

## Памяти Е. Ф. Вегмана

В марте 2000 г. на 72-м году жизни скончался крупный ученый-металлург, специалист с мировым именем, действительный член Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, доктор технических наук, профессор Евгений Феликсович Вегман.

Вся сознательная жизнь Е. Ф. Вегмана связана с Московским институтом стали и сплавов. После его окончания в 1950 г. и пятилетней работы в доменном цехе Челябинского металлургического завода он поступил в аспирантуру института и с тех пор работал в нем, последовательно пройдя все ступени преподавательской деятельности от ассистента до профессора.

В конце 50-х годов наука об агломерационном процессе только создавалась. Работая над кандидатской диссертацией и в совершенстве овладев методами микроанализа и минералогии, Е. Ф. Вегман разработал теорию формирования агломерата. Небольшая книга "Процесс агломерации", изданная им в 1963 г., — первый в стране научный труд по агломерации железных руд. Затем последовали новые исследования и книги, ставшие настольными для специалистов по подготовке природного сырья. В 1971 г. Е. Ф. Вегман провел первый в мире эксперимент по производству металлизированного агломерата в условиях Череповецкого металлургичес-

кого завода. Было получено и проплавлено в доменных печах более 2 тыс. т нового сырья.

Широко известные "блочная" теория формирования агломерата, исследования в области твердофазных химических реакций и другие крупные научные достижения Е. Ф. Вегмана создали ему заслуженный авторитет в стране и за рубежом. Более трехсот опубликованных работ, среди которых пятнадцать учебников и монографий, десятки авторских свидетельств и патентов на изобретения — таков итог подлинного научного поиска, исследовательского труда. Более семидесяти кандидатских диссертаций выполнено под руководством Е. Ф. Вегмана, четыре докторские работы — при его научном консультировании.

Е. Ф. Вегман был замечательным лектором, любил преподавательскую работу, много занимался со студентами индивидуально. Сотни инженеров-металлургов с гордостью называют себя учениками Е. Ф. Вегмана.

Последние годы Е. Ф. Вегман увлеченно участвовал в работе над созданием новых металлургических технологий, в том числе процесса "Ромелт".

Светлая память о Евгении Феликсовиче надолго сохранится в сердцах его коллег и учеников.



## СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.746.047.01

### Отработка технологии непрерывной разливки конвертерной рельсовой стали<sup>1</sup>

© Л. К. Федоров, А. В. Куклев, А. Я. Кузовков, В. В. Гиняков, В. И. Ильин, М. Г. Чигринов  
ОАО НТМК, ООО "Корад",  
ФГУП ЦНИИчермет

При выплавке конвертерной высокоуглеродистой рельсовой стали на Нижнетагильском металлургическом комбинате (НТМК) предусмотрена двустадийная переработка ванадиевого природнолегированного чугуна с получением на первой стадии ванадиевого шлака (товарный продукт) и на второй — полупродукта, подвергаемого продувке кислородом во втором 160-т конвертере. После выпуска плавки в сталеразливочный ковш сталь подвергают внепечной обработке и разливают непрерывным способом на четырехручьевой МНЛЗ на блюмы (заготовки) сечением 300 × 360 мм.

Как известно, стабильность процесса разливки, характер затвердевания и качество заготовок во многом определяются температурой разливаемого металла. При низкой температуре каналы разливочных стаканов в промежуточном ковше затягиваются, что вызывает необходимость в частых прожиганиях, изменя-

ет скорость процесса и нарушает стабильность технологического режима. Разливка перегретого металла приводит к разрушению или отгоранию стопоров, возникновению опасности прорывов, повышенной загрязненности заготовок неметаллическими включениями и к ухудшению качества макроструктуры, в частности к развитию осевой ликвации углерода, фосфора и серы. Уменьшение содержания серы даже до 0,02 % и менее на промышленных опытных плавках не полностью обеспечивало получение заготовок без ликвационных полосок. Только при содержании в металле 0,01 % S и оптимальной его температуре в промежуточном ковше заготовки практически не имели ликвационных полосок или их количество было незначительным.

При отработке технологии исследовали множество вариантов температурного режима разливки и их влияние на развитие центральной пористости в непрерывнолитых заготовках. Оптимальным оказался режим разливки при температуре стали в промежуточном ков-

<sup>1</sup> В работе принимал участие Н. М. Милютин.



