

# 磁力研磨ロボットによる曲面研磨

Magnetically Pressed Polishing of a Curved Surface by a Finishing Robot

国 枝 正 典\*・樋 口 俊 郎\*・中 川 威 雄\*

Masanori KUNIEDA, Toshiro HIGUCHI and Takeo NAKAGAWA

## 1. 曲面研磨ロボットに必要な条件

金型に代表される単品生産であり、かつ自由曲面を持つ製品の研磨は、そのほとんどを人手に頼っている。その理由は、(1)精巧な視覚と触覚、(2)どこをどう磨くかという高度な判断力、それに(3)複雑な手の動きが必要であるからである。これらをすべて自動化することは困難であるが、砥石の単純な回転運動や往復運動の繰返しである(3)の作業は、教示再生ロボットにより実現が可能であろう。

しかし、工作機械に比べて精度や剛性の劣るロボットに曲面を研磨させるには、アームの先端に取り付ける研磨工具に工夫を要する。まず砥石は摩耗が少なく、目づまりのない砥石でなければならない。また砥石は曲面に良く倣って一定圧で法線方向に押しつけられねばならない。それには曲面になじみ易い柔らかい砥石や弾性砥石を用いる方法が考えられるが、摩耗が早く好ましくない。よって堅い砥石を曲面に旨く倣わせる機構が必要となる。しかし単に普通のグラインダを用いたのでは表面に深い傷が生じる心配がある。また砥石と表面との摩擦により生じるスティックスリップが原因でアームの振動が研磨面に現われることがある。したがって研磨ロボットには位置決め誤差や振動をある程度吸収し得るフレキシブルな構造を持つ工具が適当であると考えられる。

一方研磨量の場所による偏りを避け、均一な磨き面を得るためには砥石が通過する軌跡についての考慮も忘れてはならない。

## 2. 磁力研磨工具の原理

研磨は砥石を法線方向に被研磨面へ押しつける力  $F_n$  と接線方向へずらす力  $F_t$  によって達成される。そこで図1のように砥石と磁石を組合せると被研磨面(強磁性体)への吸引力により法線方向の力  $F_n$  が与えられるので、ロボットは接線方向の力  $F_t$  を加えるだけでよい。し

たがって加圧装置を必要とせず工具が小型化できるほか、法線方向の反力が零であるため、剛性の小さいロボットでも研磨が可能である。また砥石は法線方向へ倣った状態で釣り合うので、絶えず曲面の法線方向へと一定圧で加圧される。このような磁力研磨工具を持ったロボットには砥石を法線方向に向け、しかも法線方向に加圧する制御が不要であるから簡単な2自由度のロボットでも曲面の研磨が行える可能性がある。

吸引力は磁気回路を組むことにより強くできる。したがって砥石は強磁性体を母地としたメタルボンド砥石か電着砥石が望ましい。また永久磁石の中に砥粒を混入すれば構造はさらに簡単になる。

