

環境負荷軽減のための研削スラッジリサイクル (固液分離技術の改善による環境負荷軽減の推進)

中村 莞爾*・林 昭二*²

Grinding Sludge Recycling to Reduce Environmental Load
(Technical Improvement of Separation for Further Environmental Load Reduction)

Kanji NAKAMURA and Shoji HAYASHI

Synopsis : Companies like bearing maker use many grinding machines, then by-produce a lot of grinding sludge, most of which is dumped into landfills now. Being ISO14001-certified company, it is responsible for helping establish recycling technology and contributing to our recycle-based society. Report of “No. 2 Development of practical machine and test results” proved that it was possible to separate coolant from grinding sludge economically and grinding swarf and coolant were able to be reused for environmental load reduction at practical use level after one year long run test. But it was found that there were many kinds of sludge which were similar to grinding sludge but impossible to separate coolant from sludge with the same method of grinding sludge separation. For further environmental load reduction, honing sludge was picked up for the next target. Basic test proved that it was possible to separate coolant from honing sludge by adding paper filters to the method of grinding sludge separation. Based on those test results, practical machine was developed and it was confirmed that it was possible to achieve recycling and cost-reduction at the same time for honing sludge also.

Key words : recycle; grinding sludge; honing sludge; briquette; industrial waste; paper filter.

1. 緒言

地球環境保全が叫ばれる現在、企業が環境負荷軽減のため積極的に産業廃棄物¹⁾削減に取り組むことは社会的な責任である。そこでISO14001²⁾の認証取得を機に軸受け産業の研削工程で発生し、産廃処理されている多量の研削スラッジのリサイクルをコストダウンと同時に実現することで環境負荷軽減を推進する目標を掲げてリサイクル技術の開発に取り組み、その結果を第1報³⁾、第2報⁴⁾として報告した。その過程で社会には研削スラッジに類似した汚泥状の産業廃棄物が多く存在し、埋立て処理されていることが判って来た。そこで今回は自動車産業のエンジン製造工程で発生しているホーニングスラッジ⁵⁾に着目し、これまでに蓄積した研削スラッジの固液分離技術に改善を加えて固液分離を可能にし、その金属成分と加工液の両方を再利用することでリサイクルとコストダウンを同時に実現して環境負荷軽減を推進するための技術開発に取り組んだ。その結果を報告する。

2. 理想のリサイクルシステム

ホーニングスラッジのリサイクルシステムをFig. 1に示す。このリサイクルシステムは今回ホーニングスラッジ用に開発した固液分離機を使用して、発生現場で分別回収・分別処理を前提に固液分離し、金属成分は製鋼所で金属資源として再資源化、研削液は生産ラインに戻して再利用することで産廃処理を回避し、コストダウンと環境負荷軽減を同時に実現するものである。

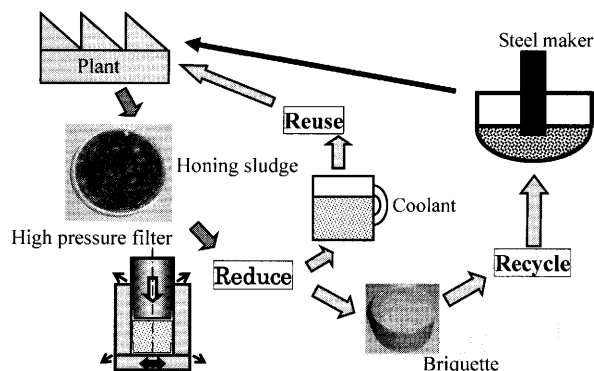


Fig. 1. Recycling system for honing sludge.

平成 18 年 2 月 1 日 受付 平成 18 年 3 月 31 日 受理 (Received on Feb. 1, 2006; Accepted on Mar. 31, 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)

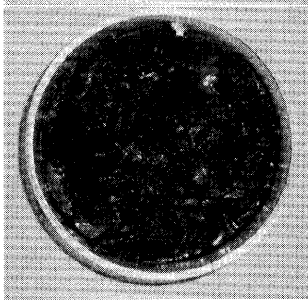


Fig. 2. Honing sludge.

