

УДК 622.7:53.083.72

## ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНЫХ МЕТОДАХ В КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

**Коростовенко В.В., Коростовенко Л.П., Стрекалова Т.А., Стрекалова В.А.**

*ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru*

Рассмотрены импульсные методы в комбинированных технологиях переработки минерального сырья. Описаны особенности физических процессов при разрядноимпульсных методах. Представлена классификация разрядноимпульсных методов. Определены условия осуществления разрядноимпульсной обработки. Приведена схема взаимосвязей основных физических процессов разрядноимпульсной обработки и их влияние на выходные показатели при переработке минерального сырья. Выделены основные направления переработки руд.

**Ключевые слова:** разрядноимпульсные методы, минеральное сырье, электрический разряд, комбинированные схемы

## FEATURES OF PHYSICAL PROCESSES WITHIN THE COMBINED RAZRYADNOIMPULSNOYH MINERAL PROCESSING

**Korostovenko V.V., Korostovenko L.P., Strekalova T.A., Strekalova V.A.**

*FGAOU HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru*

We consider pulse techniques in combined mineral processing. The features of the physical processes at razryadnoimpulsnyh methods. The classification razryadnoimpulsnyh methods. The conditions of the razryadnoimpulsnoy processing. The chart of the relationship of the basic physical processes razryadnoimpulsnoy processing and their effect on output performance in the processing of mineral raw materials. Main directions of ore processing.

**Keywords:** razryadnoimpulsnye methods, minerals, electric discharge, the combined scheme

Развитие ресурсосберегающих технологий при добыче полезных ископаемых все более прочно основывается на расширении вовлечения в разработку запасов, традиционно считавшихся забалансовыми, и полезных ископаемых, сконцентрированных в техногенных месторождениях, что расширяет сырьевую базу. Вместе с тем, переработка рудного сырья сопровождается неоправданно высокими потерями, что обусловлено объективными причинами, главной из которых акад. Б.Н. Ласкорин считает практическую невозможность использовать традиционные методы для интенсификации процессов обогащения полезных ископаемых. Ужесточение природоохранного законодательства еще более обостряет проблему повышения полноты и комплексности использования минерального сырья.

В этих условиях все большее внимание уделяется разработке комбинированных схем и технологий, в том числе основанных на энергетических воздействиях, к числу которых относятся импульсные методы, базирующиеся на весьма кратковременном действии источника мощного импульса, источниками которого являются взрыв химических веществ и высоковольтный электрический разряд в жидких полидисперсных средах, осуществляемый пробоем межэлектродного промежутка либо взрывным испа-

рением проводника малого сечения, замыкающего разрядный промежуток.

Импульсные методы в комбинированных технологиях переработки минерального сырья, призванных повысить полноту и комплексность его использования при одновременном снижении антропогенной нагрузки в районах размещения территориально-промышленных освоения комплексов, требуют научного обоснования и широкого промышленного освоения.

Исходным признаком технологий, основанных энергетическом воздействии на объект обработки, является весьма кратковременный (до 150 мкс) характер единичного воздействия, т.е. импульсное воздействие, одним из источников которого является электрический разряд в технологической среде в режиме короткого замыкания. С другой стороны, характерной особенностью электротехнологических процессов и установок является то, что энергия электрического тока непрерывно или импульсно подводится непосредственно к технологическому объекту, минуя промежуточные преобразования в другие виды энергии [1]. В самом объекте (его рабочей зоне) электрическая энергия преобразуется в механическую, тепловую или химическую виды энергии, обуславливающие порознь или совместно реализацию заданного

технологического процесса, т.е. зона преобразования энергии является нагрузкой – приемником энергии.

По совокупности признаков методы, основанные на импульсном вводе энергии в технологическую среду или в объект обработки при электрическом разряде, следует называть разрядноимпульсными, которые могут выступать в качестве самостоятельных (а в ряде случаев и единственно возможных) технологий, либо являться частью классических технологий (схем, методов), создавая в совокупности с ними комбинацию. Разрядноимпульсными такие методы предложил называть П.П. Малошевский [2], однако стремление автора отделить таким названием рассматриваемые технологии от электроимпульсных ввиду «электротехнического воздействия последних на объект обработки» не совсем корректно. Электроимпульсные методы безусловно яв-

ляются разновидностью разрядноимпульсных, имея одинаковый инструмент воздействия на вещество – электрический разряд.

На рис. 1 представлена классификация разрядноимпульсных методов обработки, согласно которой разрядноимпульсные методы делятся на две группы – контактные и бесконтактные. В контактных методах один или оба электрода являются технологическим объектом. Примером таких методов в виде самостоятельных технологий, широко применяющихся в промышленности, является обработка материалов в размер – электроэрозионная обработка. Особенность таких технологий – высокая электропроводность материала разрушаемого электрода. Бесконтактные разрядноимпульсные методы предусматривают наличие электродной системы, независимой от технологического объекта, в связи с чем электропроводность последнего играет пассивную роль.

