

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.П. КОРОЛЕВА

Л.И. Лемков

РАДИАЦИОННЫЙ НАГРЕВ
ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Куйбышев 1978

В пособии изложены методы расчета радиационного нагрева листовых материалов. Рассмотрены вопросы определения времени нагрева и равномерности температурного поля по площади заготовки, конструирования излучающих панелей установок радиационного нагрева. Описана типовая конструкция УРН. В работе приведены некоторые справочные материалы, необходимые для курсового и дипломного проектирования.

Темплан 1978, поз. 1163.

Рецензенты: Е.В.Щибраев, Г.Г.Москвичев

Утверждено редакционно-издательским советом института 6.10.77 г.

В В Е Д Е Н И Е

Технология обработки давлением листовых материалов во многих случаях требует предварительного нагрева заготовок.

В настоящее время наиболее рациональным считается применение для нагрева листовых материалов теплового излучения, что объясняется высокой интенсивностью лучистого теплообмена. Наиболее высокие скорости нагрева можно допустить для термически "тонких" тел, в которых температурное поле можно считать по толщине равномерным. Как показали расчеты, к этой категории относятся очень многие листовые материалы, изготавливаемые из различных сталей и специальных сплавов.

Задача обработки листовых материалов требует принятия специальных мер против остывания заготовок при переносе их из нагревательного устройства к прессу. С инженерной точки зрения, эта проблема разрешается легко и изящно путем применения кварцевых излучателей. На их основе можно создать излучающие панели, которые устанавливаются непосредственно над заготовкой, лежащей в штампе. В настоящее время установки радиационного нагрева (УРН) успешно применяются на ряде передовых предприятий.

В пособии приведены расчеты времени нагрева листовых заготовок с помощью УРН, определены число ламп в излучающей панели, равномерность температурного поля в заготовке по ее поверхности. Рассмотрены конструктивные особенности типовой установки радиационного нагрева, вопросы компоновки ламп в панели и т.д. В Приложении даны сведения по кварцевым излучателям, режимам нагрева некоторых материалов, излучательным свойствам сталей и сплавов.

Обозначения

- Q - результирующий тепловой поток излучения, кВт/м², ккал/м²ч
 E - интенсивность излучения кварцевых излучателей, кВт/м²
 T - температура, К
 ε - степень черноты поверхности тела
 N - мощность единичного излучателя, кВт
 n - число излучателей
 η - коэффициент полезного действия излучателей
 ρ - плотность нагреваемого материала, кг/м³
 c - удельная весовая теплоемкость, кДж/кг К, ккал/кг К
 σ - толщина нагреваемого материала, м
 l_1 - длина излучающей части кварцевого излучателя (баллон), м
 B - расстояние между лампами вдоль их оси, м
 H - расстояние от излучателя до нагреваемого материала, м

Индексы

- I - нагреваемый металл
 2 - излучатель
 3 - экран-отражатель
 t - интегральное излучение
 h - полусферическое излучение
 n - нормальное излучение
 x - индекс расстояния от края нагреваемого листа

РАДИАЦИОННЫЙ НАГРЕВ

Физические основы применения радиационного нагрева

Радиационный нагрев относится к скоростным способам нагрева. Он осуществляется с помощью излучателей, имеющих высокую температуру. Закономерности теплообмена излучением, основанные на законе Стефана-Больцмана, обуславливают весьма высокие удельные потоки тепла, что дает возможность нагревать листовые материалы (например, титановые сплавы) за весьма короткое время. В связи с высокой интенсивностью радиационного теплообмена этот метод желательнее применять к термически "тонким" телам, т.е. к достаточно теплопроводным листовым материалам (медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы, титановые сплавы, нержавеющие стали и т.д.).

При прочих равных условиях скорость нагрева можно увеличивать для более теплопроводных материалов. Теплопроводность позволяет получить достаточно равномерное распределение температуры по толщине листа и, что более важно, — по его площади. Хотя в настоящее время в ряде статей и руководств радиационный нагрев рекомендуется применять для титановых заготовок, находящихся непосредственно на штампе, область его применения может быть значительно расширена. С помощью излучающих панелей можно осуществлять: полостный отжиг меди и ее сплавов, непрерывный отжиг тонких рулонных материалов (лента), нагрев тонких (мелких) деталей в тонких слоях, оплавление на изделиях керамических покрытий (эмалей), подогрев штампового инструмента и т.д. Такое широкое применение радиационного нагрева объясняется оп-

ределенными его достоинствами, к которым относятся:

- возможность осуществления скоростного нагрева (до 1000 град/мин);
- быстрый выход излучающей панели на стационарный режим после включения (несколько секунд);
- удобство регулирования работы УРН, что позволяет применять их для различных материалов в широком интервале температур;
- возможность установки излучающей панели непосредственно в рабочей зоне деформирующего оборудования, что обеспечивает более точное выполнение условий технологии по температуре нагрева заготовок;
- компактность установки;
- возможность автоматизации процесса нагрева;
- хорошие санитарно-гигиенические условия при эксплуатации радиационных установок;
- сравнительная простота конструкции установки, позволяющая изготовить ее в условиях предприятия.

Методика расчета нагрева излучающей панелью

Рассмотрим два варианта расчета нагрева. В первом случае нагреватели (силитовые стержни, ленты или спирали из нихрома, кварцевые лампы) могут быть расположены так, что образуют сплошную излучающую поверхность. При этом излучательные элементы должны располагаться вплотную друг к другу или в шахматном порядке.

С одной стороны такой излучающей системы на некотором расстоянии от нее располагается нагреваемый материал (лист), а с другой, для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду, — отражающий экран (полированный металлический лист) (рис.1).

