

電磁成形/接合、熱影響のない高精度加工技術

先進技術

軽量化や電動化などを背景に、自動車分野におけるアルミや銅の採用比率が増加傾向にある。電磁力によって材料を高速で衝突させ加工するマグネティックパルステクノロジー(電磁成形/接合技術、以下 MPT)は、様々な素材に適用可能な技術であるが、とりわけ導電性の高いアルミや銅の加工を得意とする。

FOURIN は、MPT を開発・提供する Bmax(フランス)と、

日本国内およびアジア地区における Bmax の窓口であり、MPT を用いた生産システムをトータルに提供することを目指す IHI 物流産業システムの担当者に、技術の概要と自動車生産工程における今後の展開について話を聞いた。

MPT による加工は、高エネルギー速度加工の一種であり、成形においては一般的なプレス機で材料を変形(成形)する速度のおよそ 10~50 倍の速度で成形する。原理は

【電磁成形/接合技術の自動車生産工程への適用に向けて】

2017年2月21日、株式会社IHI 横浜事業所で行った山崎貴史氏(株式会社IHI 物流産業システム、事業開発部)、南谷盛志氏(同、営業本部産業機械営業部)、Dr. Mehrdad Kashani 氏(Bmax、Director of Technology)、柴田亜季氏(株式会社IHI、広報・IR室)へのインタビューを基に FOURIN 構成

電磁成形/接合技術を提供する Bmax

Bmax は、パルスパワーおよびそのアプリケーションである電磁成形/接合技術において、世界の主要な企業の一つである。2011年に設立され、フランス Toulouse に本拠を置く。主に欧州や北米で、自動車メーカーなどの依頼を受け電磁成形/接合技術を用いたプロセスの開発を進めている。特に欧州は Bmax の拠点があり、また欧州自動車メーカーがアルミの採用に積極的ということもあり、引き合いが多い。

電磁成形/接合を構成する二つの主要要素技術は、パルスパワーと高速度加工である。Bmax の親会社である I-Pulse が鉱山開発に利用してきたパルスパワーに、高速度加工を組み合わせ、エンジニアリングやシミュレーションを行い、マグネティックパルステクノロジー(以下、MPT)として、自動車産業などの顧客に提案している。

IHI はシステムをトータルコーディネートして提供

IHI は Bmax(フランス)と、電磁成形/接合技術に関する提携契約を 2015 年 5 月に結び、日本とアジア地区で市場開拓を中心とした活動を行っている。展示会にも出展し、好評を得ている。IHI 横浜事業所にデモサイトを開設し、希望する顧客に MPT による加工を実際に見てもらっている。

IHI においては「産業システム・汎用機械」に属し、機能分担会社である IHI 物流産業システムが担当している。IHI 物流産業システムは主に産業機械と物流システムの二つの事業領域があり、産業機械では、自動車産業向けに大型のプレス機や、タイヤの積層ゴムを作るカレンダー機などを、物流システムでは、輸送倉庫や工場用クリーン倉庫、FA (= Factory Automation)などを扱っている。

2015 年から産業機械と物流システムの二つの部門が一つになって活動するようになったことで、車体生産に必要なプレスショップを自動車メーカーへ、トータルにコーディネートして提供できるようになった。

IHI は、Bmax が提供する電磁成形/接合技術を受けて、日本とアジアの顧客向けに一つの完成した自動化システムとして提供するターンキービジネスを目指している。現在は、どのような成形や接合が可能か、顧客の相談を受けながらテストを行い、サンプルを提供している段階である。

