



The results of experimental researches of thermal work at the example of the annular furnaces functioning in conditions of axis-rolling production of Dneprovsk metallurgical industrial complex named after Dzerzhinsky are given.

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, И. А. ТРУСОВА, БНТУ

УДК 621.783

ТЕПЛОВАЯ РАБОТА НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА. СООБЩЕНИЕ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В КОЛЬЦЕВЫХ ПЕЧАХ

Кольцевые печи для нагрева металла получили широкое распространение в трубопрокатном и осепрокатном производствах. Их использование обусловлено рядом преимуществ: возможность достижения высокого качества нагрева, сравнительно невысокий удельный расход топлива (менее 60 кг у. т./т), низкий угар металла (до 0,5%), компактность и др. [1–3].

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований тепловой работы на примере кольцевых печей, функционирующих в условиях осепрокатного производства Днепровского металлургического комбината им. Дзержинского. Осепрокатный стан 250, предназначенный для прокатки и промышленного выпуска катаных осей железнодорожного транспорта, введен в строй в 1975 г. Технологическая схема производства включает в себя нагрев цилиндрических заготовок до температуры 1180–1220 °С в кольцевой печи, гидросбив окалины, прокатку на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки, порезку на пилах горячей резки, термическую обработку черновых осей на цепных холодильниках и в кольцевой печи (нормализацию), горячую правку, отделку осей.

Как отмечено, кольцевые печи осепрокатного стана 250 (рис. 1) предназначены для нагрева сплошных цилиндрических осевых заготовок диаметром 0,23–0,30 м и длиной 2,0–0,89 м и термической обработки катаных сплошных и полых осей. Печи отапливаются природным газом с помощью комбинированных газомазутных горелок и глубиной регулирования производительности: для печи нагрева – 40–130 м³/ч, печи нормализации – 20–40 м³/ч. Подача природного газа осуществляется автоматически в зависимости от заданной тем-

пературы печи по зонам. Техническая характеристика печей стана 250 приведена в табл. 1.

Экспериментальные исследования нагрева цилиндрических заготовок (в печи № 1) и катаных сплошных и полых осей (в печи № 2) проводили с целью разработки температурно-тепловых режимов в период освоения проектной мощности осепрокатного стана 250, а также в дальнейшем с целью совершенствования и разработки энергосберегающих технологий.

Методика проведения экспериментов. Методика подготовки и закрепления термодатчиков заключалась в следующем. Открытые спаи термодатчиков вводили в высверленные отверстия (верхняя по-

