

УДК 621.74.047

Женин Е.В., Шаповалов А.Н.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ НА КАЧЕСТВО СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ

**Аннотация.** Представлены результаты анализа производственных данных по разливке сортовой заготовки сечением 150×150 мм в условиях ООО «УГМК-Сталь». Установлено, что основными факторами, влияющими на качество заготовки и отсортировку сортового проката, являются разливка стали с перегревом более 30°C, а также повышенное содержание серы и фосфора (более 0,015%).

Для минимизации образования дефекта «точечная неоднородность» в сортовой заготовке сечением 150×150 мм из низко- и среднеуглеродистой стали, разливаемой открытой струей, необходимо поддерживать максимальное соотношение  $[Mn]:[S]$  при отношении  $[Mn]:[Si]$  на уровне менее 2-3.

Для снижения развития дефекта «осевая пористость» целесообразно ограничивать содержание углерода по нижнему марочному пределу и не допускать перегрева металла выше регламентированных значений.

**Ключевые слова:** непрерывная разливка, сортовая заготовка, дефекты макроструктуры, параметры разливки

## Введение

Одной из основных тенденций развития мирового рынка длинномерной продукции является повышение ее конкурентоспособности за счет снижения производственных затрат и повышения качества. В настоящее время примерно треть всей выплавляемой в мире стали разливается на сортовых машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Особенно широкое распространение они получили на металлургических мини-заводах, базирующихся на выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах [1-3]. Так, в электросталеплавильном цехе ООО «УГМК-Сталь» (г. Тюмень) действует сортовая МНЛЗ фирмы «Danieli» годовой производительностью 550 тыс. т. Основные технические характеристики МНЛЗ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики МНЛЗ ЭСПЦ ООО «УГМК-Сталь» [4]

| Параметр                               | Характеристика                       |
|----------------------------------------|--------------------------------------|
| Тип МНЛЗ                               | Сортовая радиальная                  |
| Количество ручьев, шт.                 | 4                                    |
| Радиус МНЛЗ, м                         | 9                                    |
| Радиусы разгиба, м                     | 9-16                                 |
| Расстояние между ручьями, мм           | 1200                                 |
| Металлургическая длина, м              | 24,20                                |
| Сечение заготовки, мм                  | 130×130, 150×150, (макс. 180×180 мм) |
| Вместимость сталеразливочного ковша, т | 70                                   |

Металл на МНЛЗ подается после обработки на установке ковш-печь или вакууматоре. Температурно-скоростные параметры разливки стали, регламентируемые технологической инструкцией [4], предусматривают учет сечения заготовки, класса прочности стали и коррекцию скорости разливки в зависимости от пе-

регрева металла в промежуточном ковше. При рекомендуемом перегреве 20–30°C регламентированная скорость разливки заготовки сечением 130×130 мм должна составлять от 3,0 до 4,2 м/мин в зависимости от класса прочности стали. При разливке заготовки сечением 150×150 мм – от 2,3 до 3,5 м/мин.

Известно, что показатели производства сортового проката в значительной степени зависят от качества непрерывнолитой заготовки, которое определяется как свойствами разливаемой стали, так и параметрами непрерывной разливки [5-7]. Учитывая разнообразие сортамента и свойств разливаемых сталей и индивидуальные технологические и конструктивные особенности разливки, в работе на основе статистических методов предпринята попытка анализа технологии непрерывной разливки в условиях ООО «УГМК-Сталь» с целью разработки технологических рекомендаций по повышению качества сортовой заготовки.

## Исходные данные

Анализ качества сортовой заготовки и отсортировки сортового проката проводился по данным работы МНЛЗ ЭСПЦ ООО «УГМК-Сталь». В табл. 2 приведена статистика по объему и сортаменту разливаемых сталей (по наиболее массовым маркам, объем производства которых, превышает 70 %), а также отбраковке проката из сортовой заготовки за анализируемый период.

Наибольшая отсортировка сортового проката наблюдается из заготовок сечением 150×150 мм из сталей марок 35ГС, 25Г2С, 28С и СтЗсп по таким дефектам, как рванина, трещина, неметаллические включения и непрохождение УЗК. Причем распределение браковочных дефектов по сортаменту разливаемых сталей неодинаково:

- максимальная отсортировка по дефекту «рванина» наблюдается при изготовлении проката из стали 35ГС;
- максимальная отсортировка по дефектам «трещина» и «неметаллические включения» наблюдается при изготовлении проката из стали 28С;

– максимальная отсортировка по причине непрохождения УЗК наблюдается при изготовлении проката из стали СтЗсп.

