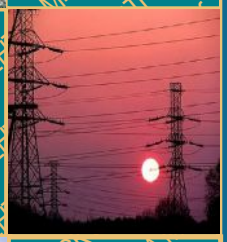


ОБЗОР НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Выпуск 1

Москва 2011

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ.....3

Строительство трансформаторного завода Siemens в Воронежской области

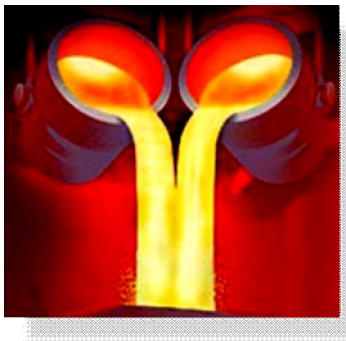
Разработка коммуникационной IP-платформы для рынка Smart Grid

Новый диэлектрический материал для электронной промышленности

Накопители электроэнергии для промышленных и жилых зданий

Технический регламент об энергоэффективности бытовых и иных энергопотребляющих устройств

ТЕОРИЯ.....6



АМОРФНЫЕ СПЛАВЫ.....6

Описана структура аморфного сплава и технология его получения, свойства и область применения. Приведено сравнение с электротехническими сталями с указанием основных преимуществ и недостатков

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ.....14

ЦИНКОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ.....14

Описаны современные технологии цинкования металлических изделий, определены их основные достоинства и недостатки, указаны области применения

ПРИЗВОДСТВО И ПРОПИТКА ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР 22

Описаны технология производства деревянных опор 0.4 – 10 кВ, способы сушки и методы антисептической пропитки древесины, выполнено сравнение пропиточных составов, приведены достоинства и недостатки деревянных опор в сравнении с железобетонными и стальными многогранными опорами, определены области и условия применения

Знаете ли вы что... в России первым предприятием с трехфазным электроснабжением был Новороссийский элеватор. Он представлял собой грандиозное по тем временам сооружение высотою в девять этажей и был способен обработать 48 000 тонн зерна в год, что делало его крупнейшим в Европе. Строитель элеватора инженер А. Н. Щенонович решил применить только что ставшую известной в мире трехфазную систему электроснабжения. Летом 1892 г. швейцарскому заводу фирмы «Brown, Boveri & Cie» были заказаны чертежи трехфазных машин. В следующем 1893 г. элеватор был электрифицирован. Интересно, что все машины по разработанным за границей проектам изготовлялись в собственных мастерских элеватора. На электростанции, построенной рядом с элеватором, были установлены четыре синхронных генератора мощностью 300 кВ каждый. Таким образом, общая мощность электростанции составляла 1200 кВ А, то есть это была в то время самая мощная в мире трехфазная электростанция. В помещениях элеватора работали трехфазные двигатели мощностью 3,5-15 кВт, которые приводили в действие различные машины и механизмы.

Новости ...

Всероссийский НИИ сертификации разработал проект технического регламента (ТР) «О требованиях энергетической эффективности бытовых, и иных энергопотребляющих устройств и их маркировке»

ТР устанавливает классы и (или) характеристики энергоэффективности низковольтного оборудования бытового и коммунального назначения. Всего таких классов определено 7: A (максимальная энергоэффективность), B, C, D, E, F, G (минимальная энергоэффективность).

Для отнесения оборудования к тому или иному классу по энергоэффективности ТР предусмотрен расчет индекса энергоэффективности, который учитывает фактическое и стандартное годовое потребление каждого бытового прибора. Характеристики энергоэффективности учитывают индекс энергоэффективности и другие индивидуальные технические параметры оборудования: класс стирки (для стиральных машин), уровень звуковой мощности, холодопроизводительность (для кондиционеров) и т.п. Правила определения классов и характеристик энергетической эффективности низковольтного оборудования размещены в Приложении к ТР.

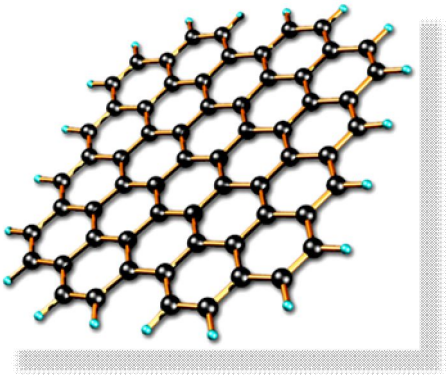
Предполагается, что ТР должен распространяться, во-первых, на новое оборудование, выпускаемое в обращение на территории единого экономического пространства (ЕЭП) – России, Белоруссии и Казахстана, независимо от страны происхождения; во-вторых, на оборудование, бывшее в эксплуатации, ввозимое на территорию ЕЭП.

К низковольтному оборудованию, на которое распространяется действие настоящего ТР, относится продукция бытового и коммунального назначения, включая различные электроприборы, лампы, принтеры, мониторы и пр. В проекте приводится также перечень той продукции, на которую не распространяется настоящий технический регламент.

Источник: http://www.vniis.ru

Учеными получен самый тонкий в мире изоляционный материал - фторографен

За основу ими был взят графен. Графен представляет собой одноатомный слой графита, который есть в обычных карандашах. На молекулярном уровне графен имеет плоскую сотовидную структуру связанных шестигранников с углеродными атомами на вершинах.



Это тончайшая и наиболее прочная модификация углерода, которая может проводить тепло лучше, чем любой другой известный материал. Как электропроводник, графен проявляет себя так же хорошо, как медь.

Объединив свойства графена и тефлона, нобелевские лауреаты этого года в области физики Константин Новоселов и Андрей Гейм из Манчестерского университета создали новый материал – фторографен (fluorographene). Перед учеными стояла задача получить прочное устойчивое вещество, которое совсем не проводит электричество. Ученым удалось поместить атом фтора в каждый одиночный атом углерода, что привело к разрушению облака электронов и препятствовало нормальному движению электрического тока, но не нарушило целостности углеродной конструкции.

Авторы предполагают, что фторографен можно будет использовать в электронике, например, как туннельный переход, высококачественный изолятор или защитный материал для органической электроники. Как широкозонный полупроводник, полностью прозрачный по отношению к видимому свету, фторографен мог бы найти применение в светодиодах и дисплеях.

Источник: ***http://www.***popnano.ru

Сотрудники Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) разработали новое устройство - фотоэлектрохимический конденсатор (PES-конденсатор)

Фотоэлектрохимический суперконденсатор – устройство, которое способно прямо преобразовывать солнечную энергию в электрическую и параллельно накапливать ее с высокой плотностью. Устройство состоит из многокомпонентного фотоэлектрода (он может быть изготовлен на основе различных полупроводниковых материалов), нанопористых отрицательного и положительного электродов, пористого сепаратора, разделяющего положительный и отрицательный электроды, и электролита. Благодаря нанопористой структуре электродов один грамм таких материалов будет иметь площадь поверхности до 1400-1600 м2, а электрическую емкость (в некоторых электролитах) - до 1500 фарад. Это означает, что каждый кубический сантиметр «нанопористого конденсатора» способен накопить в среднем в 1 000 000 раз больше энергии, нежели обычный классический

конденсатор. Как показывают проведенные расчеты, PES - конденсаторы смогут обладать циклическим ресурсом более 7 000 циклов (это более 15 лет непрерывной эксплуатации), а расчетная цена 1 кВт*ч выработанной PES - конденсатором электроэнергии будет в 3-3,5 раза дешевле, чем у существующих разработок.

Разработанное устройство может быть использовано в автономных солнечных электростанциях, системах освещения, для обеспечения жизнедеятельности частных и государственных учреждений.

Источник: http://www. fian-inform.ru

Производитель смарт - счетчиков фирма ITRON и разработчик сетевого оборудования компания Cisco заключили стратегический договор по разработке собственной коммуникационной IP-платформы для рынка Smart Grid

Проектом предполагается совместная разработка решений по созданию единой информационной среды, которая позволит интегрировать "умные" счетчики и распределенные источники электроэнергии в открытую сеть для обеспечения удобства работы коммунальных служб. В частности, будет разработана хорошо защищенная технология для полномасштабной реализации данного проекта на последней версии интернет - протокола IPv6. Использование протокола IPv6 позволит поддерживать "умные" счетчики, «умные» бытовые приборы и «умное» распределение электроэнергии внутри объектов в виде единой непротиворечивой системы проводной и беспроводной связи, что даст возможность коммунальным службам более гибко предоставлять свои услуги для удовлетворения требований как потребителей так и распределенных систем производства электроэнергии.

Фирма ITRON планирует лицензировать IP-технологию Cisco, чтобы встраивать ее в свои счетчики, а также продавать на рынке сетевое оборудование и ПО Cisco вместе со своими Smart – счетчиками для предоставления потребителям комплексного решения для «умных» внутридомовых сетей.

Справка:

Компания "Itron" считается одним из ведущих мировых поставщиков "умных" счетчиков. На сегодняшний день эта компания поставила на рынок 2,6 млн. таких устройств.

Источник: http://www.cisco.com

Компания «Сименс» строит трансформаторный завод в Воронежской области

Мощность завода составит до 100 единиц высоковольтного трансформаторного оборудования в год. Объем инвестиций в проект превысит 1,5 млрд. рублей (около 40 млн. евро). На заводе будет создано свыше 300 рабочих мест. Уже до конца 2011 года на предприятии начнется выпуск трансформаторов для российских электросетей напряжением до 220 кВ. Планируется так же поставка тяговых трансформаторов для нужд «Российских железных дорог».

В последующем продукцию завода планируется направлять, в том числе, на экспорт из России.

Источник: http://www.siemens.ru

ТЕОРИЯ

АМОРФНЫЕ СПЛАВЫ

В 1960 г. группой исследователей из Калифорнийского технологического института в рамках исследований по получению новых структур металлических сплавов, обладающих повышенными механическими свойствами, были проведены ряд экспериментов по их быстрому охлаждению. Оказалось, что в некоторых случаях кристаллическая решётка в металле вообще отсутствует, а расположение атомов характерно для бесструктурного, аморфного тела.

Справка: аморфные тела — твёрдые тела, атомарная решётка которых не имеет кристаллической структуры (присущей металлам) или так называемого «дальнего порядка». В тоже время в них, как и в кристаллических структурах, можно довольно точно указать координаты и количество атомов, окружающих любой данный атом – существует «ближний порядок» (рис.1).

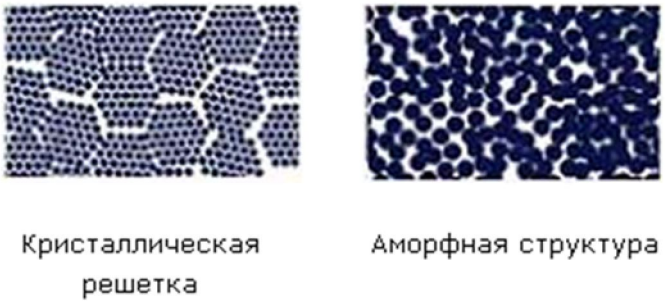


Рис.1

Примеры аморфных тел: стекло, смола, парафин, асфальт, пластилин.

