

3. Katschan A., Chicheja P. Auswahl der Parameter und der Lastregelungsweise für die Gasturbinenanlagen mit Abhitzeessel und GuD – Anlagen mit Gegendruck – dampfturbinen / Beitragsmanuskripte I Zum XXVI Krautwerkstechnisches Kolloquium am 08 und 09 November 1994 in Dresden. – S. 197–200.

4. Романов В. И., Кривуца В. А. Комбинированная газотурбинная установка мощностью 16–25 МВт с утилизацией теплоты уходящих газов и регенерацией воды из парогазового потока / Промышленная теплотехника, том 17, Институт технической теплофизики НАН Украины. – Киев, 1995. – С. 89–96.

5. Качан А. Д., Седнин В. А., Качан С. А. О перспективах применения комбинированных парогазовых установок // Энергоэффективность. – 2000. – № 7. – С. 20–21.

6. Качан С. А. Структурно-параметрическая оптимизация теплофикационных ПГУ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн.: БГПА, 2000. – 21 с.

Представлена научной
секцией НТС РУП
«БелНИПИэнергопром»

Поступила 4.09.2001

УДК 669.012.9

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАГРЕВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК В ПЕЧИ СТАНА 150 РУП «БМЗ»

**Докт. техн. наук, проф. ТИМОШПОЛЬСКИЙ В. И.,
канд. техн. наук ФИЛИППОВ В. В., инж. ТИЩЕНКО В. А.,
канд. техн. наук, проф. ТРУСОВА И. А., асп. БИОХ И. Г.**

*Республиканское унитарное предприятие «Белорусский металлургический завод»,
Белорусская государственная политехническая академия*

В сентябре 2000 г. на Республиканском унитарном предприятии «Белорусский металлургический завод» досрочно пущен в эксплуатацию стан 150, предназначенный для увеличения производства высококачественной катанки с 150000 до 320000 т в год, исходя из сортаментной номенклатуры.

В состав комплекса оборудования стана 150 входит уникальная нагревательная печь с шагающим подом, отличительной особенностью которой является переворот заготовки (кантовка) на 360° в рабочем пространстве печи. Печи данной конструкции внедряются в линиях прокатных станов в мире только последние 2–3 года, и в настоящее время в области металлургической теплотехники их функционирует не более 5–7 штук.

В работе приведены результаты исследований тепловой работы печи стана 150, которые публикуются впервые и представляют практический и теоретический интерес в первую очередь в связи с оригинальной конструкцией печной установки.

Нагревательная печь стана 150 (рис. 1) предназначена для нагрева непрерывнолитых заготовок с номинальным сечением 125×125 мм и 163×163 мм длиной от 10 до 12 м. Посад и выдача металла производятся с боковых сторон печи. В соответствии с расположением и монтажом газогорелочных устройств печь разделена на три зоны: предварительного нагрева; нагрева; выдержки с числом горелок 4, 6, 8 соответственно.

Процесс нагрева осуществляется боковыми горелками типа GR16, GR18, GR8, разработанными фирмой ITALIMPIANTI и предназначенными для использования традиционного вида топлива (природного газа). Печь оборудована металлическим рекуператором с температурой подогрева воздуха до 500 °С.

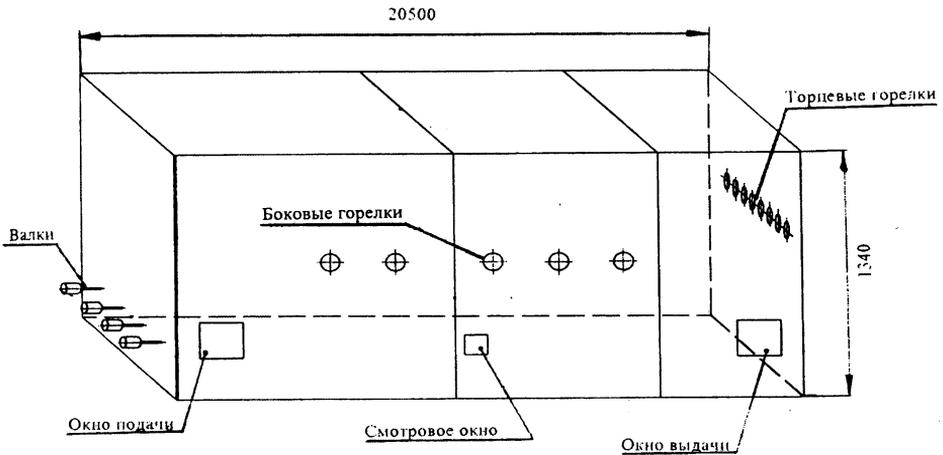


Рис. 1. Схема печи стана 150

Основные технические характеристики печи:

номинальные размеры печи:

внутренняя длина от стенки до стенки	– 20,35 м;
внутренняя ширина от стенки до стенки	– 12,80 м;
ширина снаружи	– 13,41 м;
число балок	– 3;

номинальные размеры и вес заготовок:

максимальный вес	– 1472 кг;
температура загрузки	– 20 °С;
температура выгрузки	– 1250 °С;
расстояние между деталями	– 87 мм;
число деталей в печи	– 71.

