

## ワイヤ放電加工による円錐板積層ブローチの開発

Laminated Broaching Tools with Conical Plates Manufactured by Wire EDM

平 岡 弘 之\*・エリオ・メンデス\*・横 井 秀 俊\*

Hiroyuki HIRAOKA, Helio Victor Nardes Mendes and Hidetoshi YOKOI

### 1. はじめに

ブローチ加工は、多段の切れ刃を切削方向に並べたブローチを被加工物にそって引き抜く加工法である。高精度の製品を量産するのに適しており、歯車、スプライン、キー溝から、自動車や航空機のエンジン部品の加工まで他の加工法では実現の困難な多くの用途がある。

ブローチ加工の問題点は、長尺一体型の工具製作に専用機を用いた煩雑な工程が必要のため通常 2, 3 ヶ月という長い納期がかかること、ブローチ加工にブローチ盤と呼ばれる長尺の専用機が必要であること、である。そのため生産上の柔軟性が乏しく、多品種少量生産への対応が遅れている。

積層構造のブローチはこれらの問題点を解決するものとして提案された。すなわち、積層ブローチは、工具製作を容易にし、納期を短縮するとともに、汎用機を用いた工具製作を可能にする。さらに将来的には汎用プレス機によるブローチ加工への展開も可能性がある。積層ブローチはレーザ切断鋼板による積層ブローチではじめてその実現可能性が示唆された。しかし、レーザ切断精度の低さなどのため実用には至らなかった。この問題点を克服するために、ワイヤ放電加工 (WEDM) にてテーパ切断した平鋼板を積層し積層ブローチを構成する手法が提案された<sup>2)</sup>。しかし、すくい角の欠如、切れ刃部材の強度不足などのため鋼材の切削には成功していない。

これらの研究をふまえ、著者らはワイヤ放電加工を用いて円錐形状鋼板を切断し、それを積層することですくい角を有する積層ブローチを試作し、鋼材の切削を試みた。同時に行った黄銅、鋳鉄の切削実験とあわせて以下にその結果を報告する。

### 2. ワイヤ放電加工による円錐板積層ブローチ

図 1 に通常のブローチと円錐板積層ブローチを比較して示す。前者では図 1 (a) に示すように切込み分ずつ高さの異なる多数の切れ刃が工具の軸にそって縦に並び

\*東京大学生産技術研究所 第 2 部

次々に加工物を切削していく。切り屑は切れ刃の間に設けられた刃溝にカールして収まる。積層ブローチは、積層構造により通常のブローチと同様の機能の実現を目指すものである。すなわち図 1 (b) に示すように、切込み分ずつ寸法の異なる鋼板と、刃溝深さ分だけ寸法の小さいスペーサを交互に積層しブローチとしている。この際円錐形状の鋼板は切れ刃にすくい角を付与する。

円錐板積層ブローチは図 2 に示す手順で製作する。円錐鋼板を積層してブロックを作り、それを WEDM によりテーパ切断する (図 2 (a))。こうしてできた切れ刃部材を反転し、同様にして製作したスペーサ部材を間に挟みながら順次積層して軸部材にクランプする (図 2 (b))。本法の利点は、テーパ切断により一定の切込みと逃げ角を持つ複数の切れ刃部材が一度に製作される点にある。

### 3. 円錐板積層ブローチの設計と試作

#### 3.1 積層ブローチの設計

油圧プレスによる切削実験を行うことを前提に、(1) 切削特性を配慮した 1 刃あたりの切込みとすくい角、(2) 予想される鋼材切削抵抗に耐えうる強度を持つ切れ刃材質と形状、(3) 切り屑を巻き込むのに十分な体積、形状を持つ刃溝形状、に注意して設計を行った。

切込み、仕上げあらかさなどの影響を調べるため表 1 の A, B 2 組のブローチを設計した。A, B は連続した切れ刃を構成しており、A, B の 2 段階切削で製品を実現できる。対象製品は、通常ブローチでは実現の困難な楕円、正弦曲線を含む図 3 の形状とし、切削方式は各段で均等な切り込みになるようにした。

