

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

¹А.С. Эльдарханов, ²А.С. Нурадинов, ²Н.С. Уздиева, ²С.С.-С. Ахтаев

1 - Научный центр «Новейшие материалы и технологии», г. Москва, Россия

2 - Грозненский государственный нефтяной технический университет
им. академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия

Исследовано влияние электромагнитного перемешивания жидкого металла в кристаллизаторе МНЛЗ на процессы тепло-и массообмена в нем. Показано, что при увеличении интенсивности электромагнитного перемешивания затвердевающего металла увеличивается отвод тепла от затвердевающего металла и уменьшается время его полного затвердевания, что позволяет увеличить скорость разливки.

Ключевые слова: металл, расплав, твердая фаза, промковш, теплоотбор, ликвидус, режимы охлаждения, скорость разливки.

Формирование непрерывнолитой заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ неразрывно связано протекающими в нем тепло-массообменными процессами, от которых зависят важнейшие параметры формирования заготовок в кристаллизаторе МНЛЗ: количество отведенного от расплава тепла, масса образовавшейся твердой фазы и толщина корковой оболочки [1].

Об интенсивности протекания тепловых процессов, протекающих в кристаллизаторах МНЛЗ можно судить по величине удельного теплоотвода $q_{кр}$. (тепло, отводимое от одного килограмма металла за время его пребывания в кристаллизаторе), который определяют из зависимости:

$$q_{кр} = \frac{Q_{кр}}{m_{кр}}, \quad (1)$$

где $m_{кр}$ – масса находящейся в кристаллизаторе заготовки.

На рисунках 1–3 показаны результаты расчетов для квадратной заготовки 130x130 мм.

Эти данные показывают, что несмотря на почти одинаковую скорость разливки на отдельных ручьях стали и одинаковый расход воды на охлаждение кристаллизаторе, удельный теплоотвод в кристаллизаторе на разных ручьях изменялась в заметных пределах. Следует отметить, что с увеличением температуры металла в промковше увеличивается теплоотбор в кристаллизаторе. Что свидетельствует о том, что в кристаллизаторе происходит значительное уменьшение теплоты перегрева жидкой фазы стали над температурой ликвидус.

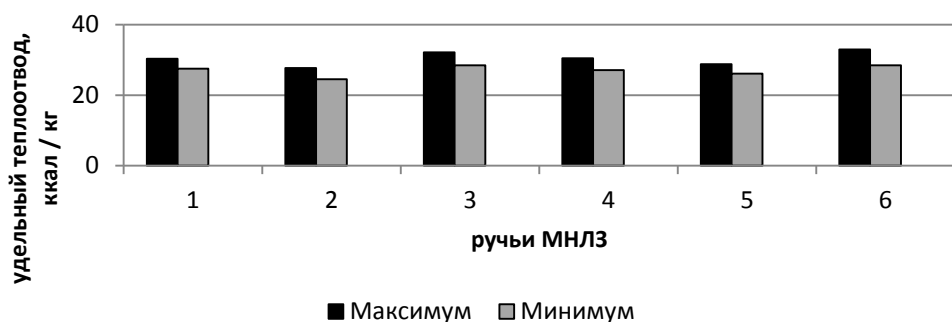


Рис. 1. Максимальный и минимальный удельный теплоотвод в кристаллизаторе МНЛЗ на разных ручьях

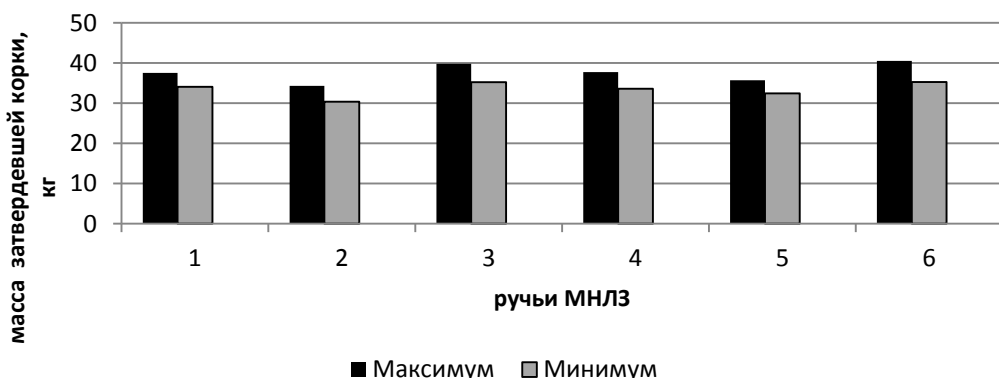


Рис. 2. Максимальная и минимальная масса затвердевшего в кристаллизаторе МНЛЗ металла на разных ручьях

Существенный разброс приведенных показателей обусловлен индивидуальными условиями формирования заготовок на каждом ручье МНЛЗ. Поэтому при назначении режимов охлаждения заготовки в зоне вторичного охлаждения необходимо учитывать состояние слитка на выходе из кристаллизатора [2].

