研 究

メカニカルアロイングによる磁性砥粒の作製とその研磨特性

東京大学 生産技術研究所 安斎 正博, 須藤 亨,
遠藤 博司, 中川 威雄
日本大学 生産工学部 大滝 久規

Masahiro Anzai, Toru Sudo, Hiroshi Endo, Hisanori Otaki and Takeo Nakagawa: Preparation of Magnetic Abrasives by Mechanical Alloying and Its Finishing Properties.

Magnetic abrasive polishing process experimentally tried to finish the mold surface. Magnetic abrasives are playing a very important role in this process. SiC whisker-Fe magnetic abrasive was newly fabricated by Mechanical Alloying (MA) method. This study aims to investigate the fabrication process of the MA magnetic abrasives and its finishing properties. SiC whisker-Fe magnetic abrasive by MA was superior to SiC powder-Fe, NbC powder-Fe, diamond-Fe or Al_2O_3 powder-Fe magnetic abrasives in its gringability.

The as machined surface roughness value of $2.5\mu m R_{max}$ or $0.2\mu m R_a$ decreases to the finished value of $0.2\mu m R_{max}$ or $0.06\mu m R_a$ respectively using 6.5 vol.% SiC whisker-Fe magnetic abrasive for 10hr of milling time. Fabrication process of magnetic abrasive by MA will be hopeful for final finishing abrasives of magnetic polishing of mold surface. In order to obtain the higher efficiency magnetic abrasive, it is necessary to investigate the influence of finishing conditions and other kinds of abrasives-Fe system magnetic abrasives in more detail.

(Received December 5, 1990)

1. はじめに

日常使用されている工業製品の多くは金型を使って製造されており、その際、自由曲面を有する金型の切削加工は、倣いフライス盤あるいはNCフライス盤やマシニングセンタなどを用いてボールエンドミルによって行われる。CADによる金型設計を含めて金型製造工程の多くが自動化されているが、切削後の金型表面の研磨工程、すなわち、金型磨きの大半は手加工で行われており、この磨き工程を自動化するための決定的な機械は現在のところ存在していない。著者らは、これらのことを踏まえて、切削加工に用いたNCデータをそのまま用いて、これと磁石を利用して研磨する磁気研磨法を組合せて、切削から磨きまでの一連の自動化について検討している^{1), 2), 3)}。

磁気研磨は、磁石と研磨工具（鋼製鉄芯）、磁性砥粒および工作機械を用いて行うが、この中でも磁石と砥粒は特に重要な役割を果たしている。磁性砥粒は磁石に吸引され、かつ、金型を研磨しなければならず、Feと研磨材との複合材が主である。その作製法は、ホットプレス法⁴⁾やプラズマ溶融法⁵⁾などがあるが、一長一短である。ここでは、磁性砥粒をFe粉と研磨材（主にSiC whisker）を主原料として簡易なメカニカルアロイング法により作製し、実際に金型材として一般的に用いられるS55Cを研磨し、その研磨特性について検討した結果を報告する。

2. 実験装置および方法

2.1 磁気研磨実験方法

図1に実験に使用した磁気研磨装置を示す。工作機械、磁石（鉄芯）、磁性砥粒、ワークから構成されている。鉄芯の周りには銅製のコイルを巻き、直流電源を流すことによりこれを磁化しており、電流を変化させることに

Fig.1 Magnetic finishing apparatus

より磁力を調節できるようになっている。この鉄芯により対峙しているワークも磁化されて磁石となる。磁性砥粒はこの両者の間に充填され、同時に磁化されて鉄芯側からワークまでブラシ状に整列する。この際のワーク側の磁力によって砥粒はワーク側に吸引され、この吸引力が加工圧となってワークは砥粒によって研磨されることになる。この装置とメカニカルアロイング法により作製した磁性砥粒を用いてS55C材(平面)を研磨して、研磨前後の重量差を精密天秤で測定して研磨量を評価した。また、研磨前後の砥粒の変化は走査型電子顕微鏡(SEM)により観察した。さらに、研磨後の表面粗さは軸ミットヨ製SURF TEST-401で測定した。

2.2 メカニカルアロイングによる磁性砥粒の作製

磁性砥粒は磁石に吸引することとワークを研磨することが具備すべき条件である。したがって、Fe系の材料をマトリックスあるいはバインダーとして研磨材を複合化していなければならない。本実験では、Fe系の材料としてはカーボニルFe粉を、研磨材としては Al_2O_3 粉、SiC粉、ダイヤモンド粉、NbC粉、SiC whiskerなどを供したが、予備実験の結果、SiC whiskerを使用した磁性砥粒の研磨効率が最も良好であったのでカーボニルFe粉と複合化する研磨材としてはSiC whiskerを主として用いた。実験に供したFe粉の化学組成とSiC whiskerの諸特性を表1

