

固体潤滑剤を鑄ぐるんだ潤滑プレートの開発 (第2報)

水谷 予志生、足立 隆浩

Development of solid lubricants-enveloped casting (II)

Yoshiki Mizutani and Takahiro Adachi

金属基盤に固体潤滑剤を埋め込んだ、あるいは焼結法により複合化した無給油潤滑材と呼ばれるものがプレス機等機械装置の摺動部に使われている。これを従来製法と異なり、鑄造法である鑄ぐるみ法を用いて簡易に同等品を作製できないか検討した。これまでは、鑄鉄切粉、黒鉛粉、発泡剤に黒鉛棒も混入させることで多孔質面を作製したが、比較的大きな空隙をもち、強度の低いものしか出来なかった。多孔質部の結合を強固にするため、鉄より融点の低いアルミニウムまたは銅の粉末をブリケットに混ぜた。また、空隙を小さくするため、使用する原料粉末を小さくすることで密にし、発泡剤を入れることで溶湯が進入する経路を確保した手法による作製を検討した。

1. はじめに

プレス機等産業機械装置の摺動部では、金属と固体潤滑剤を複合化させた無給油潤滑材を消耗品として用いている。この無給油潤滑材は、金属基盤上の穴に固体潤滑剤(黒鉛や二硫化モリブデン(MoS₂)等)を埋め込む方法や、金属と固体潤滑剤の粉末を混合して焼結する方法等によって製造されている。しかし、埋込型では機械加工後に固体潤滑剤を埋め込む手間、焼結型では長時間の熱処理がネックとなる。そこで本研究では、より簡易に製造できるような手法として、鑄ぐるみ法に注目した。鑄造法の一つである鑄ぐるみは、異なる物質を鑄造時に一気に一体化して複合化させることができ、さまざまな特性を鑄物に付与させることができる。この手法を用いて固体潤滑材を鑄造時に一度に複合化することで、無給油潤滑材の作製を試みた。

前報では、鑄鉄切粉、黒鉛粉、発泡剤等を混ぜ、フェノール樹脂で円盤状に固化させたブリケットを作製し、これを鑄ぐるみ実験を行った。しかし、細かい切粉と黒鉛粉を押し固めた密なブリケットの場合、ほとんど溶湯が含浸しなかった。そこで、原料粉を大きくし、発泡剤も混入させたところ、ようやく一部分で一体化させることができた。しかし、まだまだ溶湯の含浸が不十分であり、多孔質の部分の接合不足で容易に崩れてしまうようなものしかできていない。そこで、鑄鉄溶湯の熱で容易に溶解し、鑄鉄切粉同士を接合できるように低融点金属粉を混入させることを試みた。このような手法で、新しい無給油潤滑材を開発することを目的とした。

2. 実験方法

図1(a)~(f)に使用した原料粉を、表1にブリケット作製のための混合条件と試料名を示す。これらの粉末を体積比で均等割合になるよう秤量し、バインダーとなるアルカリフェノールを体積比で数~25%程度混ぜ合わせ

て直径65mm×厚さ約15mmの円盤状に成形・固化させた。図2に作製したブリケットの例として、(a)試料Cと(b)試料Dの外観写真を示す。これを十分乾燥させた後、砂鑄型内にセットし、FC250片状黒鉛鑄鉄用溶湯を注湯することで鑄ぐるみ実験を行った。鑄物の大きさは直径80~90mm×高さ50mmであり、鑄造方案は押し上げ式でキャビティ上面にブリケットを貼り付けている。また、このブリケット直上には押し湯も配してある。得られた鑄物の断面を光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡(SEM)で観察し、エネルギー分散型X線分析装置(EDS)による成分元素のマッピングも行った。また、得られた鑄物を機械加工し、無給油潤滑プレートの試作を行った。