## 3. 回転式磁力研磨工具

### 3.1 回転式磁力研磨工具の構造

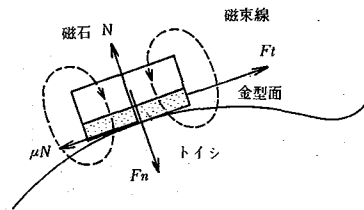


図1 磁力研磨工具の原理

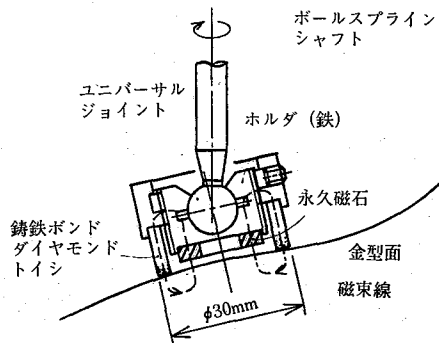


図2 回転式磁力研磨工具

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

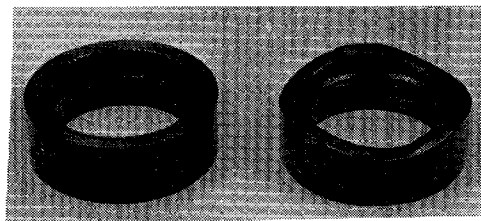
研究速報

図1の原理を回転式の研摩工具に応用したのが図2の回転式磁力研摩工具である。ボールスプラインの回転をユニバーサルジョイントを介してホルダに伝えている。ホルダにはリング状の希土類の永久磁石と鑄鉄ボンダイダイヤモンド砥石<sup>1)</sup>が取り付けられる。鑄鉄ボンダイダイヤモンド砥石は筆者のひとりらが開発した砥石であり、摩擦が少なく目づまりがない。しかも強磁性体である鑄鉄を母地としているため図のような磁気回路を組み強い力で被研摩面を加圧する。吸引力は永久磁石と曲面の間の空隙を変えることにより0.5~5.0kgfまで調整できる。ボールスプラインは軸方向に30mm、ユニバーサルジョイントは法線方向から±20°の可動範囲があるため、それ以内の凹凸と傾斜を持つ曲面ならば2自由度のロボットで研摩はできる。しかし実際の金型はそれ以上の凹凸と傾斜を持つので、金型を載せたテーブルを傾けるなり5自由度のロボットを採用するなりして金型面からの距離と傾きがその範囲内に納まるようにしなければならない。

磁石の吸引力の作用点は曲面に接近し、復原力が大きい。ため、エアシリンダやスプリングで加圧するのに比べ回転が非常に安定しており、振動も起こり難い。したがって砥石が肩当りを起こすことはなく良好な摩き面が得られる。またユニバーサルジョイントもそれほど丈夫である必要がないという利点がある。

3.2 砥石の形状について

図3(a)のような平面砥石を用いると被研摩面上にわずかなくぼみがあっても削り残しが生じる(図4)。そこで砥石を図3(b)に示すように3点で曲面に接触するよ



(a) 平面砥石 (b) 三山砥石  
図3 砥石の形状



図4 砥石の形状による加工面の相違

うに成形すると、山の先端の曲率より小さい曲率を持つ任意の曲面を磨くことが可能となる。

3.3 回転式磁力研摩工具の研摩特性

図5はロボット用に製作した回転式磁力研摩工具を用いて金型を磨いているところである。工具の重量は約2kgfであり、動力には直流モータを使用している。回転数の上限は曲面の曲率と砥石の直径、吸引力によって決まり、曲面の曲率が大ききとも磁石の吸引力が十分大きければ回転数を上げることができる。吸引力1.5kgfの直径30mmの砥石の場合、曲率半径50mmの円筒面を良好に研摩するには1,000rpmが上限である。ロボットはパソコンにより工具先端の線速度が一定となるように制御される。

図6は直径16mmのボールエンドミルを用いてピックフィード2mmで削った軟鋼の平板(スクヤロップハイト63μm)を外径30mm、内径22mmの三山砥石を用いて研摩した写真である。ストロークを75mm、送りを砥石の肉厚と同じ4mmに設定し、計52mm送った。吸

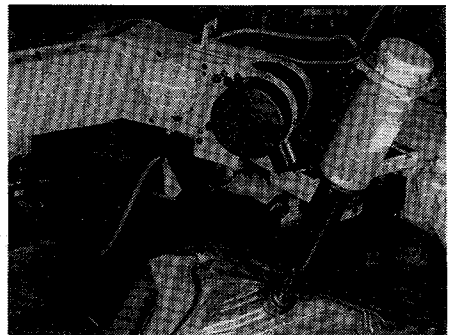


図5 回転式磁力研摩工具

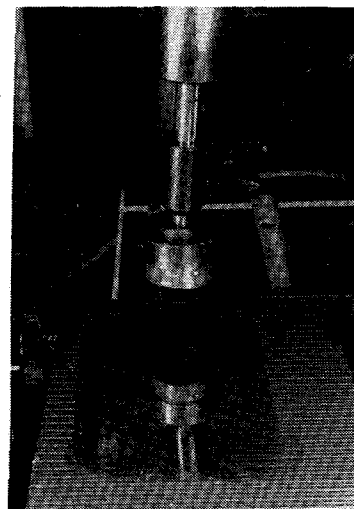


図6 #1,000による研摩面

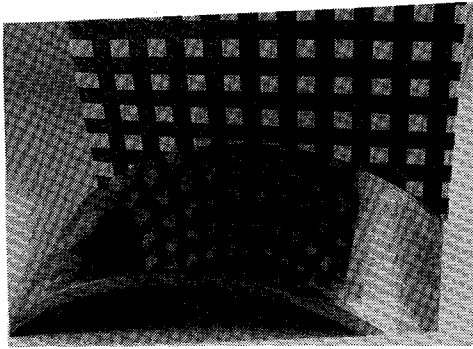


図 7 #2,000 による研磨面

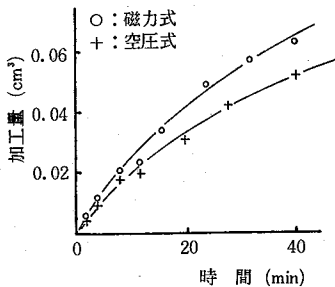


図 8 磁化された切粉が加工能率に及ぼす影響 (#400, 面圧 2.8 kgf/cm², 回転数 867 rpm)

