

人造黒鉛電極加工システムへの取組み

Artificial Graphite Electrode Machining System

キーワード

人造黒鉛電極, ポール, ニップル, 機械加工, システム, テーパーねじ

機械工具事業部

工作機製造所技術部

金川 高

長谷川司良

工具技術部

天池 一志

■ 摘要

当社は製鋼用電気炉に使用される人造黒鉛電極の製造工程における機械加工工程において、機械と工具の当社シーズ技術に最近の新しい技術を加え、高い生産性と安定した品質を維持できる素材から完成品までのターンキーシステムを構築してきた。

本稿では、これらのシステムの概要、特徴について紹介する。

■ Abstract

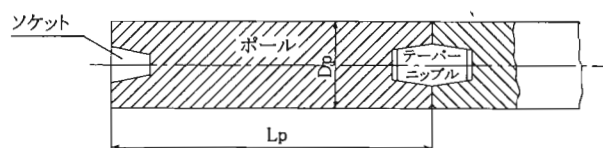
In machining process by the manufacturing of the artificial graphite electrode used for electric furnace for steel making, we added recent new technology to seeds technology of machine department and tool department in our company, and as the result, we constructed the turnkey system which could maintain both the high productivity and the stabilized quality from the material to finished product.

1. はじめに

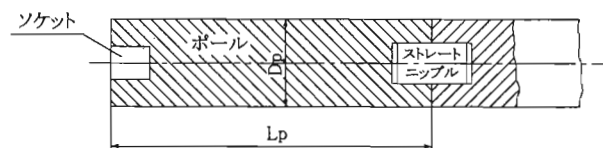
電気製鋼を主体とする電熱化学工業に使用される人造黒鉛電極は丸形電極（一般的に電極）と呼ばれ製鋼用電気炉（アーク式電気炉）に用いられる。通常、電極本体をつなぎあわせるためのニップルを併せて電極と呼ぶが、特定する場合は電極本体をポールと呼ぶ。

電極形状は図1に示すようにテーパねじ系とストレートねじ系の2種がJISR7201-1997に規定されており、仕上げは機械加工で行うことが記載されている。また電極の特性として固有抵抗、曲げ強さ、ヤング率などの数値も規定されている。

最近のアーク式電気炉製鋼技術の進歩に伴い、電気の使用量の低減による経済性と操業効率の改善を目的に炉の大型化と大容量変圧器を使った大電力投入方式が主流となり太い電極が使われるようになってきた。



テーパねじ系丸形電極の形状



ストレートねじ系丸形電極の形状

図1

てきた。そのため電極は従来の呼び径に大型呼び径が加わり、種類の増加により生産形態は多種少量形または変種変量形対応が必要となってきた。さらに電極自体が大型化と重量物化してきたため、作業効

率向上，安全性の面から電極生産工場は自動化設備の導入要望が強い。

当社は古くからこの人造黒鉛電極の，特にテーパねじ系の機械加工において，素材から完成品に至るまで機械・工具，計測および搬送装置を含めた多くの加工システムを製作してきた。それらの実績をベースとした当社のシーズ技術と最近の新しい技術の融合を図り，前述の電極加工に対するニーズに対応してきた。

本稿ではポールおよびニップルを加工ラインとしてシステムアップした例を紹介する。

2. 対象物の概要

図2と表1に対象物の概要を示す。JIS R 7201-1997にはポールについて呼び径 75～600，呼び長さとして 1000～2400 が規定されている。最近の炉の大型化と大容量対応の直流炉の傾向から，JIS にないが呼び径 650,700 の大形ものが出てきている。ポールには両端にソケットと呼ばれるめねじ部が設けられ対応するニップルによりポールの接続を行う。ねじ諸元はテーパねじの場合テーパ度 1/3，山角 60°，山数は 1 インチ当たり 3 山と 4 山があり 3 山はピッチ

