

УДК 669.18:621.746.27

## РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ ООО «КАМАСТАЛЬ»

© А.В.Куклев, В.В.Тиняков, Ю.М.Айзин, Г.В.Сгибнев, А.К.Ижик, ООО «Корад»  
 Б.И.Сахнов, А.Г.Потехин, Б.Ф.Строганов, ООО Металлургический завод «Камасталь»

ОАО «Мотовилихинские заводы» является одним из основателей технологии непрерывной разливки стали. В конце 1950 – начале 1960-х годов на заводе самостоятельно разработали и изготовили машины непрерывного литья заготовок и технологию непрерывной разливки стали в слябовые, блюмовые и кузнечные заготовки. Установки были смонтированы в мартеновском цехе завода. За это время освоена технология разливки широкого сортамента специальных высокопрочных сталей, непрерывно модернизировали МНЛЗ. Это позволило сохранить технический уровень производства до конца XX века. На рубеже XX и XXI веков на заводе началась масштабная реконструкция производства: мартеновские печи заменены на высокомогущую 65-т дуговую сталеплавильную печь и ковш-печь, проводится модернизация МНЛЗ.

К настоящему времени на слябовой МНЛЗ-4 осуществлена замена водяной системы вторичного охлаждения водовоздушной. На МНЛЗ-4 вертикального типа разливают слябы сечениями 175×1020 и 168×630 мм при скорости вытягивания сляба 0,65–0,70 м/мин. Система вторичного охлаждения состояла из зоны подбоя и трех зон охлаждения с водяными форсунками; управление расходом воды — ручное. Предварительный анализ технологии и оборудования показал, что длина зон охлаждения была недостаточной, в результате жидкая фаза проходила ниже этих зон, при этом возникал вторичный разогрев поверхности сляба, в осевой зоне формировалась рыхлая структура. Кроме того, высокая температура поверхности сляба приводила к образованию толстого рыхлого слоя окалины. Водяные форсунки имели неравномерное распределение коэффициента теплоотдачи по ширине факела, наблюдалось скопление воды между роликом и поверхностью сляба. Наблюдалось также избыточное охлаждение углов сляба, и иногда — выпучивание боковых граней сляба.

Было принято решение разработать систему водовоздушного охлаждения слитка, работающую в автоматическом режиме, в том числе на переходных режимах разливки, и обеспечивающую увеличение скорости разливки, улучшение качества поверхности и макроструктуры сляба. Система охлаждения для низкоскоростных МНЛЗ имеет свою специфику. Необходимо обеспечить мягкое охлаждение водовоздушным туманом, чтобы избежать местного переохлаждения поверхности слитка в районе попадания на него воды. Кроме того, к охлаждающим форсункам обязательным является требование равномерного распределения коэффициента теплоотдачи по ширине факела форсунки, так как сляб, разливаемый на низких скоростях, чувствителен к образованию полос переохлаждения поверхности.

На этапе проектирования системы была разработана математическая модель охлаждения сляба. Для расчета

температурного поля в поперечном сечении сляба использована отработанная схема из расчетной методики, основанная на равновесной модели затвердевания сплава [1–3] и конечноразностного метода решения уравнения теплопроводности [4]:

$$\rho c_{\text{эф}} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad } T), \quad (1)$$

$$\text{где } c_{\text{эф}}(T) = \begin{cases} c_L(T), & T > T_L; \\ (1 - f_L)c_S + f_L c_L + L \frac{df_L}{dT}, & T_S \leq T \leq T_L; \\ c_S(T), & T < T_S; \end{cases}$$

$T_S$  и  $T_L$  — температуры солидуса и ликвидуса сплава соответственно.

Решая уравнение (1) при различных коэффициентах теплоотдачи, получали картину распределения температур по сечению и высоте сляба. Пример распределения расчетной температуры поверхности по длине сляба показан на рис. 1 и 2.

