

УДК 628-51

## МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ НАНЕСЕНИИ ЛАКОВ И КРАСОК

<sup>1</sup>Патрушева Т.Н., <sup>1</sup>Чурбакова О.В., <sup>2</sup>Петров С.К., <sup>3</sup>Чупий В.И.

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: pat55@mail.ru;

<sup>2</sup>Балтийский технический университет им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург, e-mail: s.k.petrov@mail.ru;

<sup>3</sup>ЗАО НПО «Радиосвязь», Красноярск, e-mail: kniirs1@mail.kts.ru

Методы нанесения лакокрасочных покрытий весьма разнообразны, в том числе методы окунания, центрифугирования и пневматического распыления, накатывания, которые сопровождаются выделением легколетучих веществ. В связи с этим необходимо обеспечить защиту персонала при работе с лакокрасочными покрытиями с использованием автоматизированных установок с интеллектуальным интерфейсом для контроля качества покрытия и окружающей среды. Наибольшее количество вредных выбросов происходит на стадии сушки ЛКМ. Рассмотрены инфракрасные сушильные печи, которые характеризуются высокой энергетической эффективностью и регулировкой, а также способ отверждения ЛКМ УФ-излучением. Рассмотрены системы утилизации газообразных отходов и методы защиты персонала при работе с лакокрасочными покрытиями с использованием изолированных камер для нанесения и сушки ЛКМ, промышленных роботов и индивидуальных средств защиты.

**Ключевые слова:** методы нанесения лакокрасочных покрытий, ИК и УФ-сушка, окрасочные камеры, промышленные роботы

## METHODS OF PROTECTION OF PERSONNEL AND ENVIRONMENT AT THE PAINT DEPOSITION

<sup>1</sup>Patrushev T.N., <sup>1</sup>Churbakova O.V., <sup>2</sup>Petrov S.K., <sup>3</sup>Chupy V.I.

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: pat55@mail.ru;

<sup>2</sup>Baltiy Technical University D.F. Ustinov, St. Petersburg, e-mail: s.k.petrov@mail.ru;

<sup>3</sup>CJS SPA «Radiocommunication», Krasnoyarsk, e-mail: kniirs1@mail.kts.ru

Methods of coating deposition are very diverse, including dipping and centrifugation and pneumatic spray, rolling, which accompanied by the release of volatile substances. In this connection it is necessary to ensure the protection of personnel working with paint using automated systems with intelligent interface for controlling the quality of the coating. The greatest number of emission occurs in the step of drying coatings. The infrared drying ovens, which are characterized by high energy efficiency and control, as well as a way to cure UV coatings are examined. The systems of disposal of waste gases and methods of personal protection when working with paint using isolated cells for application and drying coatings, industrial robots, and personal protective equipment are considered.

**Keywords:** methods of coatings applying, IR and UV drying, spray booths, industrial robots

Нанесение лаков, красок и полимеров сопровождаются выделением легколетучих веществ. От 25 до 50% лака уходит в окружающую среду [1], при этом нанося ущерб здоровью персонала. В состав лаков и красок входят разнообразные органические соединения, большей частью ароматические, которые относятся к канцерогенным веществам, либо представляют опасность для дыхательной или сердечнососудистой систем организма человека. Работы с ними необходимо проводить в вытяжных шкафах или специализированных помещениях, имеющих эффективную и надежно действующую систему вытяжной вентиляции с использованием индивидуальных средств защиты кожных покровов.

Технологический процесс нанесения лакокрасочного и полимерного покрытия включает в себя следующие основные опе-

рации: обезжиривание и химическая обработка поверхности (травление и пассивация); нанесение грунтовки, краски, клея; нагрев; охлаждение. Перед нанесением покрытий поверхность должна быть подготовлена. Подготовка поверхности включает несколько стадий: очистка с применением щеток, обезжиривание и промывка. В промышленности используют гидродинамические системы, включающие несколько секций. В специальных емкостях предусмотрено хранение раствора и дозирование с помощью регуляторов уровня и сенсоров контроля качества. Раствор подается насосом в последовательно расположенные форсуночные камеры через отдельно стоящие пластинчатые и рамные теплообменники. Пары резиновых вращающихся валиков расположены между форсуночными камерами для распределения химического реак-

тива в соответствующие емкости. Для более интенсивной подготовки поверхности полосы в секцию очистки также могут быть встроены вращающиеся щетки.

