И.Ю. Михайлова

Лакокрасочные покрытия

Учебное пособие

Киров
2012

покрашу.ру

Лекция *10*

Сушка (отверждение) ЛКМ

Сушка ЛКМ необходима для получения прочной, долговечной твердой пленки, хорошо сцепленной с подложкой и сохраняющей изделие от химического и физического воздействия окружающей среды.

Процесс сушки разных по природе ЛКМ различается.

Непревращаемые ЛКМ образуют обратимую твердую пленку без химических превращений. Процесс сушки заключается только в удалении из ЛКМ растворителя. Если такую пленку после сушки обработать растворителем, то она вновь перейдет в жидкотекучее состояние.

Превращаемые ЛКМ образуют необратимую твердую пленку в результате химических реакций (окисления, полимеризации и поликонденсации). Сушка таких материалов протекает сложнее: на первой стадии происходит испарение из материала растворителя, на второй стадии – химические превращения в молекуле с образованием пространственных связей между молекулами. Обработка в растворителе просушенного ЛКМ не переводит его в жидкотекучее состояние. На протекание первой стадии требуются наибольшие затраты тепла, но процесс относительно быстрый. На протекание второй стадии затрат тепла требуется меньше, но процесс длительный, расходуется 80 – 90 % времени, отведенного на сушку.

Сравнительная характеристика искусственной и естественной сушки

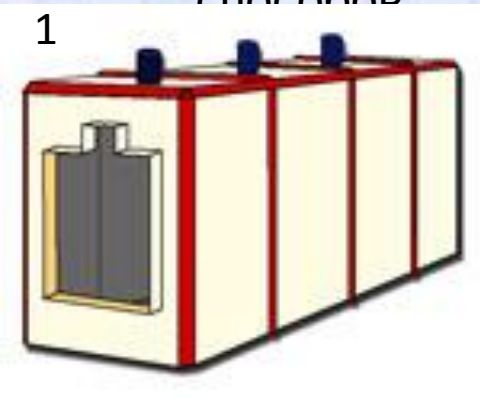
Параметр	Естественная сушка	Искусственная сушка
Условия проведения	Температура помещения +15 – 20 °С, не ниже +12 °С; относительная влажность до 65 %; достаточный воздухообмен; отсутствие пыли	Повышенная температура; специальное оборудование: нагревательное устройство, позволяющее организовать сушку в потоке в условиях массового производства
Применение	Непревращаемые ЛКМ, из которых только удаляется растворитель. Превращаемые материалы не высыхают или сохнут долго, не обеспечивая требуемых свойств ЛКП	Превращаемые ЛКМ, из которых не только удаляется растворитель, но и протекают химические реакции. Процесс образования твердой пленки существенно ускоряется.

Поскольку при искусственной сушке в начальный период времени происходит значительное поглощение тепла на нагрев изделия и испарение растворителя, создают интенсивное движение воздуха относительно окрашиваемой детали. Это обеспечивает отвод паров растворителя для ускорения сушки, кроме того, исключает образование в окружающем пространстве взрывоопасных концентраций растворителя.

