最近の非球面金型磨き技術*

井口信明** 進藤健一**

Polishing Technology for Aspheric Mold Insert / Nobuaki IGUCHI and Kenichi SINDO

Key words: polishing, lapping, EEM (Elastic Emission Machining), float polishing, CCP (Computer-Controlled Polishing), aspheric polishing machine, airbag polish

1. はじめに

物を磨く技術は最も古い技術の一つであり、有史以前より現在に至るまで、常に時代の最先端を担う技術、技能の一つとして各時代の要請に応じて発展し、伝承されてきた。現在、工業技術として用いられている磨きは大別すると二つに分けられる。その一つは主として光学あるいはマイクロエレクトロニクス等の分野で行われている鏡面研磨であり、他の一つは金型キャビティ等の磨きである。前者は表面粗さ数 μm R_{max} 以下の高精度な形状面を $0.1 \mu\text{m} R_{\text{max}}$ 以下の高度な鏡面に加工するものであり、後者は $10 \sim 100 \mu\text{m} R_{\text{max}}$ 程度のカタマークのある形状面を $0.5 \sim 0.1 \mu\text{m} R_{\text{max}}$ 程度のなめらかな面に仕上げるものである。本稿では前者の鏡面研磨に関し、既に自動化の手法の確立している平面、球面を除く形状面の研磨を中心に紹介する。

2. 最近の研磨手法

「研磨」あるいは「磨き」という言葉は定義の不明確な言葉で、ラッピングとポリシングの2種類の加工法を意味し、又慣用的には研削の意味に用いられている場合もある。

ラッピングとポリシングはいずれも遊離砥粒と研磨ツールを用いて表面仕上を行う方法であるが、ラッピングは剛性のあるツールを用い、表面粗さの向上を図ると同時にツールの形状をワークに転写することにより形状精度の向上を図る加工法である。ポリシングは

軟質のツールを用い、ワーク面に倣って加工をし、より高度の面粗さを得ることを目的としている(図1)。本稿では形状研磨の仕上行程となるポリシングを中心に話を進めるものとし、「研磨」という言葉は主としてポリシングの意味に用いている。

現在利用されているポリシングの手法としては下記のようなものがある。

2.1 精密ポリシング(メカニカルポリシング)

ポリシング法としては最も古くから一般的に行われている方法であるが、他の手法と区別するため以降これをメカニカルポリシングと呼ぶ。メカニカルポリシングについては次項3で詳しく述べる。

2.2 メカノケミカルポリシング(メカニカル・ケミカルポリシング)

ポリシングのメカニズムはそれぞれ多少異なるが、いずれも砥粒あるいは加工液とワーク素材との間の化学反応を積極的に利用し、加工欠陥の少ない鏡面を得ようとするもので、主として半導体素材の研磨等に用いられている。共に数 $\text{nm} R_{\text{max}}$ 程度の表面粗さが得られる。

2.3 EEM (Elastic Emission Machining)

図2に示すようにツールにポリウレタンボールを用い、ワークに非接触となるようボールを浮上させて回転させることにより懸濁液中の砥粒をワーク表面に擦過させ、原子、分子のオーダーでワークを除去する。表

図1 ラッピング加工とポリシング加工

* 原稿受付 平成元年3月29日

** 黒田精工(株)(川崎市幸区下平間239)

図2 EEM (森)

図3 フロートポリッシング (難波)

面粗さ $5\text{\AA}$ 程度で加工欠陥のほとんどない仕上面が得られる。

2.4 フロートポリッシング (図3)

すず定盤を用い、ワークに非接触の状態では、研磨剤の液膜を利用して定盤の平面をワークに転写させる。平面度、面粗さ共に最高度のものが得られている。加工の形態上から言えばラッピングに属する。

2.5 その他

鏡面仕上の方法としては主として半導体素材に関して多くの試みが行われており、それ以外の分野でも、電解を利用するもの、化学反応を利用するもの、プラズマ加工や電子ビームを利用するもの等、種々の方法がある。

3. メカニカルポリッシング

メカニカルポリッシングに用いられる砥粒、加工液、ツール等について以下に簡単に述べ、その自動化について紹介する。

図4 研磨のメカニズム

3.1 砥粒

ポリッシングに用いられる砥粒としては、比較的对象素材を選ばない万能のものとして、ダイヤモンド (平均粒径 $30\sim 1/4\text{ }\mu\text{m}$ 程度のもの)、アルミナ (Al_2O_3)、シリコンカーバイド (SiC) 等が用いられ、又、対象ワーク素材に応じて酸化セリウム (CeO_2)、酸化ジルコニウム (ZrO_2)、酸化クロム (Cr_2O_3)、シリカ (SiO_2)、酸化マグネシウム (MgO)、炭化ほう素 (B_4C)、ベンガラ (Fe_2O_3)、CBN 等が用いられる。

