ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

**Расчет времени кристаллизации слитка массой 12,5 т**

Применяемые в настоящее время аналитические и аналоговые методы решения задач затвердевания слитка предполагают идеализацию его реальных форм, что снижает точность расчета. Между тем высокая точность решения, достигаемая с помощью численных методов при учете сложной конфигурации тела, нередко является излишней, уже по причине невысокой точности исходных данных, вводимых в программы для ЭВМ.

В связи с этим возникает необходимость в таком упрощенном способе расчета затвердевания слитка, по которому можно было бы определять динамику кристаллизации без значительных затрат труда и времени, но с учетом реальной формы сечения слитка (соотношения сторон, скругления углов и т. п.). При решении задачи затвердевания слитков квадратного и прямоугольного сечений со скругленными углами был применен метод конформных отображений. Вначале решали задачу отображения единичного круга на поперечное сечение рассматриваемого слитка. При этом использован метод тригонометрической интерполяции [25], позволивший рассчитать численные значения коэффициентов степенного ряда, в котором может быть разложена отображающая функция.

Рис. 2.1.1 – Участок сечения слитка со скругленными углами (обозначения в тексте)

Затем, применив теорию комплексного термического потенциала и воспользовавшись уравнением теплового баланса для четверти сечения слитка (по условиям симметрии), осуществляли конформное отображение данного сечения на область более простой формы – на полуплоскость, для которой решение задачи затвердевания известно. Полученное таким способом решение аппроксимировали тремя параболическими уравнениями следующего вида:



где Ккр – критерий кристаллизации;



Fo – критерий Фурье



где см – теплоемкость, Дж/(кгК);

Ткр – температура кристаллизации, К;

Тпов – температура поверхности охлаждения, К;

q – скрытая теплота кристаллизации Дж/кг;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м-К);

ρ – плотность, кг/м3;

τ – время затвердевания, мин;

l – характерный линейный размер (для прямоугольного сечения – половина меньшей стороны), м;

A1-3, B1-3, C1-3 – коэффициенты критериальных уравнений, аппроксимирующих изотермы кристаллизации;

ε1-3 – толщина твердой корки слитка в характерных сечениях, м.

Выражение (1) показывает связь между временем затвердевания и относительной толщиной твердой корки со стороны узкой грани слитка (рис. 2.1.1). Как уже отмечалось, это уравнение описывает параболу, аппроксимирующую изотермы затвердевания, которые были рассчитаны на основе метода конформных отображений (1), применительно к прямоугольным слиткам с отношением сторон 1: 1,16. Аналогичным образом выражения (2) и (3) описывают динамику нарастания твердой фазы по диагоналям слитка и со стороны широкой грани. Для уменьшения погрешности значения этих коэффициентов приняты различными для окончания затвердевания (85-100 %), промежуточной стадии(12-85 %) и начальной (0-12 %). Представление решения в виде квадратного уравнения существенно облегчает расчеты при сохранении необходимой точности. Погрешность такой аппроксимации не превышает 3 %.

Далее произведем расчет времени кристаллизации слитка двумя способами, первый ппредложенный Донецким политехническим институтом, а для проверки используем расчет по формуле Валлета.[26]

* + 1. **Расчет кристаллизаци слитка марки 3ТРПС от момента разливки до посада его в нагревательный колодец**

Данный расчет был произведен на ЭВМ с использованием электронных таблиц Excel, где и составлена программа. Применение существенно облегчило вычисление кристаллизации слитка.

###### Таблица 2.1.1­­­­– данные для расчета кристаллизации слитка

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Показатель | Значение |
| 1 | 2 | 3 |
| Коэффициент теплопроводности | Вт/(м-К) | 29 |
| Теплоемкость | Дж/(кг-К) | 692 |
| Плотность | Кг/м3 | 7250 |
| Скрытая теплота кристаллизации | Дж/кг | 276000 |
| Масса слитка | Т | 12,5 |
| Высота слитка | М | 2 |
| Верхнее сечение | М | 0,937×0,807 |
| Нижнее сечение | М | 0,937×0,807 |
| Относительный радиус округления углов | М | 0,491 |
| Время посада в колодец от конца разливки | мин | 75 |

1. Критерий кристаллизации



1. Критерий Фурье



Время полного затвердевания рассчитывается по следующему уравнению:



При подстановке полученных значений в вышеуказанные выражения вычисляем критерий Фурье:





1. Теперь при подставлении критерия Фурье в общую формулу получим полное время кристаллизации слитка

 или 3 часа 15 минут

1. Принимаем время стрипперования после разливки равной 30 минут и перед посадом в нагревательный колодец 75 минут от конца разливки, рассчитаем кристаллизацию большей, меньшей сторон слитка и кристаллизацию по направлению от угла к центру слитка.

Расчет кристаллизации меньшей стороны слитка:









Решая квадратное уравнение получим количество твердой фазы меньшей стороны слитка за период времени от конца разливки до начала посада в нагревательный колодец равной 0,21 метра.

Расчет кристаллизации большей стороны слитка:









Решая квадратное уравнение, получим количество твердой фазы большей стороны слитка за период времени от конца разливки до начала посада в нагревательный колодец равной 0,2 метра.

Расчет кристаллизации от угла к центру слитка:









Решая квадратное уравнение получим количество твердой фазы от угла к центру слитка за период времени от конца разливки до начала посада в нагревательный колодец равной 0,22 метра.

На основании проведенных вычислений построим график рис. 2.1.1.

Рис. 2.1.1 – график кристаллизации слитка

* + 1. **Расчет хода затвердевания корки прямоугольных слитков по формуле Валлета**

Для квадратного слитка со стороной 0,937×0,807мм время затвердевания по формуле 1:



где k – константа затвердевания слитка, см⋅мин-1/2

l – половина стороны слитка, см

составляет:



Исходя из проведенных вычислений видно что погрешность предлагаемого расчета затвердевания слитка составляет:



что удовлетворяет условию.

**2.2. Методика проведения опытно промышленных исследований**

Выплавку стали ЗТРПС проводили в двухванном сталеплавильном агрегате (ДСПА) емкостью 300 тонн с разливкой на 24 слитка массой 12,5 тонн.

Отстой 12 опытных слитков у разливочного пролета составил 10 минут, против сравнительных 12 слитков (обычная технология) – 30 минут. Снятие изложниц со слитков в стрипперном отделении для опытных 12 слитков составляет 10-12 минут, тогда как для мартеновской плавке в 24 слитка – 25-30 минут.

Посад слитков в нагревательные колодцы Блуминга по опытной технологии производили через 75 минут, против обычной технологии 85 минут.

Нагрев опытных и сравнительных слитков произвели в нагревательных колодцах цеха Блуминг–2.

В процессе обжатий в цехе Блуминг–2 оценивали величину нагрузки по всем клетям, величину головной и донной обрези, характер деформации металла на первых проходах в валках Блуминга, макроструктуру раската после головной обрези, количество и глубину поверхностных трещин и в целом качество поверхности.

После проката до квадрата 80х80 от всех головных штанг слитка отбирали темплеты, по которым оценивали химическую неоднородность в центральной части у поверхности и на половине диагонали, а также контроль макроструктуры глубоким травлением с оценкой точечной неоднородности, центральной пористости, ликвационного квадрата, подусадочной и пятнистой ликвации.