図1 原料粉外観、(a)FC250 鑄鉄切粉、(b)黒鉛粉、(c)発泡剤、(d)Cu 微粉末、(e)Cu 粒、(f)Al 切粉

表1 ブリケット作製条件

試料 No.	鑄鉄切粉+黒鉛粉+発泡剤に加えて
A	+Cu 微粉末
B	+Cu 粒
C	+Al 切粉
D	+Al 切粉+Cu 粒

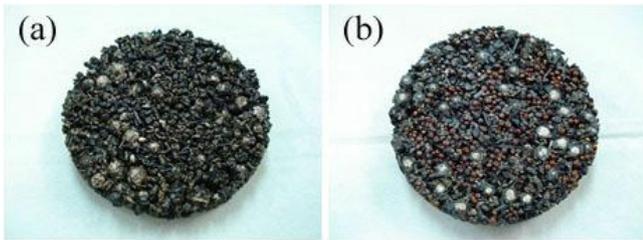


図2 作製したブリケット外観、(a)試料 C、(b)試料 D

3. 結果及び考察

表1の4種類のブリケットを用いて鑄ぐるみを行ったところ、試料 A では溶湯が十分に浸透しなかった。このブリケットは Cu の微粉末を用いており、これがブリケット全体をコーティングするような状態であった。鑄造時の熱と気化した樹脂成分により Cu 粉末が酸化し、鑄鉄溶湯とのなじみが悪くなったのではないかと考えられる。比較的溶湯が充填した B~D の鑄物について、2つに切断した断面写真を図3に示す。(a)の試料 B では、ブリケット中の Cu 粒が鑄鉄溶湯と溶け合わず、Cu 粒のまま存在しているものが多数見られた。銅より融点の低い Al 切粉を用いた(b)の試料 C では、Al 切粉のみのような部分は見られておらず、鑄鉄溶湯と一体化したように見られる。Cu 粒と Al 切粉を混ぜた(c)の試料 D では、Cu 粒の形状が大きく変形しているが銅の茶褐色を呈している部分と、真鍮のような黄金色に近い黄色を呈している部分とが混在していた。Al 切粉が入ったことで融点が低下し、合金化したのではないかと考えられる。また、いずれの試料も潤滑の役目をする黒鉛粉が残っており、潤滑油を保持するための空隙も多数存在していた。

