

7. **А. А. Браницкий.** Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак / **А. А. Браницкий**, И. В. Контенко. // Тр. СПИИРАН. – 2016. – С. 207–244.
8. **Тарасов Я.В.** Исследование применения нейронных сетей для обнаружения низкоинтенсивных DDoS-атак прикладного уровня / **Тарасов Я.В.** // Вопросы кибербезопасности. 2017. № 5(24). С. 23-29.
9. Нейросетевая модель выявления DDOS-атак / Воробьева Ю.Н., Катасёва Д.В., Катасёва А.С., Кирпичников А.П.. // Вестник технологического университета, Т. 21, №. 2. – 2018. – С. 94–98.
10. **Van N.** An anomaly-based network intrusion detection system using Deep learning / **Van N.**, Think T., Sach L. // 2 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE). Ho Chi Minh City, 2017. Pp. 210-214. DOI: 10.1109/ICSSE.2017.8030867
11. **Yin C.** A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks / **Yin C.**, Zhu Y., Fei J., He X. // IEEE Access. 2017. Vol. 5. Pp. 21954-21961. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2762418
12. **Шолле Ф.** Глубокое обучение на Python / **Шолле Ф.** – Питер: СПб, 2018. – 400 с.
13. **Розенблатт Ф.** Принципы нейродинамики: перцептроны и теория механизмов мозга = Principles of Neurodynamic: perceptrons and the theory of brain mechanisms / **Фрэнк Розенблатт.** – М.: Мир, 1965. – 480 с.
14. **Ian Goodfellow.** Deep learning (Adaptive computation and machine learning series). / **Ian Goodfellow**, Yoshua Bengio, Aaron Courville. – Cambridge, MA: MIT Press, 2017. – 775 с. –
15. **Richard P. Lippmann.** An introduction to computing with neural nets / **Richard P. Lippmann.** // IEEE ASSP Magazine. – С. 4 – 22.
16. Developing Realistic Distributed Denial of Service (DDoS) Attack Dataset and Taxonomy [Електронний ресурс] / Iman Sharafaldin, Arash Habibi Lashkari, Saqib Hakak, and Ali A. Ghorbani // IEEE 53rd International Carnahan Conference on Security Technology, Chennai, India – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ddos-2019.html>.

Рукопис подано до редакції 28.02.2020

УДК 622.026.01:669

С.Г. САВЕЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф., В.В. ПЛОТНИКОВ, канд. техн. наук, доц.,
О.В. БАБАЄВСЬКА, асистент
Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОВПЛИВУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ДРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ

Метою виконуваної роботи є дослідження механізму руйнування матеріалу під дією електрогідравлічного удару й встановлення технологічних можливостей застосування даного явища в металургійній переробці.

Методи дослідження для вирішення поставлених завдань у роботі використовувалися такі, як узагальнення наукової інформації; рН-метрія й потенціометрія рідкої фази; вимірювання електрокінетичного потенціалу поверхні мінералів; лабораторні дослідження; технологічні випробування; гранулометричний і мінералогічний аналізи; методи статистичної обробки результатів досліджень; мікроскопічний аналіз; магнітний аналіз мономінеральних фракцій.

Наукова новизна даного дослідження полягає у встановленні механізму прояву електрогідравлічного ефекту і його руйнуючого впливу на провідні матеріали при їх дробленні.

Практична значимість роботи полягає в дослідженні електрогідравлічного дроблення шлакових систем, а також розробці способів дроблення крихких провідних матеріалів з використанням електровпливу, що може слугувати основою для нових технологій дроблення металургійних шлаків з метою їх подальшого використання в металургійній переробці.

Результати роботи. У роботі розглянуті процеси, що відбуваються при здійсненні методу спільного електрогідравлічного дроблення в'язкого не провідного струм і крихкого провідного матеріалів. Встановлений механізм руйнуючого впливу електрогідравлічного ефекту. З'ясовано, що сутність методу «зовнішнього удару» зводиться до того, що електрогідравлічний удар здійснюється в рідині, але не всередині об'єму, заповненого провідним матеріалом, а поза ним й на такій відстані від матеріалу, щоб іскровий розряд, маючи достатню довжину для повного використання енергії даного імпульсу, був розташований можливо ближче до поверхні шару матеріалу, що руйнується.