3.2 研磨液

研磨液には油性のものと水溶性のものが使用される。油性の研磨液としては、鉱物油、植物油、動物油脂等が用いられる。水溶性の研磨液としては中性、酸性、アルカリ性等多くのものがあり、砥粒の分散剤や、対象ワーク素材に応じて防錆剤等が加えられる場合もある。研磨液の働きとしては下記のようなものがある。

- ① 砥粒の分散、② ワーク、ツール間の潤滑、③ 冷却、④ 切りくずの除去、⑤ 化学反応の助成、⑥ 防錆、表面保護

又最近ではワーク素材や用途に応じ砥粒を混合し、専用研磨液として市販されているものも多い。

3.3 ツール用素材

ポリッシング用のツールとしては、柳、桤、^{ほむ}朴等の木材や竹等の天然素材、ピッチ、プラスチック、ゴム等工業材料、綿、ウール、絹等天然繊維類、ナイロン、レーヨン、発泡ポリウレタン等化学繊維類、皮、人造皮革等多くの素材が利用される。

これらの素材は、砥粒の保持力、弾力性、硬さ、摩擦耐久性、耐水耐油性、成形性等の性能によりワーク素材、砥粒、ワークの仕上がりに応じて選択使用される。

3.4 研磨のメカニズム

メカニカルポリッシングにおける表面仕上のメカニズムとしては図4のような機構が考えられている。

図5 自動ポリシング機械の構成要素

ポリシングの場合、砥粒の切込み深さは一般的に数十 nm 以下であり、ぜい性材料についても延性破壊の加工領域となることが多く、②に示すクラック破壊はあまりないものと考えられる。加工の進行には、①, ③, ⑤等の機構が主な役割を果たしているようである。

4. ポリシングの自動化

ポリシングの機械化、自動化にあたっては、切削や研削と異なり、ポリシングが柔軟なツールを用いて加工圧力のもとで表面除去を進行させる加工法であることを十分に配慮する必要がある。

このようなポリシング機械の構成要素としては図5のようなものが考えられる。

コンピュータを用いて制御をする自動ポリシング機械 (CCP) については、米国等において報告されているが、工業用として市販されているものは見当たらない。最近になり自動ポリシング機械として国内で発表されたものが数例あるのでこれについて紹介する。

4.1 非球面レンズ金型加工・測定システム (松下技研(株), 1987 年発表, 未上市)⁹⁾

同一機械上で非球面金型の加工と測定評価を行うことを特長とする。加工は粗加工を砥石、仕上加工をポリシャによる定圧加工としている。X, Z, θ の 3 軸をコンピュータ制御し、加工と測定を繰り返すことにより、形状精度 $0.1 \mu\text{m}$ 、表面粗さ $0.01 \mu\text{m} R_{\text{max}}$ が報告されている。

4.2 非球面研磨機 (図6) (ランクテラーホブソ

図6 非球面研磨機

図7 非球面研磨装置

ン, 1988 年上市)⁸⁾

エアバッグポリッシュ、弾性体を利用したポリポリッシュの 2 種の研磨法をとる。ワークの運動は揺動腕方式で、凸 $R 230 \text{ mm}$ 、凹 $R 300 \text{ mm}$ までの非球面のポリシングが可能。

4.3 非球面研磨装置 (図7) (三菱電機(株), 1989 年発表, 未上市)¹⁰⁾

ガラス材料や硬ぜい材料であるニオブ酸リチウム等の非球面ポリシング用に開発。ツールとしてポリウレタン球を用い、圧力センサとばねを利用した荷重フィードバックを行っている。

加工ヘッドは θ 軸に取り付けることにより荷重の法線方向制御を行い、形状精度 $0.1 \mu\text{m}$ を得ている。

4.4 スーパーポリシングマシン (KRP-1) (黒田精工(株), 1987 年上市, 図8)¹¹⁾

非球面、自由曲面のポリシング用として開発。パソ

図8 スーパーポリッシングマシン KRP-1

図9 装置の基本構成

図10 自由曲面の研磨(ユニバーサルヘッド)

図11 KRP-1の制御

図12 加工補正入力

図13 加工補正による非球面形状の修正加工

コンとNC装置を内蔵し、制御用の入力はすべてパソコンとの対話で行う方式となっている。

機械本体は図9のような構成となっており、加工軌跡等の制御はNCコントローラを用いている。ヘッド機構は2種類あり、空気圧サーボ弁(ESR)を用い、ユニバーサルジョイント式の自己微い方式を採用したユニバーサルヘッドと、エアスライドを用い、ウェイトによる微小荷重の調整を可能としたマイクロヘッドがある。研磨能率を重んじる加工、自由曲面の加工(図10)等にはユニバーサルヘッド、形状修正等正確な制御を要する場合にはマイクロヘッド(図9)を使用する。

