

AZ31 マグネシウム合金切屑を用いた Nd-Fe-B 系 ナノコンポジットメタルボンド磁石

摂南大学 ○沖本 邦郎

摂南大学〔院〕 藤本 和樹

Nd-Fe-B Nanocomposite Bonded Magnet Using AZ31 Magnesium Alloy Scraps

Kunio OKIMOTO and Kazuki FUJIMOTO

1 はじめに

ボンド磁石は樹脂やゴム等のボンド材を磁性粉末と練り合わせて作製する磁石である。ボンド材として用いられている樹脂やゴムが一般に磁性を有していないので、ボンド磁石の磁気特性は焼結磁石に比べて劣る。しかし、ボンド磁石は焼結工程が不要で成形性や寸法精度がよく複雑な形状のものが作製できるので、機械部品に組み込まれる磁性体として用途が伸びている。

樹脂ボンド磁石用の樹脂としてはナイロン樹脂やエポキシ樹脂が一般的であるが、これらの樹脂ボンド磁石の耐熱温度は 200℃程度が限度である。しかし近年、ボンド磁石の使用環境が従来よりも厳しくなる傾向にあり、その重要な課題として耐熱性や耐食性の向上があげられている。そこで、従来からの樹脂ボンド材に替わるものが期待されているが、その一例として金属を用いる方法、すなわちメタルボンド材を用いる方法がある。従来からメタルボンド材を研削砥石に用いたものはあるが、メタルボンド磁石に関する研究は比較的少ない。また、これまでのメタルボンド磁石の研究においては、耐熱性よりも磁気特性向上のために Sm-Fe-N 系磁性体に Zn や Sn などをコーティングしたものが多く、金属粉末と磁性粉末を混合したものの成形条件や磁気特性に関する報告は少ないように見受けられる。

そこで、講演者らは近年、実用金属の中で最も軽量であるために関心が持たれているマグネシウム合金に注目し、そのマグネシウム合金の中で塑性加工用として代表的なものである AZ31 合金の切削加工で生じる切屑をボンド材の出発原料として用いたメタルボンド磁石の製作を試みた¹⁾。この場合、磁性粉末としては、磁気特性が優れている Nd-Fe-B 系において耐酸化性を改善した $\text{Fe}_3\text{B}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 系ナノコンポジット粉末を用いた。前回は主として成形プロセスについて報告したが、今回は機械的強度との兼ね合いで磁気特性を最大限に発揮させるための成形条件や磁気特性などを調べ、このメタルボンド磁石における問題点を明らかにした。

2 供試粉末

実験に用いた磁性粉末は $\text{Fe}_3\text{B}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 系等方性ナノ結晶粉末 (株 NEOMAX 製, SPRAX-ESM-C) で、粒径は $150\mu\text{m}$ でメディアン径は $65\mu\text{m}$ である。従来からの Nd-Fe-B 系磁性粉末は磁気特性が優れているものの大気中で保管すると酸化して磁気特性が短時間で劣化するのに対して、この磁性粉末は耐酸化性があり磁気特性の低下が少ないという特徴を有している。磁気特性は残留磁束密度 B_r が 0.93T 、保磁力 H_{cj} が $366.9\text{kA}\cdot\text{m}^{-1}$ 、最大エネルギー積 $(BH)_{\text{max}}$ が $75.9\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ で、この磁性粉末の真密度は 7.53

$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ である (以後, ESM-C と表記)。メタルボンド材としては固相点が 575°C である $3.0\text{Al}-0.92\text{Zn}-0.5\text{Mn}$ 系の AZ31Mg 合金を切削加工した際に生じる切屑を粉砕して用いた。粉砕した粉末の粒径は約 $670\mu\text{m}$ で、真密度は $1.78\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ である (以後 AZ31 と表記)。また、比較のため、ボンド材として純 Mg 粉末、ナイロン樹脂粉末、エポキシ樹脂粉末、ろう材粉末についても一部実験を行った。

3 実験方法と実験条件

[実験方法] 成形体の作製には、冷間成形では $\phi 11.10\text{mm}$ の金型、熱間の場合には $\phi 20.2\text{mm}$ の金型を用いて密閉型成形と前方押出し加工 (押出し比 $R3.4$) を行った。機械的強度は円柱状試験片を用いて試験速度 $0.5\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ で圧強さを調べた。磁気特性は B-H トレーサーにより測定した。