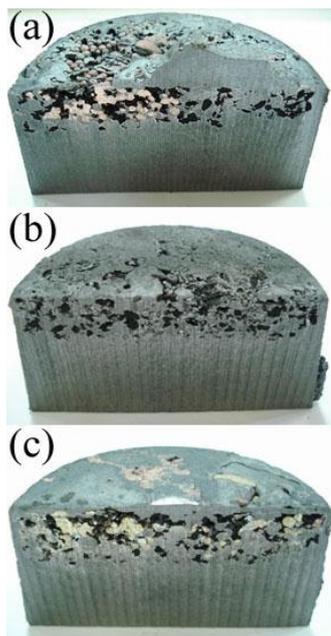


図3 鑄ぐるみ後の試料断面、(a)試料 B、(b)試料 C、(c)試料 D

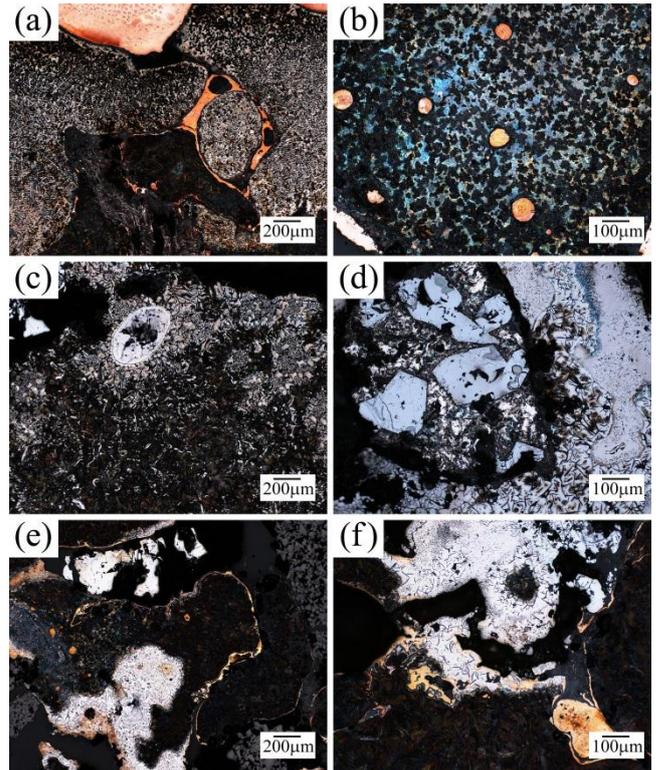


図4 鑄ぐるみ後の試料断面のマイクロ組織、(a),(b)試料 B、(c),(d)試料 C、(e),(f)試料 D

B~D の試料断面のマイクロ組織写真を図4に示す。Cu 粒のみを用いた試料 B では、Cu 粒の形状が鑄鉄を取り囲むように変形している箇所も見られるため、一部溶けていると考えられるが、鑄鉄に取り込まれても球状に Cu が晶出していた。Al 切粉を用いた試料 C では、Al 切粉の形状のままのものは見られず、鑄鉄に溶け込んでいると考えられるが、Al と Fe が反応し、化合物が形成されたと思われるものもあった。Cu 粒と Al 切粉を混ぜた試料 D では、鑄鉄素地組織中に晶出した球状の Cu や、鑄鉄切粉の周りを薄く取り囲んだものがより多く見られるようになった。これらは、Al 切粉の添加により融点が低下した結果であると考えられる。

これらの試料断面について、EDS により元素マッピングを行った結果を図5~7に示す。図5の試料 B では、Fe, Cu, C, O についてのマッピングを示した。Fe と Cu のマッピングを見ると、Fe と Cu はほとんど混じり合っておらず、鑄鉄素地の中に Cu が入り込んだとしても数~10 μ m 程度の球状に分離しているのが分かる。Fe-Cu 二元系状態図は二相分離型となっており、ほとんど固溶せず、Fe 中から球状の Cu が晶出した結果と一致している。また、鑄鉄切粉の周りには酸化物も多く存在していた。次に、図6の試料 C では、Fe, Al, C, O についてのマッピングを示した。Al は Cu の場合と異なり、Fe が存在している箇所にも存在しており、その存在割合が異なっているものがいくつかあるように見える。Fe-Al 二元系状態図には金属間化合物が複数存在するため、こ