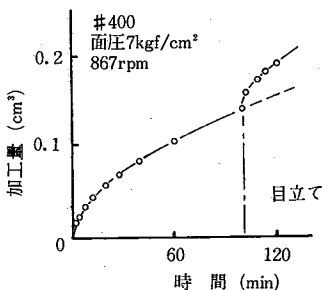


図 9 ダイヤモンド砥石の摩耗による研磨能率の低下

引力 1.5 kgf, 回転数 1,300 rpm において #80 の砥石でカットマークを消すのに約 1 時間を要した。あと #300, #800, #1,000 の砥石を用いて最終的に表面あらさ  $R_z$  0.2  $\mu$ m が得られた。図 7 は #2,000 の砥石で磨いた円筒面である。 $R_z$  0.3  $\mu$ m の仕上がりにある。

図 8 は加圧力を同じにした場合の空圧式と磁力式の研磨特性を比較したものである。被加工材は S45C の平板である。やや磁力式の方が能率が良くなっているが、ロードセルから磁石を人間が引き離す瞬間の力を吸引力としたため、バラツキも大きく磁石の吸引力を過小評価したためと思われる。けっきょく、磁力研磨工具において切り粉が磁化されて研磨特性に悪影響を及ぼす心配はな

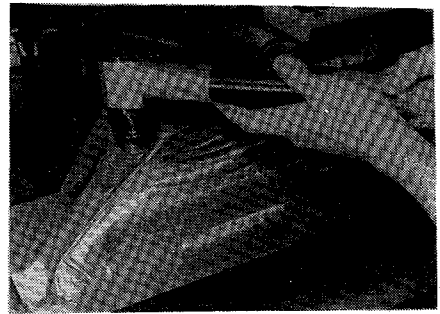


図 10 磁力式ハンドグラインダ

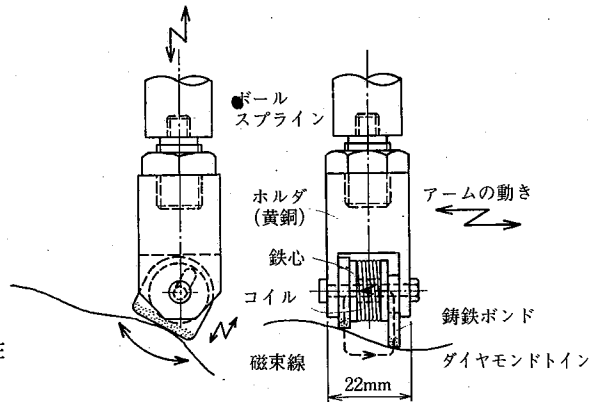


図 11 往復動式磁力研磨工具

いことがわかる。図 9 はダイヤモンド砥粒の摩耗による研磨能率の低下を調べるために加工量の時間的変化を測定したものである。前もって十分目立てを行い実験すると徐々に研磨能率が減少していく現象が観察された。そこで 100 分間研磨した後、アルミナ遊離砥粒で再び十分目立てを行うと実験開始時と同様の曲線が得られたことから研磨能率の低下はダイヤモンド砥粒の摩耗が原因であると考えられる。したがって高い研磨能率を維持するためには時どき目立てを行うか、あるいは潤滑油の中にアルミナの遊離砥粒を混入して自生作用を持たせるようにする必要がある。

図 10 は手作業用に試作した磁力式ハンドグラインダである。金型面への加圧が不要なため手が疲れないばかりでなく、吸引力の作用点が接触面に近いため、フレキシブルな構造にも拘わらず非常に安定しており砥石の肩部で深い傷を付ける心配がない。よって素人にも容易に曲面の研磨が行える。

ところで、回転式研磨工具は能率が高く表面粗さも比較的良いが、条痕が回転しているため人間の目に与える光沢感がない。その上、多少加工量にむらがあり、最終仕上げに向いていない面がある。また金型の隅の方や細