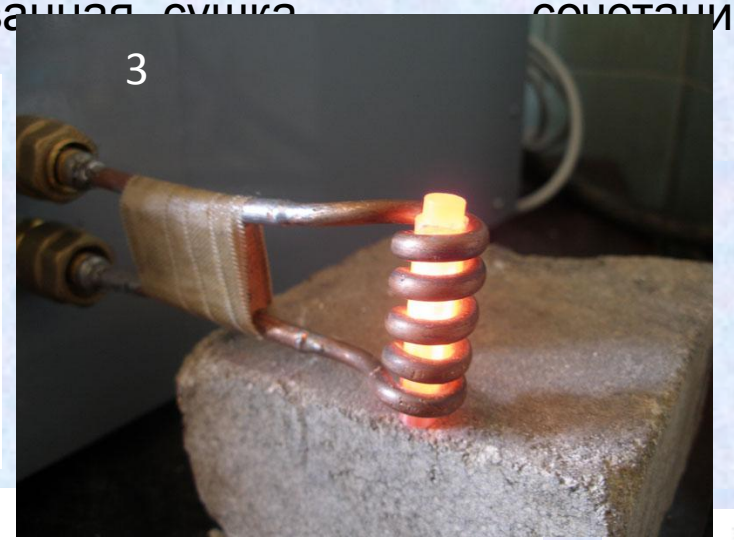
Способы искусственной сушки

1) Конвекционная сушка - горячим воздухом;
2) терморадиационная сушка - инфракрасными лучами;
3) индукционная сушка - индукционными токами высокой частоты;
4) сушка ртутно-кварцевыми лампами - ультрафиолетовыми лучами;
5) «электронная пушка» - воздействием пучка ускоренных электронов;
6) комбинированная сушка - сочетанием вышеперечисленных способов.