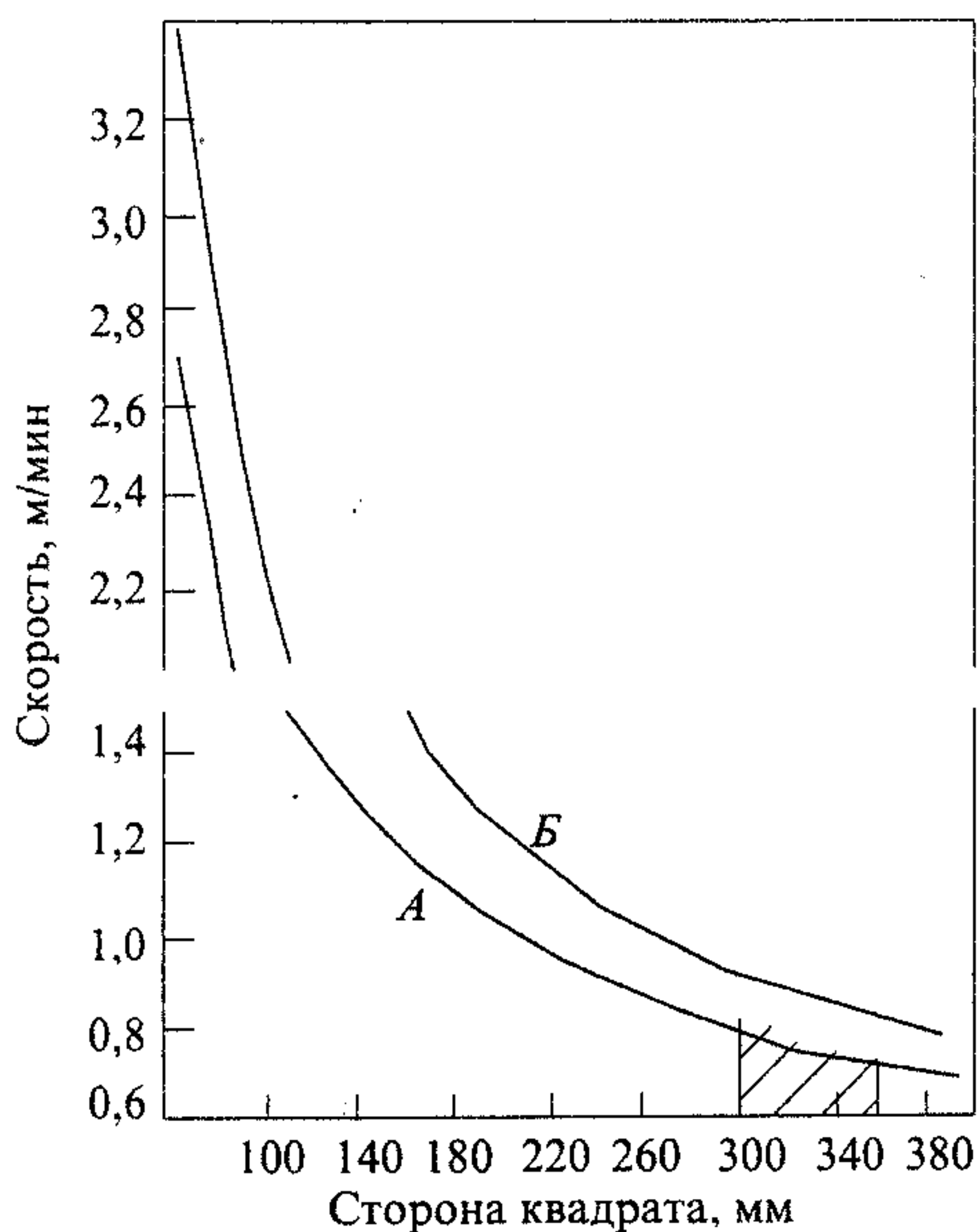


Рис. 1. Рабочие скорости вытягивания слитков инструментальных и рельсовых (А), коррозионно-стойких и конструкционных сталей (Б) в зависимости от сечения ( $a$  — сторона квадрата)

ше 1485 – 1495 °С: при этом обеспечивались сужение в среднем на ~ 20 % зоны столбчатых кристаллов и увеличение на ~ 25 % зоны равноосных кристаллов.