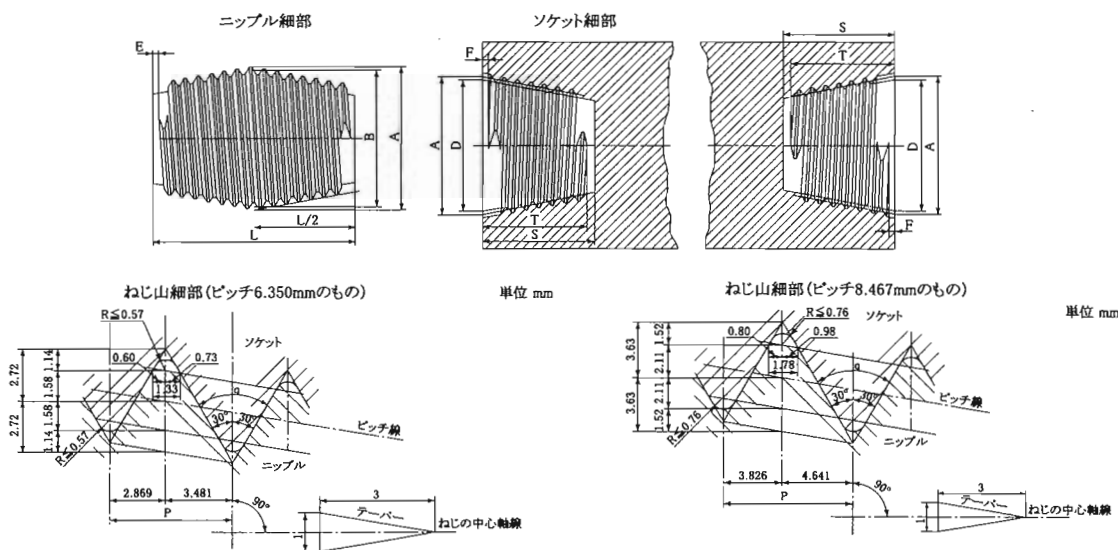


図2 人造黒鉛電極の細部

表1 テーパねじの緒元

単位 mm

種類	呼び径 D	ニップル		ソケット		有効径 B	ピッチ P	ねじ山の角度 θ	ねじ山の数 n
		最大径 A	長さ L	□径 D	深さ S				
3T	75	46.04	76.20	39.72	41.10	42.88	6.350	60°	4
4T	100	69.85	101.60	63.53	53.80	66.69	6.350	60°	4
51/8T	130	79.38	127.00	73.06	66.50	76.22	6.350	60°	4
6T	150	92.08	139.70	85.76	72.85	88.92	6.350	60°	4
7T	175	107.95	165.10	101.63	85.55	104.79	6.350	60°	4
8T	200	122.24	177.80	115.92	91.90	119.08	6.350	60°	4
9T1	225	139.70	203.20	133.33	104.60	136.54	6.350	60°	4
9T2	225	139.70	203.20	131.27	104.60	135.49	8.467	60°	3
10T	250	155.58	220.10	147.14	113.05	151.36	8.467	60°	3
12T	300	177.17	270.90	168.73	138.45	172.95	8.467	60°	3
14T	350	215.90	304.80	207.47	155.40	211.69	8.467	60°	3
16T	400	241.30	338.60	232.87	172.30	237.09	8.467	60°	3
18T1	450	273.05	355.60	264.62	180.80	268.84	8.467	60°	3
18T2	450	241.30	338.60	232.87	172.30	237.09	8.467	60°	3
20T1	500	298.45	372.50	290.02	189.25	294.24	8.467	60°	3
20T2	500	273.05	355.60	264.62	180.80	268.84	8.467	60°	3
22T1	550	298.45	372.50	290.02	189.25	294.24	8.467	60°	3
22T2	550	273.05	355.60	264.62	180.80	268.84	8.467	60°	3
24T1	600	317.50	355.60	311.18	180.80	314.34	6.350	60°	4
24T2	600	298.45	372.50	290.02	189.25	294.24	8.467	60°	3

8.467mm,4山はピッチ6.35mmである。ポールおよびニップルの素材は焼成、黒鉛化された棒状の形状をしており外周をはじめすべて黒皮である。

3. ポール加工システムの概要

3.1 システム構成

ポールに必要な機械加工は外形加工、両端接合面加工およびソケット部の加工であり素材投入から機械加工完了まで自動ラインとしてのシステム構築が可能である。システムの構成は必要生産量すなわちマシンサイクルタイムにより設備費用、設置フロアスペースなどを考慮して①マシンサイクルタイムが比較的長い場合②短い場合の2種に大別される。サ

イクルタイムが比較的長い場合は同一ステーションで複数以上の工程集約が可能であり、設備費用および設置フロアスペースは小さくできるが、逆に短い場合は各工程毎のステーションが必要である。

