



*There is developed the procedure of calculation of the interrelated processes of hardening and crystallization, allowing to determine the metallurgical length of the slug and parameters of zones of the acicular (dendritic) and globular (volume) crystallization.*

*В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова» НАН Беларуси,  
Ю. А. САМОЙЛОВИЧ, НПП «Платан», Екатеринбург,  
Н. В. АНДРИАНОВ, РУП «БМЗ»,  
И. А. ТРУСОВА, С. М. КАБИШОВ, БНТУ*

УДК 669.041

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА

Возрастающие требования, предъявляемые в последнее время к качеству стальных слитков и заготовок, ставят вопрос об управлении процессом разливки на различных стадиях их формирования. основополагающими факторами в конкретном случае, определяющими качество слитков и заготовок, являются, на наш взгляд, наряду с термическими напряжениями и деформациями, возникающими по сечению заготовки в процессе затвердевания и последующего охлаждения, закономерности формирования заготовок с точки зрения рассмотрения этих процессов в рамках теории глобулярной (объемной) кристаллизации. Как отмечалось ранее в работах [1–3], при преобладании дендритной структуры стали весьма вероятным становится образование таких дефектов, как осевая сегрегация, неравномерное распределение сульфидов, пористость и др. Преобладание же глобулярной кристаллизации способствует формированию более однородной структуры, и следовательно, повышению качества непрерывнолитых заготовок.

В продолжение ранее выполненных исследований [1–3] с использованием разработанной комплексной методики осуществлен многофакторный анализ влияния различных конструктивных и технологических параметров процесса непрерывной разливки на закономерности затвердевания заготовки, формирования и развития зон столбчатой (дендритной) и глобулярной (объемной) кристаллизации.

Методика базируется на решении задачи наиболее точного охлаждения, т.е. необходимости получения определенной средней по сечению заготовки температуры при достижении контрольным сечением зоны тянущих и разгибающих роликов. Если температура значительно ниже оптимальной, то разгибание слитка сопровождается возникновением больших усилий напряжений в за-

готовке и в самих роликах. Если же средняя температура выше оптимальной, может появиться нарушение сплошности стали вследствие ослабления взаимосвязи между зернами (блоками) литой структуры. Таким образом, преследуя цель управления качеством непрерывнолитой заготовки при увеличении производительности за счет повышения скорости разливки, с одной стороны, необходимо стремиться к полному затвердеванию слитка в момент разгиба, с другой – к преобладанию равноосных (глобулярных) кристаллов для усиления взаимосвязи между зернами в заготовке, что позволяет сформулировать два критерия качества непрерывнолитой заготовки.

Для решения указанной задачи наиболее точного охлаждения можно ввести в рассмотрение функционал:

$$F = (L_{\text{мет}} - L_{\text{к}})^2, \quad (1)$$

где  $L_{\text{мет}} = L_{\text{мет}}(\alpha_1, \alpha_2, v_{\text{л}}, \Delta T_0, \dots)$  – металлургическая длина МНЛЗ (полная глубина жидкой фазы), определенным образом зависящая от показателей теплового режима:  $\alpha_1, \alpha_2, v_{\text{л}}, \Delta T_0$  и др.;  $L_{\text{к}}$  – расстояние от верхнего среза кристаллизатора до местоположения базовых тянущих (изгибающих) роликов МНЛЗ.

В данном случае задача решается путем определения значения управляющих воздействий с целью минимизации функционала (1), при этом необходимо стремиться к уменьшению протяженности зоны столбчатых кристаллов. Математическая формулировка исходной задачи и ее решение с использованием метода интегральных балансовых соотношений Лейбензона приведены в работах [2, 3].

С целью выбора управляющих воздействий на качество заготовок осуществлен комплексный анализ влияния различных факторов на закономерности затвердевания (минимизацию функционала) и формирование кристаллической структу-

ры (протяженность зон столбчатых и глобулярных кристаллов): скорости вытягивания слитка; размеров поперечного сечения; химического состава сталей, отраженных в наборе теплофизических характеристик (температуры ликвидуса и солидуса, теплопроводности, теплоемкости, плотности); геометрических характеристик МНЛЗ (высота кристаллизатора, протяженность отдельных участков зоны вторичного охлаждения); интенсивности охлаждения (расхода охлаждающей воды); электромагнитного перемешивания.