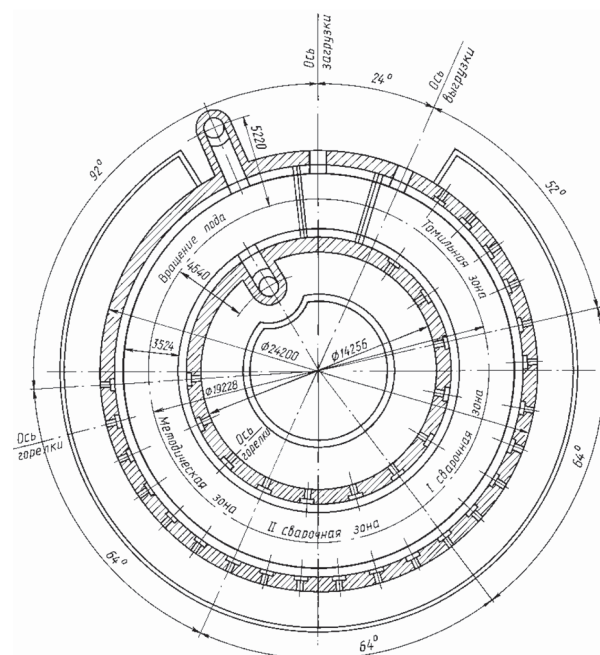


Рис. 1. Схема кольцевой нагревательной печи стана 250 ДМК им. Дзержинского

Т а б л и ц а 1. Технические характеристики кольцевых печей

Параметры	Печь № 1 (нагрев)	Печь № 2 (термообработка)
Производительность, т/ч	40	25–27
Размеры заготовок: диаметр×длина, м	0,23×2,0, 0,27×1,75–2,0, 0,29×0,89–0,9	–
Число отапливаемых зон, шт.	4	4
Основные размеры печи, м:		
общая длина по кладке	56,60	56,60
неотапливаемый участок методической зоны	15,30	16,0
подогреваемый участок методической зоны	10,85	12,2
первая сварочная зона	10,85	12,2
вторая сварочная зона	10,85	12,2
томильная зона	8,74	14,0
Распределение температур по зонам, °С:		
методическая	1100±10	870±10
первая сварочная	1200±10	870±10
вторая сварочная	1250±10	870±10
томильная	1260±10	900±10
Расход газа на печь, м ³ /ч	1500–2000	800–1400
Температура подогрева воздуха в рекуператоре, °С	250–350	250–350

верхность, центр, нижняя поверхность) до соприкосновения с их дном. На рис.2 приведена упрощенная схема установки термопар. Центровки спаев по дну осуществляли за счет двухканальной изоляции самих пар. Затем свободное пространство в отверстии заполняли алундовым мелкодисперсным порошком, а саму пару закрепляли клеем на основе жидкого стекла и безводного оксида алюминия. Для установки термопар на поверхностях заготовок вулканитовым кругом протачивали пазы длиной 8–10 мм и глубиной 3 мм. Защищенные и скрученные в жгут длиной 5–7 мм концы термопар укладывали в пазы и заваривали при помощи электросварки.

Затем маркированные электроды укладывали по поверхности заготовок, закрепляли при помощи защищенных чехлов, а оставшиеся концы длиной 1,5–1,7 м скрепляли в жгут, который обволакивали слоем каолиновой ваты и бинтом из стекловоло-

на. Конец жгута закрепляли отожженной стальной проволокой диаметром 1,5–2,0 мм, конец которой длиной 0,7–1,0 м оставляли для облегчения протяжки жгута через отверстие в подине печей. Температуру печи в непосредственной близости от заготовки (5–7 мм) измеряли термопарой, закрепленной на заготовке и выступающей над ее поверхностью.

Укладку экспериментальных заготовок в печи проводили следующим образом. Заготовку с установленными и закрепленными термодатчиками при помощи мостового крана помещали на рольганг перед загрузочным окном. Снизу через отверстия в подине выводили проволоку диаметром 5 мм, которую протягивали до заготовки. Жгут с термопарами закрепляли на ней. Загрузочный кран-хобот медленно протаскивал заготовку в печи. Одновременно с этим жгут протягивали в отверстие в поду. После этого жгут снизу разворачивали и концы термопар быстро закрепляли с помощью разъемов на концах компенсационных проводов прибора КСП-4 (многоточечный потенциометр), предварительно подготовленного к замеру. Подключение термопар через компенсационные провода к прибору осуществляли специальным разъемом, что обеспечивает быстрое отключение и включение в прибор при вынужденных остановках замеров, обусловленных конструкцией печи.

Результаты экспериментальных исследований нагрева заготовок. Учитывая повышенные требования к равномерности нагрева цилиндрических заготовок перед последующей деформацией на стане поперечно-винтовой прокатки, проведение экспериментов осуществлялось как для случая

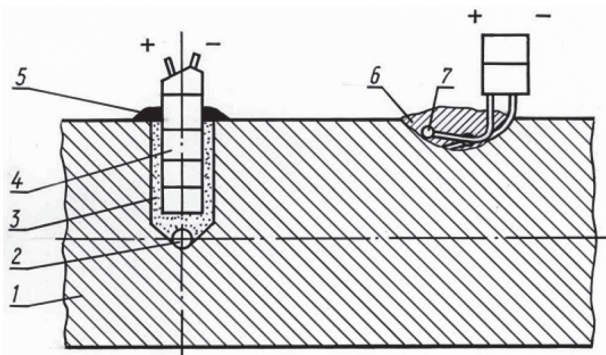


Рис. 2. Принципиальная схема закрепления термодатчиков: 1 – заготовка; 2 – головка термодатчика; 3 – алундовая засыпка; 4 – алундовая двухканальная изоляция; 5 – алундовая замазка; 6 – заварка; 7 – спай поверхностной термопары