С учетом объемов производства проката из указанных марок сталей и общей величины отсортировки по видам дефектов для дальнейшего анализа выбраны непрерывнолитые заготовки сечением 150×150 мм из сталей марок 35ГС, 25Г2С и СтЗсп.

Качество макроструктуры сортовой заготовки в условиях ООО «УГМК-Сталь» оценивается по ГОСТ 1058-88 [8] и ОСТ 14-4-73 [9]. В табл. 3 представлены данные о качестве непрерывнолитых заготовок для анализируемых марок стали по основным видам выявляемых дефектов: осевая пористость (ОП), осевая

ликвация (ОЛ), ликвационные полосы и трещины (ЛПиТ) и точечная неоднородность (ТН).

Данные о качестве макроструктуры сортовой заготовки свидетельствуют о том, что средняя балльность по всем дефектам не превышает допустимых значений. Однако максимальные значения дефектов (балл) превышают допустимые значения, что особенно проявляется по таким дефектам, как ЛПиТ и ТН. Таким образом, при удовлетворительных усредненных показателях качества макроструктуры сортовой заготовки, наблюдаются значительные отклонения по ряду дефектов, что свидетельствует о нарушении технологии разлива.

Таблица 2

Анализ отсортировки сортового проката за анализируемый период

| Марка стали                                      | Объем разливки, % | Отсортировка по дефектам, % |             |             |             |             |             | Общая отсортировка, % |
|--------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
|                                                  |                   | Плена                       | Рванина     | Трещина     | НВ*         | УЗК*        | Другие      |                       |
| Прокат из сортовой заготовки сечением 130×130 мм |                   |                             |             |             |             |             |             |                       |
| 35ГС                                             | 10,20             | 0,04                        | 0,13        | 0,18        | 0,09        | 1,16        | 0,32        | 1,92                  |
| СтЗсп                                            | 10,08             | 0,03                        | 0,04        | 0,21        | 0,07        | 0,02        | 0,04        | 0,41                  |
| 25Г2С                                            | 7,58              | 0,08                        | 0,03        | 0,09        | 0,16        | 0,18        | 0,06        | 0,6                   |
| 25ГС                                             | 6,14              | 0,04                        | 0,23        | 0,2         | 0,14        | 0,33        | 1,3         | 2,24                  |
| 60                                               | 5,60              | 0,15                        | 0,04        | 0,28        | 0,31        | 0,31        | 0,7         | 1,79                  |
| СтЗГсп                                           | 3,74              | 0,01                        | 0,13        | 0,12        | 0,09        | 0,01        | 0,35        | 0,71                  |
| 40Х                                              | 2,10              | 0,12                        | 0,16        | 0,15        | 0,06        | 3,27        | 0,16        | 3,92                  |
| <b>Итого</b>                                     | <b>45,42</b>      | <b>0,06</b>                 | <b>0,10</b> | <b>0,18</b> | <b>0,13</b> | <b>0,53</b> | <b>0,39</b> | <b>1,38</b>           |
| Прокат из сортовой заготовки сечением 150×150 мм |                   |                             |             |             |             |             |             |                       |
| 35ГС                                             | 5,90              | 0,09                        | 4,97        | 0,26        | 0,07        | 0,64        | 3,2         | 9,23                  |
| 28С                                              | 5,63              | 0,39                        | 0,2         | 0,6         | 0,34        | 0,7         | 0,09        | 2,32                  |
| СтЗсп                                            | 5,94              | 0,06                        | 0,17        | 0,1         | 0,11        | 1,06        | 0,08        | 1,58                  |
| 25Г2С                                            | 5,28              | 0,1                         | 0,47        | 0,27        | 0,12        | 0,16        | 1,38        | 2,5                   |
| СтЗГсп                                           | 2,58              | 0,03                        | 0,35        | 0,24        | 0,06        | 0,09        | 0           | 0,77                  |
| <b>Итого</b>                                     | <b>25,33</b>      | <b>0,14</b>                 | <b>1,23</b> | <b>0,29</b> | <b>0,14</b> | <b>0,53</b> | <b>0,95</b> | <b>3,28</b>           |

Примечание. НВ – отсортировка по дефекту «неметаллические включения»; УЗК – отсортировка по непрохождению ультразвукового контроля.

