

Используя полученные зависимости, задаваясь граничными значениями уменьшения размеров поперечного сечения стальной арматуры, можно определить сроки критического повреждения стальной арматуры, и тем самым значительно повысить объективность прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК).

Полученные результаты позволяют повысить точность прогнозирования глубины и скорости коррозии стальной арматуры, времени начала и наступления предельных коррозионных повреждений, появления и развития продольных (поперечных) трещин до предельных значений.

Использование полученных зависимостей в расчетах несущей способности и эксплуатационной пригодности позволяет улучшить объективность оценки остаточного ресурса (долговечности) не только ЖБЭ (ЖБК), но и подавляющего большинства проектируемых и существующих зданий и сооружений.

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

2 DuraCrete 7: General guidelines for durability design and redesign. The European Union – Brite EuRam III, Project No. BE95-1347, Probabilistic Performance-based Durability Design of Concrete Structures, Report No. T7-01-1, 1999.

3 **Васильев, А. А.** Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. трудов. Вып. 9. – Минск, 2017. – С. 148–167.

УДК 621.74.94

ПРОБЛЕМА РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ АКТИВНОГО ШЛАКА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Н. К. ТУРСУНОВ, Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ, Т. О. ТОИРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

В индукционных тигельных печах (ИТП) важную роль играют защитные (покровные) свойства шлака. Проницаемость шлаков по отношению к компонентам атмосферы – кислороду, азоту и водороду в значительной мере определяет газонасыщенность металла и развитие процессов окисления. Процессы массопереноса связаны с диффузионной подвижностью примесей, вязкостью шлака, его составом. С учетом специфики конкретных процессов шлаки могут выполнять и некоторые другие функции – поддержание заданного теплового режима в печи.

Обычно шлаки в ИТП с основной футеровкой не выполняют таких функций, как окисление, восстановление, десульфурация и дефосфорация. В процессе плавки металла шлаки в печи образуются в результате окисления компонентов шихты и футеровочных материалов тигля. Эти шлаки обычно удаляют в конце расплавления и наводят «свежие» из боя стекла и кварцевого песка для кислых печей и из извести и плавикового шпата для печей с основной футеровкой. Основное назначение этих шлаков защитить жидкий металл от взаимодействия с атмосферой и уменьшить потери энергии, излучаемой поверхностью зеркала металла. Значительные потери энергии через поверхность шлака приводят к низкой текучести и большим перепадам температур по высоте (до 1200 К).

Шлаки как рафинирующий материал в процессе выплавки металла в ИТП до настоящего времени не нашли широкого применения в металлургической практике. Это обусловлено, прежде всего, низкой реакционной способностью шлаков, разогрев которых происходит только за счет теплопередачи в зоне контакта с поверхностью металла, малой величиной поверхности контакта «металл – шлак», охлаждением шлаков футеровкой тигля. На основании чего часто делают заключение о недостаточной рафинирующей способности шлаков в ИТП, и соответственно предъявляют повышенное требование к металлошихте, по содержанию таких элементов как фосфор и сера. Рафинирование металлов в ИТП по традиционным схемам практически отсутствует.

Электромагнитные усилия и вызванная ими электродинамическая циркуляция металла деформируют поверхность ванны, которая приобретает выпуклый мениск высотой Δh_m . Вследствие

этого шлак, покрывающий поверхность металла, стекает к стене тигля, и в результате чего приходится давать больше шлакообразующих смесей.

Шлак, скапливающийся у стены тигля и химически взаимодействующий с футеровкой, разъедает ее на большем протяжении, чем при плоской поверхности металла. Кроме того, при циркуляции металла происходит увеличение экзогенных частиц шлака и продуктов разрушения футеровки тигля в объеме металла. Электромагнитные силы в металлическом цилиндре, помещенном в цилиндрический индуктор, направлены радиально к оси цилиндра (по направлению потока энергии), причем максимальное давление создается этими силами на оси цилиндра.

Ряд исследователей считают, что шлак при индукционной плавке может участвовать в процессе рафинирования металла, но при определенных условиях. Ниже описаны некоторые приемы, позволяющие повысить активность шлака.

Способ снижения высоты мениска. Наиболее распространенный способ уменьшения высоты мениска Δh_m основан на уменьшении напряженности магнитного поля в верхней части ванны ИТП, в результате чего циркуляция вблизи зеркала ванны ослабляется и подавляется ферростатическим давлением.

Однако несимметричное расположение индуктора относительно металла уменьшает теплогенерацию в верхней части тигля и затрудняет плавление металлошихты (отдельные куски шихты свариваются в сплошной «мост», препятствующий сходу холодной шихты в зону плавления). Поэтому целесообразно регулировать электродинамическую циркуляцию по ходу плавки, применяя либо механическое понижение уровня индуктора поднятием тигля или опусканием индуктора, либо электрическое понижение уровня индуктора путем отключения верхних витков.

Удаление вредных примесей методом окисления. Окисление углерода, удаление фосфора и серы в ИТП с основной футеровкой могут быть проведены с большой скоростью. Казалось бы, что форма ванны в виде тигля должна затруднять проведение операции очищения ванны от примесей, из-за малой поверхности соприкосновения металла со шлаком. В реальности интенсивная циркуляция металла вполне компенсирует этот недостаток. Диффузионные процессы в ИТП проходят быстрее, продукты реакции интенсивно выносятся на поверхность и удаляются, т.е. реакции могут протекать достаточно полно.

