



There are presented the results of experimental investigations of heating processes of bloom, prismatic and cylindrical slugs in modern furnaces of different constructions (pusher-type furnaces, furnaces with pacing beams and pacing floor, circular furnaces).

И. А. ТРУСОВА, Белорусский национальный технический университет

УДК 621.783

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ГАЗОПЛАМЕННЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Экспериментальное изучение высокотемпературных процессов при внутреннем теплообмене в нагревательных печах является основой для создания адекватных математических моделей и проведения расчетно-теоретических исследований с целью обоснования и выбора теплотехнологических режимов как при освоении нового оборудования, так и при усовершенствовании действующих теплотехнологий.

Исследование процессов нагрева стальных слитков и заготовок в газопламенных печах применительно к условиям промышленного производства представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу. Это связано с необходимостью при проведении эксперимента учитывать конструктивные и технологические особенности нагревательных печей, геометрические размеры заготовок и их расположение, несимметричность нагрева, длительность эксплуатации печи и др. Таким образом, выработать единую методику промышленного эксперимента для печей прокатного производства не представляется возможным.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований процессов внутреннего теплообмена путем термометрирования заготовок для наиболее распространенных типов проходных газопламенных печей: толкательного типа, с шагающими балками и кольцевых печей, при этом в каждом конкретном случае методика проведения эксперимента учитывала специфику организации производства и особенности изучаемых печей.

Экспериментальное исследование процессов нагрева слябовых заготовок в методической печи толкательного типа. Измерение температурного поля слябов осуществляли в условиях методических печей стана 810 Новосибирского металлургического завода им. Кузмина (НМЗ). Данные конструкции (толкательные печи двухстороннего обогрева) являются наиболее распространенным типом печей, функционирующих в условиях среднесортных и листовых станов. Схема печи показана на рис. 1. Объектами исследований являлись слябы толщиной от 0,135 до 0,150 м, длиной от

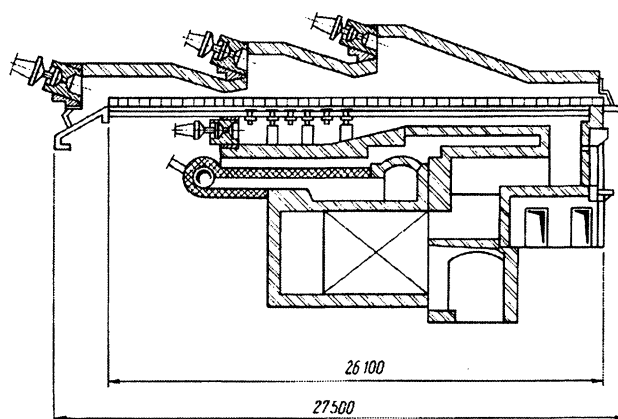


Рис. 1. Схема методической печи толкательного типа Новосибирского металлургического завода

5,5 до 6,0 м из специальных сталей и сплавов. В ходе исследований разработана методика, позволяющая осуществлять измерение температур в наиболее представительных точках сечения заготовок [1, 2]. Три термопары «вбивали» в сечении заготовки, располагающиеся посередине между глиссажными трубами, четвертую термопару устанавливали в сечении, расположенном над глиссажной трубой (рис. 2). Это позволило установить неравномерность нагрева сляба не только по сечению, но и по его длине. Кроме того, фиксировали температуру среды в районе поверхности заготовки (на расстоянии 50–70 мм) с помощью открытого спая, закрепленного приваренной скобой. Схема установки термодатчиков в сечении опытного сляба приведена на рис. 3. В качестве термодатчиков использованы термопары типа ХА с электродами диаметром 1,2–1,5 мм. В процессе эксперимента фиксировали производительность печи, расходы топлива и воздуха, температуру печи с помощью штатных термопар, состав газовой среды в рабочем пространстве печи, а также дополнительно температуру поверхности оптическим пирометром. Исследованы слябы из наиболее представительных марок сталей и сплавов: 10сп, 79НМ, 12Х18Н10Т,