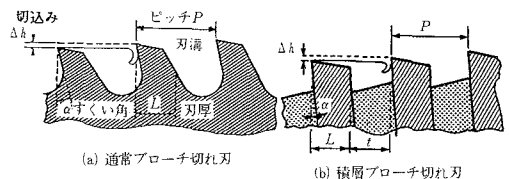


図 1 通常のブローチと積層ブローチ

研 究 速 報

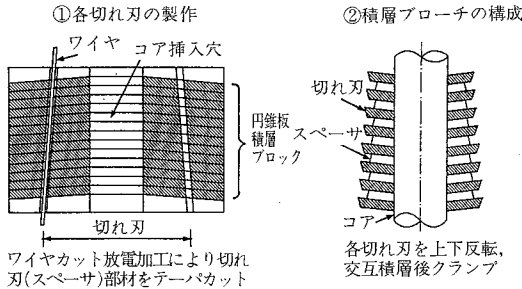


図 2 積層ブローチの製作手順

3.2 積層ブローチの製作

円錐板はプレス成形したのち焼き入れた工具鋼板 (SKH51) を用いている。本実験では、製作上の配慮からスペーサについても切れ刃と同じ素材を使用した。

切れ刃とスペーサのWEDMのためにPCを用いて次の機能を持つプログラムを作成した：(1)製品形状から、2本のブローチの切れ刃とスペーサの最終段の形状を、側面の逃げも含めて生成する。(2)ワーク内径に沿う1段目の形状と最終段の形状をもとに、円錐板積層ブロックをテーパー切断して切れ刃を製作するためのワイヤの移動径路を生成する。(3)ワイヤ移動径路をWEDM用NCプログラミング言語MEDI-APTによる加工制御プログラムに変換する。

切れ刃製作には三菱電機㈱のWEDM機DWC-90HSを用い、MEDI-APTシステムにより生成されたNCテープで制御した。得られた切れ刃とスペーサを交互積層し

表 1 試作積層ブローチの諸元

ブローチ	A	B	ブローチ	A	B
すくい角	10	10	1刃当り切込 $\mu\text{m}$	max 35	max 30
切れ刃厚Lmm	3	3	逃面あらかさ $R_{\text{max}}(\mu\text{m})$	6	18
ピッチPmm	5	5	全長mm	100	100
刃みぞ深さmm	1.81	1.55	段数	20	20
最大逃げ角	$0.66^\circ$	$0.57^\circ$			

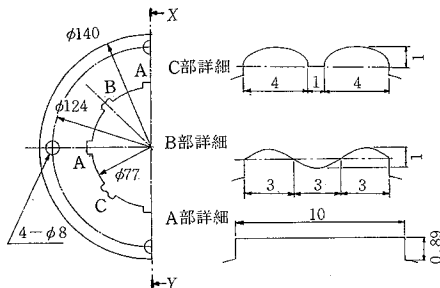


図 3 積層寸法形状

コア材にクランプして構成した積層ブローチを図4に示す。

切削実験は、図5に概略を示す積層ブローチ切削実験装置を30t油圧プレスに取り付けて行った。切削実験装置は、積層ブローチとワーク支持台をダイセットに組み込み、ラムの下降により切削を行う構造とした。ワーク支持台に歪ゲージ式荷重計を、上型にラム下降量測定用の変位計を設け、切削油供給装置も別に備えた。

3.3 円錐板積層ブローチの製作時間と費用

試作ブローチの製作には、2本1組で約60時間かかった。ただし、素材の円錐板と軸部材、押え金などの製作時間は標準部品として供給されると考えられるので含めていない。スペーサと切れ刃が同じ材質、製作工程であるため製作時間が必要以上に長くなった。この場合にも通常のブローチが必要とする2、3カ月の納期に比べ4、5日と非常に短納期が実現されている。現時点では通常の小物ブローチでは若干高価であるが、円錐板の標準化と製法法の改良、およびスペーサ材質の変更によりコストダウンが期待できる。

4. 試作円錐板積層ブローチの切削特性

4.1 ブローチ加工実験

黄銅(以下Brと略記)、鋳鉄FC15(FCと略記)および軟鋼S45C(Stと略記)の3種類のワークに対して表2に示すような切削実験を行った。図6にStの場合を示すように曲面を含め所要形状がほぼ実現された。

切り屑は、Br、Stではカール状、FCでは針状であった。カール状切り屑が生成される場合、曲線形状のB部、C部では切り屑が分断される現象が見られた。これは中央部で切込みが小さく、凸部で両側から切り屑が巻き込んでくるためである。