Представлені конструкції й принцип роботи дробарок, призначених для дроблення крихких провідних матеріалів до будь-якої крупності – від 20 мм і дрібніше. Представлена технологія може бути застосована для дроблення металургійних шлаків, що становить значний промисловий інтерес. Знайдене ефективне технологічне рішення, що дозволяє виділяти метал з металургійних шлаків в установках надтонкого дроблення з використанням електровпливу.

Ключові слова: дроблення, електровплив, металургійний шлак, електрогідравлічний ефект, розряд.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-112-118

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Застосування електро впливу – це досить прогресивний спосіб перетворення електричної енергії в механічну, що відбувається без посередництва проміжних механічних ланок, з високим ККД. Сутність цього способу полягає в тому, що при здійсненні всередині об'єму рідини, що знаходиться у відкритій або закритій посудині, спеціально сформованого імпульсного електричного (іскрового, кистьового й інших форм) розряду навколо зони його утворення виникають надвисокі гідравлічні тиски, що здатні виконувати корисну механічну роботу й супроводжуються комплексом фізичних і хімічних явищ [1-3].

Основними факторами, що визначають виникнення ефекту, є амплітуда, крутість фронту, форма й тривалість електричного імпульсу струму. Тривалість імпульсу струму вимірюється в мікросекундах, тому миттєва потужність імпульсу струму може досягати сотень тисяч кіловат. Крутість фронту імпульсу струму визначає швидкість розширення каналу розряду. При подачі напруги на розрядні електроди в кілька десятків кіловольтів амплітуда струму в імпульсі досягає десятків тисяч ампер. Все це зумовлює різке й значне зростання тиску в рідині, що викликає в свою чергу потужну механічну дію розряду.

Аналіз досліджень і публікацій. Здійснення електро ефекту пов'язане з відносно повільним накопиченням енергії в джерелі живлення й практично миттєвим її виділенням у рідкому середовищі. Основними діючими факторами є високі й надвисокі імпульсні гідравлічні тиски, що приводять до появи ударних хвиль зі звуковою і надзвуковою швидкостями; значні імпульсні переміщення об'ємів рідини, що відбуваються зі швидкостями, які досягають сотень метрів за секунду; потужні імпульсно виникаючі кавітаційні процеси, здатні охопити відносно більші об'єми рідини; інфра- і ультразвукові випромінювання; механічні резонансні явища з амплітудами, що дозволяють здійснювати взаємне відшаровування один від одного багатокомпонентних твердих тіл; потужні електромагнітні поля; інтенсивні імпульсні світлові, теплові, ультрафіолетові, а також рентгенівські випромінювання; імпульсні гама- і (за надвеликих енергій імпульсу) нейтронне випромінювання; багаторазова іонізація сполук і елементів, що містяться в рідині.

Постановка задачі. Всі ці фактори дозволяють чинити на рідину й об'єкти, поміщені в неї, досить різноманітні фізичні й хімічні впливи. Так, ударні переміщення рідини, що виникають при розвитку й схлопуванні кавітаційних порожнин, здатні руйнувати неметалічні матеріали й викликати пластичні деформації металевих об'єктів, поміщених поблизу зони розряду. Потужні інфра- і ультразвукові коливання, додатково диспергують вже здрібнені матеріали, викликають резонансне руйнування великих об'єктів на окремі кристалічні частки, здійснюють інтенсивні хімічні процеси синтезу, полімеризації, обриву сорбційних і хімічних зв'язків. Електромагнітні поля розряду також впливають як на сам розряд, так і на іонні процеси, що протікають у оточуючій його рідині. Під їхнім впливом можуть відбуватися різноманітні фізичні й хімічні зміни в оброблюваному матеріалі. В зв'язку з вищевикладеним, дослідження механізму прояву електрогідравлічного ефекту і його руйнуючого впливу на різні матеріали представляє науковий інтерес, а застосування його для дроблення є важливим практичним завданням.