1



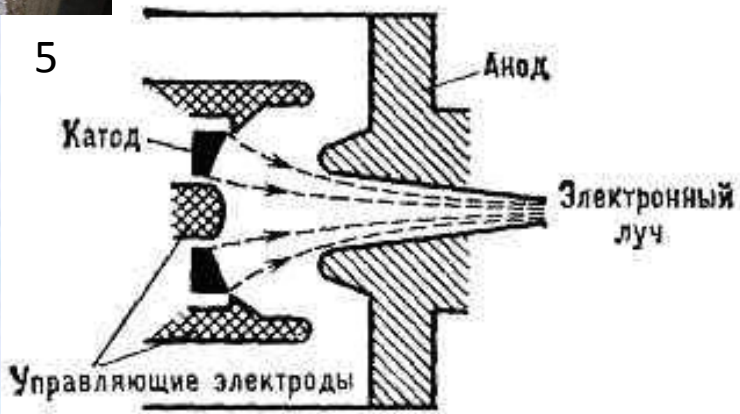
3



4

2

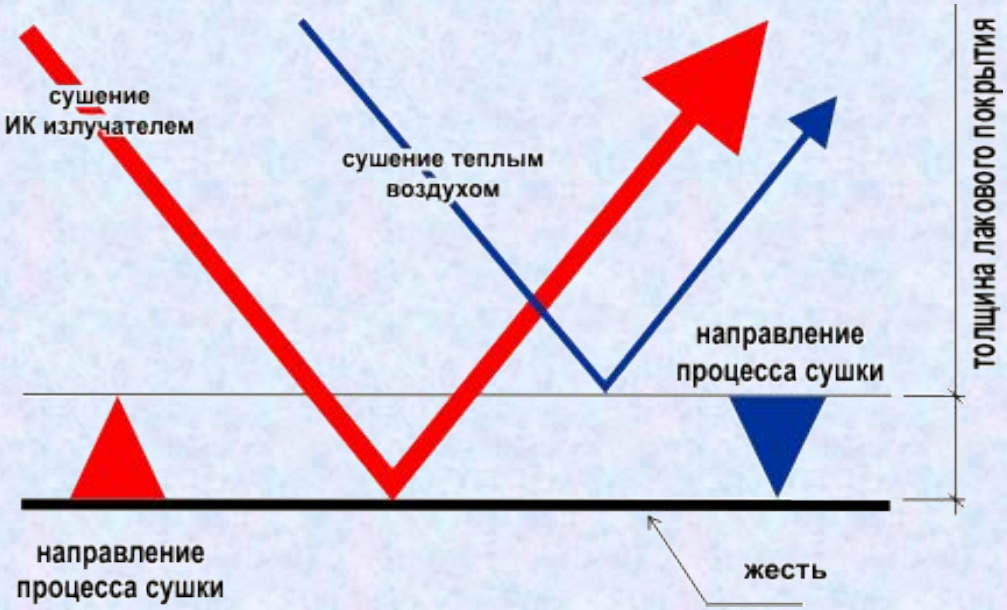
5

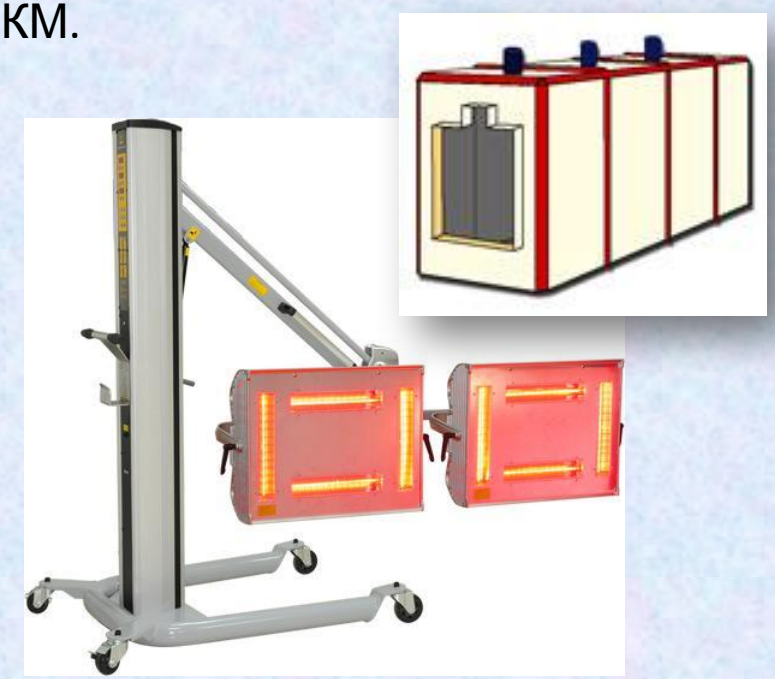


Сравнительная оценка некоторых способов сушки

ЛКМ	Температура сушки, °С	Продолжительность высыхания	
		Конвекция, ч	Терморадиация, мин
Эмаль ПФ-133 светлосерая	18 - 20 80 100	24 - 36 1,5 1,0	- 48 36
Эмаль ЭП-74 черная полуглянцевая	18 - 20 150	∞ 1,0	- 10
Эмаль МС-17	18 - 20	0,5	

Из таблицы видно, что процесс сушки ЛКМ терморадиацией происходит более интенсивно, чем горячим воздухом. Продолжительность сушки определяется природой пленкообразующего ЛКМ.





В устройствах для ***конвекционной сушки*** передача тепла происходит при непосредственном контакте горячего воздуха и детали. Чтобы исключить влияние окружающей среды, окрашенные изделия помещают в специальные теплоизоляционные устройства – ***камеры (шкафы, печи).***

Нагрев воздуха до заданной температуры проводится в водяных, паровых, электрических или газовых калориферах. Циркуляция воздуха обеспечивается вентиляторами. Скорость подачи воздуха в камеру должна быть такой, чтобы он омывал окрашиваемые детали, не перемещая (не сбивая) их.

Оптимальный режим сушки - температура воздуха и продолжительность - выбирают индивидуально для каждого ЛКМ.

Сушильные устройства бывают периодического (***тупиковые камеры***) и непрерывного ***(проходные камеры)*** действия (рис. 1, 2).