Table 1 Chemical composition of Fe powder

Fe	(%)	99.6
C	(%)	0.04
O	(%)	0.15
N	(%)	0.01
Ni	(ppm)	100
Cr	(ppm)	100

Table 2 Selected properties of SiC whisker

Diameter	0.3~1.4 μm
Length	5~30 μm
Aspect ratio	10~40
Density	3.2 g/cm ³
Crystal	β type

Fig.2 SEM images of Fe powder(A), SiC whisker (B) and SiC whisker-Fe magnetic abrasive

Fig.3 Fabrication process of SiC whisker-Fe magnetic abrasives by mechanical alloying

および表2にそれぞれ示す。これら主原料を計量した後内径95mm、深さ100mmのSUS304製のポットに入れ、併せて直径約10mm、15mm、25mmのSUS304製ボールをそれぞれ10個、10個、5個と適量のアルコールを添加して90rpmで所定の時間混合した後アルコールを乾燥除去してMA磁性砥粒を作製した。

3. 実験結果および考察

図2にFe粉(A)、SiC whisker(B)およびこれらを20hrミリングした後の磁性砥粒のSEM写真をそれぞれ示す。図3にこの砥粒の生成工程と代表的な砥粒のSEM写真を示す。Fe粉は長時間のミリングにより偏平し微細になり、その粒子が再度合体する。この際にSiC whiskerを巻き込んで粒子間境界にこれを保持して砥粒が形成される。さら

Fig.4 Relation between finishing time and finishing removal

に砥粒表面に観察されるcontaminationもSiC whiskerが微細化されたものと推察されるが、上記した状態で強固に保持されたwhiskerに比して脱落しやすいためにこの状態では研磨に寄与しないであろうと思われるが、脱落したwhiskerはFe粒子で四方を囲まれるため、砥粒同士の間隙に存在し、一種の遊離砥粒のような働きをするので、このwhiskerも最終的には研磨に寄与することになる。なお、Fe粉とSiC whiskerをミリングせずに混合しただけの混合物により磁気研磨した場合でもS55C材が研磨できることを予備実験で確認した。

Fig.5 SEM images of SiC whisker-Fe magnetic abrasives; (A):as fab. milled for 20hr,(B): after finished for 60min,(C):after finished for 90min,(D):after finished for 120min

図4に、10hr、20hrおよび30hr時間ミリングした磁性砥粒を用いて各時間研磨した際の研磨時間と研磨量の関係を示す。主な研磨条件は、磁束密度:0.45T、ギャップ:0.6mm、回転数:500rpm、砥粒重量:1.3gである。なお、この際に用いた磁性砥粒のSiC whiskerの体積率は6.5%とした。これ以上の体積率ではアルコール中にwhiskerが浮遊してしまうため、これは嵩密度で1対1に相当する量である。また、ステアリン酸の添加はワークと砥粒の焼付けを防止するためである。各時間でミリングした砥粒の研磨時間と研磨量との関係は同様な傾向を示す。すなわち、60minまでの研磨時間では時間の増大に伴い研磨量がほぼ直線的に増加するが、それ以上の研磨時間では研磨量の時間に伴う増加率が飽和してくる。したがって、効率良く研磨できるこの磁性砥粒の研磨時間は1時間以内であると言える。また、各研磨時間での研磨量を比較すると、いずれの場合においてもミリング時間が

10hr、20hr、30hrの順で研磨量が増加しており、このことは、より長時間ミリングした方がFe粉のSiC whiskerの保持が優れているためであると考えられる。

図5に、20hrミリングした砥粒(A)を用いて60min、90minおよび120min研磨に使用した後のSEM写真(B),(C),(D)をそれぞれ示す。長時間の使用に伴いSiC whiskerの量が減少しており、(D)ではSiC whiskerがほとんど観察されない。研磨材であるwhiskerが減少しているために研磨時間が長くなるのに伴い研磨効率が低下するものと考えられ、図4で得られた結果と良く対応している。