Викладення матеріалу та результати. Поняття рідини як середовища для виникнення електрогідравлічних ударів має бути розширене на всі еластичні й навіть тверді (наприклад, силіци) матеріали. Форма розряду, що викликає виникнення імпульсних тисків, може бути найрізноманітнішою: іскровий, кистьовий, так званий імпульсний електричний вітер.

Основою, що забезпечує різноманітні технологічні можливості даного ефекту, є метод одержання так званих наддовгих іскрових розрядів у провідних рідинах [4]. Електрогідравлічний ефект може бути отриманий і в результаті «теплого вибуху», при якому іскровий розряд між електродами, поміщеними в рідину, замінюється електричним тепловим вибухом провідного струму елемента, що замикає електроди [4,5]. Використання цього методу дозволяє поширити область електрогідравлічної обробки на високотемпературні середовища, у тому числі на плазму й розплави солей і металів. Високий ККД електро впливів, а також їх унікальні можливості є основою для широкого застосування в промисловості, зокрема такі впливи можуть бути застосовані для дроблення різних матеріалів.

Дроблення крихких провідних матеріалів здійснити методом «внутрішнього удару» практично неможливо, тому що ці матеріали, оточуючи з усіх боків робочий іскровий проміжок дробарки, закорочують його таким чином, що розряду не виникає (струм йде через метал), а,

отже, не виникає й потрібного ефекту. Однак досвід показав, що якщо до будь-якого в'язкого з більшим внутрішнім тертям і не провідного струм матеріалу (наприклад, діабазу) додати (до 20% від маси вихідного матеріалу) підлягаючий дробленню крихкий провідний матеріал (наприклад, карбід вольфраму) і таку суміш піддавати електрогідравлічному дробленню до крупності щебню або піску на звичайних електрогідравлічних дробарках, то короткого замикання можна уникнути й успішно здійснити спільне дроблення цих матеріалів [6]. При цьому подрібнюється або один метал, або обидва компоненти, що потім легко розділяються внаслідок великої різниці густин.

Процес дроблення при здійсненні цього методу, імовірно, відбувається в основному за рахунок взаємних зіткнень часток непровідного матеріалу із частками провідного матеріалу під дією електричного впливу, що виникає від розрядів у проміжках між провідними частками. При цьому якщо основний удар дробить насамперед розташовані вдалині від каналу розряду зовнішні частки провідного матеріалу, то кавітаційний удар дробить внутрішні частки, через які раніше проходив канал розряду (рис. 1 *a-в*). Стримери, що ростуть від позитивного електрода, доростають до негативного електрода й утворюють іскровий канал розряду (рис. 1*a*). При цьому стримери проходять через кілька часток провідного матеріалу.

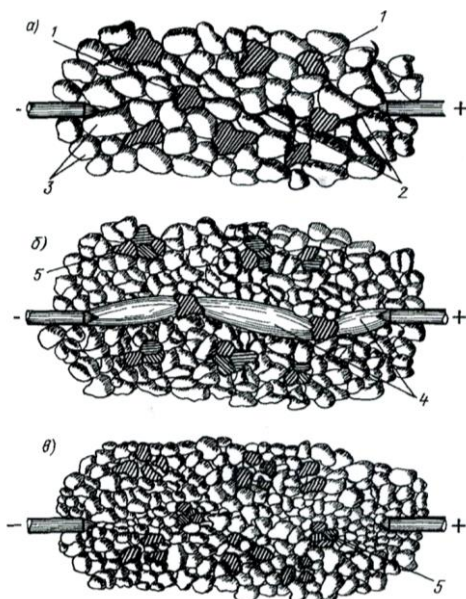


Рис. 1. Схема розвитку процесу при спільному дробленні: *a-в* – послідовні стадії процесу: 1 – провідні частки; 2 – канал розряду й стримери; 3 – непровідні частки; 4 – кавітаційна порожнина; 5 – зруйновані провідні частки

