

УДК 669.16; 669.2.02/.09

## Исследование и разработка процессов выделения целевых продуктов из мелкодисперсных отходов кремниевого производства

Н.Н. Иванчик<sup>а</sup>, В.Н. Петровская<sup>б</sup>, В.В. Кондратьев<sup>с</sup>, А.А. Немаров<sup>д</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

<sup>а</sup>nickolayivanchik@gmail.com, <sup>б</sup>valent-nikit@yandex.ru, <sup>с</sup>kvv@istu.edu, <sup>д</sup>nemarov@mail.ru

Статья получена 11.04. 2015, принята 4.05 2015

*Предложено технологическое решение по снижению себестоимости за счет оптимизации процессов и более глубокой переработки отходов кремниевого производства, позволяющее не только снизить вредную нагрузку на окружающую среду и затраты на содержание шламовых полей, но и расширить номенклатуру производимых предприятием продуктов. На основании литературного обзора выдвинуто предположение о том, что при схожести процессов выплавки кремния с производством сфероидизированных кварцевых гранул возможна переработка пыли печей кремния с получением двух отдельных продуктов — микро- и наногранул оксида кремния, а также углеродных нанотрубок. Осуществлен гранулометрический анализ. Проведены эксперименты по флотации исходной пыли циклона, при этом пенный и камерный продукты исследовались методами рентгенофлуоресцентного анализа и сканирующей электронной микроскопии. Показана возможность извлечения целевых продуктов методом флотации. Проведена дальнейшая переработка продуктов флотации: камерный продукт обрабатывался отжигом, пенный продукт — плавиковой кислотой. Подобная обработка позволила полностью очистить камерный продукт от углерода, а пенный — от кремния. По результатам исследования предложена технологическая схема переработки пыли печей кремния с получением двух востребованных продуктов.*

**Ключевые слова:** переработка отходов; кремний; флотация; микрокремнезем; нанокремнезем; углеродные нанотрубки.

## Research and development of targeting processes for fine waste of silicon production

N.N. Ivanchik<sup>а</sup>, V.N. Petrovskaya<sup>б</sup>, V.V. Kondratiev<sup>с</sup>, A.A. Nemarov<sup>д</sup>

Irkutsk State Technical University; 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia

<sup>а</sup>nickolayivanchik@gmail.com, <sup>б</sup>valent-nikit@yandex.ru, <sup>с</sup>kvv@istu.edu, <sup>д</sup>nemarov@mail.ru

Received 11.04.2015, accepted 4.05.2015

*A technology solution has been proposed for silicon production to reduce production costs by optimizing processes and by more advanced processing of wastes, which entails not only reduction of harmful pressure on the environment and of the cost for maintaining the fields of sludge, but also expanding the range of products produced by the company. Based on scientific literature review, an assumption has been made that processing furnace dust silicon to produce two separate products – micro- and nanogranules of silicon oxide and carbon nanotubes is available under the «similarity» between silicon smelting processes and production of spheroidized quartz granules. Granulometric analysis has been done. Experiments on initial flotation of cyclone dust has been done. Froth product and flotation tail have been investigated by methods of X-ray fluorescence analysis and scanning electron microscopy. The possibility of extracting desired products by flotation methods has been shown. Further processing of flotation products has been done: flotation tail has been processed by annealing, froth product has been processed by hydrofluoric acid. Such processing has allowed the flotation tail to be completely cleaned from carbon and froth product to be completely cleaned from silicon. According to the research results, a technological scheme of processing silicon furnace dust has been proposed to give two products.*

**Key words:** recycling; silicon; flotation; microsilica; nanosilica; carbon nanotubes.

**Введение.** В настоящее время при производстве любого вида продукции в качестве основной задачи рассматривается снижение себестоимости без потери качества конечного продукта. Такой подход подразумевает оптимизацию производственных процессов, снижение издержек на переработку отходов производства и вовлечение в технологический процесс попутных отходов. В мире все более широко внедряется концепция безотходных производств, при которой крупнотоннажные отходы либо вовлекаются в техно-

логический процесс в качестве продуктов вторичной переработки, либо сами становятся продуктом, расширяющим производственный спектр предприятия.

Кроме того, отходы, накопившиеся за время прежних производственных циклов, занимают практически всю отведенную им площадь, и встает вопрос о необходимости срочного снижения количества отходов без существенных затрат на утилизацию.

Производство кремния характерно схожестью процессов с технологической схемой производства сфери-