



УДК 621.745

Поступила 17.01.2014

С. Л. РОВИН, УП «Технолит»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ РЕЦИКЛИНГА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Статья посвящена проблеме рециклинга дисперсных железосодержащих отходов и возможности применения для решения этой задачи ротационных наклоняющихся печей (РНП). Проведено моделирование процессов теплообмена в ротационных печах, разработаны оригинальные конструкции печей большой емкости.*

The article is devoted to the problem of recycling of disperse iron-containing waste and possibility of application of rotary rocking furnaces (RRF) for solution of this problem. Modeling of processes of heat-mass exchange in rotary furnaces is carried out, original constructions of high-capacity furnaces are developed.*

Вторичные металлы или лом и отходы черных металлов – ценное сырье, масштабы использования которого сегодня становятся соизмеримыми с объемами производства первичного металла. Однако рециклинг и утилизация дисперсных железосодержащих отходов – стружки, окалины, аспирационных пылей, шламов и т. д. являются до настоящего времени трудноразрешимой проблемой.

Большие объемы железосодержащих материалов продолжают накапливаться в отвалах, которые составляют в настоящее время миллионы тонн. Причем это не только потери ценного сырья, но и ущерб окружающей среде.

Именно поэтому утилизации, а в идеале рециклингу металлоотходов, т. е. возврату их в металлооборот и повторному использованию, уделяется все большее внимание специалистов-металлургов и литейщиков.

В металлургии достаточно успешно развивается направление внедоменного одностадийного получения стали непосредственно из руды. Разработано около 20 вариантов установок, обеспечивающих прямое восстановление железа. Наиболее экономически успешными являются установки получения губчатого железа в виде окатышей или брикетов – Midrex, HYL, Corex и некоторые другие [1]. Однако использовать такие установки, которые предназначены для переработки сотен тысяч, миллионов тонн сырья, в литейном производстве не представляется возможным, а сосредоточить на одном предприятии переработку отходов, образующихся на сотнях источников (предприятиях металлообработки), весьма проблематично.

Более рациональным является рециклинг металлоотходов в местах их образования в агрегатах, специально приспособленных для такой переработки, включая нагрев, сушку, плавку и если нужно восстановление дисперсных материалов.

К таким агрегатам можно отнести сравнительно новый тип плавильных печей – ротационные наклоняющиеся печи (рис. 1). Эти печи находят все более широкое применение во вторичной металлургии цветных металлов. Уже сегодня в Республике Беларусь практически все свинецсодержащие и большая часть алюминиевых отходов перерабатываются в ротационных наклоняющихся печах (РНП).

В январе 2013 г. в Белоозерске начал переработку аккумуляторного лома и других свинецсодержащих отходов первый в Беларуси «Завод по производству свинца и сплавов», принадлежащий СООО «Белинвестторг-Сплав». Технологические и планировочные решения для предприятия были разработаны УП «Технолит». Уже к концу года завод вышел на проектную мощность – свыше 800 т свинца в месяц. Основным технологическим агрегатом в производственном цикле является 10-тонная ротационная наклоняющаяся печь, обеспечивающая получение чернового свинца из оксидно-сульфатной аккумуляторной пасты.

Активно внедряются подобные печи и в РФ. На рис. 2 показана 3-тонная печь для выплавки свинца, принадлежащая компании «Авангард-Юнион» (г. Владимир), которая была разработана специа-

* Ротационные наклоняющиеся печи – принятое название в англоязычных источниках rotary tilting furnaces (RTF).

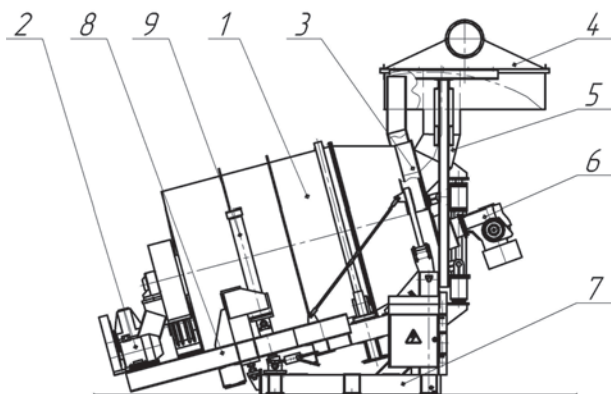


Рис. 1. Общий вид ротационной наклоняющейся печи: 1 – корпус печи; 2 – привод; 3 – крышка поворотная; 4 – зонт; 5 – дымоход; 6 – горелка; 7 – рама опорная; 8 – рама поворотная; 9 – привод наклона печи



