МІНІСТЕРСТВО НАУКИ ТА ОСВІТИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

КРИВОРІЗЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ОТЧЕТ ПО ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКЕ

НА ТЕМУ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ВИКОНАВ СТУДЕНТ ГРУПИ \_\_\_\_ \_ \_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ПІДПИС ПРІЗВИЩЕ, ІМ`Я, ТА ПО БАТЬКОВІ

КРИВИЙ РІГ 200\_ р.

## План

Ресурсо- и энергоемкость- сталеплавильных процессов 3

Выбор рационального режима нагрева слитков под прокатку 7

Нагрев слитков с повышенным теплосодержанием в нагревательных колодцах цеха бл-2 16

Совершенствование технологии нагрева слитков с жидкой сердцевиной 19

Проблемы разливки стали в слитки 33

Перечень использованных источников 35

##  Ресурсо - и энергоемкость- сталеплавильных процессов

Одной из важнейших проблем, стоящих в настоящее время перед металлургической отраслью – черной металлургией, является снижение удельных расходов исходных материалов и энергии на единицу произведенной продукции, то есть проблема усовершенствования и создания интенсивного развития энерго - и ресурсосберегающих технологий.

В настоящее время доля энергоресурсов в себестоимости продукции черной металлургии постоянно растет и в отдельных случаях составляет 25 – 30% [1], что почти вдвое превышает аналогичные показатели в странах ЕЭС.

Основным показателем расхода материалов в сталеплавильном производстве является удельный расход металлошихты (чугуна, лома и ферросплавов) на 1 т стали. Так, в 1998 г среднеотраслевой расход металлошихты по всем видам сталеплавильного производства был достаточно высоким и составил 1153,3 кг/т, а энергоемкость 26,06 гДж/т [2].

Следует отметить исключительно высокие удельные отходы материалов. Развитие энергосберегающих и ресурсосберегающих металлургических технологий помимо улучшения экономических и технических показателей работы агрегатов, будут также способствовать снижению экологической нагрузки на окружающую среду. В последнее время наиболее широкое развитие в сталеплавильном производстве получили следующие перспективные энергосберегающие технологии:

использование углесодержащих материалов, вводимых в конвертер, предварительный подогрев лома, повышения энтальпии чугуна, дожигание СО до СО2 в отходящих конвертерных газах непосредственно в конвертере, подогрев металла после выпуска в агрегатах печь-ковш или в промежуточных ковшах МНРС путем применения различных источников энергии (нагрев электродуговой, плазменный, топливо кислородный, химический), снижение расхода жидкого чугуна в кислородно-конверторных процессах с комбинированной продувкой;

использование химического тепла чугуна, выделяемого при продувке ванны кислородом, тепла отходящих при этом газов для нагрева лома, применение топливно-кислородных горелок для нагрева лома в дуговых электропечах;

создание литейно-прокатных модулей с использованием тепла отлитых слябов на МНРС в процессе совмещенной прокатки листовой продукции.

Анализ энергетической мощности и эффективности работы, металлургических процессов и агрегатов проводят обычно по тепловым балансам процессов. Основным показателем расхода энергии на единицу произведенной основной или вспомогательной продукции или используемого в технологическом процессе материала является энергоемкость продукции - затраты тепловой энергии на единицу продукции. Энергозатраты выражаются в величине тепловой энергии - ГДж/т (МДж/кг), либо в расходе условного топлива при его теплотворной способности, равной 29,4 МДж/кг (кг у. т. /т) [3].

Величина суммарных энергозатрат подразделяется на скрытые (прошлые) и прямые (настоящие), расходуемые в ходе проведения данного процесса.

В таблице 1-1 приведены значения энергоемкости основных материалов металлургического производства, а в табл.1-2 - удельных расходов металлошихты и энергоемкости по видам сталеплавильных процессов [1].

Расходные коэффициенты на производство проката в 1996 г составили кг/т: Россия - 1202, США - 1152, Япония - 1096, страны ЕЭС - 1141, Украина - 1230 [1].

Заметный рост удельных и энергетических затрат в последние годы совпал с падением уровня производства металла по всем переделам. Это в свою очередь, привело, наряду с остановкой и выводом из эксплуатации ряда агрегатов в отрасли, к потере производительности на большинстве действующих агрегатов, росту простоев и, соответственно, увеличению тепловых потерь и, как следствие, снижению технико-экономических показателей (прежде всего энергетических) работы металлургических агрегатов.

При непрерывных процессах – доменном, агломерационном и, отчасти, прокатном – сокращение потерь энергии практически совпадает с потерей производительности этих процессов, прежде всего из-за непрерывности, так как они могут быть переведены на "тихий" ход в отличие от дискретных процессов – сталеплавильных и коксохимического, при которых резко увеличиваются тепловые потери при увеличении продолжительности остановок между циклами.

Таблица 1-1 Энергоемкость основных материалов сталеплавильного производства [3].

|  |  |
| --- | --- |
| Материал | Энергоемкость |
| МДж/ед.  | кг у. т. . /ед |
| 1 | 2 | 3 |
| Чугун, кг | 23,8 | 0,811 |
| Металлолом, кг | 0,2 | 0,007 |
| Металлизованные окатыши, кг | 17,0 | 0,579 |
| Известь, кг | 5,4 | 0,184 |
| Кислород, м3 | 5,8 | 0, 20 |
| Азот, м3 | 2,5 | 0,085 |
| Аргон, м3 | 35,6 | 1,21 |
| Природный газ, м3 | 37,6 | 1,28 |
| 1 | 2 | 3 |
| Мазут, кг | 41,0 | 1,40 |
| Электроэнергия, кВт\*ч | 11,25 | 0,0383 |
| Ферромарганец-75 (ФМн-75)  | 55,02 | 1,875 |
| Ферросилиций-45 (ФС-45)  | 7,34 | 2,40 |

Значение энергоемкости стали, выплавленной различными процессами, по сравнению с общеотраслевыми данными (табл.1-1) также существенно различаются, что связано прежде всего с расходом чугуна – наиболее энергоемкого материала.

