

Для холодной прокатки предпочтительнее однофазные латуни с содержанием цинка менее 30% – как обладающие большим запасом пластичности. Для предотвращения налипания меди и латуни на стальные валки применяют жидкую смазку (трансформаторное масло, керосин, веретенное масло и т.д.).

Прокатка титана, циркония, молибдена в горячем состоянии возможна только в среде инертного газа, в вакууме или в стальной оболочке. Горячекатаные заготовки подвергаются холодной прокатке с промежуточными отжигами в вакууме.

Кроме лент, листового и полосового проката из цветных металлов и сплавов прокатывают трубы и сортовой прокат – прутки круглого, квадратного сечения, катанку, уголки, тавровые и двутавровые балки. Прокатка ведется на дуо-, трио- и квартостанах.

Прокатка с применением ультразвука основана на подведении ультразвука к бочкам валков или к прокатываемой заготовке, что повышает ресурс пластичности металлов и уменьшает энергетические затраты.

В настоящее время освоена бесслитковая прокатка алюминия, меди и их сплавов. Жидкий металл заливают в ручьи на водоохлаждаемом шкиве. В результате кристаллизации на противоположном конце шкива получается полоса трехгранного или прямоугольного сечения, которая затем поступает в многоклетьевой непрерывный прокатный стан. Этот способ имеет ряд преимуществ перед другими: малые потери металла, высокая производительность, упрощение процесса производства проката.

*Волочение* – процесс обработки металла давлением (ОМД), при котором материал протягивается через отверстие инструмента – волоку (фильеру), площадь выходного сечения которой меньше площади сечения заготовки. В результате поперечные размеры изделий уменьшаются, а длина увеличивается. Волочение производят через одну или несколько волок при обжатии за один проход на 16...30%. Суммарное обжатие заготовки может достигать 40...85%.

Волочительные станы состоят из волоки и тянущих устройств, последние могут иметь прямолинейное (цепные, реечные, винтовые, канатные, гидравлические) и круговое движение (барабанные). На станах с прямолинейным движением тянущих устройств изготавливают прутки, профили, трубы; на барабанных станах – проволоку и трубы малого диаметра.

Прямолинейные станы могут быть одно- и многопоточные (до 5 изделий одновременно). На барабанных станах осуществляется процесс как

однократного, так и многократного волочения. Станы для многократного волочения имеют от 6 до 20-30 волок и предназначены для получения тонких и ультратонких (до 8...15 мкм) профилей.

Профиль продукции обеспечивается формой волоки, изготавливаемой из инструментальных сталей У8-У12, Х12М, твердых сплавов ВК2, ВК3, а для получения тонкой проволоки (менее 0,3 мм) – из алмаза. Изделия имеют высокую точность размеров (например, при волочении ультратонкой проволоки допуск составляет  $\pm 0,001$  мм).

Волочение осуществляется в холодном и горячем состояниях с обильным применением смазки. Изделия из алюминия, меди, никеля и их сплавов, стали волочат при комнатной температуре с промежуточными отжигами для снятия наклепа. Хрупкие металлы (молибден, вольфрам и др.) обрабатывают в горячем состоянии в защитной атмосфере или вакууме.

В последние годы промышленное применение нашло волочение (например, тонкостенных труб из сталей и цветных металлов) с применением ультразвука. При этом на 25...35% снижается усилие волочения, улучшается качество поверхности изделий.

*Прессование* – технологический процесс обработки давлением, заключающийся в выдавливании металла пуансоном из закрытого контейнера через отверстие в матрице. Профиль изделия определяется профилем отверстия в матрице. Обычно прессованием изготавливают прутки диаметром 5...300 мм, трубы с внутренним диаметром 18...700 мм и толщиной стенки 1,25...50 мм. Этим способом получают изделия сложной формы, которые нельзя изготовить никакими другими методами ОМД. Продукция отличается высокой точностью размеров. Мягкая схема напряженного состояния ( $O_4$ ) позволяет деформировать на 85...90% даже самые малопластичные и трудноформируемые металлы и сплавы. При прессовании пластичных металлов может быть достигнут эффект сверхпластичности (при прессовании чистого алюминия вытяжка может достигать 1000%). Прессованием получают изделия из алюминия, титана, магния, цинка и их сплавов, углеродистых и легированных сталей. Успешно осваивается прессование тугоплавких металлов в вакууме или в среде инертных газов.

При прессовании труб к торцу пресс-шайбы крепится стальная игла. Металл выдавливается в кольцевой зазор между отверстием матрицы и иглой. Матрицы изготавливают из легированных сталей (3Х2В8, 38ХМЮА и др.) и твердых сплавов.

Прессование ведут на гидравлических прессах, развивающих усилие 15000...300000 МН.

Среди высокопроизводительных методов прессования следует отметить гидропрессование (гидроэкструзия) жидкостью высокого давления (до 3000 МПа) и прессование с использованием энергии взрыва. В первом случае жидкостное трение на контакте заготовка-матрица устраняет серьезный недостаток обычного прессования – трение металла о стенки контейнера и матрицы. В результате скорость выдавливания возрастает, изделия получают равномерные свойства по длине, практически полированную поверхность. Повышается износостойкость инструмента, а усилие уменьшается на 30...40%, уменьшается неоднородность деформации, что позволяет обрабатывать хрупкие материалы (сплавы вольфрама, бериллия, ниобия и др.). Гидропрессование проводят при комнатной температуре. При повышенных температурах жидкость заменяют газом высокого давления.

Ковкой называется один из способов ОМД, при котором инструмент оказывает многократное прерывистое воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, приобретает заданную форму и размеры. Различают ковку в штампах (штамповка) и без применения штампов (так называемую свободную ковку). При свободной ковке перемещение деформированного металла не встречает сопротивления своему движению со стороны инструмента. Исходным материалом дляковки деталей служат слитки и различный прокат.

Ковка подразделяется на ручную и машинную. Ручную ковку осуществляют молотом на наковальне и применяют для индивидуального изготовления мелких изделий или при ремонтных работах. Механическую ковку производят на ковочных молотах и прессах.

Молоты используют для изготовления изделий средних размеров, прессы – для изготовления крупных изделий. Все типы молотов и прессов имеют подвижные (баба и верхний боек) и неподвижные (шабот и нижний боек) части.

При всех операциях свободнойковки обработка ведется последовательными ударами молотов, но высокоскоростные молоты рассчитаны на одноударное действие. Наибольшее распространение получили паровоздушные, пневматические, механические молоты и гидравлические прессы.

При свободной ковке используют разнообразный кузнечный инструмент. Технологические процессы свободнойковки представляют собой различное сочетание основных операций: осадка, высадка, протяжка, обкатка, раскатка, прошивка и т.д.

Штамповка представляет собой процесс ОМД, формообразование изделий при котором происходит в штампах, т.е. обеспечивается принудительное получение изделием формы и размеров. Метод экономичен и широко применяется в различных отраслях промышленности. Штамповку осуществляют на прессах и молотах, которые отличаются от ковочных конструкций большей жесткостью, большей точностью направляющих подвижных частей и др.

Горячая объемная штамповка применяется в основном для массового и серийного производства поковок и позволяет получать изделия с высокой точностью формы и размеров. Технологический процесс этого вида штамповки состоит из следующих операций: разрезка металла на заготовки, нагрев заготовок, штамповка, термообработка, отделка поковок. Метод дает возможность обрабатывать трудноформируемые сплавы (реализуется мягкая схема напряженного состояния).

Холодную объемную штамповку применяют для поковок небольшого размера. При холодной штамповке уменьшаются отходы металла, улучшается качество поверхности, обеспечивается высокая точность изделий при высокой производительности труда.

Листовой штамповкой изготавливают плоские или пространственные тонкостенные изделия из стали, цветных металлов и сплавов. При холодной штамповке используют листовые заготовки толщиной от сотых долей миллиметра до 4 мм, при горячей – толщиной более 4 мм. Продукция листовой штамповки отличается высокой точностью и не нуждается в последующей обработке на металлорежущих станках. Сортамент изделий весьма разнообразен – от деталей часов до днищ паровых котлов и резервуаров, от посуды до станин прессов, станков, деталей корпусов морских судов и т.д. Этим методом получают более 70% деталей легковых автомобилей. Операции листовой штамповки бывают разделительные (отрезка, вырубка, пробивка и др.) и формоизменяющие (гибка, вытяжка, формовка, отбортовка и др.).

В последние годы для упрощения и удешевления оснастки разработаны и применяются способы обработки с использованием в качестве штампов эластичных материалов (например, резины).

Для изготовления мелкосерийных крупногабаритных деталей из толстолистовых заготовок применяют штамповку взрывом с использованием тротила, аммонала и других взрывчатых веществ. При взрыве развиваются кратковременные высокие давления, под действием которых заготовка принимает форму штампа. Этот метод гораздо экономичнее, чем обычная листовая штамповка деталей, и позволяет обрабатывать металлы и сплавы, имеющие относительное удлинение 10...14%. Штамповкой взрывом получают детали из нержавеющей и высокопрочных сталей, титановых и медных сплавов и др.

### 10.3. Обработка полимерных материалов

Для обработки полимерных материалов используют все рассмотренные в 10.1 способы.

Основные методы и режимы переработки термопластов представлены в табл. 48.

Таблица 48

Основные методы и режимы переработки некоторых термопластов

Полимер	Прессование		Литье под давлением		Экструзия
	Давление, МПа	Температура, °С	Давление, МПа	Температура, °С	Температура, °С
ПЭВД	5...20	120...140	50...100	100...140	140...170
ПЭНД	5...10	160...180	90...110	200...220	160...220
Пропилен	7...12	170...180	60...140	180...240	180...240
Полистирол	35...40	135...150	40...60	200...220	160...240
Поликарбонат	—	—	80...120	170...280	240...280
Полиформальдегид	—	—	80...120	180...220	200...240
Полиакрилаты	25...30	170...190	80...150	200...230	250...270
Полиамиды	—	—	80...100	220...260	250...270
Фторопласт-3	30...50	220...260	150...300	260...280	280...310
Фторопласт-4	250...400	360...390	—	—	—

Детали сложной формы из листовых термопластичных материалов могут изготавливаться методами штамповки, пневмо- и вакуумформования.

При формировании изделий жестким пуансоном в штампе вырезают заготовку определенного размера, разогревают ее до пластического состояния, укладывают в матрицу и деформируют пуансоном. Изделие выдерживается в штампе под давлением и охлаждается до потери пластичности (рис. 32, б).

Формование деталей с большей степенью вытяжки производят жестким пуансоном с протяжным кольцом (рис. 32, а).

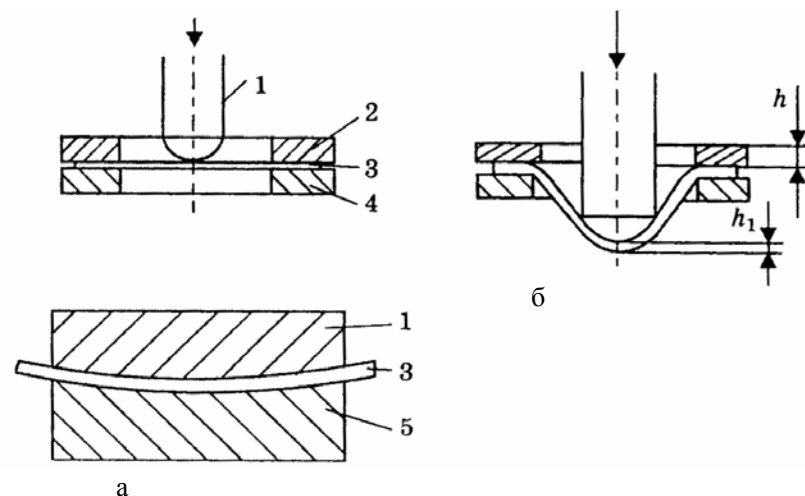


Рис. 32. Схема формирования изделий из листовых материалов жестким пуансоном

Разогретую заготовку располагают на протяжном кольце, для исключения образования гофров прижимают прижимным кольцом и деформируют пуансоном. Этим методом изготавливают детали из таких материалов, как полиметилметакрилат (оргстекло), винипласт и др.

Для получения изделий сравнительно большого размера из термопластов используют методы пневмо- и вакуумформования. Различают негативный, позитивный, свободный и комбинированные методы пневмоформования.

При негативном формовании разогретый до пластичного состояния лист располагается между двумя половинами герметичной формы, нижняя половина которой имеет рельеф, соответствующий форме детали. Под воздействием давления, создаваемого в верхней половине формы, лист

прогибается, плотно огибая нижнюю часть формы, приобретая соответствующий рельеф (рис. 33, а).

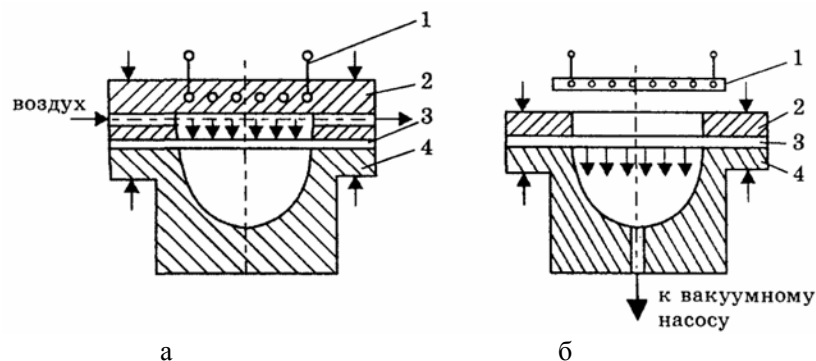


Рис. 33. Схема пневмо- (а) и вакуумформования (б):  
 1 – нагревательный элемент; 2 – верхняя полуформа;  
 3 – материал; 4 – нижняя полуформа

При позитивном формовании в формовочную камеру устанавливается выпуклый оформляющий пуансон, форма и рельеф которого воспроизводят внутреннюю поверхность изделия. Формование на выпукло-вогнутых пуансонах называется негативно-позитивным.

Для получения изделий с высокими оптическими свойствами применяют бесконтактный метод свободного формования. Предварительно нагретая заготовка укрепляется над рамой с соответствующей формой отверстия. Под давлением происходит вытяжка заготовки до нужных геометрических размеров без механического контакта с формирующими инструментами.

Для создания оптимальных условий формообразования необходим подогрев оформляющего инструмента (табл. 49).

Таблица 49

#### Температурные режимы пневмоформования термопластов

Полимер	Температура заготовки, °С	Температура оформляющего инструмента, °С
Полиэтилен:		

	высокой плотности	низкой плотности
Полипропилен	120...135	90...135
Полистирол ударопрочный	150...200	110...150
Полиметилметакрилат	150...200	120...200
Поливинилхлорид	150...200	100...160
Полиформальдегид	185...200	185...200
Полиэтилэнттерефталат	150...180	150...180
Полиамид	210...220	210...220
Поликарбонат	225...245	225...245

При вакуумформовании вместо давления в верхней части формы, как это делалось в предыдущем случае, создается разрежение в нижней части формы. В результате этого лист плотно облегает ее (рис. 33, б). Возможно применение нагрева листа непосредственно в форме.

Штамповка-вырубка тонкостенных изделий производится в специальных штампах, пуансоны которых выполнены в виде контурного ножа. Во избежание растрескивания деталей процесс ведут при температуре, которая выше температуры стеклования перерабатываемого материала.

Штамповка-вырубка деталей из реактопластов производится в кривошипных прессах. В вырубных штампах необходимо обеспечить зазор между пуансоном и матрицей не более 0,01...0,05 мм. Технологические режимы штамповки приведены в табл. 50.

Таблица 50

#### Технологические режимы штамповки деталей из слоистых пластиков

Пластик	Температура подогрева, °С	Усилие прижима, МПа		Усилие штамповки, МПа	
		t до 2 мм	t > 2 мм	t до 3 мм	t > 3 мм
Гетинакс	100...125	0,15...0,3	0,25...0,6	1,2...1,8	1...1,2
Текстолит	80...90	0,15...0,25	0,25...0,6	1,1...1,5	0,9...1,1
Стеклотекстолит	70...90	0,25...0,35	0,35...0,6	1,2...1,6	1,2...1,6

При изготовлении деталей методом штамповки необходимо исключить прямые, тупые и острые углы по контуру, закругляя их. Минимальное значение радиуса закругления R при угле сопряжения до 90° выбирают из условия  $R \geq 0,5t$ , где t – толщина материала, а при больших углах –  $R \geq$

0,25t. Минимальный размер круглого отверстия  $d \geq 0,4t$ , квадратного  $a \geq 0,45t$ . Расстояния от края детали до отверстия и между ними должны быть не менее  $(0,8...1,5)t$ .

Предельная толщина материала при изготовлении деталей из гетинакса 3,0 мм, из текстолита 6,5 мм. Без предварительного подогрева можно штамповать детали из листов толщиной до 1,5...2,0 мм. Предварительный подогрев производят в термощафах или на подогреваемых столах, расположенных возле вырубных прессов, из расчета 5...8 мин на 1 мм толщины листа.

При изготовлении деталей из композиций холодного отверждения применяют следующие способы: свободная заливка, отливка с подпрессовкой, контактное формование, напыление, намотка на вращающуюся оправку.

Отливка с подпрессовкой применяется для изготовления деталей из высоковязких композиций. После заполнения форма закрывается и производится уплотнение массы при давлении 0,5...0,7 МПа. Форма остается в сжатом состоянии до полного отверждения пластмассы.

Контактное формование применяется для изготовления крупногабаритных изделий – таких, как корпусные детали, кузовные детали автомобилей, футеровка емкостей и др. На модель или форму наносят разделительный слой для легкого съема изделия. Затем наносят слой связующего и стеклоткань, пропитанную этим связующим. Производится прикатка резиновым валиком, смоченным пластификатором, например дибутилфталатом, для удаления пузырьков воздуха и уплотнения материала. После подсушки в течение 2...4 ч наносят следующий слой связующего и стеклоткани – и так до получения необходимой толщины изделия.

Принципиальная схема получения изделий методом напыления приведена на рис. 34.

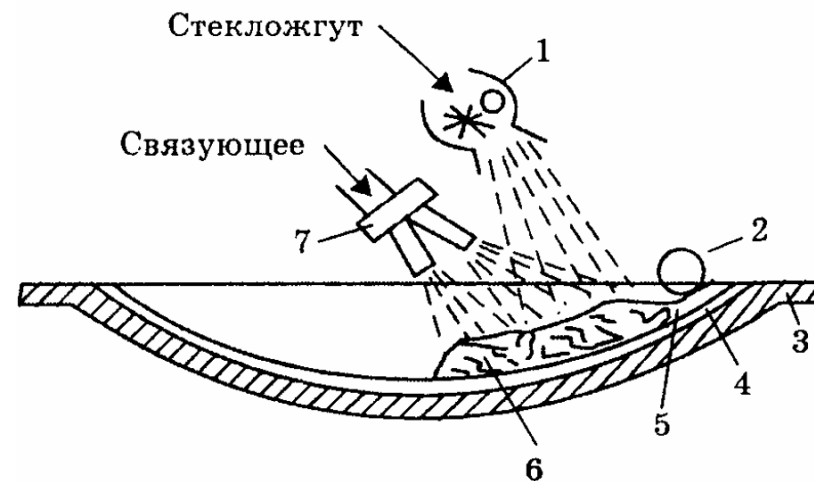


Рис. 34. Схема получения изделий

из стеклопластиков методом напыления:

1 – режущее устройство; 2 – прикатной валик; 3 – форма (изделие);

4 – разделительный слой; 5 – уплотняемый материал;

6 – напыленный слой композита; 7 – форсунка

для распыления связующего

Суть метода заключается в нанесении на поверхность формы рубленого волокна и связующего. В качестве связующего чаще всего используют полиэфирные смолы. Процесс осуществляется с помощью специального пистолета, имеющего три сопла: два для подачи связующего и одно для подачи рубленого стекловолокна. Дискретное волокно получают в специальном устройстве, расположенном перед соплом, куда поступает стекловолокно. Через крайние сопла на поверхность направляется смола, а через среднее (с помощью воздушного потока) – рубленое стекловолокно длиной 10...100 мм. Кусочки стекловолокна, попадая в поток смолы, смачиваются ею и направляются на поверхность модели, образуя слой необходимой толщины. Как и при предыдущем способе, производится уплотнение слоя резиновым валиком, смоченным дибутилфталатом.

Метод напыления более производительен по сравнению с методом контактного формования, однако он имеет и свои недостатки: затруднено изготовление изделий сложной конфигурации, значительны потери стекловолокна (до 5%), требуется повышенное внимание к условиям труда ра-

бочего персонала, так как в окружающую атмосферу выбрасывается большое количество стеклопыли со связующим.

В зависимости от формы, конструкции изделия и природы полимерной основы применяют один из следующих способов формования: штамповка, формование в ограничительных формах, масштабное формование, «самоформование» в матрицах.

Штамповка применяется для формования деталей из уже вспененных листовых термопластичных материалов в жестких штампах или путем пневмоформования в матрицу. При формовании изделий необходимо применять нагрев для облегчения диффузии газов из материала сквозь тонкие смоляные стенки. Снижение внутреннего давления газов в материале облегчает процесс деформирования материала под действием внешнего усилия.

Формование в ограничительных формах осуществляется без приложения к формируемому материалу внешних усилий. Суть процесса заключается в заполнении формы под действием внутреннего давления газов, вспенивающего материал. Для получения пенопластовых изделий используют как терморезактивные, так и термопластичные материалы в сочетании с газообразователями в виде порошкообразных или жидких составов. Смесь всех ингредиентов загружают в форму, полость которой соответствует внешним очертаниям изделия; закрывают и подвергают нагреву. Под действием теплоты полимер переходит в вязкотекучее состояние, а выделяющиеся при разложении газообразователя газы вспенивают смолу, увеличивая ее объем до полного заполнения формы. При дальнейшем термическом воздействии происходит отверждение смолы с сохранением ячеистой структуры и приобретенной формы изделия. Технологически удобнее использование гранулированных композиций. Эта технология позволяет заполнять ячеистым материалом различные полые конструкции.

#### 10.4. Обработка резиновых материалов

При изготовлении резиновых деталей выполняют следующие операции: подготовку ингредиентов, дозирование, смешение, приготовление полуфабриката (придание резиновой смеси формы, удобной для дальнейшей переработки), формование и вулканизацию.

При подготовке ингредиентов каучуки нарезают на куски и подвергают декристаллизации и пластификации. Декристаллизация проводится в

камерах с паровым обогревом или в установках токами высокой частоты, а пластификация – на вальцах или в резиносмесителях в зависимости от типа каучука. Порошкообразные наполнители подвергаются сушке, просеиванию и дозированию.

Смешение подготовленной в соответствии с рецептом массы осуществляется в резиносмесителях и на вальцах. При смешении в закрытых смесителях происходит разогрев смеси до 90...110°C, что при введении серы может вызвать частичную вулканизацию резиновой смеси. Поэтому серу вводят в смесь только при последующем вальцевании резины и ее листования.

Для получения листов сырой резины определенной толщины резиновая смесь пропускается между нагретыми валками каландров (рис. 35).

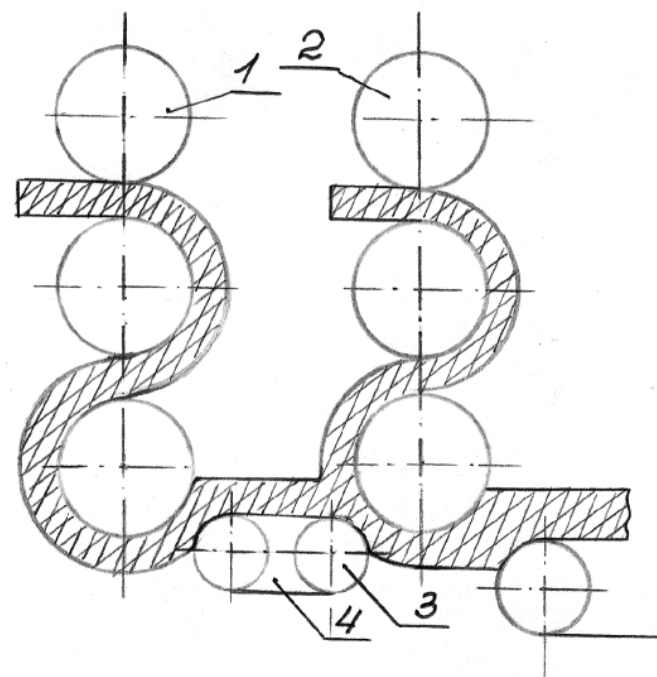


Рис. 35. Схема дублировочных каландров:  
1, 2 – каландры; 3 – барабан; 4 – транспортер

Обычно используется трехвалковая система. Верхний валок нагрет до 95...65°, средний – на 30° ниже, нижний охлаждают до 15°C. Смесь проходит между верхним и средним валками, нагревается и калибруется в

зазоре между средним и нижним валками. Обычно получают листы сырой резины толщиной 0,3...1,0 мм, которые сматываются в рулоны с промежуточной тканевой прослойкой во избежание слипания слоев. Из сырой резины в дальнейшем формируются различные резинотехнические изделия, которые затем вулканизируются при температуре 140...145°C. На участке каландрирования выполняют также пропитку и промазку тканевых наполнителей. Пропитка осуществляется в случае необходимости нанесения тонкой резиновой пленки на ткани. Пропитку производят растворами резиновых смесей в органическом растворителе в кассето-пропиточных машинах. После испарения растворителя в сушильных камерах осуществляют операцию вулканизации.

Прорезинивание тканей методом промазывания осуществляется на двух- и трехвалковых промазочных каландрах, на которые подаются предварительно подогретая резиновая смесь в виде тонкого листа и ткань, провальцовываемые совместно.

При необходимости соединения двух и более каландрированных листов резины или слоев прорезиненной ткани в одну пластину большей толщины либо их соединения в различных сочетаниях производят дублирование на специальных каландрах (рис. 35).

Заключительной операцией изготовления резиновых изделий является вулканизация. Она может производиться в прессах, в автоклавах – прессах, на непрерывных вулканизаторах. Все формовые изделия вулканизируются на этажных прессах с паровым и электрическим подогревом плит.

Армированные формовые изделия массой более 1 кг обычно изготавливают на литьевых прессах с последующей вулканизацией в формах на прессах или в автоклавах. При литье под давлением процесс вулканизации происходит непосредственно в форме. При производстве длинномерных изделий применяется непрерывная вулканизация в различных теплоносителях без давления (зачастую с применением газообразных носителей для снижения процесса окисления). На механические свойства резины влияет также термоокислительная деструкция (разрыв молекул под действием высокой температуры и кислорода), возникающая в процессе вулканизации (перевулканизация). Поэтому время вулканизации и температура тщательно подбираются опытным путем. К формовым изделиям относятся различные резиновые и резино-металлические сальники, диафрагмы, сайлент-блоки, амортизаторы и др.

Для обеспечения полноты заполнения формы при прессовании предусматривают объем заготовки резиновой смеси на 1,5...2% больше, с целью учета компенсации усадки резиновой смеси в процессе вулканизации.

Литье резиновых изделий под давлением производится на плунжерных литьевых прессах с последующей вулканизацией в прессах или автоклавах, а также на машинах для литья и вулканизации с предварительной шнековой пластификацией. В плунжерных прессах разогретую резиновую смесь загружают в рабочий цилиндр, откуда под действием штока она вытесняется через литьевое сопло в литьевую форму. В литьевых машинах применяют питатели трех типов: шнековый, плунжерный и шнек-плунжерный. Изготовление неформовых изделий (уплотнителей стекол, дверей, крышек и др.) производят методом шприцевания в шприц-машинах. По принципу работы шприц-машина подобна экструдеру и снабжена литьевым отверстием соответствующего профиля. Подаваемые в шприц-машину резиновые смеси предварительно подогреваются до температуры 40...50°C. Шприцуемые на выходе из головки профили опудриваются тальком или покрываются эмульсией, обрезаются по длине и укладываются в лотки. Вулканизация неформовых резиновых изделий осуществляется либо непрерывным способом в среде горячего воздуха (газа) в вулканизаторах тоннельного типа, либо в вулканизационных котлах в течение 25 мин.

При изготовлении резино-металлических изделий применяют как горячее, так и холодное крепление резины к металлу. Так, при изготовлении резиновых рукавов для подачи жидкостей и газов, работающих под высоким давлением, на резиновую камеру накладывается силовой каркас из нескольких слоев миткалевой ткани и металлической оплетки, затем на специальном дорне одевается верхняя резиновая рубашка и производится вулканизация в вулканизационных котлах.