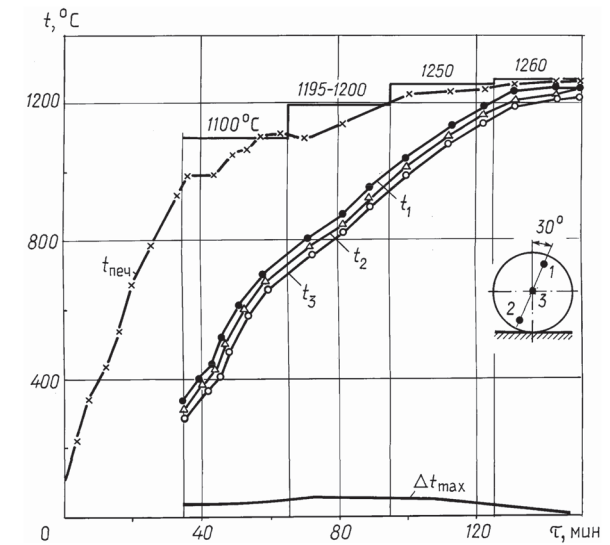
недеформированной подины (после капитальных ремонтов), так и для деформированной подины, т. е. при длительной эксплуатации кольцевых печей. При этом по мере накопления опыта и необходимости методика проведения экспериментальных исследований совершенствовалась. На рис. 3 приведены результаты термометрирования цилиндрических заготовок диаметром 0,23 м для вагонных осей из стали ОСВ (сталь 45) при эксплуатации печи с недеформированной подиной. Поскольку целью выполнения экспериментальных исследований являлось совершенствование температурно-тепловых режимов, исследовали три опытных варианта режимов нагрева (*A* – *B*) при следующих температурах печи в зонах, °C[4]:

	I	II	III	IV
<i>A</i>	1100	1200	1250	1260
<i>B</i>	1150	1250	1220	1220
<i>B</i>	1040	1170	1240	1250

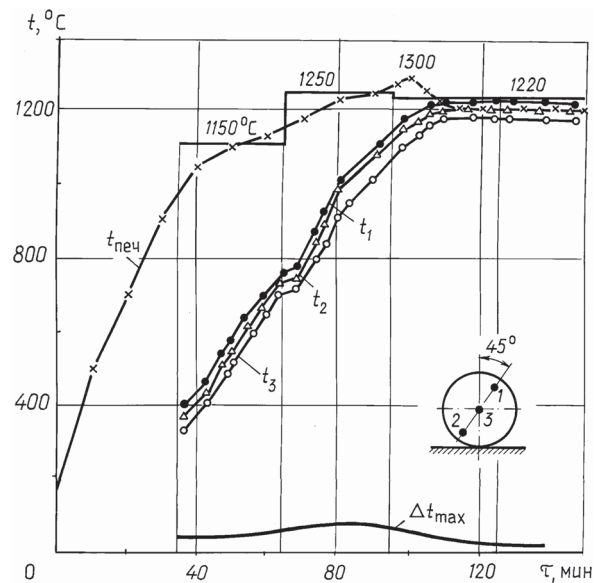
Для исследованных режимов отмечался резкий скачок температуры печи в первые 30–40 мин и равномерный ее рост в последующий период. По принятому режиму *A* температура печи достигала максимального значения (1260 °C) в середине зоны IV (томильной). Отмечалось постепенное уменьшение скорости роста температуры поверхности металла. В дальнейшем температура выравнивалась по сечению заготовки. Температурный перепад достигал минимума за 15–20 мин до окончания нагрева заготовки в печи (рис. 3, *a*). Опытный режим *B* исследовали с целью выявления резервов для увеличения производительности печи. Этот режим относится к форсированным и характеризуется практически постоянной скоростью подъема температуры металла с последующим выравниванием ее по сечению. Из рис. 3, *б* видно, что металл можно выдавать на 30–40 мин раньше, чем при нагреве по режиму *A*. Опытный режим *B* отличается от обоих предыдущих значительным (на 60–90 град) снижением температуры в зоне I (методической) и постепенным возрастанием скорости нагрева металла. Значительный температурный перепад по сечению заготовки поддерживается в течение 1,5 ч, достигая максимального значения 80 град. В дальнейшем температура по сечению заготовки выравнивается. Минимум температурного перепада в момент выдачи металла из печи не превышает 10–20 град (рис. 3, *в*).