### Методы нанесения полимерных и лакокрасочных покрытий

Существует несколько методов нанесения лакокрасочных и полимерных покрытий.

Полимерное (лаковое) покрытие можно нанести кистью. Данный способ используется в единичном производстве или при проведении ремонтных работ. Недостатками метода являются: большая трудоемкость, низкая производительность, разнотолщинность получаемого покрытия, невозможность использования быстросохнущих и плохо растушовываемых лакокрасочных материалов. Проблематично получение покрытия под микросхемами. Очень часто в лак попадают волоски кисти, которые не только ухудшают декоративные свойства окрашиваемых изделий, но и реализуют в покрытии печатного узла капилляры (своеобразные насосы для подкачки влаги к поверхности стеклотекстолита). Как следствие, снижается влагостойкость изделий.

При нанесении покрытия окунанием деталь или печатный узел погружают в ванну, наполненную лаком. Через определенное время его вынимают и дают возможность избытку лака стечь с поверхности. При окраске окунанием появляется возможность механизировать процесс. Для обеспечения равномерности покрытия необходимо использовать оборудование, позволяющее погружать и вынимать печатный узел из ванны с медленной равномерной скоростью. Согласованием скоростей подъема печатного узла и испарения растворителей удается получить покрытие равномерной толщины. На рынке предлагаются специализированные установки, в которых реализован этот метод, например установки влагозащиты DC 2001 и DC 2002 [1].

Модификация метода заключается в использовании дополнительной операции центрифугирования печатных узлов [2]. Частота вращения центрифуги обычно находится в диапазоне от 100 до 600 об/мин. Благодаря центрифугированию с поверхности печатного узла удаляется избыток лака и обеспечивается образование покрытия под микросхемами, установленными с малым зазором. Метод центрифугирования целесообразно использовать при нанесении покрытий высоковязкими лаками, например лаком ЭП-9114.

Самое широкое применение в технике вообще и в производстве радиоэлектронной аппаратуры в частности получил метод на-

несения покрытий пневматическим распылением. Сущность метода заключается в распылении лакокрасочного материала сжатым воздухом и нанесении его в виде тонкой дисперсии на поверхность изделия. Для работы с небольшими по размеру печатными узлами обычно используется краскораспылитель (пистолет) с навесным бачком. Основные технологические параметры нанесения покрытий методом пневматического распыления: вязкость по ВЗ-4 при 20 °С – от 15 до 25 с, толщина одного слоя – от 10 до 20 мкм [1]. При нанесении лакокрасочных материалов пневматическим распылением появляется возможность механизировать и автоматизировать процесс окраски. Применительно к окраске печатных узлов метод пневматического распыления не очень удачен из-за сложности нанесения покрытия в теневых зонах, а также под микросхемами.

Существует необходимость в предварительной защите поверхностей, не подлежащих окраске. Американской фирмой Asymtek предлагается система селективного нанесения влагозащитных покрытий Century C-341 [3]. Система Century C-341 позволяет использовать различные влагозащитные покрытия благодаря наличию нескольких модулей нанесения: SC-104 и SC-105 – циркуляционные модули; SC-204 и SC-205 – нециркуляционные модули; SC-300 – модуль нанесения с возможностью закручивания струи. В самом популярном модуле SC-205 используется струйное нанесение, что позволяет исключить нанесение избыточного количества лака. Вязкость используемых материалов должна быть не менее 100 сП. Толщина одного слоя покрытия варьируется от 13 до 200 мкм. Наличие головки с пятью степенями свободы позволяет наносить покрытие на боковую поверхность компонентов и под ними. Повторяемость позиционирования привода 25 мкм. Система Century C-341 оснащается компьютером с программным обеспечением, работающим под Windows NT, позволяющим легко создавать рабочие программы и редактировать режимы нанесения покрытия.