При изготовлении таких резино-металлических изделий, как амортизаторы, шарниры и другие, горячее крепление резины к металлу осуществляется при вулканизации с применением промежуточного подслоя (эбонитового или латунного). Подслой наносится на предварительно очищенную и обезжиренную металлическую поверхность (эбонитовый подслой – с применением клея, латунный подслой – методом электролиза).

Холодное крепление вулканизированной резины к металлу осуществляется с помощью клея (например, клей 88Н). При креплении также воз-

можно предварительное приклеивание сырой резины, помещенной в форму, к металлической поверхности и последующая вулканизация.

### 10.5. Обработка неорганических материалов

При изготовлении керамических изделий выполняют следующие операции: подготовка формовочной массы, формование изделия, сушка и отжиг. Различают сухую и влажную подготовку массы. Смешивание компонентов производится в шаровых и вибрационных мельницах или лопастных мешалках. При влажном процессе смешивания в смеситель вводится жидкая среда – вода или спирт. Брикетирование смесей производится с целью увеличения плотности механического контакта между химически разнородными материалами. Твердофазное взаимодействие компонентов осуществляется в процессе обжига при высокой температуре более 700°C. Продукт обжига подвергается повторному помолу с получением размера частиц порошка до 10 мкм (при мокром помолу до 1...0,1 мкм).

С целью повышения пластичности формовочной массы в полученную порошковую смесь добавляют 1...10% пластификатора.

Формование изделий производится (в основном горячим) прессованием в металлических пресс-формах под давлением 100...600 МПа, чем обеспечивается надежное спекание частиц. Плотность прессованного изделия по объему может быть неодинаковой. Поэтому для уменьшения разброса по плотности применяют двустороннее и изостатическое прессование и снижают высоту прессованных изделий по сравнению с поперечным сечением. Двустороннее прессование осуществляется двумя пуансонами, движущимися навстречу друг другу. Изостатическое прессование осуществляется в специальных контейнерах с жидкой или газообразной средой (или в эластичных оболочках), где осуществляется объемное сжатие материала.

После объемного сжатия требуется дополнительная механическая обработка полуфабриката.

Спекание частиц может осуществляться и после прессования, температурный режим которого определяется составом исходных компонентов. Если в составе керамики содержатся компоненты, способные к окислению, то спекание ведется в нейтральной газовой среде. В этом случае требования к стойкости пресс-форм снижают.

Процесс изготовления керметов аналогичен процессу изготовления керамических материалов. Прессование и спекание металлических и керамических порошков осуществляется также в металлических пресс-формах.

При производстве металлополимерных каркасных материалов после прессования и спекания металлических и керамических порошков (получается пористый каркас) осуществляют пропитку полученного каркаса полимерной композицией с последующей полимеризацией или отверждением. Так, технологический процесс производства металлокерамического антифрикционного материала МПК заключается в следующем: из порошков нержавеющей стали прессуют и спекают каркас с пористостью 20...70%, затем в специальной камере через поры пропускают углеродосодержащий газ при температуре, обеспечивающей пиролиз газа и осаждение графита на стенки каркаса до заполнения 3/4 объема пор, после чего осуществляют многократную вакуумную пропитку изделия суспензией фторопласта-4 с одновременной термообработкой.

Сырьем для получения стекла служат кварцевый песок, борная кислота, бура, мел, известняк, мрамор, доломит, сода, сернистый натрий и поташ, из которых получают основные стеклообразующие материалы – окислы  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , способные самостоятельно образовывать стекло, и окислы щелочноземельных металлов, образующих стекло только с перечисленными выше соединениями. Среди вспомогательных материалов различают осветлители, окислители, красители, восстановители, глушители.

Осветлители вводят в расплав для удаления газовых включений, образующихся при варке стекольной массы (трехокись мышьяка, натриевая селитра и др.). Окислители служат для обесцвечивания стекла (натриевая селитра, пиролюзит).

Красители используются для получения цветного стекла. Роль красителей выполняют соединения, чаще окислы селена, хрома, кадмия и других металлов, а также золото.

Восстановители добавляют для восстановления окислов, применяющихся в качестве красителей. Восстановителями служат древесный уголь, древесные опилки, кокс, металлический магний, алюминий, олово и др.

Глушители используются для получения непрозрачного кристаллического стекла с высокодисперсной структурой – опалового или молочного. Для этого в состав стекол вводят криолит, плавиковый шпат, кремнефто-



ристый натрий, фосфат кальция, окислы цинка, циркония, титана, олова и другие вещества.

При производстве стекломассы сначала осуществляют подготовку сырых стеклообразующих материалов: их сушат, просеивают, измельчают, тщательно смешивают. Чем однороднее шихта, тем лучше качество стекла. В стекловаренных печах используют также и стекольный бой (возврат).

Варка стекломассы производится в ваннных или горшковых печах. Наибольшее распространение получили ваннные отражательной печи непрерывного и периодического действия типа мартеновских для выплавки стали. Печи работают на газообразном и жидком топливе. Производительность крупной стекловаренной печи составляет 200 т стекломассы в сутки. Полученную стекломассу перерабатывают в изделия различными способами: выдуванием, вытягиванием, прессованием или прокаткой. Все эти операции проводят с горячей стекломассой, подстуженной до температуры 1200°C для получения требуемой вязкости.

В настоящее время выдувание осуществляется при помощи сжатого воздуха на фидерных машинах и за счет разрежения на вакуумных машинах с использованием полых форм. Вытягиванием изготовляют оконное стекло, а также трубки и палочки на специальных автоматических машинах (например, как на показанной на рис. 36).

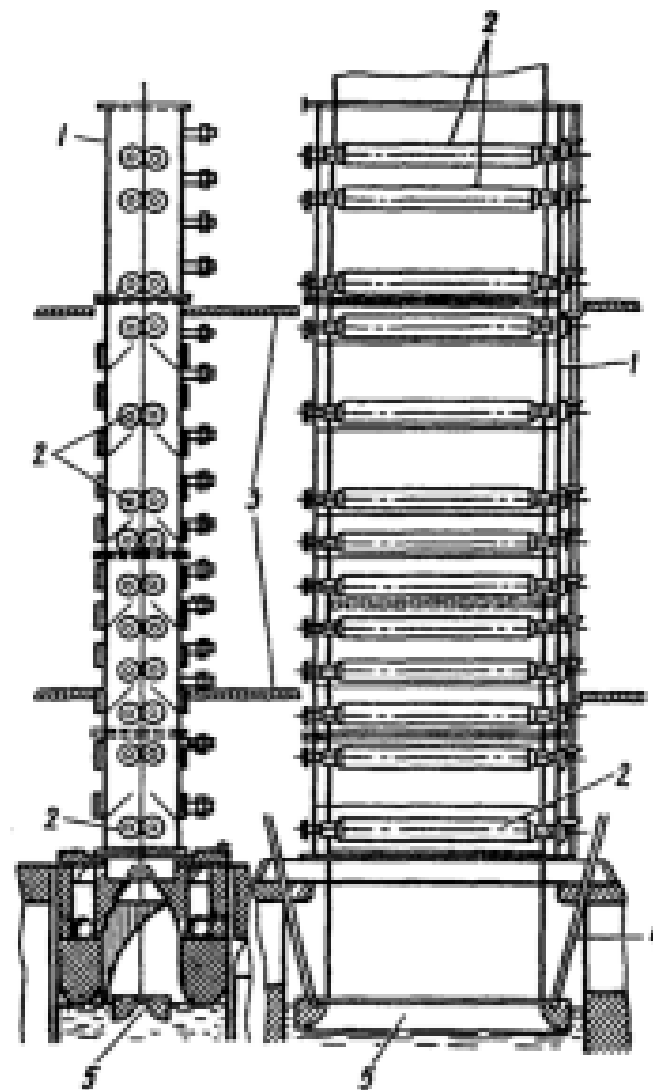


Рис. 36. Машина для выработки оконного стекла:  
1 – шахта; 2 – ролики для вытягивания стекла; 3 – площадки для обслуживания машины; 4 – нажимные штанги; 5 – лодочка  
Шамотная лодочка 5 погружается в стекломассу, которая выдавливается через щель лодочки. Затем стекломасса схватывается затравкой. По-

следняя при помощи тянущих роликов 2 протягивается вверх, формируя листовое стекло, разрезаемое затем на нужную длину.

Для изготовления хозяйственной посуды и строительных стеклоблоков используют прессование стекломассы.

Прокат применяют лишь при производстве листового стекла значительной толщины, армированного и узорного стекла. В этом случае стекло обрабатывают между полыми валами.

Во избежание остаточных напряжений, которые охрупчивают стекло, стеклянные изделия подвергают отжигу (нагреванию до температуры 500...600°C и медленному охлаждению).

Для получения высокой прочности стекло закаляют: нагревают до температуры, превышающей на 15...20°C температуру отжига, и быстро охлаждают путем обдувания сжатым воздухом.

Кроме термической изделия из стекла подвергают химической и механической обработке. Первая состоит в нанесении на поверхность изделий матовых рисунков с помощью плавиковой, серной и других активных кислот, растворяющих стекло; вторая – в гранении, шлифовке, полировке и нанесении рисунков на поверхность изделий с помощью абразивных материалов. В качестве последних используются кварцевый песок, корундовые порошки, окислы железа, хрома и редкоземельных элементов.

Термохимическое упрочнение заключается в закалке изделия в подогретых кремнийорганических жидкостях. Прочность закаленного таким способом стекла намного превышает прочность обычного. Это объясняется образованием полимерных пленок на поверхности материала.

Травление поверхности плавиковой кислотой способствует удалению поверхностных дефектов, что приводит к повышению термостойкости и прочности.

## 10.6. Обработка древесных материалов

Древесностружечные плиты (ДСтП) изготавливают путем горячего прессования древесных частиц, смешанных со связующим. Древесноволокнистые плиты (ДВП) также изготавливают путем горячего прессования древесных волокон, смешанных со связующими или без связующего. Отличие ДВП от ДСтП состоит в подготовке исходного древесного материала. Основное сырье для изготовления ДВП – древесная щепа и дробленка. После гидротермической и химической обработки щепа расслаивается на специальных машинах (дефибрерах и рафинерах) на отдельные

волокна, которые в смеси с водой и другими добавками составляют древесную массу. При формировании плит взвешенные в воде волокна «свойлачиваются», тесно переплетаясь между собой. При обезвоживании масса волокон оседает, полученное полотно спрессовывается между сетками и уплотняется прессующими валами. Для придания плитам формоустойчивости при их изготовлении применяют водоотталкивающие (гидрофобные) вещества (парафин, церезин и др.), которые, расплавляясь, закрывают поры и тем самым препятствуют проникновению влаги.

В качестве уплотняющих добавок применяют фенолформальдегидную смолу и черный технический альбумин (белковый клей из крови). ДВП могут быть непрессованные, (плита представляет собой древесноволокнистый ковер, полученный только за счет сушки) и прессованные. Сверхтвердые ДВП получают путем прессования влажного волокнистого полотна (с применением упрочняющих добавок в виде смеси высыхающих масел) между нагретыми металлическими плитами под давлением 2...2,5 МПа и при температуре 175...225°C.

Известны технологии изготовления изделий из древеснонаполненного полипропилена (ДПП) методами прессования, литья под давлением, экструзии листа с последующими операциями вакуумного формования, горячей штамповки или формования в твердом состоянии (ФТС).

При прессовании листов из полипропилена и древесной стружки применяется технология, близкая к технологии ДСтП. Древесину измельчают на рубительных машинах до щепы или получают стружку на стружечных станках с ножевым валом. Древесную щепу перерабатывают в стружку на стружечных станках. Затем стружку сушат в сушилке 1 (рис. 37) до влажности 3...6%, пневмотранспортом подают ее в бункер 2 и шнеком 3 загружают в вибросито 4. Крупные фракции стружки, прошедшие через верхнее сито, направляют в дробилку 5, а кондиционную стружку направляют в бункер 6. В бункер 7 загружают порошкообразный полипропилен, который вместе со стружкой из бункера 6 подают в смеситель 8, где стружка равномерно перемешивается с полипропиленом, и полученную древеснополимерную смесь с помощью формующей машины 9 насыпают в виде ковра на бесконечную ленту 10 главного конвейера производства ДПП. Затем древесно-полимерный ковер предварительно подогревают в устройстве 11. Подогретый до 180°C ковер прессуют при давлении 2...6 МПа в одноэтажном гидравлическом прессе 12. Полученную плиту охлаждают в камере 13, обрезают по контуру на станке 14. Полученные обрезки воз-

вращают в дробилку 5. Кондиционные плиты принимают на подъемный стол 15 и складывают.

Из ДПП методами вакуумного формования или горячей штамповки изготавливают детали машин, и в первую очередь, автомобилей.

При горячей штамповке ДПП 1 (рис. 38) нагревают в камере 2 до пластично-вязкого состояния, на прессе 3 формуют холодным штампом, после чего в заготовке 4 просекают отверстия на прессе 5 и деталь 6 приобретает окончательные размеры. Эта технология весьма производительна. Время, затрачиваемое на изготовление одной детали, около 20 с. Экономическая эффективность изготовления может быть повышена при штамповке не остывшего после прессования или экструзии листа.

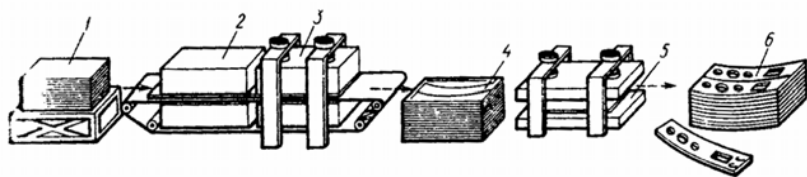


Рис. 38. Принципиальная технологическая схема производства деталей машин на ДПП

Если отдельные участки деталей должны быть упрочены, то применяют метод формования в твердом состоянии (ФТС), при котором лист в пластично-вязком состоянии при температуре на 20...35°C ниже температуры плавления подвергают в течение 20...80 с пластическим деформациям при давлении 90...300 МПа. Правильно выбранные режимы ФТС и ориентация детали при формовании позволяют существенно повысить прочность и деформативность.

Если детали из ДПП являются декоративными, то их поверхность облицовывают пленками, тканью, ворсом и т.п. материалами. При рациональном выборе состава ДПП, вида облицовывающего материала и адгезива, соединяющего их, удастся выполнить за одну операцию формование детали и ее облицовывание.

Технология литья под давлением деталей из пропилена с древесными наполнителями заключается в том, что древесную муку смешивают с порошкообразным полипропиленом, в горячем экструдере пластицируют и гомогенизируют полученный композит, гранулируют его и перерабатывают литьем под давлением.

Для изготовления деталей мебели применяются заготовки гнuto-клееные. Для их изготовления применяют лущеный шпон, карбамидоформальдегидные смолы марок КФ-БЖ, КФ-Ж, КФ-МГ; а также ДСтП марок П-1 и П-2. Сущность процесса изготовления этих заготовок заключается в том, что сформованные пакеты предварительно изгибают, а затем прессуют и склеивают при заданном давлении и температуре в течение определенного времени. Гнuto-клееные заготовки делают в пресс-формах различных видов, в механических, пневматических и гидравлических прессах.

Заготовки из модифицированной древесины получают в виде бруско-вых и досковых заготовок путем уплотнения предварительно обработан-

ной нагревом, пропариванием или другим способом древесины с последующей обработкой для получения требуемых деталей (подшипников, зубчатых колес, ткацких челноков и др.).

Для придания декоративного вида на древесные материалы наносят пленочные покрытия, изготовленные на основе бумаг или полимеров. Режимы напрессовывания пленок зависят от материала, на который наклеивают пленку, а также от смол, которыми пропитаны бумаги. Эти пленки наклеивают за счет расплавления в них смолы, и не требуется предварительного нанесения клея на элементы. Для изготовления пленок применяют специальную бумагу: текстурную рулонную, декоративную с печатным рисунком, бумагу-основу синтетического шпона. В качестве пропиточного раствора применяют смесь мочевиноформальдегидной смолы и полиэфирной эмульсии и др. После пропитки пленки высушивают до такой степени, когда смола полностью теряет липкость, но может под воздействием теплоты и давления плавиться. Лицевая поверхность пленки покрывается лаками или эмалями. Зачастую на древесные материалы наносят несколько слоев бумажных пленок (декоративные бумажно-слоистые пластики), изготовленных путем горячего прессования (пропитка – термореактивные смолы, облицовочный слой – фенолформальдегидная смола).

Древесные материалы также покрывают пленками на основе полимеров (ДПО – без клеевого подслоя и ПДСО – с клеевым слоем). Пленки приклеивают путем прикатки катком или другим способом.

## Глава 11. МЕХАНИЧЕСКАЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ, ХИМИЧЕСКАЯ И ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

### 11.1. Механическая обработка материалов

*Пескоструйная обработка* – это очистка поверхности деталей струей песка (или другого материала), направленной с большой скоростью на обрабатываемую поверхность. Зернам песка придают кинетическую энергию сжатым воздухом, пескометным колесом или жидкостью. Твердые и острые зерна врезаются в поверхность, очищают ее от загрязнений и окалины, снимая одновременно поверхностные частицы металла. После очистки обрабатываемая поверхность получается шероховатой, с множеством наклепов и вмятин, величина которых зависит от материала поверхности,

давления воздуха, угла обработки и расстояния сопла от поверхности. Если материал, производящий очистку, состоит из мягких зерен, то снимается лишь небольшое количество металла, наклеп бывает незначительным, а иногда получается полированная поверхность.

Пескоструйная обработка применяется для очистки отливок и поковок, а также подготовки поверхности под окраску, например, для очистки корпусов судов или крупных резервуаров.

В качестве материала для очистки применяют кварцевый песок, чугунную дробь, различные абразивы (например, искусственный корунд).

Зерна кварцевого песка должны иметь соответствующую форму и зернистость (0,5...1,5 мм – для тонкостенных деталей; 2...5 мм – для матирования). Кварцевый песок применяют для пневматической обдувки при давлении около 3 атм. Кварцевый песок при работе сильно крошится, его зернистость снижается, при работе образуется много пыли.

Чугунная дробь дороже кварцевого песка, но имеет большой срок службы. Чугунную дробь не рекомендуется применять, для очистки деталей из нержавеющей стали и цветных металлов, так как остающиеся после очистки на поверхности деталей частицы чугуна ржавеют. Использование чугунной дроби для очистки зачастую приводит к упрочнению поверхности детали. В зависимости от форм и толщины стенок обрабатываемой детали применяют чугунную дробь и чугунные опилки разной зернистости, для этого их просеивают через сито с отверстиями соответствующих диаметров. Зернистость чугунной дроби или опилок колеблется в пределах от 0,2 до 3 мм.

Для обработки нержавеющей стали, цветных металлов, а также металлизированных поверхностей применяют мягкие материалы, например, дробленые пластмассы. Обрабатываемая поверхность после обработки мягкими материалами становится матовой или блестящей. При выборе материала (и его зернистости) для обработки поверхностей исходят из того, для какой цели используется пескоструйная обработка (подготовка поверхности к покраске, удаление загрязнений и окалины, удаление старых лакокрасочных покрытий, удаление обрастаний и т.п.).

Пескоструйная обработка осуществляется в аппаратах как открытого, так и закрытого типов. После использования материала его собирают, промывают, просушивают и, при необходимости, разделяют по зернистости. Перед химической или электрохимической обработкой поверхности пескоструйную обработку практически не применяют.

Водоструйная обработка поверхностей осуществляется тонкой струей воды, выходящей из сопла аппарата под высоким давлением (до 200 атм). Широкое применение эта обработка получила для очистки поверхностей корпусов судов и крупных резервуаров от обрастаний, прочно удерживающихся субстант, старой краски (например, водоструйная установка германской фирмы «Вома»). При обработке этим способом поверхность становится гладкой, блестящей. Однако после обработки этим способом поверхность подвержена быстрой коррозии, поэтому, если есть возможность, ее просушивают и немедленно наносят защитные покрытия. При использовании водоструйной очистки необходимо соблюдать меры предосторожности, так как струя воды, выходящая из сопла, способна нанести смертельную травму окружающим. Отдача ручного струйного пистолета составляет 20...50 кг (в зависимости от диаметра сопла), что предъявляет высокие требования к физическому развитию обслуживающего персонала.

Для очистки с поверхностей предметов легко (или относительно легко) удаляющихся субстант (отслаивающейся краски, обрастаний, водорослей и др.) применяют стальные и капроновые щетки, приводящиеся в движение с помощью электро- или пневмоприводов. Этот способ не позволяет удалять окалину и весьма трудоемок.

*Шлифование, крацевание и полирование* являются самыми распространенными методами механической обработки поверхности перед нанесением гальванических покрытий. Этими способами обработки достигается требуемое качество поверхности и повышается коррозионная стойкость изделий. В данном случае механическая обработка не преследует цели получения точных размеров деталей. Шлифованием обрабатывается поверхность металлов перед крацеванием, полированием и другими видами обработки поверхности. Полированием обрабатывают поверхность основного металла и гальванические покрытия. Шлифуют и полируют также детали лакированные, металлизированные и детали, поверхность которых не подвергается дальнейшей обработке, например изделия из пластмасс, цветных металлов и др.

*Шлифование* – это механический процесс снятия неровностей металла. Инструмент, применяющийся при шлифовании перед гальваническим покрытием, представляет собой абразив, наклеенный на фетровый или матерчатый круг или ленту. Режущие кромки абразивных зерен такого шлифовального круга срезают стружку с поверхности металла соответственно

зернистости данного абразива. Таким образом, шлифование фетровым или матерчатый кругом можно сравнить с фрезерованием, при котором режущие кромки фрезы, совершая вращательные движения, постепенно снимают стружку. Шлифование лентой на плоской подкладке уподобляется строганию, так как острия зерен здесь движутся прямолинейно и снимают стружку по всей длине площади соприкосновения предмета со шлифовальной лентой. Шлифовальные пасты являются при шлифовании вспомогательными материалами, с помощью которых получают более высокое качество обработанной поверхности и улучшают процесс шлифования.

Для *крацевания* применяют два вида щеток, так как назначение крацевания бывает разным. Щетки делают из мягких натуральных и искусственных материалов и металлической проволоки. При крацевании мягкими щетками их смазывают абразивными пастами, и обработка, таким образом, производится свободным абразивом. В результате крацевания обработанная поверхность становится гладкой и приобретает однородный вид. Крацевание происходит перед гальванической металлизацией и полированием. Механическое воздействие металлических щеток при крацевании зависит прежде всего от диаметра, длины и материала проволоки и от окружной скорости круга. Чем больше твердость, диаметр и длина проволок и окружная скорость щеток, тем больше их способность снимать стружку. Щетками из стальной проволоки очищают загрязнения с поверхности деталей, а щетками из тонких медных или латунных проволок детали матируют.

*Полированием* снимаются микроскопические частицы металла с обрабатываемой поверхности. Разница между шлифованием и полированием состоит в том, что при полировании снятие материала совершенно незначительно по сравнению со шлифованием. Полирование производится фетровым или тканевым диском, на который наносится полировальная паста. Эта паста с очень мелко измельченным абразивом снимает неровности, и материал одновременно полируется тканью или фетром. Полированию подвергаются гальванические покрытия и основной материал детали. Целью полирования является получение декоративного внешнего вида (глянца) и увеличение коррозионной стойкости детали.

*Голтовка* – это процесс обработки поверхностей небольших деталей, основанный на истирании деталей, голтовочных материалов, абразивов и жидкости во вращающемся барабане. При правильно подобранном мате-

риале и режиме голтовки не только заглаживаются неровности поверхностей предметов, но и последние полируются так, что их поверхность приобретает зеркальный блеск. Голтовка заменяет ручное шлифование и полирование. Голтовке подвергаются детали размером до 150 мм и весом до 1 кг, которые сложно шлифовать и полировать. При голтовке снятие материала производится неравномерно: наибольшее – на ребрах и углах, наименьшее – на плоских поверхностях. Обрабатываемые детали не должны иметь больших дефектов поверхности. Голтовку проводят с целью: сгладить поверхность изделий; получить поверхность с разной степенью глянца; удалить продукты коррозии и окалины, оставшиеся после термической обработки; удалить остатки флюсов от сварки; упрочнить поверхность мягких металлов, например латуни. В качестве голтовочных материалов используют стеклянные шарики, деревянные брусочки, фруктовые косточки и др. Например, стеклянные шарики очень эффективно используются для голтовки янтарных бус. Голтовочные материалы могут состоять и из смеси, например, глинозема, боксита и карборунда разной зернистости. Размеры голтуемых тел влияют на продолжительность голтовки и на качество получаемой поверхности. При выборе размеров голтуемых тел руководствуются следующими принципами:

- в процессе голтовки размеры голтуемых тел уменьшаются;
- при голтовке ребер и острых выступов более эффективны крупные голтуемые тела;
- для голтовки плоских поверхностей применяют малые голтуемые тела, при этом скорость голтовки снижается, зато качество обработки поверхности получается более равномерным;
- голтуемую способность тел можно восстановить введением различных абразивов (корунд, наждак, раздробленный фарфор, пемза, кварцевый песок). В качестве жидкости обычно используют мягкую воду (реже керосин), в которую добавляют различные добавки (щелочные или кислые, которые одновременно являются травильными и полировальными растворами). Плотность жидкости и ее объем значительно влияют на качество голтовки.

## 11.2. Обезжиривание материалов

Обезжиривание материалов относится к одному из способов подготовки поверхностей деталей перед той или иной их отделкой (склеивание,

окраска, гальваническая обработка и т.п.). Под обезжириванием понимают операцию очистки поверхности изделия от механически приставших загрязнений, не соединенных химически с металлом, т.е. речь идет не только об удалении жировых загрязнений, но и об удалении механически приставших твердых загрязнений. Обезжиривание в щелочных растворах (иногда с применением электрического тока), в органических растворителях и эмульсионное обезжиривание относится к черновой обработке, при которой с поверхности материала удаляются в большей или меньшей степени загрязнения, попавшие на нее при хранении, механической обработке, в результате эксплуатации и т.п. При обезжиривании могут встречаться загрязнения в виде органических и неорганических веществ. К первым относятся разные минеральные масла (смазочные, консервирующие и др.), вазелины, жиры, воски, парафин, стеарин и т.п. Ко вторым относятся неорганические остатки (полировальные пасты, пыль и другие твердые загрязнения). Вещества, входящие в загрязнения, могут переходить в раствор обезжиривания в виде растворимых соединений или удаляться с поверхности материала не растворением, а путем других физико-химических процессов. На процесс обезжиривания влияет состав растворов, смываемость раствора, его температура, механические воздействия и т.п.

Для щелочного раствора обезжиривания в первую очередь необходимы сульфированные жирные соединения, растворы которых сильно вспениваются, хорошо смачивают, диспергируют и эмульгируют.

Представителем этой группы поверхностно активных веществ является синтапон СР (порошок), содержащий в качестве активного компонента 27% смеси сульфированного олеилалкоголя и ацетилалкоголя. Отношение  $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$  в сортах силикатов, поступающих в продажу, самое разнообразное: от ортосиликата (2:1), сесквисиликата и метасиликата до жидкого стекла с соотношением около 1:3. При выборе того или иного силиката руководствуются требуемой щелочностью раствора или (при обезжиривании легких металлов) их способностью разрушаться щелочами.

Из фосфатов следует указать в качестве обезжиривающего компонента ортофосфат, а для смягчения жесткости воды – пиррофосфат и разные полифосфаты.

Состав ванн обезжиривания можно изменять путем комбинирования основных компонентов и получать различные эффективные растворы

обезжиривания (табл. 51). В общих чертах эти растворы подразделяются на:

- а) очень щелочные растворы (рН 12...14) – для грубой очистки стали от сильного загрязнения;
- б) среднещелочные растворы (рН 11...12) – преимущественно черного обезжиривания при подготовке поверхностей;
- в) слабощелочные растворы (рН 10...11) – для обезжиривания цветных и легких металлов.

Таблица 51

**Составы щелочных растворов для стали, составленные из разных химикатов**

Компоненты, в %	Номер раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	32	–	55	35	50	–	–
$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	–	–	–	5	30	–	25
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	–	–	–	50	–	–	–
$\text{Na}_2\text{SiO}_4$	–	85	–	–	–	–	–
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	46	10	35	–	13	60	25
NaOH	16	–	10	8	–	30	50
Поверхностно-активные вещества	6	5	–	2	7	10	–

По способу же применения растворы подразделяются на пенящиеся растворы – для обезжиривания погружением и на непенящиеся растворы (без поверхностно-активных веществ или с непенящимися поверхностно-активными веществами) – для обезжиривания обрызгиванием.