Анализом динамики нагрева заготовки по всем трем режимам установлено, что нагрев достаточно симметричен ($\mu = 0,5-0,6$).

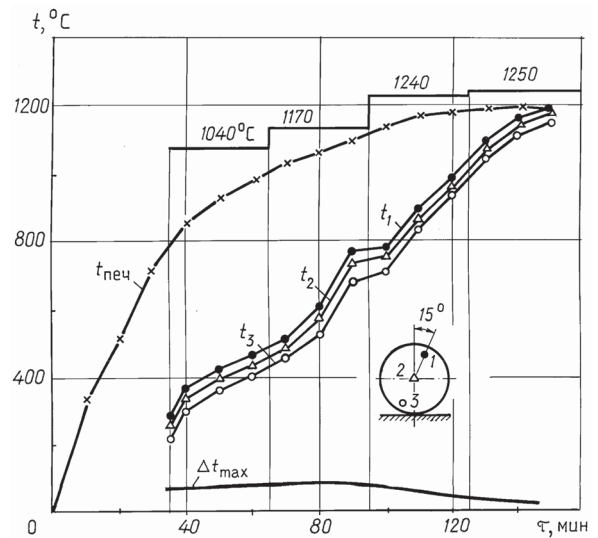
Нагрев по режиму *B* позволяет в целом получить лучшее качество структуры металла и сократить время нормализации осей после прокатки на



a



б



в

Рис. 3. Изменение температур в характерных точках сечения заготовки диаметром 0,23 м

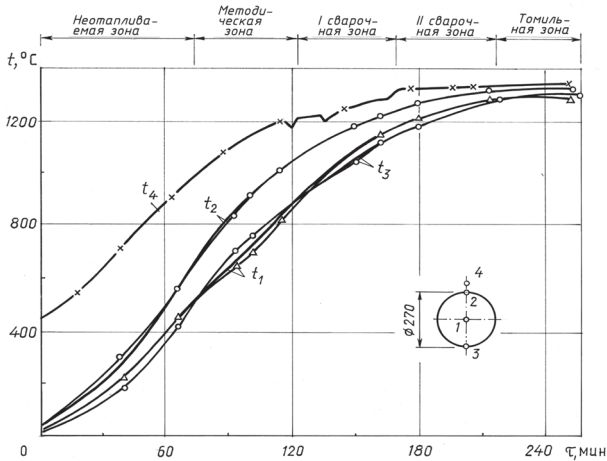


Рис. 4. Изменение температур в характерных точках сечения заготовки диаметром 0,23 м

30–60 мин, при этом удельный расход условного топлива уменьшился на 15%, угар металла – на 19%.

На рис. 4 представлены результаты экспериментальных исследований нагрева цилиндрической заготовки диаметром 0,27 м, длиной 2,0 м (сталь ОСЛ) для последующего изготовления локомотивной оси. Нагрев металла осуществлялся на деформированной подине (после определенного периода эксплуатации печи). Из рисунка видна несимметричность нагрева (максимальный температурный перепад между верхней и нижней поверхностями достигает 110–120°C), что свидетельствует о неравномерном распределении теплового потока по поверхности цилиндра.