**2.3. Технология выплавки опытного металла в ДСПА**

Выплавка стали производства в двухванном агрегате (ДСПА) емкость 300 т. Шихта, как правило, состоят из жидкого чугуна (225±5 тонн) и металлолома (123±5 тонн). Чугун имел, как правило, следующий химический состав, %

### Таблица 2.3.1 – Химический состав чугуна.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Sі | Mn | S | P |
| 0,80 | 0,25 | 0,025 | 0,060 |
| 0,95 | 0,45 | 0,035 | 0,070 |

Длительность процесса плавления колебалась в пределах 40-50 минут, кипение и доводки 50-58 минут, выпуск до 15 минут. Перед выпуском плавки для частичного снятия окисленности металла в печь присаживался чушковый чугун в количестве до 1 тонны. Экспериментам подвергали, как правило, марку стали ЗТРПС, во всех случаях производили микролегирование в ковше титаном (до 0,07 %) и бором (до 0,005 %).

Температура металла перед выпуском 1600-1615 °С, раскисление в ковше силикомарганцем в количестве 12,5-13,5 кг/т с корректировкой содержания углерода в металле антрацитом АС или же в отдельных случаях углеродистым ферромарганцем. Как правило, на всех плавках, производилась продувка аргоном через шиберное устройство. Температура металла в ковше колебалась в пределах 1540-1550 °С. Разливку производили в уширенные к низу изложницы типа МКС – 12,5 – тонные слитки через сталеразливочный стакан диаметром 70 мм.

Головная часть слитка, как правило, была слегка выпуклая или ровная, что свидетельствовало об удовлетворительно проведенном предварительном раскислении в печи, и затем в ковше.

В отдельных случаях дополнительное микроподраскисление алюминиевыми "плюшками" в конце наполнения изложницы.

В целом, длительность испарения искрения головной части слитка колебалось в пределах 10-35 секунд, длительность наполнения слитка – 65-82 секунд. Длительность отстоя сталеразливочного состава у разливочной площадки не превышала 10 минут, в отдельных случаях вывозили из цеха не все 24 слитка, а по 12 штук, чтобы предельно сохранить тепло. В целом, температура поверхности слитков к концу разливки (началу вывоза их из цеха) находились в пределах 1500-1530 °С.

Опыт работы свидетельствует о том, что участок разливка – стриппер должны работать с высокой степенью синхронности и обеспечивать выполнение точно по графику:

* вывоз состава из разливочного пролета;
* доставка в стрипперное отделение без толчков и рывков со скоростью не более 5 км/час;
* быстрое раздевание слитков;
* наличие уширенных штемпелей для случаев выдавливания слитков.

Из наблюдений следует, что бывают случаи приваривания слитков к изложницам, но достаточно легкого прикасания специального для этих целей широкоплоскостного штемпеля для отделения изложницы от слитка. Поверхность слитка при этом не повреждается.

Продолжительность стрипперования одного слитка составляет не более одной минуты, то есть плавка из 24 слитков стрипперуется двумя кранами за 11-12 минут.

Наиболее характерной по максимальному использованию тепла жидкой сердцевины 12,5 тонных слитков была плавка из двухванной печи стали ЗТРПС. Состав под разливку в мартеновский цех был подан набранным из четырех тележек с изложницами МКС – 12,5. Плавка с температурой в ковше 1548 °С разливалась сверху через сталеразливочный стакан диаметров 70 мм по следующей схеме.

### Таблица 2.3.2 – Схема разливки слитков

|  |
| --- |
| Разливочная площадка |
| Х нд 24 22 Х Х 23 17 | 21 20 19 18 16 15 14 13 | 12 11 10 9 1 2 3 4 | Х 8 7 Х Х 5 6 Х |
| Тележка №574 | Тележка №1435 | Тележка №999 | Тележка №980 |

Две тележки с опытными слитками:

* слиток №1 – первый по разливке;
* слиток №2 – последний по разливке.

Ситуация по разливке металла в изложницы на тележках №999 и 980 была следующей:

* начало разливки – 9 часов 35 минут;
* конец разливки – 9 часов 50 минут;
* отправка из цеха слитков на тележках №980, 999 – 10 часов 00 минут, т.е. у разливочной площадки составила 10 минут.

Разливка металла на тележки №1435 и 574, а также вывоз из цеха, стрипперование и посад в нагревательные колодцы производилась по обычной технологии. Отстой тележек №1435 и №1574 у разливочной площадки составил 30 минут. Слитки №13, 17, 18 раздевались с обработкой штемпелем, остальные изложницы сняты без обработки штемпелем.

В целом, по опытным и сравнительным слиткам основные технологические характеристики были неизменными:

* наполнение металлом данной части слитков 3-5 секунд;
* искрение слитков – 10-15 секунд;
* поверхность слитков – ровная, слегка выпуклая;
* общий вес плавки – 307,7 тонн;
* количество слитков – 24 шт.

Нагрев слитков с жидкой сердцевиной (тележки №999, 980) производился в нагревательном колодце №34. Температура колодца перед посадом была 1060 °С, слитки посажены в очередность, соответствующей очередности разливки, при этом температура колодца в конце посада составила 920°С, а температура слитков – 1000 °С.

Температура поверхности слитков оценивалась по данным табл. 2.3.3.

### Таблица 2.3.3 – Определение температуры поверхности 12,5 тонных слитков мартеновского цеха

|  |
| --- |
| Кипящий металл |
| Время охлаждения плавок, час, мин | Температура поверхности слитков, оС |
| 1 | 2 |
| 0-25 | 1100 |
| 0-30 | 1080 |
| 0-35 | 1060 |
| 0-40 | 1040 |
| 0-45 | 1020 |
| 0-50 | 1000 |
| 1-00 | 975 |
| 1-10 | 950 |
| 1-15 | 940 |
| 1-20 | 930 |
| 1-25 | 920 |
| 1-30 | 910 |
| 1-35 | 900 |
| 1-40 | 890 |
| 1-45 | 880 |
| 1-50 | 870 |
| 1-55 | 860 |
| 2-05 | 850 |
| 2-15 | 840 |
| 2-20 | 830 |
| 2-25 | 820 |
| 2-30 | 810 |
| 2-40 | 800 |
| 2-45 | 790 |
| 2-55 | 780 |
| 3-00 | 770 |
| 3-05 | 760 |
| 3-10 | 750 |
| 3-25 | 730 |
| 3-40 | 710 |
| 4-00 | 680 |
| 4-30 | 650 |
| 5-00 | 620 |
| 5-40 | 580 |
| 6-20 | 540 |
| 7-10 | 500 |
| 8-15 | 450 |
| 9-15 | 400 |
| 10-25 | 350 |
| 11-30 | 300 |

При этом, необходимо отметить, что температура поверхности слитков не может служить точным критерием, определяющим в последующем режиме нагрева в колодцах. В целом же, наиболее объективно оценить тепловое состояние слитков (а соответственно и режим нагрева) возможно лишь по времени нахождения слитков в изложницах. После закрытия крышки колодца температура в ячейке через 20 минут повысилась до 1050°С. Коксодоменный газ при этом, в колодец на отопление не подавался. Через 1 час после закрытия крышки температура колодца составила 1120 °С. Через 2 часа 25 минут после закрытия крышки и 3 часа 15 минут от конца разливки начали подачу коксодоменного газа на отопление. Еще через 45 минут ячейка вышла на температуру томления 1280-1290 °С. В режиме томления металл находился в течение 1 часа 20 минут.