Таблица 1-2 Удельные расходы металлошихты и энергоемкости стали [3].

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вариант сталеплавильного процесса | Расход металлошихты, кг/т стали | Энергоем-кость стали |
| Всего | В том числе:  |
| чугун | лом сталь-ной | лом чугун-ный | Раскислите-ли и легирующие | шихтовая заготовка | кг у. т. /т | ГДж/т\* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Общеотраслевая | 1153,3 | 730,4 | 361,2 | 37,2 | 15,1 | 9,4 | 889,4 | 26,06 |
| Скрап-процесс | 1171,1 | 214,0 | 840,0 | 93,3 | 21,1 | 2,1 | 676,6 | 19,82 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Скрап-руд-ный процесс | 1141,8 | 681,9 | 389,0 | 21,6 | 32,5 | 32,5 | 911,0 | 26,69 |
| Электросталеплавильный | 1178,9 | 194,3 | 769,3 | 150,0 | 28,7 | 28,7 | 619,9 | 18,16 |
| Конвертер-ный | 1147,9 | 892,7 | 242,3 | --- | 2,3 | 2,3 | 947,5 | 27,76 |
| Выплавка в двух-ванных агрега-тах | 1175,5 | 859,4 | 275,8 | 14,2 | 11,9 | 11,9 | 933,4 | 27,34 |
| \* 1 кг у. т. = 29,4 МДж.  |

Наиболее энергоемкими являются сталеплавильные процессы с высоким расходом чугуна в металлошихте – кислородно-конвертерный, в двухванных агрегатах и скрап-рудный мартеновский процесс. Стали, выплавленные в мартеновской печи скрап процессом или в дуговой электропечи, являются менее энергоемкими.

Значение энергозатрат на производство стали при выплавке различными процессами можно заметно снизить при замене чугуна на лом с введением менее энергоемких материалов природного происхождения в качестве топлива - природного газа, мазута и прежде всего, угля.

## Выбор рационального режима нагрева слитков под прокатку

Рассмотрены некоторые аспекты выбора рациональных режимов нагрева слитков под прокатку в нагревательных колодцах обжимных цехов. Показаны особенности нагрева слитков из легированных и высоколегированных сталей, связанные с кинетикой их окисления и свойствами образующейся окалины. Представлены мероприятия и тепловые режимы, позволяющие снизить неравномерность температурного поля слитков и уменьшить потери металла с окалиной. Рациональный выбор режима нагрева металла перед обработкой давлением в значительной степени предопределяет качество и себестоимость получаемого проката. Основными показателями теплового состояния слитка перед прокаткой являются температура поверхности, перепад температур между поверхностью и центром и среднемассовая температура. Необходимые значения этих величин могут быть достигнуты путем реализации различных тепловых режимов нагревательных колодцев, выбор которых зависит от конкретной производственной и экономической ситуаций. Основными критериями, определяющими способ нагрева металла в нагревательном устройстве, является либо минимизация одного из параметров (расход топлива, потери металла с угаром, расход электроэнергии при прокатке), либо достижение максимальной производительности.

Рассмотрим основные положения, которыми необходимо руководствоваться при разработке технологических инструкций по нагреву слитков в нагревательных колодцах прокатных цехов металлургических заводов, некоторые из которых недостаточно освещены в классической литературе по технологии нагрева.

Конечную температуру поверхности слитков обычно устанавливают в соответствии с положением критических точек для данной марки стали по диаграмме состояния железо-углерод с учетом технологических ограничений и она, как правило, на 100-150°С ниже температуры солидуса. Это связано с опасностью перегрева и пережога металла с одной стороны и получения заданной температуры в конце прокатки, которая в конечном итоге определяет энергозатраты на этот процесс. Однако при нагреве некоторых легированных марок стали должны быть учтены особенности процесса их окисления и свойства образующейся окалины. Так, кинетика окалинообразования кремнистых сталей подчиняется линейному или близкому к линейному (т.е. пара линейному) законам, что свидетельствует о кинетическом, а не диффузионном контроле этого процесса, связанном прежде всего со свойствами образующейся окалины [1, 2]. Согласно нашим данным в окалине на поверхности слитков из сталей 55С2 и 60С2 содержится 3,5-5,2% SiO2 [1], что приводит к образованию фаялита 2FeO\* SiO2 и фаялито-вюститных эвтектик, имеющих низкую температуру плавления. Аналогичные данные получены в более поздних исследованиях, проведенных в Японии [3]. Оплавление окалины и утрата ею защитных свойств может происходить и при нагреве обычных углеродистых сталей в результате местного перегрева ребер слитков, что является крайне нежелательным явлением.

В настоящее время на некоторых металлургических заводах наметилась тенденция к снижению температуры нагрева стали. С одной стороны это приводит к существенному увеличению энергозатрат при прокатке, а с другой - позволяет снизить расход топлива и, что особенно важно, уменьшить потери металла с угаром. Так, согласно данным, приведенным в работе [4], снижение температуры конца прокатки с 1010°С до 900°С приводит к уменьшению угара в 2 раза, а до 800°С - в 4 раза. Очевидно, что целесообразность применения данного мероприятия зависит от соотношения между ценами топлива, стали, электроэнергии и энергосиловых параметров установленного прокатного оборудования, ритмичности работы стана (отсутствие "пересидок" металла, длительных простоев и т.д.) и требует дополнительного изучения для конкретных условий.