В процессе исследований, направленных на усовершенствование тепловой работы печи в период освоения проектной мощности стана 150, совместно специалистами Белорусского металлургического завода и Белорусской государственной политехнической академии были выполнены комплексные разработки, которые сведены к следующим:

исследована проектная технология нагрева, предложенная фирмой ITALIMPIANTI;

выполнены экспериментальные исследования и комплексное моделирование процесса нагрева с последующей параметрической идентификацией математической модели;

осуществлены комплексные теплотехнические расчеты с целью обоснования увеличения проектной мощности печи.

Проведение промышленных экспериментов по термометрированию заготовок (измерению поля температур) при тепловой обработке в печи стана 150 было сопряжено с существенными техническими сложностями, обусловленными не только боковой посадкой заготовки, но и переворотом заготовки на 360° по длине в рабочем пространстве печи. Поэтому в конкретном случае опирались на опыты, проведенные ранее в печах аналогичной конструкции, например, [1–3], однако при этом учитывали конструктивные новшества печи стана 150, а также на результаты экспериментальных исследований охлаждения непрерывнолитых заготовок после выдачи из печи стана 150, изложенные ниже. Полученные результаты были учтены при проведении последующих серийных исследований. Методика экспериментальных исследований нагрева непрерывнолитых заготовок подробно изложена в работах [1, 2], методика измерения температур при охлаждении непрерывнолитых заготовок после выдачи из печи стана 150 заключалась в следующем. Для установки термопары в контрольной внутренней точке опытной заготовки сечением $0,125 \times 0,125$ м (Ст. 3) высверливалось отверстие диаметром 8 мм (рис. 2), в которое вставлялся термоэлектрод. Электроды термопар (типа ХА с диаметром электродов 1,2 мм) по всей длине изолированы в металлическую оболочку. После нагрева опытную заготовку подавали на аварийный стол, где в отверстия вставлялись термопары, подключенные к цифровому самописцу. Снятие параметров осуществлялось каждые 5 секунд до достижения 700°C в центре заготовки.

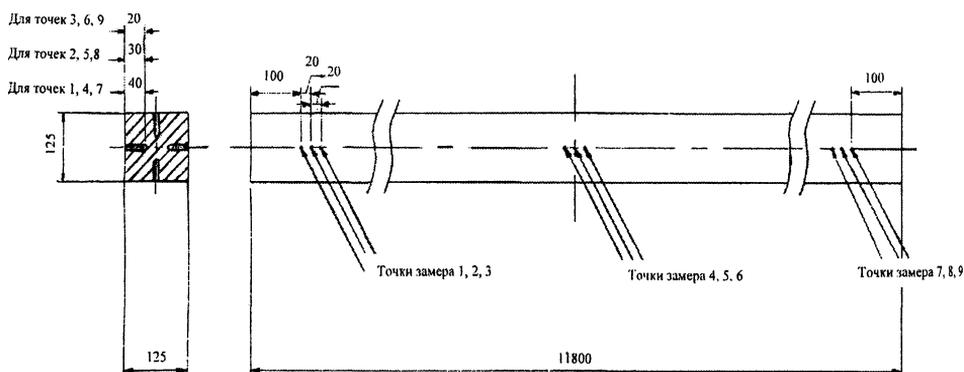


Рис. 2. Расположение отверстий для термопар в экспериментальной заготовке

Кроме того, при проведении опыта производился хронометраж выдачи заготовок из печи, что позволило определить ее производительность и расположение опытной заготовки по мере продвижения от окна посадки к окну выдачи, а также фиксировались расходы воздуха и топлива по зонам, показания зонных термопар, температура воздуха после рекуператора, температура ограждающей конструкции, температура печи $T_{пч}$, определяемая по показаниям зонных термопар. Полученные значения $T_{пч}$ потом были использованы при настройке математической модели нагрева металла.