Учитывая, что около 70–80% металла нагревается в условиях длительной эксплуатации кольцевых печей, для уточнения распределения теплового потока на поверхности цилиндрических загото-

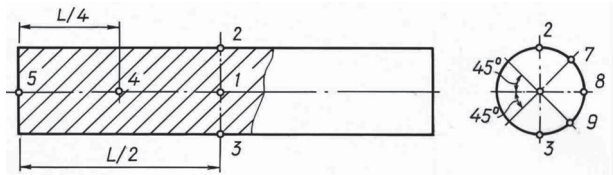


Рис. 5. Схема расположения термопар

вок осуществляли дополнительные экспериментальные исследования нагрева заготовок для вагонных и локомотивных осей на деформированной подине. Для получения наиболее информативной картины о температурном состоянии металла измерения температур проводили в характерных точках сечения заготовки (центр, нижняя и верхняя поверхность), в торцевой части и посередине, кроме того, дополнительно три термопары были установлены в специальные отверстия по периметру (рис. 5).

На рис. 6, 7 приведены результаты экспериментальных исследований нагрева заготовок диаметром 0,23 и 0,27 м. Очевидно, что до середины методической зоны происходит быстрый рост как температуры печи, так и поверхности металла. Перепад температур по сечению заготовок достигает максимума (270–300 °С) к началу I сварочной зоны. В последующем во II сварочной и томильной зонах происходит выравнивание температур и к моменту выдачи заготовок из печи перепад становится равным 20–30 °С. Наибольшую температуру имеют места на торцах заготовки и участках поверхности, наиболее удаленных от пода. Температура оси заготовки и участков поверхности, соприкасающихся с подом или возле него, практически отличается на 10–20 °С на протяжении всего периода нагрева. Таким образом, в конкретном случае име-