本項ではこれら2種のシステムについてその概要を紹介する。

① 工程集約型システム

図3にシステム構成例と加工工程を、図4にその設備外観を示す。以下に各ステーションの概略を述べる。

(a) 1ステーション 巾決め装置

搬入された素材の長さ方向の左右振り分けを出す装置で、同時に素材の全長を測定し次工程加工のためのデータを取る。図5に1ステーション

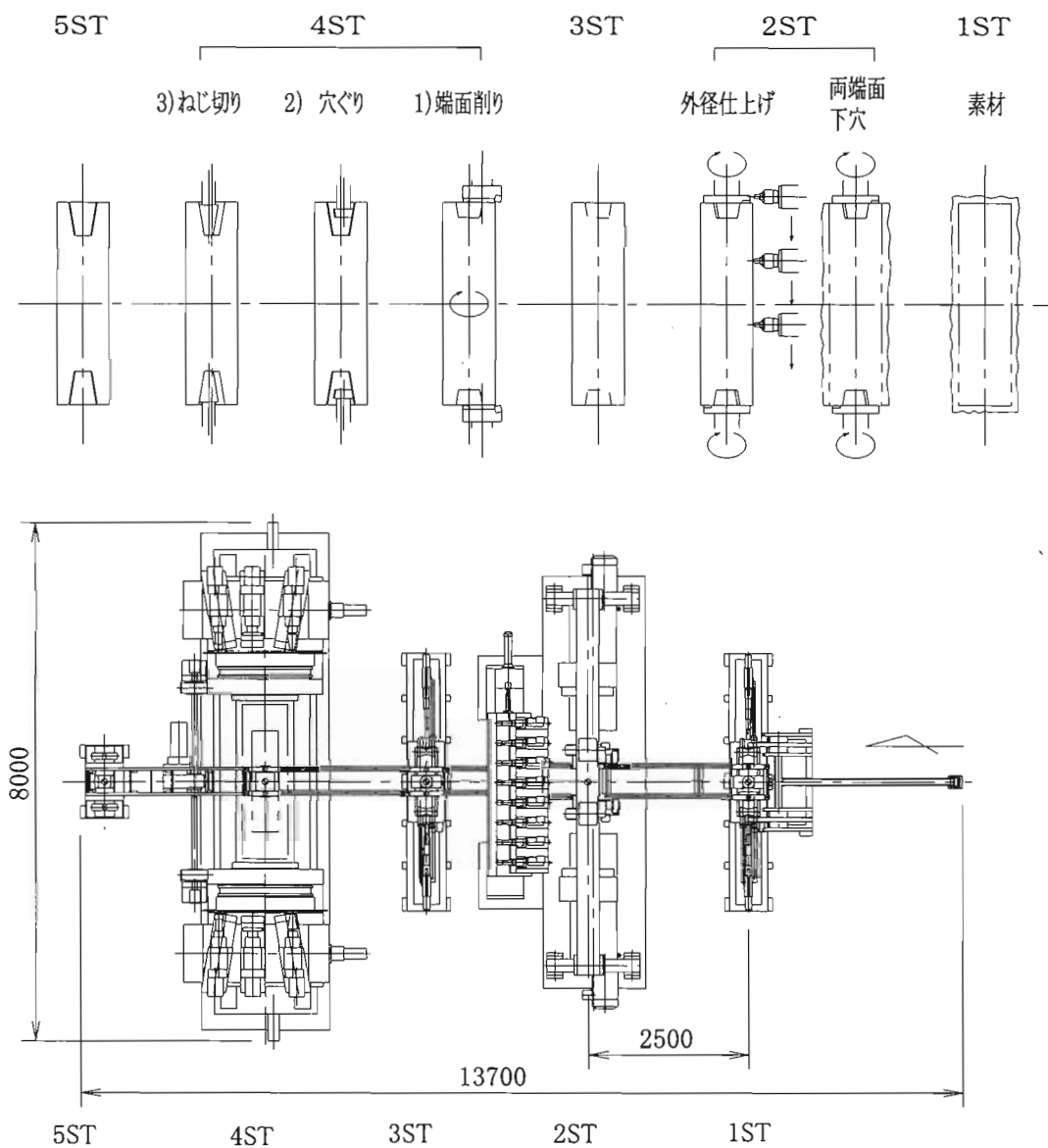


図3 工程集約形システム

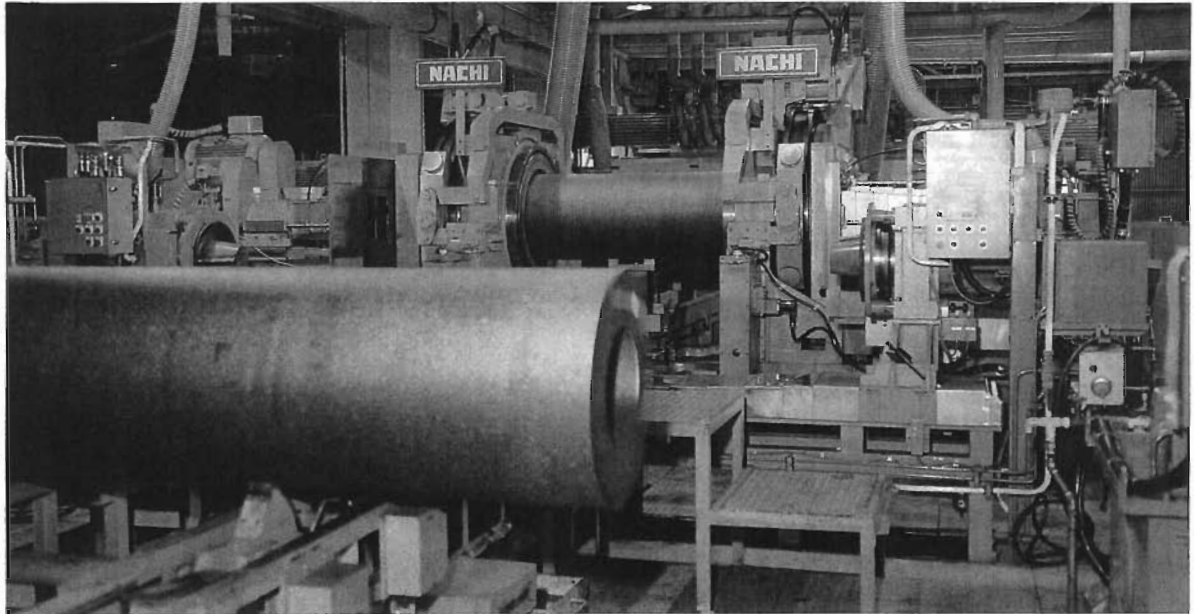


図4 ポール加工システムの外観

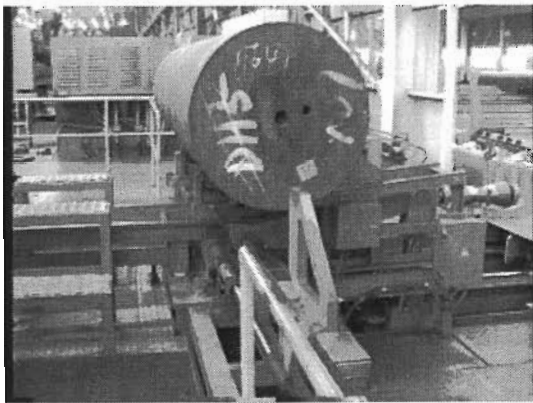


図5 1ステーション巾決め装置

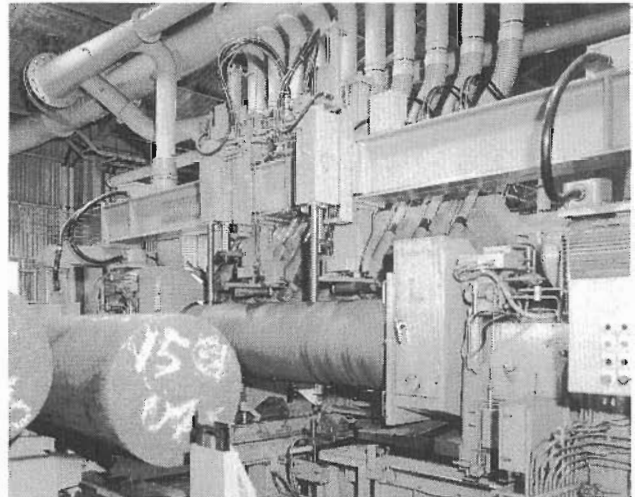


図6 ステーション外観

ヨンの外観を示す。

- (b) 2ステーション 両端面ソケット部粗削りおよび外周削り

1ステーションより搬送された素材を1工程目は素材を固定保持した状態で両端面粗削りとソケット穴部粗削りを(センタリング)を行った後2工程目はその刀具を利用してワークを回転させ外周削り用刀具で外周を仕上げる。図6に2ステーションの外観を示す。

- (c) 3ステーション 巾決め装置

(a)項の巾決め装置と同様の目的である。

- (d) 4ステーション 両端仕上げ削り, ソケット部下穴削りおよびねじ切り

2ステーションで外周仕上げ削り, 両端粗削りとソケット穴部粗削り加工が施された状態のワークは本ステーションで端面仕上げ削り, ソ

ケット穴部ねじ加工下穴削り, およびねじ切りを行う。

ワークはチャッキング装置でチャックし, ワークを回転させ前述の加工をワンチャッキングで行う。

図7は4ステーションのチャッキング装置の外観である。

- (e) 5ステーション 搬出装置

本ステーションは加工完了したワークの次工程への送り込み待機位置であり, 例えばベルトコンベアにより別場所への搬送, 本ステーション以後に設けられたワークプールでの蓄積などがある。

② 工程分割形システム

図8にそのシステム構成例を示す。

サイクルタイムが長い場合は、それぞれの加工ステーションでサイクルタイム内での複数工程の加工が可能であるが、サイクルタイムが短くなると1工程しかできない場合がある。本システムは①項の集約形に対して加工ステーションが1ステーション増になる。