При математическом моделировании процесса нагрева непрерывнолитых заготовок использовано двумерное уравнение теплопроводности с соответствующими краевыми условиями [3]:

уравнение теплопроводности

$$\rho(T)c(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right], \quad (1)$$

где $R_1 \geq x \geq -R_1$; $R_2 \geq y \geq -R_2$; $\infty > \tau \geq 0$,

граничные условия третьего рода и условия симметрии

$$\lambda(T) \frac{\partial T(R_1; y; \tau)}{\partial x} = \sigma \left[T_{\text{пч}}^4 - T^4(R_1; y; \tau) \right] + \alpha \left[T_{\text{пч}} - T(R_2; y; \tau) \right]; \quad (2)$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T(R_2; x; \tau)}{\partial y} = \sigma \left[T_{\text{пч}}^4 - T^4(R_2; x; \tau) \right] + \alpha \left[T_{\text{пч}} - T(R_2; x; \tau) \right]; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T(0; y; \tau)}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T(x; 0; \tau)}{\partial y} = 0; \quad (4)$$

начальное условие

$$T(x; y; 0) = f(x; y) = T_0. \quad (5)$$

В приведенной математической формулировке задачи при оценке величины тепловых потоков, падающих на поверхность заготовки, использованы значения температуры $T_{\text{пч}}$, определяемые по показаниям штатных зонных термопар.

Численная реализация математической модели (1)–(5) осуществлена методом сеток. В соответствии с методологией исследований для проверки адекватности математической модели использованы данные экспериментальных исследований нагрева заготовок, проведенных ранее для условий печей с механизированным подом станов 850 и 320 [1–3], а также при охлаждении заготовки после выдачи из печи стана 150. На рис. 3 в качестве примера приведены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных в характерных точках сечения заготовки при ее охлаждении.

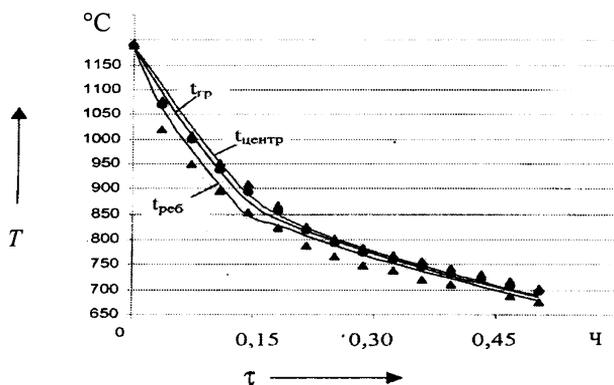


Рис. 3. Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных термограмм при охлаждении заготовки

Анализ сравнения экспериментальных данных и численных расчетов показывает, что максимальное расхождение наблюдается в интервале температур 730–800 °С (3,43 %), т. е. в интервале температур фазового превращения.

На последующем этапе разработанная математическая модель (1)–(5) использована для выбора рациональных температурно-тепловых режимов нагрева непрерывнолитых заготовок сечением 0,125×0,125 м из стали 70К, обеспечивающих повышение производительности печи и снижение топливopotребления. С этой целью осуществлены серии численных экспериментов по нагреву заготовок при варьировании производительности и температурного режима. После обработки результатов расчетов выбран температурный режим нагрева заготовок, обеспечивающий требуемую по технологической инструкции температуру заготовки к окончанию нагрева при производительности печи 70 т/ч (рис. 4).

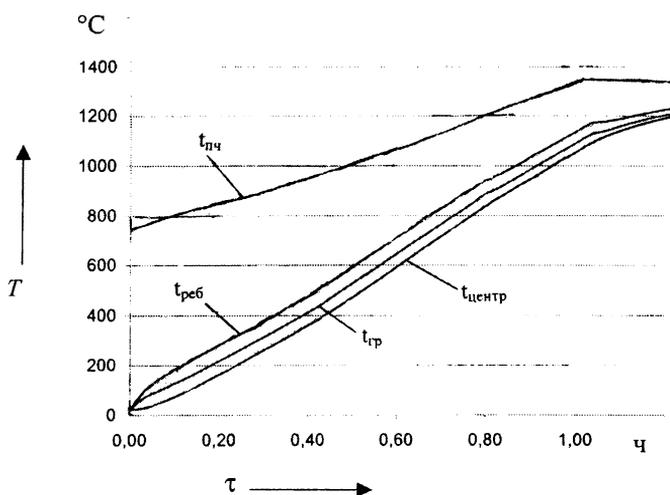


Рис. 4. Температурный график нагрева заготовки сечением 0,125×0,125 м (сталь 70К)

С целью анализа основных теплотехнических показателей печи при работе по предлагаемому температурно-тепловому режиму осуществлены расчеты зональных тепловых балансов. Статьи теплового баланса печи сведены в табл. 1.

