

環境負荷軽減のための研削スラッジリサイクル (第1報 研削スラッジリサイクルのための基礎調査)

中村 莞爾*・林 昭二*²

Grinding Sludge Recycling to Reduce Environmental Load (No.1 Basic Investigation for Grinding Sludge Recycling)

Kanji NAKAMURA and Shoji HAYASHI

Synopsis : Companies like bearing maker which produce precision machinery use many grinding machines in their manufacturing processes. These machines by-produce a lot of grinding sludge, most of which is dumped into landfills now. Being an ISO14001-certified company, it is responsible for establishing of recycling technology and contributing to our recycle-based society. It is however difficult for companies to progress the sludge recycling if additional expense is required. So it is important to establish recycling technology which enables to reduce environmental load together with cost reduction. There are two reasons for difficulty to recycle the grinding sludge. One reason is that it contains a lot of coolant and the other is of its self ignition. Thus separation of the coolant from the sludge economically will be key technology. By using a test machine, it was confirmed that it was possible to separate the coolant from the sludge economically and reuse metal and coolant. It was also confirmed that briquette doesn't have any danger for self ignition after separation.

Key words: recycle; grinding sludge; briquette; self ignition; industrial waste.

1. 緒言

地球環境保全が叫ばれる現在、企業は生産活動の結果として排出する産業廃棄物¹⁾を、これまでどおり埋立て処理することは産廃処理場の行き詰まり²⁾から今後益々困難になることは明白である。さらに昨今急速に普及しているISO14001³⁾の認証取得により、企業は主体的に産業廃棄物削減に取り組むことが社会的な責任となっている。

精密機械部品製造業界では多くの研削盤を使用しているため、国内で約20万トン/年の研削スラッジ (Fig. 1) が産業廃棄物として発生している。その研削スラッジは多量の研削液を含んだ微細な研削切粉のため、見掛けの悪さから汚泥⁴⁾と見なされて管理型産廃処理場⁵⁾に埋め立て処理され、大きな環境負荷となっているのが実情である。そのよ

うな状況を阻止し、来るべき循環型社会⁶⁾に適應するためには研削スラッジリサイクル技術の開発は避けて通れない重要な課題である。しかし利益を追求する民間企業にとってコストダウンを伴わないリサイクル技術の採用は容易ではなく、その意味で環境負荷軽減とコストダウンが同時に実現可能なリサイクル技術の開発が強く望まれている。

2. 環境負荷軽減とコストダウンを両立する研削スラッジのリサイクルシステム

研削スラッジのリサイクルを困難にしている主な理由は、Fig. 2に示すような微細な金属の研削切粉⁷⁾が絡み

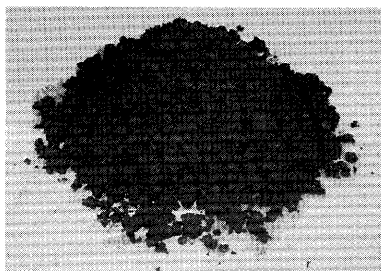


Fig. 1. Grinding sludge.

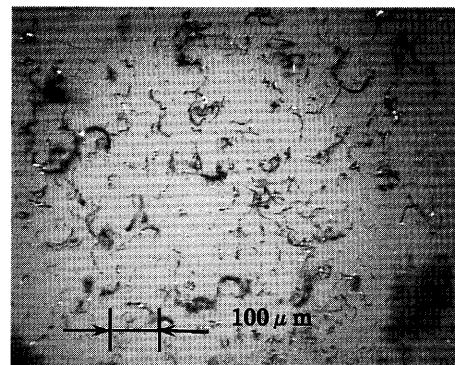


Fig. 2. Magnified grinding swarf.

平成17年11月28日受付 平成18年1月11日受理 (Received on Nov. 28, 2005; Accepted on Jan. 11, 2006)

* 名古屋工業大学大学院生 (Graduate Student, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho Showa-ku Nagoya 466-8555)

* 2 名古屋工業大学大学院ながれ領域 (Graduate School of Materials Engineering, Nagare College, Nagoya Institute of Technology)

Table 1. Components of grinding sludge (wt%).

Component	wt%
Metal (Grinding swarf)	20~50%
Coolant (Oil or water-based)	50~80%
Grinding powder	Under 1%

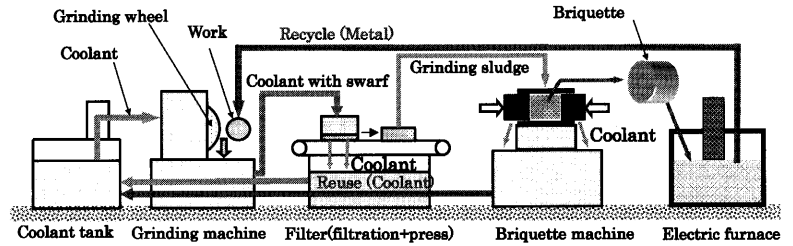


Fig. 3. Recycling system of grinding sludge.