За последние годы широко развивается производство полос и листов, покрытых различными лаками и пластиками валковым методом для обеспечения высокой коррозионной стойкости, звукопоглощаемости, электроизоляции и хорошего внешнего вида (цветное покрытие). Окраска полосы производится на валковых машинах Coater методом накатывания [4]. Все конструкции проходят сертификацию эксплуатационной безопасности. Как правило, 7 рабочих интерфейсов распределяются по линии зам-

кнутого цикла. Стандартное аппаратное оборудование на базе персонального компьютера с операционной системой Windows. Информация о процессе поступает с контроллеров, включающих Интеллектуальный датчик давления, сенсоры, датчики микро-расхода, датчики для измерения влажности и температуры, измеритель давления, электромагнитные расходомеры, и др.

С помощью горячего каширования на полосу наносят защитную пленку в целях сохранения декоративного покрытия. Покраска и лакирование полосы пленкой осуществляют в непрерывных линиях, при скорости до 3 м/с.

### **Отверждение и сушка лакокрасочных покрытий**

Наибольшее количество вредных выбросов происходит на стадии сушки ЛКМ. Для отверждения лаков на основе термопластичных полимеров, таких как полиакриловые лаки, достаточно испарить растворитель. Отверждение масляных лаков происходит при непосредственном участии кислорода воздуха. Отверждение (высыхание) обусловлено окислительной полимеризацией масел, содержащих ненасыщенные связи. Полимеризация инициируется органическими гидроперекисями, которые образуются при взаимодействии масла с кислородом воздуха. Под действием влаги воздуха могут отверждаться силиконовые (кремнийорганические) полимеры, полиуретаны.

Для осуществления этих реакций и/или повышения их скорости требуется подвод энергии извне в виде тепла (конвективная сушка, инфракрасная сушка или их комбинации). Стандартная температура сушки влагозащитных лакокрасочных покрытий 65 °С.

Инфракрасные сушильные печи характеризуются высокой энергетической эффективностью и регулировкой [5]. Электрическая инфракрасная печь испаряет поверхностную влагу на движущейся полосе посредством инфракрасных волн высокой интенсивности. Благодаря керамическим отражателям, происходит обратное рассеивание излучения, таким образом, достигается высокая эффективность и низкий эксплуатационный расход электроэнергии. В ИК-печах используются вольфрамовые кварцевые коротковолновые лампы. Срок их службы составляет 10 000 часов. Инфракрасная печь включается и выключается мгновенно. Каждая зона теплоотдачи снабжена собственной системой контроля и регуляторами мощности от 0 до 100%. Наличие программирующего устройства позволяет формировать заданный режим

температурных профилей и, следовательно, осуществлять плавный либо ступенчатый нагрев, а также поддерживать требуемую температуру в течение длительного времени.

Способ отверждения ЛКМ УФ-излучением в настоящее время считается одним из наиболее перспективных [6]. К его достоинствам относятся относительно высокая производительность, малые затраты энергии, несложное оборудование. Однако, отверждаться под действием УФ-излучения способно лишь ограниченное число ЛКМ из материалов, способных отверждаться за счет реакции полимеризации. С экологической точки зрения важным преимуществом УФ-отверждения является то, что не возникают проблемы, связанные с регенерацией растворителя. Потребляемая энергия невелика. Отверждение происходит при комнатной температуре, поэтому можно отверждать ЛКМ на подложках, чувствительных к высоким температурам. Но наиболее важным преимуществом этого метода является экономический фактор. Отверждение происходит с высокой скоростью, управление установками относительно простое, для выполнения работ требуются минимальные рабочие площади и минимум людских ресурсов. Несомненным преимуществом является и то, что конечные продукты имеют высокое качество.

