



The algorithm of search of optimal regime of the slugs heating in furnaces with pacing backstone is worked out on the basis of mathematical model of conjugated heat exchange. The investigations of influence of the liner material, allotment pace and geometrical sizes of ingots on energy-technological characteristics of heating are carried out using the created software product.

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, НАН Беларуси,
М. Л. ГЕРМАН, П. С. ГРИНЧУК, ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,
С. М. КАБИШОВ, БНТУ

УДК 621.783.321.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ БЕЛОРУССКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Введение. Нагревательные печи, используемые в металлургическом производстве, являются энергоемкими агрегатами. При производительности таких печей по нагреваемому металлу в 100–150 т/ч и его нагреве до температур порядка 1100–1200°C потребление природного газа составляет 3000–4000 м³/ч. Следует отметить, что во многих случаях нагревательные печи работают не по самым оптимальным режимам. В то же время потенциально возможное уменьшение потребления газа на 5–10% и снижение утара металла на такую же относительную величину позволили бы существенно сэкономить при существующих ценах на сырье и энергоресурсы. Экспериментальный поиск таких оптимальных режимов затруднен, с одной стороны, высокими экономическими затратами на его проведение, с другой — необходимостью выполнения десятков экспериментов для поиска оптимального режима. При изменении размеров и геометрии заготовок либо производительности печи этот поиск необходимо проводить заново. Все это делает экспериментальный поиск оптимальных режимов нагрева технически и экономически нецелесообразным. Другое решение проблемы состоит в использовании современных методов численного моделирования и возможностей высокопроизводительной компьютерной техники.

Авторами настоящей статьи разработана математическая модель сопряженного нагрева стальных заготовок в печи с шагающим подом [1, 2]. Существенным преимуществом данной модели по сравнению с используемыми инженерными моделями расчета нагрева стальных заготовок является гораздо более точный учет доминирующего радиационного теплопереноса в высокотемпературном рабочем пространстве нагревательной печи. Такой учет основан на численном решении интегрально-дифференциального уравнения переноса излучения. В модели учитывается также кондуктивный и конвективный переносы тепла для всех объектов, участвующих в процессе сопряженного теплообмена. Ранее было проведено сопоставление результатов численного расчета, выполненного на основе указанной модели, с результатами экспериментальных измерений [3]. По всем характеристикам, информация о которых была представлена в экспериментальных данных, а именно по зависимости температуры заготовок от времени, по расходу газа и образованию окалины, получено хорошее соответствие теории и эксперимента. Это обстоятельство позволяет использовать результаты расчетов температурных режимов нагрева стальных заготовок в печи с шагающим подом, выполненные на основе разработанной компьютерной программы, для поиска оптимальных режимов работы указанной печи.

Ниже приведены результаты выбора оптимальных режимов нагрева, а также анализ влияния основных факторов (размер заготовок, расстояние между заготовками, материал футеровки) на характеристики оптимального режима.

Алгоритм поиска оптимального режима нагрева стальных заготовок в печи с шагающим подом. Математическая модель сопряженного нагрева стальных заготовок в печи с шагающим подом включает в себя достаточно большое количество входных параметров [1, 2]. Многие из таких параметров с точки зрения теплового режима работы печи являются константами. При заданной производительности печи к таковым могут быть отнесены теплофизические свойства всех материалов, участвующих в процессе, геометрические размеры деталей и габариты печи, теплотворная способность газа при его сгорании, начальная и конечная температура заготовок и др. В то же время значением такого параметра, как расход газа и его распределение по зонам печи, собственно и определяется конкретный тепловой режим

работы печи, который необходимо оптимизировать. Здесь следует отметить одну особенность управления нагревательными печами. Управление, как правило, ведется по технологической карте, где для конкретной производительности печи указаны температуры, которые необходимо поддерживать в каждой отапливаемой зоне печи. Контроль температурного режима осуществляется посредством показаний термопар так, что минимум одна термопара располагается в рабочем пространстве каждой зоны. Разработанная авторами компьютерная программа построена таким образом, что позволяет проводить расчет режима, если задан температурный профиль дымовых газов по длине печи. Такой подход полностью согласуется с описанной выше практикой управления тепловым режимом. Поэтому задача оптимизации будет состоять в том, чтобы найти профиль температуры, при котором минимальны удельные затраты на нагрев. При этом температура будет задана в пяти точках: на границах зон, в начале и в конце печи. Для рассматриваемой нами печи с шагающим подом точки, в которых будет задаваться температура, соответствуют следующим координатам вдоль печи: $T_1 - 0$ м (начало печи); $T_2 - 9,48$ м (граница методической и первой сварочной зон); $T_3 - 16,16$ м (граница первой и второй сварочных зон); $T_4 - 22,51$ м (граница второй сварочной и томильной зон); $T_5 - 29,21$ м (конец печи). Между этими точками будем полагать наличие линейного профиля температуры. Тогда мы приходим к проблеме оптимизации по пяти параметрам.

