

импульс давления в электрическую величину, и регистрирующего самопишущего прибора, так как этот метод обеспечивает точность измерений с известной систематической погрешностью.

УДК 628.52

М.И. Курпан (канд. техн. наук),
Э.В. Сенькевич (канд. техн. наук)

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ДОЖИГАНИЕМ ПАРОВ РАСТВОРИТЕЛЯ

Современным перспективным направлением, .. исключающим или резко снижающим выброс вредных веществ в атмосферу из сушильных камер, является замкнутый технологический процесс, при котором очистка отбросного воздуха производится в схеме обогрева сушильной установки. К такому способу относится попутное термическое дожигание паров растворителей [1]. Однако практическое воплощение предлагаемого способа влечет за собой необходимость увязки вопросов техники и технологии процесса сушки и сжигания горючих газов на основе действующих правил и норм пожаро- взрывобезопасности и промышленной санитарии окрасочных цехов [2].

Процесс сушки лакокрасочных материалов с точки зрения теплообмена состоит из двух периодов: в начальный период деталь с нанесенной лакокрасочной пленкой разогревается до заданной температуры, а затем производится выдержка и полимеризация покрытия. Для каждого вида лакокрасочных материалов разработаны свои режимы сушки, обеспечивающие твердость покрытия и его оттенок в зависимости от температуры сушки и времени выдержки [3, 4]. Анализ этих зависимостей показывает, что необходимое качество лакокрасочной пленки можно получить различными режимами нагрева и выдержки, граничные значения которых определяют область рабочих режимов сушки.

В процессе разогрева наблюдаются значительные колебания температур на поверхности сушимых деталей, что обуславливается массивностью стенок детали, переменным значением коэффициента облученности и другими причинами. Режим разогрева любой детали можно представить в виде определенной температурной области. Графическое выражение области рабочих режимов разогрева деталей может быть использовано для по-

следующего выбора оптимального температурного режима сушки. Накладывая рекомендуемую область рабочих режимов сушки покрытий на область рабочих режимов разогрева деталей, получаем наглядную картину для выбора желаемого технологического режима (рис. 1).

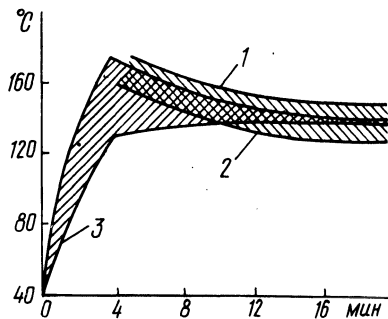


Рис. 1. Рабочие режимы сушки лакокрасочных покрытий: 1 - кривая сохранения оттенка; 2 - кривая заданной твердости покрытия; 3 - режим нагрева изделий.

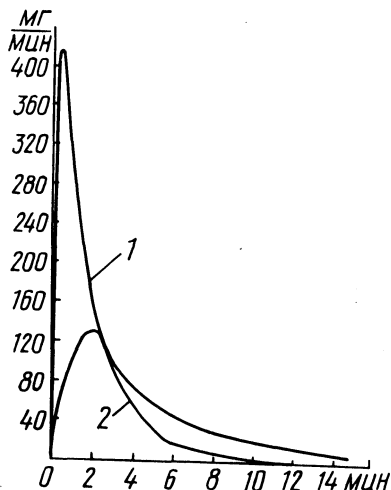


Рис. 2. Скорость испарения растворителя из пленки лакокрасочного покрытия: 1 - терморadiационная сушка; 2 - конвективная сушка.

Из рис. 1 видно, что сочетание интенсивного нагрева с последующей выравнивающей выдержкой позволяет сократить суммарное время сушки и обеспечить заданное распределение температур по поверхностям деталей. Эти условия наилучшим образом достигаются при терморadiационно-конвективном способе сушки с разделением зон по способу обогрева и обеспечением возможности регулирования количественных соотношений между обеими составляющими теплообмена. В период разогрева деталей и пленки до температуры сушки целесообразен максимальный темп роста температуры на детали.

Рассматривая процесс сушки лакокрасочных материалов с точки зрения массообмена, следует обратить внимание на характер удаления растворителя из пленки покрытия. На рис. 2 показаны скорость испарения растворителя из пленки лакокрасочного покрытия при терморadiационном и конвективном способах сушки [5]. При терморadiационном способе сушки свыше 90% растворителя удаляется в первые 1 - 3 минуты, а далее идет процесс полимеризации покрытия [6].