Не менее важным является обеспечение заданной равномерности нагрева как по сечению слитка, так и по его высоте. Прокатка стали с высокой неравномерностью температур может привести, к различного рода искажениям формы раската и появлению поверхностных дефектов: серповидности, бочкообразности, изгибам, скручиванию, нарушениям сплошности, рванинам, трещинам, анизотропности свойств стали [5]. И если заданный перепад температуры по сечению слитка (100-300°С/м) может быть достигнут томлением металла в печи (зачастую путем повышенного угара и перерасхода топлива), то неравномерность по высоте слитка определяется прежде всего особенностями конструкции нагревательного устройства и устранение которого обычно сопряжено со значительными трудностями. Так, перепад температур по высоте рабочего пространства рекуперативных колодцев с отоплением из центра подины (ОЦП) составляет 80-150°С, что приводит к недостаточному прогреву донной части слитков, отлитых в уширенные книзу изложницы, при удовлетворительном качестве нагрева головной части. Изменения конструкции горелочного устройства не позволяют полностью устранить этот недостаток. В связи с этим была предложена измененная схема посадки слитков в нагревательный колодец, предусматривающая установку их головной частью вниз [2]. При такой схеме посадки неравномерность температурного поля по высоте ячейки частично компенсируется различием в толщине прогреваемого слоя головной и донной частей слитка. Промышленные испытания данной технологии показали существенное снижение энергозатрат на прокатку и ее эффективность. Аналогичные результаты получены и в работе [5].

В нагревательных колодцах с верхней боковой горелкой (ОВГ) уменьшение неравномерности температурного поля по длине и высоте рабочего пространства может быть достигнуто усовершенствованием горелочного устройства, применением импульсного отопления, рециркуляцией продуктов сгорания и т.д.

Процесс окисления металла при нагреве оказывает существенное влияние на стоимость проката и его качество. Потери металла от первичного (в нагревательном устройстве) и вторичного-(в процессе прокатки) окислений составляет 5-6% от его первоначальной массы. Кроме этого, образование окалины может привести к браку готового изделия вследствие закатывания оксидной пленки, вскрытия подкорковых пузырей и т.д.

Основными факторами, влияющими на толщину окалины, являются температура металла, продолжительность нагрева, химический состав печной атмосферы и стали. Константа окалинообразования зависит от температуры по экспоненциальному закону (уравнение Аррениуса). Температура, при которой начинается заметное окисление, для углеродистых и низколегированных сталей составляет 750-800°С, для высоколегированных сталей и сплавов - 950-1100°С. При этом необходимо отметить, что некоторые стали, не окисляющиеся при температурах до 1000°С, при более высоких подвержены "катастрофическому окислению" в связи с разрушением или оплавлением окалины и, как следствие, утратой ею защитных свойств. Это явление характерно для сталей с высоким содержанием кремния, вольфрама, молибдена.

Кинетический закон окисления характеризует механизм процесса: при параболическом законе определяющей является скорость диффузии и окалина обладает защитными свойствами. При линейном и пара линейном (смешанном) законах лимитирующими, являются реакции первого порядка (доставка кислорода к поверхности или внедрение ионов железа в кристаллическую решетку оксида), скорость которых не зависит от толщины окалины. Очевидно, что окисление металла в атмосфере с низким парциальным давлением кислорода (например, продукты неполного горения топлива, смеси СО-СО2 и т.д.) или в случае легированных и высоколегированных сталей должно подчинятся линейному или пара линейному кинетическим законам.

В нагревательных печах прокатных цехов нагрев осуществляется в продуктах полного горения топлива СО > 1 и поэтому в состав печной атмосферы наряду с С02, R2О и N2 обязательно входит и свободный кислород. Существенное изменение скорости окисления происходит при переходе от неполного сжигания топлива СО < 1 к полному СО > 1, сопровождающееся скачкообразным изменением парциального давления кислорода. При а < 0,9 снижение расхода воздуха приводит к уменьшению скорости окисления и при СО < 0,5 нагрев становится безокислительным. При увеличении коэффициента расхода воздуха более 1,1 скорость окалинообразования возрастает, а при достижении концентрации кислорода более 12-14% - достигает своего максимума и в дальнейшем практически не изменяется. В связи с отсутствием постоянного контроля состава продуктов сгорания и колебаниями калорийности и давления топлива процесс его сжигания практически не контролируется, что в одних случаях приводит к появлению в дымовых газах СО, в других - к значительному избытку кислорода. Это в конечном итоге является причиной снижения тепловой мощности печи, перерасхода топлива и повышенного угара металла. Особенно это характерно для нагревательных колодцев с верхней боковой горелкой, в которых содержание кислорода в печной атмосфере в период томления может достигать 12-14%, что связано с особенностями конструкции топливо сжигающего устройства. В настоящее время проводятся исследования, направленные на совершенствование сжигания топлива на этих печах и снижение угара металла при нагреве.

Все описанные выше факторы и определяют выбор рационального режима нагрева металла. При этом очевидно, что невозможно создать тепловой режим, позволяющий оптимизировать все технологические и экономические параметры одновременно.

Технология нагрева слитков холодного и теплого посадов из высокоуглеродистых и легированных сталей предусматривает три основных периода: медленный нагрев с учетом ограничений по термическим напряжениям, подъем температуры до контрольной при постоянной тепловой мощности печи и томление при этой температуре. Эта технология хорошо известна и ее реализация не вызывает обычно каких-либо трудностей.