Для такого случая, если задана или выбрана температура излучателей, сравнительно просто определяется полезный тепловой поток и тепловой поток, идущий в потери. Это обусловлено тем, что нагреваемый лист и экран-рефлектор не "видят" друг друга.

Полезный поток тепла

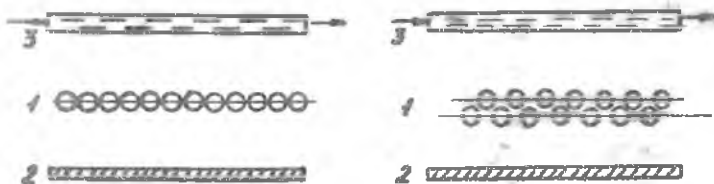
$$Q_{1-2} = \varepsilon_{np} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad \text{кВт/м}^2. \quad (I)$$

поток тепла, идущий в потери,

$$Q_{1-3} = \varepsilon_{np1-3} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right], \quad \text{кВт/м}^2. \quad (2)$$

Полная мощность нагревателя

$$Q_H = Q_{1-2} + Q_{1-3}. \quad (3)$$



Р и С.И. Расположение кварцевых излучателей в виде сплошного излучающего слоя: 1 - кварцевые излучатели; 2 - нагреваемая листовая заготовка; 3 - водоохлаждаемый экран

В этих соотношениях температура излучателя задается, конечная температура металла известна, температура экрана при наличии водяного охлаждения может быть принята равной

$$T_3 = 283 \pm 293 \text{ К.}$$

В соотношениях (1) и (2):

$$\varepsilon_{np1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad \text{обычно это} \quad \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1};$$

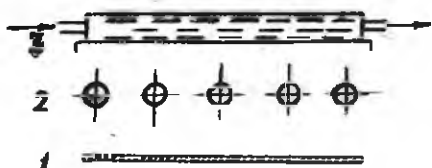
$$\varepsilon_{np1-3} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_3} - 1}, \quad \text{обычно это} \quad \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{1}{0,2} - 1} \approx 0,175;$$

$$C_0 = 4,96 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{град}^4 = 5,77 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}^4.$$

После определения мощности (суммарной) по соотношению (3) необходимо подобрать число реальных нагревателей. Они должны быть размещены на площади, равной или несколько превышающей площадь нагреваемого листа, и притом так, чтобы образовалась сплошная излучающая поверхность. Это важно, так как на таком расположении элементов основан метод расчета.

Второй метод расчета предлагается для случая, когда отражающий экран-рефлектор сквозь промежутки между излучающими элементами

"видит" нагреваемый лист металла и таким образом участвует в теплообмене с ним. Такая система сложна для расчета. Схема расположения излучателей, рефлектора и нагреваемого металла показана на рис. 2.



Р и с. 2. Взаимное расположение кварцевых излучателей, рефлектора и нагреваемого металла при радиационном нагреве:
 1 - нагреваемый листовой материал;
 2 - кварцевые излучатели; 3 - водосхлаждаемый акран

Из этой схемы видно, что поток энергии, падающий на поверхность листа, равен сумме двух потоков - прямого потока Q_{1-2} от излучателя и отраженного Q_{3-2} от рефлектора. Естественно принять, что система излучателей излучает в сторону листа и рефлектора симметрично:

$$Q_{1-2} = \frac{Nm}{2} \eta; \quad Q_{1-3} = \frac{Nm}{2} \eta, \quad (6)$$

где N - мощность одного излучателя, потребляемая от сети, кВт;

m - число излучателей;

η - КПД излучателя.

Отраженный поток

$$Q_{3-2} = \frac{Nm}{2} \eta (1 - \epsilon_3), \quad (7)$$

где ϵ_3 - степень черноты рефлектора (обычно $\epsilon_3 = 0,1-0,2$)

Сумма двух потоков тепла

$$Q_{\text{сум}} = \frac{Nm}{2} \eta + \frac{Nm}{2} \eta (1 - \epsilon_3) = Nm \eta \left(1 - \frac{\epsilon_3}{2}\right) \dots \quad (8)$$

Из потока тепла $Q_{\text{сум}}$ нагреваемый лист воспринимает часть:

$$Q_2 = Q_{\text{сум}} \epsilon_2 \gamma, \quad (9)$$

где γ - коэффициент, учитывающий многократное отражение (с частичным поглощением) лучистого потока между листом и рефлектором,

$$\gamma = \frac{1}{\epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_2 \epsilon_3}. \quad (10)$$

Или

$$Q_2 = Nm \eta \left(\frac{1}{\epsilon_3} - \frac{1}{2} \right) \epsilon_{3-2}, \quad (11)$$

$$\text{где } \varepsilon_{3-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} - 1}. \quad (12)$$

Энергия теплового потока \dot{Q}_2 расходуется на нагрев металла и на потери тепла излучением, теплопроводностью и свободной конвекцией от листа:

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_{\text{аккумуляция}} + \dot{Q}_{\text{луч}} + \dot{Q}_{\text{конв}} + \dot{Q}_{\text{л}}.$$

Полезное тепло $\dot{Q}_{\text{аккумуляция}}$ определяется на I м² листа:

$$\dot{Q}_{\text{аккумуляция}} = c\rho\delta dT. \quad (13)$$

~~Потери тепла излучением (в сторону оснастки)~~

$$\dot{Q}_{\text{луч}} = \varepsilon_{\text{лр2-осн}} c_0 \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{осн}}}{100} \right)^4 \right], \quad (14)$$

где

$$\varepsilon_{\text{лр2-осн}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{осн}}} - 1} \approx 0,8 \div 0,85; \quad (15)$$

$$T_{\text{осн}} = 293 \text{ K}.$$

Потери тепла конвекцией (свободная конвекция) при нагреве длительностью до I мин обычно пренебрежимо малы, так как движение не успевает развиться и стабилизироваться.