マグネティックパルステクノロジー(MPT)とは

MPT による成形は、電磁力によって材料を高速で衝突さ

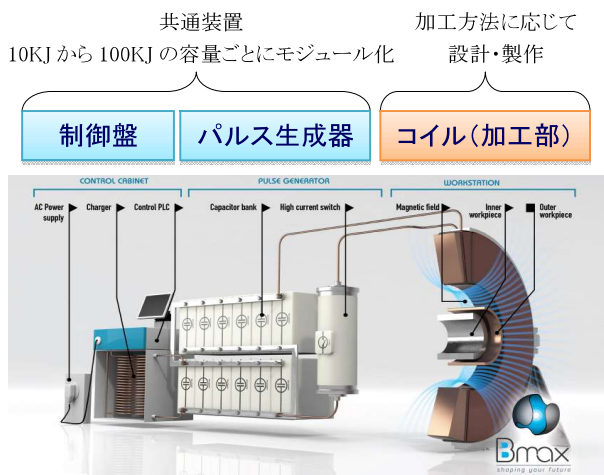
せ加工する、高エネルギー速度加工の一種である。一般的なプレス機で材料を変形(成形)する速度のおよそ 10~50 倍の速度で成形する。

原理は古くから知られており、1960 年代くらいから多くの論文が発表されてきた。しかし、実用化するまでには長い時間がかかった。材料を成形するための最適な条件を見つけにくかったからである。また、コンデンサーやハイパワースイッチなど MPT に必要な装置を、実用に適したものにすることも難しかった。

この状況を変えたのが、近年のシミュレーション技術の飛躍的進化である。Bmax は 3D 連成シミュレーションソフト LS-Dyna を使い、さらにそこに実験で蓄積したデータに基づく高速度成形専用の解析コードを独自に組み込み、電磁気/高速動力学/熱の連成シミュレーションを行っている。

パルスパワーは、エネルギーを非常に短い時間で放出する。喩えれば、バネに蓄えたエネルギーを一瞬で開放して石を遠くに飛ばす投石機のようなもので、これを電気的に実現した技術である。

Bmax のパルスパワーシステムでは、コイル(加工部分)の形状を変えることで、接合、成形、カシメなど複数種類の加工が可能であり、システムで使用する制御盤やパルス生成器は共通である(但し条件有)。パルス生成器は、利用形態や加工対象に合わせて 10KJ から 50KJ までの標準シリーズがあり、モジュール構造であるので 50KJ 以上の拡張が可能である。



として自動車の軽量化や電動化に寄与

電磁成形/接合技術

古くから知られていたが、長い間、実用化例は少なかった。成形・接合を現実に可能にする最適な条件を見つけることが難しかったからである。Bmax はシミュレーションソフト LS-Dyna を使い、さらにそこに実験で蓄積したデータに基づくパルスパワー専用の解析コードを独自に組み込み、MPT による加工を実用化し、その装置を商品化することに成功した。

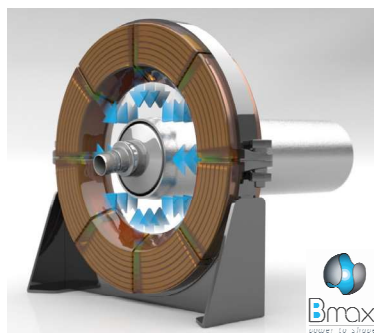
Bmax の装置は、コイル(加工部分)の形状を変えることで、接合や成形など複数の加工方法を実現できる。

MPT による接合は、熱がほとんど入らない冷間固相接合であり、衝突エネルギーによって材料を原子レベルで圧着させるものである。衝突の角度(材料同士の隙間)と速度が重要で、これらを一定の条件で満たすと接合が発生する。接合面は非常に綺麗で高品質であり、接合強度は

【電磁成形/接合技術の自動車生産工程への適用に向けて】(つづき)