(a) 1, 4ステーション

①項(a)(c)と同じである。

(b) 2ステーション 両端面仕上げ削りおよびソケット穴部粗削り

基本的に①項の2ステーションと同じである

が端面は仕上げ加工を行い後工程では加工しない。ソケット穴部は次工程外周削り用のセンターリングのための粗加工である。図9に2ステーションの外観を示す。

(c) 3ステーション 外周仕上げ削り

2ステーションで加工されたソケット部両端の穴にセンターを入れドライブさせて外周仕上げ削りを行う。

(d) 5ステーション ソケット部下穴削りおよびねじ切り

①項における4ステーションの工程のうち両端仕上げ工程は2ステーションで加工済みであ

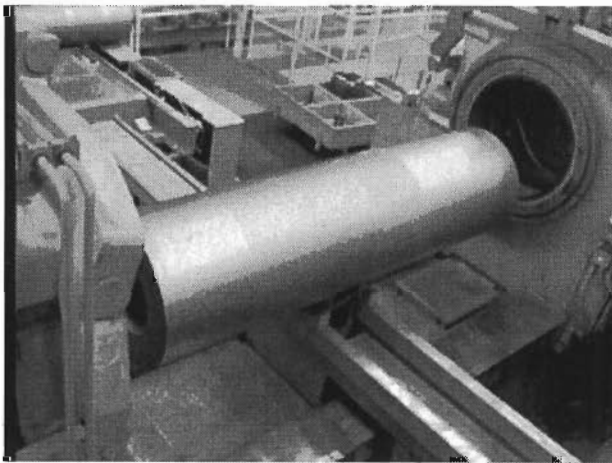


図7 4ステーションチャッキング装置

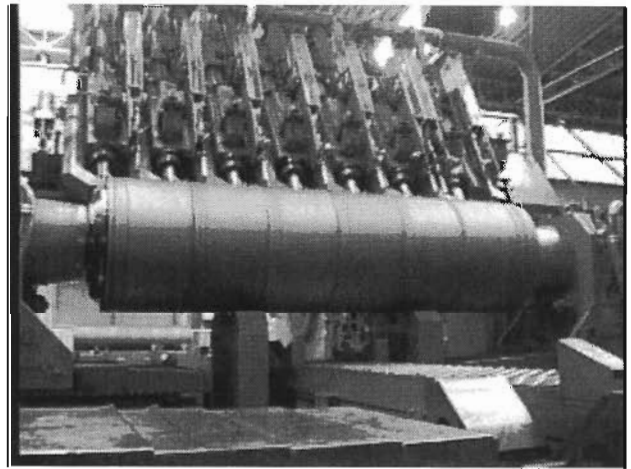


図9 3ステーション外周仕上げ削り

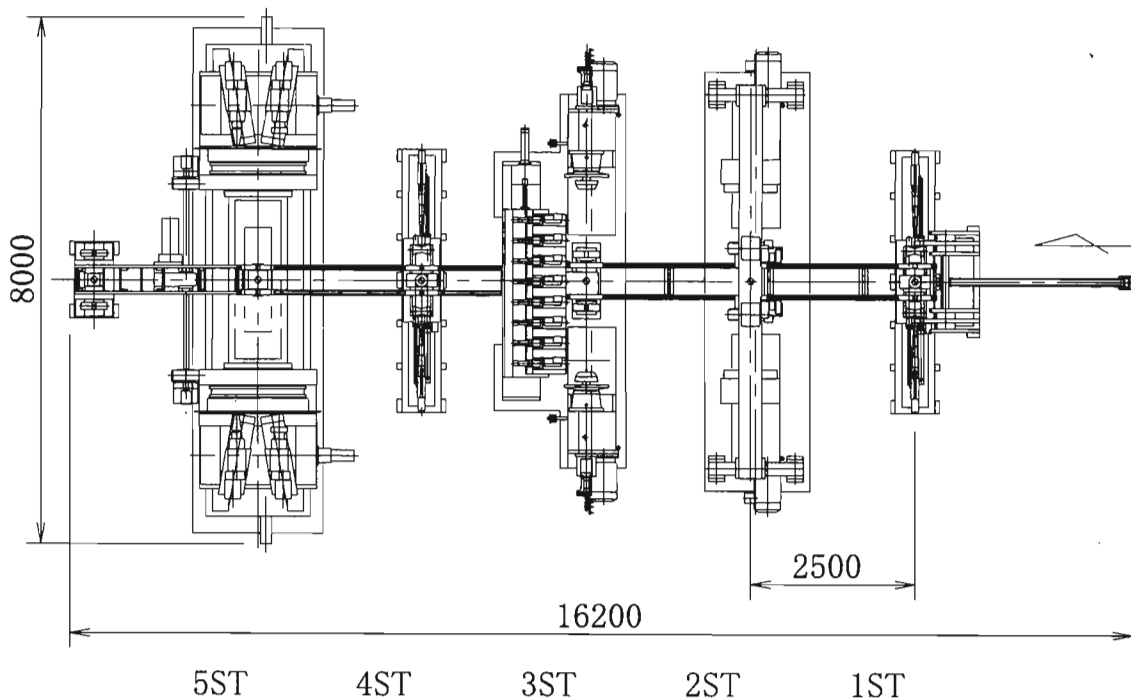


図8 工程分割形システム

り、本ステーションは下穴削り、ねじ切りを行う。

3.2 システムの特徴

工程分割形は大量生産に適しており、工程集約形は工程分割形に比べて生産量は落ちるが設備費、設置スペースは少なくすむ。稼働率向上、品質維持、歩留り向上は本設備に課せられた命題であり当社システムはこれらのニーズを充分反映しているものと確信している。

また表1に示すごとく多くの呼び径があり、また同一呼び径においてもねじの諸元が異なる場合がある。例えば呼び径600において24T1と24T2の2種類のねじがあり加工の切り替え時においては、なんらかの段取り替えが必要となってくる。以下に本システムの特長と盛り込んだ技術について述べる。

(1) 素材外径ばらつきの影響緩和について

投入される素材の直径ばらつきがあることや、真円度、円筒度の保証値が甘いことは素材の製造工法からみてある程度はやむをえないものであるため、JISには外径加工時の黒皮部残りの許容範囲が規定されている。しかしながら商品価値からみて最小限にする必要があり、そのため当社は素材の直径ばらつきの影響を最小限に抑制するため素材の求心装置 (PAT) を考案した。図10にその概

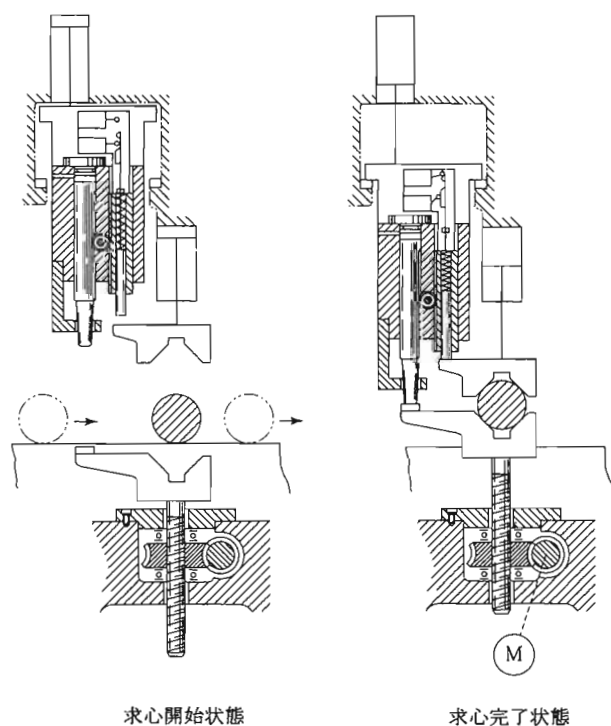


図10 求心装置

略機構を示す。

丸物をクランプする場合、固定Vヤゲンにワークを置く方式が一般的であるが直径にばらつきがあるとワークの中心位置が真の位置に対して直径が大きいと中心位置は上部へ、小さいときは下部にずれる。