Анализ приведенных данных показывает, что удельный расход условного топлива при нагреве по разработанному рациональному режиму составляет 42,3 кг у. т./т, что соответствует мировым показателям для печей современной конструкции, коэффициент полезного действия при этом находится на уровне 61,5 %.

В дальнейшем были осуществлены комплексные теплотехнические расчеты и определены режимы для достижения сверхпроектной мощности печи с целью увеличения пропускной способности участка «нагревательная печь – стан 150» на 3–8 % и в последующем до 10–15 % при соответствующей реконструкции самого прокатного стана. Основные теплотехнические показатели при работе печи на различных производительностях приведены в табл. 2.

Тепловой баланс нагревательной печи стана 150

Расход топлива 2501,3 м³/ч, производительность 70 т/ч

№	Наименование статьи	кВт	%	№	Наименование статьи	кВт	%
Приход теплоты				Расход теплоты			
1	Теплота от горения топлива	24110,16	80,76	1	Теплота, затраченная на нагрев металла	14818,00	49,63
2	Теплота, вносимая подогретым воздухом	4514,96	15,12	2	Теплота, уносимая уходящими продуктами сгорания	9418,67	31,55
3	Теплота, вносимая топливом	21,01	0,07	3	Потери теплоты теплопроводностью через кладку	2623,00	8,79
4	Теплота экзотермических реакций окисления железа	1208,47	4,05	4	Потери теплоты излучением через открытые отверстия	568,46	1,90
				5	Потери теплоты с окалиной	348,22	1,17
				6	Потери теплоты с охлаждающей водой	1492,73	5,00
				7	Неучтенные потери	585,52	1,96
Всего		29854,60	100	Всего		29854,60	100

Удельный расход условного топлива $b = 42,3$ кг у. т./т, КПД = 61,5 %, КИТ = 79,7 %

Таблица 2

Производительность P , т/ч	Удельный расход условного топлива b , кг у. т./т	КПД, %	КИТ, %
68	43,6	61,34	79,74
70	42,3	61,45	79,74
72	41,0	61,57	79,75
75	39,3	61,74	79,75

Анализ полученных результатов и данных табл. 2 показывает, что при увеличении производительности печи до 72–75 т/ч достигается необходимая температура к концу нагрева заготовки (на уровне 1180 °С), а

такие характеристики, как удельный расход условного топлива (39–41 кг у. т./т), КПД (61–62 %), КИТ (79–80 %) соответствуют лучшим мировым аналогам. Учитывая особенности печи данной конструкции (кантовка заготовки, расположение перегородки в рабочем пространстве печи), эти показатели на 5–7 % выше показателей печей аналогичной конструкции, эксплуатирующихся на металлургических предприятиях фирмы «Фест-Алпине».

ВЫВОДЫ

1. Специалистами РУП «Белорусский металлургический завод» и комплексной научно-производственной лаборатории «Проблемы металлургического производства» БГПА освоена проектная мощность нагревательной печи стана 150 с механизированным подом новой конструкции, предназначенной для нагрева мелкосортного проката.

2. Выполнен анализ тепловой работы печи описанной конструкции (рис. 1, табл. 1) и доказано, что необходимая температура заготовки перед прокаткой на уровне 1160–1200 °С (в зависимости от марочного состава) достигается при производительности 68–70 т/ч, что соответствует паспортным данным. При этом удельный расход условного топлива находится на уровне 42–44 кг у. т./т, коэффициент полезного действия печи – 61–62 %, коэффициент использования топлива – 79,74 %, что подтверждает вывод о том, что теплотехнические показатели работы печи соответствуют мировому уровню.

3. Проведены комплексные теплотехнические расчеты с целью обоснования увеличения рабочей мощности печи в среднем на 5 % (табл. 2). Установлено, что при росте производительности печи до 72–75 т/ч достигается необходимая температура заготовки перед прокаткой (на уровне 1180 °С), а удельный расход условного топлива составляет менее 40 кг у. т./т, что практически на 5–7 % выше лучших мировых аналогов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленные технологии: Моделирование нелинейных процессов: Учеб. / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова, А. П. Несенчук и др.; Под общ. ред. В. И. Тимошпольского, А. П. Несенчука. – Мн.: Выш. шк., 2000. – 319 с.

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

3. Belarusian Metallurgical Plant (BMZ) – a modern Enterprise for production and research / V.V. Filipov, V. I. Timoshpolsky, I. A. Trusova. – Austria: Voest-Alpine, 2001.

Представлена техническим советом
РУП «Белорусский металлургический завод»

Поступила 5.10.2001