電子ビームによる微細穴あけ加工*

Electron Beam Perforation

国宗正春**

Masaharu KUNIMUNE

Key words

electron beam, high power density, high speed, precise holes, reproducibility vacuum chamber, backing material, latest technique

1. はじめに

電子ビーム穴あけ加工（以下 EBP 加工と呼ぶ）は、半世紀前に西独の Carl Zeiss で開発された技術で、特に航空機エンジンの超耐熱銅部品への穴あけで欧米を中心に普及した。日本では、電子ビームによる穴あけ加工機の普及は溶接機に比べて進まず、商業用としては '90 年代から稼動しはじめたばかりである。

EBP 加工は、高いエネルギー密度に集束した電子ビームを被加工物表面に短時間かつ局所的に照射、発生した熱による溶融・蒸発で穴あけを行う熱加工の一つである¹⁾²⁾。ドリル、レーザ、放電、打抜きやエッチングといった他の穴あけ加工に比べ、多数穴を短時間で正確に加工できる優位性をもつ。

本稿では、EBP 加工の原理・特長について述べるとともに、各種産業界で採用されている EBP 加工品の用途と性能について紹介する。

2. 加工原理と特長

2.1 加工原理と加工機の概要

先に述べたように、EBP 加工は光速の 1/2 程度まで加速した電子を材料に照射、材料内部に侵入した電子が運動エネルギーを失う際の発熱作用をもちいる加工である。電子ビームのエネルギー変換効率は約 99% で、同じ熱加工媒体であるレーザの 10% 以下をはるかに上回り³⁾⁴⁾、このことが後述する EBP 加工の特長である深穴加工を可能にしている。

ビームが照射された材料表面は穴あけが完了するまでに数段階のプロセスが存在する。図 1 は、EBP 加工の主な

プロセスを模式的に示したものである。なお、図中に示すように EBP 加工では、レーザ加工におけるアシストガスの役割を果たす“バック材”⁶⁾を被加工物に密着させる必要がある。プロセスの内容は大約次のとおりである。

- ①（照射）集束された電子ビーム（エネルギー密度：約 10^8 W/cm^2 ）がワークに照射されて、最初にその一部が溶融する。
- ②（浸透）蒸発物に満ちた空洞が深くなり、その周りに溶融層ができる。

図 1 EBP 加工のプロセス⁵⁾

図 2 加工機の基本構成

*原稿受付 平成 23 年 3 月 29 日

**大平洋特殊鑄造(株)機創部 EBP グループ (新潟県上越市港町 2 丁目 25-1)

国宗正春

1984 年関西大学工学部卒。

表 1 加工機の外観とその能力

1 号機	
外観
電子銃仕様	加速電圧：120 kV 最大出力：Max. 12 kW 穴径：φ0.1 mm～φ1.0 mm 板厚：0.1 mm～8.0 mm
回転ドラム	・φ630 ドラム 1950 L×540 W, 穴径：φ0.1～φ0.3 ・φ500 ドラム 1500 L×450 W, 穴径：φ0.1～φ1.0 ・φ400 ドラム 1100 L×350 W, 穴径：φ0.1～φ1.0
加工室	高さ：1100 mm, 長さ：1320 mm 幅：880 mm 容積：1.28 m ³

2 号機	
外観
電子銃仕様	加速電圧：120 kV 最大出力：Max. 9.6 kW 穴径：φ0.1 mm～φ1.0 mm 板厚：0.1 mm～8.0 mm
回転ドラム	・φ630 ドラム 1950 L×950 W, 穴径：φ0.1～φ1.0
加工室	高さ：1325 mm, 長さ：2140 mm 幅：880 mm 容積：2.4 m ³

- ③（貫通）電子ビームがワークを貫通して、バックング材まで到達する。
- ④（飛散）バックング材のもつ高い蒸気圧によって、貫通穴内部に残留した熔融金属を外部に飛散させて、穴あけが完了する。