Проблемы такого рода известны в науке уже достаточно давно. Для оптимизации нам необходимо корректно построить целевую функцию и найти ее минимум [4]. В данной проблеме в качестве целевой функции (efficiency function) была выбрана следующая:

$$Ef = Ef_{gas} + Ef_{oxide} + Ef_{T_{fin}} + Ef_{\Delta T_{max}}, \quad (1)$$

$$Ef_{gas} = Cs_{gas} G_v, \quad (2)$$

$$Ef_{oxide} = Cs_{metal} m_{ox} P_{furn}, \quad (3)$$

$$Ef_{T_{fin}} = \begin{cases} 0, & |T_{fin} - T_{fin}^{(0)}| \leq \Delta T_{fin}, \\ Cs_{metal} \left[1 - \exp \left(-\frac{|T_{fin}^{(0)} - T_{fin} \pm \Delta T_{fin}|^2}{\sigma_{fin}^2} \right) \right], & |T_{fin} - T_{fin}^{(0)}| > \Delta T_{fin}, \end{cases} \quad (4)$$

$$Ef_{\Delta T_{max}} = \begin{cases} 0, & \Delta T_{max} \leq \Delta T_{max}^{(0)}, \\ Cs_{metal} \left[1 - \exp \left(-\frac{(\Delta T_{max} - \Delta T_{max}^{(0)})^2}{\sigma_{max}^2} \right) \right], & \Delta T_{max} > \Delta T_{max}^{(0)}. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь Cs_{gas} – стоимость 1 м³ природного газа, сжигаемого для нагрева заготовок, у.е./м³; G_v – расход газа при работе печи, м³/ч; Cs_{metal} – стоимость 1 т обрабатываемого металла, у.е./т; P_{furn} – производительность печи, т/ч; m_{ox} – удельное окисление при нагреве стальной заготовки, кг/т; T_{fin} – температура, до которой нагрелась заготовка при выбранном режиме нагрева; $T_{fin}^{(0)}$ – температура, до которой необходимо нагреть заготовку в соответствии с технологическими требованиями; ΔT_{fin} – допустимое отличие конечной температуры заготовки от $T_{fin}^{(0)}$; σ_{fin} , σ_{max} – параметры модельных функций (4), (5); ΔT_{max} – максимальный перепад температуры по сечению заготовки при выбранном режиме нагрева; $\Delta T_{max}^{(0)}$ – максимально допустимый перепад температуры по сечению заготовки при заданных размерах заготовок. Таким образом, целевая функция представляет собой удельные затраты при нагреве стальных заготовок; Ef_{gas} в (1) – стоимость природного газа, затрачиваемого при работе печи в данном режиме в течение 1 ч; Ef_{oxide} – стоимость металла, который сгорает (переходит в окислы) в течение 1 ч; $Ef_{T_{fin}}$ и $Ef_{\Delta T_{max}}$ в целевой функции являются модельными и отвечают за соблюдение технологии нагрева; $Ef_{T_{fin}} = 0$, если заготовка нагрета до требуемой температуры. В противном случае будем полагать, что имеется отклонение от

технологии, которое приводит к браку. Смысл третьего слагаемого заключен в наличии дополнительных затрат (потери на брак продукции) при отклонении конечной температуры от заданной. Аналогичный смысл имеет и четвертое слагаемое. Если при нагреве заготовки максимальный перепад температуры по сечению не превзошел заданный, то заготовка не деформировалась в процессе нагрева. Функция $Ef_{\Delta T_{\max}}$ в этом случае равна нулю. Если же перепад температуры превзошел заданную величину, то будем полагать, что при нагреве был допущен брак, повлекший за собой дополнительные затраты. Главное требование к модельным функциям (4), (5) состоит в существовании и непрерывности первых производных. Параметры этих функций задавались следующим образом: $\sigma_{fin}=10$, $\sigma_{\max}=10$, $\Delta T_{fin}=5$.

