

приводило к ухудшению достигаемых результатов. Так средний показатель снижения содержания кислорода в опытном металле при расходах азота 30–40 м³/ч и 80–90 м³/ч соответственно составил 17,6% и 21,3%.

Содержание азота в опытном и сравнительном металле оставалось практически на одном уровне. При исследовании микроструктуры стали, разливавшейся с применением защиты струи, снижение среднего балла по оксидным включениям наблюдалось только в случае присутствия в ней марганца и титана.

В результате выполненных исследований установлено, что газодинамическая защита струи металла при сифонном способе разливки заметно снижает интенсивность перехода кислорода из атмосферы в жидкую сталь, а также уменьшает угар легирующих элементов.

Список литературы

1. Vonesh F.A., Schmehl R.F. Inert gas shrouding of molten metal streams // Iron and Steel Engineer. 1987. V. 64. № 7. P.35–39.
2. Caseous shrouding for continuously cast billets // Steel Times International. 1988. V. 12. № 2. P.43.
3. O'Hara R.D., Spence A.G., Eisenwasser I.D. Protection des jets de coule et purges des lingotieres avec du gaz carbonique // Revue de Metallurgie — CIT. 1987. V.84. № 2. P.147–154.
4. Разработка и внедрение универсальной конструкции шибберного затвора / С.П.Еронец, Ю.Б.Бычков, В.В.Дудник и др. // Черная металлургия : Бюл.НТИ. 1991. № 2. С.45–50.
5. Новые устройства для защиты струи металла от вторичного окисления / В.В.Лисицкий, Г.З.Ковальчук, В.С.Лучкин и др. // Черная металлургия: Бюл. НТИ. 1991. № 9. С.65–67.
6. А.с.1678523 СССР, МКИ В 22 D 41/08. Шибберный затвор / С.П.Еронец, В.Л.Пилюшенко, В.В.Дудник и др. Заявл.19.02.90. Оpubл.23.09.91.
7. Пат. Украины 23251, МКИ В 22 D 7/12. Устройство для газовой обработки струи металла при разливке / С.П.Еронец, В.Л.Пилюшенко, А.Н.Рыженков и др. Заявл. 27.06.97. Оpubл. 19.05.98.
8. Улучшение защиты стали от вторичного окисления при разливке / С.П.Еронец, А.Н.Рыженков, С.В.Быковских и др. // Сталь.1998. № 1. С.25–27.

© Пилюшенко В.Л., Рыженков А.Н., Еронец С.П., 1999.

КАЧЕСТВО КИПЯЩЕЙ СТАЛИ, РАЗЛИТОЙ В ИЗЛОЖНИЦЫ С УГЛЕРОДИСТЫМ ИНТЕНСИФИКАТОРОМ КИПЕНИЯ

САПИРО В.С., САФОНОВ В.М., ТИМОШЕНКО С.Н., ПРИХОДЬКО В.В.
(ДОНГТУ)

Разработан и прошел промышленную проверку новый метод разливки кипящей стали, основанный на использовании углеродистого интенсификатора кипения. Метод обеспечивает улучшение качества поверхности и внутренней структуры слитка.

Улучшение качества поверхности и внутренней структуры слитка кипящей стали в условиях скоростной разливки возможно за счет использования различных средств физико-химического воздействия на кристаллизующийся в изложнице металл. Наиболее распространенные из них направлены на повышение движущей силы процесса окисления углерода в результате увеличения произведения $[C] \times [O]$. Очевидно, также, что добиться повышения интенсивности кипения стали при кристаллизации в изложнице можно, в основном, за счет увеличения содержания кислорода, поскольку возможность варьирования концентрацией углерода ограничена.

Разработан и всесторонне испытан принципиально новый метод повышения качества кипящей стали. Метод основан на перемешивании стали в процессе наполнения изложницы окисью углерода, образующейся в результате реакции кислорода металла с твердым углеродом, закрепленным на поддоне, что позволяет раскислить сталь в изложнице, усилить массоперенос реагентов в реакционную зону у фронта кристаллизации, предотвратить фиксацию пузырей в результате отрыва их потоками металла.