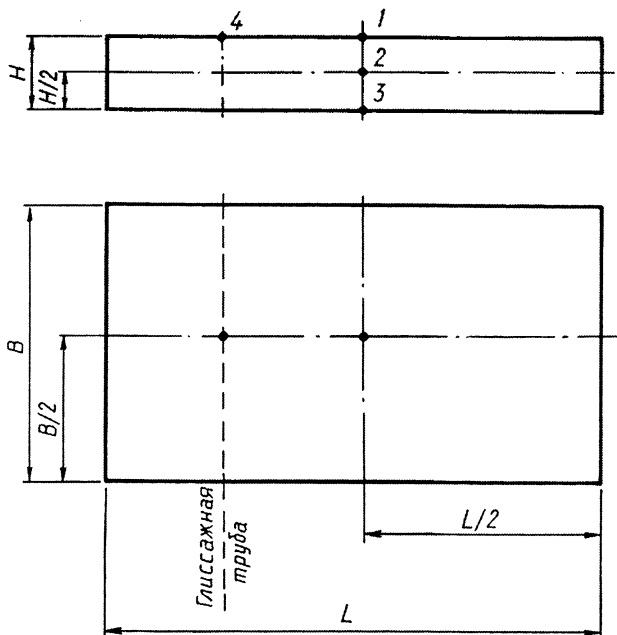


Рис. 2. Схема размещения термодатчиков: 1–4 – точки замера температуры

65X13, 29НК. В качестве примера на рис. 4 даны результаты термометрирования слябов из сталей 29НК и 12X18Н10Т. Из рисунка видно, что имеет место ярко выраженная несимметричность нагрева: максимальный перепад Δt при осуществлении форсированного режима нагрева сляба 29НК наблюдается в сварочной зоне и составляет 210° , что значительно превышает допустимую величину. Так, при величине перепада $280\text{--}320$ град/м, обеспечивающей удовлетворительный нагрев, для данной толщины сляба допустимая величина составит $35\text{--}43^\circ$. При длительном нагреве (12X18Н10Т) максимальный перепад наблюдается в дополнительной зоне нагрева и находится в допустимых пределах — $30\text{--}70^\circ$.

Весьма существенное влияние на динамику нагрева и конечное тепловое состояние слябов оказывает темп проталкивания, особенно в случае непредвиденных остановок стана. Так, при нагреве двух опытных слябов стали 12X18Н10Т установлено, что при длительной остановке стана и нахождении одного опытного сляба в дополнительной зоне, несмотря на снижение расхода газа по сравнению с нагревом в обычном темпе, наблюдался перегрев сляба при выдаче его из печи.

Анализ проведенных экспериментальных исследований позволил выявить следующие закономерности нагрева слябов в методической печи стана 810:

- для всех исследуемых слябов характерна несимметричность нагрева, при этом температура нижней поверхности значительно ниже верхней и близка к температуре оси симметрии сляба;
- в режиме форсированного нагрева максимальный перепад по сечению заготовки наблюда-

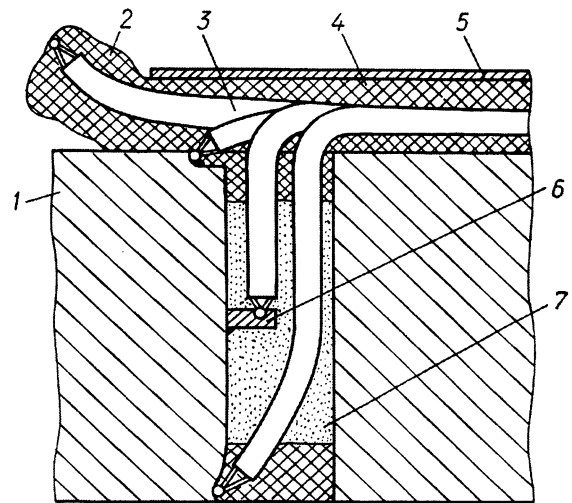


Рис. 3. Методика крепления термопар в опытном слябе: 1 – сляб; 2 – горячий спай термопары; 3 – двухканальная алундовая изоляция; 4 – каолиновая вата; 5 – стальной уголок; 6 – планка; 7 – оксид алюминия (порошок)