В такой постановке задача поиска оптимального режима сводится к минимизации целевой функции, т.е. к уменьшению удельных затрат на нагрев стальных заготовок. При этом третье и четвертое слагаемые в (1) желательно обратить в 0, т.е. найти режим, при котором нагрев производится в строгом соответствии с технологическими требованиями. Отметим, что в общем случае в целевую функцию аналогично условиям на достижение заданной конечной температуры (слагаемое (4)) и на отсутствие большого перепада температуры по сечению заготовки в процессе нагрева (слагаемое (5)) могут быть добавлены и другие условия, связанные с технологическими ограничениями: задание минимальной и максимальной скорости движения пода, минимального и максимального расхода газа по зонам печи. В данной работе полагалось, что указанные дополнительные ограничения отсутствуют.

Процедура поиска минимума для многопараметрической функции сегодня хорошо известна. В данной работе для оптимизации использована одна из модификаций градиентного метода наискорейшего спуска [3]. На каждой итерации величина шага α_k выбирается из условия минимума функции $f(x)$ в направлении спуска, т.е.

$$f(x^{(k)} - \alpha_k f'(x^{(k)})) = \min_{\alpha \geq 0} f(x^{(k)} - \alpha \nabla f(x^{(k)})) . \quad (6)$$

Это условие означает, что движение вдоль антиградиента происходит до тех пор, пока значение функции $f(x)$ убывает. С математической точки зрения на каждой итерации необходимо решать задачу одномерной минимизации по α функции:

$$\varphi(\alpha) = f(x^{(k)} - \alpha \nabla f(x^{(k)})) . \quad (7)$$

Тогда алгоритм метода наискорейшего спуска может быть сформулирован следующим образом:

- 1) задаются координаты начальной точки $x^{(0)}$;
- 2) в точке $x^{(k)}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, вычисляется значение градиента $\nabla f(x^{(k)})$;
- 3) определяется величина шага α_k путем одномерной минимизации по α функции $\varphi(\alpha)$;
- 4) определяются координаты точки $x^{(k)}$: $x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} - \alpha_k \nabla f_i(x^{(k)})$, $i=1, \dots, n$;
- 5) проверяется условие останова итерационного процесса: $\|\nabla f(x^{(k+1)})\| \leq \epsilon$. Если оно выполняется, то вычисления прекращаются, в противном случае – переходим к п. 1.

Геометрическая интерпретация метода наискорейшего спуска показана на рис. 1. Применительно к рассматриваемой задаче оптимизации режима работы печи с шагающим подом алгоритм оптимизации будет выглядеть следующим образом.

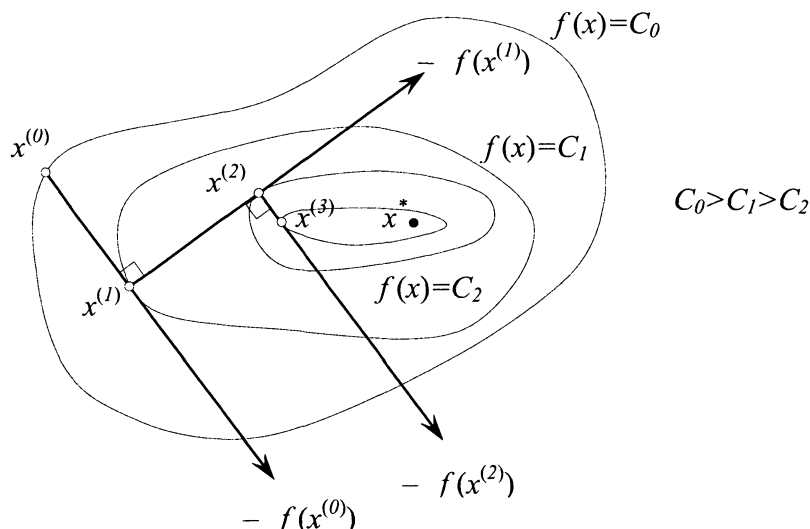


Рис. 1. Геометрическая интерпретация метода наискорейшего спуска

Стартовав с некоторого начального распределения температуры газов вдоль печи новые значения температуры будем находить по формуле

$$T_i^{(j+1)} = T_i^{(j)} + \lambda^{(j)} v_{(i)}^{(j)}, \quad i=1, \dots, 5. \quad (8)$$