Итак, аморфные металлические сплавы - особый класс сплавов, отличающийся от кристаллических соединений прежде всего структурой, способом изготовления и свойствами.

Структура аморфного сплава

При обычной кристаллизации, которая протекает во времени, атомы сплава успевают занять в пространстве положенные им места. Если же расплавленное вещество заставить мгновенно затвердеть, то атомы будут вынуждены оставаться на месте. На рис. 2 представлена диаграмма, показывающая характер фаз, образующихся в сплаве при различных скоростях охлаждения.

а - критическая скорость охлаждения с получением аморфного состояния; б - медленный нагрев аморфного состояния, ведущий к кристаллизации при температуре Тх

Рис.2

В определенных условиях среды (например, в условиях глубокого вакуума, криогенных температур) при охлаждении жидкости со скоростью выше критической от температуры

плавления $T_{ПЛ}$ до температуры стеклования $T_Д$ как раз и образуется аморфное состояние. Критическая скорость охлаждения, для разных сплавов разная и составляет от 10^2 до 10^{10} К/с (Кельвин/с).

Если же в дальнейшем аморфный сплав медленно нагревать, то начинается его кристаллизация, условия появления которой меняются в широких пределах для разных аморфных систем.

Технология получения аморфных сплавов

Затвердевание с образованием аморфной структуры принципиально возможно для всех металлов и сплавов. Однако, легче всего аморфизуются сплавы благородных (золото, серебро, платина и др.) и переходных (железо, кобальт, магний, хром, никель и др.) металлов с добавками - аморфообразующими элементами (углеродом, бором, фосфором и др.).

Аморфные сплавы обычно содержат в себе до 80 % одного или нескольких переходных металлов и 20 % аморфообразующих элементов (металлоидов), добавляемых для образования и стабилизации аморфной структуры. Металлоиды понижают скорость охлаждения с сотен тысяч или миллионов градусов в секунду до тысяч и даже сотен градусов в секунду (для некоторых сплавов) так, чтобы в результате образовалась аморфная фаза, а так же оказывают влияние на физические свойства сплавов. На термическую стабильность аморфных сплавов оказывает наибольшее влияние кремний и бор, наибольшей прочностью обладают сплавы с бором и углеродом, а коррозионная стойкость зависит от концентрации хрома и фосфора.

Сверхвысокие скорости охлаждения для получения аморфной структуры можно реализовать различными способами. Общим в них является необходимость обеспечения скорости охлаждения не ниже 10^6 К/с. Известны следующие методы:

- катапультирования капли на холодную пластину;
- распыление струи газом или жидкостью;
- центрифугирование капли или струи;
- расплавление тонкой пленки поверхности металла лазером с быстрым отводом тепла массой основного металла;
- сверхбыстрое охлаждение из газовой среды и др.

Использование этих методов позволяет получать ленту различной ширины и толщины, проволоку и порошки.

Получение аморфной ленты

Наиболее эффективными способами промышленного производства аморфной ленты являются: охлаждение струи жидкого металла на внутренней (центробежная закалка - «а») или внешней (закалка на диске - «б») поверхностях вращающихся барабанов или прокатка расплава между холодными валками («в»), изготовленными из материалов с высокой теплопроводностью, например из меди (рис.3).

Расплав, полученный в индукционной печи, выдавливается нейтральным газом из сопла и затвердевает при соприкосновении с поверхностью вращающегося охлаждаемого тела (холодильника).

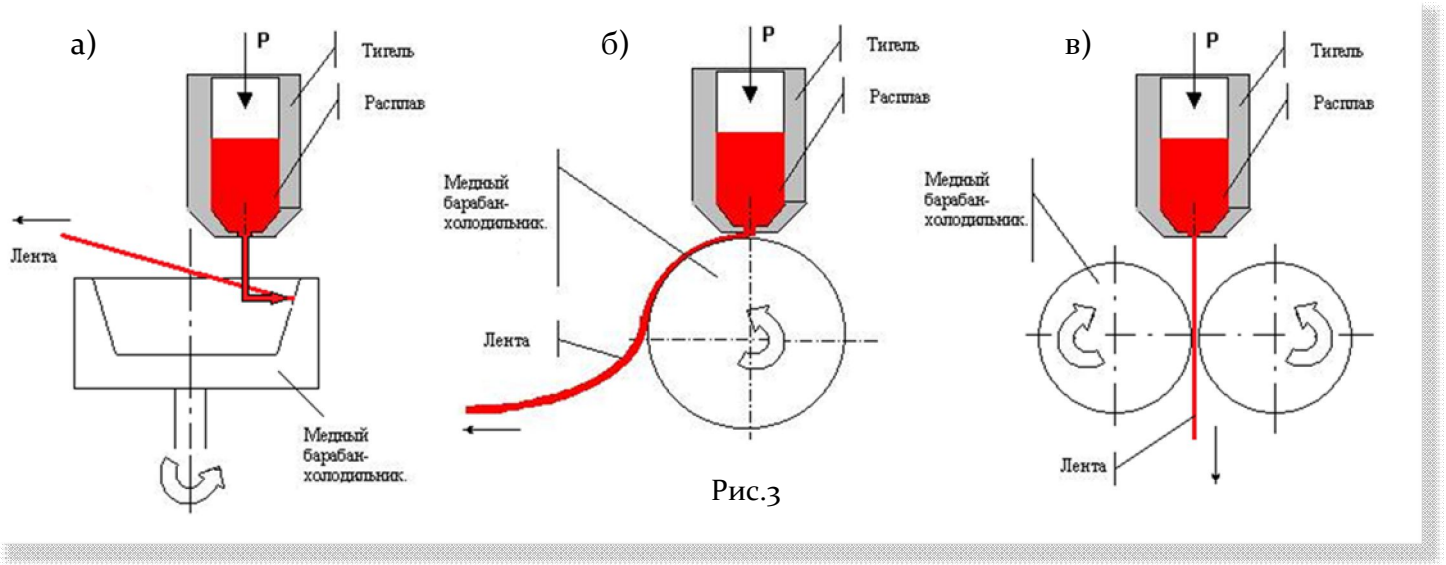


Рис.3

Во всех установках для закалки из жидкого состояния металл быстро затвердевает, растекаясь тонким слоем по поверхности вращающегося холодильника. При постоянстве состава сплава скорость охлаждения зависит от толщины расплава и характеристик холодильника. Толщина расплава на холодильнике определяется скоростью его вращения и скоростью истечения расплава, т. е. зависит от диаметра сопла и давления газа на расплав. Большое значение имеет правильный выбор угла подачи расплава на диск, позволяющий увеличить длительность контакта металла с холодильником. Скорость охлаждения зависит также от свойств самого расплава: теплопроводности, теплоемкости, вязкости, плотности.

Увеличение длительности контакта затвердевающего металла с диском может быть достигнуто с помощью специальных приспособлений: газовых струй, прижимающих ленту к диску или движущегося с одинаковой скоростью с диском ремня из сплава меди с бериллием. Таким образом, максимальная толщина аморфной ленты зависит от критической скорости охлаждения сплава и возможностей установки для закалки. Если скорость охлаждения меньше критической, то аморфизация не произойдет.

Различие трех методов состоит в том, что в методах центробежной закалки и закалки на диске расплав охлаждается только с одной стороны. Основной проблемой является получение достаточной степени чистоты внешней поверхности, которая не соприкасается с холодильником. Метод прокатки расплава позволяет получить хорошее качество обеих поверхностей ленты, что особенно важно для аморфных лент, используемых для головок магнитной записи. Для каждого метода имеются свои ограничения по размерам лент, поскольку есть различия и в протекании процесса затвердевания, и в аппаратурном оформлении методов. Наибольшая ширина достигается методом прокатки. Метод закалки на диске, для которого требуется более

простая аппаратура, позволяет в широких пределах изменять ширину ленты в зависимости от размеров плавильных тиглей.

Получение аморфной ленты

Для получения тонкой аморфной проволоки используют следующие методы вытягивания волокон из расплава (рис.4):

- протягивание расплава через охлаждающую жидкость (экструзия расплава) – «а»;
- вытягивание нити из вращающегося барабана – «б»;

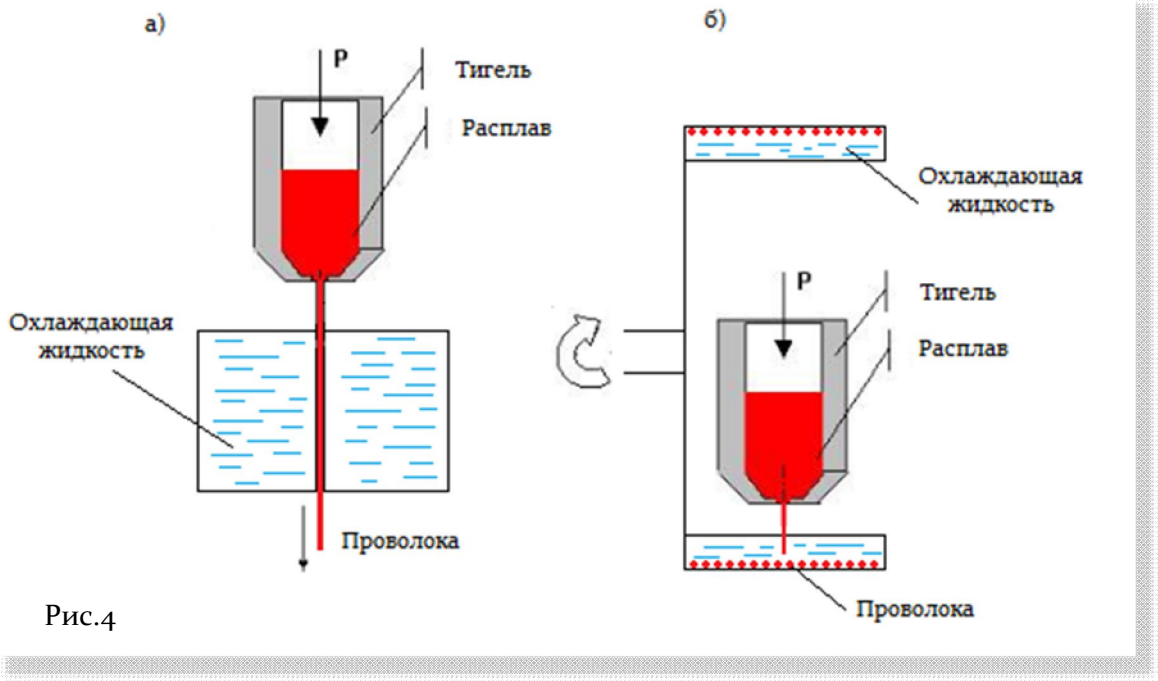


Рис.4

В первом методе (рис. 4, «а») расплавленный металл протягивается в трубке круглого сечения через водный раствор солей. Во втором (рис. 4, «б») — струя расплавленного металла падает в жидкость, удерживаемую центробежной силой на внутренней поверхности вращающегося барабана: затвердевшая нить сматывается затем из вращающейся жидкости.

