



بررسی تأثیر دما و غلظت اسید نیتریک بر فرآیند تولید نیترات مس از کاتد مس مجتمع مس سونگون

سجاد زینال پور

چکیده

واکنش انحلال مس در اسید نیتریک، یک فرآیند کلیدی در صنایع هیدرومتالورژی است که برای تولید نیترات مس و سایر ترکیبات مسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مطالعه تأثیر عوامل مختلف از جمله دما، غلظت اسید نیتریک و زمان واکنش را بر میزان حل شدن مس و ویژگی‌های کریستال‌های نیترات مس بررسی کرده است. آزمایش‌ها در دماهای 27°C ، 70°C و 95°C و در دو غلظت ۴۵٪ و ۴۵٪ اسید نیتریک انجام شد.

نتایج نشان داد که با افزایش دما، سرعت واکنش افزایش یافته و زمان انحلال مس کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، در دمای 70°C و غلظت ۴۵٪، مس در مدت ۳۲ دقیقه به طور کامل حل شد، در حالی که در همان دما و با غلظت ۴۵٪، زمان حل شدن به ۵۵ دقیقه افزایش یافت {۱}. در دمای 95°C و غلظت ۴۵٪، ۹۵ گرم از ۱۰ گرم مس حل شد و ۰۵ گرم باقی ماند. در حالی که در همان دما و غلظت ۴۵٪، مقدار مس حل شده ۸۴ گرم بود و رسوب بیشتری مشاهده شد {۲}.

افزایش دما و غلظت اسید نیتریک تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های کریستال‌ها گذاشت. کریستال‌ها در دماهای بالاتر بزرگ‌تر و منظم‌تر بودند. با این حال، در دمای 95°C ، کریستال‌ها به دلیل تشکیل ناخالصی‌های سفیدرنگ، خلوص کمتری داشتند، که این ناخالصی در غلظت ۴۵٪ نسبت به ۴۵٪ بیشتر مشاهده شد {۳}.

این نتایج می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندهای هیدرومتالورژی و تولید نیترات مس با خلوص بالاتر و کیفیت بهینه‌تر کمک کند و به ارتقای بهره‌وری در صنایع مرتبط منجر شود {۴}.

کلمات کلیدی

مس، اسید نیتریک، نیترات مس، هیدرومتالورژی، انحلال، کریستال‌سازی، دما، غلظت

مس به عنوان یکی از فلزات استراتژیک در صنایع مختلف از جمله الکترونیک، تولید آلیاژها و فرآیندهای هیدرومتالورژی نقش کلیدی دارد. یکی از واکنش های مهم در فرآیندهای هیدرومتالورژی، انحلال مس در اسید نیتریک است که منجر به تولید نیترات مس $(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$ ، اکسیدهای نیتروژن و آب می شود. این واکنش به دلیل نقشش در تولید نیترات مس و دیگر ترکیبات مسی در فرآیندهای هیدرومتالورژی بسیار حائز اهمیت و تأثیرگذار است. مطالعات پیشین نشان داده اند که دما، غلظت اسید و سطح تماس مس با اسید نیتریک تأثیر زیادی بر سرعت واکنش و ساختار کریستال ها دارند {۵}. به طور خاص، مطالعات مختلف نشان داده اند که افزایش دما می تواند سرعت واکنش را افزایش داده و میزان انحلال مس را تسریع کند {۶}. همچنین، تحقیقات اخیر نشان می دهند که تغییر غلظت اسید نیتریک و مدت زمان واکنش می تواند بر کیفیت نیترات مس تولیدی و ویژگی های مورفولوژیکی آن تأثیرگذار باشد {۷}. طبق توضیحات Greenwood {۸}، مس و دیگر فلزات گروه انتقالی در واکنش های هیدرومتالورژی معمولاً رفتار مشابهی دارند که تأثیرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی را در این واکنش ها ایجاد می کند. این تحقیق به منظور بررسی دقیق تر تأثیر دما و غلظت اسید نیتریک بر نرخ واکنش و ویژگی های کریستال های نیترات مس انجام شده است. هدف این تحقیق، بررسی تأثیر دما و غلظت اسید نیتریک بر فرآیند انحلال مس و ارزیابی کیفیت نیترات مس تولیدی در شرایط مختلف است. این تحقیق می تواند به عنوان راهنمایی برای بهینه سازی فرآیندهای هیدرومتالورژی و تولید نیترات مس با خلوص بالا در صنایع مرتبط مفید واقع شود {۹}.

