

電磁振動プロセスを用いた異方性鑄造ネオジム磁石の創製

国立研究開発法人産業技術総合研究所 磁性粉末冶金研究センター 研究チーム長
田村 卓也

1. テーマ設定の背景

現在、自動車業界は「100年に一度の大変革の時代」に入っているとされている。駆動用モーターのみならず、特に省エネルギーの観点からパワーステアリングやカーエアコン用コンプレッサの電動化も重要な要素である。このような電動化には磁石が多く使用されており、日本で発明されたネオジム磁石がどの車にも搭載されているといっても過言ではない。現在市販されているネオジム磁石を大きく二つに大別すると「焼結磁石」と「ボンド磁石」に分けられる。焼結磁石は鑄造技術と粉末冶金技術を高度に組み合わせ、非常に多数の工程を踏んで作製されており、ボンド磁石用の磁石粉も溶解・超急冷凝固、粉碎・熱処理が必要であり、こちらも非常に多数の工程を踏まなければ磁石化できない。

産総研中部センターでは、アルミニウム合金やマグネシウム合金の鑄造において、セミソリッドプロセスの研究を幅広く行ってきた。セミソリッドプロセスとは、固相と液相が混じりあった状態で、固相を微細分散化させる事で試料全体が粘土のようにスラリー化し、プレスや射出成形などにより成形できる技術である。特に、強磁場中で交流電流をセミソリッド試料に流す事により発生する電磁振動力を利用した「電磁振動プロセス」は産総研独自技術であり、これまで結晶粒微細化¹⁾やアモルファス合金の一種である金属ガラスの溶解・凝固技術に取り入れる事により金属ガラスが出来易くなるなど、Nature Materialsに掲載されるような成果²⁾を上げてきた。

2. 素形材分野との関連性

そこで、筆者らはこの電磁振動プロセスを用いる事で鑄造（セミソリッドプロセス）のみで磁石

を作製する事に挑んだ。

3. 研究開発の成果

まず、ネオジム磁石相と低融点非磁石相が混在するように原料金属を溶解・プリ鑄造する。図1(a)はネオジム磁石相が30mass%試料のプリ鑄造後のSEM写真である。黒い相がネオジム磁石相であり、写真からもネオジム磁石相が板状形状にて樹枝状に晶出している事がわかる。この状態では、「磁石相が樹枝状につながっている」事と「磁石相の向きがばらばら」であるため、磁石として全く機能しない。そこで、電磁振動プロセスの出番となる。電磁振動プロセスは、静磁場中にて溶湯（もしくはセミソリッド状態）に交流電流を印加する事により、導電体である溶湯自体を交流電流の周波数にて振動させ、振動エネルギーを溶湯に付与するプロセスである。特にセミソリッド状態においては、固相と液相の電気抵抗が異なるため、固相と液相の振動状態に差が生じる。

低融点非磁石相が液体、ネオジム磁石相が固体状態になるまでプリ鑄造試料を加熱し、低周波の電磁振動力を印加すると、振動エネルギーにより図1(b)のように磁石相が破碎・孤立化される。次に高周波の電磁振動力を印加すると、低融点非磁石液相の方がネオジム磁石固相よりも電気抵抗が低いため、ネオジム磁石固相粒子間の間隙を低融点非磁石液相が流動振動する事となる。また、加熱されたネオジム磁石相はキュリー点という磁石の特性（強磁性）を失う温度よりも高い温度のため非磁性（常磁性）となっているが、結晶構造が複雑なため、結晶方向における磁力に反応する値（磁化率）が異なっている。この結晶方向における磁化率の違いと電磁振動プロセスにおける固液間の振動状態の違いの両方を用いる事により、