Расчетный анализ выполнен для марочного сортамента, производимого в условиях РУП «БМЗ»: мелкосортных заготовок сечением 125x125 мм (разливаются на МНЛЗ-1,2 РУП «БМЗ») и сечением 250x300 мм (разливаются на МНЛЗ-3 РУП «БМЗ») из углеродистых сталей с содержанием углерода 0,1, 0,4 и 0,7%. При оценке параметров зоны вторичного охлаждения МНЛЗ использовали предположение об эквивалентности тепловыделения от фронта кристаллизации для слитков с квадратным (прямоугольным) и круговым поперечным сечением.

Температура охлаждающей среды (форсуночной воды) во всех случаях принята равной 20 °С. Начальную температуру расплавленной стали,

поступающей в кристаллизатор из промежуточной емкости, принимали равной  $T_{лик} + 40^{\circ}\text{C}$ , ширина зоны столбчатых кристаллов по сечению заготовки задавалась на основании данных, предоставленных ЦЗЛ РУП «БМЗ». Скорость вытягивания литых заготовок (скорость литья) в ходе расчетов варьировали: для заготовок сечением 125x125 мм от 2 до 2,5 м/мин, для заготовок сечением 250x300 мм – от 0,7 до 0,9 м/мин. Все остальные режимные параметры процесса непрерывного литья заготовок указаны ниже при обсуждении результатов расчетного анализа.

Учитывая результаты экспериментальных исследований, данные, предоставленные ЦЗЛ РУП «БМЗ», был сделан вывод о том, что фактически для всех сечений, разливаемых в условиях РУП «БМЗ», процесс глобулярной кристаллизации происходит при охлаждении заготовки на воздухе, т.е. реальный коэффициент теплоотдачи в данном случае колеблется в пределах 140–160 Вт/(м<sup>2</sup>·К). На основании изложенного выше, задаваясь величиной  $\alpha_2$ , определяем металлургическую длину, продолжительность этапов кристаллизации слитка (столбчатой и глобулярной) и коэффициент теплоотдачи в зоне столбчатой кристаллизации.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные показатели процесса кристаллизации непрерывнолитых заготовок в условиях МНЛЗ-1,2

Содержание углерода в стали, %	Скорость разливки, м/мин	Расход воды в ЗВО согласно ТИ, л/мин/(м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч))	Расчетный коэффициент теплообмена в зоне I, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Металлургическая длина слитка, м	Длина зоны столбчатой кристаллизации, м	Значение F, м <sup>2</sup>	
0,1	2,0	<u>350 – 380</u> 9,0 – 9,6	403–433	8,9–9,15	6,4–6,64	0,1	
		<u>300 – 330</u> 7,7 – 8,5	370–400	10,2–10,5	6,3–6,6	5,1	
<u>230 – 260</u> 5,9 – 6,7		317–347	11,3–11,6	5,65–5,8	8,07		
0,1		2,5	<u>440 – 470</u> 11,3 – 12,3	390–412	11,5–11,7	8,8–9,0	7,6
			<u>370 – 400</u> 9,5 – 10,3	365–390	12,7–12,96	8,0–8,25	16,9
0,7			<u>320 – 350</u> 8,2 – 9,0	340–365	13,7–14,0	7,71–7,98	23,01

Полученные результаты удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными и результатами, полученными при решении поставленной задачи численными методами [2]. Очевидно, что условие оптимальности процесса, т.е. условие затвердевания заготовки до зоны правки, при действующих режимах охлаждения и существующей конструкции МНЛЗ не выполняется. Лишь в случае разливки малоуглеродистой стали

(0,1% С) со скоростью 2 м/мин значение функционала близко к оптимальному.

На рис. 1 представлены результаты расчетов, полученные при задании идентичных для всех марок сталей условий охлаждения в ЗВО.