Более существенную часть в потерях тепла может составить потеря теплопроводностью (контактный теплообмен) от листа в оснастку, особенно если лист закреплен на оснастке при значительном усилии прижатия. В этом случае контактное термическое сопротивление между листом и оснасткой может оказаться сравнительно небольшим, что приведет к значительному отводу тепла с участков контакта в массивные детали оснастки. Чтобы избежать этого, в отдельных местах между листом и оснасткой располагают тонкие асбестовые прокладки, ставят тонкие выступающие стержни, или делают отгибы листа по кромке и приподнимают лист над оснасткой.

Объединяя равенства (8), (13), (14), получим уравнение теплового баланса:

$$\left\{ N\pi\eta \left(\frac{1}{\varepsilon_3} - \frac{1}{2} \right) \varepsilon_{3-2} - \varepsilon_{2-осн} c_0 \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{осн}}{100} \right)^4 \right] F \right\} d\tau = c\rho\delta F dT. \quad (16)$$

Из этого уравнения, обозначив:

$$N\pi\eta \left(\frac{1}{\varepsilon_3} - \frac{1}{2} \right) \varepsilon_{3-2} - \varepsilon_{2-осн} c_0 \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{осн}}{100} \right)^4 \right] F = \bar{K}, \quad (17)$$

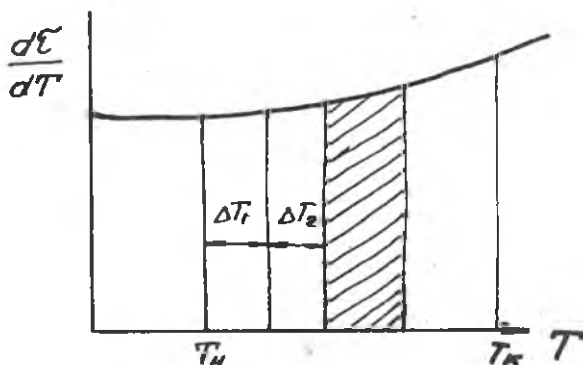
можно определить время нагрева

$$\tau = \int_{T_H}^{T_K} \frac{c\rho\delta F}{K} dT. \quad (18)$$

В соотношении (17) первое слагаемое - постоянная величина, а второе слагаемое - нелинейный комплекс, Структура (17) несколько затрудняет интегрирование (18).

Для практических вычислений весь интервал нагрева $T_H \div T_K$ разбивается на участки и по участкам строится кривая (рис.3):

$$\frac{d\tau}{dT} = f(T) = \frac{c\rho\delta F}{K}.$$



Р и с.3. Определение времени нагрева листовой заготовки

Время нагрева определяется как площадь под этой кривой.

Отметим в заключение, что предлагаемый метод расчета позволяет учесть зависимость от температуры теплоемкости нагреваемого материала. При вычислениях берут осредненные значения c для интервалов ΔT_i .

Равномерность нагрева листовой заготовки

При расчете времени нагрева листовой заготовки было принято, что излучение панели имеет одинаковую плотность по всей площади заготовки. Поэтому можно принять, что температурное поле по поверхности заготовки равномерное.

В итоге задача о теплообмене листа и излучающей панели была сведена к балансовому уравнению (16).

Однако в реальных условиях приходится сталкиваться с явлением неравномерного нагрева по поверхности заготовки. Исследования показали, что в значительной мере это зависит от конструкции нагревательной панели (в основном - от компоновки ламп-излучателей).

Неравномерность нагрева становится более ощутимой (при прочих равных условиях) в тех случаях, когда нагрев проводится быстрее и когда нагреваемый материал обладает меньшим коэффициентом теплопроводности.

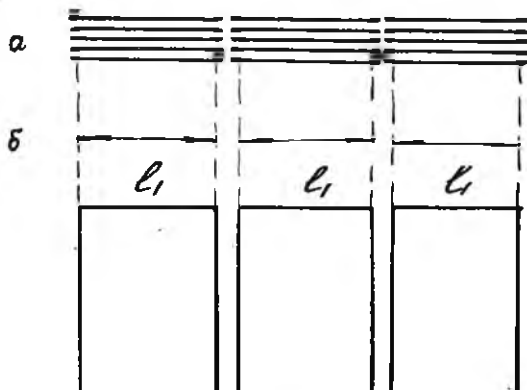
Проведенные исследования разных схем размещения ламп в панелях показали, что причиной неравномерности нагрева по поверхности листа являются неравномерность излучения вдоль осей ламп и неравномерность излучения на краях панели.

Причиной неравномерности первого типа (вдоль осей ламп) является то, что излучающая панель имеет обычно несколько рядов расположенных параллельно нагревателей (ламп).

На схеме (рис.4) показано также расположение излучателей.

Наличие зазоров между торцами ламп и охлаждаемых водой цоколей (колодок ламп) приводят к неравномерности нагрева заготовки.

Излучающие ряды ламп (см. рис.4,а) можно условно заменить сплошными излучающими полосами (см. рис.4,б).



Р и с.4. Схема расположения кварцевых излучателей на панели (в плане)

Для оценки неравномерности излучения от наличия зазоров между полосами можно использовать результаты исследования (3). Для оценки неравномерности падающего излучения приводятся графики зависимости относительной величины излучения по длине лампы (излучающей полосы) - рис.5. [4].

На графиках (см. рис.5) обозначено: E_0 - падающее излучение (определяется расположением точек на листе относительно излучателя); E - собственное излучение лампы; H - расстояние от излучателя до заготовки; B - ширина зазора между лампами (это обычно ширина токоподводящих колодок).