Рис. 2. 3-тонная РНП для выплавки свинца («Авангард-Юнион», г. Владимир)

листами УП «Технолит» (г. Минск) совместно с кафедрой МиТЛП ГГТУ им. П. О. Сухого (г. Гомель).

Тепловая обработка дисперсных материалов во вращающихся печах происходит в динамическом продуваемом слое, что увеличивает интенсивность передачи тепла на 2–3 порядка: объемный коэффициент теплопередачи α_v в РНП составляет примерно $3000 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$.

При нагреве чугунной стружки к. п. д. РНП превышает 50%, что вдвое больше, чем у барабанных проходных печей. Это объясняется, прежде всего, сложным петлеобразным движением газов, что приводит к увеличению коэффициента конвективного теплообмена и времени пребывания газов в печи. Кроме того, эти печи благодаря наклону к горизонту в рабочем положении $15\text{--}20^\circ$ имеют почти в 1,5 раза большую полезную емкость (до 35% от полной емкости печи), чем традиционные

короткобарабанные печи с неподвижной горизонтальной осью вращения.

Исследования технологических возможностей РНП показали, что эти печи вполне пригодны и для рециклинга железосодержащих отходов, прежде всего стружки. В РНП можно осуществлять сушку и удаление масел, высокотемпературный нагрев и расплавление стружки.

Нагрев стружки как чугунной, так и стальной дробленой в РНП может достигать температуры $750\text{--}850^\circ\text{C}$ (рис. 3). Последующая завалка такой стружки в индукционные печи обеспечивает почти 2-кратное сокращение длительности ее расплавления, исключает выбросы дыма в рабочую зону цеха, улучшает экологические параметры плавки и качество металла. При высокотемпературном нагреве стружки не только удаляется влага и выгорают масла, но происходит также частичное удаление пылевых фракций. Более того, замасленная

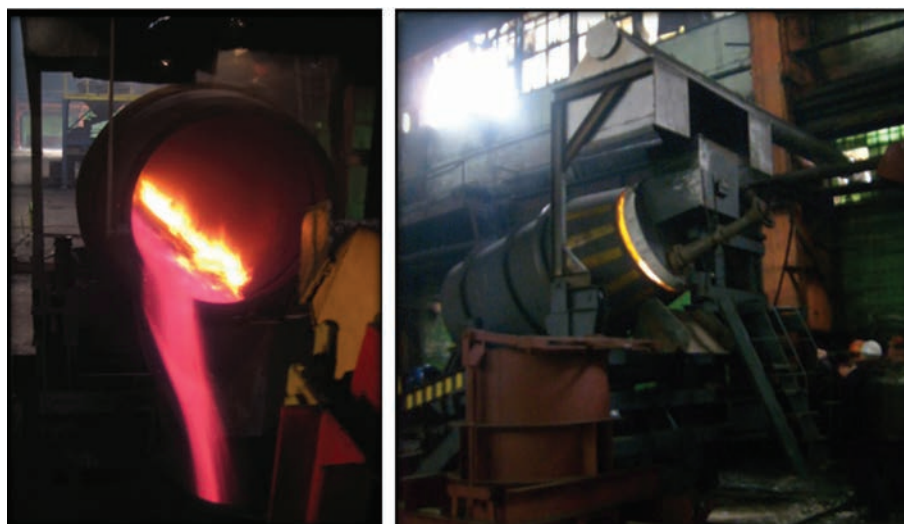


Рис. 3. РНП для высокотемпературного нагрева стружки (температура 810°C)

стружка требует для высокотемпературного нагрева вместо 11–12 м³/т природного газа не более 8–9 м³/т, так как масла сгорая, выделяют тепло, обеспечивая экономию топлива. Процесс нагрева стружки идет с большой скоростью и для печи объемом 2–4 т занимает примерно 20–25 мин. Процесс расплавления чугунной стружки в РНП требует около 50 мин. Для предотвращения угара стружки в рабочем пространстве печи создается восстановительная атмосфера: $(CO+H_2) > (CO_2 + H_2O)$ при отсутствии O₂. Это достигается путем уменьшения коэффициента избытка воздуха, подаваемого на горелку, или добавками в шихту углеродсодержащих материалов: отсев кокса или угля, лигнин, торф и др.