研究速報

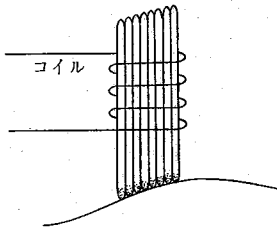


図12 ハリガネ型磁力研磨工具

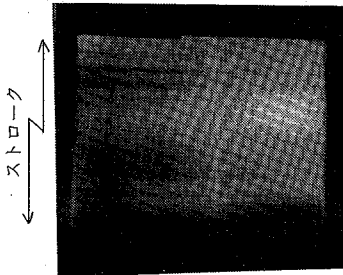


図13 スティックスリップにより生じた横縞模様

い溝を研磨するには回転式研磨工具だけでは限界があるので次に述べるような往復動式研磨工具を試作した。

4. 往復動式磁力研磨工具

4.1 往復動式磁力研磨工具の構造

図11に工具の概略図を示す。電磁石を使用しているので研磨圧を電流によって変化させることができる。図12はコイルの中に針金状の砥石を束ねて入れた工具で、砥石は一樣な磁界中にあるので同じ力で曲面に加圧され、複雑な曲面形状の磨きに適していると思われる。

4.2 スティックスリップパターンの解消

特に往復動式研磨工具の場合、砥石のスティックスリップ現象により研磨面に図13のような往復の方向とは直角に横縞が生じることがある。これは往復動のストロークと速度を一定にして磨いた場合に顕著に現れる。またストローク、すなわち往復動の折り返し点が同じであると図14のように教示のセグメント間にはっきりとした境界線が残る。そこでパソコンで乱数を発生させ、往復動の片道ごとの速度とストロークをランダムに変化させる。すると横縞のピッチと位相がランダムに変化し、片道ごとの横縞のパターンが相殺し合うとともに、折り返し点がランダムなためセグメント間の境界がぼけて図15の如く均一な磨き面が得られる。

5. ま と め

磁力研磨工具の特長を以下に述べる。

- i) 小型で軽量。
- ii) 加圧が不要(法線方向の反力零)。

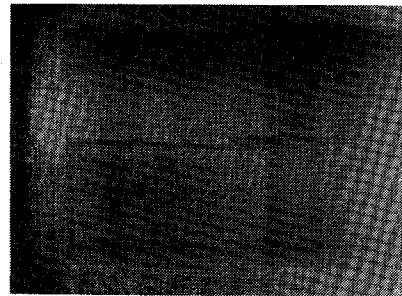


図14 教示セグメント間に現れる境界線

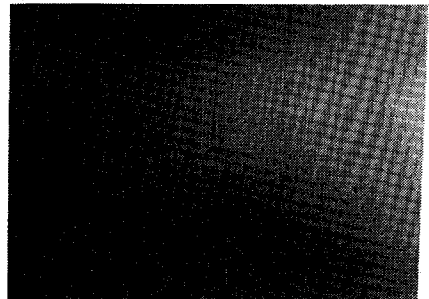


図15 速度、ストロークをランダムにすることによって得られた均一な面

iii) 工具の構造がフレキシブルなため精度や剛性の劣るロボットでも曲面の研磨が可能。

iv) 磁気力の方向は法線方向で、作用点が低い。したがって砥石は曲面に容易に食い肩当たりが無い。

v) 定圧研磨である。

vi) 三山砥石の曲率以下の自由曲面の研磨が可能。

vii) 速度・ストロークをランダムにして、スティックスリップパターン並びに教示セグメント間の境界線を解消することができる。

viii) 鋳鉄ボンダダイヤモンド砥石は摩耗が少なく、目づまりが無い。したがって自動化に有利である。

このような磁力研磨工具はNC工作機械にも取り付けが可能であり、同じ形状のスタイラスを用いれば微いフライス盤による曲面の研磨が容易になる。いずれもATCを備えることにより複雑な形状に対応できると考えられる。

おわりに砥石を提供いただいた萩生田善明先生、刈込勝比古先生、実験に協力いただいた平松広道氏、石川弘幸氏、高橋裕一郎氏に感謝の意を表します。

(1983年11月21日受理)

参 考 文 献

- 1) 萩生田ほか：生産研究，34-6(1982)p. 231
- 2) 国枝ほか：昭和58年精機春講論，p. 675~678
- 3) 国枝ほか：昭和58年精機秋講論，p.95~98