Таблица 3

Дефекты макроструктуры сортовой заготовки за анализируемый период

| Марка стали                 | Профиль, мм | Дефекты макроструктуры, балл* |              |              |                |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------|--------------|--------------|----------------|
|                             |             | ОП                            | ОЛ           | ЛПиТ         | ТН             |
| 35ГС                        | 130×130     | 0-3,0 / 0,5                   | 0-2,0 / 0,7  | 0-2,5 / 0,82 | 0-3,0 / 1,48   |
|                             | 150×150     | 0-3,0 / 0,71                  | 0-2,0 / 0,75 | 0-3,0 / 0,96 | 0,5-4,0 / 2,04 |
| 25Г2С                       | 130×130     | 0-3,0 / 0,5                   | 0-1,5 / 0,21 | 0-1,5 / 0,6  | 0-3,0 / 1,43   |
|                             | 150×150     | 0-4,0 / 0,6                   | 0-2,0 / 0,57 | 0-3,0 / 0,84 | 0-3,0 / 1,29   |
| СтЗсп                       | 130×130     | 0-3,0 / 0,4                   | 0-2,5 / 0,18 | 0-4,0 / 0,67 | 0,5-3,5 / 1,45 |
|                             | 150×150     | 0-4,0 / 0,85                  | 0-2,0 / 0,45 | 0-3,5 / 0,92 | 0-4,0 / 1,8    |
| Допустимое значение дефекта |             | 3,0                           | 2,0          | 1,0          | 3,0            |

\* В числителе – диапазон изменения, в знаменателе – среднее значение

**Анализ условий и технологии разливки**

На качество сортовой заготовки оказывает влияние большое количество факторов, начиная от химического состава стали, и заканчивая конструктивными особенностями МНЛЗ, её технологическими возможностями и параметрами разливки [5-7, 10-12]. При анализе работы конкретной МНЛЗ определяющее влияние на качество заготовки оказывают свойства стали при температурах разливки [13-15] и температурно-скоростные параметры разливки [5-7, 11, 12, 16-18].

Химический состав маркировочной пробы анализируемых марок стали представлен в табл. 4.

Химический состав анализируемых сталей соответствует требованиям стандартов, однако необходимо отметить следующие характерные особенности:

- повышенное на отдельных плавках содержание серы и фосфора, склонных к ликвации и придающих стали красноломкость, что может провоцировать как развитие осевой ликвации, так и ликвационных и поверхностных трещин;

- достаточно высокое содержание меди, которая вызывает красноломкость стали и, имея ограниченную растворимость в жидкой стали, снижает её пластичность;

- высокое содержание марганца в сталях 35ГС и 25Г2С, который при содержании более 0,8 % повышает склонность к образованию «холодных» поперечных и сетчатых трещин. Кроме того, повышенное

содержание марганца ускоряет эрозию погружных стаканов, что ведет к загрязнению стали неметаллическими включениями;

- содержание углерода в диапазоне перитектического превращения (0,1-0,4 %), что вызывает дополнительные напряжения в корочке, а также влияет на теплоотвод в кристаллизаторе;

- различное отношение [Mn]:[Si], что влияет на свойства оксидных продуктов раскисления и способность их удаления из металла.

Температурно-скоростные параметры разливки (табл. 5) исследуемых марок стали изменяются в широких пределах, а максимальные значения перегрева стали превышают 40°C. Это свидетельствует о нарушении технологии, регламентирующей допустимый перегрев в интервале 20–30°C [4]. Средние величины перегрева по всем анализируемым маркам также находятся на верхнем допустимом значении или превышают его. Разливка с повышенными величинами перегрева способствует развитию осевой ликвации и пористости, а также может быть причиной образования внутренних и поверхностных трещин, возникающих при наличии значительных термических напряжений в металле [5-7]. Повышенный перегрев металла в проковше можно отчасти компенсировать сокращением скорости разливки, однако это ведет к потере производительности МНЛЗ и негативно отражается на качестве заготовки, что связано с нарушением оптимальных режимов охлаждения в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения (ЗВО).

Таблица 4

Химический состав разливаемых марок стали

| Элемент | Содержание элементов по маркам сталей, % |         |             |         |             |         |
|---------|------------------------------------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
|         | Зсп                                      |         | 35ГС        |         | 25Г2С       |         |
|         | Диапазон                                 | Среднее | Диапазон    | Среднее | Диапазон    | Среднее |
| C       | 0,15-0,22                                | 0,19    | 0,3-0,37    | 0,33    | 0,2-0,29    | 0,27    |
| Si      | 0,17-0,30                                | 0,18    | 0,6-0,71    | 0,64    | 0,6-0,68    | 0,63    |
| Mn      | 0,49-0,65                                | 0,57    | 1,08-1,2    | 1,15    | 1,2-1,52    | 1,36    |
| Cr      | 0,05-0,20                                | 0,08    | 0,05-0,13   | 0,08    | 0,05-0,12   | 0,08    |
| Ni      | 0,1-0,19                                 | 0,12    | 0,1-0,15    | 0,12    | 0,1-0,16    | 0,12    |
| Cu      | 0,18-0,30                                | 0,24    | 0,19-0,30   | 0,23    | 0,19-0,3    | 0,23    |
| P       | 0,003-0,023                              | 0,009   | 0,005-0,024 | 0,011   | 0,006-0,019 | 0,012   |
| S       | 0,002-0,037                              | 0,011   | 0,001-0,021 | 0,01    | 0,001-0,023 | 0,007   |