Промышленные исследования выполнены на ОАО «Мариупольский комбинат им. Ильича» — при разливке конвертерной стали сверху со скоростью 0,6–1,5 м/мин в слябинговые слитки массой 14,3 и 19,5 т; на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» при разливке сверху мартеновской стали в слябинговые слитки массой 10 и 20 т и в сортовые массой 8 т со скоростью около 2 м/мин; на ОАО «Енакиевский металлургический завод», ОАО «Металлургический комбинат им. Дзержинского» и «Криворожсталь» при разливке конвертерной стали сверху в сортовые слитки массой 5,8–10 т со скоростью 1,5–2,2 м/мин, а также на ОАО «Макеевский металлургический комбинат» при разливке сифоном сортовых слитков массой 8 т со скоростью 0,2–0,3 м/мин.

На разных этапах исследований макроструктуру стали изучали на угловых темплетах, продольных разрезах слитков, а также в заготовке.

Раскисляющее действие углеродистого интенсификатора усиливается с повышением исходной окисленности металла плавки. Так, при содержании кислорода в сравнительных слитках менее 0,025%, эффект раскисления не превышает 0,006%, при 0,045–0,055% оно ниже на 0,014–0,025%. Средняя эффективность раскисления составляет 21%. Фактически раскисляющее действие выше, так как пробы отбирали из верхней трети слитка сразу после наполнения. Приблизительную оценку эффективности раскисления нижней половины можно дать по результатам исследования загрязненности металла оксидами по длине слябного раската 18-т слитков стали 08кп Магнитогорского металлургического комбината. Среднее содержание оксидов на горизонтах от 65 до 97% от верха слитка 0,026% в опытном против 0,076% в сравнительном металле, то есть снижение составляет 65%.

Влияние углеродистого интенсификатора на толщину беспузыристой корки слитка проявляется особенно сильно при разливке переоxygenной малоуглеродистой стали с относительно невысокой скоростью (1,0–1,5 м/мин), малоуглеродистой перераскисленной и стали 3кп во всем диапазоне принятых скоростей разливки, вплоть до разливки сифоном. В этих случаях толщина корки увеличивается в 1,5–3 раза.

В таблице 1 приведены данные о толщине корки для слитков 6 плавки стали 08кп и Ст2кп, Ст3кп комбината им Ильича.

Характерно, что при традиционной технологии имеются слитки с выходом сортовых пузырей на поверхность по всей высоте. Средняя толщина корки 6 мм не может предохранить от вскрытия пузырей при нагреве. При разливке с углеродистым интенсификатором также имеются слитки с недостаточной толщиной корки, но средняя ее толщина 9–10 мм уже обеспечивает безопасный нагрев. Средняя толщина корки опытных слитков примерно в 1,5 раза больше. Если сопоставлять плавки переоxygenные, то здесь опытные слитки имеют в 3–4 раза более толстую корку (10–24 против 0–3 мм).

В условиях Магнитогорского металлургического комбината переоxygenные плавки дают значительно более толстую корку (8–11 мм), чем на комбинате им. Ильича, и опытная технология по толщине корки заметных преимуществ не дает.

Основные трудности здесь связаны с недостаточной окисленностью металла. Так, исследование макроструктуры угловых темплетов 8-т сортовых слитков плавки, которая из-за высокого содержания кремния в ферромарганце (3,4%) была перераскислена, показали, что минимальная толщина корки сравнительного слитка находится в пределах 3–5 мм, опытного — в пределах 8–12 мм.

В 7-т сортовых слитках стали марки 08кп комбината «Криворожсталь», отлитых со скоростью 2 м/мин, толщина корки опытного и сравнительного слитков составляет, соответственно: низ — 7–13 мм и 4–5 мм; середина — 13–19 мм и 7–11 мм; верх — 16–18 мм и 11–14 мм. Таким образом, в зоне развитых сотовых пузырей толщина корки в опытных слитках в среднем в 1,5–2,0 раза больше.

