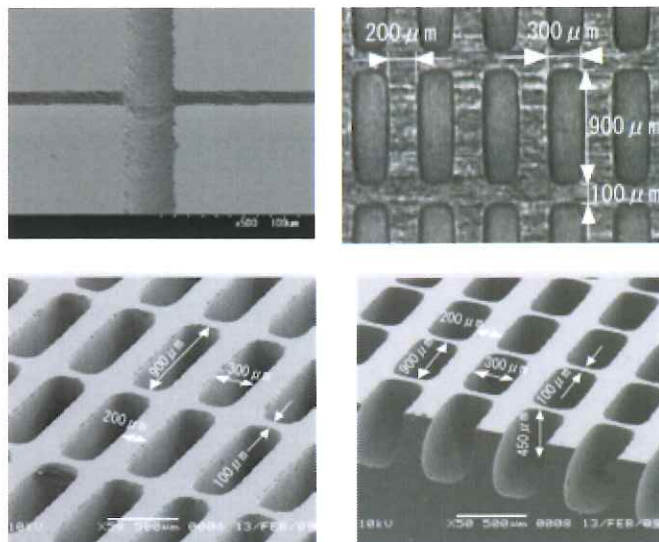
電子部品製造分野で最近広く用いられるようになっているのが、高精細サンドブラスト加工法である。

近年、マイクロマシン・パーツ、集積化センサー等の開発が進むにつれて、微細加工技術の向上が望まれている。シリコン、ガラス、セラミックス等の硬脆材料を用いた半導体、電子部品、液晶等に使われる部材は、従来、薬液によるエッチング法、超音波加工、レーザー加工等により生産されてきた。しかし、エッチング加工は処理に時間を要するため生産性が低い、超音波加工はチップングを起こしやすい、レーザー加工は熱変質を起こしやすいなど、それぞれに弱点があった。

これらに対してサンドブラスト加工は、雰囲気ドライであるため廃液処理を必要とせず、生産性が高いなどの長所がある。加えて近年、次に挙げる課題を解決し、より微細かつ精密な加工に広く使われるようになってきた。

第一の課題はマスキングの精度である。マスキングの精度向上に対しては、基板上に設けるフォトレジスト層を感光性樹脂の塗布ではなく、極薄のフィルムをラミネートすることで層の厚みのむらをなくし、これにフォトマスクを介して露光・現像し、適切なマスキングパターンを形成させる対策が取られた。

第二の課題は投射材の粒径である。従来の投射材では穴加工で50 μ m、溝加工で40 μ m程度が加工限界であったが、投射材を平均粒径20 μ m以下の微細砥粒とすることで、より高精



高精細サンドブラストの加工例

(写真左上)ガラスに対する溝加工で、加工幅20μm、加工深さ10μm。高精細サンドブラスト加工で使用する投射材(研磨剤)は一般のブラスト加工よりさらに小さく、大きくても40μm、最小で1μm程度の粒径のものが用いられる。

(写真右上)ステンレスを格子状に残すように微小な溝を彫り込んだもの。加工深さは35μm。

(写真下2点)ガラスに対する高精細サンドブラスト加工。こうした精密パターン切削は、プラズマディスプレイパネルの隔壁作成などに利用される。

[写真提供(4点とも)=株式会社エルフォテック]

細な電子部品への対応が可能になった。

こうした課題解決により、高精細サンドブラストは、シリコンウエハー上のインクジェットヘッド用微細流路加工などのほか、化学・バイオ分野でのマイクロアクター加工など、さまざまな用途に活用されている。

▼コールドスプレー

ブラストによるワーク表面の改質技術のバリエーションとして、近年用途開発が精力的に進められているのがコールドスプレーである。ワークに物理的衝撃を与える用途のみに投射材を使うのではなく、投射材をそのままワーク表面の膜材料とする点が、従来の研磨・研削加工やショットピーニングとの大きな違いである。

コールドスプレーは不活性ガスを使い、音速以上の高速で材料の粒子を対象に衝突させ、その運動エネルギーで膜を形成する。衝突・固着時に熱は発生するが、溶射等と違い、低温の固相状態で吹き付けることが“コールド”スプレーと呼ばれる所以である。熱による皮膜材料の特性変化を低く抑えることができ、成膜速度が速いことなどがメリットとしてあげられる。

もともとコールドスプレーは1980年代に旧ソ連で開発された加工法で、金属部品の肉盛補修などに用いられてきたが、最近ではより高機能な皮膜形成への応用が進んでいる。塑性変形しやすいアルミニウム、銅などはコールドスプレーに適した材料で、航空分野等で、ジュラルミン表面に純アルミを成膜して保護皮膜とすることが考えられている。またその他の応用例として、航空機エンジ

ンや発電機におけるタービン翼の耐熱、耐食皮膜の形成、ボイラーやディーゼルエンジン部材へのサーメット(耐熱・耐磨複合材料)層の付加なども挙げられる。

チタン合金やステンレスなど塑性変形しにくい材料は、比較的高温・高圧・高速度で吹き付ける必要がある。通常、吹付け用のスプレーガンのチャンバー内温度は低圧型で600℃以下、高圧型で800℃程度だが、これが1000℃に達する装置も開発されている。