これに対して当社の求心装置の原理はVヤゲンを上下に配置したパイス方式であるが、上下のVヤゲンは切り離されており、ワークで上下のVヤゲンの動きをさせるようにしたものである。これにより素材直径にばらつきがあってもワークの中心位置は常に一定の位置にくる。効果として外周削りにおいてワーク中心に対して限りなく削り代の均一化が可能になり、結果として外径の黒皮部残りの最小限化が図れ、削り代のミニマム化による歩留り向上につながる。

(2) 長さに対する柔軟性について

長さに対して JIS では呼び長さとして許容範囲が決められており素材もその長さに対応して製造されるが、不幸にして本システム投入以前に欠け、折れなどが発生した場合は短尺品と呼ばれる特殊品として加工される。JISにはある割合で短尺品の出荷が許可される規定がある。

そのため当社システムは前述の1ステーション巾決め装置で素材全長を測定して、呼び長さの製品とするか、必要最小限の削り代で加工するか、また任意の長さで加工するかを選択モードを付属している。

(3) 外径に対するねじ軸の同軸度向上について

ポールの外径とねじ軸の同軸度精度が良くない製品を電気炉に使用した際にポールとポールの継ぎ目でニップルを介して心ずれが生じ電極をクランプ時に片当たりによるクランプ不良、最悪の場合は折損することがある。そのためポール外径に対するねじ軸の同軸度はシビアな精度が要求される。当社のねじ切り工程におけるチャッキング方法は図11に示すように外径の両端近くの2個所を別々のアクチュエータにより三つ爪チャックで

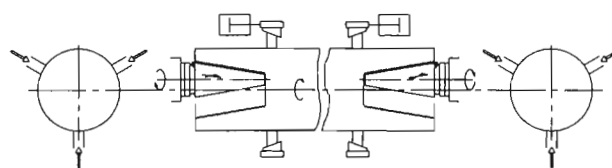


図11 3ステーション外周仕上げ削り

掴みワークを回転させる方式で2個所のチャックの爪は常に同位置になるよう位相的に同期を取っている。これによりポールの外径部の径ばらつき、テーパ度、真円度の影響を最小限に抑えることができる。

4. ニップル加工システムの概要

4.1 システム構成

ポール加工の場合は投入された素材一個に対して完成品一個であるが、ニップルは長い素材を所定の長さに切断し素材一個につき数個の完成品が出来る。ニップルに必要な機械加工は前述の素材の切断、両端面仕上加工、外形樽形形状加工、ねじ切り加工であり、必要に応じねじ面の溝入れ、ピッチ剤用穴加工

工およびニップルの固有抵抗、伝播速度、固有振動数測定をライン内に入れることも可能である。

図12に溝入れ、ピッチ剤用穴明け加工、各測定を含んだシステム構成と加工工程概略を示す。また図13は加工されたニップルの写真である。以下にそれぞれのステーションの概略について述べる。

(a) 1ステーション 素材投入口

素材投入場所であり、バッチ処理の場合は必要数の素材のワークプールを設ける。

(b) 2ステーション 切断

1ステーションから搬入された素材を切断するステーションで、バンドソーを使った鋸盤を用いての切断である。素材ロットによる材料特性の調査用の薄いハム状のサンプル取りが必要なときはそのための制御、サンプルの取り出し装置が付属