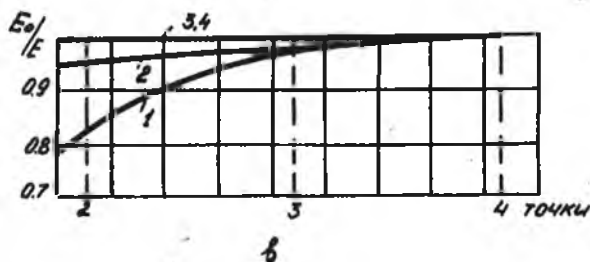
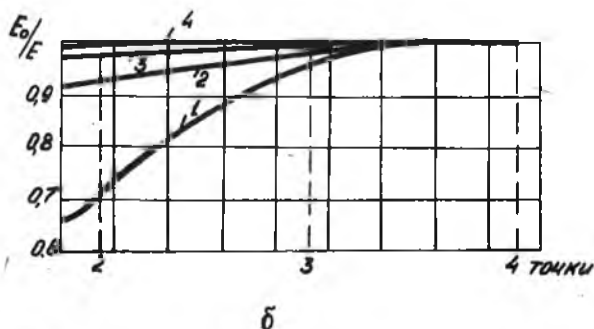
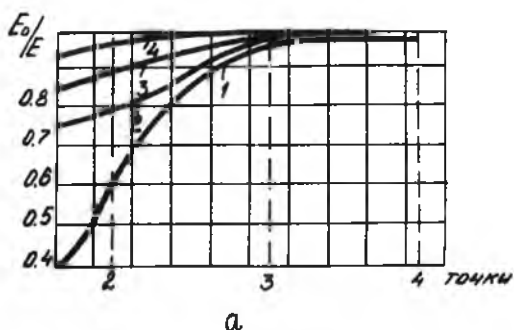
В качестве меры неравномерности облучения листа можно использовать величину

$$\Delta E = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max}} \quad (19)$$

Эту характеристику можно определять по графикам, приведенным на рис. 6 для разной высоты H и разных величин ширины колодки B [4]. Графики, приведенные на рис. 5,6, позволяют дать следующие рекомендации по выравниванию облученности листовых заготовок при радиационном нагреве. Равномерность облученности может быть значительно улучшена при уменьшении зазора между рядами ламп, поэтому необходимо при компоновке изучающих панелей располагать торцы ламп как можно ближе друг к другу, даже вплотную, и применять по возможности лампы с меньшими размерами колодок. Наилучшие результаты могут быть получены при использовании ламп с плоским цоколем. Другим путем уменьшения неравномерности облученности может быть смещение ламп относительно друг друга так, чтобы их цоколи разместились в межламповых промежутках.

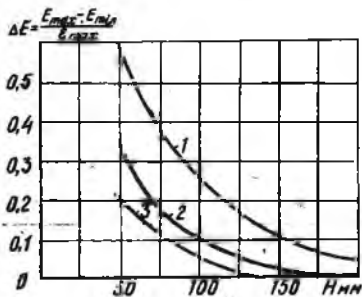
Из графиков на рис. 5,6 видно, что равномерность облученности ухудшается при близком расположении панели около листа заготовки. При высоте $H=50$ мм неравномерность облученности может стать недопустимой. Поэтому можно рекомендовать высоту панели над листом от 100 мм и выше, но не более 200 мм, так как это приведет к увеличению боковых потерям и к увеличению времени нагрева, т.е. к потере ряда положительных свойств, присущих описываемому способу нагрева.

В связи с тем, что размеры панели обычно почти такие же, как у



Р и с. 6. Распределение падающего излучателя
вдоль осей излучателя:
1, 2, 3, 4 - соответственно при $H = 50, 100, 150,$
200 мм; а - при $B = 60$ мм
б - при $B = 30$ мм, в - при $B = 20$ мм

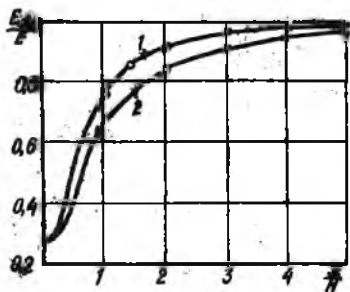
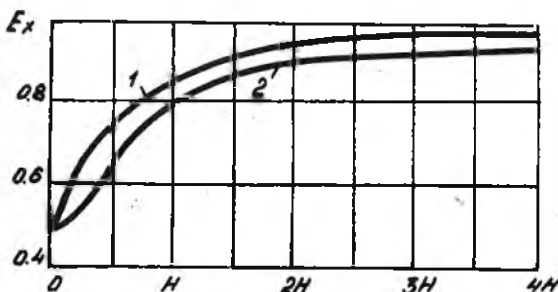
нагреваемого листа, появляется неравномерность нагрева на краях листа и особенно на его углах. Компенсировать этот недостаток



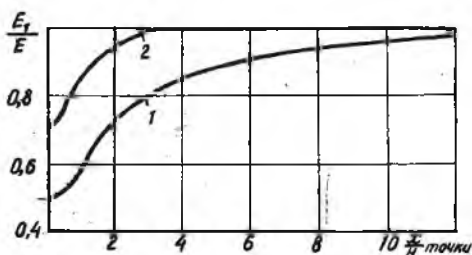
Р и с. 6. Максимальная неравномерность падающего излучения в установках с различной шириной токоподводящих колодок, мм: 1, 2, 3 — соответственно $B = 60, 30, 20$ мм

за счет увеличения размеров излучающей панели не следует, так как при этом может быть утрачено важное преимущество установки радиационного нагрева — компактность, подвижность панели и т.д. Для этих целей лучше применять более мощные излучатели на краях панели или боковые висячие отражатели. Чаще применяются обе эти меры. На рис. 7, 8, 9, 10 приведены графики зависимости облученности возле угла и края листа при использовании боковых