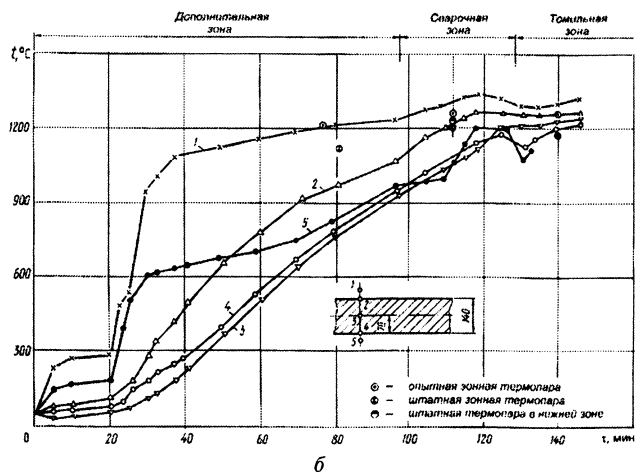
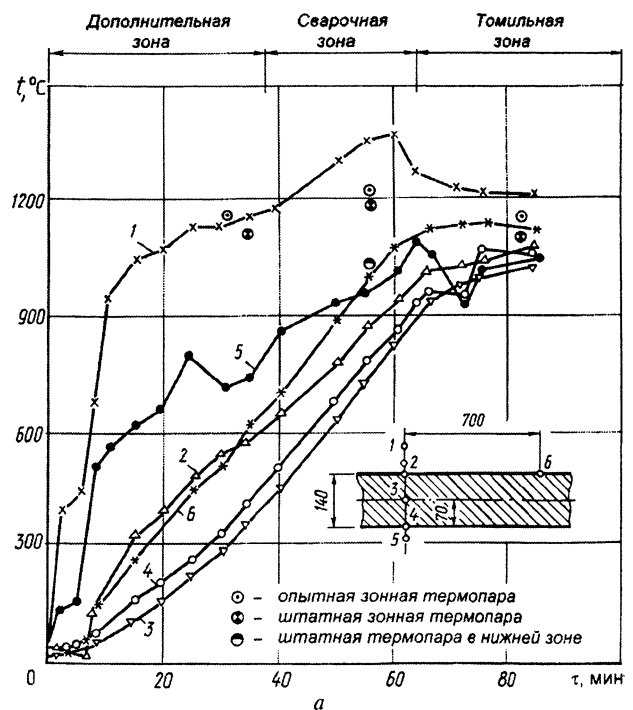


Рис. 4. Термограмма нагрева слябов из стали 29НК (а) и 12X18Н10Т (б) в печи стана 810 НМЗ

ется в сварочной зоне и превышает допустимую величину, в режиме длительного нагрева перепад смещается к началу нагрева и находится в пределах требуемого;

- при длительных остановках стана, несмотря на изменение температурного режима, происходит перегрев слабов.

Экспериментальное исследование процессов нагрева в печах с шагающими балками и шагающим подом. Печи с шагающими балками и шагающим подом в последнее время получили широкое распространение в практике металлургического производства, что обусловлено их преимуществами по сравнению с печами других типов: высокая производительность, возможность автоматизации и управления режимами нагрева, равномерный и всесторонний нагрев заготовок и др. При проведении промышленных экспериментов применительно к нагревательным печам станов 320 и 850 (рис. 5), функционирующим в условиях Белорусского металлургического завода, была использована методика, приведенная выше. Вместе с тем, учитывая, что уголок заготовки нагревается значительно быстрее, чем середина граней, возникла необходимость измерять дополнительно температуру в уголке заготовки [3, 4]. В связи с этим использовали схему монтажа термопар типа ХА с диаметром электродов 0,5 мм, аналогичную приведенной на рис. 2, однако дополнительно была использована термопара, располагающаяся в уголке заготовки. Таким образом, измерение температур при нагреве заготовок в печи с шагающими балками осуществлялось в четырех наиболее характерных точках заготовок: в середине нижней и верхней граней, центре и уголке заготовки. Результаты термометрирования непрерывнолитых заготовок сечением 0,125×0,125 м (печь стана 320) и сечением