Из рисунка видно, что увеличение содержания углерода в стали от 0,1 до 0,7 % приводит к уменьшению длины зоны столбчатой кристаллизации (от 7 до 6 м). Но общая длина жидкой

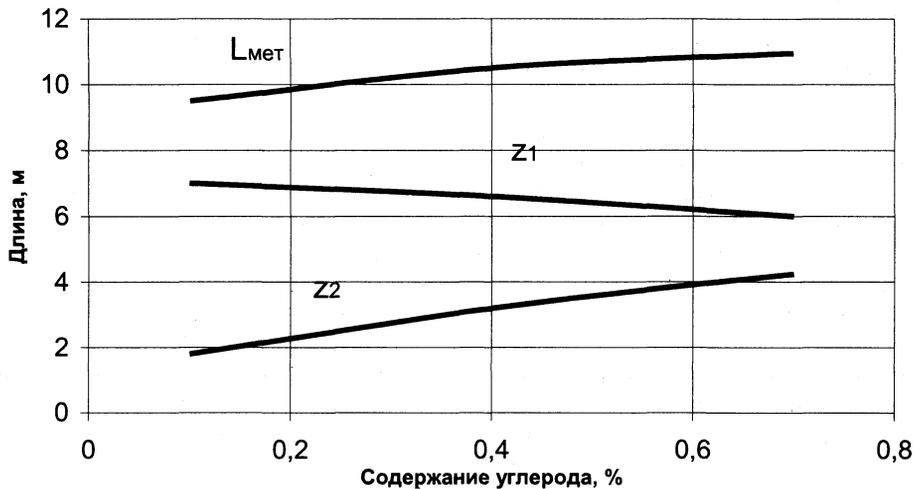


Рис. 1. Зависимость металлургической длины ( $L_{мет}$ ) и длин зон столбчатой ( $z_1$ ) и глобулярной ( $z_2$ ) кристаллизации от содержания углерода в стали при разливке в условиях МНЛЗ-1 заготовок сечением 125x125 мм (скорость разливки 2 м/мин)

лунки возрастает. Причем этот рост обеспечивается за счет увеличения продолжительности глобулярной кристаллизации. Аналогичные результаты получаются для случая разливки со скоростью 2,5 м/мин.

Одним из основных направлений развития технологии непрерывной разливки сортовых заготовок в настоящее время является повышение производительности МНЛЗ. В связи с этим оценим возможность разливки непрерывнолитых заготовок сечением 125x125 мм в условиях МНЛЗ-1 со скоростью 3,5 м/мин. При этом, учитывая то обстоятельство, что при существующих размерах ЗВО не обеспечивается требуемая глубина жидкой лунки практически у всего разливаемого сортамента, рассмотрим процесс затвердевания при увеличении длины зоны вторичного охлаж-

дения на 50% (добавлена еще одна зона длиной 2,33 м), при этом коэффициент теплоотдачи в ЗВО находится на уровне 550 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

На рис. 2 приведена номограмма для определения требуемой интенсивности охлаждения заготовки из стали группы А (0,1% С) в зоне глобулярной кристаллизации при увеличении длины ЗВО. Из рисунка видно, что действующая конструкция обеспечивает полное затвердевание слитка при скорости 3,5 м/мин лишь к концу МНЛЗ (длина ≈15 м), а удлинение ЗВО достаточно эффективно сокращает время полного затвердевания. Несмотря на положительный эффект, который наблюдается при удлинении ЗВО, следует отметить, что с точки зрения оптимальности процесса и качества литого металла в условиях МНЛЗ-1 нельзя разливать заготовки со скоростями, превышающими 3 м/мин.

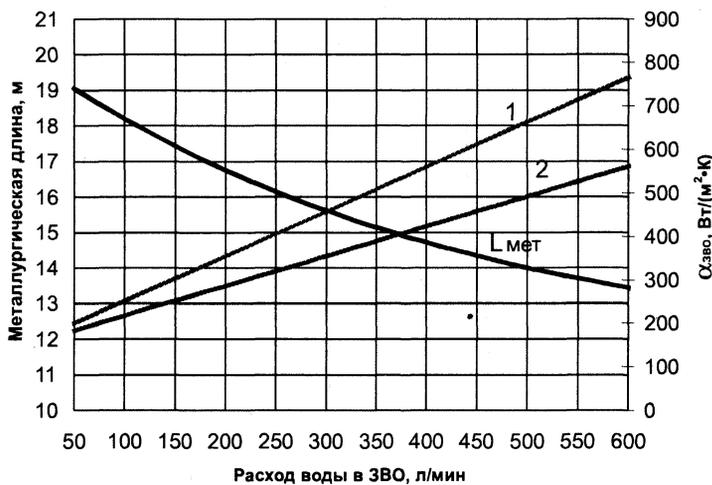


Рис. 2. Зависимость металлургической длины ( $L_{мет}$ ) заготовок сечением 125x125 мм из стали 10 и интенсивности теплообмена в ЗВО действующей конструкции (1) и удлиненной на 50% (2) от расхода воды