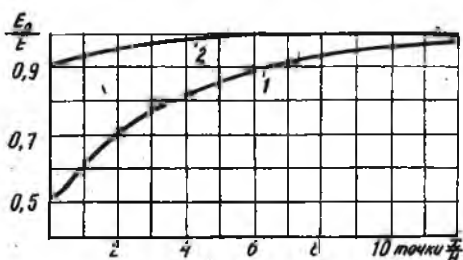
Р и с. 7. Распределение падающего излучения у края нагревательной панели: 1 — без рефлектора; 2 — с рефлектором



Р и с. 8. Распределение падающего излучения возле угла нагревательной панели: 1 — без рефлектора; 2 — с рефлектором; H — стн. расстояния от угла листа



Р и с.9. Распределение падающего излучения возле края панели [4]: 1 — с излучателями одинаковой мощности; 2 — с тремя крайними излучателями повышенной мощности



Р и с.10. Общий вид установки типа УРН - I

экранов, более мощных ламп на краях панели и для случая, когда имеется или отсутствует рефлектор.

Методические указания к выбору конструкций радиационных установок

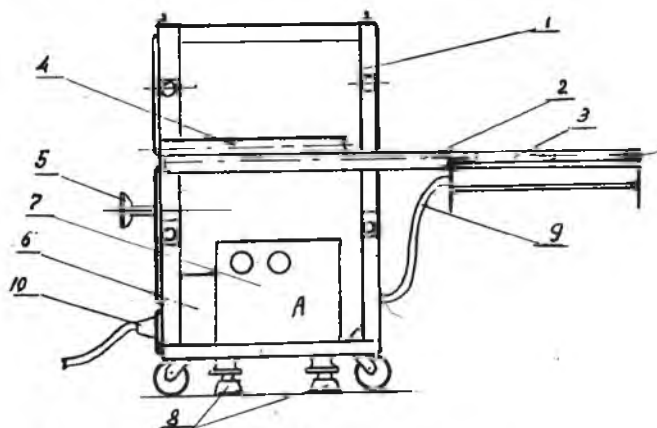
Наибольший опыт в конструировании радиационных установок для нагрева листовых материалов накоплен в НИАТ и на предприятиях авиационной промышленности. Основываясь на некоторых опубликованных статьях и РТМ, рассмотрим конструкции установок радиационного нагрева (УРН).

Конструкция радиационной установки состоит из следующих основных узлов: излучающей панели, блока питания, блока автоматики, системы охлаждения излучающей панели, механизма для перемещения панели.

Для радиационного нагрева наибольшее распространение получили установки типа НЛТ-2, УРН-1, УРН-2, РНУ-1, РНУ-2 и др. Эти установки предназначены для нагрева листовых заготовок непосредственно в рабочей зоне молота или прессы.

Основные технические характеристики перечисленных установок приведены в табл. I (Приложение).

На примере установки типа УРН рассмотрим типовую конструкцию. Главной частью установки (рис. II) является корпус I, который



Р и с. II. Установка типа УРН

выполнен в виде шкафа-тележки. В корпусе размещены электрооборудование 7, механизм перемещения нагревательной панели 4,5, устройства водяного охлаждения (штуцера, вентили, реле давления, шланги и т.д. 6). К штепсельным разъемам на корпусе установки подсоединяется кабель электропитания и кабель, соединяющий УРН с блоком автоматики и управления, который обычно располагается рядом с устройством управления прессом.

Нагревательные панели установок данного типа обычно комплектуются кварцевыми лампами НИК 220х1000 или КИ 220х1000. На силовой раме панели установлен экран-отражатель с устройством водяного охлаждения, а перед ним - контактные колодки для ламп. В ряде случаев с боков панели подвешиваются боковые отражатели.

У некоторых установок, как видно из табл. I, излучающие панели состоят из двух секций, которые наклонены к плоскости заготовки под углом 18° . Такая панель называется шатровой. Эта конструкция имеет некоторые преимущества перед плоской панелью, в частности, при повторных нагревах в заготовке получается более равномерное поле температуры (по поверхности).

Обязательным требованием для панелей любого типа является интенсивное охлаждение поверхности экрана и контактных колодок ламп. Охлаждение производится обычно водой без установки дополнительных насосов от водопровода технического водоснабжения.

Однако для правильного выбора сечения каналов для прохода охлаждающей воды необходим гидравлический расчет всей системы в целом. Охлаждающая вода составляет значительную долю от веса панели. Чтобы снизить вес панели, необходимо уменьшать сечения для прохода воды (что возможно при увеличении скорости ее движения) применять более легкие сплавы в ее конструкции (1, 2, 3, 4). В частности, для отражающих экранов рекомендуется применять электрохимически полированный алюминий (марки А1, А2, АМг). С целью получения легкой конструкции панели нужно проводить прочностные расчеты, учитывая прочность алюминиевых сплавов при повышенных температурах. Чтобы каналы и полости панели не раздуло давлением воды, необходимо ввести необходимое количество ребер жесткости и перегородок.

Панель 3 укрепляется в раме, которая перемещается в выдвижных направляющих-консолях 2. Перемещение панели в рабочее положение и возврат ее в исходную позицию осуществляется с помощью гидроцилиндра 4 (см. рис. II). Гибкий кабель 9 обеспечивает токоподвод к панели от основного блока установки. Положение панели по высоте может регулироваться с помощью ручной лебедки 5. Для фиксированной установки агрегата имеется выдвижные (вызывающиеся) опоры 8.