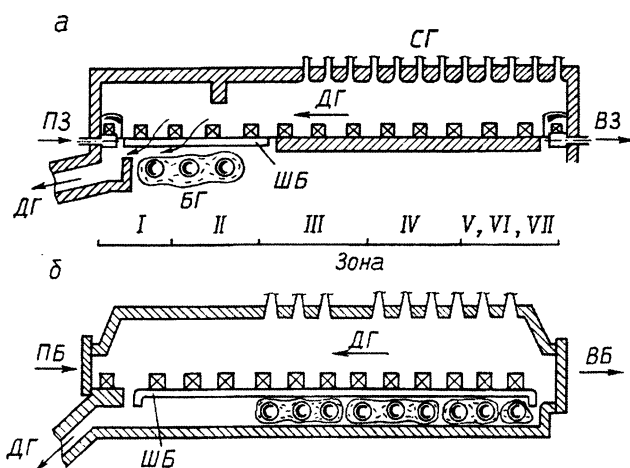


Рис. 5. Схема нагревательной печи с шагающими балками и шагающим подом стана 320 (а) и нагревательной печи с шагающими балками стана 850 (б) Белорусского металлургического завода: ПЗ, ПБ — посад заготовок и блюмов; ВЗ, ВБ — выдача; СГ — сводовые и боковые горелки; ШБ — шагающие балки; ДГ — дымовые газы

0,250×0,300 м (печь стана 850) из высокоуглеродистых марок сталей приведены на рис. 6. Здесь очевидно, что при нагреве заготовок сечением 0,125×0,125 м в печи стана 320 имеет место практически симметричный нагрев, незначительное расхождение между верхней и нижней поверхностями наблюдается при прохождении металла через зону шагающих балок. При этом температура нижней поверхности заготовки выше температуры верхней поверхности, что объясняется наличием боковых

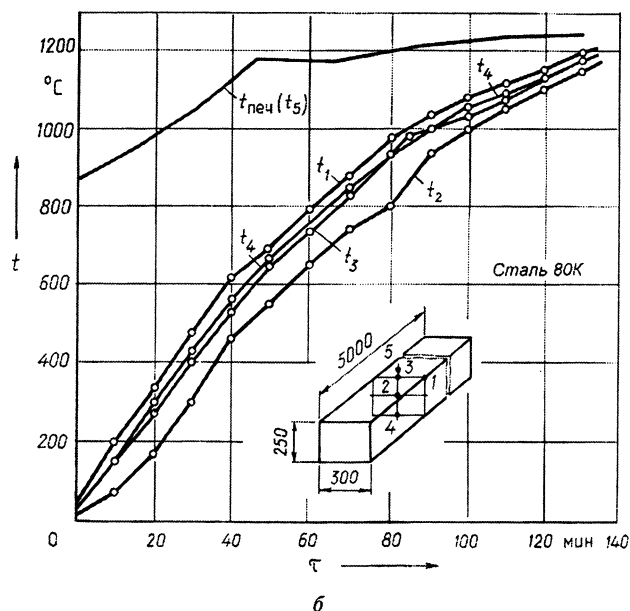
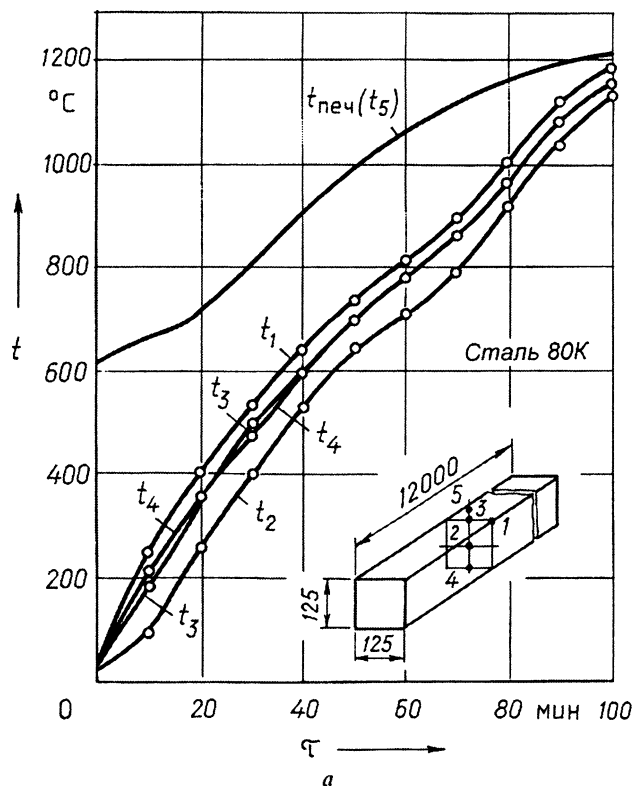