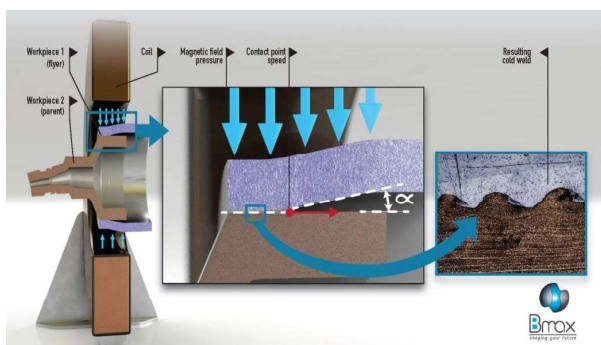
電磁接合の場合

例えば、ドーナツ状のコイル装置の内側にインナーパーツと外筒パイプ材をセットする。コンデンサーに蓄えた電力をコイル装置に瞬間的に通電すると大きな磁界が発生する。磁界の発生に伴い、外筒パイプ材の外側表面には誘導電流が誘起される。すると、磁界と誘導電流によりローレンツ力(フレミングの法則による力)が発生して、外筒パイプ材がドーナツ状コイルの中心に向かって加速し、インナーパーツに高速で衝突する。衝突の圧力により、外筒パイプ材とインナーパーツが接合される。



熱がほとんど入らない冷間固相接合であり、衝突エネルギーによって材料を原子レベルで圧着させるという点で爆発接合に類似した技術である。熱影響を受けずに高い接合強度で、異種材接合を実現できる。

衝突の角度(材料同士の隙間)と速度が重要で、これらを一定の条件で満たすと接合が発生する。下の図で言うと、材料がある角度で衝突し、左から右に衝突点が移動しながら高圧で圧着していく。高速で衝突するため衝突界面が一瞬だけ流体になり、衝突界面に波パターンを生成する。衝突の際に衝突点では金属ジェットが発生し、材料表面の汚染層が吹き飛ばされるため、母材同士の接合となる。した



がって、材料の事前洗浄が不要である。

制御盤で電圧を設定しスイッチを押すとチャージが始まる。チャージ時間は加工対象にもよるが約 2~5 秒。オートモードに設定していれば、チャージ終了後に自動的に電流が開放され接合が行われる。電流を流す瞬間に銃の発砲音に似た乾いた音がするが、常人が耳をふさがなくても耐えられるレベルである。接合後の材料はすぐに手で触れても問題なく、体温よりわずかに高いくらい。このわずかな熱は材料の変形抵抗と電気抵抗によるものである。

接合面は非常に綺麗で高品質であり、接合強度は母材よりも高い。圧力容器のバースト試験やドライブシャフトのねじり試験では、いずれも母材が先に降伏する。円筒形の接合だけでなく、平板同士の重ね接合もできる。

異種材接合も可能である。導電性の高いアルミや銅は特に向いている。スチールの接合も可能であるが、条件はやや厳しい。

電磁成形の場合

電磁成形の場合も、電磁力を使用して材料を加速するという点で原理は同じである。しかし、一般的に使用するエネルギーが異なる。接合の方がより多くのエネルギーを必要とする。このエネルギーは、衝突の速度と言い換えることもでき、接合の方が成形よりも早い速度で材料が衝突することになる。成形の際に材料が金型にそのまま接合されてしまうのではないかと、しばしば疑問を持たれるが、成形の場合は衝突速度が遅いため、接合する条件に達しない。

MPT による成形の利点は、成形性が良いこと、シャープなエッジや微細な形状が加工できること、材料のスプリングバックが極小であることなどが挙げられる。また、プレス成形と組み合わせ可能なことも、生産工程におけるメリットの一つである。例えば、大きな部品をプレスで先に成形し、その後で部品の一部にシャープエッジなどの細かな形状を施したり、プレス成形後の部品のひずみを矯正したりできる。

成形方法には二種類ある。①材料を電磁力により高速で金型に衝突させる直接成形、②水を媒体として衝撃波の伝播による圧力を利用して材料を金型に高速で衝突させる液圧成形である。

液圧成形は、水を媒介とすることで、導電性の低いステンレスなどを加工することができる。直接成形ではコイルサイズの制約により加工可能な材料の大きさは最大約 600cm² であるが、液圧成形であれば最大数 m² の大きさの材料まで加工できる。衝撃波を利用して圧力がより遠い距離まで届くため、絞り深さの深い物を加工できるのも液圧成形の特長である。

先行技術

母材よりも高い(母材破断)。

MPT による成形は、高速度成形であるが、衝突の速度は一般的に接合よりも遅い。電磁力を用いて材料を直接加速して金型に衝突させる方法や、アーク電流により水中に発生させた衝撃波の伝播を利用して成形する方法などがある。成形性が良く、材料のスプリングバックも小さい。