При приготовлении растворов обезжиривания хорошие результаты дают следующие составы:

- а) раствор для обезжиривания стальных и чугунных деталей погружением:

$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  – 10...20 г/л, оптимум 15 г/л;

$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  – 25...50 г/л, оптимум 35 г/л;

синтапон СР в порошке – 1-3 г/л, оптимум 2 г/л.

К составу этого раствора больше всего приближаются 4...7%-ные растворы препарата  $\text{P}_3\text{S}$ ;

- б) раствор для обезжиривания стальных и чугунных деталей обрызгиванием:

$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  – 3...10 г/л, оптимум 6 г/л;

$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  – 10...20 г/л, оптимум 14 г/л.

Ближе всего к составу этого раствора подходят 1...3%-ный раствор препарата Р<sub>3</sub>;

в) щелочная ванна обезжиривания для обезжиривания цветных и легких металлов:

$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  – 5...10 г/л, оптимум 8 г/л;

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  безводный – 5...10 г/л, оптимум 8 г/л;

жидкое стекло 1:3 – 25...50 г/л, оптимум 40 г/л;

синтапон СР в порошке – 1...3 г/л, оптимум 2 г/л.

Ближе всего к составу этого раствора подходят 2...5%-ный раствор препарата Р<sub>3</sub>.

Обезжиривание в органических растворителях является относительно быстрым способом, но в большинстве случаев поверхность очищается недостаточно, поэтому его используют главным образом для предварительной очистки сильно замасленных предметов перед дальнейшим их обезжириванием (электролитическим).

Обезжиривание в органических растворителях стоит дороже – как за счет высокой стоимости самих растворителей (расходы на регенерацию использованных растворителей), так и за счет расходов на обеспечение необходимых санитарных требований, поскольку испарения большинства растворителей являются вредными для человека, а также огнеопасными.

Обезжиривание в органических растворителях мелких деталей осуществляют погружением, а крупных – обтиранием. Это обезжиривание применяют: для удаления толстых слоев жира; для обезжиривания поверхностей сложной конфигурации; для обезжиривания крупногабаритных изделий.

В качестве растворителей используются бензин, керосин и хлорированные углеводороды. Бензин растворяет большинство жиров, относительно устойчив, однако легко воспламеняется и зачастую ядовит. Керосин более гигроскопичен, чем бензин, менее горюч, при длительном обезжиривании позволяет удалять окалину. Бензин и керосин применяют при штучном обезжиривании деталей путем погружения и воздействия щеткой. После обезжиривания требуется тщательная просушка (обычно в опилках). Эти растворители ухудшают адгезию последующих покрытий поверхностей. В крупных производствах используют растворители из ряда хлорированных углеводородов, в основном трихлорэтилен ( $\text{CHCl} = \text{CCl}_2$ ) и тетрахлорэтилен ( $\text{CCl}_2 = \text{CCl}_2$ ), которые не огнеопасны, относи-

тельно устойчивы и менее ядовиты. Они очень хорошо растворяют большинство жиров, легко поддаются регенерированию. При их применении необходимо соблюдать определенные правила, поэтому их применяют в специальных аппаратах. При воздействии трихлорэтилена на алюминий могут произойти реакции, при которых выделяется большое количество тепла, и весь трихлорэтилен быстро разлагается, что иногда сопровождается взрывом (при большой площади соприкосновения, например, при наличии в растворе большого количества алюминиевой стружки).

*Электролитическое обезжиривание* используют для удаления последних остатков жира и некоторых других загрязнений с поверхности металлических изделий перед гальванической металлизацией, причем процесс обезжиривания может сопровождаться одновременно с омеднением.

По существу электролитическое обезжиривание можно считать обезжириванием в щелочном растворе с применением электрического тока. К эмульгированию, диспергированию и растворению добавляется механическое действие пузырьков газов, выделяющихся на электродах (один из которых является обрабатываемой деталью). Таким образом, время электролитической очистки значительно меньше, чем при обезжиривании без электрического тока. Требуемую плотность тока 10...30 А/дм<sup>2</sup> обеспечивают необходимой щелочностью раствора (соли NaCl или Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в растворе неприемлемы) и повышением температуры раствора до 60...100°C.

Из предшествующего анализа факторов, влияющих на процесс электролитического обезжиривания, видно, что состав растворов в данном случае не имеет такого большого значения, как состав некоторых растворов при гальванической металлизации.

В настоящее время найден определенный ассортимент отдельных компонентов раствора электролитического обезжиривания, который можно считать почти установившимся. К ранее применяемым материалам – едкому натру и соде, придающим электролиту необходимую щелочность и электрическую проводимость – в настоящее время добавились вещества, которые благодаря своим физико-химическим свойствам облегчают обезжиривание. Это прежде всего силикаты с самым различным соотношением Na<sub>2</sub>O: SiO<sub>2</sub> и фосфаты. Цианиды для этих целей перестают применять потому, что их функции при обезжиривании могут быть выполняемы другими, неядовитыми и более устойчивыми, компонентами раствора. Отказались также и от применения буры. По некоторым данным, алюминат натрия и винный камень могут защищать цинк и алюминий от



воздействия электролита обезжиривания, но в больших масштабах эти вещества не применяются.

В настоящее время используются также электролиты, содержащие поверхностно-активные вещества. В табл. 52 приведены составы растворов наиболее распространенных электролитов обезжиривания.

Таблица 52

#### Состав некоторых электролитов для обезжиривания стали

Компоненты	Номер раствора					
	1	2	3	4	5	6
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	35	–	–	55	25	30
Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5	9	–	–	–	–
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	50	35	–	–	–	–
Na <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	–	–	50	–	–	–
Жидкое стекло	–	–	–	–	–	5
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	–	–	20	35	55	30
NaOH	8	55	28	10	20	35
Смачивающее вещество	2	1	2	–	–	–

Для каждого отдельного случая можно подобрать подходящий электролит, учитывая при подборе компонентов самые различные обстоятельства: требования к степени чистоты поверхности, стоимость химикатов, данные условия производства и др.

Электролитическое обезжиривание можно осуществлять как при катодном, так и при анодном включении предмета, однако на катоде выделяется вдвое больше водорода, чем кислорода на анодах, вследствие чего получается двукратный механический эффект, однако в катодном пространстве происходит местное увеличение щелочности, что может привести к коррозии некоторых металлов (олово, цинк, свинец, медь). Катодное включение не должно продолжаться более 3 мин, так как возможно появление водородной хрупкости материала.

Эмульсионное обезжиривание – это комбинированный способ очистки поверхностей с одновременным применением растворителя и эмульгатора. Эмульсионное обезжиривание обеспечивает быструю очистку и является наиболее эффективной операцией черновой очистки. Одновременное воздействие органического растворителя со щелочным раствором обезжиривания или с эмульгатором не только упрощает очистку тем, что обе операции объединяются, но также значительно повышает эффективность

раствора. В зависимости от содержания воды в растворе эмульсионное обезжиривание подразделяют на два способа: эмульсионную очистку (эмульгатор разбавляется слабым щелочным раствором в соотношении от 1:10 до 1:200) и эмульсионное растворение (используют в основном концентрированные препараты в соответствующей пропорции или с таким содержанием воды, при котором она при рабочей температуре полностью смешивается с растворителем). Средний состав эмульсионного очистительного препарата содержит: растворителя 30...90%, эмульгатора 4...40%, стабилизатора 10...20%, воды 10...20%. Примером эффективного препарата может служить раствор, содержащий: 88% керосина, 72% олеина, 3,8% триэтаноламина, 1% триклезола. При растворении 100 г этого препарата в 1 л воды и скорости окунания 10 раз в минуту продолжительность очистки составляет 0,5...3 мин при температуре раствора 90...50°C.

В настоящее время выпускается самое большое число различных препаратов для эмульсионного обезжиривания, например «Декарбон Т», «Декарбон V» и другие, содержащие различные пропорции растворителя и эмульгатора. При использовании всех эмульсионных очистительных препаратов необходимо соблюдать меры предосторожности.

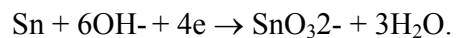
### 11.3. Гальваническая обработка металлов

Гальваническое лужение нашло широкое распространение в консервной промышленности для покрытия внутренних поверхностей консервных банок. Катодный характер олова обеспечивает достаточную защиту стального основания от действия органических кислот в отсутствии атмосферного воздуха. Олово образует нерастворимые окислы (SnO, SnO<sub>2</sub>), достаточно стойкие в атмосфере и в воде. Олово получают электролизом как из кислых растворов солей закиси олова, так и из щелочных электролитов (станнатов). Из кислых растворов при одинаковой плотности тока олово осаждается в 2 раза быстрее, чем из щелочных.

Щелочные растворы приготавливают несколькими способами, например, из четыреххлористого олова:



или анодным растворением олова в растворе гидроксида щелочных металлов:



Анодное и катодное пространства разделяются с помощью диафрагмы. Катодами служат стальные листы. Плотность тока составляет 1...2 А/дм<sup>2</sup>, температура электролита 70°C. Для повышения качества покрытия в раствор добавляют небольшие количества окислителя, например перекиси водорода или пербората натрия.

Наиболее приемлемым составом кислых растворов является: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> концентрированная – 100 г/л, SnSO<sub>4</sub> – 54 г/л, крезол или фенол (для снижения роста крупных кристаллов олова на поверхности лужения) 20...30 г/л, желатин или клей (для улучшения осаждения олова из кислых растворов) 2,5 г/л, плотность тока 2,5 А/дм<sup>2</sup>, температура состава ≥ 20°C. В процессе лужения необходимо постоянно следить за процентным содержанием состава раствора, проводить его соответствующую фильтрацию и обновление. Для снижения пористости покрытия после лужения тонким слоем возможно применение оплавления покрытия.

*Хромирование* является одним из наиболее распространенных и имеющих большое значение гальванических процессов. Электрохимически осажденные хромовые покрытия имеют исключительные химические и физические свойства, они устойчивы против атмосферной коррозии при нормальной и при повышенной температуре, очень тверды и стойки против механического износа, имеют небольшой коэффициент трения и большую отражательную способность. Эти покрытия применяются для двух совершенно различных целей:

- для придания декоративного вида никелированным омедненным, оцинкованным и латунированными деталям;
- для повышения износостойкости поверхностей деталей, подвергающихся износу (валы, вращающиеся детали, поршневые кольца или режущий инструмент).

Хромированием можно защитить от износа детали, не бывшие в эксплуатации, а также восстановить детали, износившиеся во время эксплуатации. Хромовым покрытием размеры износившейся детали увеличиваются до требуемых, что дает возможность снова использовать ее по назначению. Доброкачественные хромовые покрытия осаждаются только из растворов хромовой кислоты, к которым добавляются соответствующие вещества, обычно неорганические кислоты. Наиболее приемлемыми для хромирования являются электролиты, содержащие хромовую и серную кислоты (распространенными составами являются: CrO<sub>3</sub> – 150 г/л, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> –

2,5 г/л; CrO<sub>3</sub> – 350 г/л, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 3,5 г/л). Достоинством первого раствора является меньшая потеря хромового ангидрида CrO<sub>3</sub> при выемке деталей из ванны, второго – большее постоянство состава электролита. При приготовлении электролита для твердого хромирования содержание хлористого ангидрида уменьшают, а серной кислоты – увеличивают (CrO<sub>3</sub> → 80 г/л, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → 2,5 г/л), а для декоративного покрытия – наоборот (CrO<sub>3</sub> → 450 г/л, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → 0,8% от количества CrO<sub>3</sub>). Поскольку хром находится в растворе, необходимо постоянно следить за состоянием концентрации электролита. Хромирование производится при плотности тока 25 А/дм<sup>2</sup> и температуре электролита 450°C.

*Кадмий* образует с органическими соединениями как простые, легко растворимые в воде и устойчивые соли, так и комплексные соли, из которых для гальванических целей наиболее важное значение имеет цианистый комплекс. Кадмий можно осаждать из кислых электролитов, содержащих кадмий в виде элементарных ионов, и из щелочных электролитов, в которых кадмий находится в виде комплексного цианисто-кадмиевого аниона. В последнее время широкое применение получил щелочной цианистый электролит, так как он малочувствителен к изменению своего состава:

CdO в г/л .....	30,
NaCN в г/л.....	120,
NaOH в г/л .....	10,
NiSO <sub>4</sub> кристаллический в г/л.....	2,
сульфированное касторовое масло в г/л .....	1,
плотность тока в А/дм <sup>2</sup> .....	1...2,5,
напряжение на зажимах в В .....	1...3,
температура в °С.....	18...25.

При составлении электролита можно исходить из окислов, гидроокисей, сульфата или цианида кадмия или непосредственно из соответствующего комплексного кадмиевого цианида. В основном нет причин для того, чтобы отдавать предпочтение тому или иному из этих химикатов.

В настоящее время для *меднения* используют следующий электролит, который содержит:

- медь в форме комплексной цианистой соли меди в количестве 20...70 г/л;
- свободный цианид в количестве 5...15 г/л;
- карбонат натрия (калия) в количестве 0...100 г/л;

- в некоторых случаях едкое кали или едкий натр, сегнетову соль, блескообразующие добавки и т.п.

Первые три вещества содержатся в любом медноцианистом электролите, а гидроокись калия или натрия и сегнетова соль применяются только в специальных ваннах. Блескообразующие добавки применяются относительно редко. Обычный медный электролит имеет, например, следующий состав и режим работы: цианистая медь  $\text{CuCN}$  в г/л – 45, цианистый натрий  $\text{NaCN}$  в г/л – 55, карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в г/л – 15, едкий натр  $\text{NaOH}$  в г/л – 3, плотность тока – 2 А/дм<sup>2</sup>, температура электролита 40...45°С. Электролит меднения с большим содержанием меди содержит: цианистую медь – 120 г/л, цианистый калий – 175 г/л, карбонат калия 60 г/л, едкое кали 35...48 г/л, блескообразующие добавки  $\text{KCNS}$  – 10 г/л; плотность тока – до 6 А/дм<sup>2</sup>, температура электролита – 70...85°С. Медный электролит с сегнетовой солью содержит:  $\text{CuCN}$  – 26 г/л,  $\text{NaCN}$  – 35 г/л,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 30 г/л, сегнетовую соль  $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – 45 г/л; температура электролита 55...70°, плотность тока до 6 А/дм<sup>2</sup>. Главным недостатком всех трех указанных электролитов является малая устойчивость их состава. В обычных электролитах меднения и электролитах с сегнетовой солью цианиды – как в комплексном, так и в свободном состоянии – неустойчивы и непрерывно разлагаются. В электролитах меднения с большим содержанием меди неустойчива также и гидроокись натрия.

Наибольшее значение имеют медные покрытия в качестве промежуточного слоя при защитном и декоративном хромировании. В качестве промежуточного слоя (с толщиной 2...4 мк) их применяют также при лужении стальных деталей.

Медные покрытия без дальнейшего защитного слоя (металлического или бесцветной органической краски) непригодны ни для декоративных целей, ни в качестве защиты против атмосферной коррозии, так как после полировки они на воздухе очень быстро окисляются и теряют свой блеск.

Очень распространено применение медных покрытий в качестве защиты некоторых поверхностей стальных деталей перед цементацией. Части поверхностей деталей, подлежащие цементации, изолируются соответствующей краской или смесью воска, а другие части, не подлежащие цементации, меднятся сначала в щелочном растворе, а затем в кислом электролите. Толщина медного слоя зависит от условий цементации и обычно равна 25...50 мк.

Медные покрытия очень распространены в гальванопластике при электролитическом производстве типографских форм, при изготовлении матриц, при гальванопластическом производстве точных полых деталей и т.п. В этом случае применяют те же растворы и режимы работы, как и при покрытии для антикоррозионной защиты.

*Латунирование* применяют в следующих случаях:

- латунные покрытия толщиной около 2 мк улучшают адгезию резины со сталью;
- для декоративно-защитных целей;
- в качестве подслоя при декоративном хромировании стали.

Растворы для латунирования содержат следующие компоненты:

- медь в виде комплексной цианисто-калиевой соли меди в количестве от 10 до 30 г/л;
- цинк в виде комплексной цианистой соли цинка в количестве от 10 до 30 г/л; количество меди и цинка колеблется между 15 и 50 г/л, соотношение меди и цинка бывает от 1:3 до 3:1;
- свободный цианид;
- углекислый натрий (до 60 г/л) или углекислый калий (до 110 г/л).

Кроме этих основных компонентов электролит латунирования содержит также:

- едкий натр или едкое кали в количестве до 10 г/л;
- аммиак и аммониевые кислоты в виде хлористого или сернокислого аммония;
- блескообразующие добавки.

*Никелевые* покрытия применяют как для защиты от коррозии, так и для декоративных целей, причем никелевые покрытия наносятся на все наиболее важные основные материалы, т.е. на сталь, чугун, медь, цинк, алюминий, сплавы этих металлов и т.д. Никелевые покрытия, осажденные в электролитах обычного типа для никелирования, получают матовыми или полублестящими, поэтому для декоративных целей, а также перед последующим хромированием эти покрытия необходимо полировать.

Для электролитического осаждения никелевых покрытий на практике применяют кислые растворы, чаще всего сульфатные. Иногда, особенно при осаждении очень твердых покрытий, применяют растворы из хлоридов или из сульфатов с большим содержанием хлоридов, прежде всего – с хлоридом аммония.

Наиболее часто применяемым типом ванны является электролит, содержащий 50...60 г/л Ni (что соответствует 250 г/л сернокислого никеля NiSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O). Этот электролит работает при повышенной температуре 30...50°C, при pH от 4,0 до 5,5 и при плотности тока 2...3 А/дм<sup>2</sup>. Для увеличения скорости осаждения покрытия повышают содержание Ni до 75...90 г/л и работают при температуре 50...60°C, с плотностью тока 4...10 А/дм<sup>2</sup>.

Применение различных составов электролитов для никелирования приведено в таблице 53.

Таблица 53

### Электролиты никелирования

Состав электролита, в г/л	Режим работы	Примечание
NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 70-100 NaCl, 15-20 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 15-20	pH 5,3 20...30 °C D <sub>k</sub> 0,5...2 А/дм <sup>2</sup>	Раствор не перемешивается
NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 140-200 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O, 80-160 KCl, 20 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 20	pH 5,3 30...40 °C D <sub>k</sub> 1,5...2,5 А/дм <sup>2</sup>	Электролит с большой электрической проводимостью и рассеивающей способностью. Для нанесения покрытия на детали сложного профиля
NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 200 NaCl, 45 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 30	pH 5,3 50...60 °C D <sub>k</sub> 2...5 А/дм <sup>2</sup>	Электролит типа Уоттса, допускающий применение более высоких плотностей тока
NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 155-280 NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O, 37-56 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 25-37	pH 5,2...5,8 50...70 °C D <sub>k</sub> 1,5...5 А/дм <sup>2</sup>	Электролит типа Уоттса с высокой температурой для матовых мягких покрытий
NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O, 250 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 25	pH 2,0 60 °C D <sub>k</sub> 2...10 А/дм <sup>2</sup>	Для осаждения полутвердых покрытий (твердостью 230...260 HV)
NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 150 NH <sub>4</sub> Cl, 20 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 25	pH 5,6...5,9 50...60 °C D <sub>k</sub> 2,5...5 А/дм <sup>2</sup>	Электролит для осаждения твердых покрытий (твердостью 380...500 HV)

NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 100 NiSO <sub>4</sub> · (NH <sub>4</sub> )SO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O, 25 NH <sub>4</sub> Cl, 19 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 19	pH 5,6...5,9 свыше 16 °C D <sub>k</sub> 0,5...1 А/дм <sup>2</sup>	Электролит для медленного никелирования, пригодный для большинства видов стали
NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 250 NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O, 45	pH 4,0...5,0 40...55 °C	Электролит со средней скоростью осаждения
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 25 MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, 60	D <sub>k</sub> 2...3 А/дм <sup>2</sup>	NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O можно заменить таким же количеством MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O

Ввиду того, что электролит никелирования имеет кислый характер, следует уделять особое внимание тщательной очистке поверхности деталей. Никелевые покрытия, и особенно покрытия, осаждаемые из электролитов блестящего никелирования, требуют тщательного обезжиривания с целью максимального устранения опасности отслаивания покрытий. В настоящее время на практике применяют почти исключительно двойное электролитическое обезжиривание в горячем растворе (без цианидов), проводимое в двух ваннах при катодном и анодном включении деталей и при плотности тока не ниже 5 А/дм<sup>2</sup>. Продолжительность обезжиривания устанавливается в зависимости от степени загрязнения поверхности и чаще всего бывает равной 1-2 минутам. К стали с большим содержанием углерода (свыше 0,35%) или к закаленной стали никелевые и другие покрытия пристают хуже, поэтому такую сталь перед никелированием целесообразно протравливать в растворе 250...1000 г/л серной кислоты на аноде при плотности тока 10...50 А/дм<sup>2</sup> и при температуре не выше 30°C. Зачастую никелирование осуществляют по медному подслою. Основной задачей, подлежащей решению при никелировании алюминия и его сплавов, является сцепление покрытия с основой. В данном случае трудности создаются благодаря естественной очень тонкой беспористой окисной пленке, всегда имеющейся на поверхности алюминия и препятствующей прочному сцеплению гальванического покрытия с основой. Поэтому поверхность деталей перед нанесением покрытия следует специальным образом подготовить. Для этого на практике применяют два способа. Первый состоит в том, что деталь сначала анодно окисляют таким образом, чтобы образующаяся окисная пленка была пористой. Тогда достигается удовлетворительное сцепление осажденного металлического покрытия с основным металлом через оксидную пленку. Этот процесс относительно дорог, и применяют его в некоторых специальных случаях. Значительно

шире применяется более простой способ, состоящий из так называемой цинкатной обработки, при помощи которой на поверхности детали образуется тонкая пленочка цинка, обеспечивающая достаточное сцепление осаждаемого затем металлического покрытия.

Предварительная обработка поверхности состоит из следующих основных операций:

- механическая обработка поверхности;
- обезжиривание в растворителе;
- очистка в слабом щелочном растворе (около 5 мин при 70...80°C);
- промывка в горячей воде (60°C);
- травление в кислом или щелочном растворе;
- промывка в горячей воде (60°);
- обработка в азотной кислоте;
- двухкратная промывка в холодной воде;
- травление в цинкатном растворе (по 2-3 мин) или анодное оксидирование;
- промывка (окунанием) в холодной воде с последующей промывкой под душем;
- нанесение гальванического покрытия.

При никелировании нержавеющей стали, например хирургических инструментов, необходимо предварительно удалить окисную пленку. Эта операция обычно осуществляется либо в 10%-ном растворе серной кислоты, либо в растворе хлористого никеля и соляной кислоты ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 200 г/л,  $\text{HCl}$  – 100 г/л), либо в 50%-ном растворе соляной кислоты при нормальной температуре в течение 5-10 мин.

Для декоративных целей применяют также черное никелирование деталей, при этом цвет покрытия может менять оттенки от сероватого до сине-черного и черного в зависимости от состава электролита (табл. 54).

Таблица 54

**Составы электролитов и режимы работы для черного никелирования**

Состав электролита, в г/л	Режим работы
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 65 $\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 39 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 33 $\text{NaCNS}$ , 13	Температура 25...35°C $D_k$ 0,05...0,15 А/дм <sup>2</sup> рН 5,8...6,1 Продолжительность 20...40 мин

Состав электролита, в г/л	Режим работы
$\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 80 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 10 $\text{NaH}_4\text{CNS}$ , 20 $\text{As}_2\text{O}_3$ , 15	Температура около 35°C $D_k$ 0,05...0,15 А/дм <sup>2</sup> Напряжение 0,5...0,7В
$\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 90 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 4 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 15 $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ , 4	Температура около 35°C $D_k$ 0,1 А/дм <sup>2</sup> Напряжение 0,5...0,7В
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 75 $\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 50 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 40 $\text{NaH}_4\text{CNS}$ , 15	Температура 20...35°C $D_k$ 0,05...0,1 А/дм <sup>2</sup> рН 6,0...6,3 Продолжительность 20...30 мин

Блестящие никелевые покрытия осаждаются обычно на механически отполированный медный подслои или на блестящие медные подслои, осажденные непосредственно из электролита. Осаждение блестящих никелевых покрытий по стали без подслоя возможно только при условии, если поверхность стали имеет высокую чистоту поверхности, так как блестящее никелевое покрытие копирует все неровности и дефекты поверхности основного металла. Однако даже при наличии у стальных деталей такой поверхности целесообразнее сначала осаждают для лучшей адгезии тонкое медное покрытие (1,5...2,5 мк) в щелочном электролите меднения или никелевое покрытие в электролите никелирования, сильно подкисленном соляной кислотой. Технологический процесс для блестящего покрытия такой же, как и при матовом никелировании.

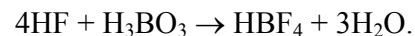
Электролиты блестящего никелирования очень чувствительны к металлическим и органическим загрязнениям. Наиболее вредным из металлов является медь, даже в небольших количествах, например 0,001 г/л, затем в порядке ослабления вредного влияния идут цинк, железо и свинец. Из органических веществ вредны разложившиеся блескообразователи, растворенные изоляционные материалы приспособления, недостаточно удаленные остатки подготовительных растворов и т.п. Металлические загрязнения удаляются электролитически, а все органические вещества – фильтрацией через плотные салфетки, через активированные угли или через инфузорную глину.

*Свинцевание* распространено в значительно меньшей степени, чем другие гальванические процессы. В последние десятилетия удалось путем использования комплексных соединений свинца на основе борофтористоводородной и кремнефтористоводородной кислот разработать составы растворов для свинцевания, обеспечивающие получение высококачественных покрытий. Другой причиной, из-за которой до сих пор электролитическое осаждение свинца не находило широкого применения, является его относительно легкая окисляемость, вследствие чего покрытия свинцом имеют некрасивый темный цвет. По этой причине никогда не применяют свинцовые покрытия для декоративных целей, а применяют их лишь для защиты поверхности металлов против воздействия некоторых сред, сильно корродирующих металлы.

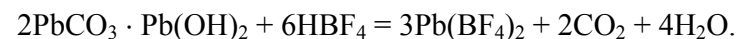
По своему электрохимическому характеру свинец относится к металлам более благородным, чем железо. В местах, где повреждено свинцовое покрытие, стальная основа при воздействии на нее окружающей среды, будет являться анодом образующегося местного элемента свинец-железо; это повлечет за собой быстрое разрушение основного металла. Скорость этого разрушения с течением времени уменьшается, так как образующиеся на поверхности продукты коррозии препятствуют свободному доступу коррозионной среды к основному металлу, если пленка ржавчины не повреждена по какой-либо причине. В последнем случае возможен дальнейший анодный процесс, а следовательно, и дальнейшее разрушение железа.

Свинец, как и большинство других металлов, можно осаждать из кислых и щелочных растворов. В качестве щелочи используется едкое кали или едкий натр. Примером щелочного раствора является электролит, который используется при температуре 80...90°C и плотности тока 1...2 А/дм<sup>2</sup> и содержит: Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> – 75 г/л, NaOH – 200 г/л, розин – 3...10 г/л.

Борофтористоводородные электролиты готовят растворением основной углекислой окиси свинца в смеси фтористоводородной и борной кислот. При этом образуется растворимая соль – борофтористокислый свинец. При приготовлении электролита образуется преимущественно борофтористоводородная кислота:



При реакции с основным карбонатом свинца образуется борофтористокислый свинец:



В реакциях этого типа обычно не сохраняются стехиометрические соотношения. Добавляемое количество борной кислоты больше, чем это соответствует реакции получения HBF<sub>4</sub>; таким образом, целесообразно поддерживать некоторый избыток борной кислоты и в электролите. Точно так же и количество вводимой соли основного карбоната свинца не вполне соответствует второй реакции, и в электролите всегда остается избыток свободной борофтористоводородной кислоты.

Рекомендуются следующие оптимальные условия электролиза:

- концентрация свинца не должна быть ниже 100 г/л;
- концентрация свободной борофтористоводородной кислоты должна быть 25...40 г/л;
- концентрация свободной борной кислоты должна соответствовать 12...15 г/л.

В электролите не должно быть свободной плавиковой кислоты.

*Серебряные* покрытия имеют очень большое значение для многих областей промышленности. Например, в электротехнической промышленности используется высокая электрическая проводимость серебра (для волноводов, всевозможных контактов электронных ламп, приборов связи и т.п.).