Рис. 6. Термограмма нагрева непрерывнолитых заготовок сечением 0,125×0,125 м в печи стана 320 (а) и сечением 0,250×0,300 м в печи стана 850 (б) БМЗ

длиннофакельных горелок в нижней зоне. В процессе нагрева наблюдаются два максимума температурного перепада (между центром и углом заготовки): в начале нагрева и при перлитном превращении. При нагреве непрерывнолитых заготовок сечением $0,250 \times 0,300$ м в печи стана 850 очевиден несимметричный нагрев, который характерен для первых двух зон печи (методической и первой отопливаемой), к концу нагрева температуры верхней и нижней поверхностей выравниваются и находятся на уровне $1170-1180^\circ\text{C}$. В процессе проведения экспериментов в соответствии с разработанной методологией фиксировали все основные показатели процесса нагрева, что позволило проанализировать тепловую работу печей и наметить пути совершенствования технологических режимов.

Экспериментальное исследование процессов нагрева осевых цилиндрических заготовок в кольцевых печах. К качеству нагрева металла в оцепрокатном производстве предъявляются повышенные требования с точки зрения получения высококачественной продукции. С учетом того, что около 70–80% металла нагревается в условиях длительной эксплуатации кольцевых печей, наибольший интерес представляют экспериментальные данные при нагреве осевых заготовок на деформированной подине. Промышленные эксперименты по измерению температурного поля цилиндрических осевых заготовок диаметром 0,23 и 0,27 м осуществляли в условиях кольцевых печей стана 250 Днепропетровского металлургического комбината им. Ф.Э. Дзержинского. Схема кольцевой печи для нагрева заготовок показана на рис. 7, методика проведения эксперимента детально описана в [4, 5]. Отметим характерные особенности проведения промышленных исследований. В связи с дальнейшей пластической деформацией осевых заготовок на стане поперечно-винтовой прокатки большое значение имеет равномерность нагрева как по сечению, так и по периметру и длине заготовок. Поэтому измерение температур осуществляли в характерных точках сечения заготовки (центр, нижняя и верхняя поверхность), в торцевой части и посередине и, кроме того, дополнительно три термопары были установлены в специальные отверстия по периметру в соответствии со схемой, показанной на рис. 8. В качестве датчиков использовали хромель-алюмелевые термопары с диаметром электродов 0,5–0,8 мм. Температуру печи в непосредственной близости от заготовки (5–7 мм) измеряли термопарой, закрепленной на заготовке и выступающей над ее поверхностью. В качестве примера на рис. 9 приведены результаты экспериментальных замеров температурных полей сплошных заготовок диаметром 0,23 м из осевой стали (сталь 45). Из рисунка видно, что до середины методической зоны нагрев металла осуществляется со скоростью нагрева 10–12 град/мин, причем