В обобщенном виде изменение расчетной температуры поверхности 12,5 тонных слитков от разливки до выдачи в прокат приведена на рис. 2.3.1, а изменение температуры нагревательного колодца – на рис. 2.3.2.

При прокатке всех слитков, как во время захватов слитков, так и при обжатии слитка,наблюдались пониженные нагрузки (8/9 кА вместо 9/10 кА по обычной технологии, визуально трещинообразование практически отсутствовало. В целом нагрузки на НЗС также были на 3/5 % ниже, чем при прокатке обычных слитков, и составляли 0,9/1,1 кА, вместо 1,1/1,3 кА.

Рис. 2.3.1 – Диаграмма изменения расчетной температуры поверхности 12,5т слитков от разливки до выдачи в прокат продолжительность транспортировки и нагрева слитков

 ----- – регламентированный график

 – с жидкой сердцевиной

1 – конец разливки; 2 – раздевание слитка; 3 – посад в нагревательный колодец; 4 – подача топлива; 5 – выдача в прокат

Это свидетельствует о целесообразности посада слитков с жидкой сердцевиной, так как это позволяет в наиболее рациональной форме проводить томление слитка в 2-х режимах с направленностью тепловых потоков изнутри слитка к поверхности, и за счет отопления колодца, от поверхности к центру.

Прокатки слитков с жидкой сердцевиной производилась донной частью вперед по схеме 2×4×4×2×1, что предусмотрено действующей технологической инструкцией режимов обжатий.

От половины прокатанных слитков с жидкой сердцевиной, нагретых в одном нагревательном колодце, на 1250 тонных ножницах отбиралась минимально возможная обрезь, а от второй половины качества слитков отбиралась обрезь согласно установленных норм (см. табл. 2.3.4).

Рис. 2.3.2 – Диаграмма изменения температуры нагревательного колодца

а – нагрев по действующей технологии; б – нагрев слитков с повышенным теплосодержанием; 1 – температура колодца в начале посада; 2 – температура колодца в конце посада

Как видно из табл. 2.3.4, обрезь на слитках с жидкой сердцевиной, по режимам обычной технологии позволяет работать в рамках установленных норм и ниже нормы.

Таблица 2.3.4 – Обобщенные результаты отбора обрези по обычной и опытной технологии

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Технология на опытных слитках | Количество прокатанных слитков, шт | Сечение блюмсового раската, мм | Обрезь на 1250-тонных ножницах |
| Донная часть | Головная часть | Итого |
| м | % | м | % | м | % |
| Сокращенная обрезь | 6 | 322х328 | 0,4 | 2,8 | 0,38 | 2,5 | 0,8 | 5,38 |
| Обычная обрезь\* | 6 | 322х328 | 0,6 | 3,6 | 0,74 | 4,3 | 1,3 | 7,90 |

\* Примечание: норма обрези согласно технологической инструкции:

* с головной части – 0,85 метров или 5,0%;
* с донной части – 0,50 метров или 3,0%.

##### Итого по слитку 1,35 метров или 8%.

В то же время, опыты подтверждают возможность отработки технологии с установлением более низкой нормы обрези слитков с жидкой сердцевиной (за счет более полного усреднения при деформации центральных объемов слитка) с головной части, т.е. с 8% до 5,5-6,5% (на 1,5-2,5% или 15-20 кг/тонну).

С другой стороны, повышенная донная обрезь образуется во время так называемой технологической операции при обжиме – «накат», при которой отбираемая обрезь увеличивается против нормы в 1,5-2 раза. При проведении данной плавки, как равно и других, фиксировали ряд других технологических показателей. Наиболее важный из них – расход топлива, рис. 2.3.3.

Результаты, полученные в исследованиях, свидетельствуют о том, что абсолютный расход коксодоменного газа на нагрев слитка составил:

* в опытном варианте с жидкой сердцевиной – 6140 м3;

- в сравнительном варианте – 15300 м3.

Т.е. по сравнению с обычным нагревом экономия топлива достигает 14,5 кг условного топлива на 1 тонну всада, что в денежном выражении составляет 2,5 грн/тонну.

Рис. 2.3.3 – Диаграммы расходов газа на ячейке №34 по обеим технологиям нагрева стальных слитков марки 3ТРпс в нагревательных колодцах.

**2.4. Сравнительная оценка качества опытного и сравнительного металла**

Изучение качественных характеристик металла проводилось:

* в промежуточном сечении, т.е. в блюмсовом раскате сечением от 300х300 до 328х328 мм;
* в готовой для переката заготовки сечением 80х80 мм;
* в готовом прокате, т.е. в арматурном прокате качество металла оценивали по результатам отбора обрези на 1250–тонных ножницах Блуминга №2.

Установлено следующее:

* металл после проведенного томления в колодцах имел более высокие пластические характеристики, и более качественную структуру металла, что предопределило уменьшение отбираемой обрези в головных заготовках с 8 % до 5,5-6,5 %, т.е. на 1,5-2,5 % (табл. 2.4.1);
* визуально блюмсовый раскат на НЗС не имел глубоких трещин, преимущественно мелкие, а в готовом прокате количество их в опытном и сравнительном вариантах оставалось практически неизменным, хотя глубина трещин в опытном варианте была 1,2 мм при 2-3 мм и более в обычном варианте, что косвенно подтверждается оценкой макроструктуры на протравленных образцах отобранных от заготовок 80х80 мм.

Для оценки качества макроструктуры по обычной (а) и опытной (б) технологии были отобраны на плавке 9-1783 по всей высоте слитка темплеты от заготовок сечением 80×80 мм (табл. 2.4.1. и 2.4.2 протоколы №43 результатов макроконтроля глубоким травлением в 25 % растворе соляной кислоты).

Как видно из таблиц 2.4.1, 2.4.2 качество макроструктуры опытного и сравнительного слитков было удовлетворительным, однако, и в этом случае и в других оценочно металл был всегда по структуре отличим между собой.

Очертания ликвационного квадрата на опытных слитках на всех горизонтах были менее заметны и более размыты, чем в сравнительном, что обусловлено на опытных слитках более низкой скоростью кристаллизационных процессов.

Принципиально, такое более равномерное распределение ликватов по сечению слитка и его высоте является более благоприятным, так как предполагает однородность механических, металлографических свойств в целом по всей плавке.

Обращает на себя внимание и тот факт, что на сравнительных слитках на темплетах от заготовок №4, 5, 6 следы вторичного теплового центра выражены более ярко (что негативно), тогда, как в опытном варианте это почти незаметно.

На этих же типичных фотографиях сравнительных темплетов видны трещины глубиной до 2-3 мм, тогда как в опытных количество их меньше на 6-9 %, а глубина их незначительна – 0,5-2 мм, что предполагает уменьшение количества вырубщиков на адьюстаже блумингов. Это объясняется тем, что при прокатке опытных слитков, равномерно прогретых по сечению и высоте, в значительно большей степени исчезают термические напряжения (практически реализован режим томления металла в слитках).