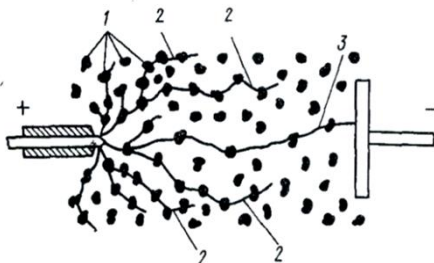


Рис. 2. Схема розвитку пробою між провідними частками в рідині: 1 - провідні частки; 2 – стримери; 3 - канал розряду

подальше зростання стримерів при заданій напрузі стане неможливим. Для подальшого проростання стримерів необхідно підвищити напругу, а це призведе до збільшення витрат енергії. У зв'язку з цим був розроблений і інший спосіб дроблення таких матеріалів, заснований на методі «зовнішнього удару» [7,8].

Основна маса матеріалу оточує з усіх боків провідні включення, що розташовані як по лінії каналу розряду, так і ті, що знаходяться вдалині від нього. На наступній фазі процесу (рис. 1*б*) між електродами навколо каналу розряду вже утворилася кавітаційна порожнина, всередині якої знаходяться провідні частки, що лежали раніше на шляху каналу. Основний гідравлічний удар залишив цілими частки, що лежать на шляху каналу розряду, але роздробив частки, розташовані поза ним. Одночасно роздробився й увесь інший матеріал. Наступна фаза процесу (рис. 1*в*) відображає момент, коли кавітаційна порожнина захлопнулася. При цьому роздробилися частки, що лежали раніше на шляху каналу розряду.

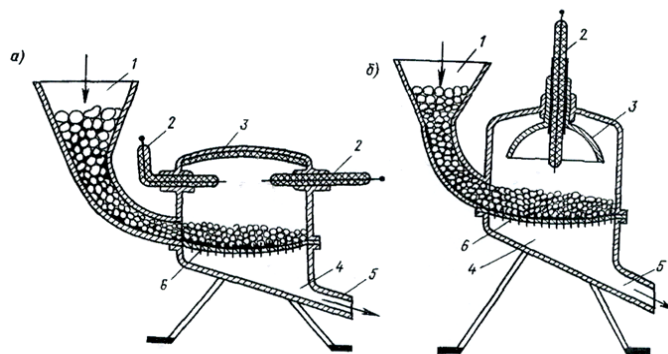
Розглядаючи процеси, що відбуваються при здійсненні методу «спільного дроблення», слід вказати також і причину того, чому розряд, що виникає в об'ємі, який містить порівняно великі частки розрізаних провідних включень, виникає не обов'язково по найкоротшому шляху, а по такому, на якому при всіх інших рівних умовах знаходиться найменше число провідних часток (рис. 2).

Це пояснюється тим, що стример, який росте в рідині від позитивного електрода (як потік електронів, що рухається до негативного електрода), доростаючи до найближчої провідної частки, включає в систему позитивного електрода й усю поверхню цієї частки, збільшуючи тим самим активну поверхню позитивного електрода на величину площі поверхні «приєднаної» частки. Доростання стримера до інших часток разом з кожною з них буде збільшувати цю поверхню доти, доки сумарна активна поверхня в системі позитивного електрода відповідно до принципу одержання наддовгих розрядів не стане настільки великою, що

Сутність методу «зовнішнього удару» зводиться до того, що електрогідрравлічний удар здійснюється в рідині, але не всередині об'єму, заповненого провідним матеріалом, а поза ним й на такій відстані від матеріалу, щоб іскровий розряд, маючи достатню довжину для повного використання енергії даного імпульсу, був розташований можливо ближче до поверхні шару матеріалу, що руйнується.

З цією метою застосовують дробарки двох типів. В обох типах дробарок провідний крихкий матеріал, що руйнується, тонким шаром розташовують на решітчастому днищі дробарки. Дробарка з паралельним розрядом (рис. 3а) призначена для дроблення крихких провідних матеріалів [9] до будь-якої крупності — від 20 мм і дрібніше. Крупність помелу в ній, як і у звичайних електрогідрравлічних дробарках, задається діаметром вихідних отворів днища. Транспортування роздробленого матеріалу з бункера дробарки може бути як гідрравлічним, так і примусовим (за допомогою транспортера). Дробарка має два верхні, ізольовані від корпусу електроди, розташовані паралельно шару оброблюваного матеріалу, і бічну подачу матеріалу. Видалення матеріалу здійснюється гідротранспортом. Негативний електрод дробарки з'єднаний електрично з корпусом дробарки й заземлений.