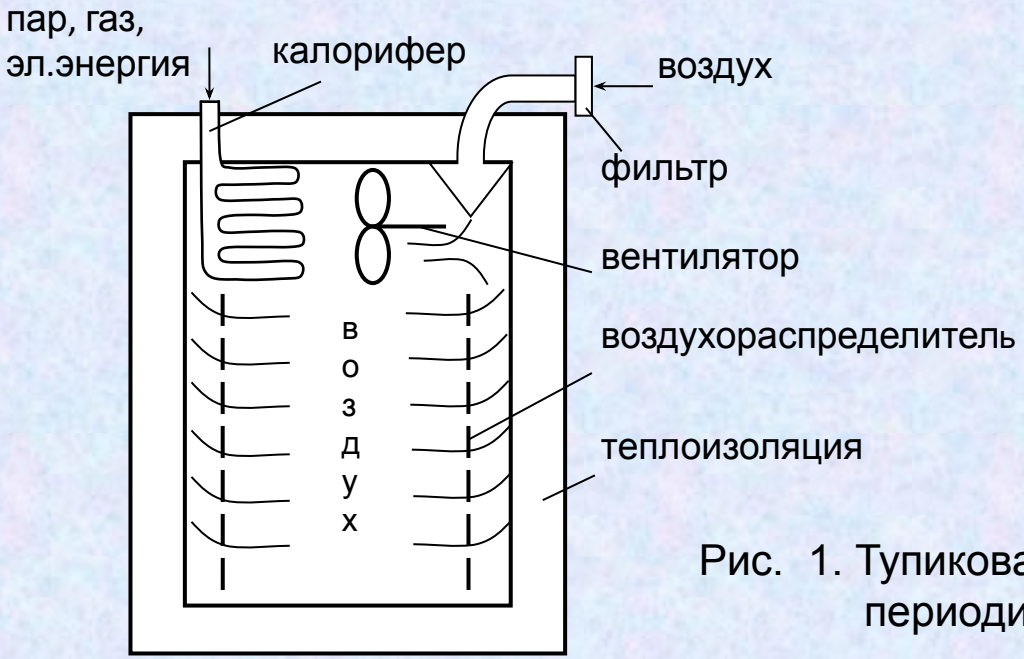
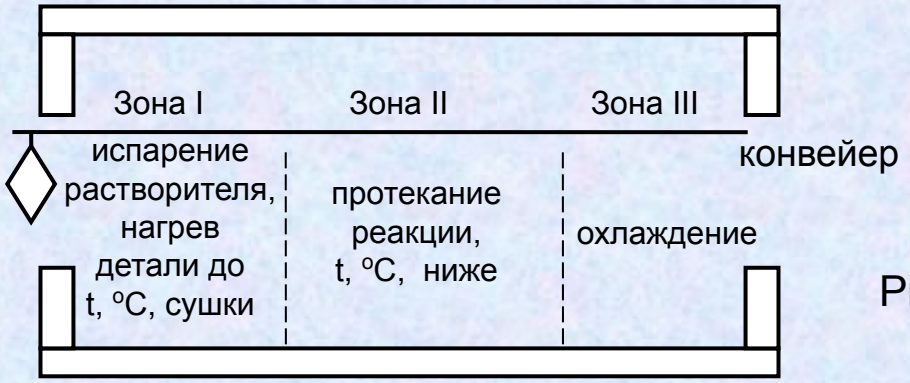


Рис. 1. Тупиковая сушильная камера периодического действия



$\tau = const$ по технологии $\tau_{сумма} = \tau_{движ} + \tau_{пауза}$

$l = v\tau$; $v = l/\tau$

Рис. 2. Проходная сушильная камера непрерывного действия

По типу перемещающего устройства проходные камеры разделяют на одноцепные, тележечные, рольганговые. Движение перемещающего устройства либо непрерывное, либо пульсирующее. В камерах непрерывного действия выделяют зоны:

- испарения растворителя (повышенные температура и воздухообмен, небольшое время);
- реакционную (протекание реакций, температура ниже, чем в первой зоне, но продолжительность процесса значительно больше);
- охлаждения (чтобы не было термоудара).

Терморадиационная сушка основана на передаче тепла с помощью лучистой энергии (инфракрасных лучей). Тепло передается мгновенно, без потерь, так как инфракрасные лучи проходят через воздух со скоростью света и не теряют при этом энергии. Поэтому температура изделия быстро повышается и сушка ускоряется.

Свойства ЛКП после сушки терморадиацией лучше, чем термоконвекцией (рис. 3). При конвекционной сушке в первую очередь нагреваются и твердеют поверхностные слои ЛКМ. Направления потоков тепла (отверждения) и выходящего растворителя – встречные, при неправильном режиме сушки это приведет к нарушению сплошности покрытия (разрывы выходящим растворителем). При терморадиационной сушке лучи проходят через ЛКМ, задерживаются в материале детали, вызывая его нагрев. Отверждение ЛКМ начинается у поверхности детали. Потоки тепла (отверждения) и выходящего растворителя сонаправленные. Это не мешает выходу растворителя и не приводит к нарушению покрытия.