Л и т е р а т у р а

Г. З е р н о в И. А. Листовая штамповка с радиационным нагревом. Труды НИИТ, РТМ-1161, 1968.

2. З е р н о в И.А. Выбор параметров радиационных установок с учетом требований равномерности нагрева. Приложение к журналу "Авиационная промышленность", 1968, № 8.
 3. З е р н о в И.А. Исследование неравномерности нагрева в радиационных установках. Труды НИАТ, 1966.
 4. Л о г и н о в а Н.Н. Исследование материалов для рефлекторов радиационных установок. Приложение к журналу "Авиационная промышленность", 1968, № 8.
 5. Г у р е в и ч В.З. Электрические инфракрасные излучатели. ГЭИ, М.-Л., 1963.
 6. Г р и г о р ь е в К.А., Н у ж н ы й В.А., Ш и б а н о в Б.В. Таблицы для расчета нестационарных температур плоских тел при нагреве излучателями. М., "Наука", 1971.
 7. М и х е е в М.А. Основы теплопередачи. ГЭИ, М.-Л., 1962.
 8. К у т а т е л а д з е С.С., Б о р и ш а н с к и й В.М. Справочник по теплопередаче. М.-Л., ГЭИ, 1959.
 9. Теплофизические свойства веществ (справочник). Под редакцией В а р г а ф т и к а Н.Б. М.-Л., ГЭИ, 1956.
 10. Излучательные свойства твердых тел (справочник). Под редакцией Ш е й д л и н а А.Е. М., "Энергия", 1974.
 11. Ч и р к и н В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М., Атомиздат, 1968.
 12. С в е н ч а н с к и й А.Д., Т р е й з о н З.П. Автоматизация электротермических установок. М., "Энергия", 1968.
-

П Р И Л О Ж Е Н И Е I

Т а б л и ц а I

Технические характеристики установок
радиационного нагрева

Параметр	УРН-1	УРН-2	РНУ-1	РНУ-2	НЛТ-2
Температура нагрева, °С	1000	1000	1000	1000	650
Время нагрева ($\sigma = 0,5-3,0$) до 850°С, мин	0,9-3,5	то же	то же	то же	то же
Неравномерность нагрева, °С	5 - 35	5 - 25	5 - 35	5 - 35	25-30
Источник нагрева	Л а м п ы		Н И К	220х1000	
Напряжение сети, В	220/380				
Мощность установки, кВт	27	108	120-360	30-80	256
Размеры заготовки, мм	295х470	650х950	2000х1300	650х950	1000х1500
Форма панели	плоская	патровая	плоская	плоская	плоская
Длина продольного хода панели, мм	600	1200	2000	1000	1400
Время отвода панели в исходное положение, с	4	4	3	3	3
Высота установки панели над уровнем пола, мм	900-1200	-	1000-1300	-	1000-1200

Продолжение табл. I

Параметр	УРН-1	УРН-2	РНУ-1	РНУ-2	НЛТ-2
Габариты установки, мм	8555х	1500х	3000х	2500х	-
	х945х	х1315х	х2550х	х2500х	
	х1530	х2030	х1400	х2000	
Вес установки, кг	3000	500	1000	800	600

Т а б л и ц а 2

Режимы нагрева титановых сплавов
под штамповку

Марка сплава	Рекомендуемый температурный интервал нагрева под штамповку на первом и последующих переходах штамповки, °С
ВЦ-1	700-800
ОТ4-0	
ОТ4-1	750-800
ОТ4	
ВТ4	750-800
ВТ5-1	750-850
ВТ6, ВТ6с, ВЦ4, ВЦ6	780-820 (из отожженной заготовки)
ВЦ5	700-800
ВТ20	800-850

Т а б л и ц а 3

Время нагрева листовых заготовок
из титановых сплавов, с

Температура нагрева, °С	Т о л щ и н а л и с т а, мм						
	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0
до 650	23-25	25-27	32-34	36-38	38-40	46-48	56-58
720	-	-	-	45-50	55-60	85-90	105-110
800	-	-	-	70-75	80-85	110-115	125-130
850	-	-	-	80-85	90-95	125-130	155-160

П р и м е ч а н и е. Установка УРН-2, расстояние от панели до заготовки - 50 мм, заготовка укладывается на холодную цинковую матрицу.

Т а б л и ц а 4

Технические характеристики кварцевых ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряже- ние, В	Срок служ- бы	Длина, мм	Тип цок- ля	Конструкция баллона лам- пы
НИК 220-1000	1000	220	5000	370	круглый	прямая
КИ 220-1000	1000	220	5000	370	плоский	"-
КИ 220-1300	1300	220	2500	305	"-	"-
КИ-220-1750	1750	220	3500	370	"-	"-
КИО-220-2500	2500	220	2000	440	"-	с отогнутыми концами
НИК 380-2000	2000	380	5000	600	круглый	прямая
КИ 380-3550	3550	380	50	750	"-	"-
КИ 380-4500	4500	380	-	1000	плоский	с отогнутыми концами

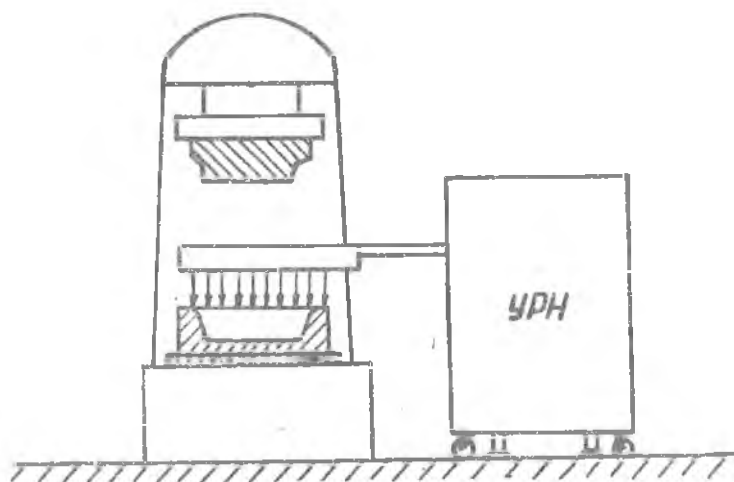
Т а б л и ц а 5

Величины интегрального коэффициента
поглощения [4]