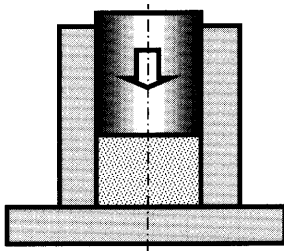


Fig. 3. Method of grinding sludge separation.

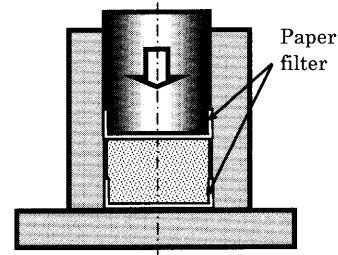


Fig. 4. Method of honing sludge separation with paper filters.

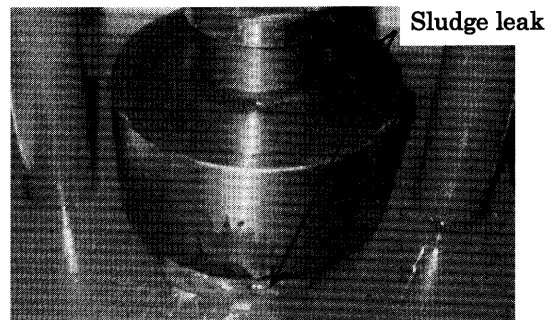


Fig. 5. Honing sludge separation test without paper filters.

3. 製鋼メーカーのブリケット受入れ基準

今回検討したホーニングスラッジは鉄系合金で、製鋼メーカーより固液分離後にできる金属成分のブリケットに対する受入れ基準として含油率10wt%以下で、ハンドリング容易なことが提示された。

4. 試験方法

4.1 試験に使用したホーニングスラッジの種類

今回試験に使用したホーニングスラッジ(Fig. 2)は自動車メーカーのエンジンシリンダライナー内面のホーニング加工工程で発生したもので、その材質はFC230である。

4.2 ハンドプレスによる基礎試験

研削スラッジの固液分離と同様な方法であるFig. 3に示すような円筒状金型内にホーニングスラッジを入れてハンドプレスで片側より加圧した。

4.3 ホーニングスラッジの固液分離困難な原因調査

ホーニングスラッジと研削スラッジの粒度分布分析、含油率、切粉形状を比較調査した。

4.4 ホーニングスラッジを固液分離可能にする改善案の試験

円筒状金型の機械的隙間を上下2枚のペーパーフィルターでなくし、加工液は排出可能で切粉は流出させない状態(Fig. 4)にしてハンドプレスで加圧した。なおペーパーフィルターはブリケットと共に電気炉に投入するため、燃やしても有害物質の発生しない植物繊維系の材質を選定した。

4.5 面圧とブリケット含油率の関係調査

ホーニングスラッジと研削スラッジに加えた面圧とブリケット含油率の関係を比較調査した。

4.6 面圧とブリケット比重の関係調査

ホーニングスラッジと研削スラッジに加えた面圧とブリケット比重の関係を比較調査した。

4.7 実用機の開発と試験

ホーニングスラッジを自動で固液分離するためペーパーフィルターの装填、ホーニングスラッジ充填、加圧・排出が自動で行える機械を開発し、基礎的な試験を実施した。

5. 試験結果

5.1 ハンドプレスによる固液分離試験の結果

研削スラッジと同様に円筒状の金型にホーニングスラッジを入れてハンドプレスで加圧した結果、加圧初期段階よりFig. 5に示すように機械的隙間からスラッジが流出して全く固液分離できないことが判った。