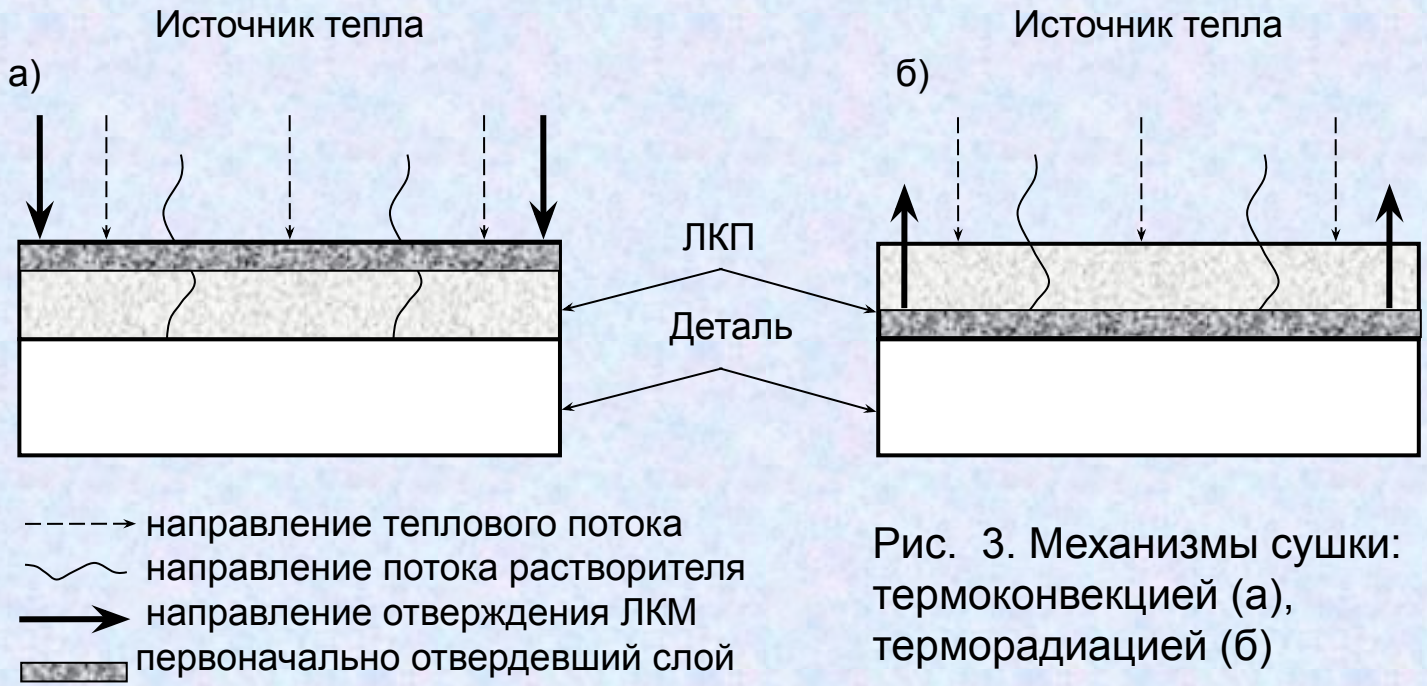


Рис. 3. Механизмы сушки: термоконвекцией (а), терморадиацией (б)

Особенность инфракрасных лучей – линейное распространение. Поэтому в углублениях и при экранировании деталей друг другом сушка неравномерная (рис. 4). Чтобы это исправить, источники лучей ставят со всех сторон детали. Расстояние от генератора лучей до детали 100 - 400 мм.