図7に切削抵抗を示す。ワーク板厚と切れ刃のピッチとの関係で同時切削刃数は1枚と2枚が交互に出現し、

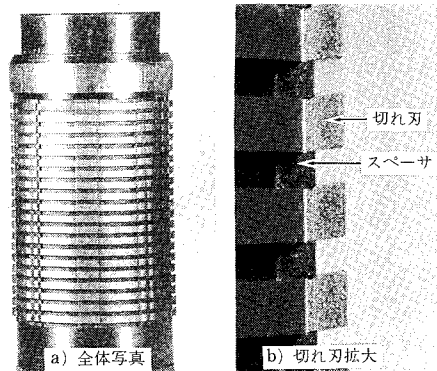


図 4 試作積層ブローチの外観

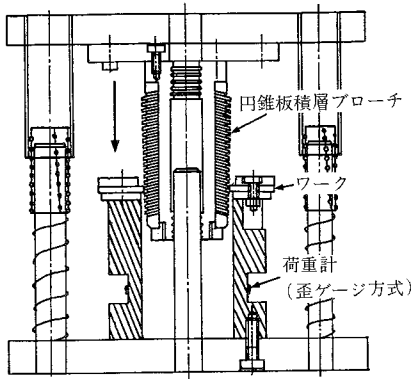


図 5 積層ブローチ切削実験装置

そのため切削抵抗には図に示すような切削の進行にともなうブローチ加工特有の波状の変化が生じる。

ブローチBでは切削抵抗が漸増するのは、切れ刃が非円形から始まっているにもかかわらず円形のワークから切削を開始するため有効な刃幅が変化するからである。

本試作積層ブローチでは逃げ角が小さいため逃げ面の摩擦が切削抵抗に影響を与えやすいと考えられる。切削後のブローチの観察でも逃げ面に被削材の付着が見られた。また、付着領域が各切れ刃で一定でない現象も観察され、摩擦力の変動が切削抵抗の各波形の値の変動の原因と考えられる。こうした変動の一因として、切れ刃ごとの組付け精度の変動による切込みや逃げ角の微小変化も推測される。

Br, FC, Stの順に切削抵抗値は大きくなる。Brの切削抵抗の最大値9.1kNは理論に基づく概算値8kNよりやや大きめであり、FCの最大値9.6kN, Stの最大値13.6kN

表 2 ブローチ切削実験

略 号	Br:A	Br:B	FC:A	FC:B	FC:A+B	St:A	St:B
ワーク材質	Br	Br	FC	FC	FC	S45C	S45C
板 厚	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm
使用ブローチ	A	B	A	B	A+B	A	B
切 削 油	なし		水溶性 (三菱W101C)				
○ 切削速度3.14m/min		○ プレス押下げ加工					

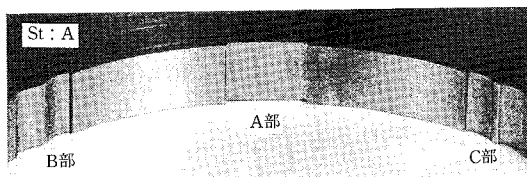


図 6 切削ワークの外観

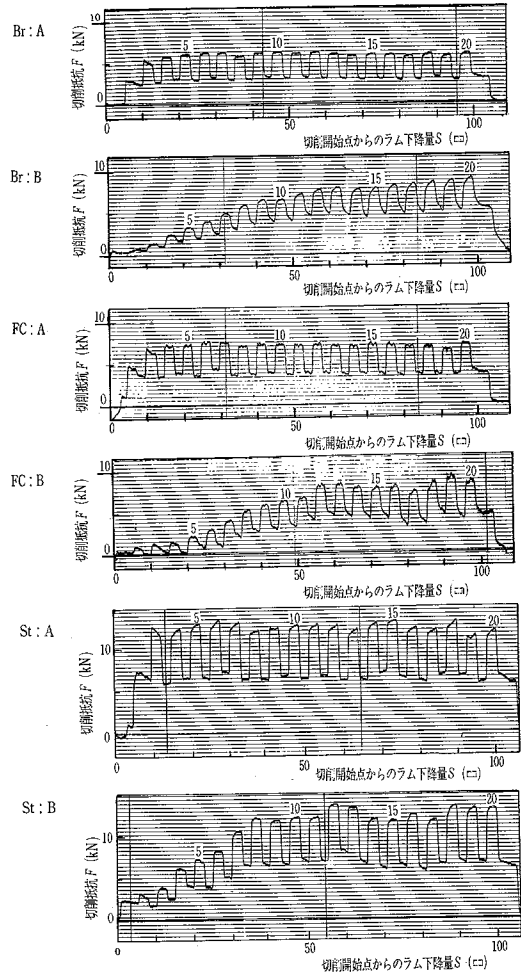


図 7 切削抵抗曲線

は乾式切削の理論値13kN, 18kNの70%程度であった。

#### 4.2 ワークの被削面性状

ワーク被削面の形状を計測した結果を図8に示す。ワーク入口側のだれはほとんど観察されなかったが、抜け側にはBr, Stではかえりが、FCでは欠けが観察された。平板積層ブローチの場合<sup>2)</sup>に比べてだれ、かえり、欠けともに小さく、切削抵抗の小ささとともにすくい角の有効性を示している。

ワーク被削面のあらさを図9に示す。R<sub>max</sub>はBr, St, FCの順に大きくなる。また同じ材質ではブローチ切れ刃の逃げ面あらさの影響が見られ、WEDM時のセカンドカットの重要性を示している。