Так как серебро химически очень стойко против воздействия многих химикатов, серебряные покрытия применяются в химической промышленности в качестве антикоррозийной защиты разных химических аппаратов.

Благодаря хорошим физическим свойствам серебряные покрытия применяют также при производстве подшипников скольжения.

Для серебрения применяют исключительно цианистые электролиты. Многочисленные попытки заменить их другими, например на базе азотнокислых солей серебра, иодида серебра и т.д., оставались безуспешными. Комплексные цианистые электролиты применяют уже более ста лет, и только из комплексной серебряной соли осаждаются годные для практического применения покрытия. В специальной литературе имеется много рецептов комплексных цианистых электролитов, отличающихся друг от друга количеством серебра, свободного цианида и щелочных карбонатов, а главным образом – применяемыми блескообразующими добавками.

Комплексный цианистый электролит серебрения содержит:

- серебро в виде комплексной серебряной соли в количестве 2...120 г/л;

- свободный цианид в количестве 5...45 г/л CN;
- карбонаты натрия или калия в разном количестве.

Кроме этих основных веществ электролит серебрения содержит:

- едкое кали;
- блескообразующие добавки.

По содержанию в них серебра цианистые электролиты серебрения подразделяются на три группы:

а) электролиты для предварительного серебрения, содержащие 1...6 г/л серебра;

б) электролиты для декоративного и технического серебрения, содержащие 10...40 г/л серебра;

в) электролиты скоростного серебрения, предназначенные для осаждения толстых покрытий (от 0,1 до 1,5 мм), содержащие до 120 г/л серебра.

Предварительное серебрение применяется для улучшения сцепления серебряного покрытия с основным металлом. Для стали применяют во всех случаях два электролита предварительного серебрения, а для цветных металлов один.

#### *Составы и режимы работ электролитов*

Электролит для предварительного серебрения стали (электролит 1), в г/л:

цианистое серебро AgCN .....2,0;  
цианистый натрий NaCN .....70;  
углекислый натрий Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> .....10.

Аналитические данные (пределы одновременно допустимого содержания):

серебро, в г/л ..... 0,8...1,5;  
свободный цианид в виде NaCN, в г/л ..... 60...75;  
углекислый натрий Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, в г/л ..... до 60;  
катодная плотность тока, в А/дм<sup>2</sup> .....1...2,5;  
анодная плотность тока, в А/дм<sup>2</sup> – любая, обычно равная катодной плотности тока;  
температура раствора, в °С.....20...30;  
продолжительности предварительного серебрения, в с.....10...30;

аноды – нержавеющая сталь.

Этот электролит применяют для осаждения предварительного серебряного покрытия на никелированную или омедненную сталь или на медь и латунь. Для других целей этот электролит не используют.

Электролит для предварительного серебрения цветных металлов и для наращивания толщины серебряного покрытия по стали (электролит 2) применяется для осаждения предварительного серебряного покрытия на цветные металлы и для увеличения толщины серебряного покрытия, осажденного из электролита, для предварительного серебрения стали. Для других целей этот электролит не годится. Осажденные из этого электролита толстые серебряные покрытия имеют пониженное качество (они грубозернисты, кристалличны, матовы и шероховаты).

Состав и режим работы электролита 2:

цианистое серебро AgCN – 6 г/л;  
цианистый натрий NaCN – 70 г/л;  
углекислый натрий Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 10 г/л;  
температура раствора – 18...30°С.

Продолжительность предварительного серебрения:

- для цветных металлов – 30...60 с;
- для стали (предварительно посеребренной) 30 с...2 мин.

Электролиты для декоративного и технического серебрения (состав, в г/л):

Компонент	А	Б	В
Цианистое серебро AgCN	10	30	50
Цианистый натрий NaCN	30	–	–
Цианистый калий KCN	–	70	90
Углекислый натрий Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10	–	–
Углекислый калий K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	–	10	10

Блескообразующие добавки:

аммиак.....2 мл/л,  
серноватокислый натрий.....0,4 г/л.

В процессе работы состав электролита может сильно изменяться, поэтому при серебрении должен быть обеспечен надежный контроль концентраций его компонентов.

Состав электролита скоростного серебрения:

цианистое серебро AgCN, в г/л – 100;

цианистый калий KCN, в г/л – 100;  
 углекислый калий K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, в г/л – 25;  
 едкое кали KOH, в г/л – 15;  
 аммиак в мл/л, – 2;  
 серноватокислый натрий Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, в г/л – 0,5;  
 температура раствора – 40...55°C;  
 плотность тока – 7 А/дм<sup>2</sup>.

Электролит скоростного серебрения выгодно применять для осаждения толстых серебряных покрытий (до нескольких мк). Для декоративного серебрения этот электролит не применяют.

*Цинкование* относится к наиболее распространенным процессам электрохимической обработки поверхностей стальных изделий. Это объясняется прежде всего тем, что цинковое покрытие (особенно после дополнительной обработки, например хромированием, фосфатированием и т.п.) устойчиво против воздействия атмосферы и воды, а сам процесс цинкования относительно дешев и прост. Анодное защитное действие цинковых покрытий стали и черных металлов используется повсюду для тех деталей, которые подвергаются воздействиям атмосферы или воды. Однако анодный характер покрытий проявляется только при температуре воды примерно до 60 °С. При более высокой температуре потенциалы изменяются, и цинк становится по отношению к железу катодом. Поэтому для деталей, которые будут подвергаться воздействиям горячей воды (например, бойлеров), требуется, чтобы толщина цинкового покрытия была около 70 мк и чтобы оно не имело пор. Беспористость цинковых покрытий не является обязательным условием для тех деталей, которые подвергаются воздействию низкой или нормальной температуры или атмосферному воздействию.

Цинковые покрытия можно электролитически осаждать в основном из двух видов электролита:

- а) из растворов, в которых цинк находится преимущественно в виде гидратированного цинкового катиона Zn<sup>2+</sup>·nH<sub>2</sub>O;
- б) из растворов, в которых цинк находится преимущественно в виде комплексного аниона.

К первой группе можно отнести кислые электролиты, вторую группу образуют комплексные цианистые и цинкатные электролиты, а также пиррофосфатные. Наиболее важное значение имеют цианистые и кислые электролиты. Рецептура цианистых электролитов приведена в табл. 55.

### Рецептура цианистых электролитов

Рецептура, в %	Номер раствора			
	1	2	3	4
ZnO г/л	–	45	–	–
Zn(CN) <sub>2</sub> г/л	60,5	–	80,0	80,0
NaCN	32,0	100,0	42,0	40,0
NaOH	85,0	38,0	78,0	56,0
Блескообразующая добавка	Глицерин	MoO <sub>3</sub> MnSO <sub>4</sub>	Пиперонал	Пиперонал MoO <sub>3</sub>

*Электролитическое золочение* применяется главным образом в галантерейном и ювелирном деле. Для технических целей золотые покрытия применяют главным образом в электротехнической и оптической промышленности и в области точной механики и физических приборов.

Поскольку золото является драгоценным металлом, покрытия из него осаждаются небольшой толщины. На галантерейных изделиях толщина покрытия бывает от 0,025 до 1 мк, а для технических целей – от 0,1 до 20 мк. Для повышения антикоррозионной стойкости и увеличения срока службы позолоченных предметов их поверхность покрывают прозрачными лаками.

Способы предварительной обработки деталей перед золочением зависят от рода основного материала. Серебряные, никелевые, медные, латунные и томпаковые детали золотят непосредственно. На стальные, оловянные, цинковые, свинцовые и алюминиевые детали нужно перед золочением нанести подслоем другого металла (серебра, никеля, меди или латуни). Чаще всего таким подслоем является блестящее никелевое покрытие толщиной около 5 мк. Толщина золотого покрытия должна быть достаточной для того, чтобы скрыть цвет основного металла.

Золото и золотые сплавы осаждаются главным образом из цианистых электролитов. Электролит золочения лучше всего готовить из комплексного цианида одновалентного золота KAu(CN)<sub>2</sub> или путем растворения золота в цианистом калии с помощью диафрагмы. Ввиду высокой стоимости золота содержание его в электролите бывает от 1 до 5 г/л. Для технических целей применяют обычно электролиты с большим содержанием золота (до 12 г/л).



Количество свободного цианида в электролите строго не регламентировано и может быть от 3 до 15 г/л.

Наиболее эффективный состав электролита в г/л:

$\text{KAu}(\text{CN})_2$  – 4,

цианистый калий KCN – 15,

углекислый калий  $\text{K}_2\text{CO}_3$  – 8.

Температура электролита 60...70°C. Оптимальная плотность тока находится в пределах от 0,1 до 1,5 А/дм<sup>2</sup>, а напряжение на зажимах 2...3,5 В.

При плотности тока 0,3 А/дм<sup>2</sup> золотое покрытие толщиной 1 мк осаждается за 15-20 мин. Продолжительность золочения галантерейных изделий – от 1 до 5 мин.

Для декоративных целей (при толщине покрытия до 0,5 мк) достаточна продолжительность золочения в несколько секунд. При нанесении более толстого покрытия оставляют деталь в электролите до тех пор, пока покрытие не потемнеет. Затем деталь вынимают, промывают, крацуют латунной щеткой до тех пор, пока покрытие не станет блестящим, и снова загружают деталь в электролит для дальнейшего золочения. Так повторяют до 5 раз. После последней операции золотое покрытие полируют шелковым или фланелевым кругом.

Цвет золотого покрытия зависит главным образом от применяемой плотности тока и от содержания посторонних ионов в электролите. Вообще при плотности тока меньше оптимальной осаждаются светло-желтые покрытия, а при большей плотности тока осаждаются покрытия с красноватым оттенком.

При гальваническом золочении различают четыре основных цвета покрытия: желтый, белый, зеленый, красный.

Золотые покрытия с желтым оттенком получают из электролита, указанного выше.

Покрытия другого оттенка, состоящие из сплавов золота с другими металлами, получают из электролитов, содержащих соли никеля, серебра, меди или цинка. Медь изменяет цвет золота в розовый или красный в зависимости от количества меди в электролите, серебро и кадмий придают золотому покрытию зеленоватый оттенок, а никель и цинк – белый цвет. Железо не имеет большого влияния на цвет золотого покрытия. Свинец вызывает осаждение черного покрытия, имеющего плохое сцепление с основной поверхностью.

При осаждении золотых покрытий толщиной более 10 мк применяют хлористые электролиты. Золото находится в электролите в виде золотохлористоводородной кислоты  $\text{AuCl}_3 \cdot \text{HCl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , приготовляемой растворением хлорного золота в соляной кислоте. Избыток кислоты или хлористые соли способствуют равномерному растворению золотых анодов и улучшают электрическую проводимость электролита. Количество золота бывает приблизительно от 16 до 30 г/л, концентрация соляной кислоты (удельный вес 1,18) – от 90 до 150 г/л. Электролит работает при комнатной температуре с плотностью тока 0,5 А/дм<sup>2</sup> при 2...3 В. При более высокой температуре можно увеличить плотность тока. Выход по току обычно большой, а рассеивающая способность электролита плохая, намного хуже, чем в цианистых электролитах.

Электролитом золочения можно пользоваться до тех пор, пока золото в нем полностью не истощится, что скажется в более интенсивном выделении водорода на катоде.

#### 11.4. Термическая и химико-термическая обработка металлов

Основными видами термической обработки являются: отжиг, нормализация, закалка, отпуск и обработка холодом. При термической обработке стали происходят структурные изменения материала в соответствии с диаграммой железо-цементит (рис. 39).

Исходя из требований, предъявляемых к стали, можно применять ту или иную операцию термической обработки. Однако при одной и той же операции термической обработки, изменяя ее параметры, т.е. температуру нагрева, выдержку и скорость охлаждения, можно получить свойства в достаточно широких пределах для одной и той же стали. В табл. 56 приведена классификация операций термической обработки в соответствии с диаграммой состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C (рис. 39) и назначение этих операций.

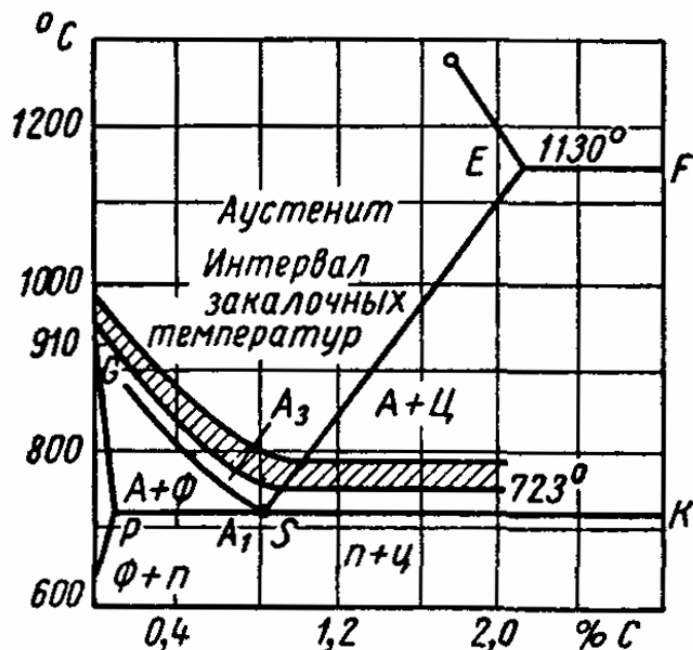


Рис. 39. Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали

Для увеличения прокаливаемости в практике термической обработки иногда повышают температуру закалки или удлиняют выдержку. Однако это можно использовать только в том случае, когда не наступает сильного укрупнения зерна или увеличения количества остаточного аустенита.

*Прокаливаемость* – глубина проникновения закаленной зоны (расстояние от поверхностного слоя с мартенситной структурой до слоя с полумартенситной структурой – 50% мартенсита и 50% продуктов распада аустенита).

При сквозной закалке свойства по сечению закаленной стали однородны. При несквозной закалке свойства меняются от поверхности к центру. Отпуск несколько выравнивает свойства по сечению. Однако у слабопрокаливаемой стали на поверхности, где после закалки был мартенсит, будет зернистая структура, а в центре, где был перлит, сохранится пластинчатая структура. Поэтому на поверхности и в центре будет различие только тех свойств, которые зависят от формы структуры.

*Скорость нагрева.* Нагрев стали до заданной температуры желательно производить с максимальной скоростью. Это экономично, так как увеличивает производительность нагревательных средств, уменьшает количество печей и потребность в рабочей силе, уменьшает расход топлива. Однако большая скорость нагрева не всегда возможна.

Технически возможная скорость нагрева изделия определяется:

- способом нагрева (пламенная или электрическая печь, соляная, металлическая или масляная ванна, т.в.ч. и т.д.);
- максимальной температурой нагрева – до более высокой температуры изделие нагревается быстрее, чем до более низкой;
- формой изделия: чем больше поверхность, тем скорее происходит нагрев;
- весом одновременно нагреваемого металла и расположением изделий в печи;
- некоторыми физическими свойствами нагреваемых изделий: теплопроводностью, теплоемкостью и температуропроводностью.

При нагреве слитков под ковку и штамповку в зависимости от химического состава сталь подразделяют на три группы (табл. 57), для каждой из которых назначается свой режим нагрева.

Таблица 57

**Распределение стали по группам в зависимости от химического состава**

Группа	Марки стали
I	Ст. 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ст. 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 35Н, 40Н, 15ХМ, 15Х, 20Х, 30Х, 35Х, 15М
II	60ХГ, 25ХГС, 30ХГС, 50Г, 65Г, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 22ГНМ, 35ХМ, 45ХФ, 40Х, 45Х, 55Х, 12ХН2А, 12ХН3А, 15ГН4М, 40ХН, 50ХН, 60ХН, 50, 55
III	35ХНМ, 34ХН3М, 38ХГН, 35ХНВ, 18Х2Н4(ВМ), 9Х, 9ХФ, 90ХМФ, 90ХМБ, 40ХНМА, 40ХНЗГСМ, 13Г2ХНФ, 38ХМЮА, 55С2, 60С2, 30ХГВТ, 30Х2ГМТ

Окончание табл. 57

Не включенные в таблицу марки стали могут быть отнесены к той или иной группе по аналогии.

Для ускорения нагрева рекомендуется повысить температуру печи при посадке холодных слитков:

- из стали I группы, весом до 5 т – до 1200°C,
- из стали II группы, весом до 3 т – до 1050°C,
- из стали III группы, весом до 3 т – до 900°C,
- и исключить выдержку слитков в печи при температуре посадки.

Промежуточную выдержку в начальном периоде нагрева нужно производить при 700...750°C – исходя из условия уменьшения максимальной температурной разности по сечению слитка. Во втором периоде нагрев производить с максимально возможной скоростью.

Рекомендуется также не ограничивать температуру печи при посадке горячих слитков, а нагрев до ковочной температуры производить с максимально возможной скоростью. Время выдержки при ковочной температуре должно составлять 1...1,5 ч.

При охлаждении поковок и штампованных заготовок в последних из-за различия в скоростях охлаждения наружных и внутренних слоев возникают термические напряжения, которые тем выше, чем больше скорость охлаждения. Кроме термических при охлаждении возникают и структурные напряжения, связанные с фазовыми превращениями. При медленном охлаждении перепад температур между внутренними и внешними слоями уменьшается, что способствует более равномерному протеканию фазовых превращений в стали по всему объему поковки.

При больших скоростях охлаждения суммарная величина термических напряжений и напряжений от фазовых превращений может превысить прочность стали и быть причиной образования наружных и внутренних макро- и микротрещин в поковке. Выбор рациональных режимов охлаждения поковок и штампованных заготовок обеспечивает соответствующее качество последних.

В кузнечно-прессовых и штамповочных цехах применяют следующие способы охлаждения поковок: на воздухе, в малотеплопроводных материалах, в сборниках и неоттапливаемых колодцах, в подогреваемых колодцах и печах. Скорость и интенсивность охлаждения стали на воздухе приведены в табл. 58. Часто замедленное охлаждение поковок проводят в какой-либо теплоизолирующей среде или по специальным режимам.

Таблица 58

**Скорость и интенсивность охлаждения стали на воздухе**

Интервал температур, в °С	Скорость охлаждения, в °С/мин				Коэффициент интенсивности охлаждения для заготовки любого профиля
	Ø 70 мм	Ø 80 мм	Ø 100 мм	Ø 120 мм	
900-800	16,7	15,2	14,5	13,55	1,0
800-700	12,42	11,25	10,7	10,00	0,741
700-600	9,61	8,3	7,85	7,38	0,543
600-500	6,68	6,0	5,68	5,37	0,391
500-400	4,78	4,28	4,06	3,75	0,279
400-300	3,3	3,0	2,87	2,67	0,196
300-200	2,3	2,1	2,00	1,85	0,136
200-100	1,5	1,43	1,36	1,2	0,093
100-50	1,0	0,95	0,95	0,8	0,063

Термическую обработку чугуна применяют для снятия внутренних напряжений и стабилизации размеров отливки, снижения твердости и улучшения обрабатываемости, исправления дефектов литья по отбелу, повышения механических свойств и износостойкости.

Классификация основных видов термической и химико-термической обработки отливок из серого чугуна приведена в табл. 59.

При термической обработке серого чугуна изменяется главным образом металлическая основа чугуна (матрица), графитная структура остается практически без изменения.

*Низкотемпературный отжиг* (искусственное старение) применяют для снижения в отливках внутренних остаточных напряжений, возникающих вследствие неодновременного перехода различных частей отливки из области пластических в область упругих деформаций.

Однако для снижения величины внутренних напряжений более эффективным является применение искусственного старения – медленный нагрев отливок и медленное охлаждение.

Для ковкого чугуна применяют *нормализацию, закалку и отпуск*. *Нормализация* (табл. 60) повышает прочность, твердость и износостойкость ковкого чугуна при некотором понижении его пластичности. Нормализация приводит к увеличению содержания в структуре перлита.

Таблица 60

**Режим термической обработки ковкого чугуна**

Вид термической обработки	Назначение	Температура нагрева, в °С	Время выдержки, в ч	Охлаждение
Нормализация	Повышение прочности и твердости	800...850	0,2...1,0 ч на 25 мм толщины отливки	На воздухе
Закалка	Повышение твердости и износостойкости	800...900	0,75...1,25 ч на 25 мм толщины отливки	В масле
Отпуск	Повышение сопротивления износу	450...600	1...5 ч в зависимости от толщины отливки и требуемых свойств	На воздухе
	Повышение механических свойств	500...700		

Закалка с последующим высоким отпуском является оправдавшим себя методом получения ковкого чугуна со структурой зернистого перлита. Максимальная твердость закаленного ферритного и ферритоперлитного ковкого чугуна достигается при нагреве под закалку до 850...900°С, выдержке в течение 60...120 мин и охлаждении в масле. Регулирование и получение требуемых механических и эксплуатационных свойств осуществляются за счет подбора температуры отпуска закаленного ковкого чугуна.

Алюминий и его сплавы для придания им определенных свойств также подвергаются закалке и старению (табл. 61, 62).

Таблица 61

**Температура нагрева деформируемых алюминиевых сплавов перед закалкой**

Марка сплава	Температура начала отсчета продолжительности нагрева, в °С	Допустимый интервал температуры закалки, в °С
Листы		
Д16	490	495...505
Д19	495	505...515

Прессованные полуфабрикаты и плиты

Д16	490	495...503
Д19	495	495...503
Все виды полуфабрикатов		
Д1	490	495...510
АВ	505	510...530
АК2		510...520
АК4, АК4-1	520	525...540
АК6, АК6-1	500	505...525
АК8	490	495...505
ВД17		
Д20	525	530...540
Д21	515	520...530

Окончание табл. 61

Марка сплава	Температура начала отсчета продолжительности нагрева, в °С	Допустимый интервал температуры закалки, в °С
В93	460	465...475
В95		
В96		
Д6	495	465...473
Д23		
АД31	520	497...503
АД33		
	520	520...530

Таблица 62

**Режимы искусственного старения деформируемых алюминиевых сплавов**

Марка сплава – вид старения *	Температура старения, в °С**	Продолжительность старения, в ч
Все виды полуфабрикатов		
Д1-ЕС	Комнатная	96
Д6-ЕС		
Д16-ЕС		
Д19-ЕС		
		120-240

Листы, прессованные полуфабрикаты

Д16-ИС	185...195 185...195	7...9 6	160...170	4
Все виды полуфабрикатов				
Д20-ИС	160...170 200...220	10...16 12		
Д23-ИС	170...180	16...12		
Д21-ИС ВД17-ИС	180...190 165...175	16		

Окончание табл. 62

Марка сплава – вид старения*	Температура старения, в °С**	Продолжительность старения, в ч
АВ0ЕС АК6-ЕС АК8-ЕС АВ-ИС	Комнатная 150...165	96 8...15
Прессованные прутки, штамповки, поковки		
АК2-ИС	150...170 165...180	4...15 6...16
Все виды полуфабрикатов		
АК6-ИС АК6-1-ИС АК8-ИС АК4 АК4-1-ИС	150...165 165...180 185...195	6...15 4...15 10...16 8...12
Листы		
В95-ИС	120...125	24
Прессованные полуфабрикаты, штамповки		
В95-ИС В95-1-ИС	135...145	16
Все виды полуфабрикатов		
В96-ИС В93	95...105 155...160 115...125	4...5 8...9 3

\* ЕС – естественное старение; ИС – искусственное старение.

\*\* Числитель – 1-я ступень (режим) старения; знаменатель – 2-я ступень (режим) старения.

В зависимости от содержания компонентов, входящих в состав алюминиевого сплава (Mg, Cu, Ni, Zn и др.), применяют тот или иной режим термообработки.

Для термической обработки рекомендуют применять следующие режимы:

T4 – нагрев под закалку при  $535 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 2...6 ч, охлаждение в воде с температурой 20...100°C. Применяется для деталей, от которых требуется повышенная пластичность;

T5 – режим закалки тот же + искусственное старение при  $150 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 1...3 ч. Применяется для деталей, от которых требуются повышенные значение предела текучести и твердости;

T6 – режим закалки тот же + искусственное старение при  $200 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 2...5 ч. Применяется для деталей, от которых требуется повышенная прочность;

T7 – режим закалки тот же + искусственное старение при  $225 \pm 10^\circ\text{C}$  в течение 3...5 ч. Применяется для деталей, от которых требуется достаточная прочность и сравнительно высокая стабильность геометрических размеров;

T8 – режим закалки тот же + отжиг при  $250 \pm 10^\circ\text{C}$  в течение 3...5 ч.

Процессы химико-термической обработки осуществляются посредством нагрева, выдержки и охлаждения деталей из стали или сплавов в активных насыщающих средах (твердых, жидких, газообразных) при определенных температурных и временных условиях с последующей термической обработкой или без нее.

Результаты всякого процесса химико-термической обработки определяются составом активной насыщающей среды, температурой и временем выдержки, а также условиями последующей термической обработки.

Химико-термическая обработка деталей применяется в промышленности в большинстве случаев с целью повышения свойств: поверхностной твердости, износостойкости, эрозиостойкости, задиристости, контактной выносливости и изгибной усталостной прочности (процессы – цементация, азотирование, нитроцементация и др.). Для резкого повышения со-

противления абразивному изнашиванию перспективны процессы: борирование, диффузионное хромирование и другие, позволяющие получить в поверхностном слое бориды железа, карбиды хрома или другие химические соединения металлов, отличающиеся высокой твердостью. В других случаях целью химико-термической обработки является защита поверхности деталей от коррозии при комнатной и повышенной температурах в различных агрессивных средах или окисления (процессы – алитирование, силицирование, хромирование и др.).

**Цементация.** Процесс осуществляется обычно в интервале температур 860...960°C. Длительность выдержки в зависимости от состава цементуемой стали, способа цементации и требуемой глубины слоя, которая колеблется в пределах от 0,15 до 2,5 мм, составляет от 1 до 30 ч. В редких случаях, например газовой цементации крупных подшипниковых колец, глубина слоя может достигать 8 мм, длительность выдержки 7-9 суток.

Особым случаем применения цементации является сквозная цементация тонких штампованных деталей из низкоуглеродистой стали (например, деталей пишущих машин, роликовых цепей и т.п.).

Для цементации применяют низкоуглеродистую легированную и легированную сталь с содержанием углерода 0,08...0,30% (табл. 63). К цементуемой качественной стали предъявляются требования по чистоте металла, структуре, механическим свойствам, закаливанию цементованного слоя, обрабатываемости резанием и др.

При выборе кремнийсодержащих сталей, обладающих повышенной износостойкостью, теплостойкостью и ударной усталостной прочностью, необходимо учитывать некоторые их недостатки в отношении склонности к обезуглероживанию при последующей термической обработке и в ряде случаев – неудовлетворительную закалываемость цементованного слоя, а также предрасположение к образованию шлифовочных трещин.

Таблица 63

**Свойства и область применения цементуемой стали различных марок**

Группа и марки стали	Свойства после закалки и низкотемпературного отпуска		Область применения
	слоя	сердцевины	
1. Углеродистая сталь с содержанием	HRC 60...64	$\sigma_B=50...85$ кг/мм <sup>2</sup> $\sigma_T=30...65$ кг/мм <sup>2</sup>	Для малонагруженных деталей,

ем 0,05...0,25% С марок: Ст.2, Ст.3, Ст.5, 08, 08кп, 10, 10кп, 15, 20, Авт. 12, Авт 15, Авт 15Г и Авт.20		$a_n \geq 5,5$ кг·м/см <sup>2</sup>	работающих в основном на износ: поршневые пальцы, вилки тяг, кулачковые валы, ключи, червяки, шестерни, звездочки и др. с максимальным рабочим сечением 15...25 мм
2. Легированная сталь средней прочности с содержанием 0,12...0,20% С, марок: 15Х, 20Х, 15ХФ, 15ХМ, 20ХФ, 20ХГ, 12ХН2, 15ХР, 18ХГТ, 20ХН	HRC 58...62	$\sigma_B=75...90$ кг/мм <sup>2</sup> $\sigma_T=60...75$ кг/мм <sup>2</sup> $a_n \geq 5,0$ кг·м/см <sup>2</sup>	Для тех же, но более нагруженных деталей с максимальным рабочим сечением 35 мм
3. Легированная сталь повышенной прочности с содержанием 0,12...0,20% С, марок: 18ХМА, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 15Х2ГН2ТА, 20ХГР, 18ХСНРА, 15ХГНТА, 15Х2ГН2ТРА	HRC 57...61*	$\sigma_B=110...130$ кг/мм <sup>2</sup> $\sigma_T=85...110$ кг/мм <sup>2</sup> $a_n \geq 5,0$ кг·м/см <sup>2</sup>	Ответственные нагруженные шестерни разного модуля, испытывающие в работе резкие удары, с максимальным рабочим сечением 50...75 мм (18ХМА, 20ХГР – 40...60 мм)

Окончание табл. 62

Группа и марки стали	Свойства после закалки и низкотемпературного отпуска		Область применения
	слоя	сердцевины	
4. Легированная сталь высокой прочности с содержанием	HRC 57...61	$\sigma_B=120...150$ кг/мм <sup>2</sup> $\sigma_T=95...135$ кг/мм <sup>2</sup> $a_n \geq 5,0$ кг·м/см <sup>2</sup>	Особо ответственные шестерни средних и крупных модулей для тяже-

0,12...0,30% С марок: 25ХГТ, 30ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20Х2Н4А, 25Х2ГНТА, 20ХГНР, 20ХН3А, 20ХГВТ, 20ХГСВТ, 20ХГН			лых условий работы с максимальным рабочим сечением 100...120 мм (25ХГТ, 30ХГТ, 20ХГВТ, 20ХГСВТ, 20ХГН 60...80 мм)
5. Высокохромистая нержавеющая сталь марок 1Х13, 2Х13, Х17Н12 и др.	HRC 60...64	–	Для деталей коррозионностойких в воде и в керосине, а также работающих на износ (пресс-формы и др.)