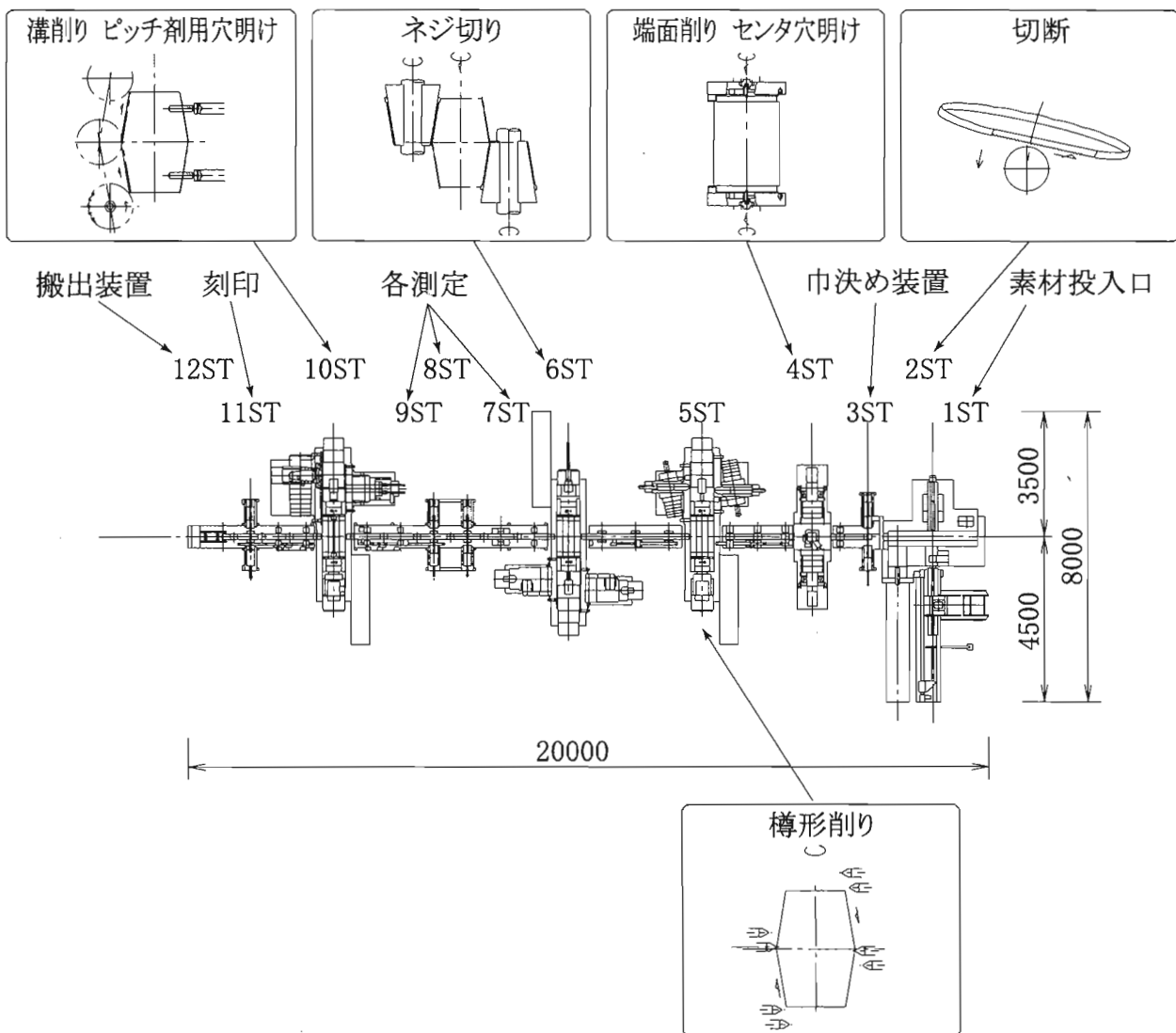


図12 ニップル加工システム

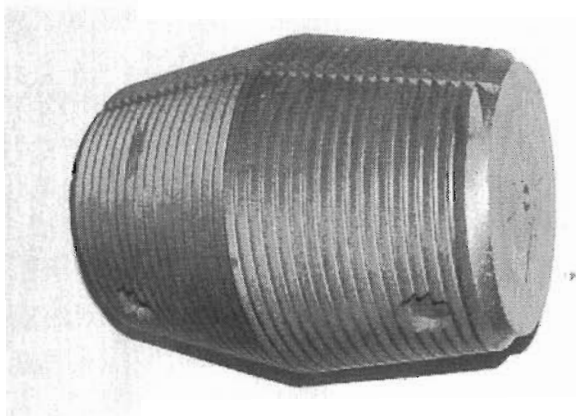


図 13 ニップル外観

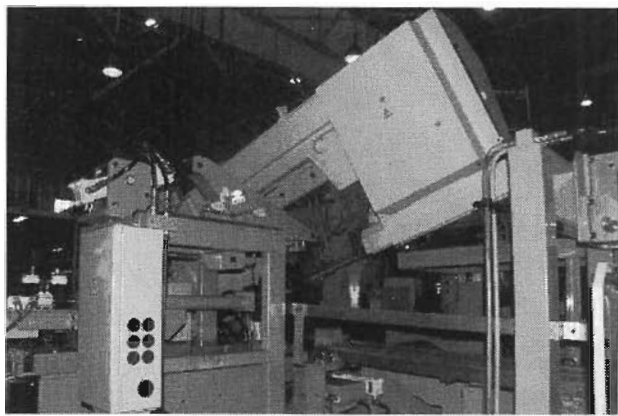


図 14 2ステーション外観

する。図 14 に 2ステーションの外観を示す。

(c) 3ステーション 巾決め装置

2ステーションで切断されたワークの長手方向の振り分けを出す装置である。

(d) 4ステーション 両端面削り，センタ穴明け

2ステーションでのバンドソーによる切断時，多少の斜断は避けられないことと切断面の美観から本ステーションで仕上げの削りを行うと共にセンタ穴の加工を行う。

(e) 5ステーション 樽形削り

円筒形ワークの両端面のセンタ穴によるセンターリング，端面に食込ませたケレーでワークを回転させ，テーパ度に合わせて配置されたフィードユニット上に搭載されたバイトで樽形（ソロバン玉形状）に加工する。

(f) 6ステーション ねじ切り

本ステーションがニップル加工システムでの最も重要な工程である。5ステーションで樽形に加工されたワークを5ステーション同様にチャッキングし1回転1ピッチ送りによりマルチカッタと呼ばれる総形カッタでねじ切りを行う。図 15 に 6ステーションの外観を示す。

(g) 7, 8, 9ステーション 各測定

7ステーションはねじ切りを完了した状態でのワーク重量測定，8ステーションはワークの固有抵抗測定，9ステーションは超音波による伝播速度測定を行い，ヤング率算出のデータとする。図 16 に 7, 8, 9ステーションの外観を示す。

(h) 10ステーション 溝削り，ピッチ剤用穴明け

本ステーションでの加工は JIS に規定されていないが通常多くのワークは加工される。図 13 の写真の示すようにねじ面に沿ってキー溝的な溝入れとポールとニップルの隙間を埋めるピッチ剤注入

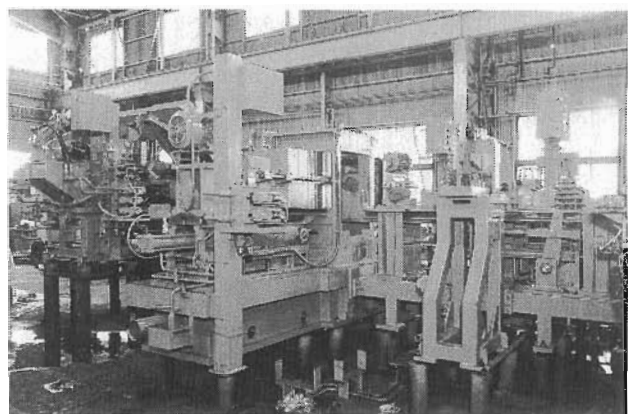


図 15 6ステーション外観

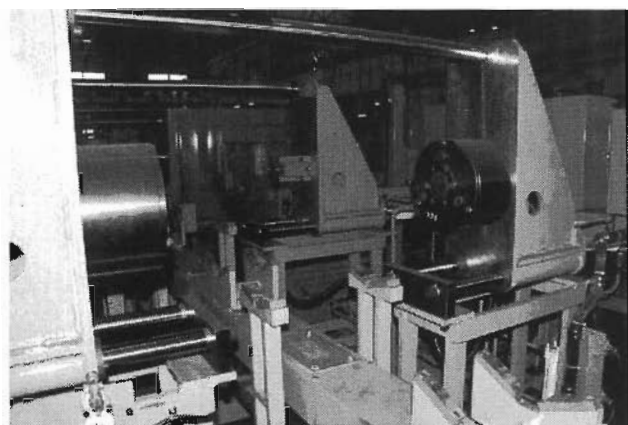


図 16 超音波測定と比抵抗測定ステーション

用の穴明けを行う。

(i) 11ステーション 刻印

生産管理用に各種のデータを刻印する。例えば製造年月日，MFG.No.などがある。

(j) 12ステーション 搬出装置

本ステーションは加工完了したワークの次工程待機位置であり，例えばマテハン装置やロボットなどで搬出する例が多い。

4.2 システムの特徴

図 12 に示したシステム例はニップル加工専用の全自動ラインである。各工程の機械はニップル加工用に特別に設計された専用機で構成しているため次のような特長がある。

(1) 生産性の向上（多品種切替生産性の向上）

オペレータの基本操作は工具交換と加工対象ワークの切り替え時における各装置の段取り替え作業である。ニップルラインはポールのラインに比べ機械加工工程は多い。そのため対象ワークの切り替え時における段取り替え作業を極力縮減するため、工具の各種類を兼用できる共通化設計、工具交換時間を短縮するための取付け方法の工夫、およびワーク毎に段取り替えする必要のある取付け具の段取り容易化と調整作業のミニマム化を図り、稼働率の向上に寄与している。