Помимо перечисленных выше, существует еще один метод получении аморфной проволоки, состоящий получении ее максимально быстрым вытягиванем расплава в стеклянном капилляре. Этот метод также называют методом Тейлора. Волокно получается при протягивании расплава одновременно со стеклянной трубкой, при этом диаметр волокна составляет 2–5 мкм. Главная трудность здесь состоит в отделении волокна от покрывающего его стекла, что, естественно, ограничивает составы сплавов, аморфизируемых данным методом.

Получение порошков

Для производства порошков аморфных сплавов пользуются оборудованием и методами, применяемыми для изготовления обычных металлических порошков (рис.5):

- методы распыления («а»)

- кавитационный метод («б»)
- методом распыления расплава вращающимся диском

Методы распыления металлических расплавов различаются по виду силового воздействия на расплав (механическое воздействие, энергия газовых и водяных потоков, силы гравитации) и являются одними из основных при производстве металлических порошков. Они характеризуется высокой производительностью, технологичностью, степенью автоматизации и сравнительно малыми энергозатратами. Однако, для производства аморфных порошков использование этих методов ограничено, поскольку нельзя применять обычные окислительные печи для их окончательного измельчения.

В кавитационном методе расплавленный металл выдавливается в зазоре между двумя валками (0,2 - 0,5 мм), изготовленными, например, из графита или нитрида бора. Происходит кавитация — расплав выбрасывается валками в виде порошка, который попадает на охлажденную плиту или в охлаждающий водный раствор. Вследствие того, что кавитация возникает в зазоре между валками, пузырьки газа, имеющиеся в металле, исчезают.

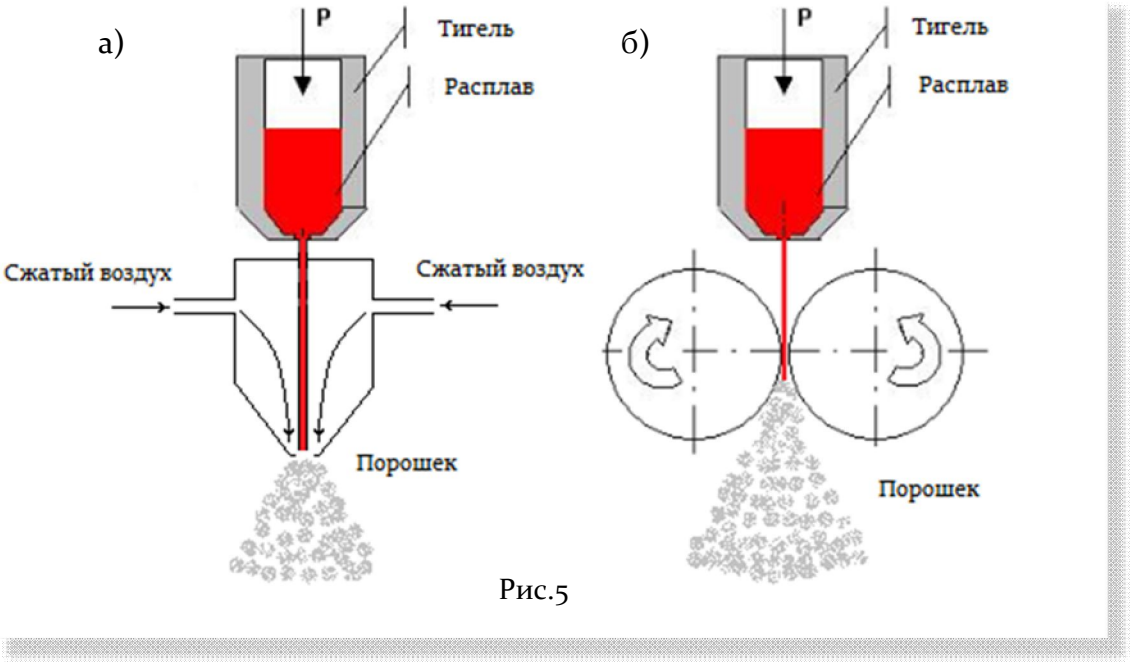


Рис.5

Метод распыления вращающимся диском в принципе аналогичен ранее описанному методу изготовления тонкой проволоки, но здесь расплавленный металл, попадая в жидкость, разбрызгивается за счет ее турбулентного движения. С помощью этого метода получают порошок в виде гранул диаметром около 100 мкм.

Так как в настоящее время области применения аморфных порошков еще четко не установлены, исследований методов получения порошков пока мало. Однако в будущем ученые ожидают определенного прогресса и в этой области.

Свойства и применение аморфных сплавов

Уникальный характер структуры металлических аморфных сплавов (металлических стекол) проявляется в их физико-механических и химических свойствах, не сходных со свойства кристаллических металлов.

Прежде всего, отсутствие дислокации (т.е. искажений в кристаллической решетке металла – см. рис. 6) приводит к тому, что металлические стекла по прочности превосходят даже самые лучшие легированные стали (в пределе в 2 раза). Высокая твердость определяет и их великолепную износостойкость. Правда, пластичность аморфных сплавов низкая (в среднем ниже на 30%), что, опять таки, объясняется отсутствием дислокаций, являющихся "носителями" пластичности.

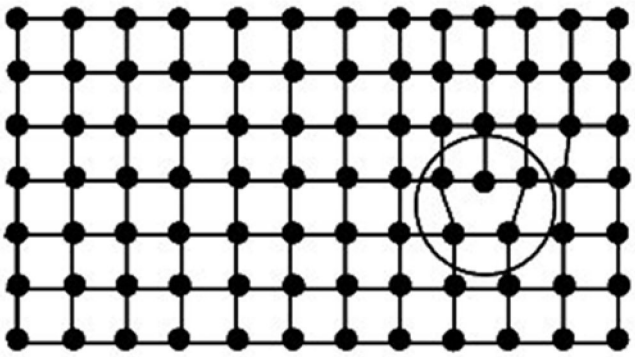


Рис.6

Другой важной отличительной особенностью аморфных металлических сплавов является их исключительно высокая коррозионная стойкость. Во многих весьма агрессивных средах (морской воде, кислотах) металлические стекла вообще не корродируют. Например, скорость коррозии аморфного сплава, содержащего железо, никель и хром, в растворе соляной кислоты практически равны нулю. Для сравнения - скорость коррозии "классического" коррозионностойкого сплава железа с никелем и хромом (нержавеющая сталь) в той же среде превышает 10мм/год. Основная причина такой высокой коррозионной стойкости аморфных сплавов состоит в том, что, не имея кристаллической решетки, они лишены и характерных "дефектов" кристаллов - дислокации и, главное, границ между зернами кристаллов. Высокая плотность упаковки атомов в кристалле обычного металла в близи "дефектов" уменьшается столь резко, что вдоль них легко проникают в металл коррозирующие вещества. Важно, что бездефектная структура аморфного сплава передается той тонкой окисной пленке, которая образуется на его поверхности на начальных стадиях коррозионного процесса и в дальнейшем защищает металл от прямого контакта с внешней средой.

Из-за более низкой, чем у сталей, электропроводности для металлических стекол частично или полностью отпадает необходимость в изоляции пластин в пакетах сердечников. А это означает уменьшение габаритов и повышение к.п.д. электрических машин и других преобразовательных устройств.

Еще одним открытием стало выявление у аморфных сплавов на основе ферромагнитных металлов (железа, никеля) тех же ферромагнитных свойств, что и у самих ферромагнетиков (веществ, обладающих магнитными свойствами). Что самое важное - в аморфных ферромагнетиках магнитная анизотропия (неодинаковость свойств в различных направлениях в веществе или среде) на два порядка меньше, чем в кристаллических. Уменьшение магнитной анизотропии приводит к резкому снижению потерь при перемагничивании в сердечниках преобразовательных устройств.

Другим полезным свойством аморфных ферромагнетиков является более высокое значение начальной магнитной проницаемости как на низких (0,1-1 МГц), так и на высоких (5-15 МГц) частотах. Это свойство так же определяется высоким удельным электрическим сопротивлением аморфных ферромагнетиков, значительно снижающим потери на токи Фуко, нагревающих сердечники преобразовательных устройств.

В настоящее время аморфные сплавы находят применение в различных отраслях промышленности:

- в системах телекоммуникаций использование сетей с элементами из аморфных сплавов позволяет с высоким качеством и надёжностью подключить к одной линии до большое количество абонентов;
- в электроизмерительной технике - магнитомерах, трансформаторах тока, счётчиках электроэнергии;
- в импульсных источниках питания;
- в AC/DC и DC/DC преобразователях;
- в аудио- и видеоаппаратуре для изготовления магнитных головок высокочастотной высокоплотной записи;
- высокое удельное сопротивление аморфных материалов позволяет использовать их в качестве резистивных элементов, в том числе для устройств высокоэффективных систем электронагрева;
- высокая радиационная и коррозийная стойкость аморфных материалов позволяет использовать их в качестве аморфных припоев на основе меди для соединения узлов ядерных и термоядерных реакторов в атомной технике.
- в электротехнической промышленности замена обычной трансформаторной стали аморфным сплавом (АС) даёт экономию электроэнергии на вихревых токах: как показывают расчеты, магнитные потери у трансформатора с сердечником из аморфного сплава примерно в 4 - 6 раз меньше магнитных потерь в трансформаторе из электротехнической стали (ЭТС). Это позволило достичь большего значения КПД в трансформаторах с использованием АС (КПД = 94,13%) по сравнению со значением КПД в трансформаторах с использованием ЭТС (КПД = 90,09%) при условии равенства тока во вторичной цепи номинальному току, т.е. коэффициент нагрузки Кнг = 1. При этом необходимо отметить, что полученное значение КПД для трансформатора с сердечником из АС не является максимальным, так как зависимость КПД = f (Кнг) для данных трансформаторов разная (см. рис.7 - а, б).