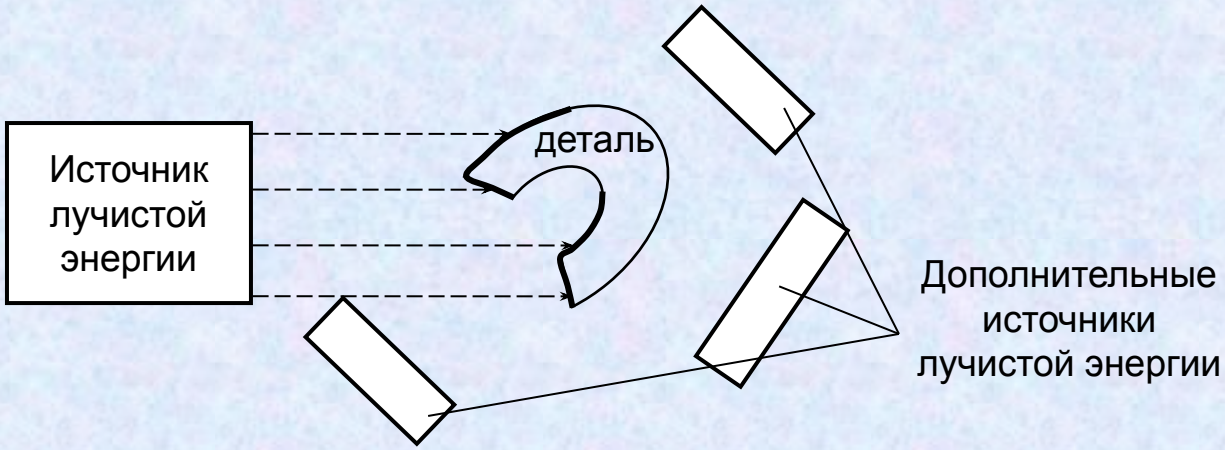
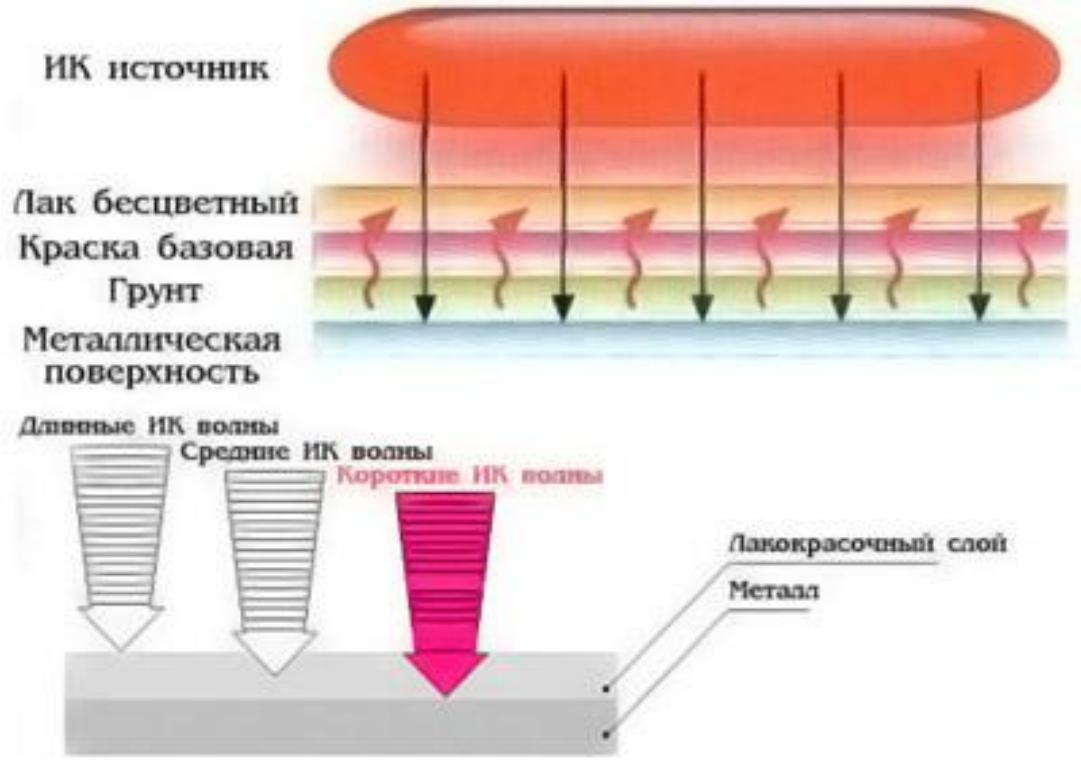


Рисунок 4

Быстрее высыхают ЛКМ черного, коричневого, синего, зеленого (темных) цветов, причем на основе одного и того же пленкообразователя. Медленнее сохнут серые и бежевые ЛКМ. Белые ЛКМ при такой сушке желтеют. Наибольшая скорость высыхания наблюдается у пленкообразователей МЛ, МЧ, средняя – у ПФ и ГФ, низкая – у КФ.