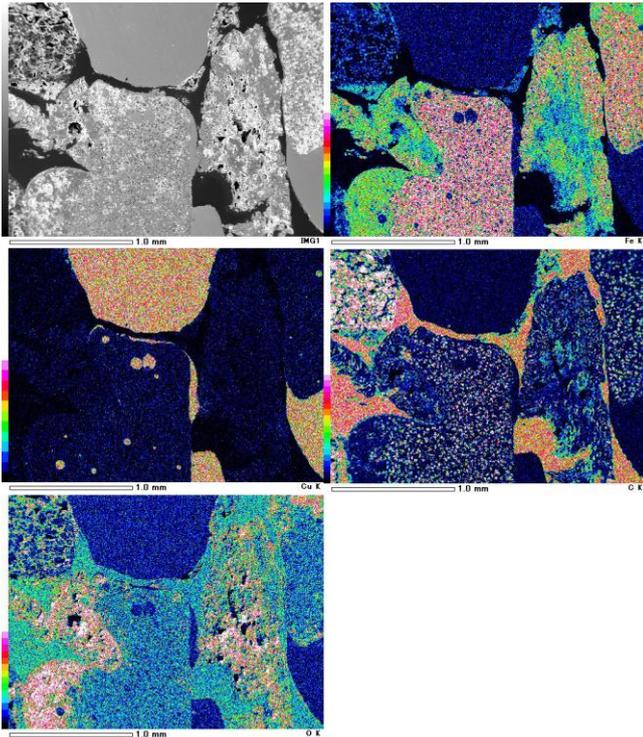


図5 試料B断面のEDS マッピング

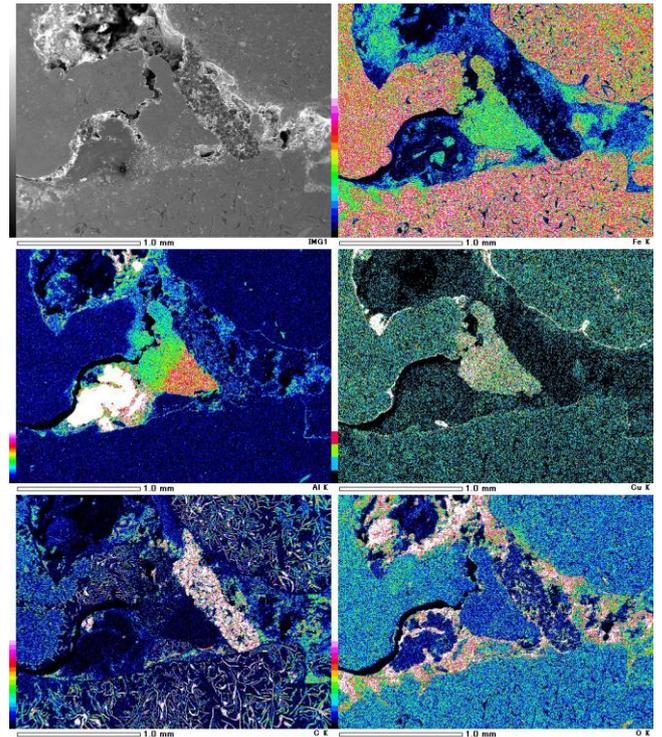


図7 試料D断面のEDS マッピング

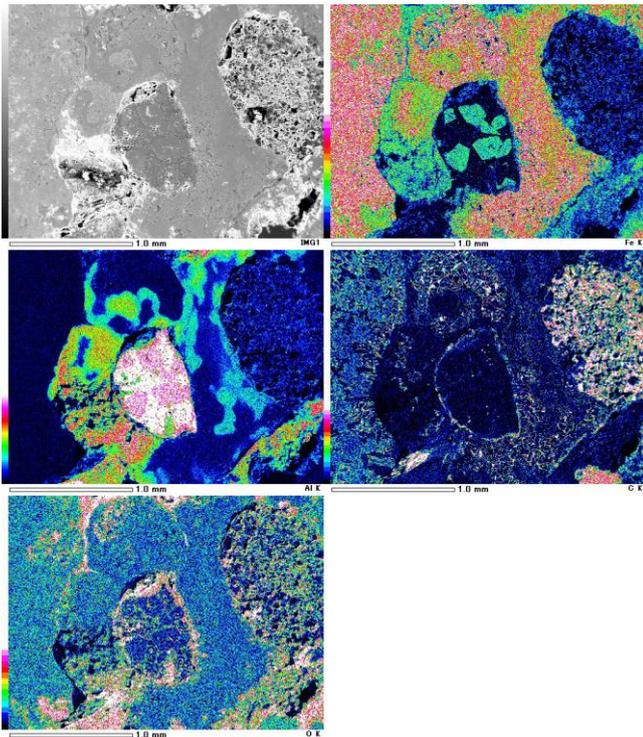


図6 試料C断面のEDS マッピング

のうちのどれかが形成されたと考えられる。また、この試料ではAlの周りにも酸化物が見られている。図7の試料Dでは、Fe, Al, Cu, C, Oと全てのマッピングを示した。図5の試料Bではほぼ分離していたFeとCuが、Alが存在することでFe-Al-Cuの化合物が形成されたと見られる箇所があった。Al-Cu二元系状態図にも金属間