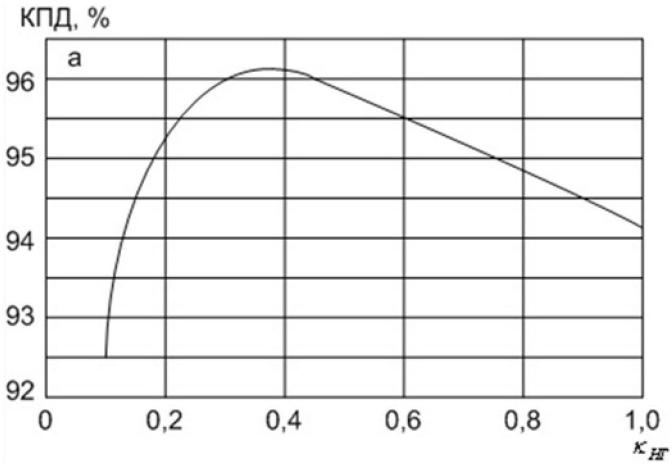


Рис. 7 - а
Сердечник из АС

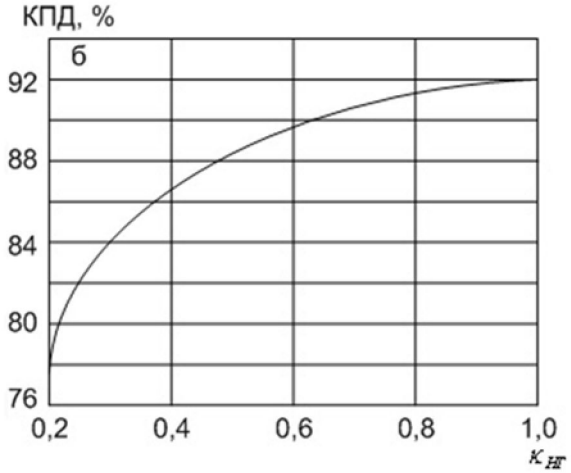


Рис. 7 - б
Сердечник из ЭТС

Как видно из графиков и приведенной ниже таблицы, трансформатор с сердечником из АС имеет большее ожидаемое значение КПД при номинальной нагрузке во вторичной цепи, чем аналогичный трансформатор с сердечником из ЭТС, но максимальным это значение становится при Кнг = 0,4. Поэтому наибольший эффект от использования такого трансформатора достигается в ночное время, когда происходит большое отключение потребителей, а так же когда трансформатор часто работает на нагрузку, значение которой меньше номинальной.

При этом необходимо отметить, что аморфные стали, применяющиеся при сборке магнитопроводов, имеют ряд недостатков: у них ниже допустимая рабочая индукция и коэффициент заполнения сечения сталью, аморфная сталь имеет большую твердость при одинаковой с холоднокатаной сталью толщине (25 – 30 мкм), что усложняет сборку магнитопровода. Высокая стоимость аморфной стали делает конечное изделие дороже в 1,5 – 2 раза.

Параметр		Электротехническая сталь	Аморфная сталь
		КПД, %	
Коэффициент нагрузки	0.2	78.0	95.2
	0.4	86.5	96.1
	0.6	89.8	95.5
	0.8	91.6	94.8
	1.0	92.0	94.2
Допустимая рабочая индукция, Тл		1.8	< 1.7
Коэффициент заполнения сечения сталью		0.98	0.8 – 0.85

Немаловажным является и температурный режим работы силовых и измерительных трансформаторов. Существенный недостаток аморфных сплавов - невысокая термическая устойчивость (потеря аморфными сплавами своих уникальных физических и химических свойств при превышении температуры сверх допустимой) повышает риски выхода из строя магнитопровода из АС при коротких замыканиях и перегрузке трансформатора.

Заключение: круг аморфных металлов и сплавов непрерывно расширяется (известны аморфные сплавы из 10 и более компонент). Применение новых видов оборудования и специальных добавок позволяет отказаться от вакуума и криогенных температур, результат можно получить при критической скорости всего лишь 100 - 200 К/с. Низкие удельные потери, высокое электрическое сопротивление, отличные электромагнитные характеристики, прочность и коррозионная стойкость делают аморфные сплавы одними из самых перспективных материалов. Однако, на сегодня решены далеко не все проблемы, связанные с производством и с применением новых материалов: помимо термической неустойчивости, технология производства пока не позволяет получать металлический прокат больших размеров, поэтому рассчитывать на применение аморфных металлов в виде крупных конструкций или изделий практически не возможно.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЦИНКОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Нормами технологического проектирования ПС и ВЛ электропередачи предусмотрено выполнение защиты стальных порталов, молниеотводов, стоек под оборудование, опор, других конструкций, а так же стальных деталей железобетонных изделий с применением горячего или холодного цинкования.

Справка:

цинк – серебристо-белый, в нормальных условиях довольно хрупкий металл с температурой плавления около 420 °С. Вода почти не действует на цинк. Это объясняется тем, что при взаимодействии цинка с водой на его поверхности образуется гидроксид цинка, который практически не растворим и препятствует дальнейшему течению реакции. На воздухе цинк окисляется, покрываясь тонкой, но прочной пленкой оксид, эта пленка надежно защищает его от дальнейшего окисления и обуславливает высокую коррозийную стойкость. Высокие противокоррозионные свойства цинка при нанесении его на железо (сталь) обусловлены еще и тем, что цинк имеет электрохимический потенциал ниже, чем железо (-760 и -440 мВ, соответственно), поэтому в электрохимической паре цинк-железо, возникающей в присутствии влаги, цинк выполняет роль анода, а металлическая подложка (железо) роль катода, что позволяет использовать его для катодной защиты.

цинкование – нанесение цинка или его сплава на металлическое изделие для придания его поверхности определенных физико-химических свойств, в первую очередь высокого сопротивления коррозии. Это наиболее распространенный и экономичный процесс металлизации, применяемый для защиты железа и его сплавов от атмосферной коррозии. Применение защитных цинковых покрытий увеличивает долговечность конструкций, в особенности эксплуатируемых в условиях повышенной агрессивности.

ТЕХНОЛОГИЯ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

Горячее цинкование – это процесс нанесения на сталь слоя цинка, осуществляемый в результате погружения стального элемента в жидкий цинк (температура ванны 440-460 °С). Технология горячего цинкования известна более 250 лет. Первые оцинкованные данным методом стальные изделия были получены в 1742 году французским химиком Малуэном, а с 1836 года во Франции было начато промышленное применение этого метода. Подлинного расцвета горячее цинкование достигло во второй половине XX века с признанием этого метода международным стандартом в области антикоррозийной защиты.

Линия цинкования состоит из ванн, обеспечивающих подготовку поверхности перед цинкованием, сушильной печи для сушки деталей перед входом в ванну цинкования, печи цинкования и зоны охлаждения и контроля (рис. 8).

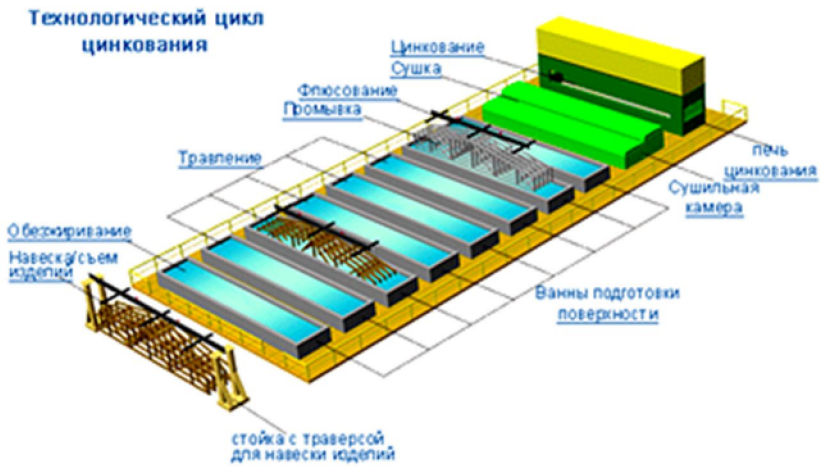


Рис.8

Технология горячего оцинкования состоит из несколько этапов:

1. **Обезжиривание**

Назначение обезжиривания – удаление масла и загрязнений - от этого зависит качество цинкования в целом. Обработка осуществляется с помощью обезжиривающего реагента, выбранного в зависимости от загрязняющего вещества, при температуре от 60 до 80 °С. Удаление масляных пятен является необходимым перед этапом травления, во избежание дефектов цинкования металла таких как, например, отсутствие или расслоение цинкового покрытия.

После обезжиривания обязательно должна быть выполнена промывка - она позволяет удалить с деталей жирные вещества и пену, оседающую на деталях при извлечении их из ванны обезжиривания.

2. **Травление**

Операция травления состоит из очистки поверхности металла посредством удаления с нее слоя оксидов, образующихся в результате горячей обработки (окалина) или неблагоприятных условий хранения (ржавчина). Обработка выполняется с помощью соляной кислоты, имеющей концентрацию от 120 до 210 г/л, при температуре окружающей среды (20 - 25 °С). Преимуществом соляной кислоты является хорошая растворимость хлоридов железа и достижение чистой блестящей поверхности. При проведении операции травления добавляются ингибиторы (вещества, замедляющие химические реакции) для удаления только окислов и гидроксилов, ограничивая воздействие на основной метал и избегая риска водородного насыщения.

Правильный контроль концентрации кислоты в ванне позволяет оптимизировать качество обработки, расходы, выбросы и, как следствие, защиту окружающей среды. Для дефектных изделий, как правило, предусматривается отдельная ванна для удаления

цинкового покрытия, которая позволяет очищать детали за счет использования отработанного раствора кислоты.

За травлением следует тщательная промывка для нейтрализации возможных остаточных следов кислоты и удаления солей. Использование нескольких последовательных промывочных ванн позволяет оптимизировать промывку и сократить расход воды.

3. Флюсование

Операция флюсования преследует три цели:

- завершение подготовки поверхности (растворение оксидов железа, заново образовавшихся на поверхности во время промывки),
- защита поверхности деталей с помощью пленки флюса для защиты от дальнейшего окисления стали,
- обеспечение качественного нанесения расплавленного цинка.

Флюс состоит из хлорида цинка и хлорида аммония. Обработка выполняется концентрированным раствором флюса (400 - 600 г/л) при температуре 60 °С. Раствор в ванне флюсования должен периодически контролироваться (плотность, кислотность и содержание железа). Очистка осуществляется с помощью добавления перикиси водорода, которая непрерывно осаждает соли трёхвалентного железа на дно ванны, а далее осадок попадает в систему отстаивания и фильтрации.

4. Предварительный нагрев, сушка перед нанесением цинка

Данная операция после флюсования позволяет испарять влагу с поверхности деталей и в пустотелых элементах, во избежание выплескивания цинка парами воды во время погружения в печь и деформации деталей. Она также позволяет предварительно нагревать детали приблизительно до 100°С, что повышает эффективность печи цинкования, экономит энергию и снижает себестоимости цинкования. Так как время сушки превышает время цинкования, сушильная печь должна иметь несколько камер (минимум 2).

5. Цинкование

Выполнение всех предварительно описанных операций позволяет обеспечить контакт между сталью и жидким цинком наилучшим образом. При выполнении процесса цинкования (рис.9) необходимо в обязательном порядке контролировать следующие параметры:

- температуру цинкового расплава

Как правило, цинкование проводят при температуре от 440 до 460 °С , что позволяет сократить образование штейна (промежуточного продукта), оксидов и т.д.