Анализ полученных результатов показал следующее:

- уменьшение глубины жидкой лунки возможно при интенсификации условий охлаждения

в зоне столбчатой кристаллизации, при этом реальной возможностью достижения требуемых условий охлаждения (с учетом роста температурного перепада по сечению заготовки и уровня

термонапряжений в затвердевающей корочке) является удлинение ЗВО, например, добавление 4-й зоны, которая даст возможность получать качественную продукцию из углеродистых и высокоуглеродистых сталей при скоростях разливки до 3 м/мин, в то же время позволит организовать так называемое «мягкое» охлаждение слитка;

- вторым, не менее эффективным, способом, но который требует существенных капитальных затрат, является изменение конструктивного размера  $L_k$  и обеспечение разгиба заготовки не менее чем в двух точках (т.е. дуга с изменяющимся радиусом).

Наряду с отмеченными способами оптимизации работы мелкосортных МНЛЗ-1,2 существуют и иные возможности воздействия на процесс кристаллизации. Это использование кристаллиза-

тора с параболической конусностью и гидравлическим механизмом качания, применение в кристаллизаторе при высоких скоростях разливки постоянного электромагнитного поля, которое будет выполнять функцию торможения струи расплава и замедлять процессы конвективного теплообмена в жидком ядре заготовки, либо установка индуктора, обеспечивающего восходящие потоки расплава вдоль фронта кристаллизации и др. [1].

В последующем проведены теоретические исследования процесса непрерывной разливки заготовок сечением 250x300 мм в условиях МНЛЗ-3 РУП «БМЗ». При решении данной задачи для углеродистых сталей групп А, Б и В и варьировании скорости разливки от 0,7 до 0,9 м/мин были получены следующие результаты (табл. 2).

**Таблица 2. Основные показатели процесса кристаллизации непрерывнолитых заготовок из углеродистых сталей в условиях МНЛЗ-3 при охлаждении в ЗВО**

Группа стали	Скорость разливки, м/мин	Расход воды в ЗВО согласно ТИ, л/мин /м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	Расчетный коэффициент теплообмена в 1-й зоне, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Металлургическая длина слитка, м	Длина зоны столбчатой кристаллизации, м	Значение функционала, м <sup>2</sup>
А	0,7	$\frac{114,8}{4,7}$	172	14,98	10,95	6,87
Б		$\frac{79,4}{3,25}$	164	15,29	9,99	5,34
В		$\frac{56}{2,3}$	160	15,91	9,32	2,84
А	0,8	$\frac{136,6}{5,6}$	175	16,93	12,48	0,46
Б		$\frac{95,4}{3,9}$	172	17,28	11,38	0,1
В		$\frac{70,5}{2,9}$	165	17,4	10,3	0,04
А	0,9	$\frac{159,4}{6,5}$	176	18,5	13,42	0,8
Б		$\frac{112,1}{4,6}$	170	19,27	12,77	2,8
В		$\frac{85,5}{3,5}$	167	19,3	11,46	2,87

На основании данных табл. 2 и рис. 3 выполнен анализ действующих режимов охлаждения заготовок сечением 250x300 мм из различных марок сталей, который показал, что:

- заготовка из малоуглеродистой стали (0,1% С) при действующих режимах охлаждения в ЗВО успевает затвердеть до момента попадания в зону правки при скоростях разливки 0,7–0,8 м/мин. Для обеспечения условия оптимальности при скорости 0,9 м/мин необходимо увеличить расход воды в ЗВО до 288,8 л/мин (рис. 3, кривая А). При сохранении условий охлаждения заготовки в ЗВО, согласно действующей ТИ, оптимум

достигается при скорости разливки 0,84 м/мин. Для достижения аналогичного результата при меньших скоростях разливки (0,7–0,8 м/мин) целесообразно либо снизить расход воды, либо отключать третью секцию ЗВО;