合って綿状となり、その内に Table 1 に示すような多量の研削液を含んでいるため、そのままでは金属資源として再利用し難いばかりでなく、山積みにして長時間放置しておくと酸化熱による自然発火⁸⁾の危険性のあることが広く知られており、製鋼所が受入れを拒否するためである。

そこで、これらの問題を解決するために Fig. 3 に示すような研削スラッジを固液分離⁹⁾して研削切粉は金属資源として再利用し、回収した研削液は生産ラインに戻して再利用することで産業廃棄物が発生しない理想のリサイクルシステムの実現を考えた。



Fig. 4. Test machine.

3. 解決すべき技術課題

Fig. 3 で示したりサイクルシステムを実現するために解決すべき技術課題は A)~D) の 4 項目が上げられる。

- A) 経済的な方法で固液分離する技術が確立できるか？
- B) 固液分離後の研削切粉は再利用可能か？
- C) 研削液の回収率がよく、再利用可能か？
- D) 製鋼所で安心して再利用可能とするため、自然発火の危険性を排除することができるか？

4. テスト方法

4.1 固液分離の方法

固液分離のため Fig. 4 に示すテスト機を製作した。固液分離の基本的な考え方は Fig. 5 に示すような円筒状のケースに研削スラッジを入れて両側から加圧することで研削液を圧搾し、最終的に最大面圧 392 MPa で加圧して金属成分である研削切粉をブリケット状に固形化する。

4.2 ブリケットの成分分析と溶解テスト

固液分離後に得られたブリケットは製鋼メーカーの協力を得て成分分析をするとともに、テスト用 100 kg 高周波誘導炉と生産用 10 トン電気炉を使用して溶解テストを実施した。

4.3 研削液回収方法

固液分離時に搾り出される研削液を容器に受け、回収した体積を測定した。

4.4 自然発火のテスト

Fig. 6 に示す装置で研削スラッジとブリケットを加熱して自然発火のテストを実施した。

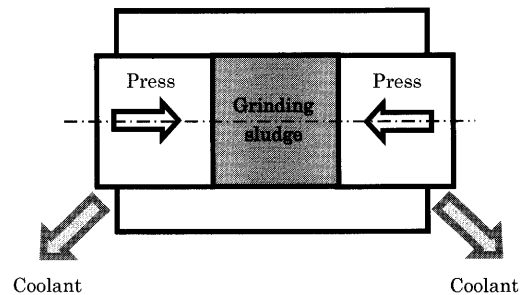


Fig. 5. Basic idea for separation.

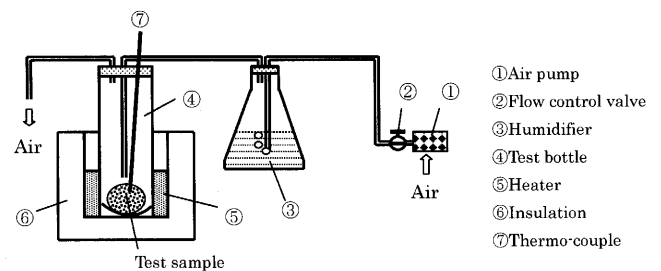
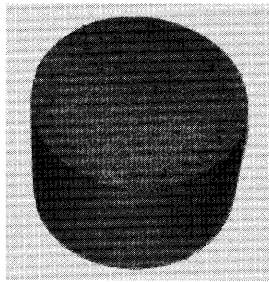


Fig. 6. Set up of self ignition test.

5. テスト結果と考察

5.1 固液分離のテスト結果

経済的に研削スラッジを固液分離するために Fig. 5 に示す方法でテストをした結果、油性研削スラッジの場合油の粘性が高いため加圧初期段階で研削切粉と研削液がヘドロ状に混合して噴き出し、固液分離が困難な場合が多く発生することが判った。この問題に対しては脱液の初期段階で



Size : $\phi 83 \times 50$ mm
Weight : 830 g
Sp. Gr. : 3.07

Fig. 7. Briquette (oil-based sludge).

Table 2. Chemical analysis of oil-based briquette (wt%).

Water	Oil	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0.6	11.5	84.8	1.20	0.40	0.32	0.01	0.07	0.07	0.17	0.18	0.02

Table 3. Water in briquettes of water-based sludge (wt%).

