

С. В. Палаткин, Н. А. Зюбан
Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград
palatkinsv@gmail.com

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО СЛИТКА, ОТЛИТОГО В ИЗЛОЖНИЦУ СВЕРХУ

В работе представлены результаты исследования влияния скорости разливки на образование в стальном слитке внешних и внутренних дефектов, формирование его структуры и зонального строения. На базе результатов, полученных при проведении математического (компьютерного) и физического моделирования, а также металлографических исследований, показано, что оптимальным для слитков конструкционных марок сталей, отливаемых сверху, является средний скоростной интервал разливки. Это гарантирует снижение количества поверхностных дефектов, уменьшение размеров и протяженности усадочной раковины, обеспечивает равномерное нарастание твердой фазы при кристаллизации и формирование зерен малого и среднего размера.

Ключевые слова: скорость разливки, крупный стальной слиток, поверхностные дефекты, дефекты усадочного происхождения, компьютерное моделирование, дендриты.

The paper presents the results of a study on the influence of casting velocity RMS-on education in the steel ingot external and intra-these defects, the formation of its structure and the band structure. On the basis of the results obtained in the mathematical (computer ion) and physical modeling, as well as metallographic IC have shown that optimal for ingots of structural steels, cast on top of a medium-speed range casting. This guarantees a decrease in the number of superficial defects, reducing the size and extent usadochterm sinks, provides a uniform increase in the crystallization of the solid phase and the formation of grains of small and medium size.

Key words: casting speed, a large steel ingot, surface defects, shrinkage defects origin, computer simulation, dendrite.

Качество стального слитка, отлитого в изложницу сверху, определяется совокупностью ряда параметров: наличием поверхностных дефектов; физической и химической неоднородностью; протяженностью структурных зон; размером зерна; природой и распределением неметаллических включений. Все эти параметры зависят от множества факторов, в том числе таких основополагающих, как параметр H/D , конусность слитка, условия охлаждения, температура и скорость разливки и т. д. Известно, что ис

пользование скорости разливки в производственных условиях в качестве основополагающего инструмента для получения качественного металла слитка ограничено практическим отсутствием всесторонних систематизированных исследований данного вопроса. Поэтому цель данной работы заключалась в проведении комплексной оценки влияния скорости разливки на качество стального слитка.

Проводимые в работе исследования были разделены на три основных этапа, в каждом из которых использовались различные методы, что позволило не только получить объективные и сопоставимые данные, но также всесторонне изучить влияние скорости разливки на качество металла слитка. При проведении исследования скорость разливки металла соответствовала используемым в производственных условиях скоростям подъема расплава в изложнице: малой $1,5 \div 2,0$ м/мин., средней $2,0 \div 2,5$ м/мин., большой $2,5 \div 3,0$ м/мин. и высокоскоростной $3,0 \div 4,5$ м/мин. В каждом диапазоне проводились исследования влияния скорости с интервалом $0,1$ м/мин.

На первом этапе исследований в результате физического моделирования на прозрачных моделях [1, 2] установлено, что изменение скорости разливки не приводит к изменению общих закономерностей затвердевания. Закристаллизовавшиеся модельные слитки гипосульфита, отлитые в различных скоростных интервалах, имели характерное для слитка спокойной стали зональное строение, а взаимное размерное соотношение структурных зон всегда сохранялось. Снижение скорости разливки расплава сопровождалось возрастанием скорости кристаллизации и увеличением скорости нарастания твердой фазы, что обусловлено увеличением степени переохлаждения при разливке с малой скоростью, в результате чего, используя полученные закономерности кристаллизации моделирующего расплава, можно оказать воздействие за счет соответствующего подбора скоростных режимов отливки слитка. Увеличение размеров и глубины проникновения в тело слитка усадочной раковины и протяженности зоны осевой рыхлоты наблюдались в модельных слитках, отлитых в низко- и высокоскоростном интервалах разливки. Разливка в среднескоростном интервале обеспечивала формирование усадочной раковины в объеме прибыльной надставки, а зона осевой рыхлоты наблюдалась только в поприбыльной части, проникая в тело слитка на незначительную глубину.