ワーク切削部分の外観を図10に示す。図10(e)は、ブローチAに続けてブローチBを用いて2段階切削を試みた場合の例である。2段階切削では、位置決めが困難が

研 究 速 報  
あるもののそのほかには大きな問題がないことが確認された。

5. 積層ブローチの可能性

積層ブローチの特徴は、組立て構造である点と、製作方法がWEDMによる単一の工程となる点、である。これらの特徴により積層ブローチは通常ブローチにない次のような可能性を持っている。

- ・従来にない短い納期で製作できる。
- ・破損・摩耗した切れ刃のみ交換できる。
- ・再研磨を考慮した余分の刃厚が不要になるため、ブローチ工具長が短くてすむ。また、ブローチ工具長の短縮にともないブローチ盤も小型化される。
- ・工具の製作工程がWEDMのみであるためCAD/CAMシステムの構築が容易である。
- ・納期の短縮、工具製作の容易性により多品種少量生産への対応が可能になる。

6. ま と め

ワイヤ放電加工により円錐板をテーパ切断して切れ刃を作り、すくい角を持つ積層ブローチを製作した。本ブ

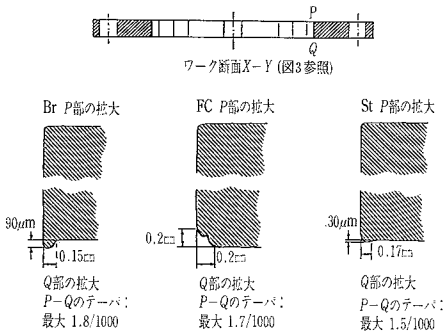


図 8 ワーク形状精度

	ブローチA	ブローチB
切れ刃逃げ面	$R_{max} : 6\mu m$	$R_{max} : 18\mu m$
Brワーク切前面	$R_{max} : 4-5\mu m$	$R_{max} : 6-10\mu m$
FCワーク切前面	$R_{max} : 8-10\mu m$	$R_{max} : 12-14\mu m$
Stワーク切前面	$R_{max} : 8-10\mu m$	$R_{max} : 8-14\mu m$

図 9 被削面あらさの比較 (A部)

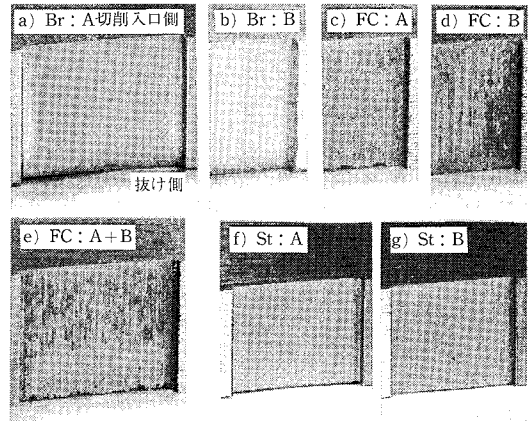


図10 被削面外観の比較

ローチを用いて軟鋼、黄銅、鋳鉄の切削実験を行った結果、以下の成果が得られた。

(1)欠陥の少ない切削形状、 $R_{max}10\mu m$ 程度の被削面あらしを含め、円錐板積層ブローチの良好な切削特性が確認された。特に平板積層ブローチでは不可能であった軟鋼の加工に成功した。

(2)過小な逃げ角や組付け精度の不揃いなどが切削特性に影響を及ぼす可能性が指摘された。高精度の製品の生産をめざすならば、より詳細な解析と適切な対策の検討が必要であろう。

本法により軟鋼の加工が可能になったことは、積層ブローチの実用化への展望を大きく開くものである。今後は積層ブローチのより詳細な特性解析に加え、ブローチのためのCAD/CAMシステムの構築、長尺の積層ブローチの開発、非対称製品の切削への対応、などの研究を進めていきたい。

謝辞：本研究は昭和61年度本所選定研究費ならびに永井科学技術財団助成金によって行われた。積層ブローチの製作では(株)不二越と三菱電機(株)東京加工技術センターに、また実験に際しては竹田和彦君、東和精機(株)に御協力頂いた。ここに記して深甚の謝意を表します。

(1987年3月27日受理)

参 考 文 献

- 1) 横井, 鈴木, 鈴木, 中川: 昭和60年精機学会春, (1985), 147
- 2) 横井, 三角, 平松: 昭和61年度精密工学会春, (1986), 979
- 3) 林原, 谷口: 不二越技報, (1975), 29
- 4) 精機学会: 精密工作便覧, (1981), 344
- 5) 平岡, メンデス, 横井, 竹田: 昭和62年度精密工学会春, (1987)