Таблица 5

Параметры разливки сортовой заготовки за анализируемый период

| Марка стали | Сечение, мм | Перегрев в проковше, °C |         | Скорость вытягивания, м/мин |         |
|-------------|-------------|-------------------------|---------|-----------------------------|---------|
|             |             | диапазон                | среднее | диапазон                    | среднее |
| 35ГС        | 130×130     | 24-37                   | 29      | 2,11-2,56                   | 2,41    |
|             | 150×150     | 21-46                   | 28      | 1,31-1,83                   | 1,63    |
| 25Г2С       | 130×130     | 32-41                   | 36      | 2,74-2,96                   | 2,84    |
|             | 150×150     | 24-45                   | 31      | 1,69-1,96                   | 1,84    |
| СтЗсп       | 130×130     | 12-47                   | 32      | 2,26-2,61                   | 2,46    |
|             | 150×150     | 19-48                   | 28      | 1,92-2,11                   | 2,02    |

**Анализ влияния условий и технологии разливки на качество заготовки**

Количественное влияние условий и технологических параметров разливки на качество сортовой заготовки из анализируемых марок сталей оценивалось стандартными средствами MS Excel.

На рис. 1 приведены гистограммы, отражающие влияние содержания серы (а), фосфора (б), а также перегрева металла в промковше (в) на степень развития дефекта «осевая ликвация».

Как следует из рис. 1, наиболее сильное влияние на развитие осевой ликвации наблюдается при превышении содержания серы и фосфора в анализируемых марках стали уровня 0,015%, а также при превышении регламентированной величины перегрева 30°C. Количественное влияние содержания серы ([S], %), фосфора ([P], %) и перегрева металла в промежуточном ковше ( $T_{пер}$ , °C) на балл дефекта «осевая ликвация» (ОЛ, балл) характеризуется следующими уравнениями регрессии ( $R$  – коэффициент множественной корреляции):

– для стали 25Г2С  $ОЛ = 36,71 \cdot [S] + 13,51 \cdot [P] + 0,007 \cdot T_{пер}$ ,  $R = 0,76$ ;

– для стали 35ГС  $ОЛ = 30,30 \cdot [S] + 4,71 \cdot [P] + 0,012 \cdot T_{пер}$ ,  $R = 0,81$ ;

– для стали 3сп  $ОЛ = 28,65 \cdot [S] + 6,31 \cdot [P] + 0,005 \cdot T_{пер}$ ,  $R = 0,7$ .

Как следует из полученных уравнений регрессии, рассмотренные факторы усиливают развитие осевой ликвации, но в разной степени. Наибольшее влияние на увеличение ОЛ оказывает содержание серы в стали и перегрев металла в промежуточном ковше. Поэтому для минимизации развития ОЛ необходимо исключить случаи разливки стали с содержанием серы и фосфора выше 0,015% и перегревом более 30°C.

Дефект «ликвационные полосы и трещины» (ЛПиТ) формируется в результате одновременного развития ликвационных процессов и напряжений в затвердевающей корковой зоне заготовки, величины которых превышают прочность металла [5-7]. Поэтому развитие дефекта ЛПиТ усиливается с повышением концентрации примесей, склонных к ликвации (в первую очередь серы и фосфора), при снижении прочностных свойств стали и повышении её перегрева. На рис. 2 приведены гистограммы, отражающие влияние содержания серы, фосфора и меди, а также перегрева металла в промежуточном ковше на степень развития дефекта ЛПиТ.

