

The microstructure and mechanical properties of 1Cr17Ni2/QA17 brazed joints using Cu-Mn-Ni-Ag brazing alloy, *Materials Science and Engineering: A*, V. 661, 2016, pp 25-31.

### **Influence of Coatings on the Interaction of a Solder Melt Based on a Copper-Manganese-Nickel System With a Hard Alloy**

Pashkov I.N.<sup>1</sup>, Misnikov V.E.<sup>1</sup>, Bazlova T.A.<sup>2</sup>, Kupsoltseva O. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *SPP, Moscow, Russia* <sup>2</sup> *NUST MISIS, Moscow, Russia*

paika@mail.ru

**Abstract.** The paper considers the effect of coatings less than 1  $\mu\text{m}$  thick. On wetting and diffusion interaction of the copper-manganese-nickel system solder melt with the surface of the WC-8Co hard alloy. The effect of coatings on the angle of wetting of the surface of hard alloy samples by the melt is revealed. No noticeable effect on the diffusion interaction was revealed, however, it was found that the cobalt depletion zone depends on the temperature and reaches 100  $\mu\text{m}$  at 1040 °C.

Keywords: *wetting; interaction; solder melt, hard alloy*

УДК 621.745

### **Новая концепция рециклинга дисперсных железосодержащих отходов**

Ровин С.Л., Ровин Л.Е.

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,* <sup>2</sup>*Гомельский государственный технический университет им.*

*П.О.Сухого, г. Гомель, Беларусь*

rovinsl@mail.ru

**Аннотация.** Представлен альтернативный способ рециклинга дисперсных железосодержащих отходов, основанный на использовании ротационных наклоняющихся печей (РНП). Применение РНП позволяет эффективно перерабатывать дисперсные металлоотходы практически любого состава и состояния от металлических до оксидных и многокомпонентных (стружку, окалину, шламы и др.), загрязненные влагой, маслами, органическими примесями, без их предварительной подготовки (очистки, гомогенизации, окомкования и т.д.) с получением в результате высококачественных шихтовых материалов или марочных литейных сплавов.

Ключевые слова: *рециклинг, дисперсные металлоотходы, ротационные наклоняющиеся печи, тепломассообмен, смешивание, восстановление.*

В условиях растущего дефицита и удорожания качественных шихтовых материалов для литейного производства особую значимость приобретает рециклинг дисперсных металлоотходов, в первую очередь – железосодержа-

щих, накопление которых уже соизмеримо с объемами добычи руды. Проблема имеет не только экономическое, но и большое экологическое значение, а ее решение позволяет достичь заметного прогресса в создании безотходного производства – замкнутого оборота металла в промышленности.

Предлагаемый новый способ рециклинга позволяет переработать отходы практически любого состава и состояния от металлических до оксидных и многокомпонентных (стружку, мелкий скрап, окалину, аспирационные пыли, шламы и др.), загрязненные влагой, маслами, органическими примесями, без их предварительной подготовки (очистки, гомогенизации, окомкования и т.д.) с получением в результате слитка (чушки) или марочных литейных сплавов. При этом для рециклинга оксидных железосодержащих материалов разработан процесс, основанный на непрерывном твердо-жидкофазном восстановлении в одном агрегате – ротационных наклоняющихся печах (РНП).

Традиционные плавильные агрегаты литейного производства не приспособлены для плавки дисперсных материалов. Абсолютное большинство способов получения железа, применяемых сегодня в черной металлургии, также предполагают предварительную подготовку и окомкование исходных материалов, причем ориентированы они, в первую очередь, на стабильное и однородное по составу и свойствам сырье, чему в полной мере соответствует лишь продукция, полученная из рудного сырья на горно-обогатительных фабриках [1].

При этом переработка даже наиболее ценного из дисперсных отходов материала – стружки, без предварительной подготовки приводит к большим потерям (угару) металла при плавке, значительному увеличению удельных энергозатрат и снижению качества сплава. Наиболее широко применяемым сегодня способом подготовки стружки является холодное брикетирование, но качество холодных брикетов не удовлетворяет требованиям плавки. Повысить их качество, в том числе, плотность брикетов – до  $(6,0-6,5) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, можно с помощью горячего брикетирования, однако это приводит к удорожанию продукции до стоимости первичных шихтовых материалов, таких как доменный чугун, а качество брикетов при этом все равно не достигает качества плотного металла.

В тоже время известно, что теплообмен и все гетерогенные процессы, происходящие на границе «газ – твердое тело», включая нагрев, твердофазное восстановление и расплавление, требуют максимально развитой удельной поверхности реагентов. Исследования дисперсных железосодержащих отходов говорят об их существенной размерной, структурной и химической неоднородности, большом количестве дефектов, высокой пористости на макро- и микроуровне, соответственно, высоких значениях их удельной реакционной поверхности, которая в сотни раз превышает удельную поверхность окатышей и агломерата, что является предпосылкой для создания

интенсивного и эффективного процесса рециклинга.