化合物が複数存在するため、Alが添加されたことでCuとの反応性が高くなったと考えられる。また、FeがなくAlとCuのみが検出される箇所も存在していた。

今回作製した鑄ぐるみ試料の中では、Al切粉を添加した試料CとDが鑄鉄切粉をよく接合しているようであった。しかし、まだ空隙の割合が大きく、強度が低いものであったため、Al切粉だけでなくAl粉末も混入し、より密な鑄物が作製できないか試みた。図8(a)は鑄鉄切粉、黒鉛粉、発泡剤に加えてAl切粉とAl粉末を混入したブリケット、(b)は(a)にCu粒を追加したブリケットを鑄ぐるんだ試料を30×30×7mmの板形状に機械加工した試作品の外観写真を示す。これらの試作品は、いずれも前述の試料A~Dと同形状の鑄物からフライスで機械加工しているが、ブリケットを鑄ぐるんだ箇所は加工時の応力で容易に崩壊してしまうものであった。ブリケット最下部の最も溶湯に近い2~3mm程度の箇所ですら、ようやく図8の試作品が作製できた。これらの機械加工面の空隙部の面積率を算出するため、平面の画像写真より、空隙部を黒塗りにした画像を図8の右側にそれぞれ示した。それぞれの空隙率は、図8(a)で約43%、(b)では約57%であり、依然として大きすぎる値であった。さらに、加工面に現れた黒鉛の量はわずかなものであり、固体潤滑材としての機能が果たせないと考えられる。黒鉛率を20~30%に、空隙率を10%以下にするのが理想であるため、よりブリケットを密に作る必要があるが、溶湯を単純に注湯する今回の手法のままでは達成困難であると考えられる。ブリケットに溶湯を強制的に浸透さ

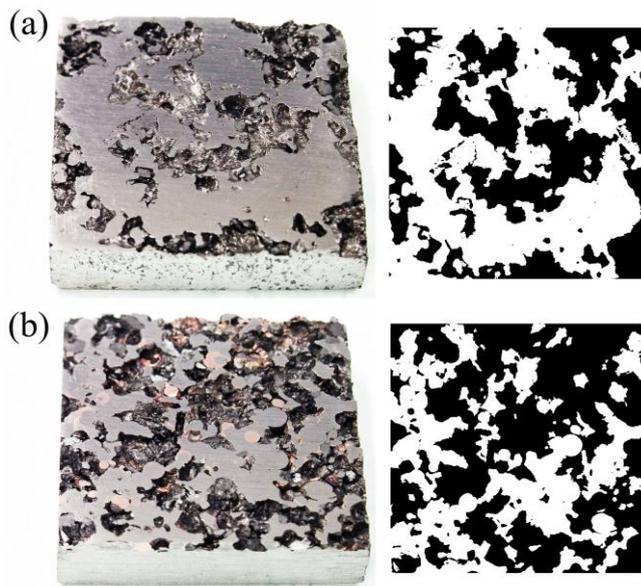


図8 板形状試作品と空隙率図、
(a)Al 切粉+Al 粉末、(b)Al 切粉+Al 粉末+Cu 粒

せるような力を加えることが必要であると考えられ、溶湯鍛造法や遠心鑄造法等であれば可能性があるのではないかと考えられる。

4. まとめ

固体潤滑剤として黒鉛粉末を使用し、鑄鉄切粉と混ぜ合わせて作製したブリケットを鑄ぐるむことで無給油潤滑材の試作を行った。

鑄鉄切粉の鑄鉄溶湯への溶け込みが不十分であったことから、より低融点の金属であるアルミニウムあるいは銅を混入させたブリケットを鑄ぐるむことを検討したが、厚さ約 15mm のブリケットのうち、2~3mm 程度でしか固体潤滑材板を試作することができなかった。この試作品の空隙の面積率は 40~60% もあり、強度が不十分であった。また、黒鉛率も不十分であったことから、ブリケットの配合や原料となる切粉・粉の大きさを再検討しなければならない。しかし、さらに密なブリケットになると、鑄鉄溶湯の浸透がより困難になると考えられるため、今回のような重力鑄造法ではなく、溶湯に力を加えることができる、溶湯鍛造法や遠心鑄造法の方が適していると考えられる。

【謝 辞】

本研究を行う上で、鑄造実験および研究全般にわたり多大なご協力を頂きました株式会社岡本の西垣功一様、幅司様、若原正敏様、須田貴志様に深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 水谷ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告, No.1, pp10-12, 2013