Удалить вредные примеси из жидкой ванны в ИТП с основной футеровкой можно было бы в течение нескольких минут, но практически это трудно осуществить, так как большое количество оксида железа вызовет слишком энергичное кипение ванны и выплескивание из печи металла и шлака. Исходя из этого, железорудный концентрат присаживают небольшими порциями, каждый раз после успокоения ванны. Кроме железорудного концентрата, расходуемого обычно в количестве 3–5 % от массы металлической шихты, присаживают также примерно 2 % извести и 0,2 % плавикового шпата, необходимого для повышения жидкотекучести шлака. Чем ниже вязкость шлака, тем энергичнее идет процесс удаления фосфора. Такой шлак весьма успешно воздействует на жидкую металлическую ванну и за 15 мин позволяет снизить в ней содержание углерода на 70–80 %, фосфора – на 50–60 %. Наряду с этим выгорают также кремний на 40–50 % и часть марганца. Процесс выгорания примесей может быть еще интенсивнее, если поверхность шлака защитить от охлаждения, закрыв тигель сводом, изготовленным из теплоизоляционных кирпичей, или прогревая шлак.

В период рафинирования металла включение плазматрона позволяет нагревать шлак, увеличивая его реакционную способность, что невозможно в ИТП.

А. М. Самарин приводит изменение содержания углерода и фосфора в процессе выплавки стали, проведенной с окислением в ИСТ-0,3, мощностью 100 кВт и частотой тока 500 Гц. При применении шлака, состоящего из 51,8 % CaO и 12,9 % SiO₂, содержание фосфора за 15 мин было снижено с 0,130 до 0,020 %. В процессе плавки тигель был прикрыт сводом из теплоизоляционного кирпича, предохранявшим шлак от охлаждения.

В процессе другой опытной плавки, после выдержки расплавленного металла под окислительным шлаком в течение 20 мин, содержание углерода понизилось с 2,7 до 1,7 %, а в последующие 35 мин – до 0,14 %. Таким образом, скорость окисления углерода составила 3 % в час. В дуговой сталеплавильной печи (ДСП) эта скорость в 5 раз меньше.

Более быстрое и эффективное окисление примесей может быть достигнуто в ИТП с основной футеровкой, если вдувать воздух на поверхность ванны. В этом случае удастся почти полностью удалить из ванны кремний и марганец, а содержание углерода и фосфора довести до 0,02 %. Метод вдувания воздуха по сравнению с окислением рудой эффективнее повышает скорость и степень выгорания примесей.

Разъедание стены тигля при этом также уменьшается. Для уменьшения разъедания стенки тигля при основной футеровке рекомендуется добавлять в шлак 15–20 % периклаза от массы шлака. Шлак при этом не теряет своей жидкотекучести. Естественно, чем больше площадь соприкосновения металла со шлаком, чем выше температура шлака и чем меньше глубина ванны, тем выше скорость очищения металла от примесей, следовательно, выше механические свойства получаемого изделия.

Нагрев шлака плазменной дугой. При установке плазматрона в своде печи появляется возможность подогрева шлака до температуры, требуемой для проведения металлургических процессов на границе «металл-газовая фаза-шлак».

Дополнительное применение дуги постоянного тока, горящей между графитированным электродом и шихтой, позволяет быстро проплавить в ней вертикальный «колодец». Отдельные куски шихты, образующие внутренние стенки «колодца», оплавляются и электрически переключаются, в результате чего общее электросопротивление шихты снижается, а мощность, передаваемая ей от индуктора, резко возрастает. Происходит сокращение длительности периода расплавления на 20–30 % и снижение удельного расхода электроэнергии.

Вышеуказанные технические решения еще раз показывают возможность формирования активного шлака при выплавке стали в ИТП и использование в качестве шихты относительно дешевого лома с пониженным содержанием кремния, марганца и повышенным содержанием серы и фосфора.

Список литературы

1 Снижение дефектности крупных литых деталей подвижного состава железнодорожного транспорта за счет выполнения мощных упрочняющих ребер / Н. К. Турсунов [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч.1. – С. 165–167.

2 Improvement of technology for producing cast parts of rolling stock by reducing the fracture of large steel castings / N. K. Tursunov [et al.] // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Vol. 2, no. 4. – P. 948–953.

3 **Toirov, O. T.** Development of production technology of rolling stock cast part / O. T. Toirov, N. K. Tursunov // Conmechhydro 2021 : Intern. scientific conference on construction mechanics, hydraulics and water resources engineering. – Tashkent, 2021. – Vol. 264. – P. 05013.

4 Development of innovative technology of the high-quality steel production for the railway rolling stock cast parts / N. K. Tursunov [et al.] // Oriental renaissance : Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Vol. 2, no. 4. – P. 992–997.

5 **Тоиров, О. Т.** Совершенствование технологии внепечной обработки стали с целью повышения ее механических свойств / О. Т. Тоиров, Н. К. Турсунов, Л. А. Кучкоров // Universum: технические науки. – Москва : Международный центр науки и образования, 2022. – № 4–2 (97). – С. 65–68.

6 **Турсунов, Н. К.** Повышение качества стали за счёт применения редкоземельных металлов / Н. К. Турсунов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2021. Ч.1. – С. 156–158.

УДК 620.178.16

ОБОСНОВАНИЕ МОЩНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Н. К. ТУРСУНОВ, Т. М. ТУРСУНОВ, Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ, Т. Т. УРАЗБАЕВ
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

При эксплуатации индукционных тигельных печей (ИТП-6) на литейных механических заводах необходимо строго следить за температурным режимом плавки, поскольку даже незначительное (на 20~50 К) превышение температуры против допустимой для данного материала футеровки резко уменьшает срок ее службы. Тем временем, срок службы футеровки и вследствие этого работа самой печи определяет производительность по металлу и изделий. Исходя из этого, увеличение срока