Хорошие перспективы имеют ротационные печи и в решении более сложной задачи – возвращении в оборот оксидных железосодержащих отходов. С учетом накопленного опыта прямого восстановления оксидов железа (железородного сырья) в металлургии были проведены достаточно широкие исследования как в лабораторных, так и натуральных условиях по изысканию возможности осуществления всей технологической цепочки по восстановлению железосодержащих отходов в одном агрегате – РНП.

Благодаря технологической гибкости эти печи позволяют вести методический нагрев и управлять составом атмосферы. Для повышения температуры нагрева материала при выплавке чугуна или стали необходимо использовать подачу кислорода (обогащение дутья). Для сокращения удельных затрат топлива печи оснащаются рекуператором.

Однако наряду с теплотехническими преимуществами РНП представляют определенные трудности при конструировании агрегатов большой мощности и соответственно больших размеров

(с полезной емкостью 5 м³ и более). Вращающийся корпус должен размещаться вместе с приводом на качающейся платформе с углом подъема на 30–35° и опускания до 15–20°. Ось качания (наклона) располагается в передней части печи для удобства выгрузки.

Корпус печей малой мощности устанавливается внутри опорного кольца, которое опирается на два катка. Для вращения печи в заднем торце устанавливается хвостовик, который выполняет роль третьей опоры и одновременно приводного вала (см. рис. 1). Такая конструкция не допускает продольных прогибов и оправдывает себя при полезной емкости печей до 3–4 м³.

При большей емкости печи нагрузки в точках опоры и осевые усилия при наклонах корпуса значительно возрастают. Это вызывает необходимость использования высокопрочных материалов и применения новых конструктивных решений.

Печи полезной емкостью 5 м³ и более оснащаются двумя опорными кольцами, опирающимися соответственно на четыре катка особой формы для гарантированного сцепления. Боковые усилия воспринимают четыре блока роликов, позиционированных по обеим сторонам ободов. Вращение корпуса осуществляется с помощью цепной или цепьевой передачи непосредственно от привода, что позволяет уменьшить передаточное число редуктора (рис. 4).

Интерес представляет также конструкция, в которой привод вращения заменен на привод качания, состоящий из двух электро- или гидроприводов, соединенных навстречу. Корпус печи при этом осуществляет качание на 180–210 °С до максимального подъема загруженного дисперсного материала и соответственно момента сопротивления поворота печи. Затем переключение двигателей