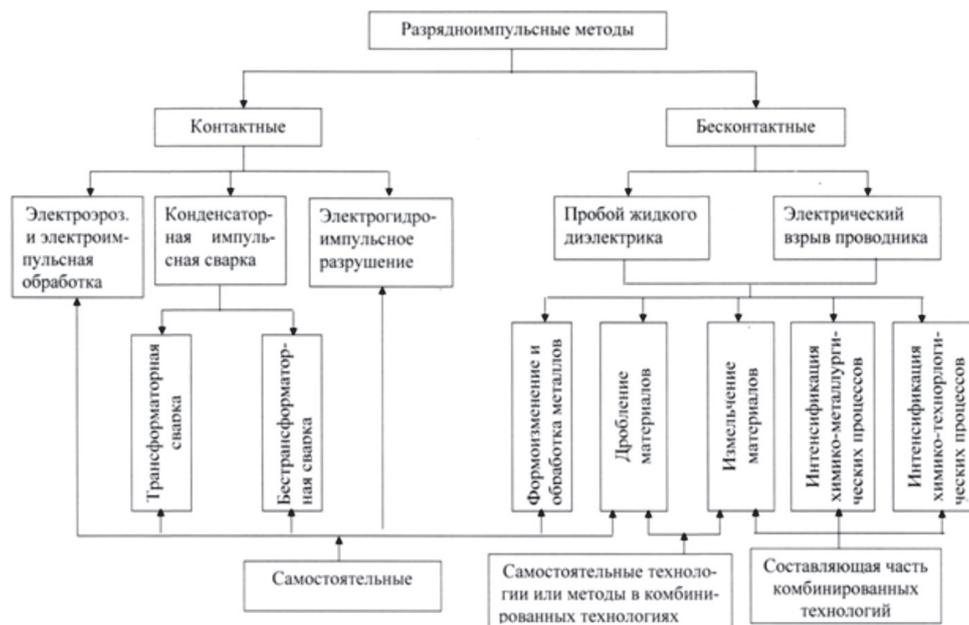


Рис. 1. Классификация импульсных методов

В бесконтактных методах принципиально возможны два случая развития электрического разряда. В первом случае начальная стадия разряда формируется в процессе образования парожидкостного канала разряда при пробое жидкого диэлектрика. Во втором случае межэлектродный промежуток замкнут электрическим проводником, характеристики которого обеспечивают мгновенное испарение при протекании по нему тока разряда, и ввод энергии в технологическую среду осуществляется через образовавшийся между электродами канал со свойствами, весьма близкими к свойствам

низкотемпературной плазмы. Следует отметить, что в реальных условиях технологическая среда лишь условно может быть названа жидким диэлектриком, поскольку она всегда обладает некоторой электропроводимостью.

На выбор параметров и характеристик генератора импульсов основное влияние оказывают особенности нагрузки (приемника энергии), обладающей свойствами, отличающимися от свойств классических линейных и нелинейных приемников энергии [3]. Условия осуществления разрядноимпульсной обработки определяются

некоторыми общими физическими условиями, тесно связанными с эффектами, зависящими как от источника импульсов, так и технологического объекта, причем общие условия должны быть необходимыми и достаточными.

Первое условие – обеспечение концентрации процесса во времени. Под такой концентрацией следует понимать управление продолжительностью энергетического воздействия на технологический объект. Необходимость такого управления определяется технологическими требованиями (оптимальным режимом разноимпульсной обработки в целях измельчения, селективного раскрытия минералов, модифицирования поверхности, интенсификации физико-химических процессов) и техническими (стойкостью электродов, необходимостью ввода в технологический объект продуктов эрозии электродов из определенных материалов, активно участвующих в химических реакциях).

Кроме того, импульсное управление процессом во времени является необходимым, так как сам процесс обладает эффектом торможения, уменьшая который можно достичь перехода вещества технологического объекта в новое состояние, характеризующееся новыми свойствами объекта.

Второе условие – локализация процесса в заданном объеме технологического объ-

екта. Это условие определяет плотность мощности и концентрацию энергии в объеме приемника энергии, т.е. интенсивность энергетического воздействия. Локализация процесса обеспечивается наличием канала разряда с заданными линейными характеристиками и последовательной сменяемостью единичного объема технологического объекта.

Третье условие – повторяемость или избирательность процесса. Повторяемость заключается в возможности получения для каждого единичного объема технологического объекта идентичных параметров импульсных воздействий; избирательность предусматривает управление разрядными процессами в зависимости от исходных свойств технологического объекта и ожидаемых качественно-количественных результатов обработки.