Таким образом, учет выделения тепла в двухфазной зоне сводится к соответствующему заданию зависимости эффективной удельной теплоемкости сплава от температуры  $c_{\text{эф}} = c_{\text{эф}}(T)$ .

Для требуемого распределения температур и ширины орошения сляба выбирали тип форсунок и схему охлаждения сляба из каталога фирмы «Корад». Отличие разработанной схемы охлаждения от исходной состояло в увеличении длины зоны, числа зон регулирования и протяженности зоны охлаждения торцевых поверхностей сляба. Новая система охлаждения состояла из водяного подбоя широкими гранями с регулированием одним регулировочным клапаном, водовоздушного охлаждения торцов сляба с пятью форсунками по каждому торцу и отдельным регулированием, четырех зон водовоздушного охлаждения широкими гранями сляба с отдельным регулированием по

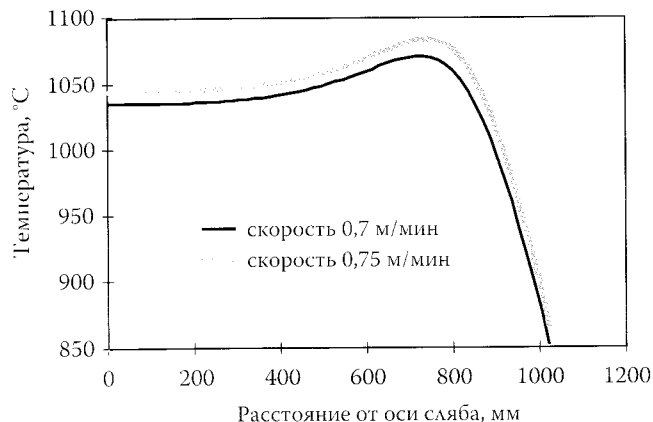


Рис. 1. Распределение температуры поверхности по ширине сляба (низколегированная сталь)

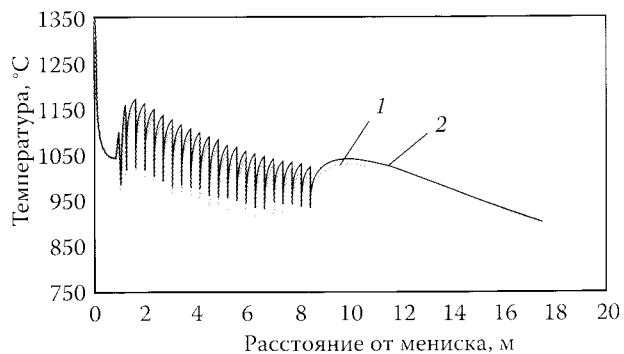


Рис. 2. Распределение температуры поверхности сляба по длине технологической оси (низколегированная сталь; ширина слитка 1020 мм, толщина 175 мм; скорость разлива 0,7 м/мин): 1 — центр сляба; 2 — 1/4 ширины от центра сляба