\* Твердость сердцевины для шестерен из легированной стали обычно составляет HRC 35...45.

Концентрация углерода в цементованном слое для получения оптимальных свойств прочности должна находиться в определенных пределах в зависимости от марки легированной стали (обычно 0,8...1,0%).

*Азотирование* осуществляется обычно в атмосфере продуктов частичной диссоциации аммиака в интервале температур 500...580°C. Длительность выдержки в зависимости от типа стали и требуемой глубины слоя обычно составляет 20...100 ч.

Азотирование применяют как с целью поверхностного упрочнения (повышение твердости, износостойкости, сопротивления задиранью, усталостной прочности и эрозионной стойкости), так и с целью антикоррозионной защиты. Большая эффективность применения азотирования по сравнению с цементацией обусловлена более высокой износостойкостью, теплостойкостью и коррозионной стойкостью азотированных сталей и чугунов. В то же время азотированный слой характеризуется относительно большой хрупкостью. Технологические преимущества азотирования, связанные с низкой температурой процесса, заключаются в незначительном короблении деталей или практически полном его отсутствии.

*Нитроцементация и цианирование* предусматривают одновременное насыщение стали углеродом и азотом (нитроцементация – из газовой среды, цианирование – из расплавов цианистых солей). Основные преимущества нитроцементации и цианирования (кроме большей скорости насыще-

ния) состоят в возможности получения более износостойкого и теплостойкого слоя благодаря наличию в нем азота, меньшему росту зерна и меньшей деформации деталей. Нитроцементация и цианирование осуществляются при температурах 540...600°C (низкотемпературная) и 840...950°C (высокотемпературная), время выдержки 0,5...3 ч.

*Алитирование* применяют для повышения стойкости деталей против газовой коррозии в водяном паре, на воздухе, в сероводороде и в топочных газах при повышенных и высоких температурах. Алитированию подвергают малоуглеродистую нелегированную сталь и сплавы, включая жаропрочные сплавы на никелевой основе, а также серый, кремнистый и магниевый чугуны. Применяют три способа алитирования: в твердой среде (порошковых смесях), в расплаве, напылением расплавленного алюминия.

Порошковые смеси для насыщения сталей и чугунов алюминием содержат от 30 до 90% порошка железоалюминиевого сплава, нелегированного или легированного небольшим количеством других элементов (окси алюминия, 1-2% хлористого аммония). Процесс насыщения алюминием проводят при температуре 750...1050°C в течение 1...20 ч. Глубина алитированного слоя составляет 0,02...0,7 мм с содержанием алюминия на поверхности слоя 15...65%.

Алитирование в расплаве алюминия (с небольшими добавками кремния) осуществляется погружением деталей в ванну при температурах 720...850°C с выдержкой времени 25...45 мин. Затем детали подвергают диффузионному отжигу при 950°C в течение 1...2 ч. Глубина диффузионного слоя составляет 0,3...0,5 мм.

Алитирование методом напыления расплавленного алюминия (металлизации) также предполагает применение диффузионного отжига после металлизации. Глубина алитированного слоя составляет 0,5...0,8 мм.

Следует отметить, что наличие легирующих элементов в сталях и чугунах уменьшает глубину алитированного слоя.

*Диффузионное хромирование* направлено на повышение твердости, коррозионной стойкости при температуре 800...1300°C порошками, в состав смеси которых входят: Cr или FeCr, 1...3% NH<sub>4</sub>Cl или NH<sub>4</sub>I, остальное – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Перед хромированием детали подвергаются шлифовке, кроме того, возможна предварительная цементация. При изготовлении штампового инструмента после хромирования производится притирка деталей

(реже шлифовка). Увеличение размеров при хромировании составляет 0,01...0,03 мм на сторону.

*Борирование* осуществляется при температуре 920...950°C в жидких средах (электролизное и в расплаве буры с карбидом бора), а также в газообразных средах и твердых смесях с целью повышения твердости и износостойкости. Борированные детали (штуки буровых грязевых насосов, струйных сопел, звеньев цепей пил и др.) подвергаются объемной и поверхностной закалке токами высокой частоты. Время борирования составляет: в жидких средах и газах – 2...20 ч, в порошках – 6 ч. Глубина борированного слоя составляет 0,2 мм.

*Сульфидирование* направлено на улучшение антифрикционных свойств и повышение усталостной прочности стали (обработка поршневых колец, гильз цилиндров, чугунных втулок, зубчатых и червячных колес и др.). Сульфидирование осуществляют при температуре 560...580°C в течение 1,5...2 ч. За это время в зависимости от марки стали и состава ванны получают обогащенный серой, азотом и углеродом слой глубиной 0,05...0,1 мм. По окончании процесса детали охлаждают на воздухе, промывают в горячей воде, сушат, промасливают.

*Силицирование* применяется для деталей химического и нефтяного машиностроения с целью повышения их коррозионной стойкости при работе в морской воде, серной, соляной, азотной кислотах различной концентрации и других агрессивных средах. Силицирование осуществляется при температуре 950...1000°C в газовых и жидких средах, а также в вакууме и порошкообразных смесях в течение 10...50 ч. Силицирование отрицательно влияет на механические свойства стали: оно понижает предел прочности и особенно относительное удлинение и ударную вязкость.

*Титанирование* осуществляется в интервале температур 950...1300°C в твердых смесях, жидких и газообразных средах с целью получения поверхностных слоев, стойких в различных агрессивных средах, и для повышения сопротивления эрозии. Титанированные железные листы обладают высокой стойкостью против коррозии и хорошо свариваются. Титанирование используют для защиты деталей насосов, работающих в морской воде. Продолжительность титанирования составляет 0,25...6 ч, глубина слоя составляет 0,02...0,45 мм, а при обработке ферротитановым порошком – до 1,5 мм.

## Глава 12. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Постоянно растущие требования к качеству, надежности и долговечности изделий делают актуальными создание и применение новых методов обработки упрочняющей технологии для повышения износостойкости, коррозионной стойкости, жаропрочности и других эксплуатационных характеристик.

Физико-механические методы имеют следующие достоинства и преимущества перед процессами резания:

- 1) копирование формы инструмента сложной формы сразу по всей поверхности заготовки при его простом поступательном движении;
- 2) обработка материалов ведется при практической независимости режимов обработки от твердости и вязкости материала;
- 3) выполнение уникальных операций (обработка отверстий с криволинейной или спиральной осью, изготовление очень малых отверстий, узких и глубоких канавок и др.);
- 4) малые значения сил, действующих в процессе обработки, а при некоторых методах – отсутствие механического контакта инструмента и заготовки;
- 5) используется инструмент менее твердый и менее прочный, чем обрабатываемый материал;
- 6) высокая производительность обработки при сравнительно высокой точности получения размеров;
- 7) возможность автоматизации и механизации процессов физико-химической обработки, а также многостаночного обслуживания.

Недостаток физико-химических методов: эти методы обычно более энергоемки, чем процесс резания, их целесообразно применять лишь в тех случаях, когда процессы резания малоэффективны.

Все физико-химические методы содержат пять основных видов, каждый из которых состоит из нескольких разновидностей (рис. 40): электроэрозионные; электрохимические; ультразвуковые; лучевые; комбинированные.

В этих методах удаление припуска происходит не за счет больших пластических деформаций (как это имеет место при резании), а путем электрической или химической эрозии.

Применение физико-химических методов обеспечивает частичную или полную автоматизацию процессов, упрощение ручных операций, связан-



ных с обслуживанием станка. Особенно эффективны они при изготовлении таких изделий, как штампы, пресс-формы, турбинные лопатки, камеры сгорания, фасонный твердосплавный инструмент, электронная аппаратура и др.

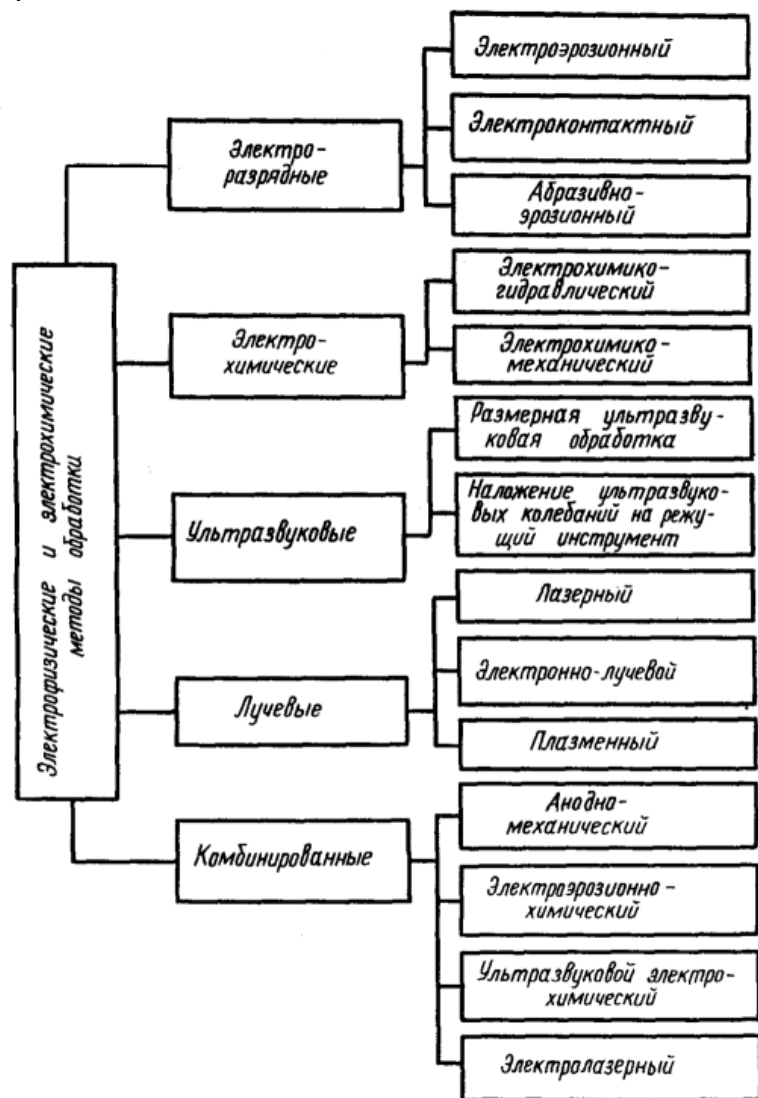


Рис. 40. Основные разновидности физико-химических методов обработки

Технико-экономический эффект их применения тем выше, чем сложнее конфигурация обрабатываемых деталей: время изготовления обычных фасонных поверхностей снижается в 2-3 раза, сложных – в 5-10 раз.

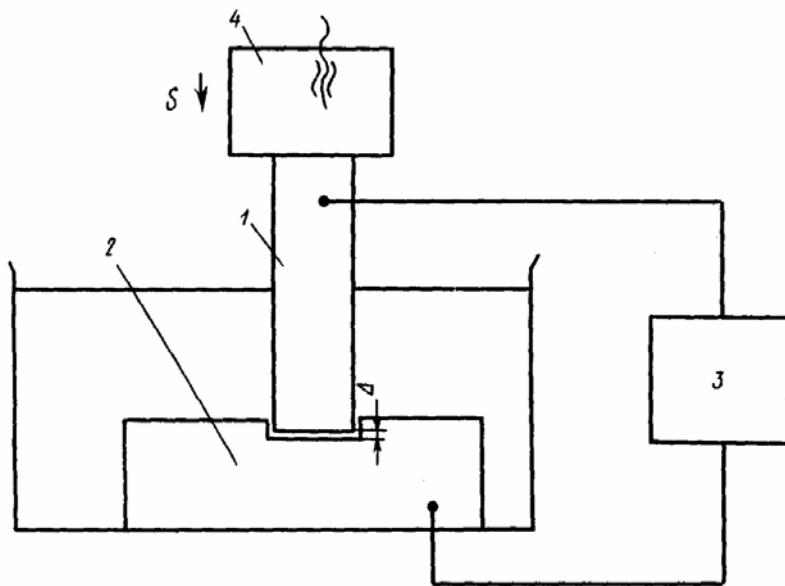
В табл. 64 приведены основные особенности рабочих процессов физико-химических методов и процессов резания.

### 12.1. Электроэрозионные (электро-разрядные) методы обработки

Электроэрозионные методы основаны на использовании явления электрической эрозии – направленного локального разрушения электропроводящих материалов в результате теплового действия импульсных электрических разрядов между электродом-инструментом и электродом-заготовкой. Электрод-инструмент 1 (рис. 41) и обрабатываемая заготовка 2 погружены в рабочую жидкость и соединены с генератором электрических импульсов 3. Все процессы, вызывающие обработку, протекают в межэлектродном промежутке (МЭП) Δ. При подводе к электродам электрического импульса наибольшая электрическая напряженность будет между наиболее близкими микровыступами: происходит пробой промежутка, возникает проводимость и импульсный разряд, сопровождающийся очень высокой температурой (до 10<sup>4</sup> °С), вызывающей плавление и испарение металлов. Количество теплоты, выделяющейся на электродах, неодинаково и зависит от их полярности и энергии импульсов. Заготовку 2 соединяют с тем полюсом, на котором выделяется большая доля теплоты. В процессе обработки электрод-инструмент 1 перемещается и с помощью специального регулятора 4 поддерживается постоянная величина МЭП (Δ=5...10 мкм). Рабочий процесс протекает в жидкой диэлектрической среде (керосин, масло, дистиллированная вода).

Рабочая жидкость при электроэрозионной обработке:

1) способствует диспергированию продуктов эрозии, образованию гранул шаровидной формы, препятствует осаждению продуктов эрозии одного электрода на другой;



Принципиальная схема электроискровой (электроэрозионной) обработки (ЭЭО)

Рис. 41.

2) обеспечивает стабильное протекание процесса, удаляя продукты эрозии и очищая межэлектродный промежуток;

3) охлаждает электроды.

Рабочая жидкость должна иметь невысокую вязкость и безопасность в эксплуатации, химическую нейтральность к материалу инструмента и детали, нетоксичность и невысокую стоимость. Общий съём металла происходит под действием большого числа электроимпульсов, следующих с определенной частотой.

Величина электрической эрозии определяется химическим составом материалов электрода-инструмента и заготовки, составом рабочей жидкости, а также энергетическими характеристиками импульсов.

Процесс эрозии электродов содержит три основные фазы:

1) выделение энергии в канале разряда и передача ее поверхностям электродов;

2) разрушение решетки металла (плавление, испарение);

3) эвакуация продуктов эрозии из зоны разряда.

Обрабатываемость материалов электроэрозионным методом зависит от их теплофизических свойств и условий протекания процесса. Если обрабатываемость нормализованной стали принять за единицу, то для жаропрочных сплавов она равна 1,3...1,4, а для тугоплавких металлов и твердых сплавов лишь 0,4...0,5. Обрабатываемость закаленных сталей на 25...30% выше, чем незакаленных, из-за их меньшей теплопроводности.

Применяются несколько кинематических схем ЭЭО.

1. Прошивание отверстий и полостей с прямой и криволинейной осью – в двух вариантах: а) прямое копирование, когда электрод-инструмент находится над заготовкой; обработка бывает одно- и многоэлектродная; б) обратное копирование с расположением заготовки над электродом-инструментом (ЭИ). Движение подачи здесь может осуществляться заготовкой, при этом улучшаются условия эвакуации продуктов эрозии и повышается точность обработки.

2. Электроэрозионное шлифование, наиболее эффективное при обработке внутренних фасонных поверхностей.

3. Обработка непрофилированным электродом 3 – движущейся тонкой проволокой ( $d = 0,05 \dots 0,3$  мм) – обычно по двум координатам (рис. 42). Эта схема позволяет вырезать сложноконтурные детали высокой точности при использовании коротких импульсов с малой энергией. Проволока получает непрерывное движение посредством роликового механизма 1, 2, 6. Обрабатываемая деталь 4 получает поперечную и продольную подачи (или по криволинейной траектории).

4. Формообразование путем сочетания взаимного перемещения обрабатываемой детали 1 (рис. 43) и профилированного ЭИ 2 (огибание или обкатка). Такая схема используется при электроэрозионной правке фасонных алмазных кругов, обработке узких канавок (менее 0,5 мм) на стальных и твердосплавных роликах.

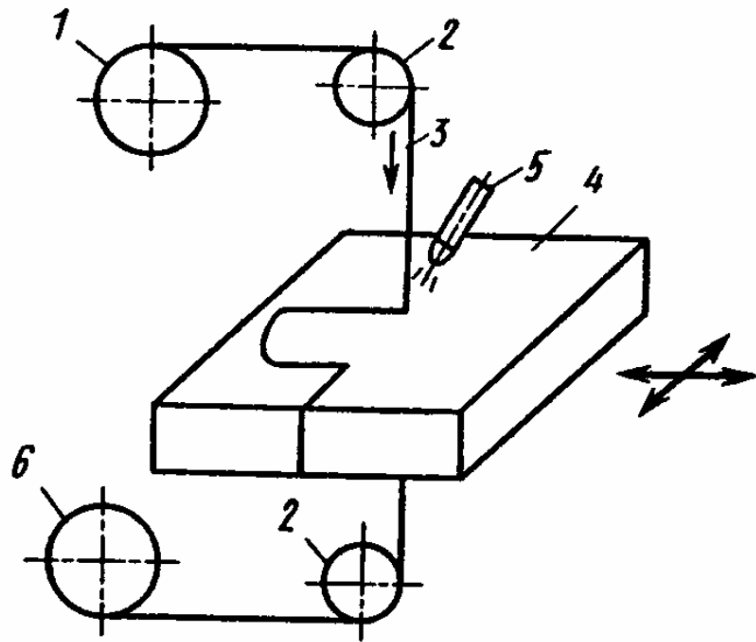


Рис. 42. Схема обработки непрофилированным электродом-инструментом (проволокой):  
 1 – катушка с проволокой; 2 – направляющие ролики;  
 3 – проволока; 4 – обрабатываемая деталь;  
 5 – подача рабочей жидкости; 6 – катушка

Электроэрозионный метод позволяет обрабатывать отверстия с криволинейными осями, тонкостенные детали, узкие каналы, соединительные отверстия в корпусах гидро- и пневмоаппаратуры. Преимущество этих методов – отсутствие заусенцев.

Все станки для физико-химической обработки так же, как и обычные металлорежущие станки, делятся на универсальные, специализированные и специальные. Виды электроэрозионных станков, получивших наибольшее применение:

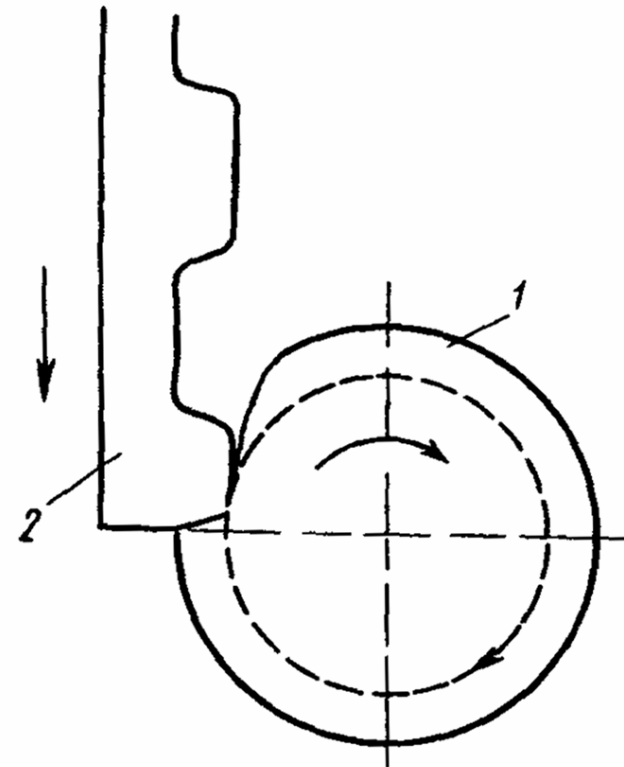


Рис. 43. Схема электроэрозионного формообразования методом обкатки

- 1) универсальные прошивочные станки, работающие по схемам прямого и обратного копирования (мод. 4Г721М, 4Д721АФ3, 4Д722АФ3, 4П724Ф3М);
- 2) универсальные вырезные станки (мод. 4531Ф3, 4532Ф3, 4535Ф3);
- 3) универсальные станки для удаления сломанного инструмента и шпилек (мод. 4Б611);
- 4) специализированные многопозиционные станки для перфорации лопаток ГТД, обработки роторов ТНА, форсунок и др.;
- 5) специализированные обкатные станки для обработки кольцевых и винтовых ручьев переменного сечения (МА4730А, МА4727);
- 6) станки для электроконтактной обработки (МЭ301).

Наиболее широкое применение получили универсальные прошивочные и вырезные станки.

## 12.2. Электрохимические методы обработки (ЭХО)

*Общие сведения.* Все разновидности ЭХО основаны на использовании процесса электролитического полирования, разработанного в 1911 г. русским химиком Е.И. Шпитальским. Электрохимическая обработка использует процессы электролиза, т.е. химические превращения на поверхности электродов в среде электролита. Заготовка является анодом, а инструмент – катодом.

В основе ЭХО лежит процесс анодного растворения металла заготовки. В рабочей среде – электролите – молекулы вещества распадаются на электрически заряженные частицы – ионы, каждый из которых переносит один или несколько электрических зарядов, и без внешнего электрического поля ионы в электролите движутся хаотически. Если заготовку и инструмент соединить с источником постоянного тока (напряжением 6...12 В), то в электролите возникает направленное движение ионов: положительные ионы (катионы) двигаются к катоду, а отрицательные (анионы) – к аноду. Вблизи электродов постепенно повышается концентрация ионов противоположного знака, и на катоде начнется восстановление катионов, а на аноде – окисление металла, т.е. анодное растворение.

Характер электрохимических реакций зависит от состава, концентрации и температуры электролита. Наиболее распространенным электролитом при обработке сталей и жаропрочных сплавов является 10...20%-ный водный раствор NaCl. Применяются и 5...15%-ные водные растворы азотнокислого натрия ( $\text{Na}_2\text{NO}_3$ ) при обработке жаропрочных сплавов, алюминиевых и медных сплавов. Хорошие результаты при ЭХО аустенитных сталей дает раствор сернокислого натрия, а при обработке вольфрама, молибдена, ниобия и тантала – растворы щелочей. Известны также более сложные системы, содержащие лимонную кислоту, бром, фтор и другие компоненты.

Для обеспечения стабильности процесса необходимо поддерживать в определенных пределах величину водородного показателя pH. При pH=7 раствор химически нейтрален; при pH<7 он обладает кислотными свойствами, при pH>7 – щелочными.

В настоящее время применяется большое количество разновидностей ЭХО. Обработка при малых плотностях тока и в неподвижном электролите называется электрополированием. Схема электрополирования простая: обрабатываемую деталь помещают в электролит и соединяют с положительным полюсом источника постоянного тока. Катодом служит пластина из металла, не вступающего в химическую реакцию с электролитом. При прохождении тока наиболее интенсивно растворяются вершины микронеровностей, появляется блеск и достигается эффект полирования.

Электрополирование используют перед проведением гальванических процессов, для снятия тонких слоев металла при изучении остаточных напряжений, для удаления наклепанного слоя после процессов резания и др. Наряду с электрополированием применяется и чисто химический процесс – размерное травление («химическое фрезерование»), сплошное и избирательное. При избирательном травлении места, не подлежащие обработке, защищают слоем лака. Травление ведется в водных растворах щелочей и кислот. Глубина травления не превышает нескольких миллиметров, а производительность – невысокая (0,4...1,2 мм/ч). Этот процесс наиболее эффективен при обработке рельефных поверхностей на деталях из алюминиевых сплавов, а также сталей и титановых сплавов с большими площадями: вафельных панелей, створок, обшивок гондолы двигателя и др. По сравнению с процессами резания трудоемкость снижается в 2-3 раза.

Электрополирование характеризуется невысокой интенсивностью съема металла из-за низкой плотности тока на аноде ( $i$  менее  $0,1 \text{ А/см}^2$ ) и постепенным замедлением процесса вследствие пассивации анода неэлектропроводными частицами гидроксидов металла.

Различают следующие разновидности ЭХО.

1. Анодно-гидравлическая обработка ведется в условиях интенсивного проточного движения электролита и малого зазора между электродами ( $\Delta < 0,5...1 \text{ мм}$ ).

2. Анодно-механическая обработка, при которой продукты анодного растворения удаляются за счет механического воздействия вращающегося диска или движущейся ленты. Применяется в заготовительных цехах для резки заготовок из труднообрабатываемых металлов.

3. Электроабразивная (электроалмазная) обработка ведется абразивным или алмазным кругом на металлической связке. Применяется в инструментальных цехах для изготовления фасонного инструмента.

Наиболее широкое развитие получила первая разновидность – ЭХО в поточном электролите. Она используется при выполнении следующих работ:

- 1) при неподвижных электродах: а) калибрование; б) контурная обработка; в) удаление заусенцев; г) скругление кромок; д) маркировка;
- 2) при поступательном перемещении электрода: а) копирование; б) прошивка отверстий; в) протягивание; г) калибрование; д) острение;
- 3) при вращении катода: а) обработка плоских и фасонных поверхностей; б) отрезка; в) кольцевая вырезка;
- 4) при вращении анода: а) обработка фасонных поверхностей (наружных и внутренних); б) обработка канавок (прямых и спиральных); в) отрезка;
- 5) при сложном движении электрода: а) вырезка проволокой (стерженьем); б) вырезка трубчато-контурным методом.

Наибольшее промышленное применение в настоящее время получили процессы копирования фасонных поверхностей и прошивки глухих и сквозных отверстий различного профиля, калибрование шлицевых отверстий после термообработки, удаление заусенцев, в которых используется ЭХО в проточном электролите. Точность обработки составляет 0,2...0,3 мм.

### 12.3. Ультразвуковые методы механической обработки

Ультразвуковые методы обработки основаны на использовании энергии ультразвуковых колебаний частотой  $f=18...44$  кГц и интенсивностью  $10 \text{ Вт/см}^2$ . Источником ультразвука служат пьезокерамические или магнетострикционные преобразователи, возбуждаемые от ультразвукового генератора.

Разновидности ультразвуковой обработки (рис. 44): а – обработка незакрепленным абразивом для снятия мелких заусенцев (менее 0,1 мм) и шлифования мелких деталей (массой менее 10...20 г); б – размерная обработка деталей из твердых хрупких материалов абразивной суспензией; в – очистка и смазка рабочей поверхности круга в процессе чистового шлифования вязких материалов; г – сообщение вынужденных ультразвуковых колебаний малой амплитуды режущим инструментом (лезвийным и абразивным) для интенсификации обычных процессов резания труднообрабатываемых материалов.

Перспективно также использование ультразвука для чистовой поверхностно-упрочняющей обработки деталей. Под действием ультразвука снижается сопротивление поверхностных слоев металла пластической деформации. Поэтому при малой статической силе удастся осуществлять значительную пластическую деформацию и вести обработку тонкостенных деталей и деталей с мягкими покрытиями.

При обработке по первой разновидности (рис. 44, а) детали помещают в абразивную суспензию и возбуждают в ней интенсивные ультразвуковые колебания. Под действием гидродинамических потоков абразивные зерна и детали из-за различной плотности двигаются с различными скоростями ( $v_a=v_d$ ) и происходит снятие заусенцев. Этот процесс реализован в установках УЗВД-6 и УЗВД-8.