Здесь направление шага (скорость спуска к минимуму) определяется по формуле

$$v_{(i)}^{(j)} = - \frac{\partial Ef(T_1^{(j)}, \dots, T_i^{(j)}, \dots, T_5^{(j)})}{\partial T_i} \approx - \frac{Ef(T_1^{(j)}, \dots, T_i^{(j)} + \lambda^{(j)}, \dots, T_5^{(j)}) - Ef(T_1^{(j)}, \dots, T_i^{(j)}, \dots, T_5^{(j)})}{\lambda^{(j)}}. \quad (9)$$

Для нахождения величины оптимального шага в методе наискорейшего спуска необходимо вычисление вторых производных целевой функции [3]. В рассматриваемой проблеме такой подход является очень трудоемким и требует проведения длительных вычислений. Поэтому величина шага $\lambda^{(j)}$ будет задаваться постоянной, а по мере приближения к минимуму целевой функции она будет постепенно уменьшаться.

При выполнении расчетов были использованы следующие цены на сырье и энергоносители: металл – 300 у.е./т; природный газ – 72 у.е./тыс. м³.

В качестве объекта исследований была выбрана нагревательная печь с механизированным подом стана 320 РУП «Белорусский металлургический завод». Согласно действующей в настоящее время на стане 320 технологии, нагрев заготовок производится при раскладке в 200 мм (расстояние между центрами заготовок). Поэтому большинство расчетов было проведено именно для такой раскладки.

При проведении расчетов использованы общие для всех режимов геометрические и физические свойства заготовки и печи: материал заготовок – сталь Ст3; теплота окисления окаины – $Q = 5$ МДж/кг; габариты печи: высота – 1,57 м; ширина – 12,5 м; четыре зоны по длине 9,48, 6,68, 6,35, 6,7 м; под печи – огнеупорный бетон толщиной 200 мм; свод и стенки печи – огнеупорный бетон (200 мм) и легковесный шамот (50 мм); теплота сгорания газа – 35,5 МДж/м³; температура окружающей среды – 20 °С. В качестве характеристик режима среди прочих рассмотрен удельный расход условного топлива (УРУТ).

Отметим, что многопараметрическая функция может иметь не один, а несколько минимумов. Среди этих минимумов по определению только один может являться глобальным, остальные же будут локальными. В связи с этим используем следующий алгоритм поиска оптимального режима: в качестве отправной точки выберем температурный профиль, используемый в настоящее время при нагреве стальных заготовок в печи стана 320 РУП «БМЗ».

Сравнительный анализ оптимальных режимов. По описанной выше методике с использованием разработанной компьютерной программы произведен поиск оптимальных режимов нагрева стальных заготовок в печи с шагающим подом для производительности печи в 120 т/ч (см. таблицу). Поиск локального и глобального минимума целевой функции выполнен для стандартных заготовок квадратного сечения 125×125 мм, а также для заготовок другого размера (100 и 150 мм), для четырех различных расстояний между гранями заготовок (75, 100, 125 и 150 мм) и для случая, когда в качестве внутреннего слоя футеровки использована минеральная вата.

Сравнительный анализ режимов позволяет сделать следующие выводы. Оптимальная работа печи может быть обеспечена за счет перераспределения расхода газа между зонами печи, причем такое перераспределение может быть реализовано без дополнительных затрат, если используются горелки с широким диапазоном регулирования мощности (т.е. расхода газа). В оптимальном режиме наиболее существенно отличие расхода газа в методической зоне. Оказалось, что новый режим (третий столбец таблицы) имеет ряд преимуществ. Во-первых, снижается общий расход газа (на 465 м³/ч по сравнению с локальным минимумом), что составляет около 11% от общего расхода. Уменьшается также образование окаины на 1,1 кг/т, что также составляет более 13%. Помимо этого, в новом режиме на 24 °С снижается максимальный перепад температуры по сечению заготовки, что в конечном итоге приведет к более качественному нагреву металла. Закономерным следствием увеличения эффективности работы печи по оптимальному режиму стало и уменьшение на 174 °С температуры уходящих газов. Введение разработанного режима в данном случае позволит экономить при нагреве стальных заготовок 0,61 у.е. на 1 т нагреваемого металла (около 500 тыс. у.е. в год).

В дальнейшем был выполнен анализ влияния различных факторов (размеры заготовок и расстояние между ними, материал футеровки) на характеристики оптимальных режимов (при производительности печи 120 т/ч).