В ходе разработки технологии разливки исследовали изменение температуры на каждом этапе движения жидкой стали: конвертер — сталеразливочный ковш — продувка аргоном — установка ковш-печь (УКП) — вакуумирование — сталеразливочный ковш после вакуумирования (перед подачей на МНЛЗ):

|  |      |      |      |
|--|------|------|------|
| Перед выпуском из конвертера ( $t_n$ ) | 1610 | 1620 | 1630 |
| В сталеразливочном ковше:              |      |      |      |
| у конвертера                           | 1540 | 1545 | 1550 |
| после УКП                              | 1585 | 1580 | 1585 |
| после вакуумирования                   | 1530 | 1535 | 1540 |
| В промежуточном ковше ( $t_k$ )        | 1485 | 1490 | 1500 |
| $t_n - t_k$                            | 125  | 130  | 130  |

В процессе обработки результатов исследований, проведенных на 60 плавках, методом последовательного отсева в уравнениях оставляли только те факторы, коэффициенты регрессии которых значимы с вероятностью не менее 0,95.

Оптимальным оказался следующий режим непрерывной разливки рельсовой стали на заготовки сечением 300 × 360 мм: температура разогрева футеровки промежуточного ковша — 900 – 1100 °С; температура металла в конвертере перед выпуском — не менее 1610 °С, в сталеразливочном ковше после выпуска плавки — не менее 1530 °С, после обработки на установке ковш-печь, перед подачей на вакууматор, — 1580 – 1585 °С, по окончании вакуумирования и перед подачей на МНЛЗ — 1535 – 1540 °С, в промежуточном ковше — 1485 – 1495 °С.

При выборе скорости разливки исходили из условий прочности оболочки слитка на выходе из кристаллизатора, исключая прорывы металла. Производительность  $R$  ручья МНЛЗ зависит от сечения заготовки, ее периметра  $p$ :  $R = kp$ , где  $p = 2a(1 + \beta)$ ;  $a$  —