Базовая технология нагрева слитков горячего посада также хорошо изучена и включает период подъема температуры печи до контрольной при постоянной тепловой мощности агрегата и выдержки при этой температуре. Производительность нагревательных колодцев может быть повышена с одновременным снижением неравномерности нагрева путем замены известного двухступенчатого режима форсированным трехступенчатым, включающем нагрев при постоянной тепловой мощности до температуры на 30-40°С более высокой, чем контрольная по обычной технологии, с последующим томлением сначала при постоянной температуре печи, а затем, при постоянной температуре поверхности. Промышленные испытания данного режима в условиях ОАО "Енакиевский металлургический завод" показали его эффективность, заключающуюся в повышении среднемассовой температуры слитков, снижении угара металла и энергозатрат на прокатку.

Особый интерес вызывает технология нагрева слитков с повышенным теплосодержанием, которая несмотря на некоторые недостатки позволяет существенно (на 40-50%) повысить производительность нагревательных колодцев, на 50-70% уменьшить расход топлива, на 3-5 кг/т потери стали с угаром [7, 8]. Такое повышение технико-экономических показателей достигается использованием теплоты, аккумулированной внутри не полностью закристаллизовавшихся слитков, для достижения требуемой для прокатки температуры. Сущность технологии тепловой обработки слитков с жидкой сердцевиной, применяемой на комбинате ОАО "Запорожсталь" и прошедшей успешную апробацию на металлургических комбинатах КГГМК "Криворожсталь" и ОАО "Мариупольский им. Ильича" [7], заключается в выдержке слитков в ячейке при отключенном топливе для завершения процесса кристаллизации и нагреве при постоянной тепловой мощности. Особенностью теплового состояния слитка перед его прокаткой является более высокая температура оси по сравнению с температурой поверхности.

Однако, несмотря на указанные выше преимущества, отработка и реализация этой технологии требует длительных по времени и дорогостоящих экспериментов, сопровождающихся дополнительными расходами энергоресурсов и возможным выходом брака, высококвалифицированного персонала, высокой организации и согласованной работы различных подразделений, точной и надежной систем КИП и автоматики. Решение данной задачи может быть в значительной степени упрощено при использовании компьютеризированной системы управления нагревом, аналогичной разработанной и внедренной НПО "Доникс" на комбинате ОАО "Запорожсталь". Особому анализу должно быть подвергнуто влияние нагрева слитков с жидкой сердцевиной на качество проката, так как уменьшение скорости кристаллизации неизбежно приведет к повышенной ликвации примесей, особенно серы, в центральную часть слитка, а следовательно, и к снижению механических свойств, расслою листа и т.д.

В связи с широким применением электронно-вычислительной техники и развитием теории оптимального управления технологическими процессами появилась возможность решения задач проектирования нагревательных устройств по заданным критериям оптимальности. Математическим аппаратом может служить теория управления системами с распределенными параметрами, разработанная А.Г. Бутковским. В настоящее время известен широкий круг исследований по решению частных задач, связанных с нагревом металла в камерных печах (наискорейший нагрев, по минимуму расхода топлива, по минимуму окалинообразования и т.д.) [9 - 12].

Наибольший интерес представляют с нашей точки зрения способы тепловой обработки слитков с минимальным окислением поверхности, так как, согласно [8], тепловые режимы по минимуму расхода топлива практически не дают выигрыша по сравнению с обычным комбинированным, рассмотренным ранее. Актуальность разработки и реализации таких режимов связана с тем, что зачастую суммарные потери от угара металла значительно превышают затраты на топливо при нагреве и электроэнергию при прокатке, что в конечном итоге зависит от соотношения между ценами стали, топлива и электроэнергии. При этом необходимо учитывать и опасность появления брака при прокатке вследствие вскрытия подкорковых и сотовых пузырей при обычном нагреве полуспокойных и кипящих марок стали.

Поставленная задача решалась различными методами: в работах Э.М. Гольдфарба [10] и С.А. Малого [11] использован принцип максимума Л.С. Понтрягина; С.И. Гинкула, Е.И. Казанцева, Г.П. Выпова [12] - симплекс-метод; Ю.И. Розенгарта с соавторами [9] - методы вариационного исчисления. Основными недостатками полученных решений является сложность их реализации на практике так как они либо были получены для тел простейшей формы с большими упрощениями, либо в качестве управляющей функции выбиралась температура поверхности металла.

В работах [2, 13] нами разработан режим нагрева слитков в нагревательных колодцах с минимумом окисления металла, который может быть использован в качестве составной части компьютеризированной системы управления. В соответствии с полученными результатами нагрев должен осуществляться в несколько этапов:

нагрев при достаточно высоком значении температуры среды. Этот этап завершается при достижении поверхностью температуры начала интенсивного окалинообразования;

выдержка при постоянной температуре поверхности слитка. Температурные и временные параметры зависят от размеров слитка и характера изменения константы окалинообразования. Целью этой выдержки является уменьшение перепада температуры по сечению слитка для осуществления следующего этапа;

быстрый нагрев поверхности слитка с одновременным обеспечением заданного качества. Использование данного режима приводит к некоторому снижению производительности отделения нагревательных колодцев и может быть рекомендован для нагрева слитков из легированных и высоколегированных марок стали холодного, теплого или горячего посада при наличии резерва производительности в отделении нагревательных устройств.