- при разливке в условиях МНЛЗ-3 стали с содержанием углерода 0,4 % (группа Б) складывается аналогичная ситуация: при охлаждении металла в ЗВО, согласно требованиям действующей ТИ, процесс кристаллизации при скоростях разливки 0,7–0,8 м/мин завершается еще до момента попадания заготовки в зону правки. Оптимальная скорость разливки для данной стали

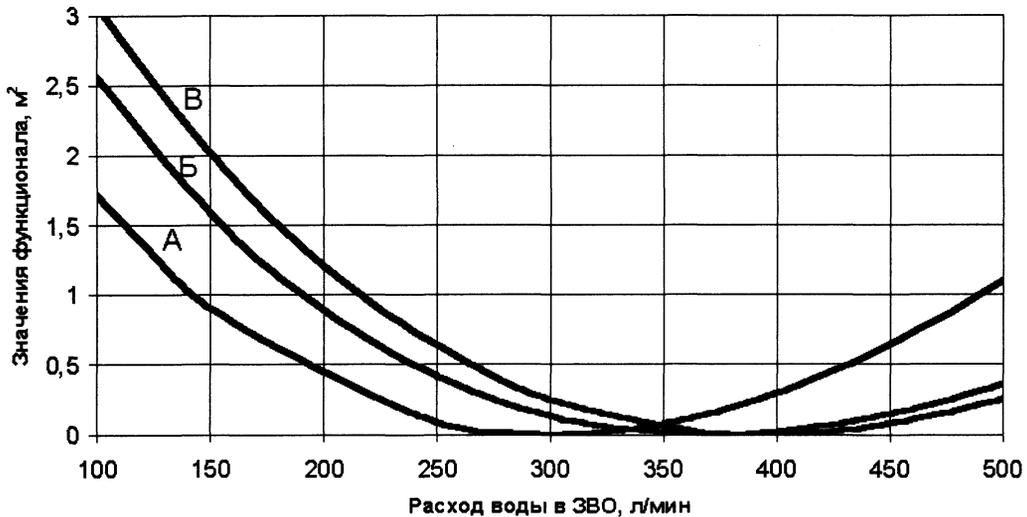


Рис. 3. Изменение критерия оптимальности в зависимости от интенсивности охлаждения в ЗВО для различных марок сталей (групп А, Б и В) при разливке со скоростью 0,9 м/мин

при условии сохранения существующего расхода воды в ЗВО должна быть равна  $\approx 0,81$  м/мин;

- при разливке стали с содержанием углерода 0,7% со скоростью 0,9 м/мин критерий оптимальности  $F \approx 0$  при расходе воды в ЗВО 405 л/мин (согласно ТИ – 85,5 л/мин). Оптимальная скорость разливки при сохранении заводских условий охлаждения для данной марки стали чуть меньше 0,79 м/мин.

Полученные результаты показывают, что к оптимальным наиболее близки режимы охлаждения непрерывнолитых заготовок в ЗВО МНЛЗ-3 при скоростях разливки 0,80–0,84 м/мин. При меньших скоростях разливки есть возможность уменьшить расходы воды.

Таким образом, результаты расчета показывают, что при высоких скоростях разливки заготовок (0,9 м/мин) сечением 250x300 мм в условиях МНЛЗ-3 для достижения оптимума необходимо

существенно (в 2,0–4,5 раза) увеличить расход воды в ЗВО, что неприемлемо по техническим условиям, т.е. в данном случае необходимо рассматривать другие способы управления процессом затвердевания заготовок, которые позволяют воздействовать не только на поверхность слитка, но непосредственно на жидкую сердцевину, например, электромагнитное перемешивание (ЭМП) [4, 5].

Разработанная методика позволяет оценить влияние ЭМП на процесс затвердевания и продолжительность столбчатой и глобулярной кристаллизации посредством варьирования величины  $b$  (расстояние от оси слитка до фронта кристаллизации в момент полного снятия перегрева). Результаты, полученные при решении данной задачи для случая разливки стали 70К со скоростью 0,8 м/мин, показаны на рис. 4. Расход воды принимали в соответствии с действующей технологической инструкцией.