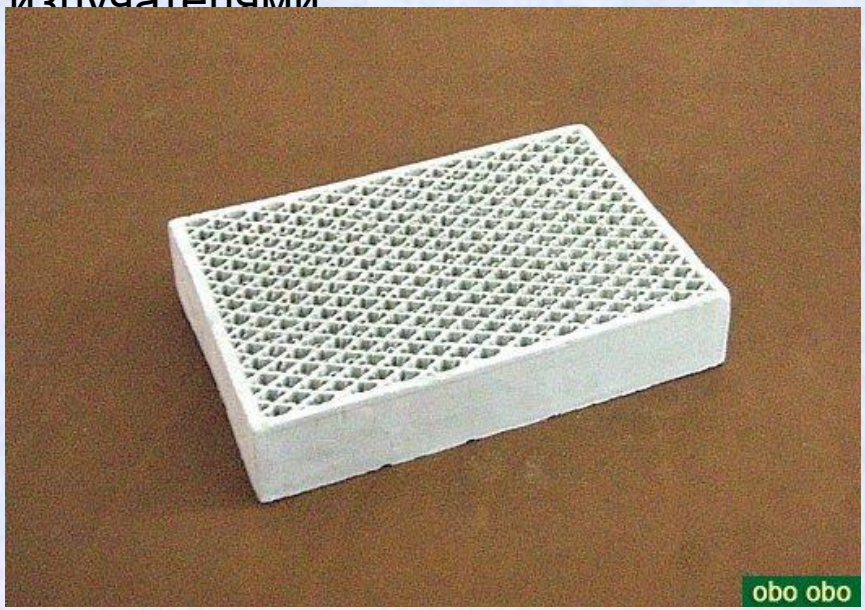
Источники (генераторы) лучей. ***Ламповые (рефлекторные)*** излучатели просты в устройстве, позволяют ускорить сушку (по сравнению с термоконвекцией) в 3 - 4 раза. Лампы стеклянные, поэтому хрупкие. Максимальная длина волны излучения ламп 1,5 мкм. Эффективность сушки ламповыми излучателями не высока, так как большая часть тепловой энергии излучения длиной волны 0,76 - 1,5 мкм поглощается и отражается слоем ЛКМ, не проникая до металла подложки. Более того, в этом диапазоне длин волн поглощение и отражение для ЛКМ различных цветов не одинаково. При одной и той же энергетической освещенности окрашенные в разные цвета поверхности нагреваются по-разному. КПД ламп невелик. Используются главным образом в лабораториях.



«Темные» панельные излучатели не имеют недостатков ламповых. Длина волны излучения 3,5 - 5 мкм. Такие лучи имеют большую проникающую способность, которая увеличивается с увеличением длины волны излучения. Для черных и коричневых ЛКМ проницаемость лучей составляет 80 – 95 %.

Простые по конструкции, прочные «темные» излучатели представляют собой чугунные или керамические плиты, внутри которых расположены каналы. По каналам подается греющий агент – горячий газ или электрический ток. Сжигание газа (природного или пропанобутановой смеси) происходит либо непосредственно в панелях, либо в выносных топках. Температура излучающей поверхности – не более 400 – 500 ^{o}C.

Продолжительность сушки панельными излучателями сокращается в 4 - 5 раз по сравнению с конвекцией и в 3 раза по сравнению с ламповыми излучателями.



Трубчатые излучатели – *ТЭНы* представляют собой трубку, внутри которой помещается спираль, обложенная электрическим изолятором с хорошими теплопроводящими свойствами (рис. 5). Их можно использовать самостоятельно или заливать в чугунные или керамические панели – панельный излучатель.