(2) 高精度化（ねじ精度向上について）

JIS にはニップルテーパねじ精度の測定方法として角度測定方法と有効径測定方法が記載されているが、具体的な精度の規定は特にない。しかし電気炉に用いられる目的よりポールとニップルは精度良く嵌合する必要があり、その精度は各電極メーカーで規定されている。

ニップルのねじ加工ステーションは概略ワーク回転装置付きワークテーブル、左右のカッタヘッドの三個のユニットにより構成されるが、それぞれのユニット単独の機械精度と相対するユニット間の機械精度がねじ精度に大きく効いてくる。

そのため当社は次の点に重点を置き設計、製作、試運転を実施している。

- ① それぞれのスライドテーブル運動線の真直度
- ② ワークテーブルに対するカッタヘッドの直角度
- ③ ワーク軸とカッタヘッドの平行度
- ④ ワークテーブルの一回転とねじピッチ移動量のリニア性
- ⑤ カッタヘッドの熱変位抑制

以上により、安定したねじ精度が維持できる。

5. ツーリング技術

ポールおよびニップルのシステム内の機械加工に用いる刃具はほとんどが本システム専用のものである。当社には工作機械部門と工具部門の両方の部門があり、高能率加工を目指し両部門連携による最適

刃具の提供が可能である。そのため本システムの工具は当社製のものを使用し、加工精度の維持および工具交換時間、段取り替え時間の短縮に寄与している。次にその一部を紹介する。

5.1 ポール用ツーリング

① 両端ソケット部粗削り用カッタ

図 17 にその概略を図 18 に外観を示す。カッタボディに端面削り用およびテーパ穴部削りと穴底部を削る各 2 枚計 4 枚の超硬ブレードカッタが取り付けられたカッタである。カッタ全体ではかなりの重量になるため、工具交換に際して全体交換を極力最小限にする工夫を施した。超硬ブレードホルダーとその取り付け面の間にスペーサーを入れスペーサーの交換により、呼び径 450~600 のサイズにおいて 3 個のカッタボディで 8 種の穴径と 9 種の穴底深さに対応可能である。

② ソケット部下穴削り用カッタ

図 19 にその概略を図 20 に外観を示す。テーパ

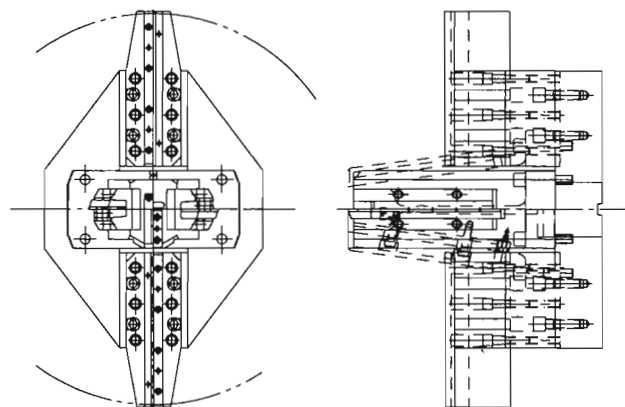


図 17 両端ソケット部粗削り用カッタ概略

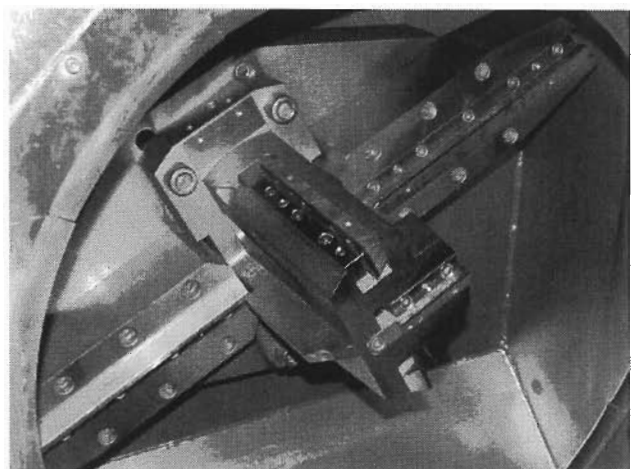


図 18 両端粗削り用カッタ外観

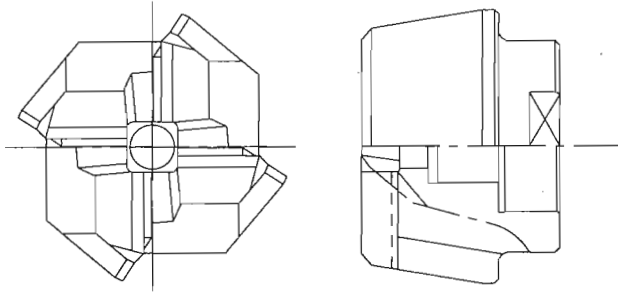


図 19 ソケット部下穴削り用カッタ概略

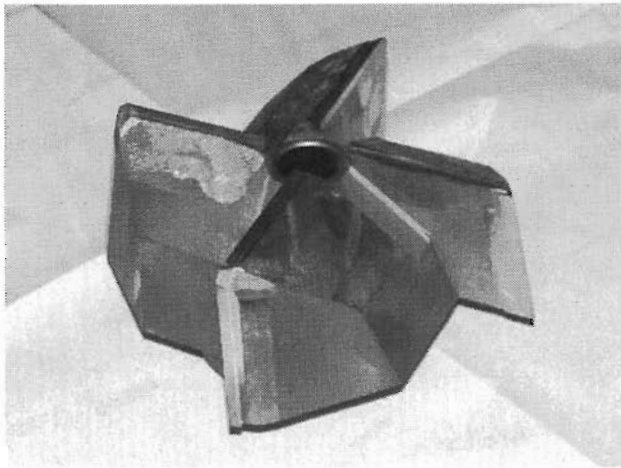


図 20 ソケット部下穴削り用カッタ外観

穴の側面削り用の超硬ブレードと穴底面削り用超硬ブレードを貼り付けた総形カッタである。側面削り用ブレードはテーパ度に配置してあるため、ワーク回転中心に対してカッタを内側へシフトすると小さいテーパ穴、外側へシフトすると大きいテーパ穴になる。底面削り用超硬ブレードの外径がソケット部下穴底部の半径より大きくて直径より小さい呼び径の場合機械の NC 制御により同一カッタで加工が可能である。