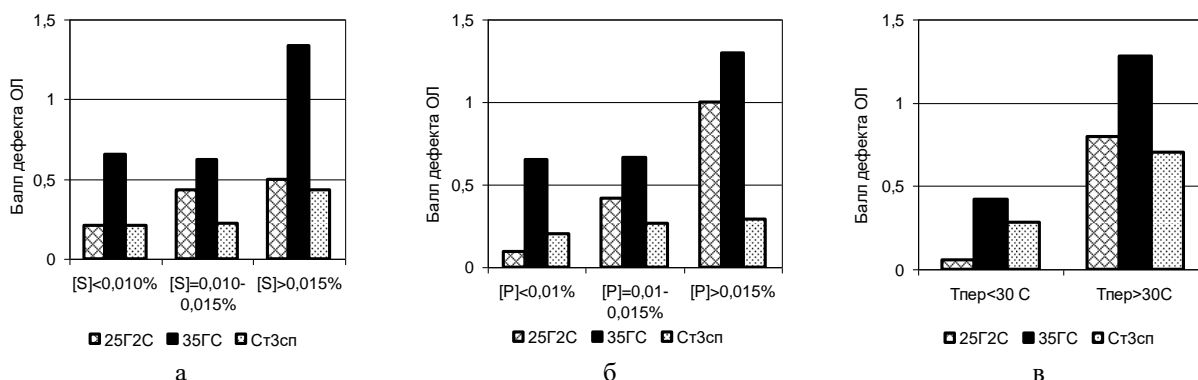


Рис. 1. Зависимость степени развития дефекта ОЛ от содержания серы (а), фосфора (б) и перегрева металла в промежуточном ковше (в)

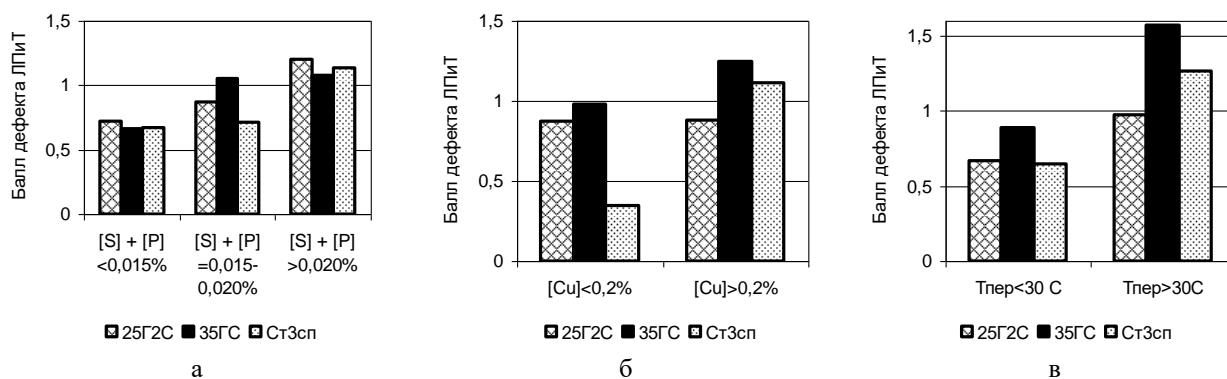


Рис. 2. Зависимость степени развития дефекта ЛПиТ от суммарного содержания серы и фосфора (а), меди (б) и перегрева металла в промежуточном ковше (в)

Как следует из рис. 2, развитие дефекта ЛПиТ проявляется с повышением суммарного содержания серы и фосфора, а также при превышении регламентированной величины перегрева 30°C. Что касается меди, то ее негативное влияние проявляется существенно только на заготовке из стали 3сп. Количественное влияние суммарного содержания серы и фосфора ([S] + [P], %), содержания меди ([Cu], %) и перегрева металла в промежуточном ковше ( $T_{пер}$ , °C) на балл дефекта ЛПиТ характеризуется следующими уравнениями:

– для стали 25Г2С

$$\text{ЛПиТ} = 20,16 \cdot ([S] + [P]) + 0,27 \cdot [Cu] + 0,014 \cdot T_{пер}, R = 0,79;$$

– для стали 35ГС

$$\text{ЛПиТ} = 14,76 \cdot ([S] + [P]) + 0,12 \cdot [Cu] + 0,023 \cdot T_{пер}, R = 0,84;$$

– для стали 3сп

$$\text{ЛПиТ} = 20,53 \cdot ([S] + [P]) + 0,43 \cdot [Cu] + 0,014 \cdot T_{пер}, R = 0,78.$$

Из полученных уравнений регрессии следует, что наибольшее влияние на развитие дефекта ЛПиТ оказывает перегрев металла в проковше (на 43–63%) и содержание серы и фосфора (на 34–45%). Влияние содержания меди незначительно и достигает 11% только для стали 3сп, что связано с низкой степенью ее легирования и низкими прочностными свойствами, которые еще больше снижаются с ростом содержания меди. Поэтому для минимизации развития дефекта ЛПиТ необходимо исключить случаи разливки стали с содержанием серы и фосфора выше 0,015% и перегревом более 30°C, а также минимизировать содержание меди (особенно для стали 3сп).