Таблица 2.4.1 – протокол результатов контроля макроструктуры глубоким травлением №43

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка | Плавка | Штанга | Дефекты макростуктуры в баллах | примечание |
| Точечная неоднородность | Центральная пористость | Ликвационный квадрат | Остатки усадки | Подусадочная ликвация | Пятнистая ликвация |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Ст. 3пс пл.9-1783 80мм | Слиток опытный |  |  |
| Время от конца разливки до конца посада 1ч 15мин, температура посада 940°С, выдержка 3ч, время нагрева с включенным газом 45мин, общее время нагрева 3ч 45мин.  |
| Головная часть слитка | 1 | 4 | - | - | нет | 0 | 0 |  |
| Выход ликвационной зоны на поверхность |
|  |  |  | Трещины <0,5мм, рванина 1мм |
|  |  | 2 | 3 | 1 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 3 | 5 | 2 | 0,5 | нет | 4 | 0 |  |
|  |  |  | Неметаллические включения, видимые невооруженным глазом. Трещины <0,5 |
|  |  | 4 | 2 | 3 | 2 | нет | 5 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-2мм |
|  |  | 5 | 3 | 4 | 3 | нет | 4 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-2,5мм |
|  |  | 6 | 4 | 4 | 3 | нет | 4 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 7 | 3 | 3 | 3 | нет | 2 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 8 | 3 | 2 | 2 | нет | 2 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-3мм |
|  |  | 9 | 4 | 1 | 2 | нет | 1 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины <0,5мм |
|  |  | 10 | 4 | 1 | 1 | нет | 0 |  |  |
|  |  |  | Трещины <0,5мм |
|  |  | 11 | 3 | 1 | 1 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины <0,5мм |
|  |  | 12 | 2 | 1 | 1 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 13 | 2 | 1 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины <0,5мм |
|  |  | 14 | 2 | 1 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 15 | 2 | 0,5 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 16 | 2 | 0,5 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5мм |
|  |  | 17 | 3 | 0,5 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1,5мм |
|  |  | 18 | 4 | 0 | 0 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 19 | 4 | 0 | 0 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5мм |
| Донная часть слитка | 20 | 4 | 0 | 0 | нет | 0 | 0 |  |
|  | Трещины 0,5-1мм |

Таблица 2.4.2 – протокол результатов контроля макроструктуры глубоким травлением №43

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка | Плавка | Штанга | Дефекты макростуктуры в баллах | примечание |
| Точечная неоднородность | Центральная пористость | Ликвационный квадрат | Остатки усадки | Подусадочная ликвация | Пятнистая ликвация |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Ст. 3пс пл.9-1783 80мм | Слиток сравнительный |  |
| Головная часть слитка | 0,1 | 4 | 0 | 0 | нет | 0 | 0 |  |
|  | Трещины 0,5-2мм, рванина гл. 1мм Неметаллические включения, видимые невооруженным глазом по всему сечению. |
|  |  |  |
|  |  | 02 | 3 | 1 | 0 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 03 | 3 | 0,5 | 0 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1,5мм |
|  |  | 04 | 2 | 0 | 0,5 | Следы усадки | 1 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 05 | 2 | 2 | 2 | нет | 2 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 06 | 2 | 2 | 2 | нет | 2 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 07 | 2 | 2 | 2 | нет | 1 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-2мм |
|  |  | 08 | 2 | 1 | 2 | нет | 0,5 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 09 | 3 | 2 | 2 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 010 | 3 | 2 | 2 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-5мм |
|  |  | 011 | 3 | 2 | 2 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5мм |
|  |  | 012 | 3 | 2 | 2 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-2мм |
|  |  | 013 | 3 | 3 | 2 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-2мм |
|  |  | 014 | 3 | 2 | 1 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 015 | 3 | 0,5 | 1 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-3мм |
|  |  | 016 | 3 | 0,5 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-4мм  |
|  |  | 017 | 3 | 0,5 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-4мм |
|  |  | 018 | 4 | 0 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 019 | 2 | 0 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5-1мм |
|  |  | 020 | 2 | 0 | 0,5 | нет | 0 | 0 |  |
|  |  |  | Трещины 0,5мм |
| Донная часть слитка | 021 | 2 | 0 | 0 | нет | 0 | 0 |  |
|  | Трещины 0,5мм |

Рис. 2.4.2 – серные отпечатки металла сравнительного слитка

Рис. 2.4.2 – серные отпечатки металла сравнительного слитка

В табл. 2.4.3 (результаты проведены послиточно) показано, что головная обрезь на слитках с жидкой сердцевиной при уточнении технологических параметров может быть уменьшена с 5% до 2,5-3%, в связи с чем были отобраны макротемплеты по высоте слитков опытных и сравнительных (рис. 2.4.1, 2.4.2) из рассмотрения результатов наблюдений следует, что по обычной технологии на темплетах от заготовок:

№1 – ярко выраженный выход ликвационной зоны на поверхность заготовки;

№2 – ярко выраженная не сварившаяся усадка, брак;

№3 – браковочный признак подусадочной рыхлости, дающий в арматуре или катанке расслой.

Остальные заготовки по высоте слитка годные. На опытных слитках на темплетах заготовки №1 видны следы подусадочной рыхлости, остальные заготовки годные.

Норма обоези согласно технологической инструкции:

- с головной частью слитка – 0,85 м или 5,0%;

- с донной частью слитка – 0,50 м или 3,0%.

Для оценки ликвации химических элементов по высоте слитка и по сечению были проконтролированы содержание С, Mn, Si, S, P в точках (рис. 2.4.3).

Таблица 2.4.3 – Результаты отбора обрези на 1250т ножницах Блуминга №2 на плавки № 9-1783 ст. 3ТРПС.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п по ходу прокатки | № п/п по разливке | Замечания по стрипперованию | Сечение блюмсо-вого раската | Обрезь отбираемая на 1250т ножницах |
| Донная часть | Головная часть |
| м | % | Причина  | м | % | Причи-на |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| С сокращенной обрезью | 1 | 6 | --- | 322×328 мм | 0,3 | 1,9 |  | 0,2 | 1,3 |  |
| 2 | 4 | --- | 0,3 | 2,2 |  | 0,4 | 2,5 |  |
| 3 | 1 | Рассеив. струя | 0,4 | 2,7 |  | 0,35 | 2,3 |  |
|  | 4 | 3 | --- | 0,4 | 2,7 |  | 0,4 | 2,7 |  |
| 5 | 2 | дав. штем | 0,6 | 3,9 | Накат | 0,3 | 1,5 |  |
|  | 6 | 7 | дав. штем | 0,5 | 3,2 |  | 0,65 | 4,4 | рыхл |
| Норма | 7 | 5 | дав. штем | 0,45 | 3,0 |  | 0,75 | 5,0 |  |
| 8 | 8 | дав. штем | 0,5 | 3,2 |  | 0,80 | 5,2 |  |
| 9 | 9 | дав. штем | 0,75 | 5,0 | Накат | 0,75 | 5,0 |  |
| 10 | 10 | дав. штем | 0,55 | 3,5 |  | 0,75 | 4,8 |  |
| 11 | 11 | дав. штем | 0,75 | 4,9 | Накат | 0,75 | 4,9 |  |
| 12 | 12 |  | 0,75 | 5,0 | Накат | 0,65 | 4,4 |  |

Химический состав в каждой из точек контролировали спектральным методом и приведен в таблицах № 2.4.6, 2.4.7, а также на рис. 2.4.4.