Прежде всего отметим, что существенное влияние на удельные затраты может оказать раскладка заготовок. Увеличение расстояния между заготовками (столбцы 1 и 5 таблицы) приводит к тому, что для обеспечения заданной производительности необходимо повысить скорость движения металла. При этом удельный расход газа незначительно увеличивается. Однако увеличение скорости, как это

Сравнение режимов нагрева квадратных стальных заготовок в печи с шагающим подом производительностью 120 т/ч

Примечание	Заводской режим	Локальный минимум	Глобальный минимум	Влияние размера (d=100 мм)	Влияние размера (d=125 мм)	Влияние размера (d=150 мм)	Влияние футеровки (минвата)	Оптимум по газу
1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, мм	125	125	125	100	125	150	125	125
s, мм	75	75	75	100	125	150	125	125
Расход газа								
Методическая зона, м ³ /ч	1015,0	924,8	144,7	770,3	789,8	794,5	896,0	924
1-я сварочная зона, м ³ /ч	1391,7	1372,1	1161,4	1349,2	1336,5	1326,6	1350,7	1373,2
2-я сварочная зона, м ³ /ч	1100,0	1143,5	1358,2	1291,0	1281,1	1269,5	1072,6	1147,3
Томильная зона, м ³ /ч	423,9	475,3	786,4	513,7	527,3	532,8	397,5	463,8
Общий, м ³ /ч:	3930,6	3915,7	3450,6	3924,2	3934,6	3923,4	3716,8	3908,3
УРУТ, кг у.т./т	37,47	37,34	32,89 (-12%)	37,43	37,52	37,40	35,44	37,26
Время пребывания заготовки в печи, мин	104,3	104,3	104,3	67,0	83,7	100,3	104,3	104,3
Конечная температура заготовки, °С	1185	1185	1185	1185	1185	1185	1184	1184
Максимальный перепад температуры, °С	175	164	140 (-35 °С)	160	192	218	164	164
Образование окалины, кг/т	7,2	6,9	5,8 (-19,4%)	6,9	6,1	5,5	6,8	6,9
Температура уходящих газов, °С	724	722	548 (-176 °С)	718	721	720	721	722
Удельные затраты на нагрев, у.е./т	4,52	4,42	3,81 (-15,7%)	4,42	4,19	4,00	4,27	—
Затраты в ед. времени при работе печи, у.е./ч	542,4	530,4	457,2	530,4	502,8	480,0	512,4	—
Годовая экономия при внедрении нового режима (работа 300 дней/год), тыс. у.е.	—	86	613	—	285	—	216	—

обсуждалось выше, приводит к существенному уменьшению окислительно-окислительного образования и одновременно к уменьшению времени пребывания заготовок в печи. В итоге удельные затраты на нагрев 1 т металла уменьшаются на 0,33 у.е. Годовая экономия за счет подбора оптимальной раскладки может составить около 285 тыс. у.е.

Расчеты показали, что увеличение размеров сечения заготовки в общем случае ведет к уменьшению удельных затрат на нагрев (столбцы 4–6 таблицы). Вполне естественно, что выгоднее нагревать заготовки большего размера, так как за счет уменьшения удельной поверхности металла это при прочих равных условиях приводит к уменьшению образования окалины. Однако отрицательный момент состоит в росте максимального перепада температуры по сечению заготовки при увеличении размера сечения.

На последующем этапе выполнено исследование влияния материала футеровки на характеристики нагрева. В большинстве случаев при расчетах полагалось, что свод и стенки печи состоят из огнеупорного бетона (толщина 200 мм) и легковесного шамота (50 мм). Был проведен поиск оптимального режима для случая, когда слой шамота был заменен слоем из плит минеральной ваты такой же толщины (столбец 7 таблицы). Согласно результатам расчета, такая замена позволяет экономить до 200 м³/ч газа и уменьшить образование окалины на 0,4 кг/т. В итоге годовая экономия от такой реконструкции (замены слоя легковесного шамота слоем из плит минеральной ваты) может составить около 200 тыс. у.е.

Отдельно также был исследован режим, который оптимален по расходу газа (столбец 8). Оказалось, что этот оптимум несущественно отличается от режима, оптимального одновременно по расходу газа и образованию окалины. По-видимому, условие нагрева заготовки до заданной температуры достаточно жестко лимитирует оптимальные характеристики режима. Оказалось также, что режим, найденный по минимуму целевой функции, одновременно является оптимальным по образованию окалины.

В целом можно отметить, что одновременное использование трех факторов — изменение материала футеровки (замена на минеральную вату), изменение раскладки заготовок и непосредственная оптимизация режима нагрева потенциально позволяет получить экономию порядка 1,0–1,1 млн. у.е. в год производительностью печи 120 т/ч.