[実験条件] 密閉用金型を用いて AZ31 粉末と純 Mg 粉末を単味で圧縮成形し緻密化挙動を比較した。その時の成形圧力は $0\sim 500\text{MPa}$ 、成形温度は 25°C と 240°C である。押出し加工は AZ31 粉末についてのみ行った。この場合、密閉型成形により予備成形体を 240°C で作製し、これを押出し用ピレットとした。成形温度は 280°C または 350°C で、これらの温度に加熱して 10min 保持した後、押出し時間は $5\sim 30\text{min}$ で行った。

4 本研究における磁気特性の目標値

本研究で用いた磁性粉末の磁気特性は、例えば残留磁束密度 B_r で言えば前記のように 0.93T であるが、この値はボンド磁石における目標値ではない。図 1 はこの磁性粉末 (単味) を冷間密閉型成形した場合の成形圧力と圧粉体密度比の関係であるが、密度比 0.71 (密度 $5.35\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) 程度で飽和することが分かる。したがって、現在のメタルボンド磁石における磁気特性の目標値は、 B_r を ESM-C 単味で表した図 2 において $5.35\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ の状態に相当する。そのため、本研究の具体的開発目標は機械的強度を維持しつつ、どれだけ $5.35\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ の状態に対応する 0.66T に近づけることができるかということである。

5 実験結果と考察

[耐熱性] ボンド材単味の耐熱性の比較実験によれば、AZ31 粉末は 300°C に加熱しても崩れなかったが、例えばエポキシ樹脂は 75°C で溶融して形状を維持できず、ナイロンは 125°C で変色した。このことから、メタルボンド材である AZ31 粉末が一般的な樹脂ボンド材よりも耐熱性が優れていることが確認できた。
[成形可能限界] 図 3 は成形温度が 280°C と 350°C で押出し加工したものの成形・破壊限界である。図から分かるように、成形温度を 350°C にすることにより磁性粉末の混合割合を $91\text{mass}\%$

にすることができた。しかし、図4に示すように磁性粉末の混合割合が多くなるとボンド磁石の機械的強度が相当低下する。磁性体としては当然、機械的強度も要求されるので、便宜上、圧裂強度 15MPa 以上という条件を定めると磁性粉末の最大混合割合は 85mass% となった。

〔磁気特性〕 実験で得られたボンド磁石の磁気特性を残留磁束密度 B_r の場合について図5に示す。ここで、横軸は“ボンド磁石密度×磁性粉末の混合割合(mass%)/100”で表示している。図中で●印がボンド材として AZ31 を用いた場合の実験値である。●印の最大のものは 85mass% に対応する 0.391T で、これは目標値 0.66T の 59% に相当する。なお、この 59% の値はボンド材としてろう材やナイロン樹脂を用いた場合に比べて小さい。

6 まとめ

- ① ボンド磁石の緻密化の点からは密閉型成形よりも押し出し加工、成形温度 240℃ よりも 350℃ の方が相当有利であった。
- ② 便宜上、圧裂強度が 15MPa 以上という機械的強度で判断すると、本研究で得られた磁性粉末の最大混合割合は 85mass% (57vol. %) でそれに対応する磁気特性の最大値は $B_r = 0.391\text{T}$, $(BH)_{\text{max}} = 18.6\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$, $H_{\text{cJ}} = 332.8\text{kA}\cdot\text{m}^{-1}$ であった。この磁気特性は B_r で言えば目標値の 59% に相当する。
- ③ “ボンド磁石密度×磁性粉末の混合割合(mass%)/100”を用いると、ボンド磁石の磁気特性を統一して表示することができる。

本実験の場合、AZ31 の粒径が大きいために磁性粉末の混合割合が多くなると成形体における脱粒が生じやすくなった。今後の検討課題として、機械的強度を維持しながら磁性粉末の磁気特性を更に向上させることがあげられる。そのための手段として、AZ31 粉末の細粒化を図ることが考えられる。

最後に、本研究を行うに際して磁性材料全般やボンド磁石に関してコメントをいただきました(株) NEOMAX BM 事業推進部磁粉グループ長 金清裕和氏および磁気測定においてもお世話になりました同社研究開発センタ 細川誠一氏、AZ31 切削切屑を提供していただきその取り扱いに関してご教示いただきました富山大学 松木賢司教授に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 沖本邦郎, 藤本和樹, 第 55 回塑性加工連合講演会講演論文集, 247 (2004).