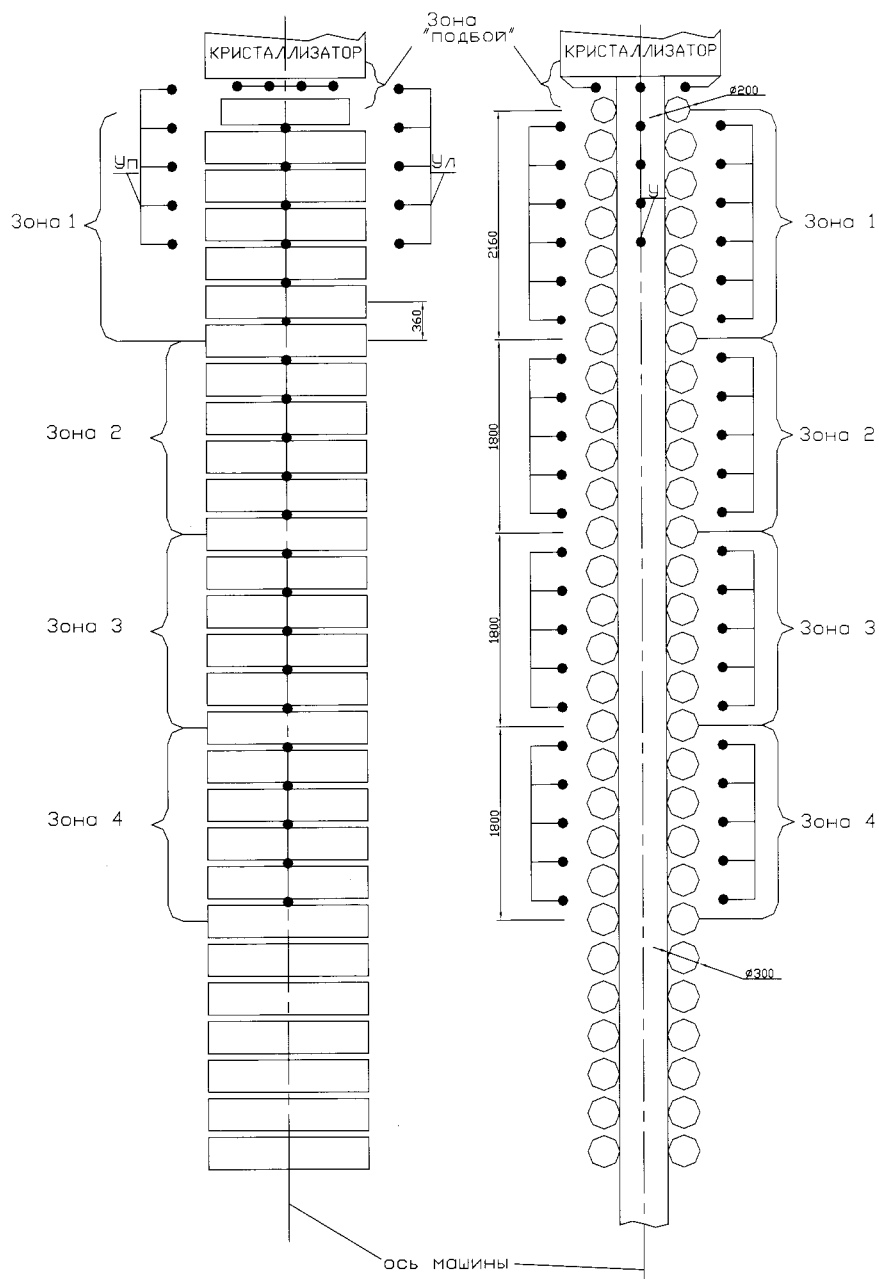
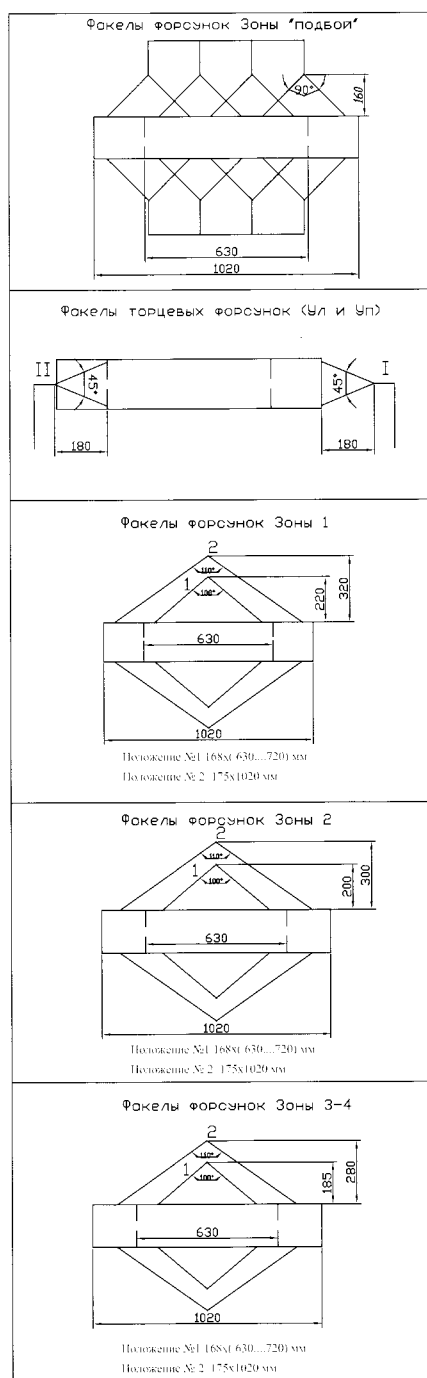