Развитие точечной неоднородности происходит из-за нарушения режимов раскисления стали, неправильно выбранного расхода или состава шлакообразующей смеси, разрушения огнеупоров и др. В некоторой степени на развитие точечной неоднородности оказывает влияние и интенсивность вторичного охлаждения [16]. Однако в первую очередь снижение

точечной неоднородности достигается в результате рафинирования металла от серы, кислорода, фосфора, азота, а также обеспечения условий формирования легкоплавких продуктов раскисления, не остающихся в структуре металла [5–7, 19].

При обработке производственных данных в качестве факторов, влияющих на образование дефекта ТН, были выбраны отношения:

–  $[Mn]/[S]$  – определяющее вероятность образования сульфидов и окисульфидов железа;

–  $[Mn]/[Si]$  – определяющее вид и свойства продуктов раскисления.

На рис. 3 приведены гистограммы, отражающие влияние химического состава исследуемых сталей на степень развития дефекта ТН.

Как следует из гистограмм, развитию дефекта ТН способствует снижение отношения  $[Mn]/[S]$  при одновременном увеличении  $[Mn]/[Si]$ . Регрессионный анализ также подтверждает отмеченную закономерность:

– для стали 25Г2С  $TН = 0,99 \cdot \frac{[Mn]}{[Si]} - 0,0037 \cdot \frac{[Mn]}{[S]}$ ,  
 $R = 0,90;$

– для стали 35ГС  $TН = 1,71 \cdot \frac{[Mn]}{[Si]} - 0,0071 \cdot \frac{[Mn]}{[S]}$ ,  
 $R = 0,92;$

– для стали 3сп  $TН = 0,75 \cdot \frac{[Mn]}{[Si]} - 0,009 \cdot \frac{[Mn]}{[S]}$ ,  
 $R = 0,91.$

Из полученных уравнений регрессии следует, что образование дефекта ТН на 20–30% определяется отношением  $[Mn]/[S]$  в стали и на 70–80% – отношением  $[Mn]/[Si]$ . Для уменьшения развития указанного дефекта необходимо снижать отношение  $[Mn]/[Si]$  за счет поддержания высокой концентрации кремния в регламентированных маркой стали пределах и повышать отношение  $[Mn]/[S]$  путем удаления серы.

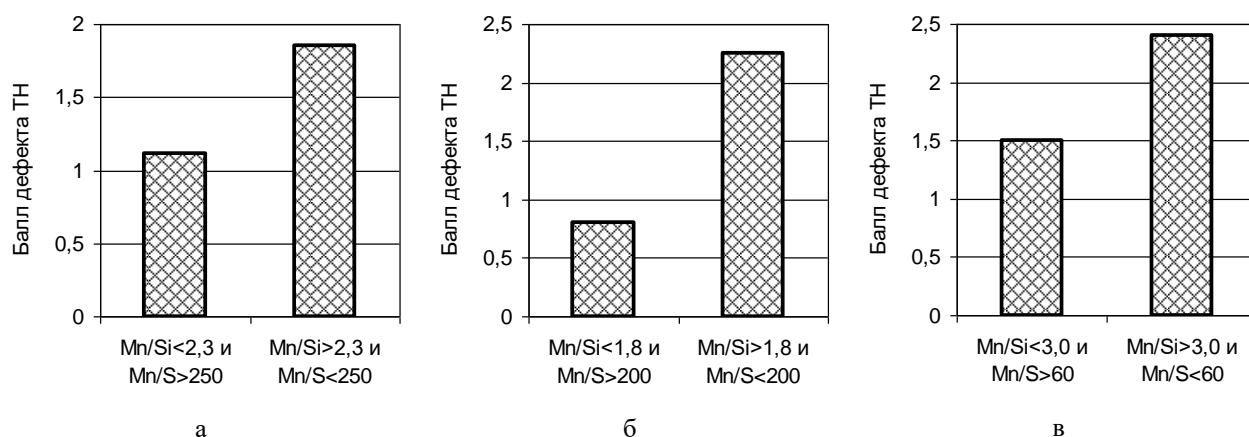


Рис. 3. Зависимость степени развития дефекта ТН от соотношений компонентов химического состава для стали 25Г2С (а), 35ГС (б), и 3сп (в)



Таким образом, с точки зрения минимизации образования дефекта ТН в заготовках из низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали, разливаемой открытой струей на сортовых МНЛЗ, необходимо стремиться к поддержанию максимального отношения  $[Mn]/[S]$  при отношении  $[Mn]/[Si]$  на уровне менее 2–3.