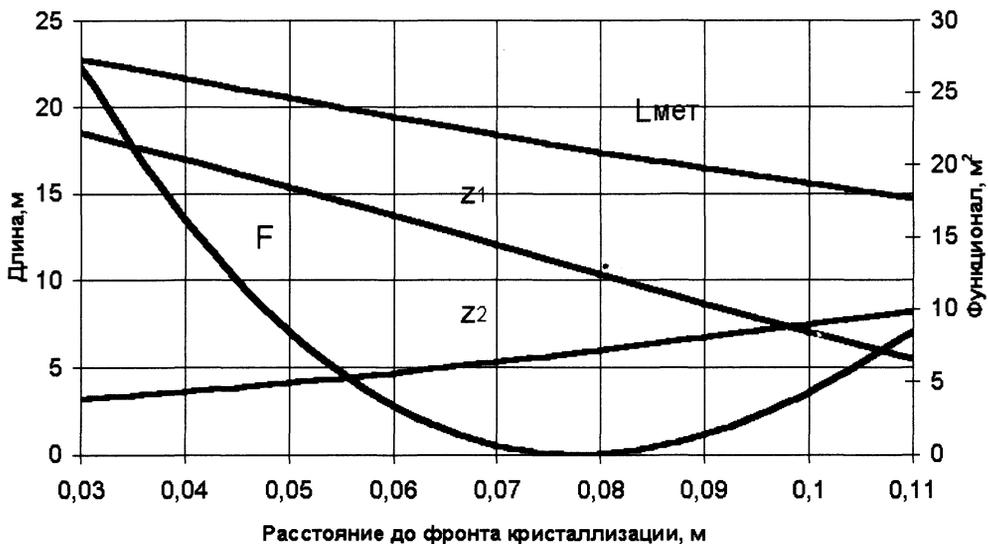


Рис. 4. Зависимость металлургической длины ( $L_{мет}$ ), длин зоны столбчатой ( $z_1$ ) и глобулярной ( $z_2$ ) кристаллизации и функционала ( $F$ ) от толщины зоны столбчатых кристаллов при разливке заготовок сечением 250x300 мм из стали 70К со скоростью 0,8 м/мин

Следует отметить, что полученные результаты вполне согласуются с данными исследователей [6], которые показали, что увеличение интенсивности электромагнитного перемешивания приводит к уменьшению металлургической длины и времени снятия перегрева. Минимальное значение функционала достигается при  $b \approx 0,075-0,08$  м.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что электромагнитное перемешивание является весьма эффективным способом управления процессом кристаллизации непрерывнолитых заготовок. Так, при уменьшении относительной толщины зоны столбчатых кристаллов на 5–7% металлургическая длина сокращается на 1,0–1,1 м. При этом наиболее эффективно электромагнитное перемешивание влияет на длину зоны столбчатых кристаллов ( $z_1$ ), которая при тех же условиях уменьшается на 1,6–1,7 м.

С использованием разработанной методики были проведены исследования для случая разлив-

ки той же марки стали (70К, сечение 250x300 мм) при варьировании скоростью разливки. Полученные результаты показали, что при уменьшении скорости до 0,7 м/мин оптимум смещается на 10–15% влево по оси абсцисс, т.е. в сторону увеличения толщины зоны столбчатой кристаллизации. При увеличении скорости до 0,9 м/мин наблюдается обратная картина. Это свидетельствует о том, что с изменением скорости разливки для достижения оптимума необходимо изменять интенсивность перемешивания.

Результаты аналогичных исследований для сталей различного химического состава показали, что с изменением содержания углерода для достижения оптимума также необходимо изменять режим работы катушки электромагнитного перемешивания (рис. 5). Высокая интенсивность перемешивания при разливке сталей с меньшим содержанием углерода не позволяет достичь оптимальной продолжительности затвердевания заготовки.