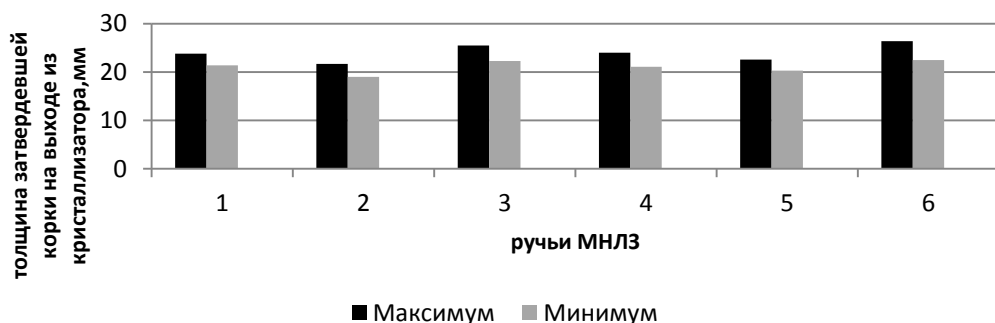


Рис. 3. Максимальная и минимальная толщина затвердевшей корки на выходе из кристаллизатора МНЛЗ на разных ручьях

Используя паспортные данные плавов, толщину корки металла из кристаллизатора (δ) определяли, из известного выражения:

$$\delta = k\sqrt{\tau}, \quad (2)$$

где k – коэффициент затвердевания; τ – время затвердевания.

$$\tau = \frac{h_a}{v}, \quad (3)$$

где v – скорость разливки стали.

Для расчета величин, которые характеризуют формирование непрерывнолитой заготовки для каждой плавки, использовали данные АСУ ТП. В таблицах 1 и 2 приведены параметры литья и результаты расчетов для разных заготовок.

Параметры для квадратных заготовок, приведенные в таблице 1, показывают, что повышение интенсивности перемешивания расплавленного металла в кристаллизаторе

позволяет увеличить интенсивность теплоотвода и массу затвердевшего металла [3]. Например, если силу тока электромагнитного перемешивания повысить от 182 до 443 А, то увеличиваются более чем на 10 % масса затвердевшей фазы и интенсивность теплоотвода.

Таблица 1 – Параметры формирования квадратных заготовок 130x130 мм

№ плавки	1	2	3	4
Скорость разливки, м/мин	2,64	2,63	2,59	2,54
Сила тока перемешивания, пер. А	443	352	343	182
Перепад температуры воды, охлаждающей кристаллизатор на входе и выходе из него, °С	5,7	5,5	5,3	5,05
Удельный теплоотбор в кристаллизаторе, ккал/кг	32,39	31,37	30,69	29,82
Масса твердой фазы, кг	40,12	38,86	38,03	36,95

Параметры разливки по ручьям и результаты расчета для круглых заготовок приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры формирования круглых заготовок Ø 150 мм

№ п/п	Технические параметры	№ темплета						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Температура стали в проковше, °С	1544	1551	1551	1551	1551	1551	1551
2	Скорость разливки, м/мин	2,35	2,15	2,10	2,20	2,15	2,10	2,20
3	Масса стали в кристаллизаторе, кг	94,12	94,12	94,12	94,12	94,12	94,12	94,12
4	Удельный теплоотвод в кристаллизаторе, ккал	24,90	24,02	27,79	27,00	23,51	27,59	26,51
5	Расчетная масса твердой фазы, кг	23,26	21,88	25,08	24,73	21,39	25,31	24,27
6	Расчетная толщина корки на выходе из кристаллизатора, мм	14,9	13,9	16,1	15,9	13,6	16,3	15,5
7	Расчетный коэффициент затвердевания, см/мин ^{0,5}	2,66	2,40	2,71	2,94	2,34	2,76	2,72

8	Полное время затвердевания, мин	7,96	9,78	7,17	6,51	10,20	7,38	7,61
9	Ток в ЭМП, А	200	300	400	500	300	400	500
10	Частота тока, Гц	3	3	6	6	3	3	3
11	№ ручья	2	5	2	2	5	2	2

Полученные результаты (табл. 1 и 2) свидетельствуют о том, что изменение интенсивности перемешивания за счет увеличения величины тока от 200 до 500 А обеспечивает повышение интенсивности теплоотвода в кристаллизаторе [4]. Благодаря этому повышается коэффициент затвердевания и сокращается время полного затвердевания заготовок. Из представленных данных следует, что предпочтительными режимами перемешивания жидкой стали являются режимы перемешивания, достигаемые при токах 400–500 А в обмотке ЭМП. При этом количество образующейся в кристаллизаторе твердой фазы позволяет повысить скорость разливки заготовок на 10–15 %.

Литература

1. *Ефимов В.А.* Металлургические аспекты перемешивания сплавов в ковше и затвердевающей слитке // Процессы разливки и кристаллизации стали. Киев: ИПЛ АН УССР. 1991. С. 3–12.
2. *Ефимов В. А. и др.* Затвердевание и структура сплавов при интенсивном перемешивании // Стальной слиток. М.: Metallurgia, 1986. С. 32–35.
3. *Баранова В. Н., Якобие Р. Я., Найдек В. Л. и др.* Влияние газоимпульсного перемешивания жидкого металла на качество слитков и непрерывнолитых слябов // Процессы литья. 2010. № 6. С. 20–27.
4. *Эльдарханов А.С., Нурадинов А.С., Ахтаев С.С.-С.* О формировании непрерывнолитых заготовок при газоимпульсной и вибрационной обработке затвердевающего сплава // Metallurgia машиностроения, 2015, № 2, С. 32–36.