Рис. 3. Принципиальная схема расстановки коллекторов на МНАЗ

граням (рис. 3). Зона подбоя состояла из двух горизонтальных, неподвижно закрепленных водяных коллекторов с четырьмя водяными форсунками. В случае разливки узкого сляба две крайние форсунки закрываются заглушками. Торцевые коллекторы переставляются в зависимости от ширины разливаемых слябов и снабжены двухщелевыми водовоздушными объемно-факельными форсунками. Отличительной особенностью этих форсунок является формирование двух расходящихся водовоздушных струй, между которыми возникает разрежение, в результате струи начинают сходиться, и формируется факел с эллиптической зоной орошения. Зоны водовоздушного охлаждения состоят из коллекторов типа стояков с подводом воды и воздуха, смесительными узлами перед каждой форсункой (рис. 4.). При изменении ширины сляба коллекторы пере-



двигают по платику с прорезью и закрепляют с помощью пальца. Используются однощелевые плоскофакельные водовоздушные форсунки двух типов с различным углом раскрытия факела. Пример распределения коэффициента теплоотдачи по ширине и высоте факела плоскофакельной форсунки показан на рис. 5. Комбинируя эти форсунки в коллекторах, удалось повысить температуру углов сляба и в то же время практически избавиться от темной полосы посередине сляба от переохлаждения поверхности, что обычно характерно для однорядного вертикального размещения коллекторов охлаждения. Вода и воздух к коллекторам подаются через металорукава. Для повышения надежности работы системы перед каждым коллектором устанавливается быстроразъемное соединение с сетчатым фильтром (рис. 6), дополнительно магистральный воздух очищается центробежным фильтром. Воздух подается на каждую зону охлаждения, перед разливкой в системе устанавливается давле-

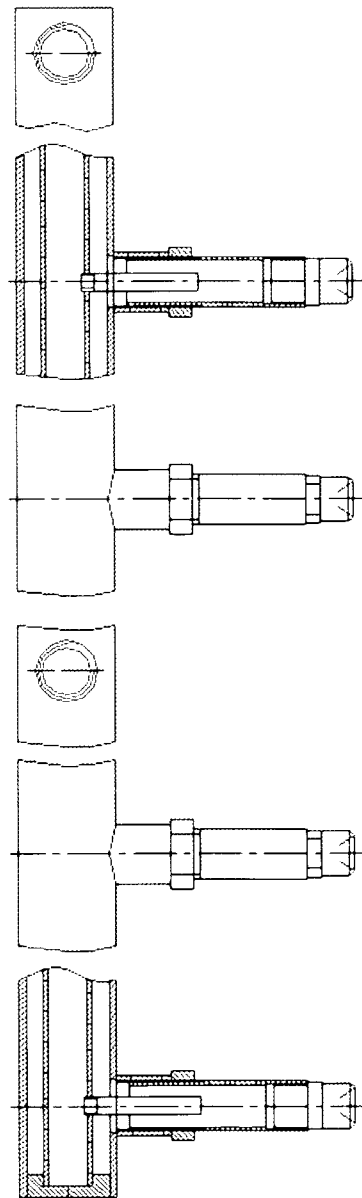


Рис. 4. Водовоздушный коллектор

ние 2,0–3,5 ати, соотношение «вода–воздух» изменяется в процессе изменения расхода воды за счет изменения гидравлического сопротивления узла.

