

Streszczenie

Celem pracy było opracowanie i optymalizacja innowacyjnej technologii odzysku metali ziem rzadkich ze zużytych dysków twardych (*ang. Hard Disk Drive HDD*) wyposażonych w magnesy neodymowe. Technologia opiera się wyłącznie na fizycznych metodach recyklingu, eliminując procesy chemiczne na etapie wstępnym.

Zweryfikowano trzy hipotezy badawcze dotyczące możliwości mechanicznego odzyskania czystego stopu neodymowego, większej wydajności i niższych kosztów metod mechanicznych w porównaniu z manualnymi oraz możliwości skalowania opracowanej technologii.

Metodologia obejmowała porównanie dwóch wariantów recyklingu: manualnego (demontaż ręczny z użyciem wiertarko-wkrętarki) oraz mechanicznego (zintegrowany ciąg operacji fizycznych). Proces mechaniczny składał się z rozdrabniania w specjalnie zaprojektowanym dezintegratorze z elementami niemagnetycznymi, separacji magnetycznej, termicznej demagnetyzacji magnesów, wielostopniowej klasyfikacji granulometrycznej, separacji grawitacyjnej, optycznej i elektrostatycznej oraz końcowego mielenia planetarnego.

Główne rezultaty potwierdziły wszystkie hipotezy badawcze. Uzyskano wysokiej jakości produkty odzysku tj.: stop neodymowy o czystości $>97\%$ (71% Fe, 26% Nd), czystą stal ferromagnetyczną, aluminium bez domieszek ferromagnetycznych oraz skutecznie rozdzielone tworzywa sztuczne i płyty obwodów drukowanych. Zaprojektowany dezintegrator osiągnął wydajność 65,24 kg/h przy zużyciu energii 1,29 kWh/kg HDD. Analiza ekonomiczna wykazała trzykrotną przewagę kosztową recyklingu mechanicznego (1 643 903 zł) nad manualnym (4 554 904 zł).

Opracowana technologia osiągnęła 4 poziom gotowości technologicznej i została zabezpieczona trzema zgłoszeniami patentowymi. Proces charakteryzuje się niskim zużyciem energii (1,1108 kWh/kg HDD), brakiem konieczności użycia wody procesowej oraz kontrolowaną emisją pyłu (0,004-0,027 g/m²xh).

Wnioski potwierdzają, że opracowana technologia umożliwia zamknięcie obiegu materiałowego zgodnie z koncepcją "magnet-do-magnet", oferując technicznie efektywną, ekonomicznie opłacalną i ekologicznie przyjazną alternatywę dla tradycyjnych metod odzysku metali ziem rzadkich z zużytych sprzętów elektronicznych zawierających magnesy neodymowe, z potencjałem wdrożenia przemysłowego.