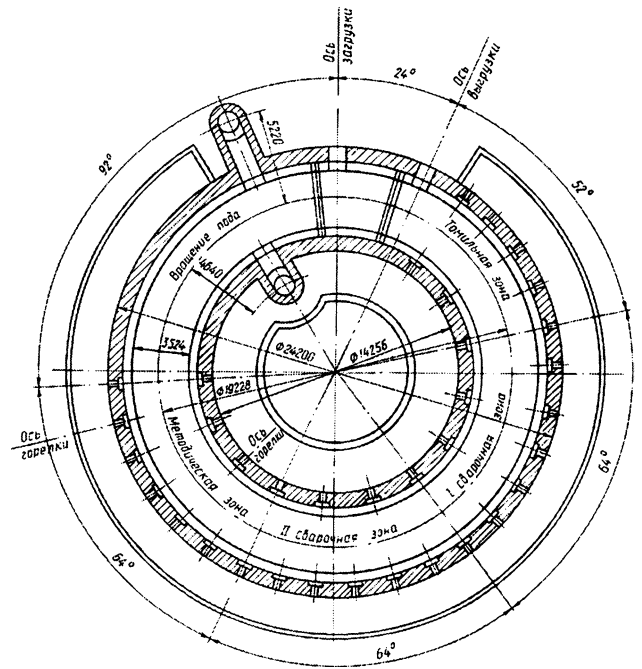


Рис. 7. Схема кольцевой печи оцепрокатного стана 250 Днепропетровского металлургического комбината

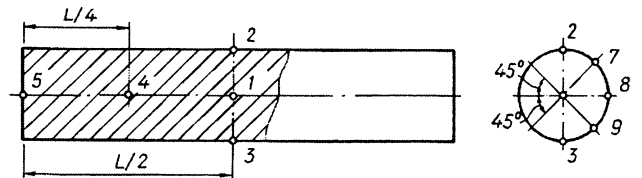


Рис. 8. Схема размещения термодатчиков: 1–9 — точки замера температуры

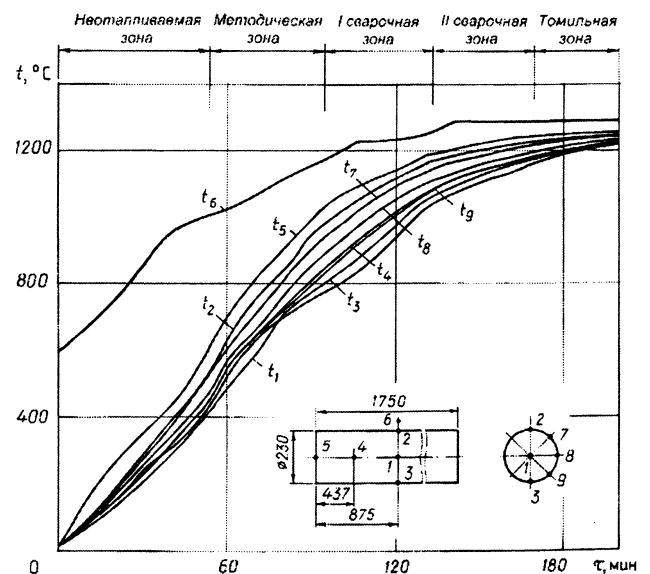


Рис. 9. Термограмма нагрева сплошной цилиндрической заготовки диаметром 0,23 м в кольцевой печи стана 250 ДМК

характерны практически одинаковая скорость нагрева для всех исследуемых точек и несущественный температурный перепад. Это объясняется тем, что нижняя поверхность заготовки нагревается за счет горячей подины. Максимальный температурный перепад наблюдается к началу сварочной зоны (280–300°C), в дальнейшем происходит уменьшение температурного перепада и к концу нагрева его величина достигает 20–30°C. Очевидно также и то, что наибольшую температуру имеют точки, наиболее удаленные от подины (торец и поверхность). Отмеченное свидетельствует о существенной несимметричности процессов нагрева заготовок относительно плоскости, перпендикулярной поду.