Из таблиц 2.4.6 и 2.4.7, а также рис. 2.4.4 видно, что характер ликвационных явлений не изменился. Весь металл опытный и сравнительный был прокатан на мелкосортном стане 250-4 на арматурные профили №12 по стандарту ДСТУ 3760-98 на класс прочности А500С.


##### Рис. 2.4.3 – Содержание химических элементов в слитке

1 – по центру заготовки, точка Ц; 2 – на S диагонали, точка С; 3 – в краевой зоне заготовки, точка К.

Рис. 2.4.4 – химсостав металла (опытный и сравнительный слиток)

Рис. 2.4.4 – химсостав металла (опытный и сравнительный слиток)

 – опытный слиток

 – сравнительный слиток

Таблица 2.4.6 – Контрольный химанализ от заготовок по высоте слитка плавки ст3ТРПС (опытный) в точках

|  |  |
| --- | --- |
| № пробы | Массовая доля элементов, % |
| С | Мn | Si | S | Р |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|  12-1 ксц | 0,20 0,20 0,15  | 0,80 0,80 0,75  | 0,10 0,10 0,10  | 0,045 0,042 0,025  | 0,010 0,010 0,007  |
| 12-2 | 0,21 0,21 0,17  | 0,80 0,80 0,77  | 0,10 0,10 0,10  | 0,048 0,043 0,032  | 0,010 0,010 0,008  |
| 12-3 | 0,20 0,21 0,21  | 0,81 0,80 0,82  | 0,10 0,10 0,10  | 0,049 0,036 0,040  | 0,011 0,010 0,011  |
| 12-4 | 0,21 0,22 0,38  | 0,81 0,80 0,90  | 0,10 0,10 0,12  | 0,048 0,045 0,050  | 0,011 0,012 0,018  |
| 12-5 | 0,20 0,22 0,37  | 0,80 0,81 1,10  | 0,10 0,10 0,11  | 0,047 0,040 0,050  | 0,011 0,012 0,025  |
| 12-6 | 0,20 0,22 0,34  | 0,80 0,82 0,98  | 0,10 0,10 0,11  | 0,047 0,042 0,050  | 0,011 0,012 0,010  |
| 12-7 | 0,20 0,23 0,28  | 0,81 0,82 0,92  | 0,10 0,10 0,11  | 0,048 0,045 0,050  | 0,011 0,013 0,016  |
| 12-8 | 0,20 0,24 0,25  | 0,80 0,82 0,85  | 0,10 0,10 0,10  | 0,046 0,045 0,050  | 0,011 0,012 0,014  |
| 12-9 | 0,21 0,24 0,22  | 0,81 0,84 0,83  | 0,10 0,10 0,10  | 0,048 0,045 0,050  | 0,011 0,012 0,013  |
| 12-10 | 0,20 0,24 0,21  | 0,80 0,84 0,81  | 0,10 0,10 0,10  | 0,047 0,045 0,050  | 0,011 0,013 0,011  |
| 12-11 | - 0,24 0,21  | - 0,81 0,81  | - 0,10 0,10  | - 0,045 0,048  | - 0,011 0,011  |
| 12-12 | 0,20 0,21 0,19  | 0,81 0,83 0,79  | 0,10 0,10 0,10  | 0,047 0,040 0,038  | 0,011 0,012 0,011  |
| 12-13 | 0,21 0,210,19 | 0,81 0,750,77 | 0,10 0,100,10 | 0,048  | 0,011 |
| 0,0380,037 | 0,0110,010 |
| 12-14 | 0,210,180,18 | 0,800,770,75 | 0,100,100,10 | 0,0500,0380,037 | 0,0110,0100,009 |
| 12-15 | 0,200,180,17 | 0,810,780,76 | 0,100,100,10 | 0,0500,0400,036 | 0,0110,0100,009 |
| 12-16 | 0,210,180,18 | 0,800,780,75 | 0,100,100,10 | 0,0460,0350,033 | 0,0110,0100,010 |
| 12-17 | 0,200,190,18 | 0,810,770,76 | 0,100,100,10 | 0,0500,0320,031 | 0,0100,0090,009 |
| 12-18 | 0,200,180,17 | 0,800,770,76 | 0,100,110,10 | 0,0490,0320,035 | 0,0110,0100,009 |
| 12-19 | 0,200,180,17 | 0,810,770,76 | 0,110,110,11 | 0,0480,0320,027 | 0,0110,0100,009 |
| 12-20 | 0,190,170,16 | 0,800,770,75 | 0,100,110,11 | 0,0420,0320,026 | 0,0110,0090,008 |
| 12-21 | 0,180,170,17 | 0,790,800,79 | 0,110,130,14 | 0,0380,0330,028 | 0,0100,0090,009 |
| 12-22 | 0,200,190,19 | 0,810,800,80 | 0,120,130,14 | 0,0460,0400,033 | 0,0100,0100,009 |

Таблица 2.4.7 – Контрольный химанализ от заготовок по высоте слитка плавки ст3ТРПС (сравнительный) в точках

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № заготовки | С | Mn | Cr | S | P |
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| 1. к

 с н | 0,250,20,25 | 0,68 0,65 0,65  | 0,11 0,10 0,10  | 0,034 0,030 0,030  | 0,0250,023 0,023  |
| 2 | 0,25 0,25 0,21  | 0,66 0,65 0,64  | 0,100,10 0,10  | 0,030 0,029 0,025  | 0,025 0,023 0,021  |
| 3 | 0,25 0,24 0,25  | 0,68 0,67 0,66  | 0,10 0,10 0,10  | 0,035 0,031 0,027  | 0,025 0,022 0,023  |
| 4 |  0,28  0,27  0,25  | 0,69 0,66 0,64  | 0,10 0,11 0,11  | 0,040 0,040 0,029  | 0,025 0,026 0,023  |
| 5 | 0,26 0,30 0,36  | 0,67 0,68 0,71  | 0,10 0,10 0,11  | 0,032 0,034 0,040  | 0,026 0,031 0,034  |
| 6 | 0,26 0,31 0,33  | 0,69 0,71 0,72  | 0,11 0,11 0,11  | 0,034 0,038 0,038  | 0,025 0,032 0,034  |
| 7 | 0,25 0,31 0,33  | 0,67 0,68 0,68  | 0,11 0,11 0,11  | 0,037 0,037 0,033  | 0,025 0,031 0,034  |
| 8 | 0,25 0,27 0,28  | 0,68 0,68 0,67  | 0,10 0,10 0,10  | 0,035 0,034 0,023  | 0,025 0,027 0,029  |
| 9 | 0,26 0,27 0,28  | 0,70 0,67 0,67  | 0,11 0,11 0,11  | 0,043 0,034 0,034  | 0,026 0,028 0,029  |
| 10 | 0,27 0,27 0,28  | 0,69 0,68 0,67  | 0,10 0,10 0,10  | 0,043 0,034 0,037  | 0,026 0,026 0,028  |
| 11 | 0,25 0,29 0,27  | 0,67 0,68 0,65  | 0,10 0,11 0,10  | 0,030 0,034 0,026  | 0,025 0,029 0,026  |
| 12 | 0,260,250,23 | 0,69 0,67 0,65 | 0,10 0,100,10 | 0,0390,033 0,026 | 0,026 0,025 0,024 |
| 13 | 0,26 0,25 0,25 | 0,70 0,66 0,66 | 0,11 0,11 0,10 | 0,044 0,035 0,033 | 0,026 0,025 0,023 |
| 14 | 0,25 0,25 0,25 | 0,69 0,65 0,65 | 0,10 0,10 0,10 | 0,038 0,029 0,028 | 0,025 0,024 0,023 |
| 15 | 0,26 0,25 0,21 | 0,69 0,66 0,64 | 0,10 0,10 0,10 | 0,043 0,032 0,027 | 0,026 0,024 0,020 |
| 16 | 0,25 0,23 0,19 | 0,69 0,65 0,62 | 0,11 0,10 0,10 | 0,040 0,029 0,024 | 0,025 0,022 0,019 |
| 17 | 0,26 0,24 0,25 | 0,67 0,64 0,62 | 0,10 0,10 0,10 | 0,034 0,029 0,024 | 0,025 0,022 0,022 |
| 18 | 0,23 0,22 0,20 | 0,67 0,64 0,62 | 0,10 0,10 0,10 | 0,034 0,031 0,027 | 0,023 0,020 0,018 |
| 19 | 0,27 0,24 0,23 | 0,67 0,66 0,65 | 0,10 0,10 0,10 | 0,032 0,031 0,028 | 0,027 0,023 0,022 |
| 20 | 0,28 0,26 0,23 | 0,67 0,65 0,65 | 0,10 0,10 0,10 | 0,035 0,029 0,025 | 0,026 0,023 0,021 |
| 21 | 0,23 0,26 0,21 | 0,65 0,65 0,62 | 0,11 0,11 0,10 | 0,027 0,029 0,024 | 0,024 0,027 0,020 |
| 22 | 0,23 0,26 0,22 | 0,67 0,64 0,63 | 0,10 0,10 0,10 | 0,025 0,029 0,023 | 0,023 0,022 0,021 |
| 23 | 0,23 0,26 0,22 | 0,67 0,64 0,63 | 0,10 0,10 0,10 | 0,025 0,029 0,023 | 0,021 0,023 0,022 |
| 24 | 0,23 0,23 0,24 | 0,69 0,67 0,66 | 0,130,12 0,11 | 0,037 0,032 0,032 | 0,021 0,023 0,022 |