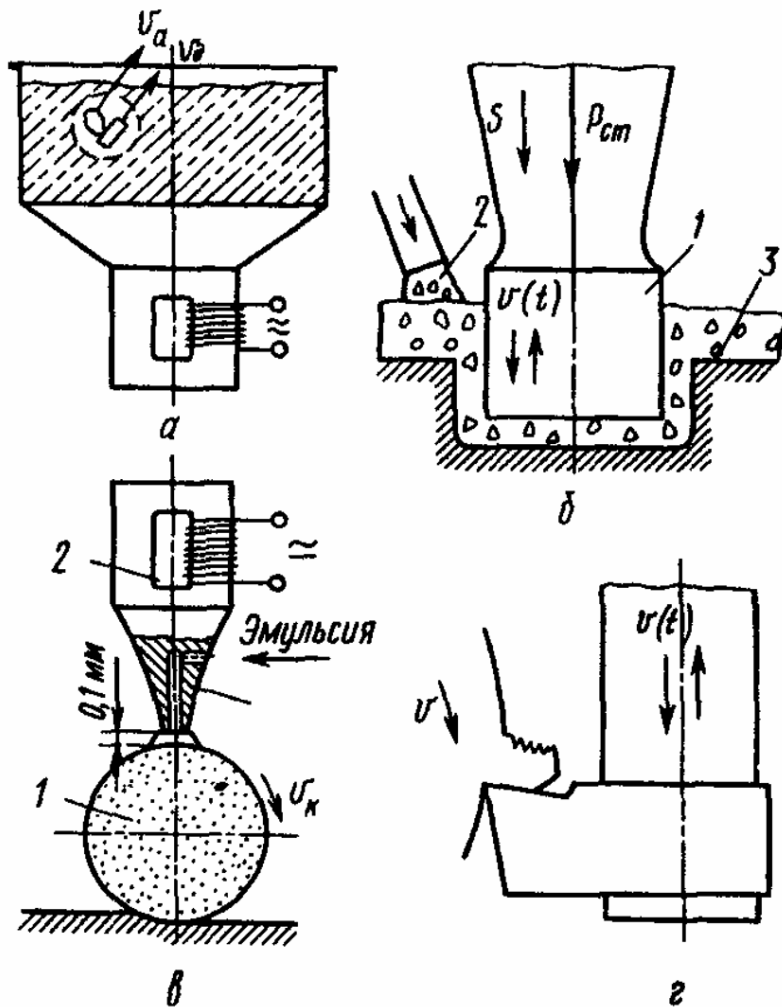


Рис. 44. Разновидности ультразвуковой обработки

Наиболее широкое применение получили вторая и четвертая разновидности. Инструмент 1 (рис. 44, б) совершает ультразвуковые колебания ( $A=0,02\dots 0,05$  мм) и воздействует на заготовку 3 с небольшой статической силой  $P_{ст}$  ( $P_{ст}=30\dots 200$ Н). В рабочую зону подаются взвешенные абразивные зерна 2 (обычно карбиды бора), и наблюдается два основных процесса: 1) ударное вдавливание абразивных зерен, вызывающее выка-

лывание небольших частиц материала заготовки, и 2) циркуляция и смена абразива в рабочей зоне для уноса выколотых частиц и доставки свежего абразива. Размер выкалываемых частиц небольшой, однако количество ударов велико (18..44 кГц) и при определенных условиях обработка идет достаточно эффективно.

Главное движение – колебания инструмента. Скорость (м/с) главного движения  $v=(4fA)/10^3$ , где  $f$  – частота колебаний, Гц;  $A$  – амплитуда колебаний, мм. Подача может быть продольной ( $S_{пр}$ ), поперечной ( $S_{пн}$ ) и круговой ( $S_{кр}$ ) – вращение инструмента или заготовки. В зависимости от вида подачи, а также формы инструмента можно осуществить различные кинематические схемы ультразвуковой обработки, аналогичные процессу электроэрозионной обработки.

Ультразвуковые установки и станки делятся на переносные установки небольшой мощности и стационарные ультразвуковые станки – универсальные и специальные. Универсальный ультразвуковой станок состоит из ультразвукового генератора, акустической головки с пьезокерамическим или магнитоstrictionным преобразователем, механизмов подачи головки, стола для закрепления заготовок, системы подвода абразивной суспензии, устройств для измерения глубины обработки и периодического подъема и опускания инструмента.

Производительность и качество поверхности зависят от свойств обрабатываемых материалов, амплитуды колебаний  $A$ , зернистости абразива и статической нагрузки  $P$ . Производительность процесса  $V$  пропорциональна квадрату критерия хрупкости  $t_x$ :  $V=ct_x^2$  ( $t_x$  – отношение сопротивления сдвигу  $\sigma$  к сопротивлению на отрыв  $\tau$ ). Материалы, имеющие  $t_x$  более 2 (стекло, керамика, кремний, германий и т.д.), наиболее эффективно обрабатываются ультразвуковым методом. При увеличении амплитуды и частоты, а также зернистости абразива  $V$  возрастает. Существует оптимальное значение  $P$ , при котором величина  $V$  максимальна.

Этот метод применяют для формообразования наружных и внутренних поверхностей деталей из твердых хрупких материалов (керамика, ситаллы, стекло, кварц, феррит и др.). Преимущество ультразвукового метода перед электроэрозионным и электрохимическим – возможность обработки диэлектрика, а при обработке тугоплавких металлов и твердых сплавов – более высокое качество поверхностного слоя. Для повышения производительности, особенно при обработке отверстий глубиной более 5 мм, применяют подвод абразивной суспензии под давлением или вакуум-

ный отсос ее из зоны обработки. Обработку глубоких отверстий малого диаметра ( $D=3...8$  мм,  $h$  до 500 мм) целесообразно вести вращающимися алмазными коронками при сообщении инструменту ультразвуковых колебаний вдоль его оси.

Применение ультразвука для интенсификации обычных процессов резания труднообрабатываемых материалов путем сообщения вынужденных колебаний малой амплитуды ( $A=3...10$  мкм) инструменту 1 (рис. 44, г) или заготовке наиболее эффективно при работе с малыми сечениями среза, например при нарезании резьбы метчиками. При сообщении метчику или раскатнику ультразвуковых колебаний снижается крутящий момент на (25...50%), улучшается качество обработанной поверхности и за счет уменьшения количества метчиков в комплекте в 1,5-3 раза повышается производительность процесса.

Ультразвуковое нарезание резьб малого диаметра (М3...М12) позволяет механизировать процесс, повысить стойкость инструмента, исключить брак, вызываемый поломками метчиков.

Перспективным направлением физико-химических методов является рациональное совмещение различных процессов, которое позволяет значительно интенсифицировать процесс обработки. Например, предложенный в МАИ способ, основанный на совмещении ультразвуковой и электрохимической обработки, позволил значительно повысить производительность процесса и улучшить качество поверхностного слоя. При обработке тугоплавких металлов и твердых сплавов совмещенный способ обеспечивает производительность, в десятки раз более высокую, чем электроэрозионный способ, и в 5-6 раз большую, чем ультразвуковой, позволяет в 5 раз снизить износ инструмента и в 3-5 раз уменьшить энергоемкость процесса. Появляется возможность заменить карбид бора значительно более дешевым абразивом – карбидом кремния. Установлено, что при ультразвуковой обработке твердых сплавов по сравнению с другими электрофизическими методами достигается более высокое качество поверхностного слоя: образуются сжимающие остаточные напряжения. Поэтому повышаются износостойкость и усталостная прочность твердосплавных штампов, матриц, пресс-форм, фильер и других деталей, обрабатываемых ультразвуковым методом. Совмещенный метод реализован в ультразвуковых станках мод. 4Б772 и 4Д772Э.

#### 12.4. Лучевые методы размерной обработки

Под лучевыми методами размерной обработки понимают процессы удаления материала плавлением и испарением его под действием энергии лучевых потоков или высокоэнергетических струй с удельной плотностью энергии до  $10^6...10^9$  Вт/см<sup>2</sup>. Основные разновидности лучевых методов – электронно-лучевая и светолучевая (лазерная) обработки.

Отличие лучевых методов размерной обработки от пайки и сварки заключается главным образом в длительности импульсов: в первом случае применяются короткие импульсы ( $\tau_n < 10$  мкс), а во втором – импульсы большой длительности.

При размерной обработке луч действует в течение времени, необходимого для плавления и испарения металла, и не действует во время выброса этого металла из лунки. Регулированием скважности цикла (от 0,1 до 1,0) в импульсном режиме можно в определенных пределах управлять процессом формообразования и качеством поверхностного слоя.

*Электронно-лучевая обработка (ЭЛО).* Основана на удалении вещества при воздействии сфокусированного пучка электронов – испарение или сублимация вещества из точки касания электронного луча (локальный нагрев за счет преобразования кинетической энергии электронов в тепловую). При обработке вольфрама, молибдена и ниобия КПД превращения кинетической энергии в тепловую – 0,75...0,79.

При нагревании металла электроны могут получить скорости в направлении, перпендикулярном поверхности тела, достаточные для преодоления потенциального барьера (термоэлектронная эмиссия). Очень большие скорости (до 10 км/с) можно сообщить электронам лишь в среде, имеющей высокий вакуум, при использовании высоких ускоряющих напряжений.

Современные средства электротехники и электронной оптики позволяют регулировать кинетическую энергию электронов и фокусировать ее на весьма малых площадях.

Установка для ЭЛО (рис. 45) состоит из электронной пушки 4, в которой формируется мощный электронный луч; вакуумной рабочей камеры, в которой производится обработка детали 13 (вместе с устройствами точной установки и перемещения заготовки); вакуумной насосной системы, создающей вакуум порядка  $10^{-5}$  см рт. ст. ( $1,33 \times 10^{-2}$  Па), контрольной системы, управляющей электронным лучом и его траекторией, импульсного

источника энергии 1, приборов для контроля наблюдения за ходом процесса.

Режимы обработки электронным лучом определяются силой тока в луче  $I$ , ускоряющим напряжением  $U$ , плотностью энергии в фокальном пятне  $q$ , длительностью  $\tau$  и частотой импульсов  $f$ , а также скоростью перемещения луча относительно заготовки.

В зависимости от величины  $q$  механизм удаления материала заготовки может быть различным: термическим, капельным пароструйным и взрывным. Наиболее эффективен режим кинжального проплавления ( $q > 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>), когда передача энергии твердому телу осуществляется периодическими тепловыми взрывами и скорость выделения теплоты значительно превышает скорость ее отвода (взрывообразное испарение). Образуется ударная волна, генерирующая направленный в глубь тела поток дислокаций и инициирующая процесс плавления.

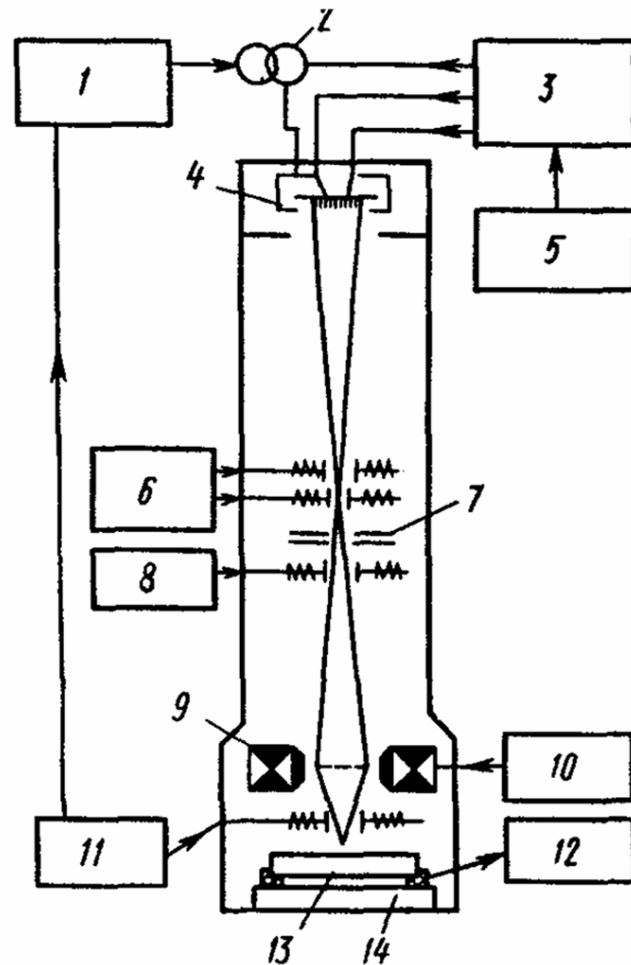


Рис. 45. Схема электронно-лучевой обработки:

- 1 – генератор импульсов; 2 – импульсный трансформатор;
- 3 – источник напряжения, возбуждения и накала; 4 – катод;
- 5 – источник высокого напряжения; 6 – электромагнитная юстировка;
- 7 – диафрагма; 8 – корректор изображения;
- 9 – магнитная линза; 10 – источник питания линзы;
- 11 – контрольный контур; 12 – катодный осциллокоп;
- 13 – обрабатываемая деталь; 14 – рабочий стол

Мощность  $W_{и}$  электронного пучка в импульсе:  $W_{и} = IUft$ . Производительность процесса  $V$  и глубина обработки  $h$  зависят от  $W_{и}$ , площади по-



перечного сечения луча F, а также теплофизических характеристик материала заготовки.

Электронно-лучевым методом можно обрабатывать как электропроводящие, так и неэлектропроводящие материалы с любыми механическими свойствами. Однако предпочтительнее обработка деталей из электропроводящих материалов или деталей с токопроводящими покрытиями, так как в этом случае статический заряд отводится путем заземления детали. Наличие статического заряда оказывает дефокусирующее действие на поток электронов.

Отечественные электронно-лучевые установки для размерной обработки типа ЭЛУРО-П обычно работают в многоимпульсном режиме с частотой следования импульсов электронного пучка 10...1000 Гц и длительностью импульса 15...100 мкс при ускоряющем напряжении 80...100 кВ. При этом диаметр электронного пучка в фокальном пятне составляет 10...50 мкм и плотность потока энергии  $10^7$ ... $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>. Основная область применения ЭЛО – обработка узких канавок и изготовление малых отверстий (перфорирование).

*Преимущества ЭЛО:* высокая производительность процесса, отсутствие химического взаимодействия, возможность обработки труднодоступных мест, обработка очень малых отверстий и узких канавок. Недостатки ЭЛО: необходимость создания вакуума (на это требуется 10...15 мин), сложность и высокая стоимость установок, необходимость защиты обслуживающего персонала от рентгеновского излучения.

Процессы лазерной обработки реализуются на установках двух типов: на базе твердотельных оптических квантовых генераторов (ОКГ) и на базе газовых ОКГ.

В установках типа «Квант» в качестве активной рабочей среды используют твердые тела – стержни из искусственного рубина, стекла с добавками неодима, алюмонатриевого граната и др. Активной средой газовых ОКГ является смесь газов – обычно CO<sub>2</sub>+He+N<sub>2</sub> (лазеры на CO<sub>2</sub>), лазеры типа ЛТ-1, ЛТ-1-5 и др.

Кратковременные вспышки газоразрядной лампы 1 (рис. 46) возбуждают часть атомов хрома рубинового стержня, переводя их в более высокое энергетическое состояние. Возбужденные атомы могут передавать энергию соседним атомам. Волна, идущая вдоль оси кристалла, многократно отражается от его плоскопараллельных торцов и быстро усиливается. Через полупрозрачный (нижний) торец стержня выходит мощный

импульс красного света, проходя через диафрагму 2, оптическую фокусирующую систему 3 и защитное стекло 4 на поверхность детали 5.

Энергия излучения ОКГ невелика – 10...100 Дж, а КПД составляет 0,1...1%. Температура в точке приложения луча – 5500...9000°К, достаточная для плавления и испарения материала.

При обработке нержавеющей стали производительность процесса V=50 мм<sup>3</sup>/мин, керамики 30 мм<sup>3</sup>/мин. Наибольшая глубина обрабатываемых отверстий в стальных образцах 10 мм.

Область применения квантовых генераторов примерно такая же, как и электронно-лучевого метода. Однако имеются некоторые различия. Электронный луч в силу своей инерционности проникает глубже в материал. Световой луч безынерционен, поэтому глубина его проникновения невелика. Глубина обработки лазером зависит от теплопроводности материала детали, так как нижние слои получают энергию за счет теплопроводности.

*Преимущества обработки световым лучом* перед электронно-лучевой обработкой: возможность обработки крупногабаритных деталей, не требуется вакуумных камер, обработка ведется в воздушной среде; не нужна защита обслуживающего персонала от рентгеновского излучения. Необходимы лишь защитные очки; меньшие габариты оборудования.

*Недостатки обработки световым лучом:* сравнительно небольшая излучаемая мощность; мощность подкачки в 1000...3000 раз больше излучаемой мощности; низкий КПД квантовых генераторов (1...2%); перегрев кристалла и трудности его охлаждения; низкая точность обработки (9...10-й квалитеты).

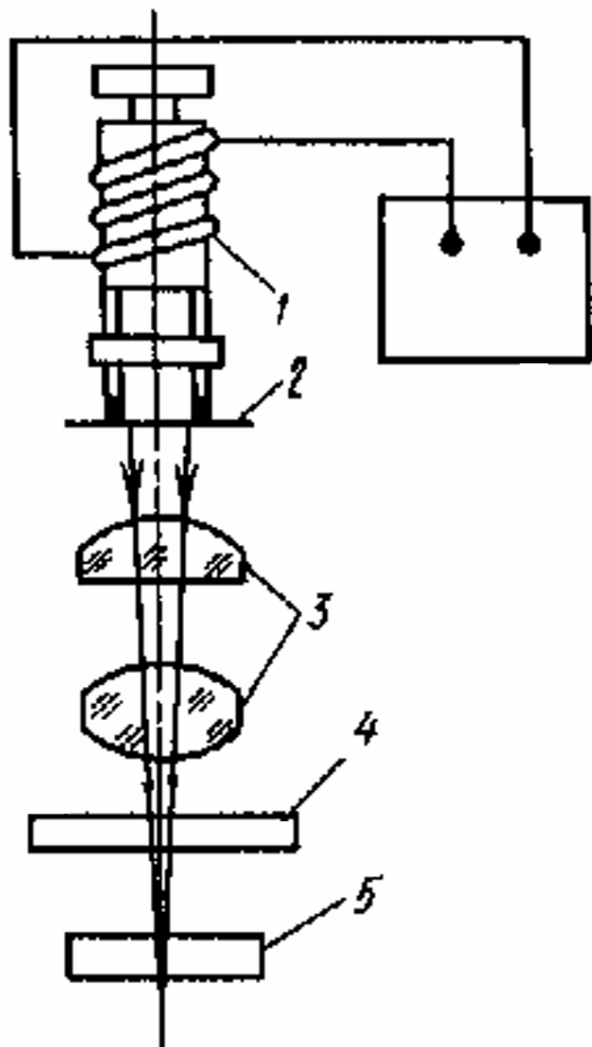


Рис. 46. Схема обработки лазером на твердом теле

Эффективно использование в одном технологическом процессе нескольких методов. Например, использование светового луча и ультразвука при изготовлении алмазных волок и фильер позволило сократить время черновой обработки с десятков часов до нескольких минут, а продолжительность чистовой обработки ультразвуковым методом – в 4...5 раз.

Лазерная обработка применяется для изготовления отверстий в камнях подшипников, в форсунках, жиклерах, для перфорации охлаждаемых лопаток, для раскроя листов из титановых сплавов, нержавеющей стали и композиционных материалов. Газовые лазеры применяются для резки и вырезки сложных контуров.

## Глава 13. СВАРКА МАТЕРИАЛОВ

### 13.1. Способы сварки материалов

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений между свариваемыми частями при их местном (или общем) нагреве или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного шва, сварка материалов делится на три класса: термический, термомеханический и механический.

Большое разнообразие форм, размеров и материалов деталей обуславливает необходимость применения разных видов сварки.

Ручная дуговая сварка металлическим электродом основана на расплавлении основного металла и электродного стержня за счет горения между ними электрической дуги (температура 4000...6000°C). Электроды имеют специальное покрытие, которое, расплавляясь, создает газовую и шлаковую защиту сварного шва от вредного действия кислорода и азота воздуха. Сварку выполняют на постоянном и переменном токе.

Ручная дуговая сварка угольным электродом также основана на горении электрической дуги между свариваемым металлом и электродом. Для образования сварного шва в зону дуги вводят присадочную металлическую проволоку. Для сварки используется только постоянный ток.

При дуговой сварке под флюсом электрическая дуга горит под флюсом между свариваемым металлом и электродной проволокой, которая подается в зону сварного шва механически или автоматически. Ток к проволоке подводится через контактные губки держателя от сварочного трансформатора. Флюс поступает в зону сварки из бункера и, расплавляясь, защищает сварной шов, образуя слой шлака.

Дуговая сварка в защитных газах (аргон, гелий, азот, углекислый газ) предполагает защиту расплавленного металла от воздействия кислорода и

азота воздуха струей защитного газа. Этот вид сварки может осуществляться вручную, полуавтоматически и автоматически плавящимися и неплавящимися электродами. При сварке дуга горит между вольфрамовым электродом и свариваемым металлом, при этом возможна подача в зону шва присадочной проволоки. Сварку выполняют на постоянном и переменном токе. При сварке плавящимся электродом дуга горит между электродной проволокой и свариваемым металлом.

При газопрессовой сварке свариваемые детали в месте их соединения нагревают специальной газокислородной горелкой до пластического состояния или до оплавления кромок, а затем сдавливают внешним усилием. Сварку применяют как для металлов, так и для пластмасс.

Контактная сварка предусматривает стыковую, точечную и шовную виды сварок. Стыковая сварка предусматривает сварку проволоки, стержней, труб, нешироких полос встык, для чего детали зажимаются в сварочной машине и через них пропускается электрический ток. В месте соприкосновения (контакта) торцы деталей разогреваются до пластического состояния или до плавления и свариваются при сдавливании. При точечной и шовной сварке свариваемые детали собираются внахлестку. В последнем случае электроды сварочной машины выполняются в виде вращающихся роликов.

Газовая сварка относится к термическому классу. Источником нагрева при газовой сварке служит пламя сварочной горелки, получаемое сжиганием горючего газа в смеси с технически чистым кислородом. Для пластмасс возможно применение смеси бутан-пропана с воздухом. Газовую сварку выполняют как с применением присадочного прутка в виде проволоки определенного сечения, так и без него, если формирование шва возможно за счет расплавления кромок основного материала. Нагрев газотеплоносителя для сварки пластмасс также возможен в электрической горелке, когда газ проходит через трубу с расположенными в ней электрическими спиралями (температура нагрева 270...290°C регулируется током, проходящим по спиралям).

Сварка нагретым инструментом используется для сварки пластмасс, которые не свариваются токами высокой частоты (полиэтилен, полипропилен, винипласт, полиизобутилен, полистирол). Суть метода заключается в нагреве свариваемых поверхностей с помощью специального инструмента (паяльника, нагретого ролика, утюга и т.п.) и приложения последующего давления, в том числе и инструментом. При сварке этим спосо-

бом фторопласта-4 необходимо обеспечить достаточное давление сжатия деталей и температуру 380...390°C с выдержкой 3...5 мин.

Сварка трением применяется как для сварки металлов, так и для сварки пластмасс и основана на преобразовании механической энергии (вращение или перемещение одной из свариваемых деталей относительно другой при достаточном сдавливании соединяемых поверхностей) в тепловую. Относительное перемещение трущихся поверхностей также возможно при применении промежуточного (третьего) элемента, который затем удаляют из зоны сварки.

Сварка токами высокой частоты (в том числе индукционная сварка) основана на свойстве материалов нагреваться в высокочастотном электромагнитном поле. Сварка может быть роликовой, точечной, объемной и прессовой. Такую сварку можно осуществлять и для материалов, которые не нагреваются в высокочастотном поле, для чего применяются промежуточные материалы, передающие тепло свариваемым материалам.

Способ сварки ультразвуком основан на преобразовании механических высокочастотных колебаний, возбуждаемых в свариваемых материалах, в тепловую с приложением давления.

Способ сварки излучением основан на преобразовании энергии излучения (инфракрасного, светового луча или лазера, фокусируемого на свариваемом участке) в тепловую.

Для сварки разнородных материалов применяют сварку взрывом и ядерную сварку. Сварка взрывом основана на принципе создания высокого давления между свариваемыми деталями, под действием которого поверхностные слои соединяемых материалов внедряются друг в друга. Ядерная сварка состоит в облучении потоком нейтронов соединений лития или бора, предварительно нанесенных на свариваемые места. При облучении возбуждаются ядерные реакции, сопровождающиеся выделением теплоты, необходимой для сварки. Этот метод нельзя применять для сварки материалов, способных при нейтронном облучении приобретать радиоактивность.

## 13.2. Сварочное оборудование

Для дуговой сварки применяют источники постоянного или переменного тока. В качестве источников постоянного тока используются: сварочные преобразователи, приводящиеся в движение от электродвигателей

переменного тока (табл. 65); выпрямители в совокупности с балластными сопротивлениями (табл. 66); сварочные агрегаты с автономными приводами от двигателей внутреннего сгорания (табл. 67); аккумуляторные батареи различной емкости (например, 12СТ-128) в совокупности с балластными сопротивлениями. В качестве источников переменного тока используют сварочные трансформаторы (табл. 68).

Таблица 65

**Технические характеристики сварочных преобразователей**

Параметр	ПСО-300-3	ПСО-500	ПГС-500	ПСУ-500	ПС-1000
Граница регулирования силы сварочного тока, А	100...300	65..500	60...500	60...500	300...1000
Номинальное напряжение, В	32	40	40	40	45
Номинальная мощность генератора, кВт	9,6	20	20	20	45
Мощность электродвигателя, кВт	14	28	30	30	55
Внешняя вольт-амперная характеристика	Крутопадающая	Крутопадающая	Жесткая	Жесткая	Падающая

Таблица 66

**Технические характеристики сварочных выпрямителей**

Параметр	ВС-300	ВС-600	ВСЖ-303	ВДГ-302	ВДГ-601	ВДУ-504	ВДУ-1001	ВДУ-1601	ВКСМ-1001
Граница регулирования силы сварочного тока, А	30...300	100...600	50...315	100...315	100...630	70...500	300...100	500...1600	300...1000
Рабочее напряжение, В	20...40	20...40	32	16...38	18...66	18...50	24...66	26...66	70

ность, кВт	17	35	20	19	67	40	105	165	76
КПД, %	70	75	76	75	82	82	83	84	86
Напряжение без нагрузки, В	20...40	20...40	18...50	30...55	66	80	100	100	70

Таблица 67

**Технические характеристики сварочных агрегатов**

Параметр	АСБ-300-7	АДВ-306	АДД-303	АСД-3-1	АСДП-500Г-3М
Рабочее напряжение, В	32	32	32	40	55
Граница регулирования тока, А	100...300	15...300	100...300	120...500	600
Двигатель: тип	ГАЗ-320	ГАЗ-320Б	Д-37М	М69-204Г	М204Г
мощность, кВт	23,58	23,58	29,44	47,16	47,16
Внешняя вольт-амперная характеристика	Крутопадающая			Падающая	Жесткая

Таблица 68

**Технические характеристики сварочных трансформаторов**

Параметр	ТСП-2	ТС-300	ТД-300	СТН-450	СТШ-500	ТСД-1000
Напряжение сети, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Выходное напряжение без нагрузки, В	62	63	75	80	60	71
Рабочее напряжение, В	30	30	30	30	30	42
Граница регулирования силы сварочного тока, А	90...300	30...385	60...400	80...800	145...650	400...1200
Номинальная мощность, кВт	19,4	20	19,4	40	33	78
Внешняя вольт-амперная характеристика	Падающая					

При сварке деталей дуговой сваркой возникают нежелательные последствия: окисляется металл, поглощается азот, выгорают легирующие добавки, происходят объемные и структурные превращения, что приводит к короблению деталей, нарушению термической обработки и снижению твердости. Окисление металла понижает механические свойства и пластичность сваренных участков. Поглощение азота за счет образования нитрида железа, марганца и других элементов увеличивает прочность сварного шва, однако резко уменьшает его пластичность. Для уменьшения влияния этих явлений сварку выполняют электродами с обмазкой. При выборе электродов необходимо учитывать их назначение.