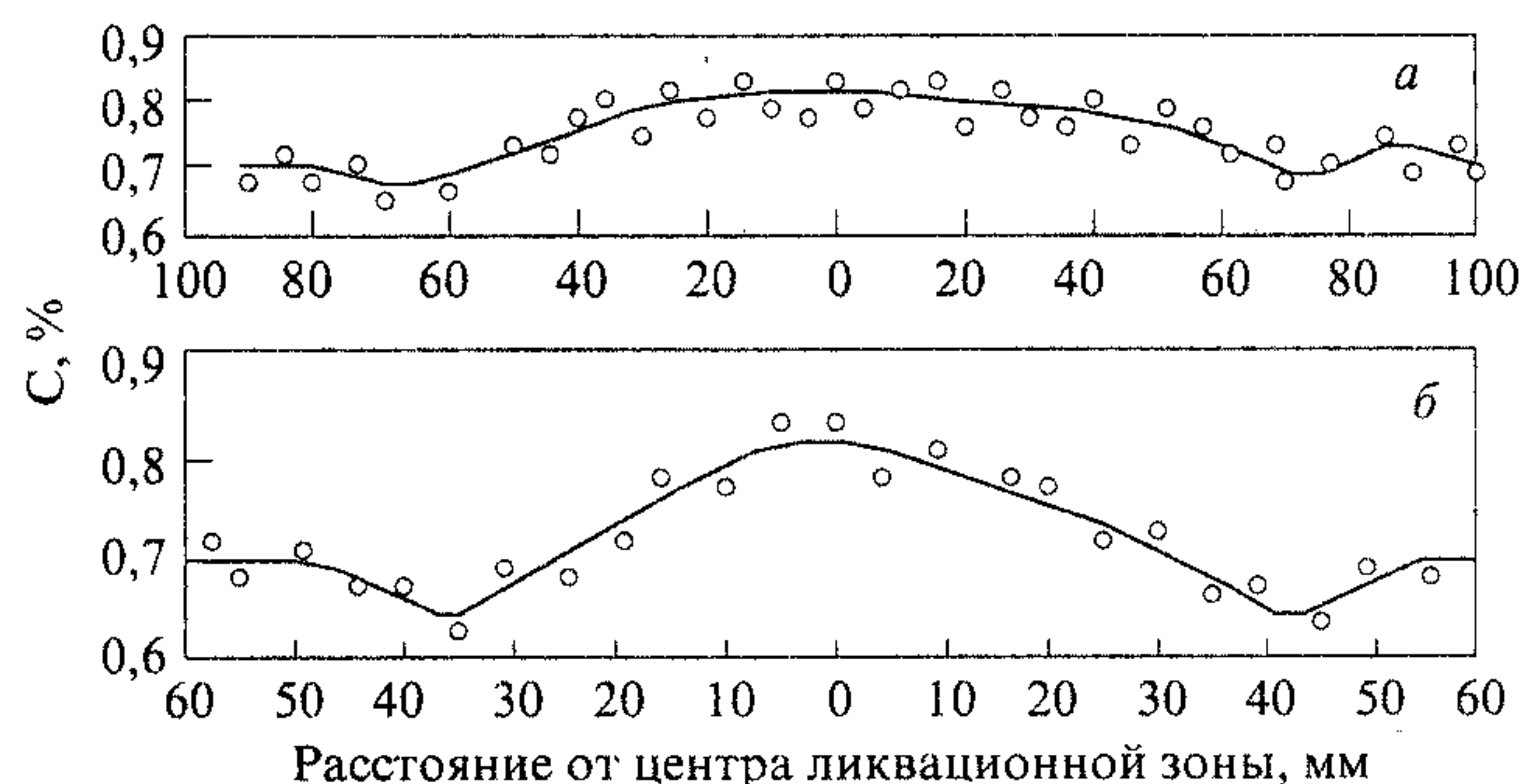


Рис. 2. Распределение углерода в осевой зоне заготовки сечением 300 × 360 мм рельсовой стали при скорости разливки 0,45 м/мин (а) и 0,8 м/мин (б)

толщина заготовки;  $\beta$  — отношение ее ширины к толщине. Из опыта работы отечественных установок коэффициент пропорциональности  $k$  принимаем равным 0,275. Производительность ручья в 1 ч определяется соотношением площади сечения  $F$  слитка, плотности стали  $\rho$  и скорости разливки  $v$  (м/мин):

$$R = 60F\rho v = 60a^2\beta\rho v;$$

$$60a^2\beta\rho v = 0,275 \cdot 2a(1 + \beta);$$

$$v = 0,118(1 + \beta)/a\beta.$$

Обычно считается, что стабильный режим разливки наступает одновременно при стабилизации скорости вытягивания и температуры жидкой стали, а также режима охлаждения заготовки. Как показали исследования в ОАО “ВНИИметмаш”, изменения рабочей скорости разливки и температуры металла вызывают изменения усилия вытягивания (тока двигателей тянущих роликов). Новое значение тока устанавливается не одновременно с установлением нового значения скорости разливки, а после прохождения определенной длины слитка и установления в непрерывном слитке нового положения жидкой фазы (лунки). С увеличением скорости вытягивания и температуры металла протяженность жидкой фазы возрастает, и при этом увеличивается нагрузка на двигатели. При установлении лунки жидкой фазы в новое неизменное положение становится стабильным состояние системы и значение тока двигателей тянущих роликов поддерживается на одном уровне (при постоянной скорости вытягивания и температуре жидкой стали).

На рис. 1 приведены рабочие скорости разливки для высокоуглеродистых, в том числе рельсовых сталей, рекомендуемые ЦНИИчерметом. Для конкретного сечения 300 × 360 мм скорость вытягивания не должна превышать 0,7 м/мин. Это соответствует зарубежным данным (0,65 – 0,8 м/мин) для блюмовых заготовок.

Большое значение при отливке блюмов имеет постоянство рабочей скорости разливки. Резкие колебания скорости вытягивания и остановки машины приводят к неравномерности внутренней структуры литого металла и ухудшению качества поверхности. В свою очередь неравномерность фронта кристаллизации вызывает усиленную осевую пористость и образование ликвационных полосок. Расположенные перпендикулярно граням, они при прокатке трансформируются в полосы повышен-



ной травимости, сохраняя расположение относительно поверхности непрерывнолитой заготовки.

Исследовали влияние скорости разливки в пределах от 0,4 до 0,8 м/мин на качество осевой зоны в заготовках сечения 300 × 360 мм, полученных на одном ручье МНЛЗ. При этом исключается воздействие других факторов, так как одинаковы средняя температура стали в промежуточном ковше, раскисление, содержание серы в металле, расход воды. Наименьшей пораженностью отличались заготовки, полученные при скорости вытягивания 0,4 и 0,5 м/мин. У 97 % литых заготовок рыхлость отсутствовала. С увеличением скорости разливки до 0,8 м/мин у 70 % заготовок осевая рыхлость — балла 1 – 2. Однако в 30 % блюмов она соответствовала баллам 3 – 4 и при прокатке трансформировалась в центральную пористость.