Установки сушки должны быть оборудованы устройствами автоматического пожаротушения [7]. Поэтому обязательна блокировка работы всех вентиляторов с пожаротушением таким образом, чтобы при возникновении пожара в камере сушки вентиляторы отключались. Необходим контроль концентрации паров растворителей внутри установки, она не должна превышать 50% НПВ. Для этой цели могут быть применены сигнализаторы взрывоопасных концентраций типа СВК-ЗМ1-У4, СТХ-ЗУ4 со шкалой от 5 до 50% НПВ. По достижении предельных значений концентрации теплоноситель должен быть отключен, конвейер, подающий изделия на сушку, остановлен.

### **Защита персонала**

Рабочие места оснащаются необходимыми защитными средствами (экранами со светофильтрами, перчатками и рукавицами из теплоизолирующей или двухслойной хлопчатобумажной ткани, защитными очками со светофильтрами и др.). Санитарно-гигиеническая обстановка в помещении (параметры микроклимата, чистота воздуха) обеспечиваются в соответствии с требованиями к помещениям 4-го класса (ИСО Р

4 (10)) класса: температура –  $(20-23) \pm 2^\circ\text{C}$ ; относительная влажность –  $50 \pm 10\%$ ; чистота воздуха – не более 352 пылинок размером 0,5 мкм в 1 литре воздуха. Указанные требования обеспечиваются наличием в помещении боксов, скафандров, специальных рабочих мест с локальной защитой, специальной внутренней отделкой помещений. Обслуживающий персонал для предотвращения занесения пыли обеспечивается спецодеждой, а также бесплатным молоком и индивидуальными средствами защиты (резиновыми и хлопчатобумажными перчатками, фартуками, защитными очками, противогазами) [8].

Нанесение лакокрасочных покрытий осуществляется в окрасочно-сушильных камерах. Корпуса окрасочно-сушильных камер оборудованы системой фильтрации воздуха. Подача воздуха осуществляется сверху через предварительный и потолочный фильтры, вытяжка – через напольный фильтр, установленный под решетками [9].

Использование в окрасочных камерах водяной завесы оказывает защитный эффект, но одновременно и негативно влияет на изделия. Повышенная влажность в окрасочной камере может привести к появлению целого ряда дефектов в лаковом покрытии, которые оказывают непосредственное влияние на их защитные свойства.

Для окраски распылением могут быть применены промышленные роботы [10], которые обеспечивают снижение трудоемкости, освобождение людей от выполнения вредных для здоровья операций, экономия красящего состава и энергоносителей, сокращение брака и сбоев, повышение надежности и качества, гарантированное равномерное нанесение покрытий. Сегодня промышленные роботы «маляры», могут с высокой точностью выполнять любые операции, доступные высококвалифицированному маляру, вооруженному краскопультом. Будучи однажды запрограммированным, промышленный робот воспроизведет все движения маляра-программиста, добиваясь высоких результатов выполнения любых операций: окраски, грунтовки, нанесения смывки, антикоррозийный покрытий и т.д. Взаимодействуя со вспомогательным оборудованием (поворотные столы, линейные модули и другие транспортные устройства) можно получить универсальное окрасочное оборудование.

Управление установками обычно производится с помощью кнопочных постов, располагаемых непосредственно на установках. При этом, как правило, оборудуется общий кнопочный пост для включения всех электроприводов и, кроме того, индивиду-

альные посты управления у каждого электропривода для ремонтных и пусконаладочных работ.

При разработке систем автоматизации агрегатов с применением органических растворителей (например, трихлорэтилена) необходимо учитывать их высокую агрессивность по отношению к материалам датчиков и исполнительных элементов, взрыво- и пожароопасность, а также возможность разложения их с выделением сильнотоксичных веществ при перегреве. Поэтому обязательна блокировка, исключая подачу теплоносителя при достижении температуры, близкой к температуре разложения трихлорэтилена. При применении высокотемпературных электронагревателей растворитель следует разогревать с помощью промежуточного теплоносителя (воды, масла и т.п.). Необходимо также ряд дополнительных мер, исключающих выход паров растворителя из агрегата наружу: устройство на входе и выходе из агрегата тамбур-шлюзов с блокировкой, запрещающей одновременное открывание дверей, контроль работы вентиляторов с помощью датчиков-реле напора и сенсоров.