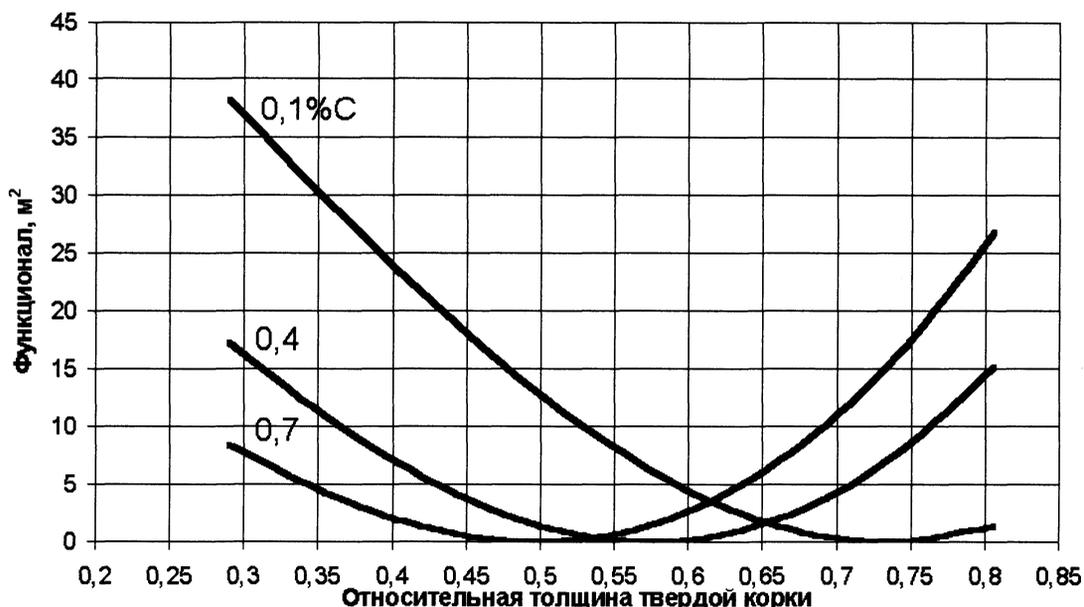


Рис. 5. Зависимость функционала от ширины зоны столбчатой кристаллизации по сечению слитка для различных марок сталей (сечение заготовок 250x300 мм)

На основании проведенных исследований разработаны оптимальные режимы разливки заготовок 250x300, 300x400 мм, позволившие увеличить выход годного при обеспечении максимальной скорости разливки (0,7–0,8 м/мин в зависимости от сечения заготовки и марки стали) и повысить производительность МНЛЗ-3 на 5%. Результаты комплексных исследований использованы при изменении действующей технологической инструкции по разливке (ТИ 840–С–18–2001).

### Заключение

С использованием комплексной методики расчета взаимосвязанных процессов затвердевания и кристаллизации заготовок осуществлен многофакторный анализ влияния различных конструк-

тивных и технологических параметров процесса непрерывной разливки на закономерности затвердевания заготовки, формирования и развития зон столбчатой (дендритной) и глобулярной (объемной) кристаллизации.

Доказано, что основными факторами управления качеством непрерывнолитых заготовок с точки зрения окончания процесса полного затвердевания до начала разгиба заготовки и протяженности зон столбчатой и глобулярной кристаллизации являются интенсивность охлаждения в зоне столбчатой кристаллизации, длина зоны вторичного охлаждения и интенсивность электромагнитного перемешивания.

На основании выполненных исследований рекомендованы рациональные режимы разливки заготовок сечением 250x300, 300x400 мм при

производстве в условиях МНЛЗ-3 РУП «БМЗ», позволившие увеличить выход годного металла и повысить производительность МНЛЗ-3 на 5%.

### Литература

1. Самойлович Ю.А., Тимошпольский В.И., Трусова И.А. и др. Стальной слиток. В 3-х т. Т.1. Управление кристаллической структурой / А.П. Несенчук, А.П. Фоменко; Под общ. ред. В.И. Тимошпольского, Ю.А. Самойловича. Мн.: Беларуская наука, 2000.

2. Самойлович Ю.А., Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Филиппов В.В. Стальной слиток. В 3-х т. Т.2. Затверждение и охлаждение / Под общ. ред. В.И. Тимошпольского, Ю.А. Самойловича. Мн.: Беларуская наука, 2000.

3. Исследование закономерностей столбчатой и глобулярной кристаллизации при непрерывном литье на радиальных МНЛЗ / В.И. Тимошпольский, Ю.А. Самойлович, С.С. Бродский и др. // Литье и металлургия. 2003. №2. С. 105–109.

4. Непрерывное литье во вращающемся магнитном поле / А.Д. Акименко, Л.П. Орлов, А.А. Скворцов и др. М.: Металлургия, 1971.

5. Солодовник Ф.С. и др. Электромагнитное перемешивание жидкой стали на машинах непрерывного литья заготовок // Автоматизация и электропривод металлургических машин. М.: ВНИИМЕТМАШ, 1980. С. 127–131.