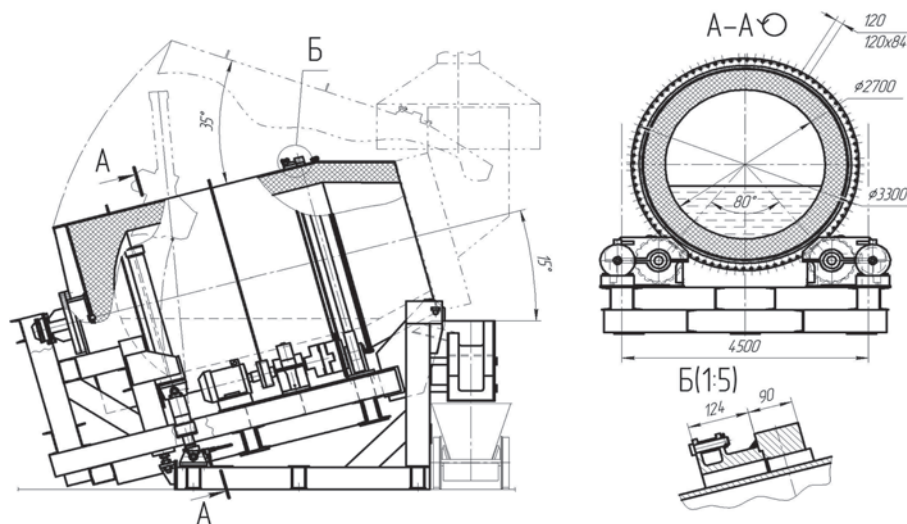


Рис. 4. Ротационная наклоняющаяся печь полезной емкостью 5 м³

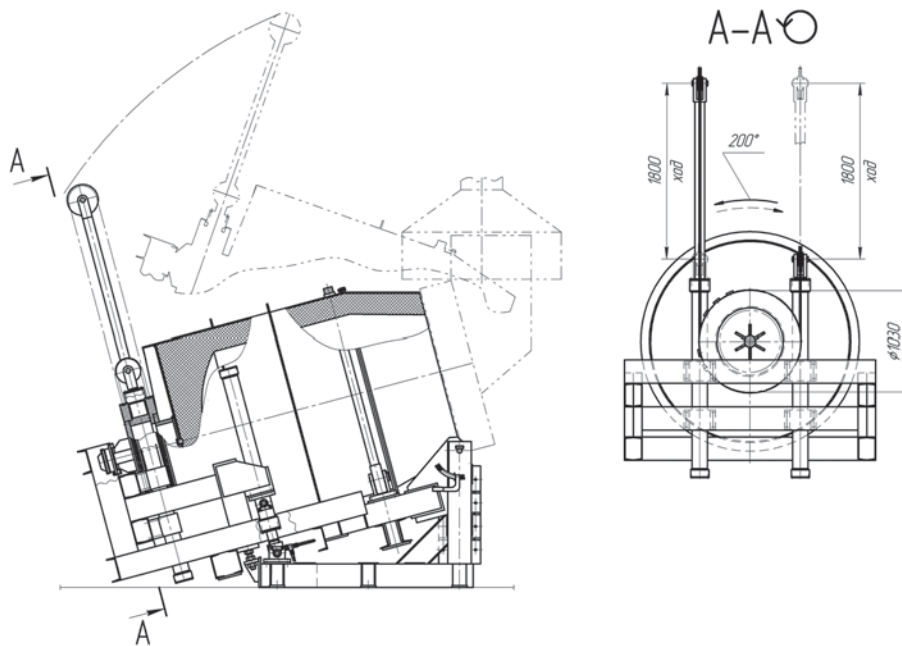


Рис. 5. Печь качающаяся емкостью 5 м³

и направления движения приводит к смещению слоя в противоположном направлении, а также интенсивному перемешиванию материала. При качании активно используются силы инерции. Скорость качания 1–2 качания в минуту (рис. 5).

Для обеспечения возможности работы печи в любом положении по отношению к горизонту крышка печи устанавливается не на отдельной стойке, как у печей меньшей емкости, а на качающейся платформе печи. При этом открывающаяся часть крышки позволяет производить дополнительную завалку шихты или взятие проб через рабочее окно, не останавливая плавку.

Эффективность РНП определяется параметрами движения неизотермического потока газов в рабочем пространстве. При разработке конструктивных решений и определении оптимальных режимных параметров для печей большой мощности и размеров были проведены исследования течения газов и их взаимодействия с динамическими слоями нагреваемого материала.

Исследования выполняли путем компьютерного моделирования с использованием ППП ANSYS. На рис. 6, 7 приведены некоторые из полученных результатов, дающие представление о влиянии на процессы тепломассопереноса взаиморасположения, мощности и количества горелок, а также показано влияние скорости и направления вращения (качания) печи, угла наклона оси печи, наклона осей горелок и т. п.

На основе анализа полученных результатов были разработаны рекомендации по выбору и расчету геометрических параметров РНП.