Физические процессы разрядноимпульсной обработки, происходящие в ограниченной рабочей зоне, имеют общий источник энергии – канал разряда, который, как уже отмечалось, является высококонцентрированным преобразователем электрической энергии в другие виды энергий. Схема взаимосвязей основных физических процессов разрядноимпульсной обработки и влияние этих процессов на выходные показатели при переработке минерального сырья приведена на рис. 2.



Рис. 2. Схема взаимосвязей основных физических процессов разрядноимпульсной обработки в обогащении и их влияние на выходные показатели

Перспективы использования разрядно-импульсных методов, в частности, при освоении месторождений минерального сырья авторы рассмотрели в работе [4]. Необходимо отметить следующее.

Современное состояние и объективно сложившиеся тенденции развития минерально-сырьевой базы цветной металлургии предопределили два основных направления переработки минерального сырья.

Первое направление основано на традиционных технологиях переработки легкообогащаемых руд с получением на стадии обогащения моноселективных концентратов и последующей переработке их по известным пиро-, химико-, гидрометаллургическим технологиям.

Второе направление охватывает труднообогащаемое сырье и основано на комбинированных технологиях, предусматривающих на стадии обогащения выделение в моноселективные концентраты части полезных компонентов, а в последующих стадиях – перевод трудноразделяемых минеральных ассоциаций в полиметаллические продукты и дальнейшую их селекцию обогащательными, пиро- и гидрометаллургическими методами.

Из многочисленных методов следует выделить две группы, применяемые, в комбинированных технологических схемах: обогащательные на основе энергетических воздействий и химико-металлургические на стадии доводки, причем необходимое повышение полноты и комплексности использования рудного сырья может обеспечить только переработка его по комбинированным технологиям, оптимально сочетающим обе выделенные группы.

Энергетические воздействия нашли применение при подготовке сырья к основным процессам обогащения, в схемах основного обогащения и в химико-металлургических методах.

При разупрочнении и раскрытии минеральных ассоциаций применяются механические пульсирующие нагрузки, воздействие энергией ударных волн, термическая обработка, а также воздействия, основанные на эффектах электрострикции, магнито-стрикции, электрического пробоя, электрохимическая обработка.

Направленное изменение поверхностных свойств минералов достигается энергетическими воздействиями при различных методах: электрохимических, термохимических, гидротермальных, термальном сульфидировании, ультразвуковом, радиационных, электронно-лучевых, плазменных, разрядноимпульсных и др. Из методов, основанных на энергетических воздействиях,

наиболее изучен в теоретическом и технологическом аспектах электрохимический; другие методы изучены в меньшей степени, а разрядноимпульсный практически не изучен.

Обобщение представлений о физических основах и связи известных теоретических разработок с основными эффектами электровзрывного воздействия позволили предложить классификацию импульсного воздействия, основанную на совокупности признаков, характеризующих его термином «разрядноимпульсное воздействие», и выделить области, в которых на таком воздействии базируются самостоятельные разрядноимпульсные технологии, и области, где разрядноимпульсные методы являются составляющей частью комбинированных технологий.

Анализ опубликованных сведений, представляющих физические основы разрядноимпульсного воздействия, позволил разработать схему взаимосвязей основных физических процессов такого воздействия в обогащении и принципиально оценить их влияние на выходные показатели и, на этой основе, выделить процессы в жидкой и твердой фазах либо полностью неисследованные (динамические процессы в технологической среде, смещение химического равновесия, избирательное раскрытие, изменение свойств поверхности твердой фазы), либо исследованные недостаточно (эрозия электродов и возможность ее использования в практических целях, условия формирования отраженных волн, процессы в газообразной фазе многокомпонентной среды).

Одним из перспективных направлений использования разрядноимпульсных технологий с целью повышения полноты и комплексности извлечения полезных ископаемых является избирательное раскрытие минеральных труднообогащаемых ассоциаций [5].

#### Список литературы

1. Лившиц А.Л. К вопросу о классификации, терминологии и рациональных областях применения электрофизикохимических методов обработки / В кн.: Электрофизические методы обработки материалов. – М.: ОНТИ ЭНИМС, 1964. – вып. VI.
2. Малошевский П.П. Основы разрядноимпульсной технологии. – Киев: Наукова думка, 1983. – 272 с.
3. Лившиц А.Л., Отто М.Ш. Импульсная электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 352 с.
4. Коростовенко В.В., Коростовенко Л.П., Стрекалова Т.А. Перспективы использования электрофизических методов при освоении месторождений минерального сырья // Успехи современного естествознания. – 2013. – №1. – С. 132-136.
5. Коростовенко В.В., Коростовенко Л.П., Стрекалова Т.А., Стрекалова В.А. Избирательное раскрытие и структурно-химические изменения минералов при импульсном воздействии // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 4(2). – С. 73-76.