Для проведения второго этапа исследований была разработана методика [3] на базе использования двух программных продуктов: LVMFlow (ЗАО НПО «МКМ» (г. Ижевск), версия 4.4r6 Time, лицензия № T0027, метод контролируемого объема) и «Crystal» (ФГБОУ ВПО ВолгГТУ, г. Волгоград, метод конечных разностей).

Визуализация процессов наполнения изложницы показала, что в момент удара струи жидкой стали о дно изложницы образование «защитной подушки» и умеренное брызгообразование на максимальную высоту подь-

ема капли от дна изложницы не превышает уровень нижнего горизонта слитка. Это характерно для разливки в малом среднем скоростных интервалах. Однако при разливке с малой скоростью падающая струя расплава, как правило, имеет плохую организацию, проявляющуюся в отсутствии целостности структуры потока и нарушении ее сплошности. При этом формирование брызг происходит в форме капель различного размера, что в реальных условиях разливки непременно отразится в увеличении количества оксидов и повышенной пористости нижнего горизонта стального слитка. Разливка в высокоскоростном интервале, как правило, сопровождается образованием заплесков на высоте примерно $\frac{1}{4}$ высоты изложницы, что в реальных условиях производства потребует дополнительных операций по установке приспособлений для защиты.

Образование циркуляционных потоков жидкого металла наблюдалось только при наполнении изложницы расплавом более половины, причем с повышением скорости разливки интенсивность потоков равномерно возрастала.

Последовательная фиксация на протяжении процесса затвердевания изменения количества твердой фазы в LVMFlow и определение протяженности зон в затвердевших слитках «Crystal» показала, что толщина корковой зоны с увеличением скорости линейной разливки уменьшается в 1,3 раза, ее ширина по высоте расчетных слитков уменьшается на 1,5 %. Ширина зоны столбчатых кристаллов с увеличением скорости разливки уменьшается в 1,26 раза, при этом высота конуса осаждения увеличивается примерно на 1,6 %.

Трехмерная схема моделирования LVMFlow показала, что форма усадочной раковины и ее размер также зависят от скорости разливки. На завершающих этапах затвердевания крупных слитков их тепловой центр расположен под прибылью и подбор материала для ее изготовления и футеровки является важной задачей, так как отвечает за глубину проникновения усадочной раковины в тело слитка.

Третий этап исследования проводился на промышленных слитках. Слиток стали 38ХНЗМФА массой 24,3 т отливали с массовой скоростью 2,59 т/мин. Слиток стали 35 массой 4,5 т отливали с массовой скоростью 0,9 т/мин.

Для слитков разлитых с различными скоростями, характер изменения размеров дендритных кристаллов существенно не отличается. Наблюдается увеличение длины дендритных кристаллов с увеличением расстояния от нижнего горизонта к верхнему. При этом в слитке, отлитом с меньшей скоростью, наблюдалась более мелкозернистая дендритная структура, которая и обеспечила благоприятные прочностные характеристики.

Таким образом, совместное применение различных видов моделирования процессов разливки и кристаллизации стали с металлографическим исследованием закристаллизованного металла значительно увеличивает

вероятность определения различных видов дефектов, которые в дальнейшем могут быть устранены путем подбора оптимальных режимов отливки стали.

Список литературы

1. *Палаткин С. В.* Анализ затвердевания модельных слитков, отлитых с различными скоростями / С. В. Палаткин, Н. А. Зюбан // Известия ВолгГТУ. 2010. № 4. С. 171–174 (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»).
2. *Палаткин С. В.* Анализ затвердевания модельных слитков, отлитых с различными скоростями / С. В. Палаткин, Н. А. Зюбан // Известия ВолгГТУ. 2012. № 9. С. 179–183 (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»).
3. *Палаткин С. В.* Исследование влияния скорости разливки на структуру и дефекты стального слитка / С. В. Палаткин, Н. А. Зюбан, Д. В. Рущкий // *Металлургические процессы и оборудование* (Украина). 2013. № 1. С. 12–19.