В соответствии с требованиями экологических норм системой аспирации и фильтрации должна осуществляться вытяжка отходящих газов, образующихся в процессе производства оцинкованных изделий.

- продолжительность погружения

Во время этой фазы имеют место несколько этапов: теплообмен внутри детали, расплав и разрушение флюса на поверхности деталей.

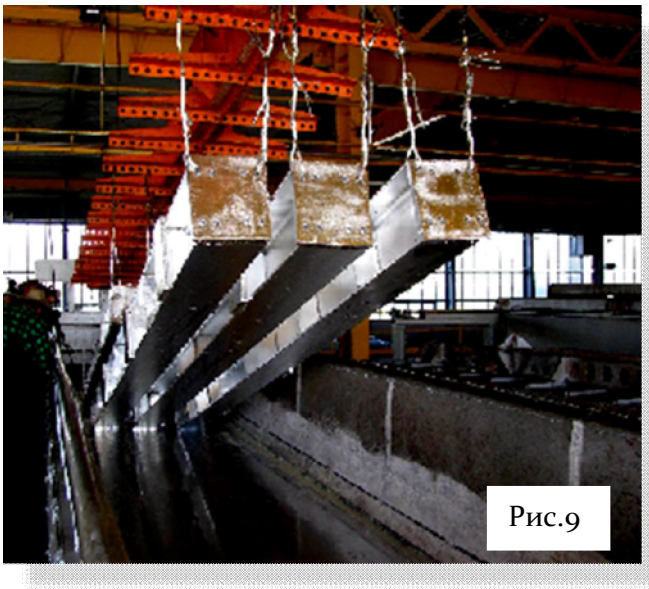


Рис.9

- скорость погружения и поднятия деталей

Скорость погружения тоже является важным фактором. Слишком медленная скорость приведет к освобождению поверхности стали от пассивированной пленки с риском повторного окисления, а слишком быстрая скорость погружения приведет к захвату с поверхности остатков солей, флюс не успеет расплавится и, как следствие, это вызывает образование дефектов.

Скорость извлечения влияет на конечную толщину полученного покрытия. Она воздействует на толщину слоя чистого цинка (мкм), связанную с растеканием цинка и скоростью отвердевания.

Скорости подбираются, исходя из производительности, длительности погружения и качеством поверхности (подтёки, капли), учитывая регулировку наклона деталей на монтаже в зависимости от их геометрии.

- длительность погружения

Длительность погружения изменяется в зависимости от массы, размеров, формы изделия и в среднем составляет от 3 до 10 мин.

В зависимости от массы цинкового покрытия на 1 м^2, горячеоцинкованные изделия имеют толщину цинка от 10 до 50 мкм.

Рис.10

6. Охлаждение

Охлаждение (рис.10) происходит на открытом воздухе на участке складирования и хранения.

Заключение: в данном методе защиты металлической поверхности цинк сразу образует сплошное влагонепроницаемое покрытие, то есть защищает по **барьерному (изоляционному) принципу**, эффективность способа горячего цинкования для защиты стальных конструкций от коррозии доказана многолетней историей применения. Тем не

менее, некоторые ограничения не позволяют повсеместно использовать этот метод, а именно:

- цинкование производится только в заводских условиях, что делает невозможным применение данного метода при проведении ремонтных работ
- существуют ограничения по размерам конструкций
- невозможность выполнения защиты повреждённых участков этим же методом
- нельзя оцинковывать конструкции из разнотипных материалов
- возможно образование «наплывов», неравномерное нанесение покрытия
- невозможно долговременно использовать горячеоцинкованные металлоконструкции в районах с сильно загрязненной промышленными уносами воздушной средой

В большей степени данных недостатков лишен метод холодного цинкования.

ТЕХНОЛОГИЯ ХОЛОДНОГО ЦИНКОВАНИЯ

Технология холодного цинкования является одной из альтернатив горячему цинкованию. Она основана на использовании **цинкнаполненных красок** с высоким (до 95%) содержанием цинка, после нанесения которых на защищаемую поверхность и сушки формируется **катодное (протекторное) защитное** покрытие. Антикоррозийное цинкнаполненное покрытие, полученное по технологии холодного цинкования, обладает защитными свойствами в таком же объеме, как и цинковые покрытия, полученные по технологиям горячего цинкования.

Необходимо различать цинкнаполненные и цинкосодержащие краски

Параметр	Цинкнаполненные краски	Цинкосодержащие краски
Массовая доля цинка, %	70 - 97	20 - 40
Толщина покрытия (для атмосферных условий), мкм	80 - 120	60 - 80
Условия нанесения (t, °C; влажность воздуха, %)	от – 5 до + 30; 98	от – 5 до + 30; 98
Время высыхания слоя при 20 °C, мин	30	20 - 30
Срок службы, лет	15 - 25	10 - 12

Справка: протекторная защита металлов от коррозии основана на использовании явления прекращения коррозии металлов под действием постоянного электрического тока. Поверхность любого металла неоднородна, что и является основной причиной его коррозии. Механизм действия заключается в превращении всей поверхности защищаемой металлической конструкции в один общий неразрушающий катод. Анодом при этом будет являться покрытие из более электроотрицательного металла — протектора (цинка, алюминия или магния). Поэтому такая защита и называется протекторной. Электрический защитный ток получается вследствие работы гальванической пары протектор–защищаемая конструкция.

Протекторный тип защиты более характерен именно для холодного цинкования, особенно в стадии первоначального формирования покрытия, когда оно еще имеет определенную пористую структуру, через которую возможен доступ влаги к поверхности стали, приводящий к образованию электрохимической пары «цинк-железо».

В процессе дальнейшей эксплуатации происходит уплотнение структуры покрытия и переход его защитного действия от протекторного к барьерному. Таким образом, покрытие, полученное методом холодного цинкования, по истечении определенного времени, зависящего от среды эксплуатации (в основном влажности), защищает сталь по тому же механизму, что и покрытие, нанесенное горячим способом. Дальнейшее действие цинка по электрохимическому типу защиты (также как и для горячеоцинкованных поверхностей) происходит только тогда, когда по тем или иным, в т.ч. механическим причинам нарушается целостность нанесенного покрытия и влага проникает к поверхности стали.

Если сравнивать холодное цинкование с традиционными лакокрасочными покрытиями, то за счет высокого содержания цинка оно обладает повышенными физико-механическими характеристиками, полностью исключает явление «подслойной коррозии» в случае нарушения целостности защитного покрытия. Это связано с тем, что при окислении металлического порошка в микропорах покрытия образуются нерастворимые продукты коррозии цинка, препятствующие доступу коррозионно-активных агентов к стали (рис.11).

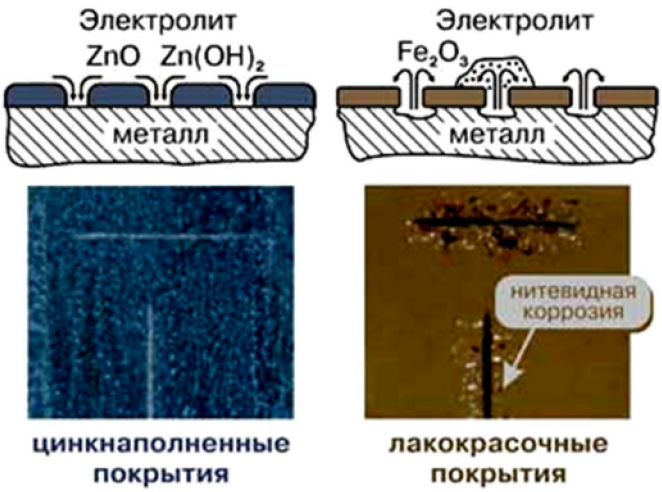


Рис.11

Особенности механизма защитного действия цинкнаполненых и лакокрасочных покрытий: схема протекания коррозионных процессов (вверху), внешний вид покрытий после нанесения дефектов (внизу)

Технология холодного цинкования предусматривает традиционный лакокрасочный метод формирования защитного покрытия на металлоконструкциях (пневматическое и безвоздушное распыление, кистью, валиком, окунанием), как в заводских условиях, так и на месте проведения СМР – «в полевых условиях». Такие

покрытия не мешают процессу сварки, не ухудшают качество сварного шва, а так же являются ремонтопригодными (т.е. в процессе проведения ремонтных работ достаточно зачистить и вновь покрасить только поврежденные места на защищенной стальной поверхности).

1. Цинкнаполненные составы

Согласно стандартам ISO 3549 (DIN 55969) составы для холодного цинкования, обеспечивающие активную электрохимическую защиту по всей поверхности (повсеместную и свободную передачу электронов как между частицами цинка внутри покрытия, так и от частиц цинка к поверхности стали), должны содержать в сухом покрытии не менее 94% чистого цинка с размером частиц 12-15 мкм или не менее 88 % цинка с размером частиц 3-5 мкм. Более высокие концентрации цинка увеличивают защитное антикоррозийное действие покрытия, а использование атоминизированной (< 5 мкм) цинковой пудры, при прочих равных условиях, способствует повышению эластичности, снижению пористости покрытия и получению более гладкой поверхности.

Цинкнаполненные краски, не отвечающие вышеуказанному стандарту, не относятся к составам для холодного цинкования и не образуют электропроводного цинкового покрытия, адекватного по свойствам и срокам эксплуатации с горячеоцинкованному. Цинк, присутствующий в них, выполняет роль специального (в т. ч. цветообразующего) пигмента, усиливающего лишь барьерную (пленочную) защиту за счет своего окисления и «закупоривания пор» в слое краске.

Антикоррозионные цинкнаполненные составы для технологии холодного цинкования, как правило, являются двухкомпонентными и состоят из высокодисперсного порошка цинка и жидкого компонента (связующего), которые поставляются в двух отдельных упаковках. Так как содержание цинка определено нормативными документами, составы отличаются друг от друга именно по типу используемого связующего. Известны составы как с органическими, так и с неорганическими связующими: «жидкое стекло» (цинксиликатные краски), эпоксидные или кремнийорганические смолы и т.д. Однако, именно необходимость работы с пылящим высокодисперсным цинковым порошком при смешивании компонентов непосредственно на рабочей площадке и применением дополнительных устройств для диспергирования (перемешивания), непродолжительной жизнеспособности состава после смешивания и являются сдерживающими факторами для внедрения этих материалов в широкую практику антикоррозийной защиты. В настоящее время разработаны и успешно применяются однокомпонентные цинкнаполненные краски на основе полимерного связующего.