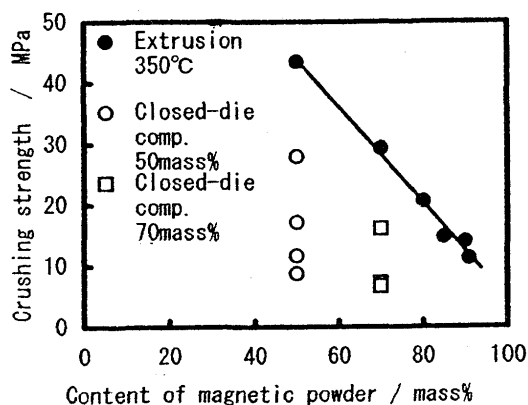


図4 室温下におけるボンド磁石の圧裂強度

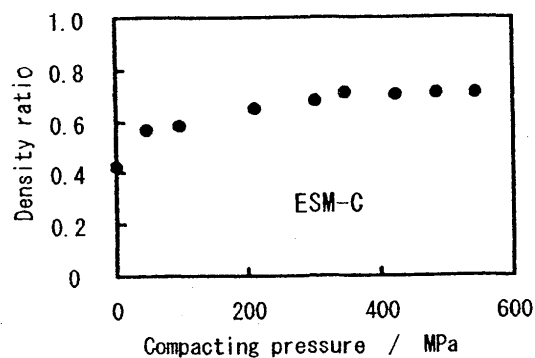


図1 ESM-C 磁性粉末の冷間圧縮性

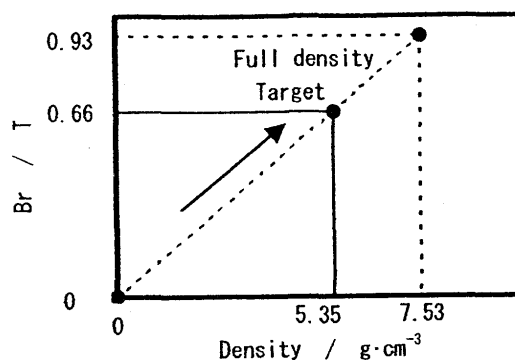


図2 本研究における磁気特性の目標

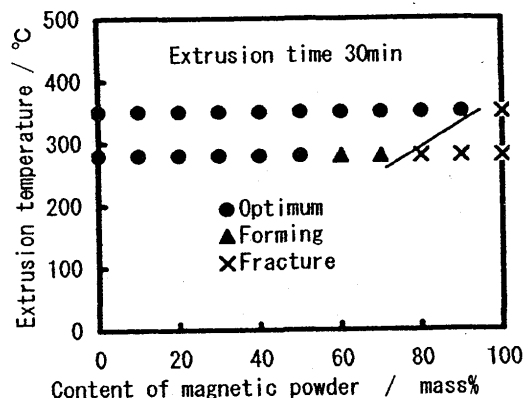


図3 押し出し加工における成形・破壊限界

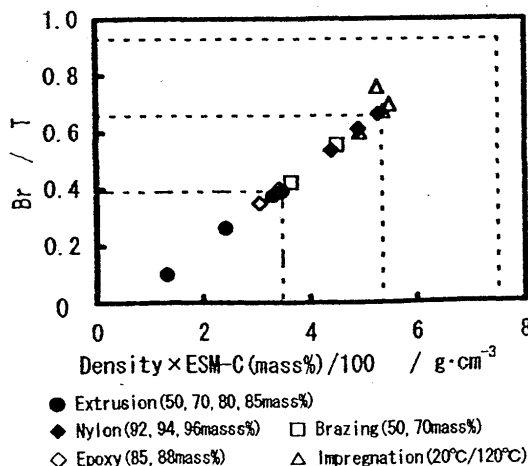


図5 本研究で得られた磁気特性