▼ショットピーニングの技術向上と課題

ショットピーニングは、主に鉄鋼部品の疲れ寿命や耐摩耗性を向上させることで、部材の小型・軽量化を図ることを可能にする技術でもある。したがって、耐久性や信頼性を維持しながら小型・軽量化が求められる自動車部品の分野では、効果的かつ効率的なショットピーニング技術に対するニーズは大きい。

例えばエンジンの小型化・高出力化に伴い、駆動系ユニットを構成する歯車部品はますます高速・高負荷な条件下で使用されるようになっている。一般的に歯車は、浸炭処理を施して表面を硬くし、芯部に靱性を持たせたうえで、ショットピーニングを施すことで大幅に疲労強度が向上する。近年ではさらに部品強度を上げるため、ショットピーニングを2段階に分けて行う「2段ショットピーニング法」も導入されている。この場合、1次ショットピーニングでは比較的粒径の大きな投射材を用いて鋼材表層部に十分な圧縮の残留応力層を生成させ、次の2次ショットピーニングでは比較的粒径の小さなショットを用いて最表面の平滑化と圧縮残留応力を均等に作用させることによって、最適な残留応力分布形態を得るようにする。ショットピーニングシンポジウム2009(ショットピーニング技術協会)における「2段ショットピーニングによる歯車の高強度化」(日産自動車)によれば、ガス浸炭焼入れ焼戻し後のJIS SCM420H製歯車に対し、1段(0.6mm径)、2段(0.05mm径)のショットピーニングを行い、1段のみのものに対し、歯元疲労強度で約18%の向上が得られたという。

一般的なショットピーニングよりもカバレッジ率、吹付け圧を上げ、対象の鉄鋼材料表面にナノ結晶粒組織層を発生させる超強加工の研究も進められており(コラム参照)、表面硬化技術の新しい可能性を示すものとして注目されている。

ショットピーニングは、広く活用されているものの、その仕組みはなお明らかになっていない部分がある。ショットピーニングにより対象となる金属部品の強度が向上することはわかっているものの、加工の条件と応力付与の関係は定量的に判明しているとはいえず、各メーカーが自社のノウハウに従って加工しているのが実状である。これを正確に計測・制御できれば、設計上もそれを織り込み、よりいっそうの小型・軽量化や性能向上が可能になる。また現在は、適切なピーニング加工量を見極めるため、効果の検証に多くの時間が掛かっている。計測技術の確立は、こうした

時間の短縮にもつながる。現象の把握は、ショットピーニングにおける大きな課題の一つといえる。

なお、ワーク表面に衝撃を加えて応力を付与する強加工の手法としては、水流中でのキャビテーション発生・崩壊時の衝撃波を利用したキャビテーションピーニング、レーザーを利用したレーザーピーニングなどの新たな技術も生まれている(本文特集記事参照)。これらは、投射材を使用しないピーニングという意味で、ショットレスピーニングと総称される。

ショットレスピーニングはショットピーニングに比べてより小範囲でのピーニングや、投射材の吹き付けが困難な箇所へのピーニングに適している。またレーザーピーニングは、ショットピーニング以上の深い硬化層を得ることができる特長がある。ただし、加工効率やコストでは従来型のショットピーニングが大きく優っており、用途によりショットレスピーニングとの棲み分けが進むものと考えられる。

■新たな用途開発の可能性

応用分野の広いブラスト加工は、簡易で基本的な下地加工から高度な機能付加まで、さまざまな用途に使われている。「硬質の粒体による物理的衝撃」という原理は共通しているが、ワーク、投射材、投射条件などの組み合わせによって大きく異なる効果が得られるため、今後も新たな用途開発が進む可能性がある。鉄鋼部品の加工にも縁が深く、その技術の進化が注目される。

[取材・文＝川畑英毅／撮影＝三浦健司]

取材協力・画像提供＝當舎勝次教授(明治大学理工学部機械

工学科、ショットピーニング技術協会会長)、

梅本実教授(豊橋技術科学大学大学院工学研究科)、

東洋精鋼株式会社、株式会社エルフォテック

画像提供＝新東工業株式会社

超強加工とナノ結晶

強加工のなかでも、特に歪量の大きな(真歪で約5以上)加工を「超強加工」という。超強加工によって結晶粒径がナノレベルにまで微細化する場合がある。ナノ結晶化した材料は高い硬度を持つほかに耐摩耗性、疲労強度、耐食性なども従来加工より大きく向上することが注目されている。

すでに実用化が進んでいる例として、大規模な吊橋用ロープや、自動車用タイヤのスチールコードなどの「パーライト鋼の伸線加工」がある。加工効果率が高く、小さな歪みで高い強度が実現できる。

また、一般的なショットピーニングではワーク表面を圧痕がカバーする率(カバレッジ)は300%程度だが、これを1000～8000%にまで上げるとともに、吹付けの圧力を上げることで、対象の鉄鋼材料表面にナノ結晶粒組織層を発生させる超強加工の研究も進められている。

ショットピーニングによる超強加工

従来のショットピーニングよりもピーニングのカバレッジを大幅に上げ、表面にナノ結晶粒を生じさせた0.03%低炭素鋼。カバレッジ2000%で強加工した低炭素鋼の表面近傍の断面組織(写真左上)と、その中(a付近)に形成されたナノ結晶粒組織(写真右上)と、ナノ結晶粒と変形組織との界面(b付近、写真右下)。[画像提供＝梅本実教授(豊橋技術科学大学大学院工学研究科)]