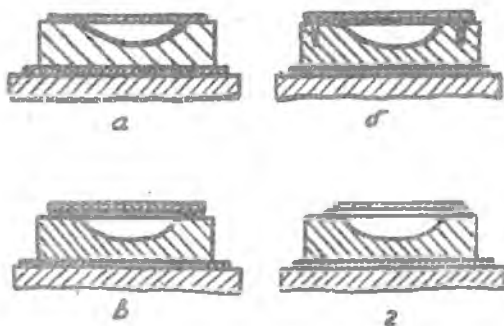
Материал	Состояние поверхности	Коэффициент поглощения для кварцевых ламп
IXI8H9T	В состоянии поставки	0,33
IXI8H9T	Механически полирована	0,39
IXI8H9T	Электрохим.полирована и оксидирована	0,50
Латунь Л62	То же	0,21
Л62	Выдержка 100 ч при 500°C в атмосфере	0,44
ДИ6АТ	Механически полирована	0,32
Плакированный		
АДМ	То же	0,28
АДМ	В состоянии поставки	0,18
АДМ	Электрохимически полирована	0,16
АМг6	В состоянии поставки	0,16
АМг6	Механически полирована	0,21
АМг6	Электрохимически полирована	0,09
АМг6	Электрохимически полирована и оксидирована	0,28
АМцАМ	Механически полирована	0,37
АМцАМ	В состоянии поставки	0,22

П р и м е ч а н и я. Свойства материалов определялись после выдержки в течение 100 ч при температуре 500°C.

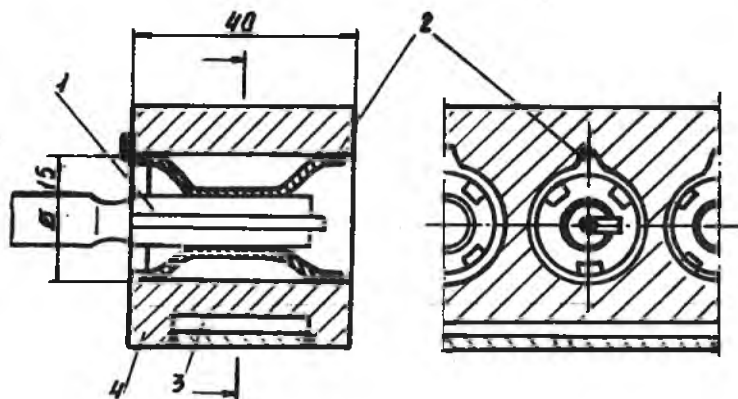
ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Р и с. 1. Схема расположения УРН и прессы

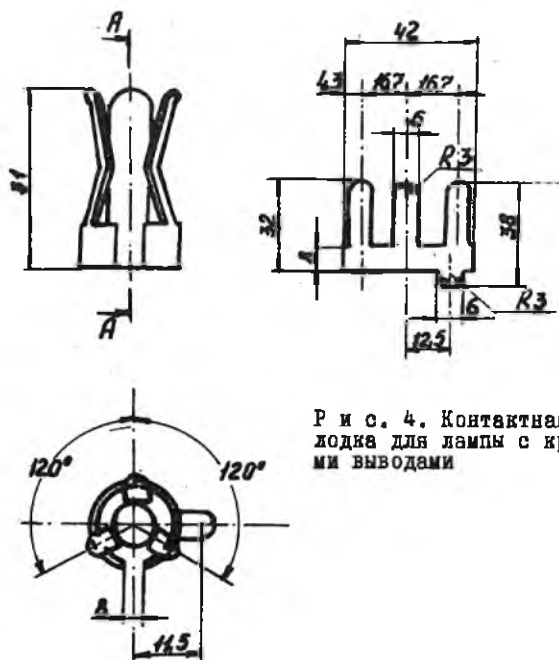


Р и с. 2. Расположение заготовки на штампе:
 а - непосредственно на поверхности штампа;
 б - с опорой на штыфы;
 в - на изолирующей прокладке;
 г - с опорой на отогнутые кромки листа