Вынужденное пересиживание слитков в нагревательных колодцах, связанное с неритмичностью работы прокатного стана, также является причиной увеличения удельного расхода топлива и интенсификации окалинообразования. Снизить негативное влияние простоев при существующей схеме работы отделения нагревательных устройств возможно путем перевода ячеек в режим высокотемпературного термоса, что в настоящее время осуществляется на КГГМК "Криворожсталь" [14] и ОАО "Енакиевский металлургический завод". Сущность технологии заключается в выдержке слитков после их посада при постоянной температуре печи, равной 950-1000°С, в течении времени прогнозируемого простоя. Выбор значения этой температуры зависит от тепловой мощности ячейки и длительности простоя. Применение этой технологии позволяет уменьшить угар металла на 20-25%, расход топлива на 8-10%, а также брак готового проката.

## Нагрев слитков с повышенным теплосодержанием в нагревательных колодцах цеха бл-2

Нагрев 8,5-тонным слитков.

При температуре посада слитков от 900 до 930°С устанавливается продолжительность первого периода нагрева с ограниченной подачей топлива согласно таблицы 1.

Таблица.1.

|  |  |
| --- | --- |
| Температура поверхности слитков при посаде, °С | Продолжительность нагрева с ограниченной подачей топлива (1ООО-15ОО нм3/час), мин.  |
| 900 – 910915 - 930 | 2030 |

При температуре посада слитков от 935 до 960°С устанавливается время выдержки металла в нагревательном колодце без подачи топлива согласно таблицы 2.

Таблица 2.

|  |  |
| --- | --- |
| Температура поверхности слитков при посаде, °С | Продолжительность выдержки без подачи топлива, мин.  |
| 935 – 940945 - 960 | 3045 |

Выдача слитков раньше установленного графика разрешается не более 15 мин.

Нагрев 12,5-тонных слитков.

При температуре посада слитков от 9ОО до 930°С устанавливается продолжительность первого периода нагрева с ограниченной подачей топлива согласно таблицы 3.

Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Температураслитков, °С | Продолжительность нагрева,час. мин.  | Температура°С |
| с ограниченной подачей топлива.1OOO-l5ООнм3 /час | общая |
| 900-915920-925930 | 0-300-450-45 | по ТИпо ТИ5-00 | По ТИПо ТИПо ТИ |

При температуре посада слитков от 900 до 930°С и выше устанавливается время выдержки металла в нагревательном колодце без подачи топлива согласно таблицы 4.

Таблицы 4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Температура поверхностипосаде, °С | Продолжительность выдержки без подачи топлива час. мин.  | Темпера-туратомле-ния. °С | Продолжительность нагрева, час. мин.  |
| после включения газа | общая |
| 935 | О-45 | 1300 | 4-15 | 5-00 |
| 940-945 | 1-00 | 128O | 3-ЗО | 4-ЗО |
| 950-955 | 1-ЗО | 126О-128О | 2-ЗО | 4-ОО |
| 960-965 | 2-00 | 126О-128О | 2-00 | 4-ОО |
| 97О-985 | 2-30 | 1260-1280 | 1-4О | 4-10 |
| 99О и выше | 2-45 | 1260-1280 | 1-45 | 4-30 |

Выдача слитков раньше чем через 4 часа 50 мин. после конца разливки запрещается.

## Совершенствование технологии нагрева слитков с жидкой сердцевиной

Стрипперование слитков производится 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 таблице 1.

Из таблицы 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 безопасной линии. 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 ×

Мхх - мощность холостого хода ячейки, кВт;

Мб - мощность подаваемая по безопасной линии, кВт;

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

Vб - расход газа по безопасной линии, м3/с;

 - теплота сгорания газа - 71 1 8 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 таблице 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, 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 12 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 8,4 т 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 таблице 3, а до новой и старой временным инструкциям комбината - в таблице 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° 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 таблицы 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 (1,5 часа) 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 таблице 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, таблица 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 (таблицы 3, 4).

Таблица 1

Сравнительные данные экспериментальных и расчетных исследований нагрева садки из 12 слитков стали МЗПС массой 12,5 т (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 прибо-ру |
| расчет | эксперимент |  |  |  |  |
| 75 | 0 | 800 | 790 | 1302 | 895 | 621 | 1514 | 144 | - | 0,148 |
| 90 | 15 | 987 | 990 | 1318 | 1113 | 747 | 1514 | 144 | - | О,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 таблице 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.

Диаграммы расходов газа по обеим технологиям нагрева стальных слитков марки 3ТРпс в нагревательных колодцах.

Диаграмма расхода газа на ячейке №34 по ускоренной технологии (жидкая сердцевина).

Диаграмма расхода газа на ячейке №34 по обычной технологии (холодный всад)

Ниже приведены температурные режимы по нагреву стали марки 3ТРпс в нагревательных колодцах цеха Бл-2

Таблица определения температуры поверхности и времени нагрева 8,5т слитков в нагревательных колодцах цеха Бл-2.

