

диаметром 10 мм. В тигле осуществлялась индукционная плавка металла при температуре 1600 °С.

Список литературы

Emi T. Process integration for making extra clean steels for stringent applications// Metal Separation Technologies beyond 2000. – TMS, Warrendale. – 1999. – P. 207 – 218.

УДК 621.74

А. В. Жаданос, О. Н. Кукушкин

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ

Одной из важнейших целей внепечной обработки стали на электродуговой установке ковш-печь (УКП) и вакуумной установке (VD) является обеспечение перед разливкой стабильной, регламентированной технологическими требованиями температуры металла, что необходимо для обеспечения благоприятных условий формирования качественной структуры слитка. При этом необходимо минимизировать расход электрической энергии. Сложность решения этой задачи связана с особенностями контроля температуры металла в процессе внепечной обработки стали только путем периодических замеров. Создание математической модели, которая позволит с достаточной точностью прогнозировать температуру металла, корректного математического алгоритма для расчета энергетического режима на каждом этапе нагрева металла на УКП даст возможность усовершенствовать технологию внепечной обработки стали.

Разработка математической модели. В качестве объекта для разработки модели выбран участок внепечной обработки, на котором обрабатываются сталь колесного сортамента. Внепечной обработке длительностью 120-150 минут (в том числе, 20-50 минут обработка на УКП мощностью 14,4 МВ·А) подвергаются ковши с массой расплава $M_{расп} = 95-115$ т [1]. Задача оптимизации энергетического режима формулируется следующим образом: за заданное время (t), при минимально возможном расходе активной электрической энергии $E_{акт}$ передать расплаву необходимый запас теплоты для выполнения последующих технологических операций. Целевая функция определяется выражением [2]:

$$E_{акт} = \sqrt{3} \cdot \sum_{j=1}^n U_{2,j} \cdot I_{2,j} \cdot \cos \varphi_j \cdot t_{нагр,j} \rightarrow \min \quad (1)$$

где $t_{нагр,j}$ – время нагрева на ступени напряжения j , $U_{2,j}$, $I_{2,j}$ – соответственно номинальные напряжения и токи на вторичной обмотке трехфазного трансформатора, $\cos \varphi_j$ – коэффициент мощности трансформатора.

Решение задачи состоит в определении времени начала нагрева металла на УКП и временной последовательности переключений ступеней напряжения трансформатора. При разработке алгоритма необходимо учитывать влияние на работу УКП смежных технологических агрегатов участка внепечной обработки стали – машины скачивания шлака и вакуумной установки, а также сталеплавильных печей. Это приводит к необходимости учета ограничений по времени на длительность обработки стали на УКП.

$$t_{мин} \leq t_{обр} \leq t_{макс}; t_{дес.мин} \leq t_{обр.н-к}; t_{доб} + t_{усв} \leq t_{нагр}, \quad (2)$$

где $t_{обр} = t_{обр.н-к} + t_{см}$ – время внепечной обработки, включающее обработку расплава на УКП и выдержку под слоем утепляющей смеси до нагрева; $t_{мин}$ – минимально возможное время внепечной обработки, по достижении которого возможно вакуумирование данного ковша; $t_{макс}$ – максимально возможное время внепечной обработки, определяемое периодичностью выпуска последующих плавов из сталеплавильных агрегатов;

$t_{обр.н-к} = \sum_{j=1}^n t_{нагр,j} + t_{ост}$ – время обработки на УКП, включающее нагрев на ступенях напряжения и технологические остановки; $t_{дес.мин}$ – минимальное время обработки на УКП, которое обеспечивает проведение десульфурации стали; $t_{доб}$ – время ввода последней порции легирующих, раскислителей и шлакообразующих материалов; $t_{усв}$ – время усвоения добавок.