Fig.6 Relation between finishing removal and finishing gap

図6に、10hrおよび20hrミリングした砥粒を用いて図中の条件で研磨した際の加工間隙(ギャップ)と研磨量の関係を示す。いずれの砥粒を用いても、研磨量が最大になるピークが存在し、その値は0.55~0.6mmの間であった。ピーク値が得られたギャップより、大きくなった場合は磁束密度が減少し、これに伴い加工圧が減少するために研磨量は低下する。一方、ギャップが小さくなった場合は、ギャップ間における占有体積が減少するのに伴って砥粒が密に存在し、このことによる砥粒同士の干渉による運動の妨げ、ワーク側の磁束密度の上昇に伴い砥粒の磁気モーメントが減少することによる加工圧の低下等が複雑に関与するためと考えられる。また、ギャップを必要以上に小さくした場合、砥粒のワークへの咬み込みなどの問題が生ずるため磁気研磨に最適なギャップ範囲が存在する。

図7に、10hrおよび20hrミリングした砥粒を用いて図中の条件で研磨した際の回転数と研磨量の関係を示す。研磨量は回転数が增大するのに伴い飽和する傾向を示す。高速で回転する砥粒には磁石からの磁力、ワークからの磁力、重力および遠心力が加わる。この際、重力の影響は磁力に比して極端に小さいため無視できるので、磁力と遠心力の合力が砥粒に作用すると考えられる。回転数の増大に伴い遠心力が増加し、遠心力と磁力(加工圧)

Fig. 7 Relation between finishing removal and revolution

の合力のベクトルの向きはワークと平行方向に移行する。そのため磁力は一定であるにもかかわらず加工圧が低下し、その結果研磨量が飽和してくるものと考えられる。したがって、研磨効率と研磨量の両面から考慮した場合、1000rpm以下の回転数が望ましいと言える。

図8に、図中の各研磨条件でS55C材を研磨した例を示す。(A)、(B)、(C)および(D)は10hrミリングした砥粒を用いてそれぞれ10min、15min、20minおよび30min研磨した後の試料である。(C)および(D)では研磨面は鏡面を呈しており、例えば(D)での表面粗さは研磨前 $2.5\mu\text{mR}_{\text{max}}$ および $0.2\mu\text{mR}_a$ が研磨後 $0.2\mu\text{mR}_{\text{max}}$ および $0.06\mu\text{mR}_a$ にそれぞれ減少している。これは、10hr程度ミリングした砥粒を用いて、20~30min研磨すれば十分な鏡面が得られることを示唆している。さらに長時間ミリングした磁性砥粒を用いれば研磨効率が良くなることは容易に推察できる。

4. おわりに

メカニカルアロイングにより、主に、SiC whisker(研磨材)とFe粉を主原料とした磁性砥粒を作製し、これを用いて金型材として一般的なS55C材を実際に研磨してその研磨特性について述べた。要約すると以下の様である。

1)メカニカルアロイングにより磁性砥粒を作製する場合、カーボニルFe粉とミリングする研磨材としては、ダイヤモンド粉、 Al_2O_3 粉、SiC粉、NbC粉、SiC whiskerのなかでSiC whiskerを使用した磁性砥粒の研磨効率が最も良好であった。

2)6.5vol.%SiC whisker-Fe磁性砥粒を用いてS55C材の平面ワークを研磨して、表面粗さが $0.2\mu\text{mR}_{\text{max}}$ および $0.06\mu\text{mR}_a$ の鏡面を得た。

Fig. 8 Finished samples using SiC whisker-Fe magnetic abrasive by mechanical alloying
Finishing conditions; 6.5vol.%SiC whisker+Fe : 1g, Milling time: 10hr, Gap: 0.6mm, Revolution: 500rpm, Magnetic flux density: 0.45T; Finishing time (A): 10min (B): 15min (C): 20min (D): 30min

3)以上の結果は、メカニカルアロイングにより作製したSiC whisker-Fe系磁性砥粒が、磁気研磨による金型磨き用の最終仕上用砥粒の一つとして十分使用可能であることを示唆するものであると考えられる。

今後の課題として、メカニカルアロイングによりさらに良好な磁性砥粒を作製するために、多種類の研磨材並びにミリング条件等を詳細に検討しなければならない。

おわりに、実験を遂行するに当たり、便宜を図って戴いた東海カーボン(株)、東名ダイヤモンド(株)、大同特殊鋼(株)、牧野フライス製作所の関係各位に深謝します。

文 献

- 1)真崎浩一, 安斎正博, 中川威雄: 1989年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文集(1989), 491~492
- 2)安斎正博, 真崎浩一, 中川威雄: バウンダリー(1990), 6, 4, 24~28
- 3)真崎浩一, 安斎正博, 中川威雄: 精密工学会誌(1990), 156, 5, 159~164
- 4)進村武男: BOUNDARY(1988), 4, 7, 41
- 5)安斎正博, 真崎浩一, 中川威雄: 砥粒加工学会誌(1989), 33, 4, 34