Процесс восстановления дисперсных пористых материалов может быть адекватно представлен в виде «квазигомогенной» модели, согласно которой восстановитель проникает на всю глубину пористой частицы, что обеспечивает равные условия и соответственно скорости восстановления по всему ее объему [2].

Реализация такого процесса возможна на базе нового типа топливных плавильных агрегатов – ротационных наклоняющихся печей (РНП), в которых дисперсные материалы находятся в динамическом постоянно перемешивающемся слое, под действием скоростного высокотемпературного петлеобразного циркуляционного потока газов-восстановителей. Постоянное обновление (перемешивание) слоя и его интенсивная продувка многократно ускоряют процессы массопереноса и теплопередачи: в РНП объемный коэффициент теплопередачи ( $a_v$ ) достигает 2000-2500 Вт/(м<sup>3</sup>·К), в то время как в неподвижном слое материала он находится на уровне 3-4 Вт/(м<sup>3</sup>·К) [3].

Комплексное исследование движения газов и дисперсного материала в РНП, включающее компьютерное моделирование движения неизотермических газовых потоков, а также численное и имитационное моделирование движения материалов в рабочем пространстве печи [4,5], позволили установить новые особенности и закономерности процессов тепломассообмена, разработать способы управления этими процессами и их интенсификации.

Это обеспечило повышение термического КПД РНП до уровня 50-55 %, что в 3-5 раз выше, чем у электрических (индукционных и дуговых) или стационарных топливных печей при работе на подобных материалах.

Разработанные технические решения позволили реализовать высокотемпературные, высокоскоростные процессы нагрева, восстановления и плавки дисперсных железосодержащих материалов в РНП [3].

Предлагаемый процесс рециклинга оксидных железосодержащих отходов осуществляется как двухстадийный непрерывный процесс в одном агрегате – РНП. Исходный материал (металлоотходы) и твердый восстановитель загружаются в печь без всякой предварительной подготовки и нагреваются с помощью газового или жидкого топлива до температуры 1000-1100 °С. Далее коэффициент избытка воздуха ( $\alpha$ ) снижается до 0,6-0,7 и процесс переводится в стадию твердофазного восстановления (ТФВ). Продолжительность этой стадии составляет около 2-2,5 часов, при этом в печи поддерживается температура 1100-1200 °С и восстановительная атмосфера:  $CO/CO_2 = 2,0-2,5$ .

После того, как степень восстановления достигает 70-80%, процесс переводится в стадию жидкофазного восстановления (ЖФВ). В печь загружаются флюсы, при необходимости – добавляется восстановитель, подается кислород и температура повышается до 1700-1800 °С. Процесс перехода к

расплаву осуществляется за 5-7 минут, скорость повышения температуры при этом достигает 1,5-2 К/с, что позволяет исключить спекание материала и образование крицы. В процессе ЖФВ степень металлизации достигает 98-99%, о завершении процесса свидетельствует прекращение кипа металлической ванны. Продолжительность жидкофазной стадии составляет 25-30 минут.

Полученный металл может быть разлит в слитки, с последующим использованием в качестве шихты в традиционных плавильных агрегатах, передан в жидком состоянии в электропечи для получения марочного сплава (дуплекс-процессы: «РНП – индукционная печь» или «РНП – дуговая печь»), либо доведен до заданного состава непосредственно в РНП (путем науглероживания, рафинирования, легирования).

Опробывание разработанной технологии в производственных условиях и отработка технологических режимов осуществлялась на опытно-промышленном образце РНП, полезной емкостью 500 кг. В качестве исходного сырья при этом использовались окалина, аспирационная пыль, металлургические шламы, в качестве восстановителя – отсеvy кокса, угля и графита, а также лигнин (отходы гидролизного производства спирта). Расход восстановителя находился в пределах 35-40 % от массы оксидов (в зависимости от их состава). Удельный расход топлива при рециклинге окалины составил около 220 м<sup>3</sup> на тонну полученного металла, кислорода 40 м<sup>3</sup>/т. Хронометраж и основные технологические параметры опытно-экспериментальных плавок окалины и шлама в РНП представлены на рис.1. [3].

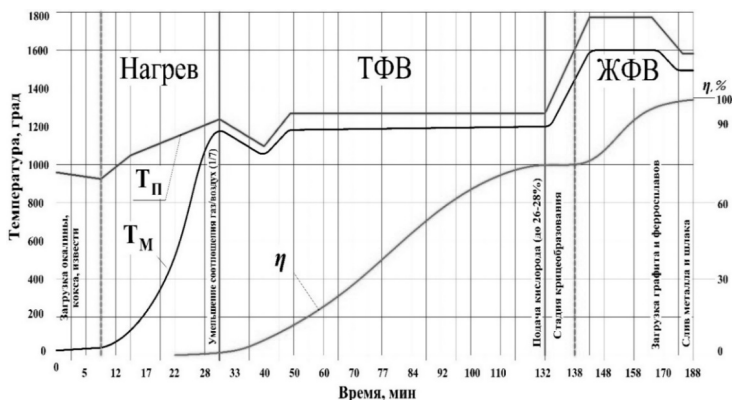


Рис. 1: Режим восстановительной плавки окалины в РНП. Т<sub>п</sub> – температура в печи; Т<sub>м</sub> – температура материалов; η – степень металлизации