5.2 ホーニングスラッジが固液分離困難な原因の調査結果

研削スラッジと同様な方法ではホーニングスラッジが固液分離できない理由として、切粉の細かいことが関係していると考えられるため粒度分布分析をした。その結果をFig. 6に示す。この結果はホーニングスラッジの方が研削スラッジより粗いことを示しており、ホーニングスラッジの細かいことが原因ではないことが判った。次に考えられる理由としてホーニングスラッジは長時間放置すると金属

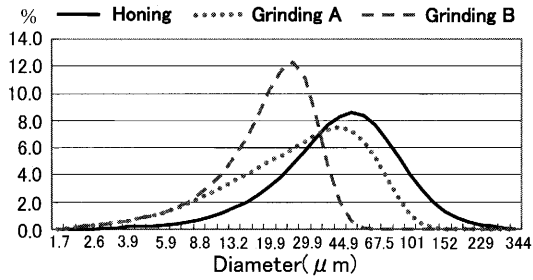


Fig. 6. Size distribution of honing and grinding swarf.

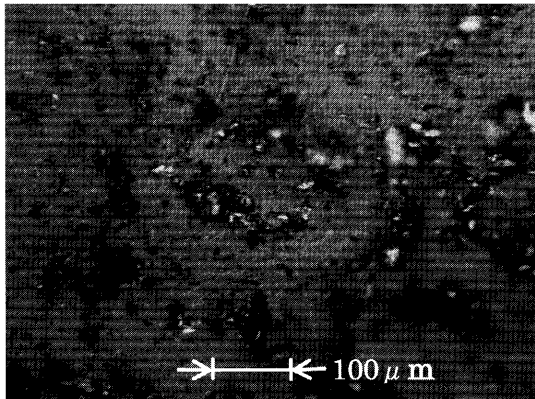


Fig. 7. Magnified honing swarf.

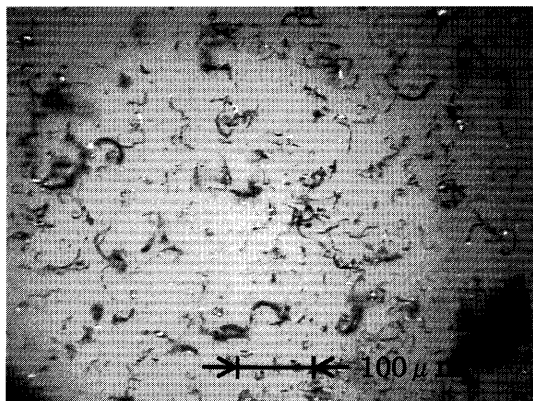


Fig. 8. Magnified grinding swarf.

成分が沈澱して加工液と分離することから、含油率の高いことが関係していると推定されるため含油率を調査した。その結果含油率は分離前で40wt%程度、分離後の沈澱した切粉部分で30wt%程度であり、研削スラッジの60~40wt%より低いことが判った。この結果より含油率の高さが原因ではないと考えられる。次の理由として切粉形状の違いに着目した。ホーニング切粉の顕微鏡写真をFig. 7に研削切粉の顕微鏡写真をFig. 8に示す。この写真から研削切粉は短く切断された糸屑状で互いに絡み易い形状をしているのに対し、ホーニング切粉は個々の切粉が丸まって互いに絡み難い形状をしていることが判る。

以上の比較調査結果より研削スラッジの場合は円筒状金型内で加圧すると互いに絡み合い易いため研削切粉は金型

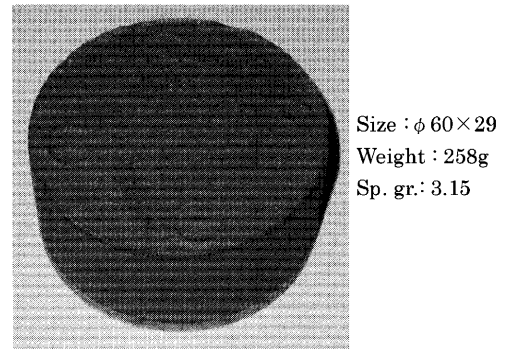


Fig. 9. Honing swarf briquette.



