

УДК 621.74.01: 621.001.5

Д.А. Луковников, К.Д. Савельев (асп. каф. ФХЛСиП), В.М. Голод, к.т.н., проф.

### ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ТВЁРДОЙ КОРКИ ПРИ ЗАЛИВКЕ СТАЛИ В ВОДООХЛАЖДАЕМЫЕ ИЗЛОЖНИЦЫ

В процессе заливки водоохлаждаемой изложницы с поддоном (рис. 1) происходят взаимосвязанные процессы гидродинамики, теплообмена и затвердевания, совокупность которых определяет возможность размыва поддона, образования или эрозии твёрдой корки. Поэтому целью работы являлось исследование условий теплообмена и гидродинамики в системе расплав – поддон – водоохлаждаемая изложница при изготовлении 5-тонных слитков для обеспечения безопасного режима заливки.

Для этого необходимо выбрать такие параметры технологического режима заливки, при которых процесс нарастания твёрдой корки слитка продолжается непрерывно, предохраняя стенку изложницы от непосредственного контакта с расплавом, чтобы под воздействием циркулирующего потока расплава не могло произойти эрозии корки и стенок изложницы. В связи с этим в работе дана количественная оценка влияния таких технологических факторов, которые наиболее существенно воздействуют на процессы теплообмена и эрозии твёрдой корки: температура заливки и марка заливаемой стали; толщина стального поддона; начальный уровень металла в ковше; диаметр стопорного стакана; высота ковша над изложницей; использование промежуточной заливочной воронки; интенсивность циркуляции охлаждающей воды.

Важной особенностью рассматриваемой технологии является системная взаимосвязь перечисленных явлений, вследствие чего влияние каждого фактора необходимо рассматривать с учётом совокупного воздействия всего комплекса других факторов. Для решения подобной задачи была сформирована сложная многоуровневая численная модель технологического процесса, отражающая влияние весьма большого числа взаимосвязанных теплофизических, гидродинамических, металлургических и технологических факторов в процессе заливки стали в изложницу.

Информационное обеспечение такой модели представляет значительные трудности в связи с отсутствием в литературе большого числа необходимых характеристик и невозможностью непосредственного наблюдения процесса и прямой оценки или измерения его цеховых параметров. В связи с этим было уделено значительное внимание выбору наиболее корректных значений большинства характеристик, а в тех случаях, когда такой выбор был затруднен, принимались значения, при которых модель даёт не заниженную, а скорее несколько завышенную оценку эрозии твёрдой корки и позволяет дать некоторый запас надёжности при использовании результатов моделирования.

Для решения поставленной задачи с целью анализа условий эрозии твёрдой корки формирующегося слитка производили сопряжённое моделирование гидравлических, гидродинамических и теплофизических процессов с учётом ряда важных факторов таких

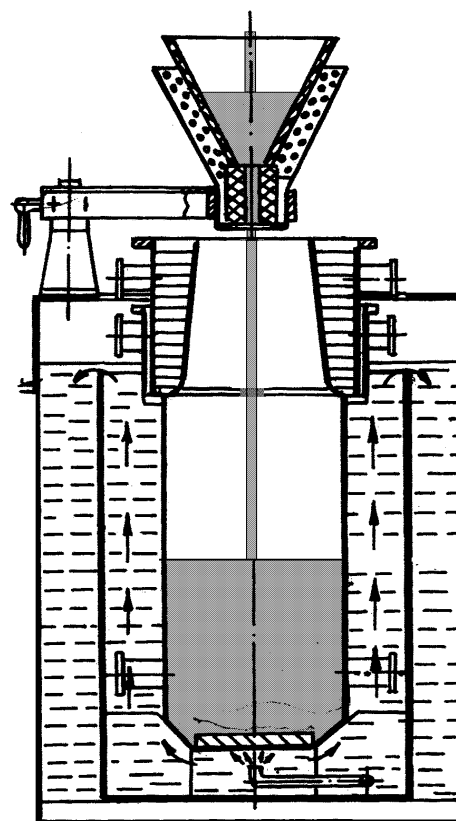


Рис. 1

как: использование промежуточной воронки; изменение входной скорости струи металла во время заливки [1]; возникновение пристеночного кипения, проходящего стадии пузырькового и пленочного кипения с переменным коэффициентом теплоотдачи, величина которого зависит от свойств жидкости и режима кипения; образование зазора на границах раздела металл-изложница и изложница-поддон, толщина которого зависит от условий усадки наружной корки. Для описания процесса фазового превращения в стали при затвердевании использован аппарат термодинамического моделирования сплавов [2], обеспечивающий возможность вычисления для многокомпонентных сплавов значений критических температур, энтальпии, теплоты кристаллизации и теплоемкости в зависимости от температуры и состава сплавов.

Решение сформированной численной модели осуществляли, используя основные модули программного комплекса "POLYCAST" [3], подвергшиеся значительной модернизации применительно к особенностям поставленной задачи. В результате решения получены численные значения распределения температур и скорости циркуляции расплава в различные моменты времени по сечению заливаемой изложницы, а также по толщине стенки изложницы и поддона, позволяющие количественно анализировать условия образования и эрозии твердой корки металла на стенках изложницы.

Представленные данные позволяют сделать ряд важных *выводов*:

- наиболее ответственным этапом заливки стали в водоохлаждаемые изложницы является заполнение нижней части, когда скорость падения струи является максимальной и струя непосредственно воздействует на поверхность поддона в силу малой глубины залитого слоя металла; на последующих этапах высота падения струи уменьшается и возрастает толщина слоя, предохраняющего поддон от эрозии;
- возможность появления эрозии поддона определяется соотношением скорости нарастания корки под влиянием теплоотвода и скорости оплавления и размыва корки струей притекающего расплава;
- из большого числа факторов, влияющих на образование и эрозию корки, наиболее важными технологическими факторами, определяющими кинетику изменения толщины корки, являются толщина поддона и перегрев металла относительно температуры ликвидуса, а также скорость струи, воздействующей на поверхность поддона;
- увеличение перегрева над ликвидусом заливаемой стали способствует сокращению скорости нарастания корки, а повышение перегрева над ликвидусом материала поддона усиливает его эрозию (при отсутствии корки);

Для обеспечения устойчивой и безопасной технологии изготовления слитков в тонкостенных водоохлаждаемых изложницах необходимо обеспечивать минимальную высоту ковша над изложницей или промежуточную воронку для стабилизации условий заливки, а также использовать рациональное сочетание толщины поддона и перегрева стали при заливке.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Галенко П.К., Голод В.М. и др. Гидравлическое и численное моделирование заливки стали // Сб. Интенсификация технологических процессов в литейном производстве.- Барнаул, 1988.
2. Савельев К.Д., Голод В.М. Моделирование процессов и объектов в металлургии. Термодинамическое моделирование многокомпонентных литейных сплавов на основе железа.- СПб.: СПбГТУ, 2001.
3. Голод В.М. и др. Интегрированная САПР литейной технологии литейного завода КАМАЗ // Литейное производство, 1994, № 10-11.