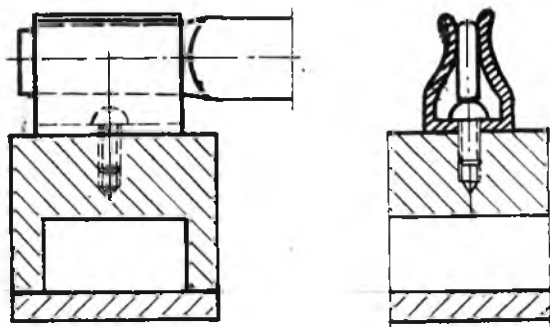


Р и с. 3. Контактная колодка для лампы с плоскими выводами

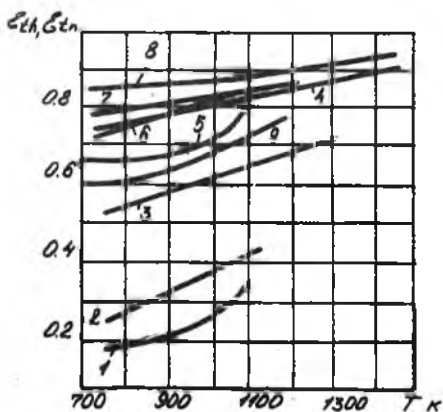
Развертка



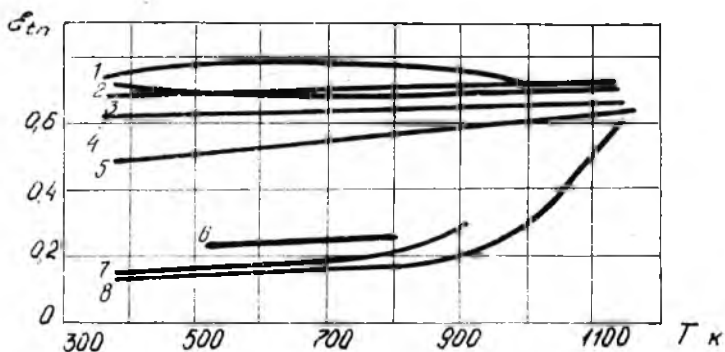
Р и с. 4. Контактная колодка для лампы с круглыми выводами



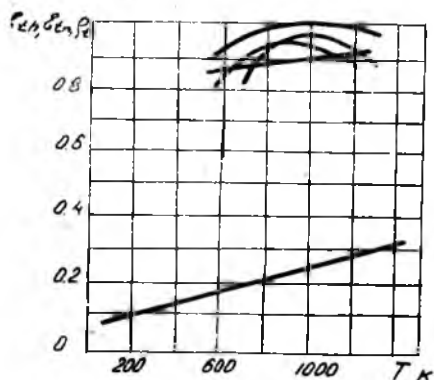
Р и с. 5. Групповая контактная колодка с водяным охлаждением:
 1 - цоколь лампы; 2 - контактные пружины;
 3 - полость охлаждения; 4 - корпус контактной колодки



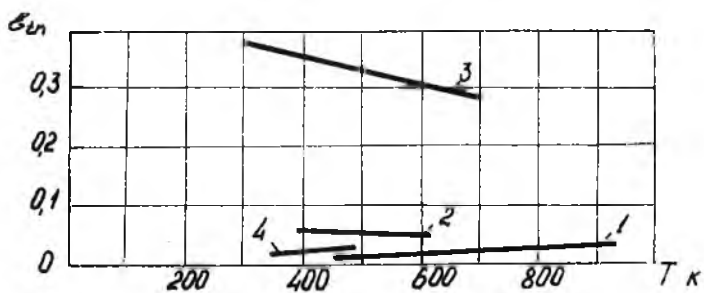
Р и с. 6. Излучательная способность нихрома [10] (интегральная полусферическая и нормальной степени черноты):
 1 - 8 - сплав $Ni = 77,94\%$
 $Cr = 19,87\%$; $Si = 1,44\%$; $Mn = 0,06\%$;
 9 - сплав $Ni = 80\%$, $Cr = 20\%$; 1 - поверхность после прокатки, неокисленная;
 2, 3, 4 - окислена 15 мин соответственно при 1088, 1254, 1423 К; 5 - неокисленная поверхность после пескоструйной обработки; 6, 7, 8 - окислена 15 мин соответственно при 1088, 1254, 1423 К;
 9 - поверхность окислена 2 ч на воздухе при 1254 К



Р и с. 7. ϵ_{ln} , ϵ_{th} для сплава 1х13ВНГ [10]:
 1 - мех. полирование поверхности; 2 - окисление 2 ч при 637 К; 3 - окисление 1 ч при 1173 К; 4 - окисление 2 ч при 1173 К; 5 - окисление 0,5 ч при 1273 К; 6 - окисление 1 ч при 1273 К; 7 - окисление 0,5 ч при 1373 К; 8 - окисление 10 ч при 923 К.



Р и с. 8. ϵ_{ln} , ϵ_{th} , ρ_t для углеродистых сталей [10]: ϵ_{th} - 1 - полированная малоуглеродистая сталь; 2 - Ст.20 полированная, окисленная поверхность при $T > 1000$ К; ϵ_{ln} - 3 - Ст 15, Ст 50 - поверхность полированная, окисление при $T > 1073$ К; 4 - малоуглеродистая сталь, окислена при 1255 К в течение 15 мин; 5 - малоуглеродистая сталь, окислена после прокатки; ρ_t - 6 - Ст 45 полированная поверхность $\varphi = 12^\circ$; 7 - то же, $\varphi = 38^\circ$.



Р и с. 9. δ_{zn} для алюминиевого сплава Д 16 [10]:
 1 - поверхность полирована; 2 - поверхность не полирована; 3 - поверхность вытравлена на воздухе; 4 - поверхность в состоянии поставки

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение.....	3
Обозначения.....	4
РАДИАЦИОННЫЙ НАГРЕВ.....	5
Физические основы применения радиационного нагрева.....	5
Методика расчета нагрева излу- чающей панелью.....	6
Равномерность нагрева листовой заготовки.....	10
Методические указания к выбору конструкций радиационных уста- новок.....	15
Литература.....	17
Приложение 1.....	19
Приложение 2.....	23

Лев Иосифович Жемков

РАДИАЦИОННЫЙ НАГРЕВ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Редактор Э.А.Грязнова, Техн. редактор Н.М.Каленюк
Корректор С.С.Рубан

Подписано в печать 29.05.78 г. ЕО 00158
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.
Офсетная печать. Усл.п.л.1,63.Уч.-изд.л.1,78.
Тираж 500 экз. Заказ № 4721 . Цена 10 коп.

Куйбышевский авиационный институт им. С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Ротапринтный цех областной типографии им. Мяги,
г. Куйбышев, ул. Венцева, 60.