Наличие ярко выраженного максимума в ходе кривой испарения растворителя в начальный период сушки указывает на целесообразность разделения сушильной камеры на зоны испарения растворителя и полимеризации покрытия. Локализация отсоса отбросного воздуха из зоны интенсивного испарения растворителя позволит осуществить необходимый контроль за содержанием паров растворителя в камере сушки по ее максимальной величине. Количество воздуха, подаваемого в зону испарения растворителя, при таком решении будет иметь минимальное значение и должно определяться только правилами техники безопасности.

Анализируя процесс сушки лакокрасочных материалов с точки зрения тепло- и массообмена, можно заметить, что режимы нагрева деталей до температуры сушки и испарение растворителя из пленки покрытия практически совпадают во времени. Поэтому целесообразно объединять зоны разогрева деталей и удаления растворителя из пленки и нагрев осуществлять терморadiационным способом. Зону выдержки деталей целесообразно выполнять либо конвективной, либо терморadiационно-конвективной с обеспечением циркуляции расчетного количества сушильного агента, обеспечивающего заданную равномерность распределения температур по поверхности сушимых деталей.

Предлагаемое сочетание терморadiационного и конвективного способов сушки позволяет применять при обогреве сушильной установки принцип ступенчатого использования тепла [7,8]. Применительно к сушильным установкам газового обогрева эффективность способа ступенчатого использования тепла значительно возрастает при сжигании топлива в терморadiационных панелях, расположенных в камере сушки, с последующей подачей продуктов сжигания непосредственно на конвективный обогрев деталей. Такое решение возможно лишь при условии, когда присутствие дымовых газов в зоне сушки не влияет на качество покрытия. При повышенных требованиях к качеству сушки дымовые газы можно подавать только в зону полимеризации, когда на поверхности покрытия образуется затвердевшая пленка. Подача же дымовых газов в зону испарения растворителя нежелательна также и потому, что загрязнение отбросного воздуха инертными газами (CO_2 и др.) снижает в нем содержание кислорода и тем самым резко ограничивает количественные возможности способа попутного термического дожигания.

Таким образом, с точек зрения технологии и возможностей использования отбросного воздуха для сжигания топлива в пер-

вой зоне сушильной установки должен циркулировать только чистый воздух, обогащенный парами растворителя, во второй и последующих зонах допускается наличие дымовых газов.

Техническое решение вопроса разделения атмосферы зон камеры сушки должно быть увязано с обеспечением организованного подсоса свежего воздуха в камеру сушки и удалением отработанного. Известно, что современные проходные конвейерные сушильные установки имеют постоянно открытые проемы для прохода деталей. Предотвращение неорганизованного воздухообмена через проемы достигается в них либо установкой воздушных завес, либо созданием в камере сушки теплового подпора. Наиболее приемлемыми для сушильных установок с очисткой отбросного воздуха являются камеры с тепловым подпором, широко распространенные за рубежом [9].

На основе анализа особенностей процесса сушки лакокрасочных материалов и очистки отбросного воздуха от паров растворителя можно предположить типовую схему сушильной установки с замкнутым технологическим процессом. Принципиальная схема традиционной сушильной установки с использованием способа попутного термического дожигания паров растворителя представлена на рис. 3. Установка состоит из двух зон: терморadiационной и конвективной. В первой зоне происходит разогрев изделия до температуры сушки и выделение основной массы растворителя (свыше 90%). Во второй зоне осуществляется выравнивание температур по поверхностям сушимых деталей и полимеризация покрытия. Сжигание газа на обогрев сушильной камеры производится в терморadiационных панелях 4, установленных на входе в первую зону. В качестве окислителя для сжигания природного газа используется отбросный воздух, который забирается вентилятором 1 по линии 5. Для обогрева второго ряда терморadiационных панелей, расположенных на выходе из первой зоны, используются дымовые газы из первой группы панелей с непосредственным сжиганием газа, имеющего температуру $400 - 450^{\circ}\text{C}$. Далее дымовые газы с температурой $200 - 250^{\circ}\text{C}$ поступают на обогрев конвективной зоны камеры сушки по линии 9. Расчетное количество сушильного агента, очищенного от паров растворителей, численно равно количеству воздуха, поступающего в первую зону камеры сушки, выбрасывается по линии 10 в атмосферу.

Обеспечение в зоне испарения растворителя теплового подпора предотвращает выбивание загрязненного воздуха через проем в камеру сушки и смешивание его с дымовыми газами, циркулирующими в последующих зонах. Возможное выбивание

сушильного агента на выходе из камеры сушки не представляет опасности с санитарной точки зрения и может быть предотвращено с помощью воздушной завесы. Установка излучающих панелей на участках подъема и спуска конвейера позволяет сократить общую длину камеры сушки по сравнению с установкой, выполненной горизонтально.