۲-شرح آزمایش

۲-۱-مواد و تجهیزات مورد استفاده

۲-۱-۱-مواد شیمیایی

در این آزمایش از اسید نیتریک آزمایشگاهی (دکتر مجلی) با دو غلظت ۶۵٪ و ۴۵٪ استفاده شد. همچنین، مس کاتدی مجتمع مس سونگون ورزقان به عنوان نمونه جامد اولیه به کار رفت. عناصر موجود در مس کاتدی توسط دستگاه جذب اتمی اشعه ایکس (شرکت PHILIPS مدل ARL-8410) شناسایی شدند که در جدول ۱ گزارش شده است.

عنصر	Cu	P	S	Cr	Pb	Se	Bi	Cd	Te	As	Si	Bi	Sb
ppm	999960	<1	6.7	<1	3.7	<0.3	<0.8	<0.2	<1.1	2	<1	<0.8	1.1

جدول ۱: آنالیز اشعه ایکس از نمونه مس کاتدی مجتمع مس سونگون ورزقان

۲-۱-۲-تجهیزات آزمایشگاهی



بشر ۲۵۰ میلی لیتری، کیف شیشه ای، هات پلیت، همزن مغناطیسی، دماسنج دیجیتال، کاغذ صافی، ترازوی دیجیتال، بالن ته گرد و انکوباتور برای انجام کریستال سازی

۲-۲ روش انجام واکنش

۲-۲-۱ آماده سازی مواد اولیه

۱۰ گرم مس کاتدی خالص به دقت وزن شد و در داخل یک بشر مقاوم به اسید قرار گرفت. سپس، برای هر آزمایش مقدار مشخصی اسید نیتریک ۶۵٪ (۵۹.۲۲ گرم) یا اسید نیتریک ۴۵٪ (۵۵.۵ گرم) به آرامی به آن اضافه شد.

۲-۲-۲ کنترل شرایط دمایی

آزمایش ها در سه دمای (۲۷، ۷۰ و ۹۵) درجه سانتی گراد انجام شدند. در هر دما، دو غلظت اسید (۴۵٪ و ۶۵٪) مورد بررسی قرار گرفتند.

- در دمای 27°C ، زمان حل شدن مس در اسید نیتریک با غلظت های ۴۵٪ و ۶۵٪ اندازه گیری شد (به ترتیب ۵۱ و ۷۴ دقیقه).
- در دمای 70°C ، سرعت انحلال و میزان تغییرات در حجم محلول بررسی گردید (زمان های انحلال به ترتیب ۳۲ و ۵۵ دقیقه).
- در دمای 95°C ، واکنش سریع تر اتفاق افتاد و دود قهوه ای رنگ (NO_2) بیشتری تولید شد. در این شرایط، امکان فیلتر کردن برای برخی نمونه ها وجود نداشت.

۲-۲-۳ همزدن و تحریک محلول

در تمامی مراحل، همزن مغناطیسی برای بهبود همگنی محلول و جلوگیری از رسوب گذاری استفاده شد. این کار باعث افزایش سرعت انحلال مس و یکنواختی واکنش شد.

۲-۲-۴ مشاهده تغییرات در طول واکنش

- در حین واکنش، تولید دود قهوه ای رنگ دی اکسید نیتروژن (NO_2) مشاهده شد.
- رنگ محلول به تدریج از شفاف به آبی روشن تغییر کرد.
- عدم حل شدن کامل مس در دمای 95°C و غلظت ۶۵٪ ممکن است به دلیل تبخیر سریع حلال و کاهش غلظت اسید نیتریک باشد که باعث کاهش قدرت انحلال می شود. همچنین، ممکن است فشار محیطی در دماهای بالا بر سرعت واکنش تأثیر بگذارد

۵-۲-۲ فیلتراسیون و تبخیر محلول

- پس از تکمیل واکنش، محلول فیلتر شد تا ناخالصی‌ها و ذرات باقی‌مانده جدا شوند.
- حجم محلول قبل و بعد از فیلتر شدن در دماهای (۲۷ و ۷۰ درجه) اندازه‌گیری شد به عنوان مثال، در 27°C و ۶۵٪ اسید: قبل فیلتر ۵۸.۰۴ گرم، بعد فیلتر ۵۰.۷ گرم.
- در دماهای (۲۷ و ۷۰ درجه)، فیلتر کردن انجام شد و پس از آن محلول در 95°C به مدت ۱ ساعت و ۵۵ دقیقه تبخیر شد.
- در آزمایش‌های 95°C ، فیلتر کردن انجام نشد و فقط به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد تا محلول غلیظ‌تر شود. حجم محلول قبل و بعد از تغلیظ ثبت شد (مثلاً در 95°C و ۶۵٪ اسید، از ۳۶.۴ گرم به ۳۴.۵ گرم کاهش یافت).