При автоматизации установок окраски пневмораспылением возникает ряд трудностей, связанных с тем, что, во-первых, эти установки относятся по взрывоопасности к классу В-1а по ПУЭ и требуют применения в них взрывозащищенной аппаратуры и приборов, а, во-вторых, в процессе окраски внутренний объем камеры сильно загрязняется, поэтому требуются специальные меры для защиты аппаратуры. Для блокирования подачи сжатого воздуха к краскораспылителям с работой вентиляции и насоса подачи воды на гидрофильтр на линии сжатого воздуха необходимы электропневматические устройства. Может быть установлен любой вентиль с электромагнитным приводом при условии выноса его за пределы взрывоопасной зоны. В тех случаях, когда это невозможно или затруднительно, применяется электропневматический клапан типа ЭПКД-ВЗГ во взрывозащищенном исполнении, который размещается непосредственно на окрасочной камере.

Для предупреждения персонала о возможной аварии, а также для автоматической ликвидации аварийных ситуаций в конструкции оборудования предусматриваются система сигнализации, предохранительные устройства и блокировки безопасности. Кроме того, оборудование оснащается необходимыми приборами и устройствами для контроля состава среды (сенсорами, расходомерами, газоанализаторами и т.п.).

Система вентиляции состоит из вентиляционных центров, образующих воздушные завесы у проемов, и рециркуляционного центра, который создает равномерную концентрацию паров растворителя в паровом туннеле и производит выброс их в систему рекуперации, а затем в атмосферу.

### Заключение

Для сохранения здоровья персонала и обеспечения нормативов ПДК в помещениях используются различные методы. При получении лакокрасочных покрытий производится очистка выбросов, включающая улавливание порошковых красок; ультрафильтрацию моющих растворов при подготовке поверхности и водорастворимых красок; утилизация паров растворителей, удаляемых с воздухом при сушке и окраске струйным обливом или окунаем. Вентиляционная система должна обеспечить необходимую чистоту воздуха в помещениях, где работают люди. Для минимизации выбросов в атмосферу необходимо предусмотреть адсорбционные или рекуперационные системы, а также наличие автоматизированных сенсорных и блокировочных систем. Окраска крупногабаритных изделий, как правило, ведется в окрасочно-сушильных камерах, транспортные проемы которых за-

крываются дверями с приводом, при этом должен быть обеспечен сенсорный контроль окружающей среды.

### Список литературы

1. Однодворцев М. Технология струйно-факельного напыления масляного слоя // Компоненты и технологии. Приложение: Технологии в электронной промышленности. – 2005. – № 3 – С. 177–184.
2. Пирогова Е.В. Проектирование и технологии печатных плат. – М.: Форум: Инфра-М, 2005 – 560 с.
3. Козлов Е. Влагозащитное покрытие печатных узлов – автоматизация процесса // Технологии в электронной промышленности – 2011. – № 3 – С. 62–64.
4. Линии нанесения лакокрасочного и полимерного покрытия полосы <http://www.galvanizing-line.ru/coaters.php>.
5. ИК-сушка лакокрасочного и полимерного покрытия <http://www.rpe.ru/ik-sushka.html>.
6. Бабкин О.Э., Бабкина Л.А., Казаченко Н.Н., Арабей А.В. Защитные покрытия двойного УФ-отверждения // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2014. – № 6. – С. 47–50.
7. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. НПБ 88-2001\*. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
8. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
9. Окрасочно-сушильные камеры <http://npo-elcom.ru/kamery-piksan>.
10. Уникальные возможности для автоматизации окрасочных операций <http://ds-robotics.ru/sections/robotyi-v-proizvodstve/okraska.html>.