Fig. 10. Recovered honing oil after paper filtration.

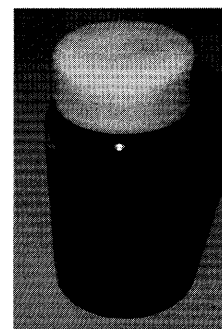


Fig. 11. Recovered honing oil after magnetic separation.

内に留まり、研削液のみが機械的な隙間（半径0.1mm程度）から流出するのに対して、ホーニングスラッジは互いに絡み難い形状をしていて粒子径は機械的な隙間より小さいことから加工液とともに流出してしまうことが原因と考えられる。

5.3 ホーニングスラッジの固液分離を可能にする改善案の試験結果

研削スラッジと同様な方法では固液分離が困難なホーニングスラッジを固液分離するためFig. 4に示す方法で試験した結果、切粉は流出することなく確実に固液分離されてFig. 9に示すようなブリケットのことができることが確認された。しかもペーパーフィルターを採用したことで加工液は濾過されて出てくるためFig.10に示すように非常に清浄で、現在マグネットセパレータで分離して再利用している加工液Fig.11と比較すると大幅に分離能力が向上していることが

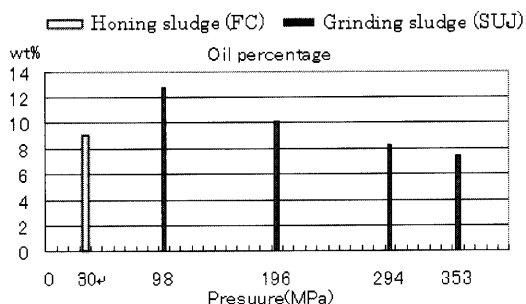


Fig. 12. Relation between pressure and oil wt%.

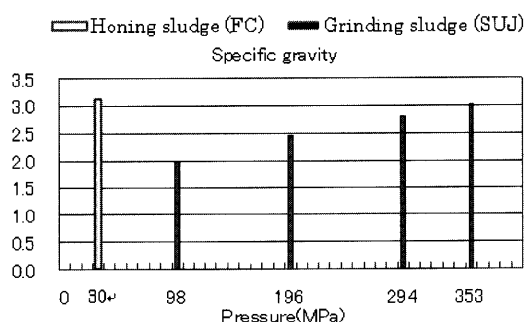


Fig. 13. Relation between pressure and specific gravity.

判る。

5.4 面圧と含油率の関係調査結果

製鋼メーカーのブリケット受入れ基準として含油率10wt%以下が求められているため、面圧と含油率の関係を研削スラッジと比較調査した結果をFig.12に示す。この結果よりホーニングスラッジは研削スラッジと比較して1桁低い30MPa程度で含油率10wt%以下を達成できることが判った。

5.5 面圧と比重の関係調査結果

製鋼メーカーのブリケット受入れ基準としてハンドリングし易いことが求められているが、これに対して研削スラッジリサイクルの実績で比重が2.5以上あれば実用上問題ないことが判っている。そこで面圧と比重の関係を研削スラッジと比較調査した結果をFig.13に示す。この結果よりホーニングスラッジは研削スラッジと比較して1桁低い30MPa程度で比重3.0を上回り、ブリケット強度は研削スラッジと同等以上であることが確かめられた。

6. 実用機の開発と試験結果

6.1 実用機の開発

基礎試験結果よりホーニングスラッジはペーパーフィルターを使用することで固液分離が可能となり、しかも研削スラッジと比較して1桁低い30MPa程度の面圧で、含油率10wt%以下でハンドリング容易なブリケットのできることも確認された。その結果に基づいて下記の特徴を持つ高圧フィルタープレス⁶⁾である実用機(Fig.14)を開発した。