Был разработан водоразборный узел, где для регулирования расхода воды использовали регулировочные клапаны с электрическим приводом, расход воды измеряется индукционными датчиками, общий расход воздуха — вихревым датчиком расхода, установлены датчики давления и манометры. Разработана система автоматического управления (разработчик ОАО АСК, Екатеринбург). Система позволяет изменять расход воды по зонам в зависимости от скорости разливки, а также отслеживать слябы, разлитые с изменением скорости вытягивания. Расход воды по зонам при изменении скорости вытягивания слитка изменяется с определенной задержкой, время задержки зависит от предыдущей и последующей скорости вытягивания слитка и зоны регулирования. В случае уменьшения скорости вытягивания слитка до 0,2 м/мин или остано-

Распределение коэффициента теплоотдачи по факелу (расстояние от форсунки до поверхности — 200 мм)

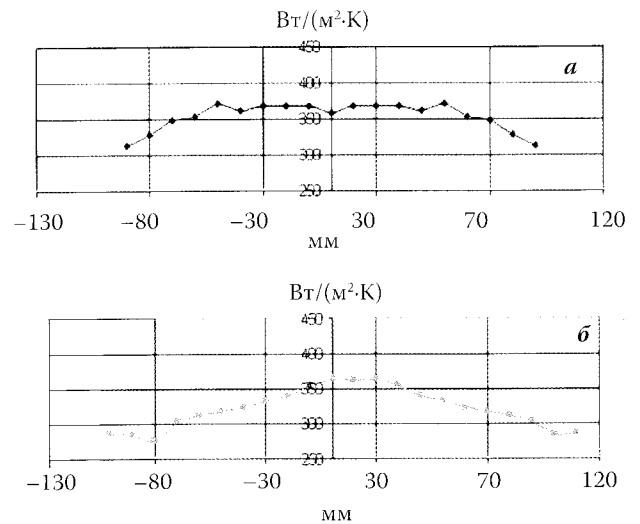


Рис. 5. Распределение коэффициента теплоотдачи по ширине (а) и высоте (б) факела плоскофакельной форсунки

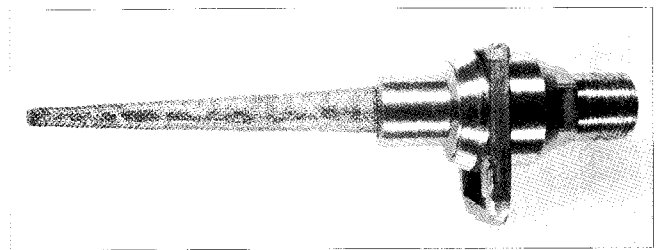


Рис. 6. Быстроразъемное соединение с сетчатым фильтром

ке машины вода перекрывается, а воздух продолжает подаваться для исключения забивания форсунок накипью. При этом для сохранения опорных роликов предусмотрено их спрейерное наружное охлаждение.

Промышленные испытания системы и внедрение ее в производство прошли на всем марочном сортаменте стали, производимом в цехе. При работе форсунок формировался устойчивый водовоздушный туман. В результате улучшились геометрия слябов, качество их поверхности и макроструктура, повысилась равномерность распределения температуры поверхности сляба, уменьшилось термощиклирование, увеличилась до 0,8 м/мин скорость вытягивания сляба.

#### Библиографический список

1. Борисов В.Т. Теория двухфазной зоны металлического слитка. — М.: Металлургия, 1987. — 224 с.
2. Тепловые процессы при непрерывном литье стали / Под ред. Ю.А.Самойловича. — М.: Металлургия, 1982. — 152 с.
3. Емельянов В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. — М.: Металлургия, 1988. — 143 с.
4. Зарубин С.В. Разработка расчетных методов анализа термомеханических процессов в непрерывном слитке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1986. — 28 с.