Рис. 3. Електрогідрравлічні дробарки для крихких провідних матеріалів: а - з паралельним розрядом; б - з перпендикулярним розрядом; 1 - завантажувальна воронка; 2 - електроди; 3 - відбивач; 4 - прийомний бункер; 5 - вивідний канал; 6 - решітчасте дно дробарки



Матеріал, що безупинно завантажується в прийомну воронку, поступає (у вигляді шару) на днище, що має сітку каліброваних отворів, що визначають верхню межу крупності дроблення. Електрогідрравлічні удари фокусуються на матеріал відбивачем з еластичного діелектрика, розташованим на нижній частині кришки корпусу.

Роздроблений матеріал надходить в бункер, звідки по каналу виноситься назовні водою, що безупинно подається в дробарку. При роботі вода повинна заповнювати весь корпус дробарки. Іскровий розряд у ній необхідно розташовувати вище шару матеріалу на мінімальній відстані, що є трохи більшою за половину довжини іскри при обох ізольованих електродах і трохи більшою за довжину іскри при заземленому негативному електроді.

Дробарка з перпендикулярним розрядом (рис. 3б) призначає для тих же цілей, має аналогічну конструкцію (за винятком того, що в ній в якості негативного електрода використаний шар провідного матеріалу, що лежить на металевому днищі). Матеріал завантажується в прийомну воронку й попадає на днище дробарки, що має сітку каліброваних отворів, де й розташовується у вигляді шару. Верхній позитивний ізольований електрод утворює між шаром матеріалу й переднім кінцем робочий іскровий проміжок. Для посилення дії й локалізації спрямованості електрогідрравлічних ударів використовують фокусуючий відбивач, встановлений на корпусі дробарки й регульований по висоті. Роздроблений матеріал провалюється через сітку отворів днища в бункер, звідки по каналу видається назовні. Конструктивно дробарка може бути виконана й з декількома електродами, розміщеними в одному подовженому корпусі із загальним подовженим завантажувальним каналом і прийомним бункером.

Представлена технологія може бути застосована для ефективного дроблення металургійних шлаків, що становить значний інтерес. Шлаки є складним конгломератом сплавлених між собою часток різного складу, що різко відрізняються за механічною міцністю, у якому найчастіше у великій кількості зустрічаються включення «корольків» (дрібних злитків металу). Шлаки можуть надходити на дроблення холодними, гарячими або навіть рідкоплинними й віддавати водному середовищу різні розчинні сполуки, що роблять воду більш провідною.

Електроімпульсне дроблення холодних шлакових мас, що не містять злитків металу, які перевищують за крупністю верхню межу заданої крупності дроблення, не зустрічає особливих труднощів. Дроблення таких шлаків може вестися у звичайних електрогідрравлічних дробарках аж до надтонкого здрібнювання. В міру дроблення шлаків шматки-злитки металу, що містяться

в ньому (заліза, чавуну, міді, алюмінію тощо) та не піддаються електродробленню, будуть накопичуватися на днищі дробарки доти, поки це не викличе короткого замикання електродів і тоді процес дроблення припиниться. Для відновлення процесу дроблення й підтримки його безперервності необхідно періодично (або постійно) скидати злитки, що накопичуються на днищі дробарки, металу, (наприклад, поступовим опусканням днища дробарки) у спеціальний приймач, звідки злитки видаляються звичайним способом.

Виходячи з того, що процес дроблення здійснюється в безупинно замінному водному середовищі, що заповнює весь корпус дробарки, а при необхідності і її прийомний бункер, в збільшений за розмірами і заповнений водою бункер дробарки може надходити не тільки гарячий, але навіть і доведений до рідкого стану шлак. Потім шлак буде швидко охолоджуватися, інтенсивно розтріскуватися, утворюючи гранули, і надходити далі на дроблення вже холодним і крихким. Солі й сполуки, що віддаються шлаками, переходять в розчин і роблять воду провідною, швидко розбавляються до безпечних для процесу дроблення концентрацій і виносяться із зони дроблення водою, що надходить.