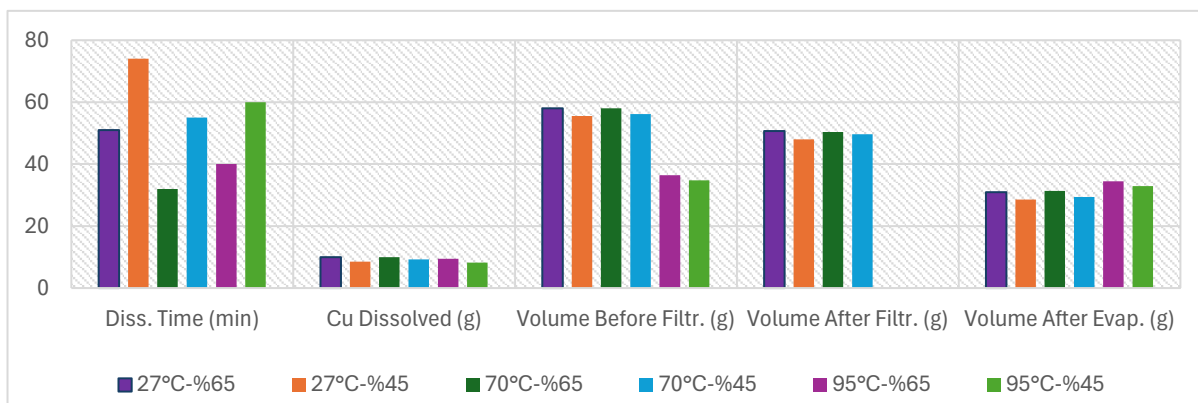
۶-۲-۲ کریستال‌سازی و تحلیل نمونه

- محلول تبخیر شده در دمای -5°C قرار گرفت تا فرآیند کریستال‌سازی آغاز شود.
- در نمونه‌های مختلف، کریستال‌های نیتрат مس با اندازه‌ها و رنگ‌های متفاوت تشکیل شدند:
- در غلظت ۶۵٪، کریستال‌های آبی و خوش‌فرم مشاهده شد.
 - در غلظت ۴۵٪، کریستال‌های کوچک‌تر و دارای کمی سفیدی به دست آمد.
 - در دمای 95°C ، کریستال‌ها درشت‌تر و دارای ناخالصی سفید بیشتری بودند.

۷-۲-۲ اندازه‌گیری و ارزیابی نتایج

- پس از تشکیل کریستال‌ها، وزن نهایی کریستال و محلول باقی‌مانده اندازه‌گیری شد.
- تأثیر دما، غلظت اسید و زمان واکنش بر میزان انحلال و ویژگی‌های کریستال‌ها بررسی گردید.

نتایج نشان داد که افزایش دما و غلظت اسید، تأثیر مستقیمی بر سرعت انحلال مس، میزان نیترات مس حاصل و ویژگی‌های کریستال‌های تشکیل شده دارد. در دماهای بالاتر، کریستال‌ها بزرگ‌تر اما دارای ناخالصی‌های بیشتر بودند.



شکل ۱: تأثیر دما و غلظت اسید بر فرآیند حل شدن مس، تغییرات حجم محلول و زمان واکنش

۳- بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که فرآیند انحلال مس در اسید نیتریک تحت تأثیر دما، غلظت اسید نیتریک و زمان واکنش قرار دارد. واکنش انحلال مس منجر به تولید نیترات مس ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)، اکسیدهای نیتروژن (NO) و (NO_2) و آب می‌شود. با تغییر شرایط مختلف آزمایش، تفاوت‌هایی در میزان انحلال مس، زمان واکنش و ویژگی‌های کریستال‌های تولید شده مشاهده گردید.