Таблица 1 - Влияние технологии разливки на толщину корки слитка (комбинат им. Ильича)

Вариант технологии	Горизонт слитка	Толщина корки, мм		Ширина зоны сотовых пузырей, мм
		Минимум	Максимум	
С углеродистым интенсификатором	Низ	2,0–15,0	4,0–20,0	10,0–50,0
	Середина	3,0–16,0	5,0–20,0	25,0–35,0
	Верх	4,0–35,0	8,0–37,0	0–19,0
Традиционная	Низ	0,5–13,0	3,0–13,0	14,0–60,0
	Середина	0–11,0	3,0–13,0	37,0–60,0
	Верх	0–30,0	4,0–35,0	0–28,0

На комбинате им. Дзержинского угловые темплеты были отобраны от сортовых слитков массой 5,8 т двух плавов стали марки СтЗкп, которые были отлиты сверху со скоростью 1,3–2 м/мин. Толщина корковой зоны в средней части опытных и сравнительных слитков этих плавов была, соответственно, следующей: 15–22 и 0 мм; 9–12 и 4–6 мм.

При сифонной разливке углеродистый интенсификатор также способствует утолщению корковой зоны слитка, но применение его имеет смысл только для стали СтЗкп, с качеством поверхности которой существуют проблемы даже при низкой скорости разливки. Исследование макроструктуры 8-т слитков Макеевского металлургического комбината показали, что в результате применения углеродистого интенсификатора толщина беспузыристой корки увеличилась с 6 до 24 мм в донной и с 8 до 15 мм в средней части слитка.

При скоростной разливке корковая зона слитков часто поражена тончайшими канальцами, соединяющими сотовые пузыри с атмосферой. Применение углеродистого интенсификатора благоприятно влияет на плотность корки. Это отмечается как металлографическим контролем угловых темплетов, так и при определении плотности металла методом гидростатического взвешивания.

На комбинате им. Ильича этим методом исследовали плотность четырех пар слитков стали марок 08кп, Ст2кп и СтЗкп.

Анализ показал, что в случае хорошо прокипевших слитков малоуглеродистой стали плотность корки находится в пределах 7,50–7,65 г/см³ при традиционной разливке и 7,60–7,77 г/см³ при использовании углеродистого интенсификатора.

Механизм образования канальцев в корковой зоне слитка кипящей стали еще недостаточно изучен. Существует мнение,

ложнице при его переокислении в случае низкоуглеродистой стали. Углеродистый интенсификатор нивелирует эти отклонения, снижая переокисление металла и интенсифицируя его кипение у фронта кристаллизации.

Изучение макроструктуры осевого сечения слитков массой 19 т комбината им. Ильича показало, что осевая часть слитка разлитого с углеродистым интенсификатором более плотная, осевая ликвация менее интенсивная, смещена на более низкие горизонты и рассредоточена. В слитке, отлитом по традиционной технологии, шнуровые внецентренной ликвации выражены резче и значительно сильнее газовая ликвация. Максимальная ликвация серы в опытном и сравнительном слитках 152 и 541% соответственно.

Судя по анализам, конус осаждения в сравнительном слитке больше и, следовательно, дольше формируется в ходе кристаллизации. Отрицательная ликвация здесь наблюдается практически во всем объеме от края до оси слитка, включая уровень 75% от верха. В опытных слитках положительная ликвация начинается уже на расстоянии 50% полуширины слитка с горизонта 90–94%.

На слябах, полученных прокаткой 18-т слитков стали 08кп Магнитогорского металлургического комбината, также достаточно четко прослеживается тенденция к снижению химической неоднородности металла. Область максимальной ликвации здесь сосредоточена в осевой зоне на горизонтах 25–30% от головной части раската. Максимальная ликвация серы в этой области: в опытном слитке 209%, в сравнительном 261%.

Все данные по неоднородности макроструктуры и химического состава металла указывают на существенные различия в условиях кристаллизации слитков до конца затвердевания, хотя они вызваны кратковременным воздействием углеродистого интенсификатора в процессе наполнения изложниц. На наш взгляд, различия связаны со снижением теплового сопротивления закристаллизовавшегося слоя из-за уменьшения ширины зоны сотовых пузырей: в опытном она составляла 30 мм, в сравнительном — 60 мм (таблица 1).