Для руйнування діелектричних крихких складових шлаку при його дробленні може бути використаний спосіб, при якому електрогідравлічні удари виникають не всередині породи шлаку, а поза неї, тим самим виключається можливість виникнення короткого замикання. Це досягається здійсненням електрогідравлічних впливів або над шаром шлаків, або під ним, або всередині між шарами. При цьому розряд може виникати між двома (або декількома) самостійними парами електродів або між одним (або декількома) електродом і шлаками (із провідними включеннями), що покривають другий електрод [10].

При аналізі процесів, що виникають при електрогідравлічному дробленні металургійних шлаків, була знайдена ще одна можливість застосування електровпливу для спеціального виділення металу зі шлаків або з руд, що містять самородні метали. Виявилось можливим включити електродроблення металургійних шлаків як технологічний елемент у металургійний процес із метою безперервної переробки й видалення шлаків безпосередньо від доменних і інших металургійних печей з наступним гідротранспортуванням його у відвал або на подальшу переробку. Металургійні шлаки, перероблені в продукт надтонкого здрібнювання, відразу ж після їхнього виходу з металургійного процесу, дають досить якісний цемент, а вилучений з них метал може бути відразу використаний за своїм призначенням. Крім того, застосування цього способу усуває й необхідність у відвалах. Також у процесі електрогідравлічного дроблення у воду зі шлаків буде переходити багато хімічних елементів у вигляді їх розчинних сполук, що представляють цінність для технічних цілей або як добрива в сільському господарстві.

Досвід показав, що з будь-якого металургійного шлаку кольорової або чорної металургії без особливих витрат і застосування складних пристроїв з витратою енергії 5-15 кВт-год на 1 т шлаків, що переробляються, може бути виділено до 95 % металу, що міститься в ньому. «Корольки» і найдрібніші лусочки металу виходять при цьому зовсім чистими, без слідів часток шлакових включень. Цей спосіб може бути застосований і до всіх руд, що містять чистий самородний метал у вигляді краплень.

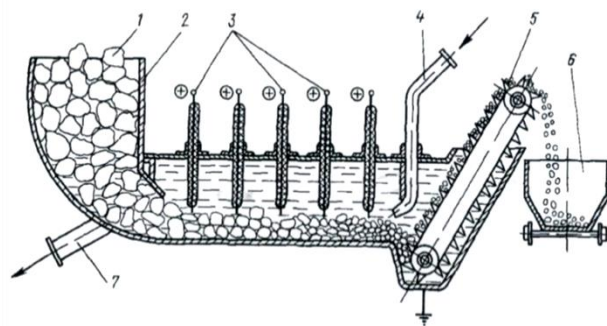
Виділення металу може бути організоване як при перериваному, так і при безперервному процесі. Пристрій для здійснення перериваного процесу може бути виготовлене по типу звичайної бетономішалки, в яку вводиться один центральний нерухливий електрод таким чином, щоб його відігнутий кінець утворював з корпусом бетономішалки й шаром шлаків робочий іскровий проміжок. Вода, що безупинно надходить до корпусу, в міру дроблення шлаку вимиває й видаляє його, а повільне обертання корпусу бетономішалки постійно підводить до зони руйнування ще не роздроблені шматки шлаку. Після того як в корпусі залишиться тільки один чистий метал, обертання корпусу припиняється, він нахилиється й виділений метал зсипається в приймач. Далі процес повторюється в тій же послідовності.

Виділення самородних металів з руд може вестися також і в колоїдних електрогідравлічних дробарках [11]. Найбільш ефективним рішенням для електродроблення може бути установка, представлена на рис. 4. Виділення металу зі шлаку здійснюється тут безупинно, при

цьому енергія електровпливу використовується одночасно й для переміщення оброблюваного матеріалу.