Натурные исследования процессов восстановления оксидных железосодержащих материалов проводили на Белорусском металлургическом заводе на специально созданном опытном образце РНП полезной емкостью 0,3 м³ (рис. 8). Опытные экспериментальные плавки не только доказали возможность прямого получения железа из оксидов без какой-либо предварительной подготовки сырья, но и позволили определить основные параметры и особенности протекания процессов восстановления в ротационных печах. Были получены результаты, подтверждающие возможность существенного ускорения процессов твердофазного восстановления в условиях интенсивного взаимодействия частиц с газами-восстановителями. Процессы переноса (в данном случае – диффузии) определяются структурой и размерами (толщиной) слоев как исходных оксидов, так и промежуточных соединений. Если поверхностные слои (0,01–0,02 мм) восстанавливаются в течение нескольких минут, то

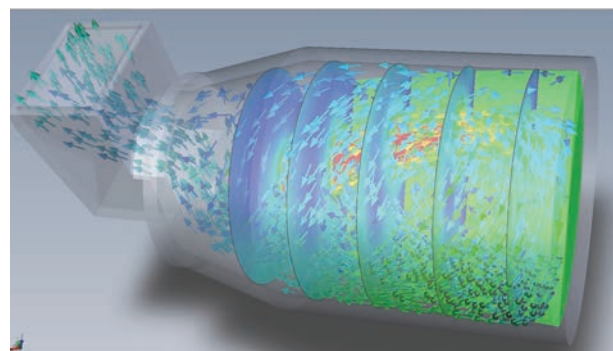


Рис. 6. 3-d моделирование газовых потоков в ротационной печи

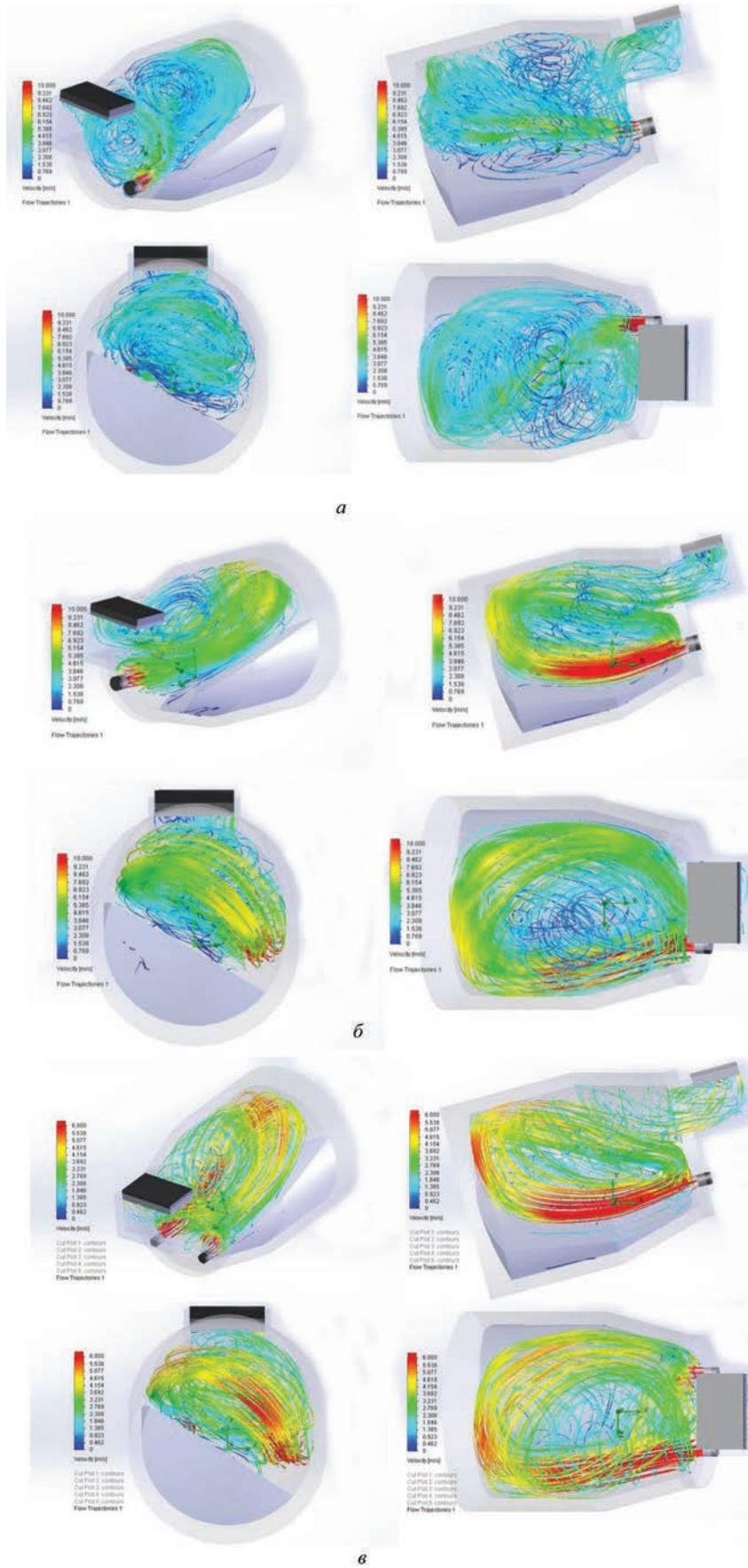


Рис. 7. Траектория движения газов в ротационной наклоняющейся печи: *а* – при установке горелки справа; *б* – при установке горелки слева; *в* – при установке двух горелок



Рис. 8. Опытно-экспериментальная РНП для переработки окалины

последующие (до 0,1–0,5 мм) требуют десятки минут, а далее с увеличением размеров гранул длительность процесса увеличивается до нескольких часов [2].

Очевидно, при восстановлении оксидных дисперсных материалов брикетирование объективно приводит к увеличению продолжительности технологического цикла. Ограничение же по минимальному размеру частиц связано только с необходимостью предотвратить их унос из печи с отходящими газами. РНП в этом отношении имеют ощутимое преимущество по сравнению с проходными барабанными печами, так как сложное петлеобразное движение газов в рабочем пространстве обеспечивает высокие относительные скорости при более низких поступательных. В связи с этим в РНП можно успешно восстанавливать, например, прокатную окалину без предварительного окомковывания или гранулирования.

Проведенные исследования и опытно-экспериментальные плавки позволили получить следующие результаты при рециклинге оксидных железосодержащих материалов:

- восстановление железа (Fe) из оксидов (окалины) до 90% от теоретически возможного (около 60–65% от массы исходной окалины);
- расход восстановителя в пределах 40% от количества оксидов;
- расход тепла на 1 т окалины 1100–1200 кВт·ч или 130–140 м³ природного газа;
- расход кислорода 25–30 м³ на 1 т.

Технология рециклинга включает в себя несколько стадий, которые реализуются сменяя друг друга в одном технологическом агрегате – РНП:

- твердофазное восстановление оксидов в присутствии восстановителя;
- расплавление и довосстановление металла (жидкофазное восстановление);
- науглероживание и доводка жидкого металла до требуемого химического состава.

При плавке стружки первая стадия не требуется и соответственно сокращаются расходы тепла и материалов.

При получении полупродукта – шихтового материала для последующей переплавки в традиционных печах не требуется третья стадия. Наиболее рациональным вариантом переработки дисперсных металлоотходов в литейных цехах, где необходимо получение марочных сплавов и используются традиционные электрические плавильные печи, является организация дуплекс-процесса «РНП-ИЧТ» или «РНП-ДСП». При этом переплавка и восстановление дисперсных и оксидных металлоотходов (стружки, окалины, металлической пыли, продуктов магнитной сепарации и т. д.) осуществляются в РНП, а доводка полученного расплава по химическому составу – в традиционной электропечи.

РНП хорошо адаптируются к условиям действующего производства, позволяют перерабатывать практически любые дисперсные металлоотходы в количестве, необходимом для данного производства. При этом не требуется значительных капиталовложений, дополнительных производственных площадей и транспортных расходов. Окупаемость участков рециклинга, оснащенных РНП, в зависимости от объемов производства составляет, как правило, не более года.

Литература

1. Ю с ф и н Ю. С., П а ш к о в Н. Ф. *Металлургия железа*. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.
2. Hughes G. D., Metius G. E., Montguy S. C. Breakthrough direct reduction technologies for the new millennium // *Iron and Steelmaker*. 2001. Vol. 28. N 8. P. 67–71.