2. Подготовка поверхности

Перед нанесением поверхность должна быть подготовлена должным образом. Снижение качества подготовки приводит к снижению срока службы поверхности. Интервал

времени после очистки поверхности до начала нанесения цинкнаполненного состава не должен превышать 24 часа в закрытом помещении и 6 часов на открытом воздухе. Подготовка включает в себя:

- очистка от грязи, рыхлой и отслаивающейся ржавчины при помощи металлических щеток (скребков);
- удаление масляных и жировых загрязнений по ГОСТ 9.402-80;
- абразивоструйная очистка от окалины и ржавчины до степени 2 по ГОСТ 9.402-80 или Sa 2,5 по ISO 8501-1:1988
- допускается механизированная и ручная очистка поверхности от окислов до степени 3-4 по ГОСТ 9.402-80 (St2 или St3 по ISO 8501-1:1988).
- после очистки поверхность следует очистить от пыли.

Необходимо отметить, что в итоговой стоимости 1 м² оцинкованной поверхности, затраты на ее подготовку занимают достаточно значительную часть (до 50%). Это связано именно с достаточно жесткими требованиями, предъявляемыми ГОСТ 9.402-80 (ISO 8501-1:1988). При этом, обязательная пескоструйная обработка необходима не для улучшения электроконтакта железа с цинком, ведь одно из важных преимуществ протекторного защитного покрытия в сравнении с барьерным (пленочным) как раз и состоит именно в том, что ни нарушения сплошности, ни даже вздутия и отслаивания покрытия не приведут к коррозии основы. Обязательная пескоструйная обработка перед нанесением состава необходима именно потому, что без нее он попросту будет осыпаться.

3. Нанесение цинкнаполненного состава

Перед нанесением порошок и связующий состав смешивают в соотношении от 1:1 до 3:1 в соответствии с нормативами, указанными в технической документации на краску (в случае применения двухкомпонентного состава). Как уже отмечалось выше, покрытие наносится традиционными лакокрасочными способами при температуре от – 20 °С до + 40 °С при относительной влажности воздуха 30-98%. Толщина покрытия и количество наносимых слоев зависят от условий эксплуатации объекта. Во время работы необходимо периодически перемешивать состав для предотвращения оседания цинкового порошка. В общем случае для обеспечения защиты в нормальных атмосферных условиях наносят покрытие толщиной 80 – 120 мкм (2-3 слоя). Время сушки одного слоя при 20 °С не превышает 30 минут.

Рис.12

После нанесения и высыхания покрытие становится стойким к температурам от -50 °С до +150 °С, его можно использовать в условиях холодного, умеренного и тропического климата, в контакте с пресной, морской, минерализованной водой, нефтью и нефтепродуктам. Его можно использовать в системах питьевого и горячего водоснабжения (рис. 12).

Заключение: возможность производить подготовку поверхности на месте, оцинковывать собственными силами, легко сваривать конструкции, покрытые составами для холодного цинкования и на месте оцинковывать сварочные швы, выполнять работы при минусовых температурах, легкость в ремонте, в т.ч. нарушенных (при транспортировке и монтаже) участков цинкового покрытия, экологичность делают этот метод наиболее эффективным, а зачастую и единственно доступным, при производстве ремонтных работ и реконструкции на электроэнергетических объектах. К недостатку метода можно отнести относительно невысокую стойкость к механическим воздействиям.

Справка: помимо перечисленных выше методов цинкования применяются еще несколько:

- гальванический (электролитические) - покрытия на поверхность изделий наносят в растворах электролитов под действием электрического тока. Основными компонентами этих электролитов являются соли цинка.
- металлизационный - покрытия наносят путем распыления расплавленного цинка струей воздуха или горячего газа. В зависимости от способа напыления используют цинковую проволоку (пруток) или порошок цинка. В промышленности используют газопламенное напыление и электродуговую металлизацию.
- термодиффузионный - покрытия наносят на изделия путем химико-термической обработки их в порошковых смесях на основе цинка (метод указан как альтернативных горячему цинкованию в НТД ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «РЖД»). Впервые он был применен в Англии в начале XX века и получил название «шерардизация» (по фамилии изобретателя Шерарда). Сущность метода состоит в образовании на поверхности железа цинкового покрытия за счет перехода атомов цинка при температурах выше 260°С в паровую фазу и проникновения в железную подложку (защищаемый металл); при этом образуется железноцинковый сплав сложной фазовой структуры. Образование такого покрытия возможно только при высоких температурах 400-450°С и в замкнутом пространстве специальной печи (реторты – рис.13). Реторта представляет собой цилиндр, вращающийся вокруг своей оси со скоростью 2-10 об/мин. заполненный цинкуемыми деталями и цинкосодержащей порошковой смесью. Вокруг реторты расположены нагревательные элементы – ТЭНы мощностью 15-30 кВт и выше. Толщина получаемых покрытий определяется, в основном, временем проведения процесса, а также содержанием цинка в цинкующей смеси (от 25 до 50%) и колеблется в диапазоне от 15 до 150 мкм.

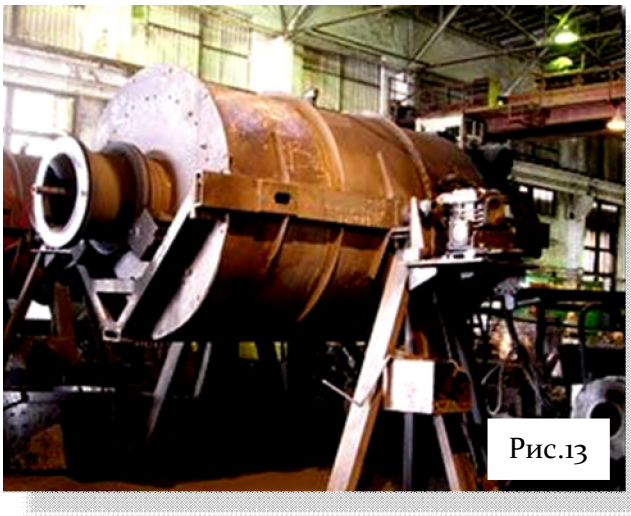


Рис.13

К достоинствам метода можно отнести его высокую экологичность, получение пластичных покрытий с защитной способностью, сравнимой с горячецинковыми, точное воспроизведение формы деталей, в том числе и

со сложной конфигурацией (внутренние поверхности, отверстия, полости, резьба, щели и т.п.), покрытие характеризуется высокой точностью соблюдения заданной толщины. К недостаткам процесса следует отнести относительно небольшую производительность, лимитируемую объемами реторт для цинкования и не эстетичный внешний вид (оцинкованные изделия имеют серую матовую окраску, что может быть частично исправлено только введением дополнительной операции, ведущих к удорожанию стоимости продукции).

ПРОИЗВОДСТВО И ПРОПИТКА ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР

Многолетний положительный зарубежный опыт применения деревянных пропитанных опор для строительства воздушных линий электропередачи 0,4-10 кВ показал, что в определенных условиях они могут стать достойной альтернативой железобетонным и стальным многогранным опорам. Незначительные затраты на производство, транспортировку, установку и утилизацию деревянных опор, а так же хорошая работа на изгиб в районах со сложными метеорологическими условиям (при высоких ветровых нагрузках и нагрузках от обледенения) делают применение данного типа опор экономически целесообразным и достаточно эффективным. Тем неменее, практическое внедрение деревянных опор в электросетевом комплексе идет довольно медленно по нескольким причинам:

- во-первых, длительный период массового применения железобетонных опор привел к тому, что в последние десятилетия в недостаточном количестве разрабатывались типовые проекты и проекты повторного применения ВЛ на деревянных опорах. В настоящее проводится работа по адаптации старых типовых проектов к требованиям ПУЭ 7 редакции, однако эта работа сводится в основном к пересчету длин пролетов, а конструктивные решения и арматура остаются во многом устаревшими;
- во-вторых, в России отсутствует единый стандарт на деревянные пропитанные опоры, несмотря на то, что во многих странах Европы и в США данные стандарты давно введены и успешно действуют. В российских стандартах упоминание о деревянных опорах для линий электропередачи можно найти в ГОСТ 9463-80 «Лесоматериалы круглые хвойных пород», ГОСТ 20022.0-93 «Защита древесины. Параметры защищенности» и СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции». В первом документе определяются требования к древесному сырью, используемому для изготовления деревянных опор, во втором даются нормы по пропитке древесины, в третьем приводятся прочностные характеристики древесины, которые необходимо использовать при расчетах деревянных опор;
- в-третьих, значительная зависимость эксплуатационных показателей деревянных опор (прежде всего срока службы) от применяемого пропиточного состава и качества самой пропитки. Только в случае применения качественных антисептиков и соблюдения всех требований действующей нормативно – технической документации (НТД) деревянные опоры имеют срок эксплуатации до 40 лет.

Все перечисленные причины требуют равнозначного внимания и своевременного решения, но если в части разработки типовой проектной документации для строительства ЛЭП 0,4 – 10 кВ на деревянных опорах и другой НТД, определяющей требования к качеству защиты древесины, уже существуют значительные наработки, то само качество пропитки готовой продукции соответствует ей не всегда.

Заготовка леса

Срок службы пропитанных опор, прежде всего, зависит от качества исходного сырья.

Наилучшим сырьем для производства опор является сосна и лиственница. Лиственница, особенно зимней рубки (декабрь - март), очень хорошо противостоит загниванию, однако ее практически не используют по экономическим и экологическим соображениям. Не менее качественные опоры так же получают и из сосны, особенно из той, которая произрастает выше 60 - го градуса северной широты. У такой сосны выше плотность годовых колец, поверхностный слой сосны (заболонь) хорошо пропитывается, а сердцевина сосны уже пропитана природным консервантом – смолой (рис.14). Сосна так же обладает отличными геометрическими и прочностными характеристиками.

Рис. 14

Поставляемые заготовки должны проходить обязательный входной контроль качества в соответствии требованиями ГОСТ 9463-88.

Окорка леса

Далее заготовки попадают в цех окорки, где на окорочном станке снимается кора и луб для обеспечения определенной ГОСТ 20022.0-93 глубины пропитки. Удаление луба обязательно, так как этот плотный слой древесины может препятствовать проникновению пропитывающего состава внутрь. При этом окорочный станок должен оставлять «природную» геометрию дерева, сохраняя, таким образом, первоначальную устойчивость к ветровым и механическим нагрузкам.

Рис. 15

Рядом производителей предусмотрено 2 этапа окорки леса. Перед сушкой на окорочном станке снимается только кора, а после сушки на отдельном технологическом участке лущения – луб. За счет более плотного, чем сердцевина, слоя луба

древесина лучше защищена от растрескивания в процессе сушки при смене температурных режимов, которые все же возможны, несмотря на применяемые современные технологии сушки. Растрескивание древесины в процессе сушки отрицательно влияет на срок службы опоры, так как приводит к вымыванию антисептика и доступу к непропитанным частям опоры.

Наиболее высокое качество окорки и производительность достигается при применении окорочных станков фрезерного типа.

Сушка леса

Сушка древесины – один из важнейших этапов в процессе производства деревянных опор. Именно в процессе сушки древесина приобретает биологические и физико-механические свойства, требуемые для применения ее в качестве строительного материала. На большинстве предприятий, при производстве опор применяют два основных вида сушки: атмосферную и сушку в камерах.