加工機の基本構成は、図 2 に示すように電子ビームを発生させる電子銃、ビームの収束や偏向を行う電磁レンズ群からなる下部コラム、被加工物を入れる加工室からなる⁷⁾。加工機内部は、ビームの発散防止、絶縁度向上、酸化防止の理由から真空状態（電子銃：10⁻⁵ Torr，加工室

図 3 EBP 加工における板厚と穴径の関係

10⁻²～10⁻³ Torr) にする必要がある。また、人体に影響のある二次電子の放出を防ぐために、全面に鉛シールドが施されている。

EBP 加工機特有のビームの高速パルス発振とそれにシンクロする工作物の回転移動によって、高速連続穴あけ加工が可能となっている。

表 1 は弊社で所有する独国製電子ビーム穴あけ加工機の外観とその能力をとりまとめたものである。

2.2 電子ビーム穴あけ加工の特長

EBP 加工は、電子自体の材料内部への強い浸透性、集束・偏向コイルの高速制御が可能⁸⁾、深い焦点深度を有すなどの性質から、以下の特長を有している。

- ① 高速の加工が可能。(Max. 1500 穴/秒)
- ② 正確な穴径・穴ピッチの加工が可能。
- ③ 材質や硬さ、表面状態（粗さ）に影響されない。
- ④ 高いアスペクト比（穴深さ/穴径=1～10）すなわち深穴の加工が可能。
- ⑤ 複雑形状品への加工が可能。
- ⑥ 斜め穴加工（Min. 20°）が可能。
- ⑦ ストレート穴をはじめ、スロット穴、テーパ穴の加工が可能。

図 3 は、EBP で加工可能な板厚と穴径の範囲を示したもので、他の加工方法についても同時に示してある。また、図中の一点鎖線より右下の領域はアスペクト比≥10 である。EBP 加工は、穴径 φ0.1 mm～1.0 mm，板厚 0.1 mm～8.0 mm の範囲を加工でき、特に他加工では困難な穴径 φ0.2 mm 以下（図中ハッチング部）の微細穴[†]加工において威力を発揮する。

3. 電子ビーム穴あけ加工品の用途

表 2 は、EBP 加工品が使用されている主な分野および用途を示したものである。使用されている分野は食品や薬

[†] 本稿での微細穴加工は、相対的な表現で、EBP 加工では φ0.2 mm 以下のものをさす。

表2 EBP 加工品の適用分野

用途	適用装置	適用分野
紡糸	ガラス短繊維製造装置	ガラス短繊維
脱水ろ過	スクリュウ脱水機	豆乳絞り、果汁絞り
	遠心分離機	食品、化学工業製品
	吸引ろ過	医薬品、化学工業製品
精密ろ過	ラインストレーナ	食品、化粧品
	自動ストレーナ	接着剤、汚泥処理
	自動除滓装置	自動車部品
造粒	押出し造粒機	医薬品、食品

図4 ガラス短繊維スピナーヘッド

品、自動車、ガラス短繊維にいたるまで多岐にわたる。

特に、2.2節で述べたEBP加工の特長を生かし、

- ① 荷重が作用するため、高い強度が必要なスクリーンやフィルタ
- ② 多数の微細穴が必要な部材
- ③ 耐熱鋼、厚肉材など難加工材を使用した部材
- ④ テーパー形状の穴が必要な部材

といった加工が必要なユーザにおいて、従来品の代替として摸索され、用途が拡大してきた。

この中で、特にEBP加工品適用による効果が著しい4例について説明する。

3.1 ガラス短繊維製造スピナー

図4は、ガラス短繊維の製造装置部品であるスピナーヘッドで、EBP加工の適用がいち早く進んだものの一つである。

当製品は高温での強度が必要なことから、Co基やNi基の耐熱鋼が使用される。従来はドリル加工や放電加工が盛んに使用されていたが、EBP加工の適用によって加工速度すなわち納期の飛躍的な短縮が可能となった。

