

скорости восстановления, т.е. имеется тесная взаимосвязь между скоростью газификации твердого восстановителя и скоростью переноса серы к металлизированному образцу. Содержание серы в металлизированном продукте с переходом от углетермического к комбинированному резко снижается, что связано с десульфурующим действием восстановительных газов. Концентрация серы в металлизированном продукте уменьшается практически по линейному закону с увеличением содержания СаО. При комбинированном восстановлении слоя окатышей содержание серы по высоте столба шихтовых материалов неравномерно. Максимальная концентрация отмечена для нижнего и верхнего подслоев. Вызывает интерес переход серы в газовую фазу и ее перераспределение между фазами, что требует проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

УДК 669.187.56

**Ф. Л. Леоха, А. Д. Рябцев, С. Н. Ратиев, А. А. Грицюк**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

### **ЛЕГИРОВАНИЕ ТИТАНА КИСЛОРОДОМ И УГЛЕРОДОМ ПРИ КАМЕРНОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ**

В настоящее время для переработки титановой губки в передельные слитки используют вакуумно-дуговой переплав и электронно-лучевую плавку. Альтернативным вакуумным переплавным процессам может быть камерный электрошлаковый переплав в контролируемой атмосфере под "активными" металлсодержащими шлаками (КЭШП). Этот способ характеризуется относительной простотой используемого оборудования, гибкостью технологических параметров, достаточно высоким качеством и относительно невысокой себестоимостью получаемого металла. Он позволяет, как эффективно рафинировать титан от кислорода и азота, так и легировать его кислородом и углеродом.

Поскольку кислород и углерод оказывают не только негативное, но и положительное влияние на свойства титана была рассмотрена возможность легирования титана кислородом или углеродом.

В работе приведены результаты легирования титана кислородом по трем технологическим схемам и углеродом при КЭШП титановой губки. При легиро-

вании кислородом в первом случае в качестве источника кислорода использовали счистки с крышек аппаратов восстановления титановой губки. Из счисток, изготавливали электроды—«спутники», которые приваривали к основному электроду, прессованному из титановой губки марки ТГ-110. Получали слитки титана с содержанием кислорода в диапазоне от 0,044 до 0,40%<sub>вес</sub>, которые характеризовались равномерным распределением кислорода по сечению слитка. Во втором случае рассматривали возможность использования в качестве кислородсодержащего материала газообразный кислород непосредственно из газовой фазы. В результате наблюдали повышение содержания кислорода в титане с 0,035 до 0,23 %<sub>вес</sub> при применении губки ТГ-110 и с 0,11 до 0,27 %<sub>вес</sub> при использовании титана предварительно легированного кислородом. Слитки титана характеризовались хорошей поверхностью и равномерным распределением кислорода по сечению. Для третьего варианта в качестве кислородсодержащего материала применяли порошки диоксида титана TiO<sub>2</sub> микро- (10-15 мкм) и наноразмеров (21 ± 5 нм). Для достижения максимального эффекта легирования, необходим как можно более длительный контакт порошка с жидким титаном. Это достигалось использованием специальной конструкции электрода. Химический анализ полученного металла показал повышение содержания кислорода в титане с 0,035 до 0,73 %<sub>вес</sub>. В образцах легированных порошками TiO<sub>2</sub> наблюдали увеличение твердости, измельчение дендритов и более развитую микроструктуру игольчатой формы. Наибольший эффект проявлялся при использовании нанопорошка оксида титана запрессованного по оси электрода.

Для легирования титана углеродом использовали микропорошок углерода (с размером частиц 10-15 мкм) и наноуглеродные трубки (с диаметром ~15 нм) помещенные в расходный электрод из титановой губки марки ТГ-100. Полученные слитки характеризовались повышенным содержанием углерода с 0,03 до 0,34 %<sub>вес</sub>. При этом, судя по результатам проведенных исследований, добавка наноуглеродных трубок приводит к увеличению твердости титана с 100 до 200 НВ и резкому измельчению структуры, которая приобретает морфологию корзиночного плетения.

Таким образом, показано, что камерный электрошлаковый переплав позволяет эффективно легировать титан кислородом из газовой фазы или из порошков оксида титана микро- и наноразмера, а также углеродом при использовании микропорошка углерода и наноуглеродных трубок и обеспечивает при этом хорошую химическую и структурную однородность выплавляемых слитков.