Атмосферная сушка древесины

Атмосферная сушка древесины производится на открытых складах (рис. 16). Заготовки для атмосферной сушки укладывают в штабеля, а агентом сушки (средой, в которой происходит сушка древесины) является воздух.

Сушка древесины должна выполняться обязательно в тени, под навесом и на сквозняке. При сушке на солнце внешняя поверхность древесины быстро нагревается, а внутренняя может остаться сырой. Из-за разницы напряжений образуются трещины, дерево может покоробиться.

Рис.16

К недостатками атмосферной сушки древесины относятся:

- отсутствие возможности управления влажностью, температурой и скоростью движения воздуха, зависимость сушки от климатических условий конкретной местности, времени года и погоды;
- высокая конечная влажность;
- необходимость больших площадей для строительства складских помещений;
- малая интенсивность сушки и, следовательно, большая длительность процесса;

Большая продолжительность процесса атмосферной сушки связана не только с низкой температурой сушильного агента, но в значительной степени с недостаточным количеством воздуха, проходящего через штабель при естественной циркуляции. Увеличение количества проходящего через штабель воздуха достигается установкой осевых вентиляторов между штабелями. Вентиляторы, которые монтируются в переносных или стационарных экранах, располагают таким образом, чтобы обеспечить равномерную интенсивную циркуляцию воздуха в штабелях. Применение вентиляторов снижает продолжительность атмосферной сушки в 2-3 раза.

Несмотря на перечисленные недостатки, у атмосферной сушки древесины есть и определенные достоинства: простота организации и проведения процесса сушки, незначительные капитальные вложения и эксплуатационные расходы, незначительные остаточные внутренние напряжения в древесине. При производстве деревянных опор атмосферную сушку используют летом как основную, зимой - для доведения древесины до транспортной влажности и как подготовительный этап перед сушкой в сушильных камерах. На период проведения атмосферной сушки необходимым условием является обработка поверхности бревен антисептиками для предотвращения их поражения биологическими агентами.

Сушка древесины в камерах

Камерная конвективная сушка является основным промышленным способом получения древесины с требуемым уровнем влажности. Сушку пиломатериалов производят в специальных помещениях (камерах), оснащенных необходимым оборудованием и приборами контроля (рис.17), куда загружают древесину, сложенную штабелями. В камерах регулируется температура, влажность и степень циркуляции воздуха.

Рис. 17

Для нагревания сушильного агента используют теплообменник с нагретой внешней поверхностью (пароводяной, жаротрубный, индукционный нагрев) или смешивают агент с продуктами сгорания (топочными газами) газообразного, твердого, жидкого топлива.

По движению сушильного агента различают камеры с естественной и побудительной циркуляцией. В первых движение сушильного агента происходит за счет разности удельных весов более или менее нагретых частиц воздуха, а во вторых этот агент перемещается с помощью вентиляторов.

К основным технологическим операциям процесса сушки относятся:

- начальный прогрев древесины,
- собственно сушка по определенному режиму,
- конечная влаготеплообработка

Начальный прогрев проводится после загрузки камеры материалом с целью предупреждения образования внутренних напряжений и сохранения древесины в целостности в начальный период сушки. Во время прогрева в камеру подают водяной пар через систему увлажнения, при включённых калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных трубах. Для ускорения процесса, эту процедуру проводят в среде повышенной температуры (температуру во время прогрева обычно держат на 5-10 °С выше, чем в режиме непосредственной сушки, но не более 100 °С) и влажности. Влажность в камере обязательно должна быть повышенной, поскольку,

чем выше влажность древесины, тем выше ее теплопроводность, и, следовательно, выше скорость прогрева. При начальной влажности древесины более 30 % относительная влажность сушильного агента устанавливается равной 98 - 100 %, при влажности древесины менее 30 % - 95-98 %. Скорость прогрева древесины за час не должна превышать 8 °С, а его продолжительность зависит от породы древесины и составляет в среднем 1,5 ч на каждый сантиметр толщины. В фазе прогрева важно не допустить даже кратковременного понижения температуры во влажной древесине, так как это может привести к возникновению поверхностных трещин. После прогрева параметры агента сушки доводятся вентиляторами и вентилями на паропроводах и приторно-вытяжных каналах до ступени режима сушки.

Сушка древесины происходит по определенному, заранее установленному, режиму. Под режимом сушки понимается чередование процессов температурного и влажностного воздействия на древесину для достижения требуемого ее качества. Режим сушки устанавливается до загрузки древесины в камеру исходя из информации о ее начальной и конечной влажности, породе, толщине, качестве древесины и конструкций (типа) камеры. В процессе сушки в камере постепенно повышается (по ступеням) температура воздуха и понижается относительная влажность сушильного агента. Количество ступеней зависит от толщины и породы древесины, а также от продолжительности процесса сушки.

В процессе сушки обязательно выполняют контрольные операции с занесением результатов в базу данных. В течение всего процесса сушки непрерывно или периодически (через 1-2 ч) ведут контроль над температурой и степенью насыщения сушильного агента. Погрешность поддержания температуры, например, не должна превышать ±2 °С от заданного режимом. По данным контроля регулируют параметры среды в камере. Один-два раза в сутки контролируют влажность высушиваемых пиломатериалов. По результатам этого контроля изменяют параметры сушильного агента, приводя их в соответствие с режимными. Соблюдение всех технологических параметров процесса очень важно, так как особенностью конвективной сушки является то, что в первую очередь высыхают поверхностные слои древесины, а центральные зоны могут остаться набухшими из за содержания в них влаги. Это приводит к растягиванию поверхностных слоев вокруг набухшей центральной зоны и образованию трещин на поверхности бревна. Сушку заканчивают при достижении материалом заданной конечной влажности 22 - 28%.

Конечная влаготеплообработка имеет целью устранения внутренних напряжений в круглом лесе, вызванных сушкой. Конечная обработка состоит из повышения в камере на определенное время температуры и влажности воздуха. Температуру повышают на 5-8 °С выше температуры той ступени режима, которая предшествовала началу обработки. Влажность воздуха должна быть равновесной средней влажности материала в камере, увеличенной на 3%. Продолжительность конечной обработки зависит от породы древесины и составляет в среднем 10 – 12 часов. После обработки древесина в течение 3-4 часов выдерживается в камере для подсушки увлажненной поверхности при том состоянии воздуха, которое задается режимом сушки. После этого камеру отключают от нагревательных приборов, и древесина остается в ней для медленного остывания.

Справка: помимо основных, перечисленных выше, способов сушки круглого леса для производства деревянных опор существуют и другие:

- **диэлектрическая сушка** - сушка с применением СВЧ - сушильных камер. Благодаря равномерному нагреву древесины по всему ее объему, возникновению положительного градиента температур и избыточного давления внутри ее продолжительность диэлектрической сушки в десятки раз меньше конвективной. Из-за сложности оборудования и его дороговизны, большого расхода электроэнергии данный тип сушки пока не нашел широкого промышленного применения;
- **вакуумная сушка** - сушка при пониженном давлении в специальных герметичных камерах. Из-за сложности оборудования и невозможности получения низкой конечной влажности древесины вакуумная сушка самостоятельного значения не имеет. Применяется в комбинации с другими методами сушки и как вспомогательная операцию при подготовке древесины к пропитке;
- **сушка в жидкостях** – сушка в ваннах, наполненных гидрофобной жидкостью (петролатумом, маслом), нагретой до 105-120 °С. Интенсивная передача теплоты от жидкости к древесине позволяет сократить срок сушки по сравнению с камерной в 3-4 раза при прочих равных условиях. Этот способ применяют в технологии консервирования древесины для снижения ее влажности перед пропиткой.

Пропитка леса

ГОСТ 20022.6-93 предусматривает несколько способов пропитки деревянных опор защитными составами (в зависимости от вида состава), самым технологичным из которых является способ «вакуум – давление - вакуум». В процессе пропитки выделяют следующие этапы:

- загрузка опор в автоклав;
- создание вакуума (рис. 18, а), способствующего вытягиванию избыточной влаги и воздуха и облегчению последующего проникновения антисептика внутрь древесины;
- подача в автоклав раствора антисептика (рис. 18, б);
- создание давления, пропитка опор (рис. 18, в);
- повторное создание режима вакуума для того, чтобы пропитывающий состав более равномерно распределился внутри опоры (рис. 18, г);

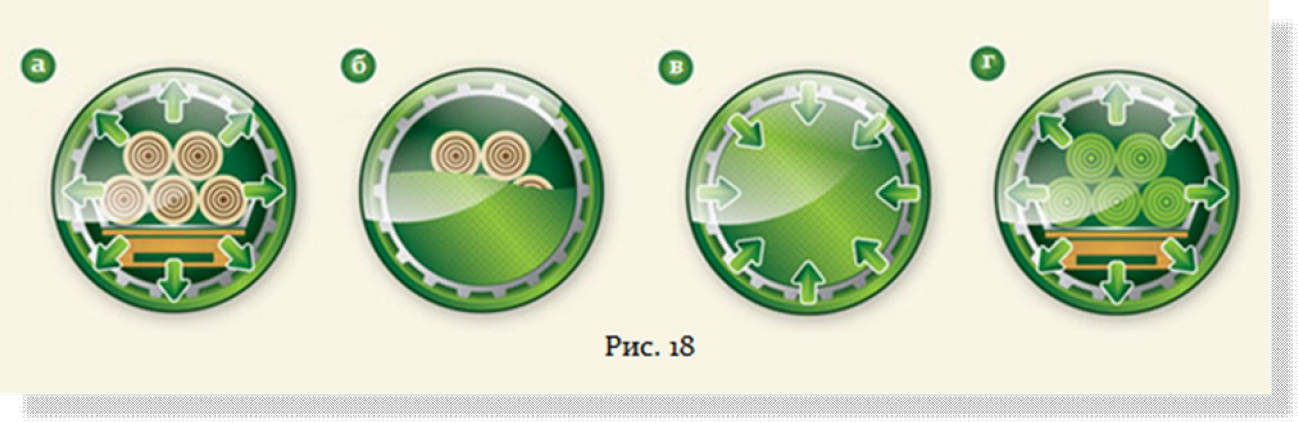


Рис. 18

Параметры технологического процесса: давление, температура в автоклаве, время и глубина пропитки определяются ГОСТ 20022.6-93.

После пропитки в древесине начинается химическая реакция - элементы, входящие в пропиточный состав переходят в твердую нерастворимую в воде форму и фиксируются в древесине. Длительность данного процесса зависит от температуры окружающего воздуха. При выдерживании опор на открытом воздухе он занимает несколько недель, при использовании автоклавов и температур +50.....+200 °С – от 3 до 5 дней. Для ускорения процедуры фиксации антисептика опоры обрабатывают перегретым (острым) паром или специальными химическими составами.