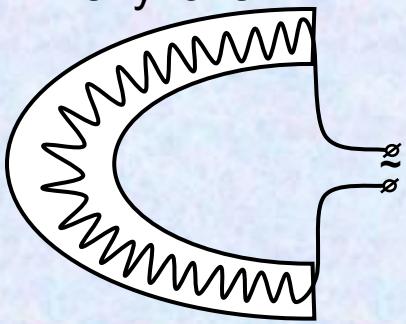
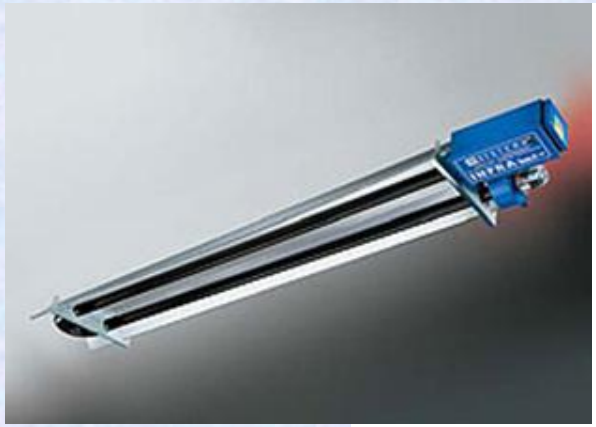


Рис. 5. ТЭН



Индукционная сушка. Принцип действия заключается в том, что деталь нагревается за счет индуцированных в ней токов. Механизм отверждения покрытия такой же, как и при терморадиационной сушке. Если поместить деталь в катушку, по обмотке которой протекает переменный ток большой силы и высокой частоты, то внутри катушки возникнет переменное магнитное поле, которое, взаимодействуя с металлической деталью, создаст в ней переменный (вихревой) ток. При этом поверхность детали быстро нагреется.

В зависимости от материала детали сушка осуществляется в широком диапазоне частот – 500 - 300000 Гц. В промышленности используют генераторы частотой 500 - 12000 Гц. Меняя частоту тока, изменяют глубину нагреваемого слоя металла.

Сталь 45	Частота тока, Гц	50	500 - 5000	50 000
	Глубина проникновения, мм	0,5	0,5 - 1,5	2

Электропитание индукционной установки осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 - 380 В.

Время сушки составляет 1,5 - 5 минут. Это в 10 раз быстрее, чем при конвекции. При равном удалении детали от стенок индуктора и вращении обеспечивается равномерный прогрев.

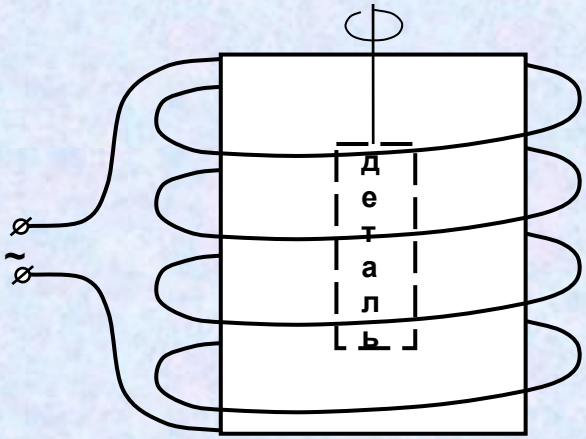


Рис. 6. Индуктор

Индукционная сушка применяется преимущественно для сушки окрашенных изделий из листовой стали. Например, продолжительность сушки цельнометаллических окрашенных вагонов составляет 15 - 30 мин. Индукционную сушку применяют также для окрашенных колес, контейнеров и других изделий.

Установка для сушки автомобильных фар: вдоль конвейера, на подвесках которого навешены окрашенные корпуса фар, устанавливают индукторы, изогнутые по форме фар. Расстояние между поверхностью фар и индукторами 10 -15 мм. Изделия нагреваются до 140 – 150 °С; процесс сушки дл

Сушка ультрафиолетовыми лучами длиной волны 300 - 400 нм проводится ртутно-кварцевыми лампами, при этом ускоряются химические реакции. Широко используется в производстве печатных плат.

Сушка ускоренными электронами с энергией 0,02 - 0,11 кДж проводится на установке «электронная пушка».

Катод нагревается в вакууме (Р = 1,36 - 13,6 МПа), излучаемые им электроны проходят через ускоритель, где их скорость увеличивается. С помощью вспомогательных электродов электронный пучок разворачивается в виде плоской ленты, которая подается на деталь.

Для охлаждения деталей после сушки используют обдувку воздухом или специальные охлаждающие установки.