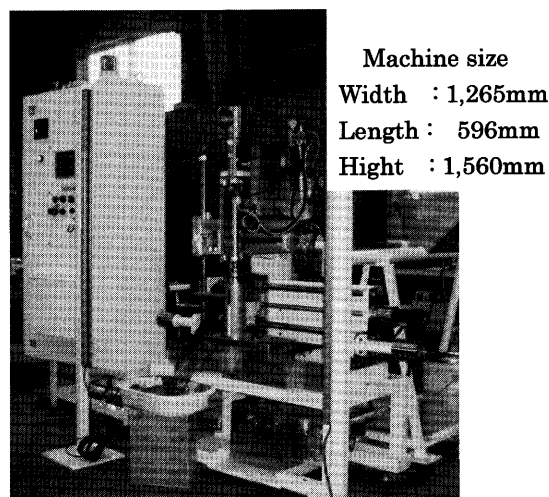


Fig. 14. Practical machine for honing sludge separation.

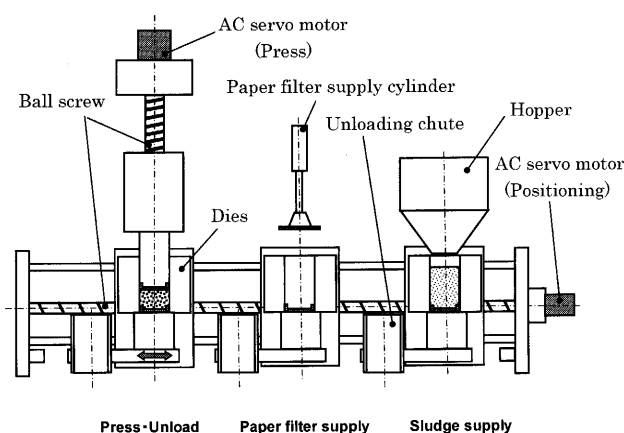


Fig. 15. Mechanism of practical machine for honing sludge separation.

- 電気・エア駆動
油圧駆動を採用しないことで、省エネで静粛な機械を実現
- コンパクト
発生場所に設置可能となり分別回収・分別処理を可能とする
- ペーパーフィルターの採用
清浄な加工液を分離して加工条件を改善
- ACサーボモータによる加圧
固液分離工程の最適化容易
機械はFig.15に示すように加圧・排出、ペーパーフィルター装填、スラッジ投入の3ステーションで構成されている。

6.2 試験結果

実用機で試験した時の加圧軸ACサーボモータの加圧トルクと加圧速度のモニター結果をFig.16に示す。今回の試験では加圧トルクを階段状に上げた。その結果加圧トルクが上昇した直後は加圧軸が前進して固液分離が進み、加圧トルクと固液分離の抵抗がバランスすると停止し、更に加

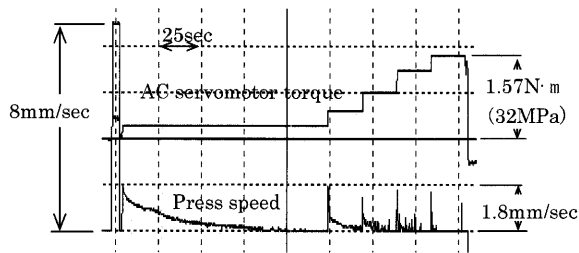


Fig. 16. Analysis of honing sludge separation process.

圧トルクを上昇させると同様の動作を繰り返すことが判る。今回の試験では最終的に面圧換算 32 MPa の加圧トルクを加えることで含油率 9.5 wt%、比重 3.1 ($\phi 60$ mm \times 230 mm, 263 g) のブリケットができ製鋼メーカーの受入れ基準を満たすことが確認された。

7. 経済的効果の試算

仮に含油率 40 wt% のホーニングスラッジ 1,000 kg を処理し、含油率 10 wt% のブリケットができた場合を考えると下記ようになる。なおホーニング加工液は不水溶性⁷⁾で比重は 0.9 である。