Свойства материала шва должны максимально приближаться по качеству к свойствам основного материала. Основные марки электродов и их назначение приведены в табл. 69. Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей и размещения сварного шва в пространстве. Силу сварочного тока определяют по диаметру применяемого электрода.

Таблица 69

#### Электроды для ручной дуговой сварки и наплавки

Электрод		Твердость поверхности НВ		Область применения
марка	тип	после наплавки	после закалки	
ОММ-5	Э-42	120...140	–	Сварка и наплавка малоуглеродистых сталей
ОМА-2	Э-42	120...140	–	
ЦМ-7	Э-42	120...140	–	Наплавка поверхностей, которые не требуют высокой твердости
УОНИ-13/45	Э-45	140...200	–	
УОНИ-13/55	Э-55	140...210	–	
ОЗН-300	ЭН-15Г3-25	250...300	250...300	Наплавка деталей, работающих в условиях высокого контактного напряжения и ударного нагружения
ОЗН-400	ЭН-20Г4-40	370...430	–	

Электрод		Твердость поверхности НВ		Область применения
марка	тип	после наплавки	после закалки	
ОМГ	ЭН-70Х11-25	250...320	–	Наплавка деталей из стали 110Г13Л, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания
ОМГ-Н	ЭН-70Х11Н3-25	250...310	–	
ЦН-5	ЭН-25Х12-40	41,5	50	Наплавка деталей, быстроизнашивающихся и требующих механической обработки после наплавки
ЭН-60М	ЭН-60Х2СМ-50	51,5	61	
ЦШ-1	ЭН-30Х3В8	41,5	55	
Т-590	ЭН-У30Х25РС2Г-60	56...60	–	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания
Т-620	ЭН-У30Х25Р2	59...63	–	
ВКН/ЛИВТ	С2ТГ-55	57...61	–	

Газовую сварку осуществляют, как правило, ацетилено-кислородным нейтральным пламенем. В отдельных случаях применяют восстановительное пламя, а при резании металлов – окислительное пламя. Ацетилен является основным горючим газом для газовой сварки и резки металлов, температура его пламени при сгорании в смеси с технически чистым кислородом достигает 3150°C. К месту сварки ацетилен доставляется в специальных стальных баллонах, заполненных пористой, пропитанной ацетоном массой (благодаря его хорошей растворимости в ацетоне), под давлением 1,9 МПа. Ацетилен могут также получать непосредственно на месте сварки с помощью специальных ацетиленовых генераторов (табл. 70). Принцип ацетиленового генератора основан на разложении карбида кальция водой. Кислород сохраняют и транспортируют в стальных баллонах вместимостью 40 дм<sup>3</sup> под давлением 15 МПа.

Таблица 70

#### Технические характеристики некоторых моделей ацетиленовых генераторов

Характеристика	ГВД-0,8	ГВР-1,25	АНВ-1,66	АСМ-1-58	МГ-65	ГВР-3
Расход ацетилена, м <sup>3</sup> /ч	0,8	1,25	1,25	1,25	2	3
Рабочее давление ацетилена, МПа	0,007... 0,03	0,008... 0,015	0,002... 0,003	0,01... 0,03	0,0035	0,015... 0,03
Система генератора	Вытеснение	Вода на карбиде и вытеснение	Вода на карбиде и вытеснение	Вытеснение	Вода на карбиде	Вода на карбиде и вытеснение
Количество карбида кальция для одной загрузки, кг	2	4	4	2,2	5	8
Грануляция карбида кальция, мм	25/80	25/80	25/80	25/80	15/25 и 25/80	25/80
Масса генератора в незаряженном состоянии, кг	195	54	42	204	70	110
Использование в зимних условиях	С теплоизоляционным чехлом	С чехлом	До -25°C	До -30°C	Не используют	

*Примечание:* в числителе дроби указан минимальный размер гранул; в знаменателе – максимальный.

Кроме ацетилена при сварке и резке металлов применяют и другие, более дешевые, горючие газы (водород, коксовый газ, городской газ, пропан, пропанобутановая смесь) и пары горючих жидкостей (бензин, керосин).

Химический состав и физико-механические свойства материала присадочных прутков должны быть близки к составу и свойствам свариваемых материалов. Для защиты расплавленного металла от окисления на кромки свариваемого металла и на присадочные прутки заранее наносят

флюс в виде порошка или пасты (иногда в виде паров, например флюс БМ-1). В качестве флюсов (в зависимости от свойств свариваемых материалов) используют буру, борную кислоту, окислы и соли бария, калия, лития, натрия, фтора и др.

Кислород и горючие газы к месту сварки (к газовой горелке) подают по специальным шлангам, обладающим достаточной гибкостью и высокой прочностью.

Основным инструментом газосварщика является газовая горелка, в которой осуществляется образование горючей смеси. Газовые горелки подразделяются: по способу смесеобразования – на инжекторные и безинжекторные; по роду применяемого газа – ацетиленовые, для газозаменителей, для жидких горючих и водородные; по назначению – универсальные (сварка, резка, пайка, наплавка) и специализированные; по числу пламени – одно- и многопламенные; по мощности пламени и т.д. Схема безинжекторной горелки представлена на рис. 47. Кислород по резиновому рукаву через ниппель 4, регулировочный вентиль 3 и специальные дозирующие каналы поступает в смеситель горелки. Аналогично через ниппель 5 и вентиль 6 поступает в смеситель и ацетилен. Из смесительной камеры горючая смесь, проходя по трубке наконечника 2, выходит из мундштука 1 и, сгорая, образует сварочное пламя. Для образования нормального сварочного пламени горючая смесь должна вытекать из канала мундштука горелки с определенной скоростью. Эта скорость должна быть равна скорости горения. Если скорость истечения больше скорости горения, то пламя отрывается от мундштука и гаснет. Когда скорость истечения газовой смеси меньше скорости горения, горючая смесь загорается внутри наконечника. Для нормальной работы безинжекторных горелок сварочный пост снабжают регулятором равного давления, автоматически обеспечивающим равенство рабочих давлений кислорода и ацетилена. Инжекторные горелки более универсальны и не требуют установки такого регулятора.

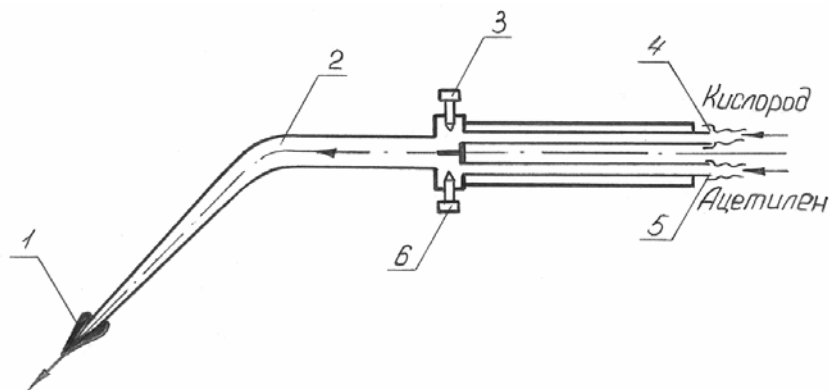


Рис. 47. Схема безынжекторной горелки:  
1 – мундштук; 2 – трубка наконечника;  
3, 6 – регулировочный вентиль; 4, 5 – ниппель

Схема электрической горелки для сварки пластмасс представлена на рис. 48. Воздух под давлением со скоростью 25...30 м/с проходит через многоканальную трубку 4 с расположенной на ней (или в ней) спиралью 5 выходит через наконечник 2 и сменное сопло 1. Имеется возможность регулирования скорости подачи воздуха и рабочей температуры выходящего из сопла газа.

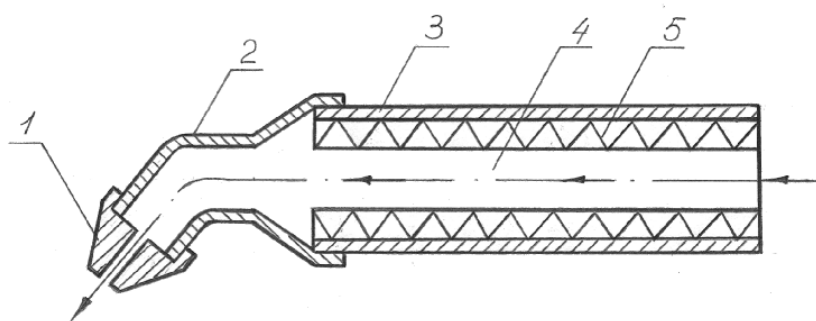


Рис. 48. Схема электрической горелки для сварки пластмасс:  
1 – сменное сопло; 2 – наконечник; 3 – кожух;  
4 – многоканальная трубка; 5 – спираль

При сварке пластмасс ультразвуком (рис. 49) свариваемые материалы 2 зажимаются между подвижной опорой 1 и концом волновода-концентратора 3. Сварка происходит в момент подключения обмотки

вибратора 4 к ультразвуковому генератору 5. Придав наконечнику волновода-концентратора соответствующую конфигурацию, можно производить контурную сварку, в том числе и в труднодоступных местах.

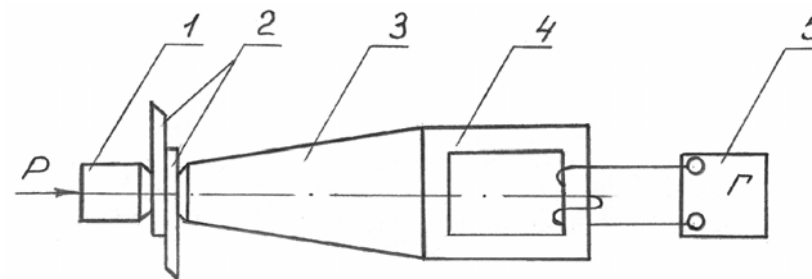


Рис. 49. Основной узел ультразвуковой сварочной машины:  
1 – подвижная опора; 2 – свариваемые материалы;  
3 – волновод-концентратор; 4 – вибратор;  
5 – ультразвуковой генератор

### 13.3. Сварка металлов

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству сварного шва, а также химико-физико-механических свойств свариваемых материалов выбирают тот или иной вид сварки. Наиболее дешевый и легкодоступной является сварка металлическим электродом, однако она применима не для всех металлов и в некоторых случаях неприемлема. Контактную сварку в основном применяют для сварки тонких металлических листов, например, для сварки кузовов автомобилей.

Наиболее универсальной и широко применяемой является газовая сварка. Перед ее проведением свариваемые кромки металлов тщательно подготавливают: удаляют масло, окалину и другие загрязнения; тщательно зачищают (при необходимости, например при сварке алюминия, свариваемые кромки травят в кислоте, затем промывают и сушат); разделяют кромки в зависимости от взаимного расположения свариваемых деталей; осуществляют прихватку короткими швами.

Наличие в стали углерода и различных легирующих добавок значительно сказывается на качестве свариваемости. При содержании углерода свыше 0,25% свариваемость стали ухудшается, так как в зонах термического влияния образуются закалочные структуры, приводящие к трещинам. Повышение содержания углерода в присадочном материале вызыва-

ет пористость шва. Большое содержание марганца (более 1,8%) также приводит к возникновению трещин. Наличие в стали вредных примесей (сера, фосфор и др.) также приводит к хладноломкости сварного шва. Наличие в стали вольфрама, молибдена, хрома ухудшает свариваемость, а наличие титана, ниобия, меди – улучшает. Отдельные легирующие добавки (молибден, ванадий, вольфрам и др.) при сварке окисляются и выгорают. В табл. 71 приведена классификация основных марок стали по свариваемости.

Таблица 71

**Классификация основных марок стали по свариваемости**

Характеристика свариваемости	Марки сталей		
	Углеродистые	Конструкционные легированные	Высоколегированные
Хорошая	Ст1кп, Ст1пс, Ст2кп, Ст2пс, Ст3, Ст4, Ст6, Ст8, Ст10, Ст15, Ст20, Ст25	15ХА, 20Х, 15ХМ, 20ХГСА, 12Хн2, 12ХН2Н4А, 15НМ	08Х20Н14С2, Х23Н18, Х18Н9Т, 08Х18Н10
Удовлетворительная	БСт5сп, 30, 25	20ХН3А, 30Х, 12ХН2, 30ХМ, 25ХГСА, 15ХСН	9Х14А, 12Х14А, 30Х13, 12Х17, 25Х13Н2
Ограниченная	Ст6, 40, 45, 50	35ХМ, 30ХГС, 35СГ, 33ХС, 40Х, 40ХМФА, 40ХН, 20Х2Н4А, 40Л, 45Л, 50Л	20Х18Н9, Х18Н9, 12Х18Н9, 20Х23Н18, 36Х18Н25С2

Окончание табл. 71

Характеристика свариваемости	Марки сталей		
	Углеродистые	Конструкционные легированные	Высоколегированные
Плохая	65, 70, 75, 80, 85, 40Г, 45Г	50Г, 50Г2, 50ХГ, 50ХГСА, 6ХС, 7Х3, 45ХНЗМФА	Х12, Х12М, 9ХС, 3Х2В8Ф, 5ХНТ, 5ХНВ, 6ХВ2С

Горячая сварка чугуна является наиболее надежным способом, обеспечивающим лучшее качество сварного соединения, и применяется при исправлении дефектов литья и ремонте небольших чугунных деталей.

Выбор способа сварки определяется составом чугуна, конструкцией детали, характером дефекта и условиями работы.

Процесс горячей газовой сварки разбивается на ряд отдельных операций, от которых зависит качество сварного соединения. К этим операциям относятся: подготовка деталей под сварку; предварительный подогрев деталей; сварка деталей; охлаждение деталей после сварки. Раковины, трещины и другие поверхностные дефекты подготавливают механической разделкой места заварки, трещины по концам засверливают. Детали, подготовленные под горячую сварку, собирают, прихватывают по кромкам и подвергают нагреву до 500...700°С. Сварку чугуна выполняют газосваркой нормальным пламенем или пламенем с небольшим избытком ацетилен. Для получения качественного сварного соединения необходимо после сварки уменьшить скорость охлаждения. Для этой цели иногда свариваемые детали подвергают вторичному нагреву до температуры 600...750°С и охлаждают вместе с печью. Также возможно применение сварки чугуна с местным подогревом.

Холодную сварку чугуна применяют в тех случаях, когда детали при нагревании и охлаждении способны свободно расширяться и сжиматься, не вызывая значительных остаточных напряжений. При этом мощность пламени горелки должна быть максимальной. Технологический процесс сварки аналогичен процессу при горячей сварки. После сварки изделие медленно охлаждают под слоем асбеста или в песке.

При ремонтной сварке используют пайку-сварку чугуна латунными припоями. Преимущество пайки-сварки чугуна латунью по сравнению со сваркой плавлением заключается в том, что нагрев чугуна до температуры плавления латуни (850...900°С) существенно не изменяет структуры металла и не вызывает значительных термических напряжений. Техника пайки-сварки состоит в следующем. Кромки нагревают до красного цвета, посыпают флюсом (МАФ-1, ФСЧ-2) и облуживают участками. Используют припой типа ЛОК, ЛОМНА и др.

Трудность сварки меди обусловлена ее физико-химическими свойствами. Медь склонна к окислению с образованием тугоплавких окислов, поглощению газов расплавленным металлом, обладает высокой теплопроводностью и большой величиной коэффициента линейного расширения при нагревании. Поэтому при сварке меди применяют специальные флюсы и мощное пламя горелки. Чем чище медь, тем она лучше сваривается. Наиболее широко распространенным является флюс, содержащий: 30%



буры; 50% борной кислоты; 10% поваренной соли; 10% кислого фосфорнокислого натрия. Также можно применять газообразный флюс БМ-1. Для сварки используют присадочную проволоку и прутки марок: М-1, МСр1, МНЖ5-1, МНЖК5-1-0,2-0,2. Сварочная проволока МСр1 содержит 0,8...1,2% серебра.

Основными затруднениями при сварке латуни являются выгорание цинка, поглощение газов расплавленным металлом и повышенная склонность металла шва к образованию пор и трещин. Для борьбы с испарением цинка при газосварке латуни применяют окислительное пламя и специальные присадочные материалы, легированные кремнием и бором. Применяют присадки следующих марок: Л63, ЛО60-1, ЛК62-0,5 и др., флюс – тот же, что и при сварке меди. Для уплотнения металла шва и повышения его механических свойств шов проковывают и подвергают отжигу при температуре 600...650°C с последующим медленным охлаждением.

При сварке бронз применяют те же флюсы, нормальное пламя и специальную сварочную проволоку БрОЦ4-3 и БрОФ6,5-0,15. Иногда осуществляют предварительный нагрев до температуры 300...450°C.

Сварка никеля не вызывает затруднений, за исключением образования окиси никеля, температура плавления которой выше, чем у основного металла. Поэтому сварку желательно вести под флюсом (тот же, что и для меди). Присадочный металл – никелевая проволока, легированная кремнием, марганцем и титаном.

Основной трудностью при сварке алюминия является образование на его поверхности окисной пленки ( $Al_2O_3$ ) с температурой плавления 2050°C. Поэтому перед сваркой присадочную проволоку и свариваемые кромки травят в течение 2 мин в 25%-ном растворе ортофосфорной кислоты или в 15%-ном растворе азотной кислоты, затем промывают и сушат (или протирают). Сварку ведут в нейтральной среде (аргоне) неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки либо газосваркой с применением специальных флюсов. Наибольшее распространение получил флюс марки АФ-4А, содержащий: 41% хлористого натрия; 51% хлористого калия; 8% фтористого натрия.

Основными способами сварки деформируемых магниевых сплавов являются сварка плавлением и различные виды контактной сварки. Сварку плавлением выполняют на том же оборудовании, что и сварку алюминиевых сплавов.

Аргонодуговой сваркой можно сваривать все применяемые в промышленности деформируемые магниевые сплавы, за исключением сплава ВМ65-1. Высокое содержание цинка в этом сплаве обуславливает широкий интервал кристаллизации и способствует образованию трещин при сварке.

Сложные сварные детали и узлы конструкции этим методом можно получить из сплавов МА1, МА2, МА2-1, МА8 и МА13. Сплав ВМД1 может применяться для менее сложных сварных деталей и узлов.

Сплав МА11 обладает повышенной склонностью к образованию трещин при сварке. Из сплавов МА9, МА10, МА3, МА5 можно сваривать только детали простой формы.

При сварке особое внимание следует обратить на защиту расплавленного металла шва и околошовной зоны от атмосферного воздуха. Для защиты поверхности расплава и прилегающей к нему зоны применяют слой жидкого флюса или инертного газа (аргона или геля) или одновременно жидкого флюса и инертного газа.

Применение флюса ВФ-156 позволяет получать чистые сварные швы, не содержащие шлаковых и газовых включений. При газовой сварке флюс ВФ-156 предотвращает рост зерна в шве.

### 13.4. Сварка полимерных материалов

Все существующие способы сварки основаны на нагреве места контакта свариваемых материалов посредством различных тепловых источников. Сварке подвергаются лишь термопластичные полимеры, способные при определенных температурах переходить в вязкотекучее состояние. При этих температурах и условии плотного контакта свариваемых материалов в поверхностных слоях материалов происходит взаимодиффузия частей макромолекул полимера из одного материала в другой. На прочность соединения оказывают влияние технологические режимы сварки, химическая структура полимера, степень его полярности и подвижности макромолекул, их ориентация, состояние свариваемых поверхностей и другие факторы.

Обычно сварку осуществляют с применением присадочного материала, который разогревается одновременно с кромками свариваемых деталей. Сварка происходит в вязкотекучем состоянии материала под давлением. Ввиду низкой теплопроводности пластмасс разогреваются лишь по-

верхностные слои, в связи с этим используют присадочные прутки небольшого диаметра (2...4 мм). Газовым теплоносителем сваривают в основном толстостенные изделия, в частности винипластовые трубы и емкости. Наиболее рациональна сварка толстостенных деталей встык, предпочтительнее с X-образной разделке кромок, так как обеспечивается меньший расход присадочного материала и более высокая прочность соединения, чем при V-образной разделке. Детали толщиной до 2 мм можно сваривать встык без разделки кромок, обеспечив между кромками зазор до 1,5 мм. Поверхность кромок перед сваркой тщательно очищают и обезжиривают, например, ацетоном. Глянец снимают наждачной шкуркой или шабером. Сварку винипласта производят воздухом, подогретым до температуры 200...240°C и подаваемым под давлением 60 кПа.

Сварку полиэтилена, полипропилена, фторопласта-4, полиизобутилена, полистирола в основном осуществляют контактным нагревом под давлением. Свариваемые поверхности изделий разогреваются до температуры размягчения на глубину 2...3 мм и сдавливаются с определенным усилием до полного смыкания оплавленных поверхностей (с некоторым выдавливанием оплавленного материала). Давление снимают после отверждения соединяемых поверхностей (до 40 с). При сваривании тонких пленок между горячим инструментом и свариваемыми внахлест поверхностями помещают фторопластовую прокладку толщиной 0,1...0,15 мм.

Сварку токами высокой частоты применяют в основном для тех материалов, которые имеют достаточно высокий тангенс угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg} \delta$ ) и высокий коэффициент диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  (например, винипласта). Количество тепла, выделяемого в объеме свариваемого материала между электродами за 1 с, определяется по формуле:

$$Q=0,33U^2f\epsilon \operatorname{tg} \delta \text{ (кал),}$$

где  $U$  – напряженность электрического поля, В;

$f$  – частота электрического поля, МГц.

Форма и размеры электродов зависят от вида сварочного соединения, конфигурации и размеров свариваемых изделий. Сваривают детали толщиной до 5 мм.

Сваривание полиолефиновых пленок толщиной 50...150 мкм осуществляют лазерной сваркой со скоростью до 400 м/мин. Для сварки фторо-

пласта с полиэтиленом, полистиролом, кварцем, алюминием и другими материалами применяется ядерная сварка.

Сравнительные данные свариваемости различных термопластов приведены в табл. 72.

Таблица 72

Характеристика свариваемости термопластов

Наименование пластмассы	Способ сварки						
	нагретым воздухом	нагретым инертным газом	нагретым воздухом в смеси с продуктами горения газа	трением	нагретым инструментом	контактным нагревом	токами высокой частоты
Полиэтилен (листы, пленки)	Хор.	Хор.	Удовл.	–	Хор.	Хор.	–
Полиэтилен (трубы, прутки)	Хор.	Хор.	Удовл.	–	Хор.	Хор.	–
Винипласт (листы, пленки)	Хор.	Хор.	Удовл.	Хор.	Хор.	Хор.	Хор.
Винипласт (трубы, прутки)	Хор.	Хор.	Удовл.	Хор.	Хор.	Хор.	Хор.
Полиамиды	Хор.	Хор.	Удовл.	Хор.	Хор.	Хор.	Хор.
Полиметилметакрилат	–	–	Удовл.	Удовл.	–	Хор.	Удовл.
Полиизобутилен	Хор.	Хор.	Удовл.	–	Хор.	–	–
Полистирол	Хор.	–	–	Хор.	Хор.	Хор.	–
Полипропилен	Хор.	Хор.	–	–	Хор.	Хор.	–
Фторопласт	Удовл.	Удовл.	–	–	–	Хор.	–

## Глава 14. ПАЙКА МАТЕРИАЛОВ

### 14.1. Способы пайки материалов

*Пайка* – это технологический процесс получения неразъемных соединений металлов нагревом до расплавления более легкоплавкого присадочного металла – припоя, заполняющего зазор между соединяемыми деталями; основной металл при пайке не плавится, а нагревается до температуры расплавления припоя.

В качестве источников тепла при пайке используют газокислородное и газовоздушное пламя, электронагрев, индукционный нагрев, паяльники.

К преимуществам пайки относятся отсутствие расплавления и незначительный нагрев основного металла. Эти преимущества позволяют получать высококачественные соединения не только однородных металлов, но и разнородных металлов и сплавов.

Особенность пайки состоит в том, что при этом процессе *не происходит* плавления металла соединяемых деталей.

Родственным пайке процессом является лужение, при котором поверхность металлической детали покрывают тонким слоем расплавленного припоя, образующего в контакте с основным металлом припой-сплав переменного состава с теми же зонами, что и зоны при пайке. Если при пайке прочность паяного соединения определяется прочностью двух спаев и зоны сплавления, то при лужении прочность связи слоя полуды с основным металлом зависит от прочности переходного слоя (спая) между ними.

Лужение можно применить как предварительный процесс с целью создания более надежного контакта между основным металлом и припоем или как покрытие для защиты металлов от коррозии. Для повышения прочности спая, полученного при лужении, иногда проводят термическую обработку.

*Паяемые конструкционные материалы* выбирают в соответствии с условиями работы конструкции и требованиями прочности, герметичности, коррозионной стойкости и др.

В паяемых конструкциях применяют стали всех типов, чугуны, никелевые сплавы (жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие), медь и ее сплавы, а также легкие сплавы на основе титана, алюминия, магния и бериллия (табл. 73). Ограниченное применение имеют сплавы на основе тугоплавких металлов: хрома, ниобия, молибдена, тантала и вольфрама.

Таблица 73

### Температура плавления некоторых

### конструкционных материалов

Материал	Марка	Температура плавления, °С	
		Начало	Конец
Углеродистая деформируемая сталь	08кп	1485	1525
Хромомарганцевокислая сталь	30ХГСА	1485	1515
Хромоникелевая сталь	40ХНМА	1485	1490
	12Х18Н9Т	1400	1500
Жаропрочный никель-хромовый сплав	ХН77ТЮР	1400	1430
	ХН78Т	1380	1440
Жаростойкий и кислотостойкий чугун	ЧХ32, ЧХ28Д2	1135	1325
Медь	М0	1083	1083
Томпак	Л96	1060	1070
Латунь	Л63	900	920
Бронза	БрОФ6,5-0,15	890	1040
Титановый сплав	BT2	1680	1710
Алюминиево-марганцевый сплав	АМц	600	655
	АМг6	565	655
Дюралюминий	Д16	550	650
Силумин	АЛ5	577	627
Магнийевый деформируемый сплав	МА5	482	602
Магнийевый литейный сплав	Мл5	455	602
Цинковый сплав	ЦМ1	419	422
Бериллий	Чистый	1315	1315

Окончание табл. 73

Материал	Марка	Температура плавления, °С	
		Начало	Конец
Хром	–	1900	1900
Ниобиевый сплав	ВН2	2430	2460
Молибденовый сплав	ВМ1	2600	2620
Тантал	Чистый	2996	2996
Вольфрамо-молибденовый сплав	85-15	3240	3250
Вольфрам	Чистый	3410	3410

Формирование паяного соединения происходит под влиянием различных факторов (рис. 50).

Изменяя технологические параметры процесса пайки (состав и свойства припоя, термический цикл, средства активации поверхности, зазор, конструкцию паяного соединения), можно влиять на формирование швов паяных соединений и конечные свойства этих соединений. Например, факторами, определяющими степень смачивания припоем основного металла, являются состав и свойства основного металла и припоя, температура и время выдержки при пайке, а также средства активации поверхности. Если при заданных условиях пайки не удастся обеспечить хорошего смачивания припоем паяемого металла, то смачивание можно улучшить нанесением на паяемые поверхности слоя другого металла.

В некоторых случаях получение качественного паяного соединения при хорошей смачиваемости затруднено образованием на границе припой – паяемый металл хрупких прослоек интерметаллических соединений. В этом случае получение соединения с требуемыми свойствами зависит от взаимодействия припоя и паяемого металла.

Факторами, влияющими на этот процесс, являются состав и свойства паяемого металла и припоя, температура и время выдержки при пайке и величине зазора (табл. 74).

Таблица 74

## Рекомендуемые величины паяльных зазоров, мм

Припой	Основной металл				
	Углеродистая сталь	Коррозионно-стойкая сталь	Медь и ее сплавы	Титан	Алюминий и его сплавы
Медный	0,02...0,15	0,02...0,15	–	–	–
Латунный	0,05...0,30	0,05...0,30	–	–	–
Медноцинковый	0,05...0,25	–	0,01...0,30	–	–
Меднофосфористый	–	–	0,02...0,15	–	–
Серебряный	0,05...0,15	0,05...0,15	0,03...0,15	–	–
Серебряно-марганцовый	–	–	–	0,05...0,10	–
Никелевый	–	0,05...0,20	–	–	–
Алюминиевый	–	–	–	–	0,10...0,30

В ходе кристаллизации припоя при охлаждении возможно появление специфических дефектов – пор, раковин, трещин. В определенных условиях процесс кристаллизации может оказаться основным в формировании работоспособного соединения. Процесс кристаллизации в свою очередь определяется составом припоя и его взаимодействием с паяемым материалом, условиями охлаждения, величиной зазора, конструкцией соединения и некоторыми другими факторами.