Sample	A	B	C	D	E
Water	1.17	0.15	0.25	0.52	0.01

内圧が上昇し過ぎないように加圧速度を制御することで対策が可能となり、固液分離後Fig. 7に示すブリケットの製作が可能となった。この結果より簡単な方法で経済的に研削スラッジの固液分離は可能であることが確認できた。

5.2 ブリケットの成分分析と溶解テスト結果

5.2.1 成分分析の結果

油性研削スラッジで固形化処理されたブリケットの成分分析結果をTable 2に示す。この結果より鉄分が85%と多く含まれていることが確認され、金属資源として再利用する価値があると判断された。なお研削スラッジということで砥粒成分が多く含まれることが懸念されたが、成分分析の結果1wt%以下であることと溶解テスト時のスラグ発生量の少ないことから実用上問題にならないことも確認された。

成分分析の結果含油率は11.5wt%と高いが、これは研削液が油性で粘性が高いため搾り出し難いことと関係しており、研削液が水溶性の場合は粘性が低いので固液分離が容易となりTable 3に示すように含水率は2.0wt%以下になる。

5.2.2 溶解テスト結果

溶解テストは油性研削スラッジのブリケットを使用してテストした。最初100kg高周波誘導炉による少量テストにて、純鉄35kgを先に溶解した中にブリケット10kgを投入し、回収した金属重量が44.1kgで溶解歩留りが91%と高いことを確認後、10t電気炉による中量テストを実施した結果をTable 4に示す。この結果より平均92wt%の高い溶解歩留りが確認され、ブリケットを金属資源として使用した場合の低い溶解歩留りの懸念を払拭することができた。

5.3 研削液回収のテスト結果

含油率50wt%程度の油性研削スラッジを10個連続処理

Table 4. Melting test of oil-based briquette with 10t electric furnace (wt%).

Test No.	Briquette weight	Recovery yield
1	180kg	91%
2	180kg	93%
3	450kg	92%
4	450kg	93%
Average		92%

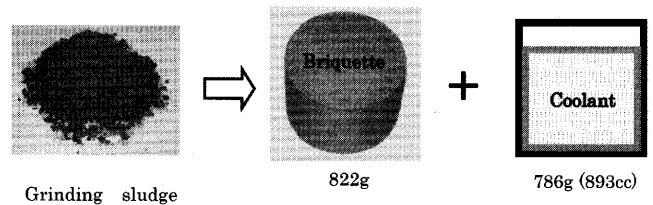


Fig. 8. Average coolant recovery (oil-based sludge).

した場合の結果をFig. 8に示す。平均822gのブリケットができる一方で、ブリケット1個当たり平均893cc(786g)の研削液が回収できた。この結果から多量の研削液の回収が可能であることが確認された。

上記の結果より、油性研削スラッジを固液分離した場合の研削液回収率はブリケット含油率が前述の11.5wt%とすれば、ブリケット重量822gの中に95g(822×0.115)の研削液がまだ残存していることから

$$786 \div (786 + 95) \times 100 = 89 \text{ wt\%}$$

となり、研削液の約9割を回収できることが確認された。

なお参考までに生産現場で使用されているタイプの遠心分離機(回転数1800rpm)による固液分離を調査してみたところ、含油率が40~50wt%程度に脱油するのが限界であることが確かめられた。この結果より加圧方式による固液分離の方が優れていることが判る。さらに固液分離の最終工程で高圧を加えて固形化処理するため研削液への悪影響が懸念されたが、回収した研削液の成分分析を研削液メーカーにて実施した結果、再利用可能であることも確認された。

5.4 自然発火のテスト結果

テストでは酸化による自然発火の危険性が高い水溶性研削スラッジ約10gのサンプルを試験管に入れて、大気中の湿気を想定して水分を補給しながら100°Cに加熱して温度上昇を測定した。

5.4.1 研削スラッジのテスト

加熱テスト結果をFig. 9に示す。この結果より研削スラッジは100°Cに到達後も十分な水分があるため急激に酸化反応が進行して昇温し、自然発火する危険性のあることが立証された。なおテストでは急激な昇温直後に加熱を停止した。

5.4.2 ブリケットのテスト

水溶性スラッジの固液分離後にできたブリケットの加熱

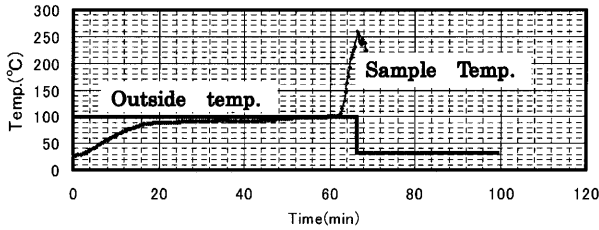


Fig. 9. Self ignition test of water-based grinding sludge.