|  |  |
| --- | --- |
| Категория всада.  | 3ТРпс |
| До 1300 °С |
| 1300 °С /±10°С/ |
| Время охлажде-ния слитков час-мин.  | Температура по-верхнос-ти слит-ков °С  | Продолжительность нагрева, час-мин.  |
|
| 14 слитков | 16 слитков |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Горячий  | 1,45 | 960 | 4,45 | 5,25 |
| 1,50 | 950 | 4,50 | 5,30 |
| 2,00 | 930 | 5,00 | 5,40 |
| 2,05 | 920 | 5,10 | 5,50 |
| 2,10 | 910 | 5,15 | 5,55 |
| 2,15 | 900 | 5, 20 | 6,00 |
| Теплый | 2,25 | 890 | 5,25 | 6,05 |
| 2,30 | 880 | 5,30 | 6,10 |
| 2,40 | 870 | 5,40 | 6, 20 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Теплый.  | 2,50 | 860 | 5,45 | 6,25 |
| 3,00 | 850 | 5,50 | 6,30 |
| 3,10 | 840 | 5,55 | 6,35 |
| 3, 20 | 830 | 6,00 | 6,40 |
| 3,30 | 820 | 6,05 | 6,45 |
| 3,40 | 810 | 6,15 | 6,55 |
| 3,50 | 800 | 6, 20 | 7,00 |
| 4,00 | 790 | 6,25 | 7,05 |
| 4,10 | 780 | 6,30 | 7,10 |
| 4,40 | 750 | 6,50 | 7,30 |
| 5,10 | 720 | 7,05 | 7,45 |
| 5,40 | 690 | 7, 20 | 8,00 |
| 6,10 | 660 | 7,40 | 8, 20 |
| 6,40 | 630 | 7,55 | 8,35 |
| 7,00 | 610 | 8,05 | 8,45 |
| 7,10 | 600 | 8,10 | 8,50 |
| 7,30 | 580 | 8,25 | 9,05 |
| 8,00 | 550 | 8,40 | 9, 20 |
| 8,35 | 500 | 9,10 | 9,50 |
| 9,15 | 450 | 9,30 | 10,10 |
| 9,55 | 400 | 9,50 | 10,30 |
| 10,35 | 350 | 10,10 | 10,50 |
| 11, 20 | 300 | 10,30 | 11,10 |
| Холодный.  | Более 11, 20 | Менее 300 | 13,30 | 14,10 |

Таблица определения температуры поверхности и времени нагрева 12,5т слитков в нагревательных колодцах цеха Бл-2.

|  |  |
| --- | --- |
| Категория всада.  | 3ТРпс |
| До 1300 °С |
| 1300 °С /±10°С/ |
| Время охлажде-ния слитков час-мин.  | Температура по-верхнос-ти слит-ков °С  | Продолжительность нагрева, час-мин.  |
|
| 8 слитков | 12 слитков |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Горячий  | 2,00 | 1000 | 3,55 | 5,25 |
| 2,10 | 975 | 3,55 | 5,25 |
| 2, 20 | 950 | 3,55 | 5,25 |
| 2,30 | 940 | 4,05 | 5,35 |
| 2,35 | 930 | 4,10 | 5,40 |
| 2,45 | 920 | 4, 20 | 5,50 |
| 2,50 | 910 | 4,30 | 6,00 |
| 3,00 | 900 | 4,35 | 6,05 |
| Теплый | 3,05 | 890 | 4,40 | 6,10 |
| 3,10 | 880 | 4,45 | 6,15 |
| 3, 20 | 870 | 4,50 | 6, 20 |
| 3,30 | 860 | 5,00 | 6,30 |
| 3,40 | 850 | 5,10 | 6,40 |
| 3,50 | 840 | 5, 20 | 6,50 |
| 4,00 | 830 | 5,30 | 7,00 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Теплый.  | 4,10 | 820 | 5,40 | 7,10 |
| 4, 20 | 810 | 5,50 | 7,15 |
| 4,30 | 800 | 5,55 | 7,25 |
| 4,40 | 790 | 6,00 | 7,30 |
| 4,50 | 780 | 6,05 | 7,40 |
| 5,00 | 770 | 6,10 | 7,45 |
| 5,10 | 760 | 6,15 | 7,55 |
| 5, 20 | 750 | 6,25 | 8,05 |
| 5,40 | 730 | 6,40 | 8,15 |
| 6,00 | 710 | 6,50 | 8,30 |
| 6,30 | 680 | 7,05 | 8,50 |
| 7,00 | 650 | 7,25 | 9,05 |
| 7,35 | 620 | 7,35 | 9, 20 |
| 8,50 | 580 | 7,55 | 9,45 |
| 10,10 | 540 | 8,15 | 10,05 |
| 11, 20 | 500 | 8,30 | 10,35 |
| 12,50 | 450 | 9,00 | 11,25 |
| 14, 20 | 400 | 9,25 | 11,45 |
| 15,35 | 350 | 9,40 | 12,05 |
| 17,00 | 300 | 10,00 | 12,25 |
| Холодный.  | 17,00 | Менее 300 | 11, 20 | 15,00 |

Количество стали переданной и прокатанной цехом Бл-2 по ускоренной технологии и по обычной технологии в 2003 году