Выводы

В представленной работе на основе разработанной модели сопряженного теплообмена при нагреве стальных заготовок в печи с шагающим подом и с использованием методов математического моделирования был проведен поиск оптимальных тепловых режимов работы данной печи производительностью 120 т/ч. Исследована зависимость характеристик оптимальных режимов от размера заготовок, расстояния между заготовками и материала футеровки. Показано, что при цене на металл 300 у.е. за 1 т и на газ 72 у.е. за 1000 м³ средняя удельная экономия от введения новых режимов может составить порядка 1,0–1,2 у.е. на 1 т нагреваемого металла (≈20%). В масштабах одного года экономический эффект от внедрения нового режима на одной печи с шагающим подом может составить более 1 млн. у.е.

Литература

1. Тимошпольский В.И., Герман М.Л., Гринчук П.С., Ознобишин А.Н. Численное решение уравнения переноса излучения в поглощающей, излучающей и рассеивающей среде со сложной 3-D геометрией // ИФЖ. 2005. Т. 78. № 1. С. 138–147.
2. Тимошпольский В.И., Герман М.Л., Гринчук П.С., Андрианов Д.Н. Расчет характеристик переноса теплового излучения в рабочем пространстве кольцевой печи // ИФЖ. 2005. Т. 78. № 3. С. 3–14.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984.
4. Тимошпольский В.И., Герман М.Л., Гринчук П.С., Кабишов С.М. Сопоставление результатов расчета нагрева стальных заготовок в печи с шагающим подом с экспериментальными данными // Литье и металлургия. 2006. №1. С. 97–101.



РЕСПУБЛИКАНСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА
— один из крупнейших информационных центров Беларуси
предлагает специалистам ознакомиться с новыми патентами
и полезными моделями по литью и металлургии.

ПАТЕНТ 6847 РБ, МПК7 С 21D 8/08, 1/02. СПОСОБ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРОКАТА

Патентообладатель: Республиканское унитарное предприятие «Белорусский металлургический завод».

Изобретение относится к прокатному производству, в частности к термообработке арматурного проката в прутках и мотках с прокатного нагрева в потоке мелкосортных и проволочных станов.

Задачей настоящего изобретения является разработка способа термической обработки проката в потоке стана, обеспечивающего повышение технико-экономических показателей работы стана за счет расширения сортамента выпускаемой им продукции без каких-либо капитальных затрат.

Технический результат, достигаемый в результате реализации предлагаемого технического решения, состоит в обеспечении производства арматурного проката с повышенными прочностными и пластическими характеристиками до уровня класса Ат800 по ГОСТ 10884 при экономии затрат на реализацию процесса термической обработки проката в потоке стана.

Решение поставленной задачи обеспечивается тем, что способ термической обработки проката включает циклическое охлаждение водой с числом циклов, равным двум, регулирование скорости охлаждения в каждом цикле, переохлаждение поверхности проката ниже точки Мн, промежуточный и окончательный отогрев поверхности и окончательное охлаждение на воздухе.

Результаты экспериментальных исследований показали, что предлагаемый режим охлаждения (режим 5) обеспечивает полное соответствие прочностных и пластических характеристик арматурного проката требованиям ГОСТ 10884 для класса Ат800. При этом не потребовалось внесения конструктивных изменений в существующую трассу охлаждения арматурного проката с прокатного нагрева, в частности, не потребовалось ее удлинения. Это свидетельствует о том, что реализация предлагаемого технического решения в условиях непрерывного мелкосортного стана 320 Республиканского унитарного предприятия «Белорусский металлургический завод» и аналогичных ему станов 320/150 Молдавского и Дальневосточного металлургических заводов не потребует капитальных затрат.

Таким образом, использование предлагаемого способа термической обработки проката в потоке стана дает возможность повысить технико-экономические показатели его работы за счет расширения сортамента арматурного проката различных классов прочности, производимого на стане.

Документы не продаются!

Ознакомиться с предложенными изданиями можно в читальном зале патентных документов Республиканской научно-технической библиотеки (к. 503). Библиотека также оказывает дополнительные услуги по копированию и сканированию фрагментов документов, записи на дискету, CD-ROM, флэш-карту и др. Более подробную информацию о режиме работы и услугах можно получить по адресу: 220004, г. Минск, проспект Победителей, 7, РНТБ, тел. 203-31-00, www.rlst.org.by, e-mail: edd@rlst.org.by