Современными экологическими стандартами предусматривается переход от атмосферного к автоклавному методу фиксации антисептиков, так как они являются достаточно опасными веществами, не будучи связанными в древесине. После пропитки и закрепления опоры выгружают из автоклава и направляются на склад.

Пропиточные составы

До недавнего времени в России в качестве основных применялись масляные пропиточные составы, получающиеся при фракционной разгонке каменноугольный смолы и нефти (креозот, ЖТК, ЖНП), а так же сланцевые и антраценовые масла. Один из наиболее часто применяемых антисептиков – креозот. Обработанные креозотом опоры можно легко распознать по их черному цвету (рис. 19). Креозот обладает хорошими антисептическими свойствами, не поглощает влагу из воздуха, устойчив к вымыванию, не снижает механической прочности древесины и не вызывает коррозии металла. Тем неменее, он обладает и рядом недостатков: во – первых его применение повышает риск кожных заболевай у эксплуатирующего линейного персонала (креозот признан канцерогенным веществом, он имеет 1 класс опасности экологической опасности); во - вторых вещество имеет резкий неприятный запах и пачкает спецодежду. По этой причине все большее применение находят составы на водной основе.

Рис. 19

Так называемые водорастворимые составы имеют аббревиатуру ХМ (СС) «хром - медь», или МХМ (ССА), которая обозначает «медь (Cu)- хром (Cr) – мышьяк (As)». Эти антисептики обладают высокой ядовитостью для грибов и очень прочно фиксируются на волокнах древесины, обеспечивая высокую защиту пропитанной древесины в любых условиях от гниения, жуков, термитов, древоточцев и прочих

Рис. 20

вредителей. В течение всего срока эксплуатации пропитанная древесина экологически безопасна и абсолютно безвредна для человека и животных. Пропитанная ССА составом древесина имеет светло – зеленый оттенок (рис. 20).

Каждый компонент ССА выполняет определенную задачу. Медь защищает древесину от поражения грибами и плесенью, она не вызывает коррозии, но медь не эффективна против различных микроорганизмов и насекомых. Для защиты от этих вредителей используется мышьяк. Хром – фиксатор, элемент, который закрепляет антисептики и внедряет их в структуру дерева. В результате химических реакций эти компоненты переходят в нерастворимые соединения, которые и создают долговременный защитный эффект.

По сравнению с масляными пропиточными составами составы ССА имеют ряд преимуществ:

- **Отсутствие потерь антисептика** - деревянные опоры, пропитанные креозотом, при некачественной пропитке могут терять приблизительно до 5 % своего консерванта ежегодно. Антисептики группы ССА в виде водного раствора проникают в клетки древесины, вступая в химическую реакцию с целлюлозой и образуя нерастворимые составы на основе меди и хрома, что исключает их потерю;
- **Удобство эксплуатации** - древесина, обработанная ССА, имеет сухую, чистую, не имеющую запаха и не впитывающую влагу поверхность;
- **Снижение затрат на транспортировку** – в опорах, обработанных ССА составом его содержание до 10 раз меньше, чем в опорах, пропитанных креозотом;
- **Удобство хранения** - опоры, пропитанные креозотом, в процессе хранения необходимо периодически вращать. Это необходимо для предотвращения стекание креозота во время хранения. В случае применения составов ССА в этом необходимости нет – экономится время и трудовые затраты.

В то же время, при производстве опор, пропитанных ССА составом необходимо четкое соблюдение всей технологии производства, так как в противном случае велик риск выпуска опор с не полностью зафиксировавшимися вредными соединениями или даже с их налетами на поверхности древесины. Устанавливать и эксплуатировать такие опоры очень опасно. Так же существует проблема вторичного использования и утилизации пропитанных ССА составом опор. В Швейцарии пропитка древесины составами, содержащими мышьяк, запрещена вообще. В Финляндии – мышьяк запрещен для пропитки деревянных изделий, применяющихся для строительства жилых и общественных зданий. Хром так же относиться к веществам 1 класса опасности, однако вредным он является только на стадии производства и пропитки опор, при взаимодействии компонентов ССА состава между собой и древесиной все вещества переходят в нерастворимое состояние, обеспечивая опорам срок службы не менее 40 лет.

Заключение

В 50 - 60-х годах прошлого века широкомасштабное строительство ВЛ 0.4 – 10 кВ для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей велось с применением как деревянных, так и железобетонных опор при минимальных временных затратах. Первоначально предпринимались попытки защитить деревянные опоры от

преждевременного гниения в зоне, наиболее подверженной биологическим разрушениям (40-50 см в грунте и 15-20 см над поверхностью земли) методом обмазки горячим битумом. Затем были выпущены временные указания по полному антисептированию деревянных стоек ВЛ. Однако, во – первых, в силу сжатых сроков строительства, на пропитку в лучшем случае поступала лишь частично высушенная древесина, а во – вторых сами временные указания по антисептированию деревянных стоек выполнялись не полностью. В итоге оказывался пропитанным лишь тонкий внешний слой древесины, и через несколько лет вместо опор под линиями электропередачи стояли полые внутри и целые снаружи деревянные стаканы. Это приводило к высокому травматизму линейного персонала, снижению надежности электроснабжения, и во многом обусловило полный переход электросетевых организаций с 70 –х годов на железобетонные опоры.

С введением ГОСТ 20022.0-93 вопрос применимости деревянных опор принял новую актуальность, ведь при качественной сушке и пропитке они имеют целый ряд преимуществ перед ж/б опорами:

- **простота транспортировки и монтажа** - деревянная опора в три раза легче железобетонного аналога. Соответственно, нормы загрузки автотранспорта и ж/д вагона увеличены в несколько раз, что существенно сокращает затраты на транспортировку. Для установки деревянных опор не нужна тяжелая строительная техника, а установка опор непосредственно в грунт без сооружения фундаментов снижает сроки и затраты на строительно – монтажные работы (в 2-2,5 раза).
- **удобство обращения** - ж/б опоры при транспортировке не должны подвергаться ударам, резким толчкам, рывкам и сбрасыванию, при вывозе опор на трассу необходимо не допускать их прогиба, каждый раз перекладывать деревянными прокладками. Транспортировка ж/б опор с помощью роспусков запрещена. Деревянные опоры при перевозке, разгрузке, складировании и установке в котлованы допускают менее бережного, в допустимых, естественно, пределах, обращения.
- **хорошая работа на изгиб, отсутствие «эффекта домино»** - применение деревянных опор на высоковольтных линиях повышает устойчивость ВЛ к гололедно-ветровых нагрузках, которую, зачастую, не могут обеспечить железобетонные опоры. Тяжелая железобетонная опора, падая, увлекает за собой соседние опоры по всему анкерному пролету, а деревянная опора удерживается на натянутых проводах (при хорошем их закреплении), что сокращает количество аварийных отключений на линиях.
- **отсутствие выпучивания опор в вечномерзлых грунтах** – так как в северных регионах одной из проблем является выпучивание опор ЛЭП из грунта (когда их выдавливает из земли на 0,5 – 1 метр) применение деревянных опор позволяет решить эту проблему. Опоры полностью вмерзают в окружающий грунт и силы сцепления противодействуют усилиям выпучивания.
- **значительный срок службы** – деревянная опора, изготовленная с соблюдением всех технологических требований, служит до 40 - 45 лет (ж/б опора служит до 30 – 35 лет).

Основным недостатком деревянных опор является их пожароопасность, хотя применение медь-, хромсодержащих препаратов несколько снижает горючесть

древесины. Производство данных опор связано с применением значительного количества вредных веществ, вплоть до 1 класса опасности. При заготовке бревен для стоек необходима их подборка по диаметрам и сбегу (конусности) под размеры монтерских когтей (часть бревен при этом отбраковывается); для получения качественной пропитки и требуемого срока эксплуатации опоры необходимы зимняя рубка (с декабря по март) и атмосферная предпропиточная сушка под навесом не менее 6 мес. При этом на период атмосферной сушки надо проводить антисептирование поверхности бревен от поражения биологическими агентами. Все это делает процесс производства не столь технологичным, как при производстве ж/б опор.

В последние годы на рынке строительных конструкций для ВЛЭП 0,4 - 10 кВ появилось новое предложение - стальные многогранные опоры. При сопоставимых с деревянными опорами затратами на доставку и выполнение СМР, они дороже в изготовлении, но имеют более эстетичный внешний вид, что предполагает их применение прежде всего на территории городов, для освещения парков, школ, стадионов и т.д.

Главное условие при строительстве ВЛ на деревянных опорах заключается в том, чтобы эти опоры устанавливались непосредственно в грунт, без железобетонных приставок, так называемых пасынков. При сочленении деревянной части опоры с железобетонным пасынком с помощью проволочного бандажа пропиточный слой в зоне бандажей грубо нарушается, древесина расщепляется и это место подвергается интенсивному гниению, что приводит к преждевременному повреждению опор. При монтаже деревянных опор так же важно не допускать сверления дополнительных отверстий для установки линейной арматуры, особенно на глубину, превышающую глубину пропитки, так как не обработанная антисептиком древесина так же начнет гнить.

Основной пропитываемой частью в деревянных стойках является боковая внешняя поверхность и торцевые части. Боковая поверхность сосновой (как наиболее стойкой к загниванию древесины) стойки должна пропитываться не менее чем на 85% толщины заболоневой части (30-40 мм). С торцевых частей стойки пропитываются на большую глубину, так как при эксплуатации через торцевые поверхности возможно частичное вымывание слабо связанного с древесиной пропиточного состава. Поэтому при установке деревянной опоры верхний торец необходимо накрывать крышкой, а нижний торец закрывать влагонепроницаемым материалом.

Как уже было сказано выше, построение распределительной сети 0.4 – 10 кВ на деревянных опорах предусмотрено во многих странах Европы; в Финляндии, например, деревянные опоры применяют с начала прошлого века, технология их изготовления отработана, а эффективность проверена десятилетиями эксплуатации. Начиная с 70 – х годов на этих опорах применяется СИП (рис.21).

Рис. 21

В России в настоящий момент времени рынок производства деревянных опор так же активно развивается, появляются новые производства и модернизируются действующие предприятия. Тем неменее, изготовление опор по собственным ТУ, зачастую идущим вразрез с требованиями ГОСТ 20022.6-93, несоблюдение технологии заготовки и сушки древесины, временных рамок, приводит к их низкому качеству и не соответствию заявленного срока службы реальному.

По этой причине применение деревянных опор будет носить ограниченный характер, даже в районах где их применение наиболее целесообразно, до момента появления на рынке качественных продуктов, удовлетворяющего требованиями действующей НТД, наличия у проектных организаций типовых проектов и проектов повторного применения для ВЛ на деревянных опорах, удовлетворяющих требования ПУЭ -7, а так же разработки национального стандарта на деревянные пропитанные опоры и его жесткого соблюдения всеми участниками рынка.