3.2 スクリュー脱水機用スクリーン

豆乳の搾汁工程等で使用されるスクリュウプレスは、図5にその構造を示すように、処理物をテーパー状のスクリュウによってスクリーンに押し付け、原料からろ液を抽出・分離するものである。スクリーンには高い圧力が作用するため、板厚の厚い打抜き加工品が使用されていた。EBP加工では、同等の板厚でも穴径を小さくすることが可能で

図5 スクリュー脱水機の構造

図6 遠心分離機用コニカルスクリーン

あることから、分離効率の向上が期待できる。

実際、豆乳のおから搾りに関し、

- ① 豆乳の量が10～20%増加
- ② 豆乳の度数が13～14°に増加
- ③ おからの水分が68～75%に低下（従来80～85%）の効果が認められている。

3.3 遠心分離機用スクリーン

食品や薬品業界を中心に使用されている遠心分離機のスクリーンには、従来、濾布が盛んに使用されてきた。これをEBPスクリーン（図6に一例として横型遠心分離機用コニカルスクリーンを示す）に変更することで以下の諸点が改善されている。

- ① 目詰まりが生じにくいため、生産効率が上がる。
- ② スクリーン自体の洗浄が非常に容易である。

3.4 ラインストレーナ

ラインストレーナは、例えば食品の製造工程の各段階で使用され、その目的は、原料または前工程から流入する異物を除去し、工程内での品質低下を防止することと工程を構成する機器の保護、および工程で発生した異物を次工程に流出させないことである。

ラインストレーナは、図7に示すようにハウジング内にフィルターエレメントを組み込んだもので、このフィルターエレメントは金網、焼結金網、ノッチワイヤーなど種々のエレメントで製作され、EBPテクノフィルタは先

図7 ラインストレーナ

図8 EBP テクノフィルタの表面性状

のエレメントの問題点を解決し、最新のストレーナとして提供されている。

EBP テクノフィルタは、ステンレス鋼板にEBP 加工で微細な穴を高密度に穴あけしたエレメントからなり、図8のように表面性状が平滑で、また穴断面がテーパ形状を呈しているため洗浄性が高く、サニタリーフィルタとして日本国内で採用が加速している。以下に特長を示す。

- ① 耐久性
微細な穴をもつ高機能材（厚板、高強度または耐食性に優れた板材）のエレメントなので、長期間安心して使用できる。
- ② 高性能
補強材を必要としないので、ろ過面積が大きく圧力損失も小さい。
- ③ サニタリー性
エレメントの表面が平滑で、穴断面がテーパ形状なので洗浄が簡単である。
- ④ 安全
穴あけ加工による熱影響が少ないので、例えば SUS316L など多用されるステンレス鋼板が破断し、金属異物となることはない。
- ⑤ 作業性
極めてシンプルな単層構造で、軽量・コンパクトなので取り扱いが容易である。

4. む す び

以上 EBP 加工の原理・特長と加工品用途例について述べてきた。用途開発はまだまだ途についたばかりであるが、昨今の長引く景気低迷で進んでいる機械構造物の長寿命化・省エネルギー化を考えると、EBP 加工品の適用分野は今後ますます増えると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 機械製作法研究会編：最新機械製作，養賢堂，(1974) 339.
- 2) 堀尾健一郎：電子ビーム難削材の高速穴あけ加工，機械技術，**37**, 8 (1989) 47-52.
- 3) 安永暢男：レーザが変える加工技術，海文堂，(1992) 3.
- 4) 杵名宗春：各国における電子ビーム・レーザ加工の現状，ジョイテック，(1990) 83-90.
- 5) MESSER GRIESHEIM 社，EBOPULS 技術資料.
- 6) 例えば，寺林隆夫，堀尾健一郎：電子ビーム加工の研究，精密工学会誌，**53**, 5 (1987) 789-794.
- 7) 例えば，木本泰雄，矢野章成，杉田忠彰：マイクロ応用加工，共立出版株式会社，(1984) 22.
- 8) 例えば，大田正雄，丸山俊郎：電子ビーム偏向による熱加工，ジョイテック，(1990) 83-90.