**2.5. Совершенствование технологии нагрева слитков с жидкой сердцевиной**

Стрипперование слитков произведится через 30 минут от конца разливки. Начало нагрева слитков 75 минут от конца разливки (температура посада 940 °С согласно заводской инструкции по определению температуры поса­да). Температура колодца в конце посада 790 °С. Время выдержки без подачи топлива - 3 часа (180 минут). Расход газа после выдержки – 2000 мэ/ч. Общее время нагрева 3 часа 45 минут (225 минут). Температура томления 1270-1280 °С. Для сравнения результаты расчетных и экспериментальных данных приведены в табл. 2.5.1.

Из табл. 2.5.1 видно, что расчетная температура печи удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными, в течение первых двух часов вы­держки без подачи газа (время нагрева 0-120 минут). Максимальное откло­нение расчетной температуры печи от фактической к концу выдержки (180 минута нагрева) составило 34 °С. В последующие 25 минут (180-205 минут нагрева) расхождение в расчете температуры печи объясняется тем, что в экспериментальном нагреве после истечения времени выдержки был установлен постоянный расход газа 2000 м3/ч. После истечения, периода выдержки программой предусмотрена установка максимальной тепловой мощности (максимального расхода газа), до достижения контрольной температуры томления с последующим сокращением расхода топлива для обеспечения поддержания постоянной температуры печи.

Удельный расход условного топлива за нагрев по показаниям стационарного прибора на щите КИПиА составил 2,43 кгут/т, по расчетным данным 2,32 кгут/т, что является удовлетворительной точностью для расчетов. Анализ температурного поля слитков показал, что в момент выдачи в прокат (время нагрева 3 часа 45 минут (225 мин)) в донной части слитка была небольшая зона металла с температурой 1138 °С при средней по массе температуре 1265 °С.

Расчетный угар металла в момент выдачи составил 0,9 % от массы слитка (112,5кг). Изменение температуры торцов раската на ножницах показало, что температура головной части всех 12 слитков была в пределах 1235-1260 °С (по технологической инструкции 1200-1230 °С), донной части – 1210-1235 °С (по технологической инструкции 1160-1190 °С).

Температура внутри слитка должна быть не менее 1150-1160 °С. Поэтому время нагрева данной садки должно составлять 4 часа, т.е. на 15 минут больше.

На основе численных исследований разработана технология нагрева слитков с различным содержанием жидкой сердцевины в момент посада с учетом технологического состояния нагревательного колодца.

Суть технологии, уже применяемой на комбинате и других предприятиях, состоит в том, что после посада слитков в нагревательный колодец делается выдержка их без подачи топлива (кроме того газа, который подается через байпас), длительность, которой зависит от содержания жидкой сердцевины в слитках. Затем по истечении времени выдержки, слитки нагревают либо по стандартной технологии (включается максимальный расход газа в I периоде и задается контрольная температура в ячейке во II периоде нагрева), либо ограниченным расходом топлива в I периоде, составляющим 0,2-0,5 от максимального расхода до заданной контрольной температуры во II периоде.

Таким образом, нагрев слитков с жидкой сердцевиной осуществляется по трех стадийному режиму:

I- выдержка без подачи топлива;

II- нагрев при заданной тепловой мощности до контрольной температуры печи;

III - томление при заданной контрольной температуре в рабочем пространстве.

Продолжительность выдержки без подачи топлива зависит от технического состояния ячейки и количества газа, поступающего в горелочное устройство через байпас. Характерной особенностью нагревательных колодцев является то, что при полном закрытии регулировочного клапана и даже отсечного клапана некоторая часть газа все равно подается в горелку через байпас для безопасного зажигания факела при включении ячейки в режим нагрева.

Техническое состояние нагревательного колодца определяется состоянием кладки стен, крышки, песочных затворов, состоянием керамического рекуператора и других показателей, и характеризуется величиной мощности холостого хода, т.е. потерями тепла рабочим пространством. Мощность холостого хода ячейки легко определяется по расходу топлива, когда в рабочем пространстве колодца длительное время поддерживается заданная температура (обычно температура томления), а расход газа остается постоянным.

Более сложно определить расход газа, подающегося в рабочее пространство по байпасной линий. Измерить эту величину по стационарному прибору расхода газа на ячейку на представляется возможным, поскольку она находится в зоне нечувствительности прибора и вероятно составляет для колодцев блюминга–2 100-150 м3/ч. Определение расхода газа через байпас с некоторой погрешностью возможно путем прямого измерения перепада давления на измерительной диафрагме нагревательного колодца при полном закрытии отсечного клапана.

Для получения обобщенных результатов в расчеты для определения длительности выдержки без подачи топлива введена величина Мхх - Мб, где

Мхх = Vхх × 

Мб = Vб × 

где Мхх – мощность холостого хода ячейки, кВт;

Мб – мощность подаваемая по байпасной линии, кВт;

Vхх – расход газа при холостом ходе ячейки, м3/ч;

Vб – расход газа по байпасной линии, м3/с;

 – теплота сгорания газа – 7118 кДж/м3 (1700 ккал/м3).