Так как температура металла перед разливкой должна находиться в заданном технологическими требованиями диапазоне, который зависит от марки стали, уравнение теплового баланса является основным ограничением решаемой задачи.

$$E_{расп} = \sum_{t_{обр}=1}^n \Delta E_{расп.t} \quad (4)$$

где $E_{расп}$ – энергия, которую необходимо передать во время обработки; $\Delta E_{расп.t}$ – приращение энергии расплава за шаг обработки, которое происходит вследствие подвода энергии во время работы УКП и тепловых потерь, связанных с нагревом футеровки ковша и теплопередачей через нее, излучением с поверхности металла и шлака. Величину $E_{расп}$ определяли из выражения

$$E_{расп} = M_{расп} \cdot C_{расп} \cdot (T_{н-к.кон} - T_{обр.нач}) + E_{доб}, \quad (5)$$

где $E_{доб}$ – затраты энергии, связанные с нагревом и расплавлением химических добавок; $T_{п-пкон}$ – температура расплава, при превышении которой должна закончиться обработка на У КП; $T_{обр.нач.}$ – температура на начальном шаге решения задачи динамического программирования, $C_{расп}$ – удельная теплоемкость расплава.

С применением метода динамического программирования разработан алгоритм расчета оптимального энергетического режима на каждом этапе обработки металла на У КП. Установлено, что для минимизации расхода электрической энергии, нагрев металла должен производиться без промежуточных остановок, а время начала процесса нагрева должно выбираться таким образом, чтобы энергетический к.п.д. установки, зависящий от толщины шлака, на каждом шаге обработки был максимальным.

Литература

Малик А.А. Оснащение сталеплавильных цехов установками внепечной обработки стали / А.А. Малик, В.А. Уголков, В.Ю. Довгач // Электromеталлургия. - 2005. - №4. - С. 21-25.

Жаданос А.В. Оптимизация энергетического режима внепечной обработки колесной стали на основе математического моделирования / А.В. Жаданос, О.Н. Кукушкин // Теория и практика металлургии. - 2010. - № 3-4. - С. 37-43.

УДК 621.74.04

Н. О. Жижкина, Ю. І. Гутько, А. І. Малик

*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,
Луганськ*

МОДИФІКУВАННЯ МАСИВНИХ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ

Підвищення конкурентоздатності металопродукції можливо шляхом поліпшення її якості й зниження собівартості, що нерозривно пов'язане з експлуатаційною стійкістю й надійністю змінного металургійного встаткування (валків, кюмпельних піддонів й інше). Таке встаткування виготовляють із чавуну, що характеризується одночасно високим рівнем технологічних й експлуатаційних властивостей.

Досвід виробництва масивних валків [1] показує, що для одержання чавунних виливків необхідної якості змінюють технологічні параметри процесів плавлення, лиття й термічної обробки виробу. Застосування позапечного оброблення розплаву різними добавками, що модифікують, допомагає управляти процесом структуроутворення таких виливків. В якості основних модифікаторів застосовують магній і його лігатури, феросиліцій, силікобарій, алюміній, кальцій, стронцій, церій, РЗМ (Ce, Y, La) і інші компоненти. Одержання кулястих включень у структурі при найменшому серед модифікаторів змісті забезпечує магній.

Уводять такі добавки в ківш, в автономні проточні реактори, усередину форм. Разом з тим процес модифікування характеризується нестабільністю ефекту, що обумовлено його чутливістю до коагуляції, розчиненню, розподілу добавок в обсязі розплаву й залежить від ряду технологічних факторів: хімічного складу й температури розплаву, марки й фракції застосовуваного модифікатора, кількості оброблюваного металу, швидкості наповнення реакційної ємкості, методу оброблення [2].

В процесі кристалізації виливків з модифікованого чавуну утворюється кулястий графіт й одночасно збільшується дисперсність структури, що забезпечує одержання рівня міцностних і пластичних властивостей, що відповідає сталевим виробам. Установлено, що сферичні включення в таких чавунах перешкоджають поширенню тріщини, а, отже, підвищують здатність матеріалу витримувати більш високі зовнішні знакозмінні температурні й динамічні навантаження [2].

Вивчення кількісного взаємозв'язку між хімічним складом, структурою, товщиною вилівка й міцностними властивостями масивних виробів, що виготовляють із модифікованого чавуну, показали, що зміст Сзаг шляхом установлення кількості зв'язаного вуглецю визначає часткове співвідношення структурних складових металевої матриці, а, отже, міцностні характеристики чавуну. Так максимальним усередині досліджуваної групи виливків зна-