6. Самойлович Ю.А. Кристаллизация слитка в электромагнитном поле. М.: Металлургия, 1986.



### Республиканская научно-техническая библиотека (РНТБ)

предлагает специалистам ознакомиться с новыми изданиями по металлургии.

**Сырье для черной металлургии: Справочное издание: В 2-х томах.**

Т. 1. Сырьевая база и производство окускованного сырья (сырье, технологии, оборудование) / М. Г. Ладыгичев и др. М.: Машиностроение. 2001. 896 с.

Предлагаемое издание имеет целью отразить новейшие достижения в области подготовки железорудного сырья к металлургическому переделу в широком аспекте, включающем рудную базу, технологические решения, инженерные расчеты, конструкции агрегатов и компоновочные решения фабрик окускования, метрологические параметры в технологическом процессе, системы автоматического управления.

В издании даны сведения о месторождениях железорудного сырья и предприятиях по их переработке. Приведены различные технологические схемы производства агломерата и окатышей. Рассмотрены особенности использования топлива и огнеупорных материалов в агрегатах с целью обеспечения максимального ресурсосбережения. Представлены конструкции, компоновочные решения и оптимальные режимы эксплуатации оборудования. Даны сведения о метрологическом обеспечении технологических процессов.

Справочник может служить базой для формирования и принятия решений по техническому перевооружению, для подборки инженерных расчетов, содержит сведения о новейших решениях по конструкциям агрегатов и узлов и современные решения в области эффективного топливопотребления.

Справочник ориентирован на инженерно-технический персонал: для инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, а также наладочных организаций и различных промышленных предприятий.

Лякишев Н. П., Шалимов А. Г. Развитие технологии непрерывной разливки стали / В. Н. Лякишев, А. Г. Шалимов. М.: ЭЛИЗ, 2002. 208 с., ил.

Совершенствование технологии и оборудования непрерывной разливки стали является в современных условиях важнейшим элементом повышения эффективности всего металлургического производства. В издании приводятся сведения о новейших отечественных и зарубежных разработках в области разливки стали. Обобщено содержание наиболее интересных публикаций по непрерывной разливке стали за последние 10–15 лет. Для широкого круга читателей металлургических и смежных специальностей.

Металлургический комплекс стран СНГ: экономический аспект / В. А. Роменец, О. В. Юзов, Т. Б. Рубинштейн и др. М.: МИСИС, 2003. 208 с.

В книге рассмотрены роль металлургического комплекса в экономике стран СНГ, место стран СНГ в мировой металлургии, тенденции развития производства, потребления и внешней торговли стран СНГ черными и цветными металлами. Дана характеристика состояния ценообразования на черные и цветные металлы. Проанализированы предпосылки и пути развития сотрудничества в металлургическом комплексе стран СНГ. В приложении к изданию опубликованы цены мирового рынка на продукцию черной металлургии, динамика цен основных цветных металлов на ЛБМ, запасы и добыча бокситов, меди и олова в мире, производство и потребление рафинированного алюминия, меди, никеля в мире, добыча и производство свинца и цинка в мире. Издание предназначено для специалистов в области металлургии – работников сферы управления, вузов, научно-исследовательских и проектных организаций, промышленных предприятий, студентам металлургических вузов и факультетов.

Совершенствование технологии непрерывной разливки стали и конструкции МНЛЗ: Межрегион. сб. науч. тр. / Магнитогор. Гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова; Под ред. К. Н. Вдовина. Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 2002. 86 с. (230325 621.74 С 56)

Сборник содержит материалы по совершенствованию теории и практики разливки стали на машинах непрерывной разливки в условиях их интенсивной эксплуатации и по реконструкции действующих разливочных машин. Сборник будет полезен специалистам-сталеплавильщикам, эксплуатирующим МНЛЗ и занимающихся ремонтом, а также аспирантам и студентам-металлургам.

### Издавания не продаются!

(В скобках указаны шифры хранения изданий в библиотеке).

Ознакомиться с изданиями, заказать копии отдельных страниц, в том числе по электронной почте, можно по адресу: г. Минск, пр. Машерова, 7, РНТБ, читальный зал книжных изданий (к. 603), тел. (017) 226-61-88.