Заключение

Разработана методика проведения промышленных экспериментальных исследований процессов нагрева металла, учитывающая специфику действующего производства и технологические особенности современных газопламенных печей. Установлены закономерности внутреннего теплообмена в

печах различного конструктивного оформления: толкательного типа, с шагающими балками и шагающими подом, кольцевых печей.

Литература

1. Экспериментальное исследование процессов нагрева специальных сталей и сплавов в методических печах / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, Н.Л. Мандель и др. // *Металлургия и литейное производство*. Мн.: Беларуская навука, 1998. С. 22–26.
2. Промышленные теплотехнологии: 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.
3. Теплотехнология нагрева высокоуглеродистых марок сталей в печах с механизированным подом РУП “Белорусский металлургический завод” / В.И. Тимошпольский, В.В. Филиппов, И.А. Трусова и др. // *Изв. вузов и энерг. объединений СНГ. Энергетика*. 2001. №5. С.71–81.
4. 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. Мн.: Беларуская навука, 2001.
5. Дубина О.В., Тимошпольский В.И., Козлов С.М., Трусова И.А. Теплотехнический анализ несимметричного нагрева и кантования цилиндрических заготовок в пламенных кольцевых печах // *Металлургическая теплотехника*. Днепропетровск. 2001. Т. 4. С.162–167.



02.05-14Г.91. Применение метода литья под давлением для получения алюминиевых заготовок корпуса маслозакачивающего насоса дизельного двигателя.

Коростин С. Н., Леонов А. М. *Научно-техническое творчество молодежи: Сборник тезисов докладов 58 Научно-технической конференции студентов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава АлтГТУ им. И. И. Ползунова, Барнаул, апр., 2000. Ч. 1.* Барнаул: Изд-во АлтГТУ. 2000, с. 52. Рус.

Корпус маслозакачивающего насоса получают литьем под давлением на машинах гузнекового типа, на которых сжатый воздух создает необходимое давление заливаемого металла, и приводит в действие пневматический механизм, управляющий всеми рабочими движениями литейной машины. Сжатый воздух через патрубок подается в гузек и выталкивает металл через мундштук в пресс-форму (кокиль). После прекращения подачи сжатого воздуха гузек опускается в тигель, форма раскрывается, мундштук отходит от формы, а патрубок – от линии высокого давления и новая порция металла заливается в гузек. Затем процесс повторяется. Преимуществами этого метода является возможность приблизить очертания отливки к конфигурации готовой детали с высокой точностью и низкой шероховатостью поверхности и таким образом снизить объем механической обработки.

02.05-14Г.101. Новая УНРС для Grupo Siderurgicoil. New casting technology for Grupo Siderurgicoil. *Steel Times*. 1998. 226, № 2, с. 48. Англ.

Group Danieli and Co (Италия) получила заказ на строительство блюмовой УНРС для разливки качественных сталей.

02.05-14Г.102П. Способ изготовления кристаллизатора с износостойким покрытием. Verfahren zur Herstellung einer Stranggiebkokille mit verschleißfester Schicht: Заявка 10003827 Германия, МПК' В 22 D 7/06.

Koster Reimer. № 10003827.1; Заявл. 28.01.2000; Оpubл. 02.08.2001. Нем.

Предлагается способ изготовления медного кристаллизатора для установки непрерывной разливки с нанесением износостойкого покрытия на ограничивающие его полость поверхности. Покрытие из аморфного углерода с сетчатой структурой алмазных связей, доля которых превышает 80%, наносится последовательным воздействием на углеродные мишени возбуждаемой кратковременными интенсивными лазерными импульсами электрической дуги в вакууме, при этом продолжительность воздействия импульсов не превышает 200 мкс. При нанесении слоя покрытия толщиной от 0,5 до 2 мкм частицам углерода сообщается энергия свыше 50 электрон-вольт. Способом предусматривается нанесение как однослойных, так и многослойных высокоизносостойких покрытий.