در آزمایش‌های انجام شده، تأثیر دما به وضوح نمایان بود. به عنوان مثال، در دمای 70°C با غلظت ۶۵٪ اسید نیتریک، مس در مدت زمان کوتاهی به طور کامل حل شد و محلول به رنگ آبی روشن درآمد. پس از تبخیر آب محلول، کریستال‌ها کوچک و یکنواخت شدند که نشان‌دهنده شرایط بهینه برای تشکیل نیترات مس با خلوص بالا است. این آزمایش بیانگر این است که افزایش دما و غلظت اسید به طور مستقیم بر سرعت واکنش و کیفیت کریستال‌ها تأثیر دارد.

در آزمایش‌هایی که در دمای 95°C انجام شد، سرعت واکنش به طور چشمگیری افزایش یافت و تبخیر حلال نیز سریع‌تر رخ داد. این موضوع منجر به تشکیل کریستال‌های درشت‌تر و متراکم‌تر شد که نسبت به شرایط قبلی، ناخالصی‌های بیشتری در آن‌ها مشاهده گردید. در این شرایط، به دلیل تبخیر سریع و کاهش غلظت اسید، مس به طور کامل حل نشد و ۰.۵ گرم مس باقی ماند. این نشان‌دهنده این است که در دماهای بالا، رسوب‌گذاری نیترات مس به طور سریع‌تر و درشت‌تر صورت می‌گیرد که ممکن است منجر به کاهش خلوص محصول نهایی شود.

در آزمایش‌هایی که با غلظت ۴۵٪ اسید نیتریک انجام شد، زمان انحلال مس طولانی‌تر و میزان انحلال نیز کاهش یافت. به ویژه در دماهای (70°C و 95°C درجه سانتی‌گراد)، کریستال‌ها به شکل کوچک‌تر و با ناخالصی بیشتری تولید شدند. این نشان می‌دهد که غلظت پایین‌تر اسید نیتریک می‌تواند سرعت واکنش را کاهش داده و کیفیت نیترات مس تولیدی را تحت تأثیر قرار دهد.



اثر غلظت اسید بر ویژگی‌های کریستال‌ها: در غلظت ۶۵٪ اسید نیتریک، کریستال‌ها بزرگ‌تر و یکنواخت‌تر بودند، در حالی که در غلظت ۴۵٪ اسید نیتریک، کریستال‌ها کوچک‌تر و دارای ناخالصی‌هایی مانند سفیدی بودند. این نتایج نشان می‌دهد که برای به‌دست آوردن نیترات مس با کیفیت بالا، استفاده از غلظت بالاتر اسید نیتریک ضروری است.

در نهایت، این تحقیق به‌وضوح نشان داد که دما و غلظت اسید نیتریک بر ویژگی‌های واکنش انحلال و کیفیت کریستال‌های نیترات مس تولیدی تأثیر زیادی دارند. در شرایط دمایی بالا و غلظت اسید کمتر، سرعت واکنش و تولید کریستال‌های درشت‌تر و ناخالص‌تر افزایش می‌یابد. این نتایج می‌تواند در بهینه‌سازی فرآیندهای هیدرومتالورژی و تولید نیترات مس با خلوص بالا و کیفیت بهتر در صنایع مرتبط مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۳ مقایسه با تحقیقات قبلی

مطالعات قبلی نشان داده‌اند که افزایش دما در فرآیند انحلال مس در اسید نیتریک سرعت واکنش را افزایش می‌دهد {۴}. نتایج ما نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کند، به‌طوری‌که در دمای 70°C و 95°C ، میزان انحلال مس به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین، در تحقیقاتی که توسط (Bai, Z., Zhang, L., & Zhang 2018, J) انجام شد، تأثیر غلظت اسید بر ویژگی‌های کریستال‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مشابهی در خصوص تأثیر غلظت بر اندازه و کیفیت کریستال‌ها به‌دست آمد.

۲-۳ تحلیل نتایج غیرمنتظره

یکی از نتایج غیرمنتظره این تحقیق عدم حل شدن کامل مس در دمای 95°C و غلظت ۶۵٪ بود. ۰.۵ گرم مس به‌طور کامل حل نشد و این ممکن است به دلیل تبخیر سریع حلال و کاهش غلظت اسید نیتریک باشد که موجب کاهش قدرت انحلال اسید می‌شود.