③ ねじ切り用カッタ

図 21 にその概略を図 22 に外観を示す。従来は、ねじ払い（ねじの切り上がり部を落とす）用のカッタとねじ切り用のカッタが一体物であり、ねじの種類に応じた専用の超硬ブレードが必要であった。この方式は工具交換が単純作業になる利点があるが対象ねじの種類数の超硬ブレードを持つ必要がある。当社の提案は対象ねじにおいて、ねじ長さの最も長いワーク用のねじ切り専用超硬ブレード（ねじ払い用カッタ無し）に可動式ねじ払いカッタを取り付け、加工対象呼び径を変更する場合ねじ払いカッタの位置移動だけで対応できるよう

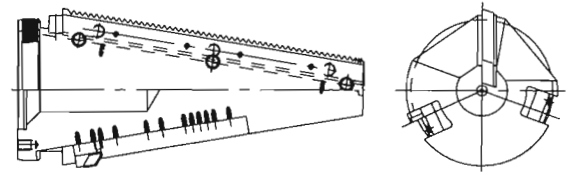


図 21 ねじ切りカッタ概略

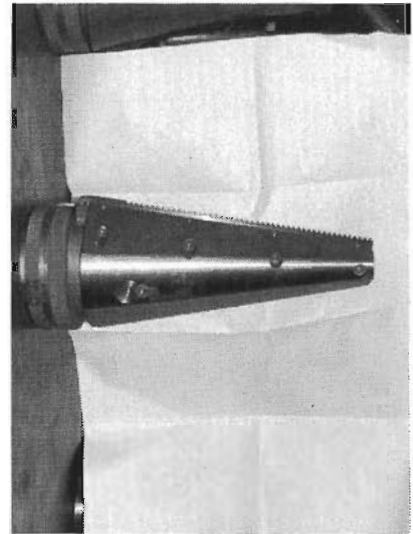


図 22 ねじ切りカッタ外観

なカッタである。これにより工具に関する段取り替え時間の短縮とねじ精度維持が可能となった。

5.2 ニップル用ツーリング

① 端面削り用カッタ

ボール用ツーリングの①項ソケット部粗削り用カッタと基本的には同じであり、ボール用のソケット部のテーパ穴削りカッタを外したものである。

② ねじ切り用カッタ

図 23 にその概略を図 24 にその外観を示す。ボールのねじ切りカッタはめねじ加工のため、カッタ外径サイズは物理的制約を受けるがニップル用ねじ切りカッタはおねじ加工のため、カッタ外径サイズは特に制約されない。ニップル加工でこのねじ切り工程が最も重要工程であることは前述したが、ねじの高精度化のため軸剛性を上げる目的で可能な限りカッタ外径を大きくする設計とした。

これによりデメリットとしてカッタ重量が重くなり工具交換に支障をきたすが、その対策としてねじ切り用超硬ブレード取り付けホルダーを最小限とする構造としてカッタ重量軽減を図り、工具交換作業時の負担を軽くした。

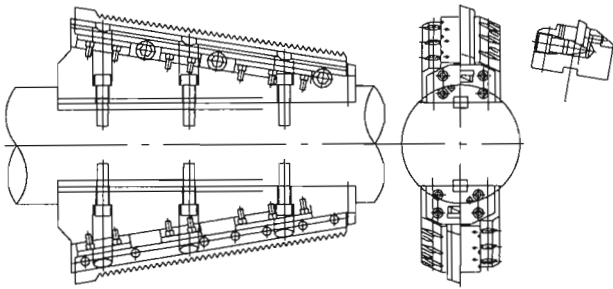


図 23 ねじ切りカッタ概略

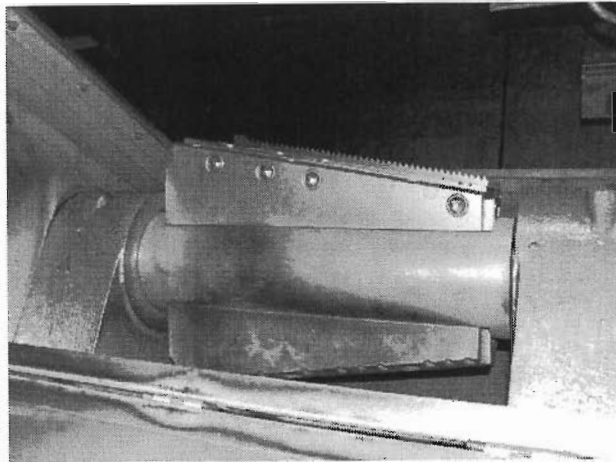


図 24 ねじ切りカッタ外観

6. おわりに

以上、当社が手掛けてきた人造黒鉛電極の加工システムについて紹介した。

人造黒鉛電極は2項の対象物の概要で説明したとおり多くの種類があり、その加工設備は経済性、生産性向上の点から自動化、省人化に対する追求が我々設備メーカーに課せられた課題であると認識している。

そのため当社の機械工具事業部の特長を最大限有効に生かし、最適な機械と工具の創出を図り、ご需要家の要望に応じていく所存である。

また、本文がこの種の設備を検討されているご需要家の検討資料になれば幸いであり、ご意見を伺いたい。

文 献

- (1) 日本規格協会 : JIS ハンドブックセラミックス, p348~354 p1037~1043(1985)
- (2) 高橋政雄 : 人造黒鉛電極のねじ切りにおける省力化, 不二越技報 27(3)p43~49



金川 高

1970年 入社
工作機部門の技術部にて専用
工作機械の開発・設計に従事
現在に至る



長谷川司良

1986年 入社
工作機部門の技術部にて専用
工作機械の開発・設計に従事
現在に至る。



天池一志

1981年 入社
工具機素開発室にてツーリン
グの開発・商品化に従事
1994年より工具技術部にてドリル、エン
ドミル、特殊工具の開発・設
計に従事
現在に至る