При оптимальном технологическом режиме рециклинга железосодержащих отходов в РНП выход металла (стали или чугуна) достигает 90-92% от теоретически возможного, при этом интенсивность процесса в 5-8 раз превышает скорости ТФВ в известных процессах Cogex и Midrex, а удельные энергозатраты в 3-5 раз меньше, чем в жидкофазных процессах таких как РОМЕЛТ и Hismelt. Разработанный процесс позволяет вести порционную переработку материалов, что дает возможность осуществлять децентрализованный, в том числе малотоннажный рециклинг дисперсных металлоотходов без какой-либо их предварительной подготовки непосредственно на предприятиях-источниках образования отходов.

Отличия рециклинга дисперсных железосодержащих отходов в РНП, основанного на непрерывном твердо-жидкофазном процессе восстановления, от известных технологий прямого получения железа, можно представить с помощью диаграммы Fe-C (рис.2).

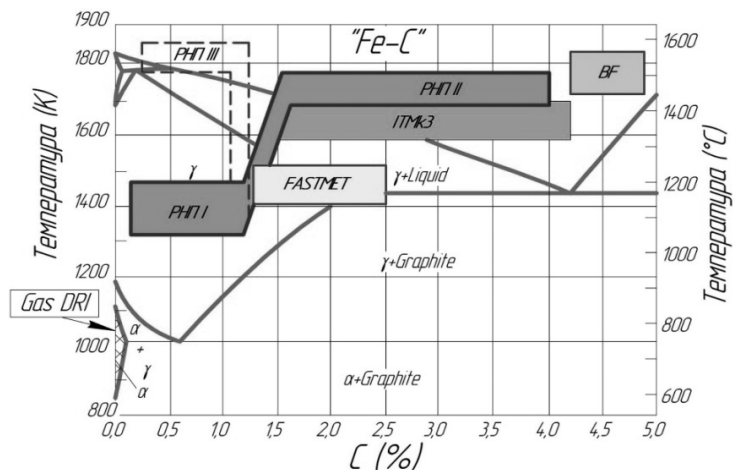


Рис. 2: Технологический интервал получения железоуглеродистых сплавов в РНП

Рециклинг неокисленных металлических отходов (стружки, металлической пыли, мелкого скрапа) в РНП сводится к процессу безокислительного нагрева и переплавки, а весь цикл занимает 40-45 мин. Окисление металла при нагреве предотвращается, благодаря высокой скорости нагрева (60-80 К/мин.) и восстановительной атмосфере в печи. Содержание масла в стружке снижает удельный расход используемого топлива.

Разработанные технологии и оборудование ввиду технологической гибкости, возможности вести методический режим, как по температуре, так и

по атмосфере в печи, хорошо адаптируются к условиям действующего производства, не требуют больших инвестиций и окупаются в течение 6-12 месяцев. Их внедрение позволяет создать новую сырьевую базу для литейного производства, сократить зависимость от первичных шихтовых материалов, организовать безотходный оборот металлов в промышленности, ликвидировать накопленные металлосодержащие техногенные отходы, использовать отходы твердых углеродсодержащих материалов, и, таким образом, получить значительный экономический и экологический эффект.

## Литература

- [1] Юсфин, Ю.С. *Металлургия железа* / Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков. — М.: ИКЦ Академкнига, — 2007. — 464 с.
- [2] Особенности восстановления дисперсных пористых материалов / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин, Т.М. Заяц // *Литье и металлургия*. — 2016. — № 4. — С.11–18.
- [3] Ровин С.Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах. — Минск: БНТУ, 2015. — 382 с.
- [4] Sonavane Y., Specht E. Numerical analysis of the heat transfer in the wall of rotary kiln using finite element method ANSYS // 7-th International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries: proceedings of the conf., CSIRO, Melbourne, Australia 9-11 December 2009. — P.1–5.
- [5] Norouzi H.R. et. al. Coupled CFD-DEM modeling: formulation, implementation and application to multiphase flows — Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2016. — 416 p.

### **New Concept of Recycling of Dispersed Iron-Containing Waste**

Rovin S.L.<sup>1</sup>, Rovin L.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

<sup>2</sup>*Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, Gomel, Belarus*  
rovinsl@mail.ru

**Abstract.** An alternative method of recycling dispersed iron-containing waste based on the use of rotary tilting furnaces (RTF) presented. The application of RTF allows effectively waste processing of almost any composition and conditions starting from metal and finishing with oxide and multicomponent ones (chips, scale, sludge, etc.). Moreover, wastes can be contaminated with moisture, oils, organic impurities, and treated without their preliminary preparation (cleaning, homogenization, pelletizing, etc.) resulting in high-quality charge materials or branded casting alloys.

**Keywords:** *recycling, dispersed metal waste, rotary tilting furnaces, heat and mass transfer, mixing, reduction.*