Загрязненность стали неметаллическими включениями в слитках и заготовках исследовали электрохимическим методом, по площади зон растравливания и по стандартной методике.

Исследования загрязненности металла из слябов 18-т слитков показали, что в опытном слитке содержание оксидов максимально в головной части раската (0,0582%), в сравнительном — в нижней части (0,366%) начиная с горизонта 80% от верха слитка. В периферийной зоне существенных различий нет, хотя среднее содержание оксидов в опытном слитке на 25% меньше. В осевой зоне среднее содержание оксидов в опытном металле примерно в 3 раза меньше (0,121% против 0,366%). Содержание алюминатов в среднем по всем проконтролированным точкам раската в опытном слитке составило 0,0169% (средний балл — 1,78) против 0,0357% (средний балл — 2,55) в сравнительном.

Как видно, раскисление стали углеродом и снижение расхода алюминия на химическое закупоривание слитков приводит к уменьшению количества оксидной фазы.

Вопрос деазотации кипящей стали при использовании углеродистого интенсификатора специально не изучали, однако отмечено снижение содержания азота в опытных 9-т слитках, отлитых сверху в мартеновском цехе № 3 Магнитогорского металлургического комбината. Установлено, что средняя эффективность удаления азота составляет 18%, а максимальная — 45%.

Для оценки эффективности технологии на первом переделе в мартеновском цехе № 1 Магнитогорского металлургического комбината была отлита 21 плавка кипящей стали с опытными и сравнительными слитками на одном составе. Данные по дополнительной обрезе и отсортировке слябов приведены в таблице 2. Для условий мартеновского цеха № 1 наибольший эффект получен по уменьшению отсортировки слябов из-за плены. Этот результат связан с раскислением металла, уменьшением количества шлака и пены, созданием восстановительной атмосферы в изложнице в период наполнения в результате интенсивного взаимодействия углерода интенсификатора и кислорода металла.

В мартеновском цехе № 3 главной целью применения интенсификатора была защита поддонов из-за высокого их расхода. Условием перехода на углеродистый интенсификатор было не ухудшение показателей по слябов и браку листа массовой для этого цеха и наиболее серьезно контролируемой стали 08кп для производства жести, отливаемой с применением листовых манжет и механически закупориваемой через 8–12 мин свободного кипения. В таблице 2 приведены данные, полученные при отливке 28 плавков. Сопоставление проведено по опытным и сравнительным ковшам одних и тех же плавков.

Таблица 2 - Сопоставление показателей первого передела опытных и сравнительных слитков Магнитогорского металлургического комбината

Цех	Технология разливки	Дополнительная обрезь, %	Отсортировка слябов по видам дефектов, %			
			Плена	Рванина	Трещина	Итого
№ 1	Опытная	1,39	1,94	2,70	0,65	5,29
	Традиционная	1,61	8,68	2,96	0	11,64
№ 3	Опытная	1,34	6,62	12,95	0	19,57
	Традиционная	1,52	10,63	18,58	0	29,21

По результатам контроля дефектов на стане холодной прокатки готовый прокат из опытного металла также не уступал серийному.

Всего по технологии с применением углеродистого интенсификатора отлито более 500 тыс. т стали различного назначения. После освоения технологии в конвертерном цехе комбината им. Ильича увеличился выход товарных слябов без зачистки, существенно возрос выход холоднокатаного листа категории вытяжки «ВГ» (до 72,8% против 58,8%).

Повышение чистоты металла способствовало улучшению показателей при профилировании ободов автомобильных колес на Кременчугском колесном заводе — брак по вине металла из-за расслоений уменьшился в среднем в два раза с 3,66% до 1,83%. Заметно повысилась пластичность металла: относительное удлинение возросло с 29,9% до 33,6%.

Исследования качества кипящей стали, отлитой в изложницы с углеродистым интенсификатором кипения, показали, что применение данного способа дает возможность увеличить толщину и плотность беспузыристой корки слитка, уменьшить протяженность зоны сотовых пузырей и химическую неоднородность, снизить содержание кислорода и оксидных включений, а также улучшить качество поверхности слитков, и показатели прокатного передела.