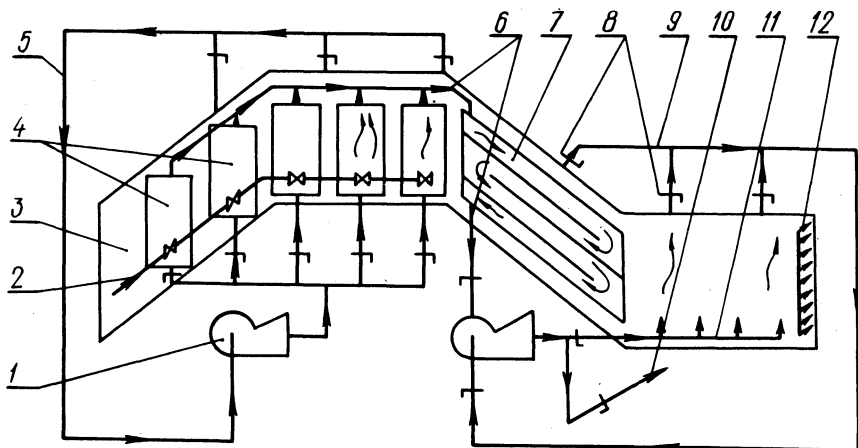


Рис. 3. Схема терморрадиационной сушильной установки с использованием способа попутного термического дожигания паров растворителя: 1 - вентилятор; 2 - газопровод; 3 - камера сушки; 4 - терморрадиационная панель; 5 - линия подачи отбросного воздуха на горение; 6 - линия отсоса дымовых газов; 7 - панельный нагреватель; 8 - регулирующее устройство; 9 - линия отсоса сушильного агента из камеры сушки; 10 - линия выброса в атмосферу; 11 - линия подачи сушильного агента на обдув изделий; 12 - воздушная завеса.

При применении попутного термического дожигания паров растворителя в сушильных установках граничные условия можно записать в виде уравнения

$$\frac{G}{0,5a} = V_o \alpha_p B \frac{T_c}{293},$$

где G - расход растворителя в камере сушки, кг/ч; a - нижний предел взрываемости паров растворителя в смеси с воздухом, г/м³; n - коэффициент запаса на взрывобезопасность смеси паров растворителя с воздухом, равный - 2-5; B - расход природного газа на обогрев сушильной установки, нм³/ч; V_o - стехиометрический объем воздуха, необходимого для сжигания 1 нм³ природного газа, нм³/нм³; T_c - температура отбросного воздуха из сушильной установки, К, α_p - расчетный коэффициент избытка воздуха.

Использование отбросного воздуха взамен атмосферного для сжигания технологического топлива изменяет тепловой баланс

сушильной установки. Количество дополнительного тепла в балансе установки Q_D можно представить в виде суммы

$$Q_D = Q_{\text{хт}} + Q_{\text{фт}} + Q_V,$$

где $Q_{\text{хт}}$ - химическое тепло от дожигания паров растворителя, кДж/ч; $Q_{\text{фт}}$ - физическое тепло, вносимое отбросным воздухом в топку, кДж/ч; Q_V - тепло, сэкономленное путем уменьшения количества выбросов из системы обогрева сушильной камеры, кДж/ч.

Уменьшение количества выбросов в сушильных установках с применением способа попутного термического дожигания достигается путем последовательной подачи свежего воздуха сначала в камеру сушки, а затем на горение топлива.

Значения составляющих теплового баланса от использования физического тепла отбросного воздуха и уменьшения количества выбросов равноценны по величине, и их сумму можно записать в виде

$$Q_{\text{фт}} + Q_V = 586 V c \left(1 - \frac{T_V}{T_C}\right),$$

где V - количество отбросного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$; c - теплоемкость отбросного воздуха, кДж/м³·град; T_V - температура воздуха в цехе, °K.

Количество тепла от дожигания паров растворителя, содержащегося в отбросном воздухе, можно найти из выражения

$$Q_{\text{хт}} = Q_{\text{нр}} G_p V,$$

где $Q_{\text{нр}}$ - низшая теплотворная способность растворителя, кДж/кг; G_p - количество растворителя, дожигаемого при сгорании 1 м^3 природного газа, кг/м³.

