

Recyklace Li-ion akumulátorů

J. Báňa^{1*}, T. Kazda¹

¹ Brno University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and communication, Department of Electrical and Electronic Technology, Technická 10, 616 00 Brno, Czech Republic

*Jiri.bana@vut.cz

Souhrn

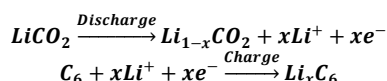
Hydrometalurgická recyklace lithium-iontových baterií (LIB) se stává klíčovou technologií pro udržitelnou recyklaci kritických materiálů, jako je lithium, kobalt a nikl. Tento článek se zaměřuje na popis recyklačních procesů. Mezi hlavní výzvy recyklace patří snížení dopadu na životní prostředí a zlepšení ekonomické účinnosti.

Klíčová slova: Li-iontová baterie, recyklace, hydrometalurgie

Úvod

Lithium-iontové baterie (LIB) se obecně skládají z pěti klíčových komponent: katody, anody, elektrolytu, separátoru a pouzdra. Katoda obsahuje hliníkový sběrač proudu potažený aktivním materiálem, obvykle oxidem přechodného kovu obsahujícím lithium. Anoda je obvykle vyrobena z grafitu na měděném sběrači proudu. Někdy však může být použit titaničitan lithný ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ - LTO). V současné době se do anody často přidává křemík, aby se zvýšila kapacita. Pouzdro je obvykle vyrobeno z hliníku nebo nerezové oceli, zatímco separátor se obvykle skládá z polymerních materiálů, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP) nebo jejich kombinace. [1][2]

LIB fungují na principu interkalace a deinterkalace. Během nabíjení se ionty lithia přesouvají z katody k anodě prostřednictvím elektrolytu, interkalují se mezi grafenové vrstvy grafitu, zatímco elektrony putují vnějším obvodem. Během vybíjení se proces obrací – lithium se vrací do krystalické struktury katody, zatímco elektrony proudí obvodem. Princip je znázorněn v rovnici níže. Jako materiál katody pro tuto rovnici byl zvolen LCO. [3][4]



Od uvedení LIB na trh v roce 1991 prudce vzrostla jejich poptávka, a to zejména díky elektromobilům, přenosné elektronice a systémům pro stacionární skladování energie. Tlak na zavádění elektromobilů za účelem snížení emisí uhlíku podpořil rychlý růst trhu s LIB, přičemž globální poptávka by měla do roku 2030 dosáhnout 4 700 GWh. Do té doby se podle odhadů nahromadí 11 milionů tun použitých LIB, přičemž do roku 2040 se tento objem zvýší na 340 000 tun ročně.

Recyklace těchto baterií je velmi důležitá, protože obsahují cenné kovy jako Li, Ni, Co, Mn, Al a Cu. Zpětné získávání těchto materiálů podporuje udržitelný dodavatelský řetězec a přeměňuje odpad na cenné suroviny. Navíc nesprávná likvidace představuje riziko pro životní prostředí a zdraví, takže efektivní recyklace LIB je nezbytná pro zpětné získávání zdrojů a snižování znečištění. [5]

Hydrometalurgický proces

Hydrometalurgický proces je klíčovou komerční metodou recyklace kovů z použitých LIB, která zahrnuje několik kroků k účinné regeneraci cenných materiálů. Nejprve se baterie rozeberou v inertní atmosféře, aby se odpařila elektrolytická rozpouštědla, která se poté zachytí kondenzací. K extrakci lithných solí se používá superkritický CO_2 . Rozdrcený materiál prochází dalším tříděním, při kterém se magneticky odstraní železné složky a elektrody se oddělí od separátorů pomocí proudu vzduchu.

Zahřátím materiálu na 400–600 °C se odstraní pojiva a oddělí se sběrače proudu od částic aktivního materiálu. Extrahuje se grafitový anodový materiál a proudové kolektory Cu/Al, zatímco lithium se vyluhuje z katodového materiálu. Aktivní materiál se rozpouští v kyselé směsi, kde se těžké kovy oddělí pomocí různých technik loužení, včetně oxalátů, organických kyselin (kyselina citronová nebo octová) nebo koncentrovaných minerálních kyselin (kyselina sírová, chlorovodíková a dusičná).

Loužení umožňuje zpětné získávání kovů extrakcí, srážením nebo elektrolytickým pokovováním. Lithiové ionty se však často ztrácejí jako odpad, zejména pokud je výstupem pouze černá hmota pro recyklaci, což vede k významné ztrátě zdrojů. Kromě toho hydrometalurgie generuje značné množství odpadních vod obsahujících chemické zbytky, které vyžadují řádné zpracování. Získávání některých kovů, zejména lithia, zůstává náročné kvůli jejich vysoké rozpustnosti a reaktivitě. Navzdory těmto omezením je hydrometalurgie široce používaným a slibným přístupem k udržitelnému recyklaci LIB. [6][7][8]

Poděkování

Tato práce byla podpořena specifickým vysokoškolským výzkumem VUT v Brně č. FEKT-S-23-8286.

Použitá literatura

- [1] L. S. Martins, L. F. Guimarães, A. B. Botelho Junior, J. A. S. Tenório, and D. C. R. Espinosa, “Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability”, *Journal of Environmental Management*, vol. 295, 2021.
- [2] E. Foreman, W. Zakri, M. Hossein Sanatimoghaddam, A. Modjtahedi, S. Pathak, A. G. Kashkooli, N. G. Garafolo, and S. Farhad, “A Review of Inactive Materials and Components of Flexible Lithium-Ion Batteries”, *Advanced Sustainable Systems*, vol. 1, no. 11, 2017.
- [3] X. Yuan, H. Liu, and J. Zhang, *Lithium-Ion Batteries: Advanced Materials and Technologies*. CRC Press, 2016.
- [4] Y. Wu, *Lithium-Ion Batteries: Fundamentals and Applications*. CRC Press, 2015.
- [5] Y. Dong, H. Ji, X. Wu, N. Zheng, J. Wang, G. Ji, Y. Chen, G. Zhou, and Z. Liang, “Trends of sustainable recycling technology for lithium-ion batteries: Metal recovery from conventional metallurgical processes to innovative direct recycling”, *MetalMat*, vol. 1, no. 1, 2024.
- [6] A. Zanoletti, E. Carena, C. Ferrara, and E. Bontempi, “A Review of Lithium-Ion Battery Recycling: Technologies, Sustainability, and Open Issues”, *Batteries*, vol. 10, no. 1, 2024.
- [7] F. Larouche, F. Tedjar, K. Amouzegar, G. Houlachi, P. Bouchard, G. P. Demopoulos, and K. Zaghib, “Progress and Status of Hydrometallurgical and Direct Recycling of Li-Ion Batteries and Beyond”, *Materials*, vol. 13, no. 3, 2020.
- [8] S. Nowak and M. Winter, “The Role of Sub- and Supercritical CO₂ as “Processing Solvent” for the Recycling and Sample Preparation of Lithium Ion Battery Electrolytes”, *Molecules*, vol. 22, no. 3, 2017.