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| По месяцам | Т(<300) °С | Т(300-499) °С | Т(500-799) °С |
| Тонн  | % | Тонн | % | Тонн  | % |
| Январь | 4796 | 1,5 | 564 | 0,2 | 1376 | 0,4 |
| Февраль | 2236 | 0,8 |  |  | 1500 | 0,6 |
| Март | 1340 | 0,4 | 720 | 0,2 | 3336 | 1,0 |
| Апрель | 2324 | 0,7 | 392 | 0,1 | 1836 | 0,6 |
| Май | 16480 | 5,8 | 676 | 0,2 | 2096 | 0,7 |
| Июнь | 23336 | 6,8 | 552 | 0,2 | 5328 | 1,5 |
| Июль | 4840 | 1,4 | 12 | 0,0 | 1852 | 0,5 |
| Август | 6936 | 2,1 | 432 | 0,1 | 1400 | 0,4 |
| Сентябрь | 2596 | 1,0 | 132 | 0,1 | 688 | 0,3 |
| Октябрь | 4068 | 1,2 | 336 | 0,1 | 2732 | 0,8 |
| Ноябрь  | 2252 | 0,7 | 132 | 0,0 | 2252 | 0,7 |
| Декабрь | 4408 | 1,2 | 288 | 0,1 | 1392 | 0,4 |
| Итого:  | 75612 | 2,0 | 4236 | 0,1 | 25788 | 0,7 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| По месяцам | Т(800-819) °С | Т(820-839) °С | Т(840-859) °С |
| Тонн  | % | Тонн | % | Тонн  | % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Январь | 1112 | 0,3 | 3440 | 1,1 | 16984 | 5,3 |
| Февраль | 960 | 0,4 | 1160 | 0,4 | 11888 | 4,5 |
| Март | 3144 | 0,9 | 4396 | 1,3 | 12760 | 3,7 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Апрель | 796 | 0,2 | 41700 | 50,5 | 16132 | 5,0 |
| Май | 1516 | 0,5 | 3084 | 1,1 | 9864 | 3,5 |
| Июнь | 2340 | 0,7 | 4256 | 1,2 | 17904 | 5,2 |
| Июль | 1744 | 0,5 | 3324 | 1,0 | 13052 | 3,7 |
| Август | 608 | 0,2 | 1936 | 0,6 | 9460 | 2,8 |
| Сентябрь | 724 | 0,3 | 2224 | 0,8 | 4816 | 1,8 |
| Октябрь | 1332 | 0,4 | 1936 | 0,6 | 7660 | 2,3 |
| Ноябрь  | 1796 | 0,6 | 3592 | 1,2 | 5936 | 1,9 |
| Декабрь | 780 | 0,2 | 2008 | 0,6 | 9496 | 2,7 |
| Итого:  | 16852 | 0,4 | 33056 | 0,9 | 135952 | 3,6 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| По месяцам | Т(860-879) °С | Т(880-899) °С | Т(900-919) °С |
| Тонн  | % | Тонн | % | Тонн  | % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Январь | 44952 | 13,9 | 101244 | 31,4 | 21048 | 6,5 |
| Февраль | 39580 | 14,9 | 111068 | 41,7 | 7864 | 3,0 |
| Март | 58268 | 17,1 | 135120 | 39,7 | 16016 | 4,7 |
| Апрель | 45396 | 14,0 | 75328 | 23,2 | 28372 | 8,8 |
| Май | 31764 | 11,2 | 69488 | 24,4 | 23100 | 8,1 |
| Июнь | 50340 | 14,6 | 102284 | 29,7 | 16932 | 4,9 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Июль | 43128 | 12,4 | 93684 | 26,8 | 25004 | 7,2 |
| Август | 30160 | 9,0 | 81004 | 24,3 | 25384 | 7,6 |
| Сентябрь | 19736 | 7,5 | 47300 | 18,0 | 20740 | 7,9 |
| Октябрь | 24308 | 7,4 | 74144 | 22,7 | 25156 | 7,7 |
| Ноябрь  | 29840 | 9,7 | 84232 | 27,4 | 32208 | 10,5 |
| Декабрь | 39976 | 11,3 | 93984 | 26,6 | 31916 | 9,0 |
| Итого:  | 457448 | 12,0 | 1068880 | 28,0 | 273740 | 7,2 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| По месяцам | Т(920-939) °С | Т(940-959) °С | Т(960-979) °С |
| Тонн  | % | Тонн | % | Тонн  | % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Январь | 49932 | 15,5 | 77232 | 23,9 | 240 | 0,1 |
| Февраль | 30604 | 11,5 | 59584 | 22,4 |  |  |
| Март | 38092 | 11,2 | 67344 | 19,8 |  |  |
| Апрель | 70212 | 21,7 | 81320 | 25,1 | 420 | 0,1 |
| Май | 45696 | 16,1 | 80252 | 28,2 | 528 | 0,2 |
| Июнь | 45204 | 13,1 | 74992 | 21,8 | 660 | 0,2 |
| Июль | 63180 | 18,1 | 98604 | 28,3 | 588 | 0,2 |
| Август | 64652 | 19,4 | 110796 | 33,2 | 984 | 0,3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Сентябрь | 68020 | 25,9 | 95232 | 36,3 | 408 | 0,2 |
| Октябрь | 115332 | 35,3 | 69516 | 21,3 |  |  |
| Ноябрь  | 94540 | 30,8 | 50372 | 16,4 |  |  |
| Декабрь | 101152 | 28,6 | 67744 | 19,2 | 24 | 0,0 |
| Итого:  | 786616 | 20,6 | 932988 | 24,5 | 3852 | 0,1 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| По месяцам | Т(>900) °С | Итого  |
| Тонн  | % |
| Январь | 148452 | 46.0 | 322920 |
| Февраль | 98052 | 36.8 | 266444 |
| Март | 121452 | 35.7 | 340536 |
| Апрель | 180324 | 55.6 | 324228 |
| Май | 149576 | 52.6 | 284544 |
| Июнь | 137788 | 40.0 | 344128 |
| Июль | 187376 | 53.7 | 349012 |
| Август | 201816 | 60.5 | 333752 |
| Сентябрь | 184400 | 70.2 | 262616 |
| Октябрь | 210004 | 64.3 | 326520 |
| Ноябрь | 177120 | 57.7 | 307152 |
| Декабрь | 200836 | 56.9 | 353168 |
| Итого:  | 1997196 | 52.4 | 3815020 |

## Проблемы разливки стали в слитки

Качество стального слитка зависит от трех основных факторов: распределения циркуляционных потоков жидкой стали внутри отливаемого слитка, условий усадки стали в изложнице и величины напряжений, возникающих в корочке слитка.