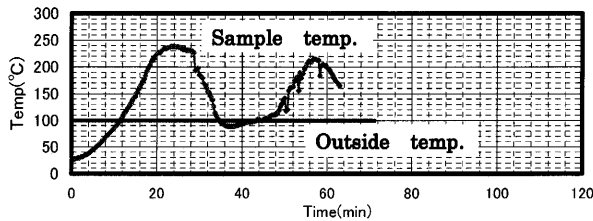


Fig. 10. Self ignition test of water-based grinding sludge briquette.

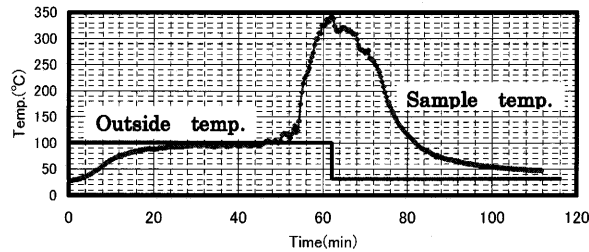


Fig. 11. Self ignition test of water-based grinding sludge briquette + water (10 wt%).

テスト結果を Fig.10 に示す。この結果よりブリケットは 240°C までは徐々に昇温するが、水分が少ないため最終的に自然発火しないことが確認された。

5・4・3 ブリケットが濡れた場合のテスト

ブリケットに水 (10 wt%) を加えて加熱テストした結果を Fig.11 に示す。この場合は 100°C に到達後、研削スラッジと同様に急激に酸化反応が進行して昇温し、自然発火の危険性のあることが確認された。このことからブリケットは雨水に濡れないよう屋内に保管する必要がある。

以上のテスト結果より研削スラッジリサイクルシステムを実現するために解決すべき4項目の技術課題は全て解決可能であると判断できる。

6. 経済効果の基礎調査結果と考察

研削スラッジを固液分離して、研削切粉と研削液を再利用する場合の経済的メリットを検討するために基礎的調査をした結果は下記のとおりである。

6・1 産廃処理費用削減効果

現状の産廃処理コストは地域により異なるが 10~50 円/kg 程度で、しかも値上げ圧力が非常に高いため今後高騰すると考えられる。そのためリサイクルが実現して産廃処理費用が不要になればコストダウン効果は大きい。

6・2 ブリケットの金属資源としての価値

金属成分が鉄系の場合は 0~2 円/kg 程度、ステンレス系、アルミ系の場合はそれ以上である。鉄系の場合は限りなく 0 円/kg に近い有価物¹⁰⁾のため輸送費を押さえることが重要で、なるべく近くの製鋼所に輸送してリサイクルする必要がある。なお有価物となることで Manifesto¹¹⁾ は不要となり管理コストの削減も可能となる。

6・3 研削液再利用によるメリット

油性研削液は約 100 円/L、水溶性研削液は約 5 円/L で、特に油性研削液の場合再利用することにより補充量の削減によるコストダウン効果が大きい。

6・4 輸送費の削減

従来は研削スラッジを輸送していたのに対し、固形化処理後はブリケットのみの輸送となるため、輸送重量は半減して輸送費は約半分となる。

以上の調査結果より、研削スラッジのリサイクルを実現すれば十分経済的なメリットが期待できるため、研削スラッジの固液分離によるリサイクルシステムは民間企業でも採用可能と考えられる。

7. 結言

環境負荷軽減とコストダウンを同時に実現可能な研削スラッジリサイクルシステムの確立に向けて基礎的事項の確認をした結果、技術的課題は解決可能で経済的効果も得られると判断されるので、実用機の開発に取り組むことにする。

文 献

- 1) 中山哲男：廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック，(1993)，5。
- 2) (株)生活情報センター：環境問題総合データブック 2002，(2002)，194。
- 3) 吉澤 正：ISO14001 環境マネジメント便覧，(1999)，60。
- 4) 中山哲男：廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック，(1993)，5。
- 5) 中山哲男：廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック，(1993)，425。
- 6) 廃棄物・リサイクル法研究会監修：廃棄物・リサイクル六法，(2004)，3。
- 7) 小野浩二：研削仕上，(1962)，1。
- 8) 志田正二：化学辞典，(1981)，543。
- 9) 富永博夫：分離精製技術ハンドブック，(1993)，412。
- 10) 安井 至：リサイクルの百科事典，(2002)，757。
- 11) 吉村 進：環境大辞典，(2003)，688。