۴-۳ تأثیر تبخیر حلال

در دماهای بالاتر، تبخیر سریع حلال باعث افزایش سرعت تشکیل کریستال‌ها و در نتیجه افزایش ناخالصی‌ها می‌شود. این امر ممکن است منجر به کاهش خلوص نیترات مس تولیدی گردد و اهمیت کنترل فرآیند تبخیر در صنایع هیدرومتالورژی را نشان می‌دهد.

۴-نتیجه‌گیری

این پژوهش تأثیر دما بر فرآیند انحلال مس در اسید نیتریک و کریستال‌زایی نیترات مس را بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که دما تأثیرات قابل توجهی بر سرعت انحلال، میزان محصول نهایی و ویژگی‌های کریستال‌های حاصل از واکنش دارد. در این راستا، نتایج زیر حاصل شد:



۱-۴ بهینه سازی فرآیند انحلال:

افزایش دما سرعت انحلال مس را تسریع می کند، اما در دماهای بالاتر از 90°C ، تشکیل کریستال های درشت و ناخالص مشاهده گردید. در دماهای بین ۷۰ تا ۷۵ درجه سانتی گراد، مس به طور کامل حل شده و کریستال ها با اندازه های یکنواخت تر و خالص تر تشکیل شدند.

۲-۴ تأثیر دما بر کیفیت نیترات مس :

در دماهای بالاتر، به دلیل تبخیر سریع تر حلال، کریستال های نیترات مس با اندازه های بزرگ تر و ناخالصی های بیشتری (به ویژه ناخالصی های سفیدرنگ) تشکیل شدند. در مقابل، دماهای پایین تر، با کنترل بهتر فرآیند تبخیر، منجر به تشکیل کریستال های ریزتر و همگن تر با درصد خلوص بالاتر شدند.

۳-۴ کاربرد صنعتی و بهینه سازی تولید:

نتایج این تحقیق نشان می دهند که برای تولید نیترات مس با خلوص بالا و توزیع یکنواخت کریستالی، واکنش باید در دمای کنترل شده بین ۷۰ تا ۷۵ درجه سانتی گراد انجام شود. این دما تعادلی بین سرعت انحلال، کیفیت کریستال و حداقل سازی ناخالصی ها ایجاد می کند.

در نهایت، این مطالعه به وضوح نشان می دهد که تنظیم بهینه دمای واکنش می تواند نقش کلیدی در بهبود عملکرد فرآیندهای صنعتی مرتبط با استخراج و تولید ترکیبات مسی ایفا کند. کنترل دما نه تنها بر کیفیت محصول تأثیرگذار است، بلکه می تواند بازده تولید را افزایش داده و هزینه های تصفیه و خالص سازی را کاهش دهد. این یافته ها می توانند به عنوان یک راهنمای عملی برای صنایع هیدرومتالورژی و تولید ترکیبات شیمیایی مبتنی بر مس در راستای بهبود کیفیت و کاهش هزینه ها استفاده شوند.

۵-منابع:

- 1- Bai, Z., Zhang, L., & Zhang, J. (2018). Effect of temperature and nitric acid concentration on the dissolution kinetics of copper in nitric acid solution. *Hydrometallurgy*, 174, 108-115.
- 2- Deka, S., & Mohanty, P. (2020). A comprehensive review on the dissolution mechanism of copper in nitric acid. *Journal of Chemical Engineering and Technology*, 43(7), 1576-1585.
- 3- Farahani, M., & Zeynizadeh, B. (2022). The influence of nitric acid concentration and temperature on copper leaching process: Insights from experimental data and modeling. *Separation and Purification Technology*, 256, 117992.
- 4- Gao, Y., Li, J., & Zhang, H. (2017). The impact of temperature on the copper dissolution rate in nitric acid: A kinetic study. *Journal of Applied Electrochemistry*, 47(3), 235-241.



- 5- Hu, Y., & Zhang, J. (2019). Hydrometallurgical extraction of copper from copper ores: A review of recent advances. *Minerals*, 9(11), 719.
- 6- Lee, D., Kim, S., & Lee, H. (2021). Copper dissolution and nitric acid leaching behavior: Effect of acid concentration and temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 106365.
- 7- Liu, S., & Wang, Z. (2015). The kinetics of copper dissolution in nitric acid solution: Effects of temperature and concentration. *Hydrometallurgy*, 153, 15-22.
- 8- Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- 9- Xu, G., Liu, X., & Chen, H. (2016). Temperature and concentration effect on the dissolution of copper in nitric acid solution. *Journal of Materials Processing Technology*, 230, 143-149.