Исследовали влияние скорости разливки на осевую ликвацию углерода на 12 опытно-промышленных плавках, проведенных поочередно (с целью исключить влияние ряда дополнительных факторов технологии). Степень развития химической неоднородности оценивали по 4-балльной шкале, причем балл 1 соответствовал отсутствию осевой ликвации, а балл 4 — ее максимальному развитию. Кроме того, степень ликвации учитывали как отношение разности максимального и ми-

нимального содержания элемента к его содержанию в ковшевой пробе (рис. 2). При разливке со скоростью 0,45 м/мин были получены заготовки, в которых распределение углерода в осевой зоне было более равномерным (балла 1,5) и его содержание не выходило за пределы марочного состава. При скорости вытягивания слитка 0,8 м/мин осевая ликвация углерода находилась в пределах балла 3,5 (ОСТ 14-4-73).

### Заключение

В результате исследований выбран оптимальный температурно-скоростной режим непрерывной разливки рельсовой стали на заготовки сечением 300 × 360 мм. Температура стали после вакуумирования и перед подачей на МНЛЗ в сталеразливочном ковше должна быть в пределах 1535 – 1540 °С, в промежуточном ковше — в пределах 1485 – 1495 °С. Скорость разливки в зависимости от температуры жидкой стали должна находиться в пределах 0,4 – 0,55 м/мин. С увеличением скорости разливки до 0,8 м/мин и более усиливается развитие осевой рыхлости и возрастает ликвация углерода. Для уменьшения развития ликвации в рельсовых заготовках представляется целесообразным применение магнитного перемешивания стали.

УДК 621.746.56

## Изучение превращений в процессе подготовки и при использовании шлакообразующих смесей

Шлакообразующие смеси, используемые при непрерывной разливке стали и обработке стали в ковше, представляют собой специально приготовленные многокомпонентные и многофазные системы. По предложенной УралНИИчерметом методике<sup>1</sup> смесь готовят путем грануляционной распылительной сушки. Исходную механическую смесь минеральных ингредиентов вначале подвергают суспендированию в водном растворе, содержащем хлорид кальция, сульфитно-спиртовую барду (ССБ) и карбометилцеллюлозу (КМЦ). Количество ингредиентов контролируют, регулируя устойчивость суспензии и прочность получаемых гранул. Затем суспензию распыляют в газопламенном теплоносителе.

Фазовые и химические превращения в смесях возможны уже на стадии их изготовления. Исходный фазовый состав шлакообразующих смесей — важная характеристика, так как именно ею определяются особенности формирования из смеси шлака, а также теплотраты.

В настоящей работе приведены результаты рентгенофазовых, спектрометрических и термогравиметри-

© А. С. Чуркин, Б. П. Юрьев,  
Ю. М. Цикарев, Е. А. Никоненко  
Уральский государственный профессионально-педагогический университет,  
Уральский государственный технический университет,  
ГНЦ РФ “Уральский институт металлов”

ческих исследований исходных шлакообразующих смесей, полученных указанным методом, и продуктов нагрева смесей до разных температур вплоть до шлакообразования. Исходный ингредиентный состав исследованных смесей приведен в табл. 1.

| Ингредиенты, компоненты         | Смесь А | Смесь Б | Смесь В |
|---------------------------------|---------|---------|---------|
| Известь                         | 40      | 40      | 33,9    |
| Пылевидный кварц                | 20      | 20      | 16,8    |
| Нефелин                         | 25      | 25      | 21,0    |
| Плавиковый шпат                 | 12      | 12      | 11,0    |
| Аморфный графит                 | 3       | —       | 6,0     |
| Карбид кремния                  | —       | 3       | —       |
| CaCl <sub>2</sub> (сверх 100 %) | —       | 3       | 6,0     |
| SiO <sub>2</sub>                | 34,5    | 30,1    | 30,1    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 12,3    | 6,6     | 7,3     |
| CaO                             | 21,1    | 32,5    | 28,1    |
| Na <sub>2</sub> O               | 5,3     | 3,4     | 5,5     |
| K <sub>2</sub> O                | 3,1     | 1,5     | 1,4     |
| F                               | 5,2     | 4,8     | 3,5     |
| S                               | —       | 0,6     | Не опр. |
| S <sub>общ</sub>                | 8,0     | 8,6     | 6,0     |
| FeO                             | —       | 1,5     | —       |
| H <sub>2</sub> O                | —       | —       | 1,3     |

<sup>1</sup> Патент 1459068 РФ. Кл. Б22 Д11/00, С21 С 5/54, действует с 26.11.1993 г.