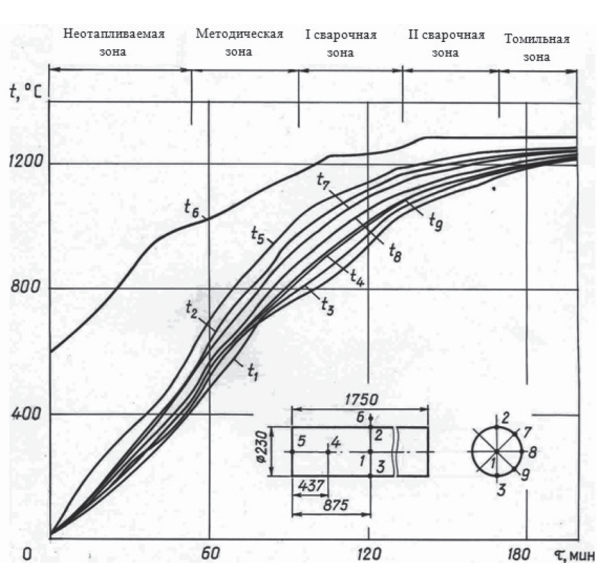


Рис. 6. Изменение температур по сечению и периметру заготовки диаметром 0,23 м

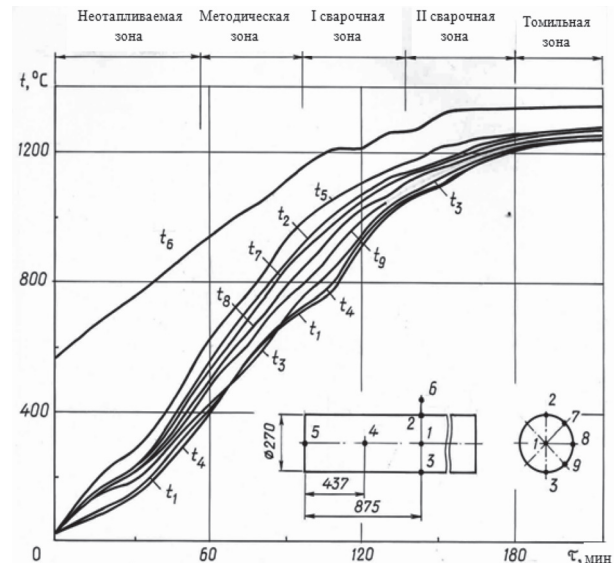


Рис. 7. Изменение температур по сечению и периметру заготовки диаметром 0,27 м

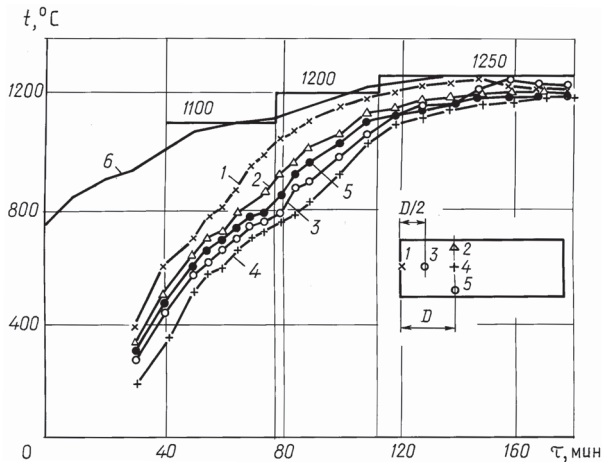


Рис. 8. Динамика изменения температур в заготовке диаметром 0,29 м (1–5) и дымовых газов (6)

ется значительная несимметричность процессов нагрева заготовок относительно плоскости, перпендикулярной поду.

При исследовании технологии нагрева заготовки диаметром 0,29 м учитывали ограниченную длину заготовки и термопары располагали по длине в соответствии со схемой, приведенной на рис. 5. При нагреве более короткой заготовки в кольцевой печи предусмотрены варианты с двухрядным соосным расположением на подине. Динамика поля температур в цилиндре диаметром 0,29 м приведена на рис. 8. Выравнивание температуры по сечению наступает через 160–170 мин с момента посадки металла в печь, что соответствует удельной продолжительности нагрева 5,0 мин/см. Необходимо отметить существенное влияние теплообмена с торцов в отличие от технологии нагрева заготовки диаметром 0,23 м, когда торцы не влияют на тепловые изменения в металле. Причем температура середины торца (точка 1) практически в течение всего периода нагрева выше, чем температура в точках 2 и 5. Кроме того, температура точки 3 в томильной зоне не превышает значения температур у поверхности и с торца. В методической и сварочных зонах имеют место асимметрия температурного поля и смещение теплового центра к низу цилиндра.

Результаты экспериментальных исследований термообработки осей. При изучении технологии нагрева прокатанных сплошных осей в кольцевой печи термопары зачеканили в холодные оси. Профили сплошных катаных вагонных осей приведены на рис. 9.

Изменение температуры в осях при нормализации представлено на рис. 10. Для замера температур в полых осях в наиболее массивную часть (подступичную) вмонтировали хромель-алюмелевую термопару с диаметром электрода 0,5 мм на