Аналитическую зависимость для определения количества паров растворителя, дожигаемых при сгорании 1 м^3 природного газа, можно представить в виде

$$G_p = a \alpha_p V_o \frac{T_c}{293}.$$

При проектировании сушильного оборудования с применением способа попутного термического дожигания действительный расход топлива V_D , учитывающий дополнительные статьи прихода тепла, можно найти из уравнения теплового баланса

$$Q_H V = Q_H V_d + Q_{Hr} G_p V + 586V_c \left(1 - \frac{T_V}{T_C}\right).$$

Левая часть уравнения составлена для сушильной установки без дожигания паров растворителя, правая — для установки с использованием отбросного воздуха для сжигания технологического топлива. Из уравнения теплового баланса находим выражение для определения действительного расхода топлива

$$V_d = V - \frac{Q_{Hr}}{Q_H} G_p V - \frac{586V_c (T_C - T_V)}{Q_H T_C}.$$

Приведенные теоретические положения и расчетные зависимости использованы для создания промышленных образцов сушильных установок с дожиганием паров растворителя на Минском автозаводе. Внедрение сушильных установок с очисткой отбросного воздуха позволило улучшить санитарно-гигиенические условия труда на производстве и предотвратить загрязнение окружающей среды органическими растворителями, снизить пожаро-взрывоопасность окрасочного цеха благодаря резкому уменьшению отложений горючих веществ в воздуховодах вытяжной вентиляции и ликвидации конденсатообразования, получить значительный экономический эффект от использования отработанного растворителя в качестве источника дополнительной тепловой энергии.

Резюме. Безотходный технологический процесс сушки лакокрасочных покрытий достигается при объединении систем обогрева сушильной установки и очистки газовых выбросов. При этом обеспечивается не только выполнение всех требований технологии сушки и охраны воздушной среды, но и снижение пожаро-взрывоопасности оборудования и экономия природного газа за счет использования паров растворителей, содержащихся в выбросах, в качестве источника дополнительной тепловой энергии.

Л и т е р а т у р а

1. Сенькевич Э.В. Способ радиационной сушки лакокрасочных покрытий. Авт. свид. №274715. — Бюллетень. "Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки", 1970, №21. 2. Правила и нормы техники безопасности, пожарной безопасности и промышленной санитарии окрасочных цехов. М., 1970. 3. Павловский Л.Л., Владичина Е.Н. Номограммы для определения режима сушки лакокрасочных покрытий и рас-

чета сушильных установок. М., 1967. 4. Рабинович Г.Д., Слободкин Л.С. Терморadiационная и конвективная сушка лакокрасочных покрытий. М., 1966. 5. Прохоров Ю.И., Ирошников Ю.П. Лучистый инфракрасный нагрев в полупроводниковом и микроэлектронном производстве. М., 1973. 6. Логиноф Ф.Л. Противопожарные мероприятия при окраске и сушке изделий. М., 1965. 7. Равич М.Б. Ступенчатое использование тепла природного газа в промышленности. - "Газовая промышленность", 1966, №3. 8. Тринкс В., Моутинский М., Моугинней М. Промышленные печи, т. 1. М., 1966. 9. Четфильд Х.Ф. Лакокрасочные покрытия. М., 1968.

УДК 631. 243. 42:628. 83

П.И. Дячек

К ВОПРОСУ ХРАНЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ИСКУССТВЕННЫМ ВЕНТИЛИРОВАНИЕМ

Круглогодичное и бесперебойное снабжение населения плодами, овощами, картофелем высокого товарного качества может быть обеспечено, в частности, при условии использования эффективных методов их хранения.

Сокращение потерь при хранении картофеля только на 1 % позволит увеличить его запасы на 400 тыс. т, что значительно превышает годовое потребление таких городов, как Ленинград и Киев, вместе взятых [1, 2].

Оптимальные параметры хранения продовольственного картофеля, определенные с учетом экономических и биологических факторов [3], составляют: $t^{\circ} = +2 - +4^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 85 - 95\%$.

Представляется неоправданной рекомендация НПТСХ принимать расчетную влажность внутреннего воздуха $\varphi = 80\%$. Исследованиями [4, 2] установлено, что в хранилищах, теплотехнический расчет которых проведен по $\varphi = 80\%$, влага конденсируется на ограждениях. Это наблюдается даже в хранилищах с естественной вентиляцией, где разность влажностных потенциалов между межклубневым пространством и внутренним воздухом значительно выше, чем с искусственной вентиляцией. Кроме того, отпотевает верхний слой массы хранимой продукции, что приводит к заболеванию картофеля мокрой гнилью и увеличению отходов.

В связи с этим предлагают принимать расчетную влажность внутреннего воздуха $\varphi_p = 90\%$ [4], что ведет к увеличению