Дефект «осевая пористость» (ОП), являющийся по своей природе дефектом усадочного происхождения, заметно усиливается при увеличении перегрева металла и повышенной скорости разливки, а также при увеличении концентрации элементов, повышающих усадку стали [5–7, 18]. Для рассматриваемых условий определяющее влияние на развитие этого дефекта оказывает величина перегрева разливаемого металла (рис. 4).

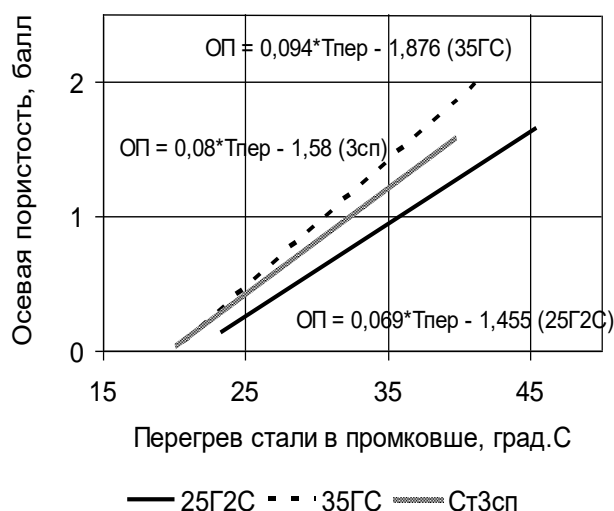


Рис. 4. Зависимость степени развития дефекта ОП от перегрева металла в промежуточном ковше

Представленные на рис. 4 данные свидетельствуют о наличии прямой линейной взаимосвязи между перегревом металла и развитием дефекта ОП. Кроме того, при одинаковой величине перегрева балл дефекта ОП выше для стали с более высоким содержанием углерода – 35ГС. Указанная закономерность подтверждается полученным для всех анализируемых марок сталей уравнением регрессии:

$$ОП = 1,179 \cdot [C] + 0,019 \cdot T_{пер}, R=0,65.$$

Из данного уравнения следует, что развитие дефекта ОП в сортовой заготовке сечением 150×150 мм на 33% определяется содержанием углерода в стали и на 67% – перегревом металла в промежуточном ковше. Таким образом, для снижения развития данного дефекта целесообразно ограничивать содержание углерода по нижнему марочному пределу и не допускать перегрева металла выше регламентированных значений.

## Заключение

Анализ производственных данных по разливке сортовой заготовки в условиях ООО «УГМК-Сталь» позволил установить основные факторы, влияющие на её качество и отсортировку проката:

1. Осевая ликвация заметно повышается при превышении содержания серы и фосфора в анализируемых марках стали уровня 0,015%, а также при превышении регламентированной величины перегрева 30°C.

2. Дефект ЛПИТ развивается с повышением концентрации примесей, склонных к ликвации, при снижении прочностных свойств стали и повышении её перегрева. В наибольшей степени развитие этого дефекта определяется содержанием серы и фосфора (на 34–45%) и перегревом металла в промковше (на 43–63%). Для минимизации развития дефекта ЛПИТ необходимо исключить случаи разливки стали с содержанием серы и фосфора выше 0,015% и перегревом более 30°C, а также минимизировать содержание меди (особенно для стали 3сп).

3. Образование дефекта «точечная неоднородность» на 20–30% определяется отношением  $[Mn]/[S]$  в стали и на 70–80% – отношением  $[Mn]/[Si]$ . Для минимизации образования дефекта ТН необходимо стремиться к поддержанию максимального отношения  $[Mn]/[S]$  при отношении  $[Mn]/[Si]$  на уровне менее 2–3.

4. Осевая пористость в сортовой заготовке на 33% определяется содержанием углерода в стали и на 67% перегревом металла в промежуточном ковше. Для снижения развития данного дефекта целесообразно ограничивать содержание углерода по нижнему марочному пределу и не допускать перегрева металла выше регламентированных значений.

Соблюдение отмеченных рекомендаций позволит повысить качество сортовой заготовки и сократить отсортировку металлопроката относительно текущего уровня.

## Список источников

1. Металлургические мини-заводы / А.Н. Смирнов, В.М. Сафонов, Л.В. Дорохова, А.Ю. Цупрун. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 469 с.
2. Смирнов А.Н., Подкорытов А.Л. Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования // *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. 2010. №2(260). С. 61–65.
3. Смирнов А.Н., Сафонов В.М. Современный уровень и будущее электросталеплавильного производства // *Сталь*. 2009. №1. С.47–51.
4. Временная технологическая инструкция ВТИ 09546947-№005-013-2013. Непрерывная разливка стали на сортовой МНЛЗ. Тюмень, 2013. 67 с.
5. Бровман М.Я. Непрерывная разливка металлов. М.: ЭКОМЕТ, 2007. 484 с.

6. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. 221 с.
7. Непрерывная разливка сортовой заготовки: монография / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, А.Л. Подкорытов и др. Донецк: Цифровая типография, 2012. 417 с.
8. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1991. 22 с.
9. Отраслевой стандарт ОСТ 14-4-73. Сталь. Метод контроля макроструктуры литой заготовки (слитка), полученной методом непрерывной разливки. М.: Министерство черной металлургии СССР, 1973. 15 с.
10. Влияние электромагнитного перемешивания на структуру и химическую неоднородность сортовой непрерывнолитой заготовки / А.Б. Великий, А.С. Казаков, В.П. Филиппова, А.Г. Алексеев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4 (20). С. 37-40.
11. Телемисова А.С., Столяров А.М. Повышение производительности сортовой МНЛЗ // Наука и производство Урала. 2016. № 12. С. 23-26.
12. Ретунская А.М., Столяров А.М., Потапов М.Г. Влияние различных факторов на скорость вытягивания сортовой непрерывнолитой заготовки // Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки. 2017. № 16. С. 38-43.
13. G. Alvarez de Toledo, A. Arteaga, J.J. Laraudogoitia, Continuous Casting of Microalloyed Steels. Influence of Composition and Operational Parameters in Billet Surface Cracking, Materials Science Forum, 500-501 (2005) 163-170.
14. X.H. Zhu, L.H. Zhu, Y. Liu, T.L. Liu, Peritectic-Steel Mold Fluxes, Advanced Materials Research, 567 (2012) 75-78.
15. Изучение искажения поперечного сечения непрерывнолитого сляба / Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов, К.В. Баранчиков // Известия вузов. Черная металлургия. 2014. №1. С. 34-37.
16. D.Y. Lin, S.M. Yang, The Formation and Occurrence of Non-Metallic Inclusions of Si-Doped Steel during Continuous Casting, Key Engineering Materials, 479 (2011) 13-21.
17. О рациональной длине поддерживающей системы узких граней непрерывнолитой заготовки для предотвращения выпуклости / Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов, К.В. Баранчиков // Известия вузов. Черная металлургия. 2015. Т. 58. №1. С.39-43.
18. S. Zhao, D.L. Wei, J.H. Xu, H. Chen, L. Zhang, Influence of Steel Strip-Feeding Process on Density and Segregation of Casting Ingot, Materials Science Forum, 872 (2016) 45-49.
19. Изучение загрязненности неметаллическими включениями сортовой непрерывнолитой заготовки / А.М. Столяров, В.В. Мошкунов, М.В. Потапова, Р.Р. Мурапталова // Теория и технология металлургического производства. 2018. № 1 (24). С. 14-20.

#### Сведения об авторах

**Женин Евгений Вячеславович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», Новотроицк, Россия. E-mail: evzhenin@mail.ru.

**Шаповалов Алексей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», Новотроицк, Россия. E-mail: alshapo@yandex.ru.

---

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### INFLUENCE OF CONTINUOUS CASTING PARAMETERS ON BILLET QUALITY

**Zhenin Evgeny V.** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Metallurgical Technologies and Equipment Department, Novotroitsk branch of the National Research Technological University «MISiS», Novotroitsk, Russia. E-mail: evzhenin@mail.ru.

**Shapovalov Alexey N.** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Metallurgical Technologies and Equipment Department, Novotroitsk branch of the National Research Technological University «MISiS», Novotroitsk, Russia. E-mail: alshapo@yandex.ru.

**Annotation.** The results of analysis of production data on billets casting of 150×150 mm in conditions of UMMC-Steel LLC. It is established that the main factors affecting the quality of billets and sorting of long products are steel casting with overheating more than 30°C, as well as increased sulfur and phosphorus content (more than 0,015%).

To minimize defect "point heterogeneity" in the billets 150×150 mm of low- and medium-carbon steel cast by open jet, it is necessary to maintain maximum [Mn]:[S] ratio at [Mn]:[Si] ratio of less than 2-3.

To reduce the defect "axial porosity" it is advisable to limit the carbon content by the lower vintage limit and not to allow the metal to overheat above the regulated values.

**Key words:** continuous casting, concast billet, defective macrostructures, casting parameters.

---

Ссылка на статью:

Женин Е.В., Шаповалов А.Н. Влияние параметров непрерывной разливки на качество сортовой заготовки // Теория и технология металлургического производства. 2023. №2(45). С. 26-33.

Zhenin E.V., Shapovalov A.N. Influence of continuous casting parameters on billet quality. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 45, no. 1, pp. 26-33.