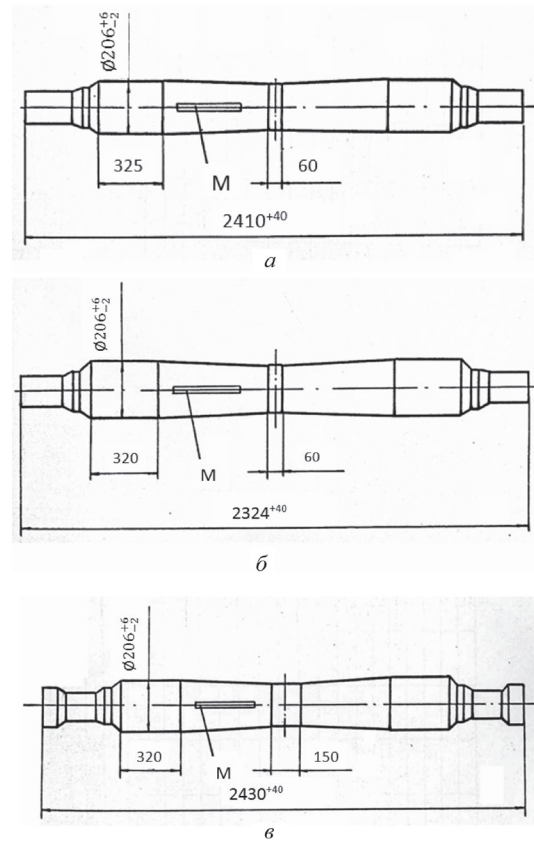


Рис. 9. Профили сплошных катаных вагонных осей: а, б – для подшипников качения; в – с фланцем для подшипников скольжения; М – место маркировки

глубину, равную половине толщины стенки. Изменение температуры при нормализации полый оси показано на рис. 11. Из рисунка следует, что с горячей посадки (500 °С) время нагрева полый оси τ_n до температуры нормализации (860–880 °С) рав-

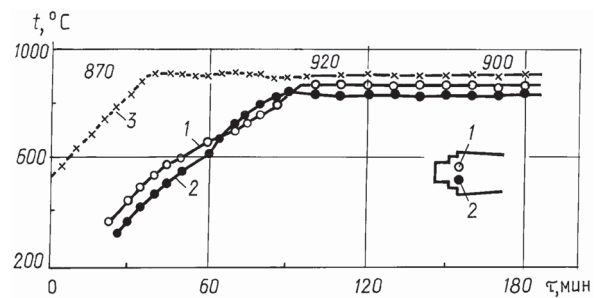


Рис.10. Температурные кривые нагрева черновых сплошных осей (1, 2) в печи нормализации (3 – температура печи)

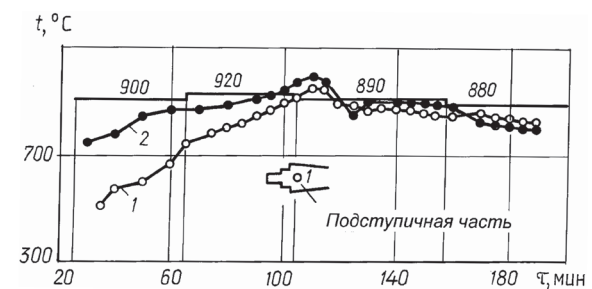


Рис. 11. Температурное состояние черновой полый оси в процессе нормализации: 1, 2 – соответственно температура оси и печи

но около 1 ч. Если учесть, что общая продолжительность нагрева должна составлять $\tau_{\text{общ}} = 1,2\tau_{\text{н}}$, то практически через 1 ч 20 мин – 1 ч 30 мин от начала поода полая ось подготовлена к выдаче, а сплошная – через 1 ч 20 мин – 1 ч 45 мин.

Выводы. Разработаны методики проведения экспериментальных исследований нагрева и тер-

мообработки металла при производстве катаных сплошных и полых осей железнодорожного транспорта. Выполнены серии промышленных экспериментов, учитывающие специфику действующего производства и требования, предъявляемые к качеству вагонных и локомотивных осей.

Литература

1. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Пекарский М. Я. Кольцевые печи: Теория и расчеты / Под общ. ред. В. И. Тимошпольского. Мн.: Выш. шк., 1993.
2. Стальной слиток. В 3-х т. Т. 3. Нагрев / В. И. Тимошпольский, Ю. А. Самойлович, И. А. Трусова и др.; Под общ. ред. В. И. Тимошпольского, Ю. А. Самойловича. Минск: Белорусская наука, 2001.
3. Тимошпольский В. И., Самойлович Ю. А. Теоретические основы тепловой обработки стали в трубопрокатном производстве. Минск: Белорусская наука, 2005.
4. Гольдфарб Э. М., Тимошпольский В. И., Постольник Ю. С. и др. Усовершенствование режима нагрева осевых заготовок в кольцевой печи // Сталь. 1978. № 9. С. 866–868.