- ホーニングスラッジ中の金属成分重量
 $1,000 \text{ kg} \times (1 - 0.4) = 600 \text{ kg}$
- ホーニングスラッジ 1,000 kg 固液分離後ブリケット中に含まれる加工液重量: X kg
 $X \div (X + 600) = 0.1$ より $X = 66 \text{ kg}$
- 回収可能な加工液
 $1,000 \text{ kg} \times 0.4 - 66 \text{ kg} = 334 \text{ kg} \dots 370 \text{ L}$ (比重 0.9)
- 必要なペーパーフィルター枚数
 仮にブリケット重量が実用機の試験結果の 263 g とすれば、金属成分重量は $263 \text{ g} \times 0.9 = 237 \text{ g}$ であり必要なペーパーフィルター枚数は
 $600 \text{ kg} \div (237 \text{ g} \div 1000) \times 2 = 5,064 \text{ 枚}$

(経済効果の試算)

① 産廃処理費削減メリット

$30 \text{ 円/kg} \times 1,000 \text{ kg} = 30,000 \text{ 円}$
 …標準的な産廃処理費用 30 円/kg

② 加工液再利用メリット

$80 \text{ 円/L} \times 370 \text{ L} = 29,600 \text{ 円}$
 …加工液単価 80 円/L

③ ペーパーフィルターコスト

$2 \text{ 円/枚} \times 5,064 \text{ 枚} = 10,128 \text{ 円}$
 …ペーパーフィルター 2 円/枚

以上よりコストメリットは ① + ② - ③ = 49,472 円/t となり、ペーパーフィルターを使用しても十分に経済効果のあ

ることが判る。さらにブリケットが有価物⁸⁾となることで、産廃処理時に必要なマニフェスト⁹⁾の発行が不要となり管理経費の削減も可能となる。

8. 考察

8.1 ペーパーフィルターを使用することのメリット

当初ペーパーフィルターを採用する固液分離方式はコストアップとなり実用化は困難と推定されたが、経済効果試算で十分コストアップ分を吸収可能なばかりでなく、下記のようなメリットも得られることから今後普及が期待される。

- 毎回新品のペーパーフィルターを使用することで目詰まりが発生せず安定した固液分離が可能
- ペーパーフィルターで加工液汚れの原因である微細な切粉を封じ込め、クリーンな作業環境を実現

8.2 実用機の課題

今回開発した実用機で下記の改善を図り、環境負荷軽減推進に寄与させることが今後の課題である。

① 性能向上

- 処理能力アップ…固液分離工程を分析して効率的な固液分離を実現
- 濾過精度向上…ペーパーフィルターを選定して最適な固液分離を実現

② ランニングコストの削減

- ペーパーフィルターの材質見直し
 …安価なペーパーフィルターを選定

9. 結言

今回開発した高圧フィルタープレスはホーニングスラッジ以外にも幅広く適用可能と考えられるため、今後各種の汚泥状産業廃棄物の固液分離試験を実施し、適用範囲を拡大することで環境負荷軽減推進に寄与したいと考える。

文 献

- 1) 中山哲夫：廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック、(株)産業技術サービスセンター、東京、(1993)、5.
- 2) 吉澤 正：ISO14001 環境マネジメント便覧、日本規格協会、東京、(1999)、60.
- 3) 中村莞爾：Tetsu-to-Hagané, 92 (2006), 346.
- 4) 中村莞爾：Tetsu-to-Hagané, 92 (2006), 350.
- 5) 竹中規雄：機械工作法⑤研削加工、産業図書、東京、(1968)、170.
- 6) 日本粉体工業技術協会：濾過・圧搾技術マニュアル、日刊工業新聞社、東京、(1983)、274.
- 7) 竹中規雄：機械工作法⑤研削加工、産業図書、(1968)、52.
- 8) 安井 至：リサイクル百科事典、丸善、東京、(2002)、757.
- 9) 吉村 進：環境大辞典、日刊工業新聞社、東京、(2003)、688.