Результаты расчетного времени выдержки слитков с жидкой сердцевиной в нагревательном колодце блюминга №2 в зависимости от времени стрипперования и посада после конца разливки, для величины Мхх - Мб = 900, 1000, 1100 и 1200 кВт представлены в табл. 2.5.2 отдельно для садки из 12 слитков массой 12,5 т и садки из 16 слитков массой 8,4 т. С помощью ТТЛ комбината определено, что величина Мхх - Мб ≈ 1000 кВт. Как видно из таблицы 2.5.2, при Мхх - Мб = 1000 кВт и времени стрипперования 30 минут от конца разливки (как в настоящее время принято на мет комбинате) время выдержки без подачи газа изменяется от 180 до 120 минут при изменении времени посада от 60 до 120 минут от конца разливки для слитков массой 12,5 т и от 126 до 27 минут при изменении времени посада от 60 до 90 минут для слитков массой 8,4 т.

Таким образом, слитки массой 12,5 т, охлаждавшиеся на воздухе более 120 минут после конца разливки могут нагреваться по стандартной технологии, а слитки массой 8,4т по стандартной технологии могут нагреваться по истечении 90 минут после окончания разливки.

Результаты расчетов теплового состояния 12,5–тонных слитков, нагретых по предлагаемой технологии, представлены в табл. 2.5.3, а до новой и старой временным инструкциям комбината – в табл. 2.5.4. При выполнении расчетов принято, что время стрипперования слитков составляет 30 минут от конца разливки, Мхх - Мб = 1000 кВт, расход газа холостого хода ячейки Vxx = 630 м3/ч, расход газа через байпас Vб=126 м3/ч, теплота сгорания топ­лива 1700 ккал/м3, сталь – М3ПС, температура металла в момент разливки 1570 °С. В графах «выдержка на байпасном газе», «время кристаллизации» и «время готовности к прокатке (время нагрева)» указано время от начала на­грева. При выполнении расчетов принято, что нагрев слитков начинается при температуре в рабочем пространстве колодца 800°С. Готовность слитка определяется полным завершением процесса кристаллизации и отсутствием внутри слитка даже очень малого объема металла с температурой ниже 1150 °С. Для удобства восприятия результатов рядом с графой «Время от конца разливки» приведена графа «t °С посада», которая определялась по методике, действующей на комбинате.

Следует отметить, что более точной характеристикой теплового состояния слитков является время стрипперования и время посада от конца разливки. Как видно из табл. 2.5.3, существует оптимальная продолжительность ох­лаждения слитков на воздухе, которая обеспечивает минимальный угар металла. Для 12,5–тонных слитков при стрипперовании через 30 минут после окончания разливки оптимальным временем посада следует считать 90-120 мин (1,5-2,0 часа от конца разливки). Слитки, посаженные через 135 минут (2 часа 15 минут) от конца разливки могу быть нагреты с минимальной тепловой мощностью в I периоде, равной мощности холостого хода ячейки. В таблице приведен результат такого режима нагрева. Однако в практической работе для таких слитков расход газа в первом периоде следует устанавливать выше расхода газа холостого хода ячейки, поскольку мощ­ность холостого хода величина не постоянная и зависит от технического со­стояния колодца в данный момент.

Слитки, посаженные в колодец через 150 минут после окончания разливки, следует нагревать в соответствии с действующей технологической инструкцией, а температура томления может составлять 1280-1290 °С. Результаты расчетов теплового состояния слитков, нагретых по новой временной технологической инструкции комбината, приведенные в табл. 2.5.4, показывают, что время выдержки без подачи газа занижено, а для слитков с температурой посада 975 °С (время посада от конца разливки 60 минут) занижено и общее время нагрева, в результате чего процесс кристаллизации к моменту выдачи еще не завершился. Для завершения кристаллизации необходимо увеличить время нагрева на 20 минут.

Сокращение времени выдержки слитков в колодце без подачи газа приводит к увеличению длительности процесса кристаллизации и увеличению угара металла. Так, при температуре посада металла 940 °С (время посада 75 минут от конца разливки) и времени выдержки без подачи топлива 60 минут, кристаллизация слитков в колодце завершается через 261 минуту от начала нагрева. При общем времени нагрева 270 минут угар металла составляет 1,325 % от массы слитков.

Если время выдержки без подачи топлива увеличить до 140 минут (предлагаемая технология, табл. 2.5.3), то кристаллизация слитка завершится через 178 минут при общем времени нагрева 180 минут (на 1,5 часа меньше), а угар металла составит 0,815 % (на 0,51 % меньше). Это означает, что угар металла на каждом слитке снизится на 63 кг, т.е. на 760 кг на одной садке.

При температуре посада 880 °С (90 минут от конца разливки) время нагрева слитков по предлагаемой технологии и новой временной инструкции совпадают (150 минут), однако угар металла по предлагаемой технологии на 0,17 % меньше за счет увеличения времени выдержки слитков без подачи газа на 28 минут (табл. 2.5.3, 2.5.4).

Таблица 2.5.1 – сравнительные данные эксперементальных и расчетных исследований нагрева садки из 12 слитков стали М3ПС массой 12,5т

(плавка 9–1783, 7–06.01г, колодец №28)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Время,мин | Температура, °С | Расход газа, м3/ч | Угар, % |
| τ | τн | печи | металла (расчетная) | По расче­ту | По прибору |
| рас­чет | экспе­римент |  |  |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|  | 75 | 0 | 800 | 790 | 1302 | 895 | 621 | 1514 | 144 | - | 0,148 |
| 90 | 15 | 987 | 990 | 1318 | 1113 | 747 | 1514 | 144 | - | 0,176 |
| 105 | 30 | 1057 | 1050 | 1321 | 1186 | 792 | 1514 | 144 | - | 0,23 |
| 120 | 45 | 1097 | 1090 | 1321 | 1232 | 824 | 1514 | 144 | - | 0,293 |
| 135 | 60 | 1121 | 1120 | 1318 | 1263 | 847 | 1514 | 144 | - | 0,357 |
| 150 | 75 | 1136 | 1130 | 1313 | 1285 | 862 | 1514 | 144 | - | 0,418 |
| 165 | 90 | 1143 | 1140 | 1306 | 1301 | 871 | 1514 | 144 | - | 0,476 |
| 180 | 105 | 1146 | 1150 | 1298 | 1311 | 876 | 1513 | 144 | - | 0,529 |
| 195 | 120 | 1146 | 1160 | 1289 | 1318 | 877 | 1512 | 144 | - | 0,578 |
| 210 | 135 | 1147 | 1170 | 1278 | 1323 | 876 | 1510 | 144 | - | 0,623 |
| 225 | 150 | 1148 | 1175 | 1268 | 1324 | 872 | 1507 | 144 | - | 0,664 |
| 240 | 165 | 1147 | 1180 | 1255 | 1324 | 867 | 1501 | 144 | - | 0,701 |
| кристал­лизация | 255 | 180 | 1146 | 1180 | 1250 | 1330 | 890 | 1480 | 5000 | 2000 | 0,734 |
|  | 260 | 185 | 1278 | 1200 | 1254 | 1331 | 1021 | 1442 | 2044 | 2000 | 0,753 |
| 270 | 195 | 1278 | 1220 | 1259 | 1319 | 1065 | 1418 | 1078 | 2000 | 0,789 |
| 280 | 205 | 1278 | 1250 | 1261 | 1315 | 1097 | 1403 |  866 | 2000 | 0,826 |
|  | 290 | 215 | 1278 | 1270 | 1263 | 1312 | 1121 | 1392 | 705 | 2000 | 0,864 |
| выдача | 300 | 225 | 1278 | 1270 | 1265 | 1309 | 1138 | 1382 | 569 | 2000 | 0,900 |
| готов | 310 | 235 | 1278 |  | 1267 | 1306 | 1152 | 1374 | 547 |  | 0,936 |
|  | 320 | 245 | 1278 |  | 1268 | 1304 | 1165 | 1316 | 533 |  | 0,978 |

В табл. 2.5.1 приняты следующие обозначения:

τ – время от конца разливки;

τн – время нагрева;

 – средняя по массе температура;

 – максимальная температура на поверхности слитка;

 – минимальная температура внутри слитка;

 – максимальная температура по оси слитка.