プレス成形と組み合わせて用いることも可能である。従来のプレス機では実現できなかったシャープエッジや微細形状の加工もできる。

また、MPT で電線などのカシメを行うと、内部に隙間がほとんど発生せず、導電率の良好な電線になる。

自動車分野における MPT の採用事例として 2014 年に

【電磁成形/接合技術の自動車生産工程への適用に向けて】(つづき)

◆材料を高速で金型に衝突させて成形



◆水を媒体とし、衝撃波の伝播を利用して成形することも可能



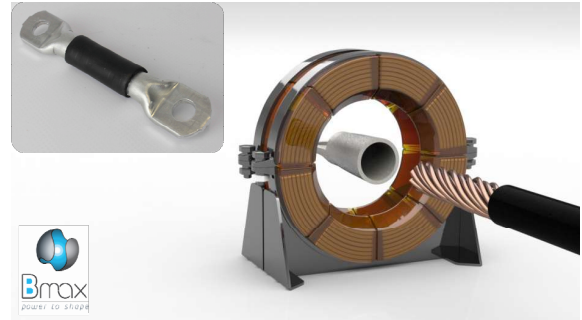
Airbus Helicopters (フランス)は、オイルディフレクターの加工に、実際に液圧成形を用いた。材料はアルミA6061 T0で、従来は①プレス成形(1 工程目)→②プレス成形(2 工程目)→③熱処理(質別T0からT4へ)→④プレス再成形(矯正)→⑤最終仕上げまで、5 工程を要していたものを、材料にアルミ A6061 T4 を最初から用いて、①液圧成形の 1 段階で加工した。使用する金型のセット数も 2 から 1 に減らすことができた。

導電性の低いステンレスやスチールを水の中に入れて成形したい場合は、条件付きではあるが、間接成形という方法もある。例えば、材料(スチールやステンレス)とコイルの間にアルミ板を置くという方法である。このアルミ板のことをドライバーと呼ぶ。ドライバーに誘導電流を流し、ドライバーを飛ばすことによって、スチールも一緒に飛ばし成形する。ただし、この間接成形は余分な物も一緒に飛ばすため、成形におけるメリットは他の二つの方法に比べて小さい。

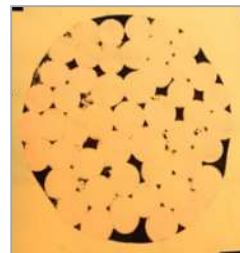
その他の加工方法

その他に、カシメと拡張という二つの加工方法がある。

カシメは金属同士が冶金的に接しておらず、メカニカルに接しているという点で、接合と異なる。例えば、インナーパーツに掘られた溝の中に、アウターパーツを食い込ませるという方法である。MPT は成形性が良いので、溝の形状を良くフォローして食い込む。適用箇所によっては接合ほどの強度を必要としないということも多々あるので、MPT によるカシメのメリットは大きい。例えば、電線と端子部分に MPT によるカシメ処理を施すと、電線の内部にほとんど隙間が発生しない。そのため内部の密度が高く、電気抵抗が低い電線を作ることができる。自動車業界はパワートレインの電動化を進めており、高品質なカシメ技術の需要は今後高まると予想される。



<従来の機械的カシメ>



<MPT カシメ>



拡張は、コイルに流す電流の向きを変えて、パイプが拡張する方向に力が発生するようにして加工する方法である。

自動車生産における MPT 採用動向

Bmax の MPT 成形が自動車生産に用いられた例として、2014 年にカンファレンス(注)にて発表された Lamborghini Huracán が挙げられる。生産台数の少ない車種であるため、一般的な意味での量産ラインとは少し異なるかもしれないが、市販車生産におけるインライン加工の一例である。

カンファレンス(注)にて発表された、Lamborghini Huracán のアルミボンネットには、MPT による成形で、2 本のキャラクターラインが加えられた。また、接合における採用事例には空調パイプや燃料フィルターなどの加工に生産設備として MPT 装置が用いられている。MPT による接合では従来の溶接加工と異なり、高熱が発生しないため、内部素