Установка працює наступним чином. В бункер завантажують вихідний матеріал - шлак з «корольками» металу, а через вхідний патрубок установка заповнюється робочою рідиною. Через комутуючий пристрій послідовно за заданою програмою здійснюється підключення робочих електродів. Тим самим створюється «хвиля, що біжить», що переміщає оброблюваний матеріал до вихідного патрубка. Одночасно з переміщенням під дією електровпливу відбувається безперервне виділення металу зі шлаків, і до моменту підходу оброблюваного матеріалу до вихідного патрубка установки відбувається повне відділення металу від шлаку. Здрібнений шлак вимивається через вихідний патрубок водою або іншою робочою рідиною, що подається протитечією через вхідний патрубок. Виділений метал збирається у вивідному бункері, звідки вивантажується транспортером. Швидкість переміщення оброблюваного матеріалу й, отже, тривалість впливу на нього електрогідралічних ударів регулюються зміною кута нахилу ванни відносно горизонту.

Рис. 4. Установка для безперервного виділення металу зі шлаків: 1 - шлак, що завантажується; 2 - завантажувальний бункер; 3 - позитивні електроди; 4 - подача води; 5 - елеватор для очищеного металу; 6 - транспортна вагонетка; 7 - вихід води із суспензією шлаків



Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином застосування електричних впливів у рідких середовищах відкриває широкі перспективи вдосконалювання діючих, а також створення нових альтернативних технологій в сучасній металургії й суміжних з нею виробництвах.

Список літератури

1. Губин Г.В. Особенности загрязнения поверхности минералов в процессе измельчения / Г.В. Губин, В.В. Плотников // Вісник Криворізького технічного університету. - №7. - Кривий Ріг: КТУ, 2005. - С. 77-82.
2. Губин Г.В. Влияние электроимпульсной обработки на процесс магнитной сепарации / Г.В. Губин, В.В. Плотников // Качество минерального сырья: сборник научных трудов. - Кривой Рог, 2005. - С. 257-260.
3. Губин Г.В. Влияние формы импульса на показатели электрообработки при интенсификации процесса магнитного обогащения / Г.В. Губин, Т.А. Олейник, В.В. Плотников // Разработка рудных месторождений: научно-технический сборник. - Вып. 84. - Кривой Рог, 2003. - С. 87-90.
4. Жекул В.Г. К теории формирования электрического разряда в проводящей жидкости / В.Г. Жекул, Г.Е. Раковский // Журнал технической физики. - №53. - Вып.1. - 1983. - С. 8-14.
5. Курец В.И. Стадиальное электроимпульсное разрушение твердых тел. Известия Томского политехнического университета. - 2013. - Т. 322, №4. - С. 74-77.
6. Саденова К.К. Электрогидроимпульсный способ измельчения волластонитовой руды / К.К. Саденова, Н.Н. Шушубаева, Н.К. Танашева, Б.Б. Кутум, А.Ж. Глеубергенова // Молодой ученый. - №19. - 2015. - С. 171-174.
7. Семкин Б.В. Основы электроимпульсного разрушения материалов / Б.В. Семкин, А.Ф. Усов, В.И. Курец - Л.: Наука, 1988. - 277 с.
8. Гаврилов Г.Н. Разрядно-импульсная технология обработки минеральных сред / Г.Н. Гаврилов, Г.Г. Горювенко, П.П. Малюшевский, А.Г. Рябинин. - Киев: Наукова думка, 1976. - 164 с.
9. Ризун, А.Р. К вопросу об определении производительности электроразрядного разрушения хрупких неметаллических материалов / А.Р. Ризун, В.М. Косенков // Электронная обработка материалов. - 2001. - № 1. - С. 45-50.
10. Ризун, А.Р. Электроразрядное разрушение неметаллических материалов / А.Р. Ризун, В.Н. Цуркин // Электронная обработка материалов. - 2002. - № 1. - С. 83-85.
11. Гульий, Г.А. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г.А. Гульий, П.П. Малюшевский, Е.В. Кривицкий. - М.: Машиностроение, 1977. - 320 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.2020