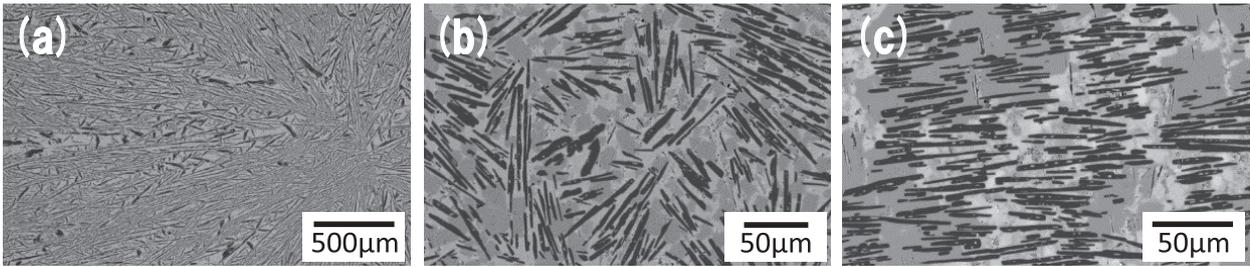


図1 異方性鋳造磁石作製過程における試料組織の変化
(a) プリ鋳造後、(b) 低周波電磁振動による破碎後、(c) 高周波電磁振動による配向化後

高周波の電磁振動力を印加すると図1 (c) のように破碎・孤立化した板状磁石相を配向化することができる³⁾。この様に破碎・孤立化した板状磁石相が配向化すると、強力磁石として機能するようになり、50mass%ネオジム磁石相を有する試料においては、図2に示すように約2gの直径6mm、長さ15mm異方性鋳造ネオジム磁石試料によって360gの鉄治具を余裕で吊り上げられるほどの強さを発揮する⁴⁾。

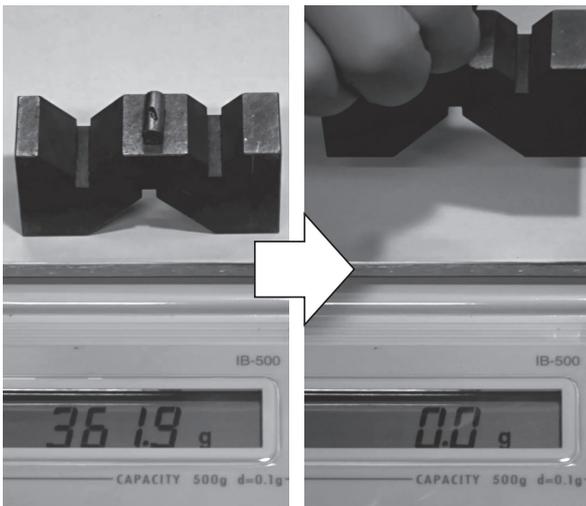


図2 作製した異方性鋳造磁石で鉄治具を持ち上げた様子

4. 訴求点

今回開発した異方性鋳造ネオジム磁石は市販されているネオジムボンド磁石相等の強さを有し、非常に少ない工程にて作製する事ができる。また、希土類磁石にはネオジム磁石とサマリウム磁石が存在しているが、ネオジム磁石にサマリウムが入ってしまうと急激に特性が悪くなり、またその逆も同じになる事が知られており、市場に出回っている磁石リサイクルの障害となっている。しかし、本プロセスは磁石相を溶解しない事から

磁石相に異原子が入りにくく、リサイクル磁石創製プロセスとしての可能性も見据え研究開発を行っている。

参考文献

1) 李明軍ら：鋳造工学 全国講演大会講演概要集 **160** (2012) 117.

https://doi.org/10.11279/jfeskouen.160_117



2) 田村 卓也, 三輪 謙治：まてりあ **46** (2007) 739-743.

<https://doi.org/10.2320/materia.46.739>



3) 田村 卓也, 李明軍：まてりあ **58** (2019) 520-521.

<https://doi.org/10.2320/materia.58.520>



4) 田村 卓也, 李明軍：鋳造工学 全国講演大会講演概要集 **176** (2020) 214-217.

https://doi.org/10.11279/jfeskouen.176_214