制御の概要は図11のようになっており、キーボードから研磨領域形状、面形状、材質、前加工面粗さ等を入力することにより推奨加工条件が表示され、これに基づき自動的にポリッシングができるようになっている。加工条件の変更、滞在時間の修正、加工データの保存と呼び出し等も簡単な操作で行えるようになっている。回転対称形状のワークを均一な研磨代で加工す

るため滞在時間制御を行っている。又設計形状に対するワーク形状の誤差を修正しながら研磨できるよう、加工補正(図12)の機能がある。図13は非球面形状を部分的に修正加工をした例である。

本機の加工例としては種々の形状、素材のものがあるが、一例として図14に非球面レンズ用金型のインサートを示す。鏡面ポリッシュは適正な素材の選択も研

図 14 非球面インサートの研磨例

磨を成功させるための重要な条件となる。表 1 に本機で研磨した素材の例とその到達面粗さを示す。

5. ま と め

ポリシングは加工速度がたかだか $0.1 \mu\text{m}/\text{min}$ 程度の非常に低速の加工法であるが、高度の鏡面を得るためには不可欠の加工法である。

産業界で軽薄短小の要請が高まる中で非球面、自由曲面形状を必要とする部品の種類は増加の一途をたどっている。又製品の高精度、高機能化や、新たな生産プロセスの開発に対応して、従来利用されてきた赤外線、可視光線から、エキシマレーザ、SOR のように、短波長の、紫外線、軟 X 線、X 線を工業的に応用しようとする試みが進みつつあり、従来に増して、高精度な鏡面が必要となってきた。現在、このような曲面形状に関しては、まだブランクスルーすべき技術課題が山積しており、工業的な創成加工法、測定評価法の確立と研磨の自動化を更に進める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 谷口紀男：ナノテクノロジーの基礎と応用，工業調査会 (1988)。

表 1 ワーク素材と仕上がり面粗さ

種 類	素 材 名 称	面粗さ (μmR_a)
鋼 材	マルエージング鋼 YAG 300, 350, MAS 1	0.003~0.005
	SUS 系 HPM 38 STAVAX	0.004~0.006
	析出硬化系 HPM 1, NAK 55	0.005~0.008
	SCM 系 IMPAX	0.005~0.008
超硬合金	微細粒子で HIP 処理を施したもの	0.003~0.005
セラミックス	高密度アルミナ, SiC, Si_3N_4 (HIP, イオンブレーティング等)	0.005~0.008
ガラス	BK 7, 石英ガラス, パイレックス	0.003~0.005
プラスチック	PMMA, CR-39	0.006~0.009
非鉄金属	銅	0.004~0.005
	りん青銅, ベリリウム銅	0.005~0.007
	アルミニウム	0.002~0.006
	ジュラルミン	0.005~0.008
	無電解ニッケルめっき	0.003~0.005
	Si, Ge	0.003~0.004

- 2) 松永正久：超精密ポリシング，機械の研究，39，12 (1987) 15。
- 3) 小林 昭：超精密加工入門，総合技術センター (1986)。
- 4) 砥粒加工研究会熊谷記念会編：超精密加工技術，工業調査会 (1984)。
- 5) 宮下政和：先端技術，新素材そして次世代超精密加工技術，光技術コンタクト，27，2 (1989) 104。
- 6) 宮沢伸一：曲面仕上加工の新手法，長野県精密加工技術研究会，3/2 (1989)。
- 7) 内尾瞬二：射出成型の超鏡面研磨技術，プラスチック工業技術研究会，9/6 (1984)。
- 8) 坪井 暉，森北信夫，浅野泰生：プラスチック工業技術研究会，12/15 (1988)。
- 9) 正木 健ほか：非球面レンズ成型加工・測定システム，型技術者会議講演文集 (1987) 48。
- 10) 鈴木浩文ほか：非球面創成研磨に関する研究——研磨装置の開発，昭和 64 年度精密工学会春季大会学術講演会講演文集 (1989) 1139。
- 11) 井口信明ほか：スーパーポリシングマシン，型技術，2，9 (1987) 56。

●——精密工学会刊行図書のご案内

精機学会創立 50 周年記念出版委員会編「精密機械設計便覧」

本書は、設計の教育用としても実務用としても有用なことをねらいとして編集されています。そのために、設計の基礎知識や、精密機械の機能面からの設計手法の体系化を図り、製造技術との関連にも配慮しつつ、各企業から提供いただいた実際の生きた多数の事例を収集、整理しています。特に個々の設計事例について当該設計者のコメントを併載していますので、具体的な設計指針を得ることができます。

内 容	第 1 章 精密機械設計学	第 4 章 精密機械機能要素の設計事例
	第 2 章 精密機械部品の設計	第 5 章 精密機械および機械システムの設計
	第 3 章 精密機械要素の設計	

A 4 判，724 ページ＋資料編。定価 17 000 円，会員価格 13 600 円，送料 1 000 円