При разливке сверху зона циркуляции стали перемещается последовательно снизу вверх, а максимальное ферростатическое давление воспринимается уже вполне затвердевшей, прочной корочкой слитка. Нижняя часть слитка в этом случае кристаллизуется в условиях относительно спокойного состояния стали, т.е. с большой скоростью, и тем самым способствует более быстрому образованию зазора в нижней части слитка и устранению торможения усадки стали по его высоте. Таким образом, разливка стали сверху обеспечивает более благоприятные условия для затвердевания корочки слитка и при равных размерах слитков позволяет разливать сталь с большей скоростью, чем сифоном. При сифонной разливке вынужденные потоки жидкой стали, подмывая корочку главным образом в нижней половине слитка, снижают как скорость кристаллизации в этих местах, так и допускаемую линейную скорость разливки.

Наиболее существенной особенностью разливки стали непосредственно из ковша является то, что в момент встречи струи с изложницей происходит сильный удар с последующей приваркой стали к поддону и разбрызгиванием жидкого металла по стенкам изложницы.

Указанные особенности этого способа разливки вызывают следующие дефекты на стальных слитках: продольные и поперечные трещины, плены и заплески на поверхности слитка и подкорковые пузыри в донной части слитка.

Появление трещин на слитках вызвано в основном условиями распространения струи в изложнице и приваркой металла к поддону в нижней части изложницы. Последнее обстоятельство создает торможение усадки слитка в изложнице и вызывает образование в первых затвердевающих слоях напряжений и деформаций, которые превосходят предел прочности и пластичности стали при высоких температурах.

Схема расположения трещин на слитках при разливке представлена на рис.1. Они расположены преимущественно параллельными, поперечными полосами в под прибыльной части слитка, а иногда и в средней части слитка, т.е. в районе воздействия расширенного критического сечения затопленной струи.

Пораженность слитков пленами, заплесками и подкорковыми пузырями зависит от характера истечения струи из сталеразливочного ковша, смазки изложниц, скорости и температуры разливки и прочих факторов.

Для устранения указанных дефектов при разработке технологии разливки стали необходимо учитывать следующие факторы:

1) характер истечения металла из ковша и поступление его в изложницу;

2) усадку стали в изложнице;

3) причины приварки слитка к поддону;

4) условия возникновения брызг и заплесков на поверхности слитка;

5) причины появления подкорковых пузырей в поверхностных слоях слитка.

**Рис.1**. Топография расположения трещин в слитках массой 15 т, отлитых сверху (а) и сифоном (б)

## Перечень использованных источников

1. Исаев В.А. Труды IV конгресса сталеплавильщиков. – М.: ОАО "Черметинформация", 1997. – с 31-34.

2. Кисилев А.Д., Зинуров И.Ю. Галян В.С. // Сталь – 1999 - №11 с.31-33.

3. Баптизанский В.И., Бойченко Б.М., Черевко В.П. Тепловая робота кислородных конвертеров – М. Металлургия, 1988 – 172 с.

4. Явойский В.И., Бородин Д.И., Тимофеев В.Т. // Сталь – 1985 - №9 – с.26 – 30.

5. Охотский В.Д., Баптизанский В.И. Физико – химические основы кислородно-конвертерного процесса. – Киев – Донецк: Высшая школа, 1981 – 184 с.

6. Промышленные теплотехнологии: Моделирование нелинейных процессов. Учебник. В 5 частях. Ч.5. / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, А.П. Несенчук, С.С. Бродский, О.В. Дубина, И.А. Павлюченков; Под общ. ред.В.И. Тимошпольского, А.П. Несенчука. – Мн.: Выш. шк., 2000. -319с.

7. Разработка инженерных методов расчета режимов затвердевания и нагрева металла в условиях теплотехнического оборудования Белорусского металлургического завода / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, Н.Л. Мандель и др. // Совершенствование технологических, процессов на Белорусском металлургическом заводе / Науч. техн. Сборник статей. Жлобин, 1994

8. Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Бродский С.С., Дубина О.В. Аналитические способы расчетов процесса затвердевания слитков и заготовок // Литье и металлургия. 1999. №4. С 30-32.

9. Постольник Ю.С., Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Дубина О.В. Тепловые процессы при затвердевании крупных стальных слитков // Литье и металлургия. 2000. № 1. С.53-55.

10.Ю.С., Огурцов А.П. Нелінійна прикладна термомеханіка. - Кит: НМД ВО МОНУ, 2000. - 280 с.

11. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки. - М.: Машгиз, 1960 - 434с.

12. Гольдфарб Э.М. Теплотехника металлургических процессов. М.: Металлургия, 1967. -439с.

13. Тайц Н.Ю. Технология нагрева стали. - М.: Металлургиздат, 1962. - 567 с.

14. Тимошпольский В.И., Гурвич Э.А., Голубченко А.К., Бродский С.С., Тимошпольский И.С., Данько В.А. Тепловое состояние слитка из среднеуглеродистой стали при его затвердевании и охлаждении // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1987. №3. С.33-35.

15. Гольдфарб Э.М., Судоплатов Л.В., Саксаганский А.М. Затвердевание и охлаждение слитков перед посадкой в нагревательные колодцы // Изд. вузов. Черная металлургия. 1963. № 3.С. 195-202.

16. Самойлович Ю.А., Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Филиппов В.В. Стальной слиток. В 3 т. Т.2. Затвердевание и охлаждение / Под общей редакцией В.И. Тимошпольского, Ю.А. Самойловича. - Мн.: Белорусская наука, 2000. - 637с.