Таблица 2.5.2 – время выдержки слитков с жидкой сердцевиной в нагревательном колодце на байпасном газе для условий цеха Бл-2

|  |
| --- |
| 12 слитков массой 12,5т |
| Время посада от конца разливки,мин | Мхх-Мб=900кВт | Мхх-Мб=1000кВт | Мхх-Мб=1100кВт | Мхх-Мб=1200кВт |
| Время стрипперования слитков, мин |
| 30 | 45 | 60 | 75 | 30 | 45 | 60 | 75 | 30 | 45 | 60 | 75 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| 60 | 200 | 208 |  |  | 180 | 187 |  |  | 164 | 170 |  |  | 150 | 156 |  |  |
| 75 | 156 | 160 | 165 |  | 140 | 144 | 148 |  | 127 | 131 | 135 |  | 117 | 120 | 124 |  |
| 90 | 98 | 108 | 113 | 117 | 88 | 97 | 102 | 105 | 80 | 88 | 93 | 96 | 73 | 81 | 85 | 88 |
| 105 | 53 | 60 | 70 | 74 | 48 | 54 | 63 | 67 | 43 | 49 | 57 | 61 | 40 | 45 | 52 | 56 |
| 120 | 13 | 17 | 23 | 24 | 12 | 16 | 21 | 31 | 11 | 14 | 19 | 28 | 10 | 13 | 18 | 26 |
| 16 слитков массой 8,4т |
| Время посада от конца разливки,мин | Мхх-Мб=900кВт | Мхх-Мб=1000кВт | Мхх-Мб=1100кВт | Мхх-Мб=1200кВт |
| Время стрипперования слитков, мин |
| 30 | 45 | 60 | 75 | 30 | 45 | 60 | 75 | 30 | 45 | 60 | 75 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| 60 | 140 | 144 |  |  | 126 | 129 |  |  | 114 | 117 |  |  | 105 | 108 |  |  |
| 75 | 75 | 81 | 90 |  | 67 | 73 | 81 |  | 61 | 67 | 74 |  | 56 | 61 | 68 |  |
| 90 | 30 | 37 | 42 | 45 | 27 | 34 | 38 | 41 | 25 | 30 | 34 | 37 | 23 | 28 | 31 | 34 |

Мхх – мощность холостого хода ячейки;

Мб – тепловая мощность ячейки на байпасном газе ();

Vб – расход газа через байпас, м3/ч

Таблица 2.5.3 – тепловое состояние слитков, нагретых по предлагаемой технологии, при выдаче в прокат

Сталь – М3ПС, t0 = 1570 °C, время стрипперования – 30 мин.

|  |
| --- |
| 1700 ккал/м3, Мхх=1,25 МВт, Vхх=630 м3/ч, Мб=0,249 МВт, Vб=126 м3/ч |
| Время посада от конца разливки, мин | t°С посада по инструкции | Время,мин | Температуры при выдаче | Угар, %  | b, кгут/т |
| Выдержки на байпасном газе | Кристаллизации  | Готовности к прокатке (время нагрева) | Выдачи от конца разливки | Томления, °С |  |  |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 60 | 975 | 180 | 264 | 270 | 330 | 1250 | 1324 | 1304 | 1247 | 1442 | 1,29 | 0,92 |
| 75 | 940 | 140 | 178 | 180 | 255 | 1270 | 1295 | 1325 | 1155 | 1456 | 0,815 | 1,93 |
| 90 | 910 | 88 | 127 | 150 | 240 | 1280 | 1279 | 1308 | 1176 | 1381 | 1,718 | 2,75 |
| 105 | 880 | 48 | 99 | 120 | 225 | 1280 | 1273 | 1300 | 1168 | 1370 | 0,672 | 3,96 |
| 120 | 850 | 12 | 80 | 80 | 200 | 1285 | 1279 | 1292 | 1155 | 1469 | 0,586 | 4,95 |
| 135 | 840 | [[1]](#footnote-1)) | 60 | 85 | 220 | 1285 | 1248 | 1285 | 1150 | 1334 | 0,61 | 6,38 |
| 150 | 810 | [[2]](#footnote-2)) | 42 | 120 | 270 | 1285 | 1227 | 1276 | 1153 | 1246 | 0,726 | 9,82 |

Таблица 2.5.4 - тепловое состояние слитков, нагретых по временным технологическим инструкциям, при выдаче в прокат

Сталь – М3ПС, t0 = 1570°C, время стрипперования – 30 мин.

|  |
| --- |
| 1700 ккал/м3, Мхх=1,25 МВт, Vхх=630 м3/ч, Мб=0,249 МВт, Vб=126 м3/ч |
| Время посада от конца разливки, мин | t°С посада по инструкции | Время,мин | Температуры при выдаче | Угар,%  | b, кгут/т |
| Выдержки на байпасном газе | Кристаллизации  | Готовности к прокатке (время нагрева) | Выдачи от конца разливки | Томления, °С |  |  |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Новая инструкция |
| 60 инстр | 975 | 150 | 264 | 250 | 310 | 1250 | 1337 | 1307 | 1247 | 1497 | 1,252 | [[3]](#footnote-3)) |
| 60 готов | 975 | 150 | 264 | 270 | 330 | 1250 | 1324 | 1304 | 1247 | 1442 | 1,290 | 0,92 |
| 75 | 940 | 60 | 186 | 270 | 345 | 1280 | 1321 | 1317 | 1284 | 1365 | 1,325 | 2,71 |
| 90 | 880 | 30 | 146 | 150 | 240 | 1300 | 1344 | 1337 | 1285 | 1448 | 0,987 | 3,92 |
| Старая инструкция |
| 60 | 975 | 210 | 264 | 300 | 360 | 1250 | 1311 | 1298 | 1247 | 1391 | 1,361 | 1,02 |
| 75 инстр | 940 | 180 | 178 | 300 | 375 | 1280 | 1276 | 1299 | 1222 | 1333 | 1,145 | 3,94 |
| 75 готов | 940 | 180 | 178 | 240 | 315 | 1280 | 1267 | 1310 | 1156 | 1366 | 0,948 | 3,79 |
| 90 | 910 | 30 | 146 | 150 | 240 | 1300 | 1344 | 1337 | 1285 | 1448 | 0,987 | 3,92 |
| 105 | 880 | [[4]](#footnote-4)) | 118 | 120 | 225 | 1300 | 1339 | 1331 | 1278 | 1454 | 0,898 | 6,35 |

1.  [↑](#footnote-ref-1)
2.  [↑](#footnote-ref-2)
3. Процесс кристаллизации еще не завершился. [↑](#footnote-ref-3)
4.  [↑](#footnote-ref-4)