材への影響が少ない。また、欧州のワイヤーハーネスメーカーがハーネスの量産に MPT によるカシメを導入しようと開発を進めている。今後、電動化や軽量化が進み、電線のサイズ UP やアルミ電線採用が進めば、高いカシメ圧力とスプリングバックの少ない MPT によるカシメの需要も増加すると予想される。(東)

【電磁成形/接合技術の自動車生産工程への適用に向けて】(つづき)



Huracán のボンネットは、プレス機でだまかに成形された後、MPT による成形で、中央部に 2 本のキャラクターラインが加えられた。

下にコイル、上に金型を配置し、ボンネットとなる材料をその間に挟み込む。下部のコイルは、キャラクターラインに必要な部分だけに配置される。使用材料は厚さ 1mm 程度の 6000 系アルミであるが、従来のプレス機にはできない鋭角的な R でラインを入れることができた。

米州では Bmax のシステムを用いて、空調用パイプを生産している。3000 系アルミを材料に接合しているが、大きなトラブルは生じていない。

アジアでは燃料フィルターの加工(接合)に Bmax のシステムが用いられている。内部に樹脂製フィルターが入っているが、従来のミグ溶接やレーザー溶接と異なり、MPT による接合では熱がほとんど発生しないため、内部の樹脂への悪影響がない。



欧州では、世界的に有名なワイヤーハーネスメーカーが、MPT によるカシメをハーネスの加工に用いることを検討している。従来のカシメ加工では端子に厚みが必要であるが、本来の機能上、端子に加工用の余分な厚みは不要であり、MPT を用いて小型化・軽量化できる。価格の高い銅の使用量を減らしコストを下げることもできる。自動車業界でマルチマテリアル化や電動化が進み、アルミや銅の採用比率が上がれば、MPT の需要は今後一層高まると考えている。

従来の方法では難しい繊細形状の加工も可能
MPT を使えば、ドアパネルのキャラクターラインよりも、

もっと細かな形状を成形することができる。例えば、金型の代わりにサンドペーパーを置いて MPT で成形すると、サンドペーパーの粒子に対応する細かな穴が金属表面にできる。また、アルミ板に 1 本の髪の毛を置いて MPT で成形すると、髪の毛のラインがそのままアルミ板の上に表示される。

従来のプレス機による機械的加工では難しい繊細な表現が MPT では容易に実現できる。MPT のこのような特長を活かして、ブランドパッケージの装飾の試作を重ねているところである。コックピット周辺の装飾など自動車内装の分野にも応用できるだろう。



生産ラインを自動化すれば課題は減少

MPT では、加工する材料の形状や種類に合わせて最適なコイル及びジグを用意する必要がある。したがって、装置本体価格のほかに、これを作成する費用が発生する。コイル及びジグの作成は、顧客が独自に行うことができるが、最初は難しいかもしれない。IHI や Bmax がノウハウを提供しサポートする。

MPT で接合不良が発生することは稀であるが、仮に不良が発生するとすれば電圧のチャージ不足や、材料のセットミスなどが考えられる。特に材料のセットの仕方、すなわち材料同士の隙間が、MPT による接合では重要である。この隙間が接合条件の範囲内にある必要がある。ただし、ある程度の許容範囲はあるので、生産ラインに入れてロボットで制御するようになれば特に問題は生じないだろう。

IHI は、こうした周辺環境も含めて、生産ラインをトータルシステムとして提供しサポートする予定である。

《株式会社 IHI 物流産業システム》

東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 豊洲 IHI ビル
産業機械営業部 TEL:03-6204-7327

《IHI 横浜工場デモサイト》

神奈川県横浜市磯子区新中原町 1



注)出展: Doors and Closures in Car Body Engineering 2014, 5th International Benchmarking Conference. 19 November 2014 Bad Nauheim, Development of an electromagnetic tool for post-forming of an aluminum hood, Christian Held, AUDI AG, DE; Rani Plaut, Bmax, FR