

К ВОПРОСУ КАЧЕСТВА И ПРОЧНОСТИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Шафиев О.М., Стулов В.В.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), г. Москва*

Ключевые слова: анализ, поверхность корочки, охлаждение расплава, температура корочки, деформация корочки заготовки.

Аннотация. Приведены результаты сравнительного анализа влияния на качество поверхности заготовки параметров процесса непрерывной разливки стали и охлаждения металла в кристаллизаторе машины. Рассмотрены результаты зарубежных авторов математического расчета для стали и физического моделирования затвердевания низкотемпературного расплава. По полученным различными авторами результатам колебание теплового потока, скорость разливки стали, температура перегрева расплава, температура стенки кристаллизатора оказывают влияние на температуру корочки заготовки в верхней части кристаллизатора и ее деформации.

ON THE ISSUE OF QUALITY AND STRENGTH OF CONTINUOUSLY CAST STEEL BILLETS IN THE MOLD

Shafiev O.M., Stulov V.V.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keyword: analysis, crust surface, melt cooling, crust temperature, deformation of the crust of the workpiece.

Abstract. The results of a comparative analysis of the influence of the parameters of the process of continuous casting of steel and cooling of the metal in the mold of the machine on the surface quality of the billet are presented. The results of foreign authors of mathematical calculations for steel and physical modeling of solidification of a low-temperature melt are considered. According to the results obtained by various authors, heat flux fluctuations, steel casting speed, melt overheating temperature, and mold wall temperature affect the temperature of the billet crust in the upper part of the mold and its deformation.

Проблемы улучшения качества поверхности непрерывнолитых стальных заготовок и производительности разливки являются основными, которые стоят перед руководителями металлургических предприятий.

В работе [1] рассматривается формирование оболочки стального слитка в кристаллизаторе МНЛЗ с помощью математической модели, основанной на методах, используемых в гидродинамике жидкого металла, шлака и газовой фазы в сочетании с теплообменом через шлакообразующую смесь и кристаллизацией при качании кристаллизатора. Используемый авторами работы подход позволил точно оценить проникновение жидкого шлака в зазор между оболочкой слитка и стенкой кристаллизатора и установить колебания уровня металла. Представляют интерес приведенные в работе колебания температуры и теплового потока в процессе "установившегося режима" непрерывной разливки. Математическая модель, разработанная Lee P.B. с соавторами позволяет прогнозировать

высокочастотные колебания теплового потока. По результатам математического моделирования установлено, что следствием колебаний теплового потока в кристаллизаторе является циклический характер роста оболочки слитка. В результате оболочка вдоль внутренней поверхности приобретает "волнистость". Следы качания кристаллизатора служат местами зарождения трещин. С увеличением глубины следов качания увеличивается вероятность образования поперечной трещины, разрывом корочки и выливанием металла. На участке "следа" создаются неблагоприятные условия теплоотвода со сравнительно низкой скоростью затвердевания металла и недостаточной толщиной оболочки.

В работе [2] рассматриваются механизмы влияния параметров разливки стали на качество поверхности непрерывнолитой слябовой заготовки, а также изучается влияние скорости разливки и температуры перегрева на количество, размеры и состав подповерхностных макровключений. Авторами работы детально исследована структура зоны расположенная вблизи широкой грани слябов, где происходит «заворот» корочки, обусловленный работой механизма качания кристаллизатора. Показано, что глубина «заворота» корочки линейно уменьшается с увеличением скорости разливки. Huixiang Yu с соавторами объясняют причину этого повышением температуры жидкой стали в кристаллизаторе, в том числе, вблизи мениска. В результате подавляется рост твердой фазы и подплавляется шлаковый «козырек», расположенный по периметру кристаллизатора в его верхней части, уменьшается глубина «заворота». Подача в кристаллизатор расплава с более высокой степенью перегрева над температурой ликвидус также позволяет сократить количество подповерхностных неметаллических включений.

В работе [3] при расчете охлаждения слябового кристаллизатора показано влияние системы его охлаждения на толщину корочки заготовки. В кристаллизаторах, изготовленных из разных материалов и системах охлаждения получается, при прочих равных условиях, различная температура стенки, контактирующая через слой шлакообразующей смеси, с корочкой заготовки, имеющей различную температуру t_k . В итоге, при одинаковой температуре заливаемого расплава t_p получаем различные значения $\Delta t = t_p - t_k$. Различное значение Δt должно оказывать различное влияние на деформацию корочки заготовки. В итоге, состояние поверхности корочки заготовки и ее температура влияют на деформацию металла.

В процессе моделирования охлаждения низкотемпературного расплава в моделях кристаллизаторов [4] были установлены различные условия контакта корочки со стенкой кристаллизатора, влияющие на качество ее поверхности. Качественная картина состояния корочки заготовки и ее поверхности, полученные на моделях, должны наблюдаться в натурных условиях разливки стали в кристаллизаторы с различной системой охлаждения.

Для оценки влияния основных параметров процесса на прочность корочки заготовки предлагается воспользоваться методом размерностей Рэлея. Также, в качестве основного подхода к анализу деформаций корочки предлагается воспользоваться записями свободной и собственной деформации корочки, а деформации, характеризующие изменение линейных и угловых размеров,

зарегистрировать измерительными приборами, как на моделях, так и в натурных условиях.

Список литературы

1. Lee P.B., Ramirez-Lopez O.E., Mills K.C. et al. Review: the "butterfly effect" in continuous casting Ironmaking and Steelmaking. 2012. 39. 4. P. 244-253.
2. Huixiang Yu, Xiaohuan Deng, Xinhua Wang Dong et al. Characteristics of subsurface inclusions in deep-drawing steel slabs at high casting speed // Metallurgical Research Technology. 2015. №112. P. 608-612.
3. Стулов В.В. К вопросу энергосберегающей технологии и охлаждения слывового кристаллизатора для получения непрерывнолитых заготовок из высоколегированных сталей // Сталь. 2019. № 11. С. 19-23.
4. Стулов В.В., Шафиев О.М. Моделирование затвердевания стальной цилиндрической заготовки // Сталь. 2019. № 3. С. 22-25.

Сведения об авторах:

Стулов Вячеслав Викторович – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Москва;
Шафиев Олег Михайлович – аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.