Изменение свойств паяемого металла при пайке возможно в результате воздействия термического цикла пайки и в результате взаимодействия с припоем. Поэтому к технологическим факторам, влияющим на характер и степень изменения свойств основного металла, относятся и все факторы, которые определяют взаимодействие припоя и основного металла.

При пайке металла с керамикой, стеклом, когда имеется значительная разность в коэффициентах термического расширения и один из материалов или оба имеют низкие пластические свойства, получение работоспособных соединений может быть затруднено из-за возникновения напряжений и разрушения спая в процессе охлаждения.

К технологическим факторам, влияющим на напряженное состояние соединения, можно отнести состав и свойства паяемых материалов и при-

поя, термический цикл пайки, конструкцию паяных соединений и все факторы, влияющие на взаимодействие припоя и металла.

Таким образом, при получении паяного соединения наиболее важны смачивание припоем основного металла (необходимое условие образования соединения при пайке) и взаимодействие припоя с паяемым материалом, оказывающее влияние на все сопутствующие процессы, участвующие в формировании паяного соединения.

В настоящее время принята классификация способов пайки по различным признакам.

По условию заполнения паяльного зазора различают виды пайки: капиллярной и некапиллярной. При капиллярной пайке заполнение припоем зазора и удержание его в зазоре происходит под действием поверхностного натяжения капиллярных сил. При некапиллярной пайке зазор заполняется припоем преимущественно под действием силы тяжести или другой внешней силы.

К некапиллярным способам пайки (применяемым редко) отнесены сваркопайка (способ соединения разнородных металлов с различной температурой плавления, при котором расплавляется только более легкоплавкий металл, играющий роль припоя) и пайка заливкой, при которой соединение образуется через припой, заливаемый в полость, имеющуюся в одной из соединяемых деталей или в специальном приспособлении.

В зависимости от происхождения припоя различают следующие способы пайки: готовым припоем и контактно-реактивную, для которой роль припоя выполняет жидкая фаза, образующаяся в результате химической реакции с компонентами флюса.

Одним из перспективных видов припоя является композиционный припой, содержащий порошковый наполнитель, не расплавляющийся при пайке. Наполнитель создает в зазоре систему капилляров, что позволяет паять изделия с большими зазорами. Кроме того, наполнитель участвует в диффузионном взаимодействии с припоем и может быть использован для придания соединению специальных свойств.

Диффузионная пайка рассчитана на развитие диффузионных процессов между припоем и паяемым металлом; затвердевание паяного шва происходит при температуре выше температуры солидуса припоя.

По способу удаления окисной пленки при пайке и лужении различают флюсовую и бесфлюсовую пайку, ультразвуковые пайку и лужение, абразивное, абразивно-кристаллическое и абразивно-кавитационное лужение,

пайку в активных, нейтральных газах и в вакууме. При ультразвуковой пайке и лужении, абразивном, абразивно-кристаллическом и абразивно-кавитационном лужении происходит механическое разрушение оксидной пленки на поверхности паяемого материала под слоем расплавленного припоя, смачивающего очищенную поверхность, за счет явления кавитации, вызываемого ультразвуковыми колебаниями, или абразивного воздействия твердых частиц, содержащихся в припое.

По источникам нагрева существующие способы пайки разделяют на пайку паяльником, газопламенную, дуговую, электросопротивлением, экзотермическую (использующую теплоту, образующуюся при экзотермических реакциях специальных смесей), электронным лучом (чаще сканирующим), лазерную, световым излучением (с помощью кварцевых ламп и ксеноновых ламп высокого давления), печную, погружением в расплавленные соли или припой, волной припоя, нагретыми штампами, матами, блоками.

## 14.2. Паяльные припои и флюсы

Припои выпускают в виде проволоки, прутков, полос, порошковой проволоки, порошков и пасты.

В качестве припоев для пайки металлов применяют как чистые металлы, так и их сплавы.

Чтобы выполнить условия проведения пайки и обеспечить получение качественных паяных соединений, припои должны отвечать следующим требованиям:

- температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления паяемых материалов; для соединений, работающих при температуре выше 100°C, припои, имеющие температуру плавления ниже 300°C, применять не рекомендуется;

- припой должен хорошо смачивать поверхность паяемых деталей и затекать в зазоры соединения;

- выбранный припой должен обеспечивать получение соединения необходимой прочности;

- припой должен обеспечивать возможность нанесения антикоррозионного или декоративного покрытия требуемого качества.

В соответствии с ГОСТом 19248-78 по температуре расплавления ( $t_{пл}$ ) припои подразделяют на: осологкоплавкие ( $t_{пл} \leq 145^\circ\text{C}$ ); легкоплавкие

( $145 < t_{пл} \leq 450^\circ\text{C}$ ); среднеплавкие ( $450 < t_{пл} \leq 1100^\circ\text{C}$ ); высокоплавкие ( $1100 < t_{пл} \leq 1850^\circ\text{C}$ ); тугоплавкие ( $t_{пл} > 1850^\circ\text{C}$ ).

Высокотемпературная пайка дает более прочные соединения, иногда не уступающие по прочности основному материалу.

Соединения, выполненные серебряными, медными и медно-цинковыми припоями, хорошо покрываются почти всеми видами гальванических покрытий. Соединения припоями, содержащими олово, не следует подвергать гальваническим покрытиям и окислению.

При выборе припоя для пайки стальных конструкций следует иметь в виду, что все медные и часть серебряных припоев способствуют возникновению трещин в основном материале в процессе пайки или при последующей сварке вблизи паяных швов.

Марки медных припоев приведены в табл. 75, марки медно-цинковых припоев, припоев системы серебро-медь-цинк, а также оловянно-свинцовых, магниевых и припоев на основе алюминия – в таблицах 76, 77, 78, 79, 80.

Таблица 75

### Марки медных припоев

Марка	Область применения
M00	Для пайки ответственных деталей из углеродистых и коррозионностойких сталей, а также никелевых сплавов
M0	«
M1	«
M2	Для пайки менее ответственных деталей из тех же металлов

Таблица 76

### Марки, химический состав и назначение медно-цинковых припоев (ГОСТ 23137-78)

Марка	Химический состав, % (массовые доли)				Область применения
	Основные компоненты		Примеси (не более)		
	медь	цинк	железо	свинец	
ПМЦ 36	34...38	Остальное	0,1	0,5	Для пайки латуни, содержащей до 69% меди

ПМЦ 48	46...50	«	0,1	0,5	Для пайки медных сплавов, содержащих медь свыше 68%
ПМЦ 54	52...56	«	0,1	0,5	

Таблица 77

**Марки оловянно-свинцовых припоев  
(ГОСТ 21930-76 и ГОСТ 21931-76)**

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
ПОС 90	183	222	Пайка деталей, подвергаемых гальванопокрытиям (серебрению, золочению), швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры
ПОС 61	183	185	Пайка меди, латуни, бронз, сталей, ответственных деталей в электро- и радиотехнике, приборостроении, когда соединяемые детали нельзя нагревать выше 200°С
ПОС 40	183	235	То же, а также пайка деталей с герметичными швами, оцинкованного железа
ПОС10	183	256	То же
ПОССу 18-2	183	277	Пайка неответственных деталей из меди, латуни и сталей
ПОССу 4-6	245	265	Лужение меди и железа, пайка неответственных деталей; так как швы обладают недостаточной пластичностью

Таблица 78

**Марки магниевых припоев**

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
П430Mг	430	600	Пайка магния и сплавов марок МА1, МА2 и МА8

№1	435	520	То же
№2	398	415	Заделка мелких дефектов в отливках из сплава МЛ5

Таблица 79

**Марки серебряных припоев общего назначения (ГОСТ 19738-74)**

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
ПСр 72	779	779	Пайка медных проводов и деталей приборов, когда место спая должно обладать высокой электропроводностью, а также пайка проводов и деталей вакуумных приборов и установок
ПСр 50	779	850	То же, но паяют при более высоких температурах
ПСр 70	730	755	Пайка меди, латуни и сталей (швы менее электропроводны, чем при пайке ПСр 72)
ПСр 65	740	–	Пайка сталей, меди, никеля и их сплавов (паяные швы обладают достаточно высокой прочностью и имеют серебристый цвет)
ПСр 45	660	725	Пайка сталей, меди, никеля и их сплавов Припой общего назначения
ПСр 25	745	775	
ПСр 40	595	605	
ПСр 12М	780	825	Пайка стальных и медных деталей, работающих при повышенных температурах. При 600°С прочность паяных соединений на 20% выше, чем при пайке ПСр 45 и ПСр 25
ПСр 10	815	850	

Таблица 80

**Марки припоев на основе алюминия**

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
Силумин 34А	578 525	578 525	Пайка алюминия и сплавов АМц и АВ Пайка алюминия и сплавов АМц, АМг и АВ

П575А	570	620	Пайка алюминия и сплава Амц
36А	490	505	То же

Паяльный флюс – химически активное вещество, предназначенное для очистки и поддержания чистоты поверхностей паяемого металла и припоя с целью снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания жидкого припоя.

К флюсам предъявляется ряд требований. Так, необходимо, чтобы флюс химически не взаимодействовал с припоем (кроме случаев реактивно-флюсовой пайки); очищал поверхности основного металла и припоя от присутствующих на них окислов и защищал соединение от воздействия окружающей среды во время пайки; имел температуру плавления ниже температуры плавления припоя; способствовал смачиванию поверхности основного металла припоем в расплавленном состоянии; сохранял свойства и не менял своего состава от нагрева при пайке; не вызывал сильной коррозии паяного соединения и не выделял при нагреве ядовитых газов.

В зависимости от температурного интервала активности паяные флюсы подразделяются на низкотемпературные ( $t_{пл} \leq 450^\circ\text{C}$ ) и высокотемпературные ( $t_{пл} > 450^\circ\text{C}$ ) (ГОСТ 19250-73).

Составы широко применяемых флюсов для низко- и высокотемпературной пайки и область их применения приведены в табл. 81.

Таблица 81

### Составы паяльных флюсов

Компонент	Содержание компонента, %	Область применения
-----------	--------------------------	--------------------

#### Средне- и высокоплавкие припои

Бура	100	Пайка деталей из меди, бронзы, стали
Плавная бура	72	Пайка деталей из латуни и бронзы, а также пайка серебром
Поваренная соль	14	
Поташ кальцинированный	14	
Плавная бура	90	Пайка деталей из меди, стали и других металлов
Борная кислота	10	

Окончание табл. 81

Компонент	Содержание компонента, %	Область применения
Плавная бура	50	Пайка деталей из коррозионностойких и жаропрочных сталей
Борная кислота (разведенная в растворе хлоридного цинка)	50	
Бура	60	Пайка деталей из чугуна
Хлористый цинк	38	
Марганцово-кислый цинк	2	Пайка деталей из алюминия и его сплавов
Хлористый литий	38...26	
Фтористый кальций	12...16	
Хлористый цинк	8...15	
Хлористый калий	40...59	

#### Особолегко- и легкоплавкие припои

Хлористый цинк	10...30	Пайка деталей из стали, меди и медных сплавов
Вода	70...90	
Канифоль	100	Пайка деталей из меди и ее сплавов
Насыщенный раствор хлористого цинка в соляной кислоте	100	Пайка деталей из коррозионно-стойких сталей
Хлористый цинк	95	Пайка деталей из алюминия и его сплавов низкотемпературным припоем
Хлористый натрий	5	
Паста: насыщенный раствор цинка	34	Низкотемпературная пайка паяльной лампой
метанол	33	
глицерин	33	

Олово, свинец и сплавы на их основе относятся к мягким припоям. Ими паяют изделия почти из всех металлов. Оловянно-свинцовые припои выпускаются в виде чушек, прутков, проволоки, ленты, а также в виде трубок, заполненных флюсом. Выпускаются семь марок оловянных припоев с содержанием олова от 3 до 90% и температурой плавления от 185 до 265°C (табл. 82). Легирование припоев сурьмой позволяет снизить температуру плавления и повысить прочность сплавов. Также выпускается четыре марки припоев на свинцовой основе с содержанием серебра от 0,7 до 3,3% и температурой плавления 270...305°C.



Таблица 82

## Химический состав оловянных и свинцово-серебряных припоев

Марка	Содержание компонентов, в %				
	Sn	Sb	Pb	Ag	Cd
ПОС 90	89...90	0,15	Остальное	—	—
ПОС 61	59...61	0,8	-//-	—	—
ПОС 50	49...50	0,8	-//-	—	—
ПОС 40	39...40	1,5...2	-//-	—	—
ПОС 30	29...30	1,5...2	-//-	—	—
ПОС18	17...18	2...2,5	-//-	—	—
ПОСС 4-6	3...4	5...6	-//-	—	—
ПСр 3	—	—	96...98	2,7...3,3	—
ПСр 2,5	5...6	—	91...93	22...2,8	—
ПСр 2	29...31	—	61,5...64,5	1,7...2,3	—
ПСр 1,5	14...16	—	82...85	0,7...2,3	4,5...5,5

Свинцово-серебряные сплавы поставляются в виде полос и проволоки (табл.83). Основные свойства мягких припоев при комнатной температуре приведены в табл. 84 и 85.

Таблица 83

## Сортамент полос и проволоки из свинцово-серебряных сплавов

Размер полосы в мм			Проволока (минимальный вес отрезка в г / диаметр в мм)
толщина	ширина	длина	
0,1; 0,2; 0,3; 0,5;	50; 100;	100; 150;	10/0,3; 15/0,5; 25/0,8; 25/1,0;
0,8; 1,0; 1,2; 1,6;	150; 200.	200; 300;	30/1,2; 30/1,6; 40/2,0; 50/2,5;
2,0; 2,5; 3,0.		400.	50/3,0; 50/3,6; 50/4,0; 75/5,0.

Таблица 84

## Основные свойства стандартных оловянно-свинцовых припоев

Свойство	Показатель по маркам						
	ПОСС 4-6	ПОС 18	ПОС 30	ПОС 40	ПОС 50	ПОС 61	ПОС 90
Плотность в г/см <sup>3</sup>	10,7	10,23	9,69	9,31	8,9	8,54	7,57

Температура ликвиду-са в °С	265	277	256	235	210	185	220
Температура солиду-са в °С	245	183	183	183	183	183	183
Электросопротивле-ние в Ом·мм <sup>2</sup> /м	—	0,22	0,182	0,17	0,156	0,145	—
σ <sub>в</sub> в кг/мм <sup>2</sup>	5,9	2,8	3,3	3,8	3,8	4,7	4,3
δ в %	23,7	26,6	44	52	54	34	25
ψ в %	—	52,2	78,8	86,7	—	55,7	—
σ <sub>с</sub> в кг/мм <sup>2</sup>	—	25,5	18,6	24,0	—	31,5	—
а <sub>н</sub> в кг/см <sup>2</sup>	—	3,86	4,67	4,75	4,59	3,8	1,85
НВ в кг/мм <sup>2</sup>	14	10,5	10,1	13,7	14,9	12,6	13
τ <sub>ср</sub> в кг/мм <sup>2</sup>	3,58	2,5	3,4	3,7	4	4,2	2,7
Предел прочности шва при пайке в на-кладку в кг/мм <sup>2</sup> :							
меди	2,4	3,8	2,7	3,7	—	3,5	—
латуни	3,0	3,8	2,8	4,6	—	3,5	—
железа	4,9	4,5	5,0	6,1	5,3	3,6	—
оцинкованного							
железа	2,6	4,0	4,2	4,7	—	3,0	—
Предел прочности при пайке встык в кг/мм <sup>2</sup> :							
меди	7,3	8,6	9,1	7,8	—	9,7	—
латуни	7,7	6,4	8,8	8,0	9,4	8,0	—
железа	10,3	10,0	10,5	11,5	6,7	9,8	—

Таблица 85

## Основные свойства стандартных свинцово-серебряных припоев

Свойство	Показатель по маркам			
	ПСр3	ПСр2,5	ПСр2	ПСр1,5
Плотность в г/см <sup>3</sup>	11,3	11,0	9,6	10,4
Температура кристаллизации в °С:				
ликвидус	305	305	235	270
солидус	300	295	225	265
Удельное электрическое сопро-тивление в Ом·мм <sup>2</sup> /м	0,20	0,22	0,17	0,20
σ <sub>в</sub> в кг/мм <sup>2</sup>	3,2	—	—	3,0

$\delta$ в %	45,0	–	–	47
$\psi$ в %	82,0	–	–	82,5
НВ в кг/мм <sup>2</sup>	9,5	–	–	16,0

Пластичность оловянных припоев при отрицательных температурах снижается; например, поперечное сужение припоев ПОС 90 и ПОС 61 при  $-253^{\circ}\text{C}$  составляет только 1%.

Припой ПОС 90 применяют для наиболее ответственных соединений, когда предъявляются повышенные требования, в первую очередь по токсичности. В частности, этим сплавом паяют внутренние швы аппаратов и посуды, в которых содержатся пищевые продукты, медикаменты и вода.

Сплав ПОС 61 – наиболее легкоплавкий припой, и его используют для пайки радиотехнических и электротехнических приборов и аппаратуры, а также изделий, изготовленных из низкоплавких сплавов или закаленной стали.

Припой ПОС 50 применяют главным образом для пайки изделий из медных сплавов и белой жести, в том числе авиационных радиаторов, электрических счетчиков.

Припоем ПОС 40 паяют детали радиоприемников, физических приборов, изделий из оцинкованного железа, автомобильных и тракторных радиаторов.

Припой ПОС 30 имеет наиболее широкое применение для всевозможных соединений.

Припой ПОС 18 применяют для лужения вкладышей подшипников, заливаемых свинцовыми баббитами, в том числе марки БК2.

Малооловянистый припой ПОСС 4-6 применяют для лужения меди, сплавов на ее основе и железа.

Свинцово-серебряные припои марок ПСр 3, ПСр 2,5 и ПСр 1,5 имеют по сравнению со свинцово-оловянными более высокую температуру солидуса. Изделия, паяные этими припоями, могут работать при более высоких температурах.

Припои типа ПСр 3 не образуют хрупкого пограничного слоя при пайке меди, как это имеет место при оловянно-свинцовых припоях.

Пайку припоями ПСр 3 и ПСр 2,5 производят с помощью газовых горелок. Эти припои применяют главным образом для пайки изделий из меди и ее сплавов. Припой ПСр 3 используют для пайки электродвигателей, электрических приборов, радиаторов, охлаждаемых этиленгликолем, и в других областях.

Чистое олово применяют для лужения консервной жести, пищевых котлов, кухонной утвари, вкладышей подшипников, заливаемых баббитом марок Б83 и Б89, а также для пайки.

Свинец применяют для горячего свинцевания и пайки в тех случаях, когда применение олова необязательно. Для улучшения адгезии и прочности пайки к свинцу добавляют небольшие количества цинка или олова. В табл. 86 приводятся данные по прочности шва при пайке оловом и свинцом изделий из меди, латуни и железа.

Таблица 86

**Прочность шва при пайке оловом и свинцом различных металлических материалов**

Вид пайки и материал паяемых изделий	$\sigma_b$ в кг/мм <sup>2</sup>	
	оловом	свинцом
<i>Пайка внакладку:</i>		
меди	4,6	1,9
латуни	4,5	2,0
железа	3,8	1,4
<i>Пайка встык:</i>		
меди	9,0	3,6

Окончание табл. 86

Вид пайки и материал паяемых изделий	$\sigma_b$ в кг/мм <sup>2</sup>	
	оловом	свинцом
латуни	5,9	2,6
железа	7,9	1,9

Пайку алюминиевой проволоки, кабелей с алюминиевой оболочкой, а также алюминиевых изделий производят оловянным припоем марки А, содержащим 56...59% цинка и 1,5...3% меди (поставляются в виде полос толщиной 8...10 мм, шириной 10...15 мм и длиной 250...500 мм).

На основе олова, свинца, сурьмы, висмута, индия и других металлов приготавливают легкоплавкие сплавы с температурой плавления ниже  $230^{\circ}\text{C}$ . Наибольшее применение нашел легкоплавкий сплав (8,3% Sn; 22,6% Pb; 5,3% Cd; 53% Bi; 19,1% Zn) с температурой плавления  $47,2^{\circ}\text{C}$  и плотностью 8,95 г/см<sup>3</sup>. С помощью этого сплава осуществляют вакуумп-

лотные соединения стекла с металлами. С помощью сплавов свинца с оловом и кадмием производят пайку керамики с металлами.

### 14.3. Оборудование для пайки

Вид оборудования для пайки в основном характеризуется методом и источником нагрева.

Оборудование для печной пайки по методу нагрева подразделяется на электрические печи сопротивления, индукционные печи и установки, которые в свою очередь делятся на печи с контролируемой средой и вакуумные.

*Электropечи с контролируемыми газовыми средами* (водород или азотно-водородная смесь) оснащены устройствами для транспортирования паяных изделий (например, с шагающим подом), а в некоторых случаях – установками для приготовления газовых смесей. Примером конвейерной электropечи сопротивления является печь марки СКЗ-4.20.1,5/11,5-Х45М1, оснащенная камерой охлаждения и обладающая следующими параметрами: мощность – 85 кВт, температура рабочего пространства – 1150°C, нагрузка конвейерной ленты – до 130Н/м.

Наряду с электropечами непрерывного действия для пайки изделий широко используют колпаковые (марки ИО59.015, ЦЭП-241А, ЛМ-3360 и др.), элеваторные (марки СКБ-7018, СКБ-7049 и др.) и шахтные печи (марки ОКБ-3176А, СШЗ-8,40/10, Г95А и др.). Для пайки применяются также камерные электropечи унифицированных серий СН0 и СНЗ с металлическими нагревательными элементами, номинальной температурой 1000...1200°C – для широкой номенклатуры изделий в воздушной и контролируемой средах.

Вакуумные электropечи конструктивно выполняются непрерывного и периодического действия (колпаковые, элеваторные, муфельные и др.). Для создания вакуума используют механические вакуумные насосы типа ВН, создающие остаточное давление 1,3...0,13 Па, и диффузионные для получения остаточного давления  $1,3 \times 10^{-3}$ ... $1,3 \times 10^{-5}$  Па. Вакуумные электropечи в основном используются для высокотемпературной пайки изделий и создают стандартные температуры 900, 1200, 1300, 1600, 2000 и 2500°C.

*Индукционную пайку* выполняют с использованием электронных высокочастотных генераторов типов ВЧГ и ВЧГЗ (мощностью 4...60 кВт), типа

ВЧИ (мощностью 10...100 кВт) и машинных генераторов типа ИЗ (мощностью 30...200 кВт). Электронные высокочастотные генераторы работают на частотах: 0,066; 0,44 и 1,76 МГц. Машинные генераторы обеспечивают токи частотой 2...15 кГц. Генераторы мощностью 4 кВт используются для поштучной низкотемпературной пайки. На генераторах мощностью 10 кВт паяют металлорежущий и буровой инструменты с поперечным сечением в зоне пайки до 5,0 см<sup>2</sup>, а также тонкостенные ферромагнитные изделия. Генераторы, имеющие колебательную мощность 100...200 кВт, применяют при высокотемпературной пайке крупногабаритных изделий с наружным диаметром 140...200 мм. Эти генераторы используют при механизированной пайке, когда необходим запас мощности для создания интенсивного магнитного поля в зоне пайки при движении нагреваемых изделий через относительно длинные проходные индукторы. Индукционную пайку могут использовать как в воздушной, так и в контролируемой среде, в том числе с применением давления на соединяемые поверхности (до 4 МПа).

*Пайку погружением в расплавленные припои* разделяют на низко- и высокотемпературную. В свою очередь низкотемпературная пайка подразделяется на две разновидности: погружением непосредственно в расплав припоя и волной или струей припоя.

Наиболее широко для лужения и пайки изделий используют электрованны, представляющие собой корпус из коррозионностойкой стали, в котором размещен расплавленный припой.

Для производства печатных плат созданы линии, выполняющие комплекс операций: нанесение флюса, предварительный подогрев, нанесение припоя, удаление его излишков, мойку и сушку. На таких автоматических линиях печатные платы укладывают в магазин обрабатываемой поверхностью вниз и прижимают грузом. С помощью подающих роликов по направляющим они перемещаются над рабочими узлами линии, вначале над ванной, где флюс с 5%-ным раствором соляной кислоты наносится вращающимися щетками. Затем припой (сплав Розе) наносят волновым способом с помощью индукционного нагревателя. В ванне с расплавленным припоем установлен ракель из термостойкой резины для снятия его излишков.

На установке для пайки погружением в расплавы солей в соляных ваннах изделия нагреваются непосредственно или косвенно. При непосредственном нагреве в зависимости от состава солей изделия паяют с

применением припоев и без припоя. В последнем случае роль припоя выполняют продукты реакции самой соли с паяемым материалом.

В случае косвенного нагрева изделия помещают в контейнер, объем которого заполняют контролируемой газовой средой.

Печи-ванны по конструктивному оформлению подразделяют на тигельные, электродные однофазные с циркуляцией соли, прямоугольные электродные и электродные трехфазные (табл. 87).

Таблица 87

**Технические данные соляных печей-ванн  
для высокотемпературной пайки**

Параметр	С-50	В-20	С-45	С-35	СКБ-5152
Номинальная мощность, кВт	50	20	45	35	120
Максимальная рабочая температура, °С	600	850	1300	1300	1300
Размеры тигля, мм	600x900	∅300	∅340	220x420	950x250
Глубина тигля, мм	450	535	600	–	475
Производительность, кг/ч	100	80	200	30	140

Пайку металлоемких изделий производят в прямоугольных печах-ваннах С-50, СКБ-5152 и др.

Для пайки изделий в интервале температур 850...1200°С используют печи-ванны типа СВС-100/13 исполнения М.01, которые обладают высокой производительностью и рекомендуются для крупносерийного и массового выпуска изделий.

При пайке погружением в расплавы солей с целью стабилизации температуры необходим предварительный подогрев изделий: для этого применяют камерные электропечи, индукционный нагрев, а также специальные нагревательные печи типа ПАП. Для пайки активных металлов герметичный контейнер с изделиями, в который подается контролируемая среда, погружают в ванну с расплавленной солью, нагретой до заданной температуры. При таком способе можно осуществлять пайку не только в газовой среде, но и в вакууме. Если в первом случае представляется возможным использовать контейнер с песочным затвором и неполным погружением, то при пайке изделий в вакууме контейнер выполняют цель-

носварным либо со съёмным фланцем для полного или частичного его погружения.

Ручные клещи для пайки электросопротивлением нашли применение для соединения сравнительно немассивных деталей. При больших объемах выпуска изделий из разнотолщинных элементов или конструкций из материалов, имеющих разные теплофизические свойства, чаще всего применяют сварочное оборудование – машины для контактной сварки.

*Машины для пайки электросопротивлением.* Для пайки изделий в зависимости от толщин соединяемых элементов и теплофизических свойств материалов применяют различные сварочные машины (табл. 88).

Таблица 88

**Технические данные однофазных  
точечных машин переменного тока**

Параметр	МТ-1222	МТ-1223	МТ1617	МТ1618
Мощность, кВт	60	85	110	100
Сила первичного тока, А	154	224	296	264
Сила сварочного тока, кА	12,5	12,5	16,0	16,0
Пределы изменения коэффициента трансформации	83-166	56-125	60-89	56-125
Вылет электродов, мм	500	500	500	500
Максимальный раствор электродов, мм	220	300	370	320
Усилие сжатия, Н	6180	15680	6180	6180
Общий ход электрода, мм	80	100	50	80
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /10 <sup>2</sup> циклов	0,6	0,6	0,8	0,6
Расход охлаждающей воды, л/ч	600	700	700	700

В зависимости от свойств паяемых материалов и размеров соединяемых элементов подбирают соответствующие электроды. Наибольшее распространение получили угольные электроды марок ЭГ-2, ЭГ-8 и др., а также электроды из хромистой меди, вольфрама и жаростойких сплавов.

Гибридные интегральные схемы паяют методом плавления покрытия-припоя в полуавтоматическом режиме на установке МС-64П2-1. Установка обеспечивает регулируемое давление электрода на колонку нагревателя в диапазоне 1...10 Н, нагрев электрода в пределах 150...450°С. Производительность установки – около 1000 кристаллов в час.

*Пайка материалов с использованием концентрированных источников энергии* (инфракрасного излучения и излучения лазера, сфокусированного светового и электронного луча) является одним из важнейших направлений развития ряда областей техники. Основное преимущество этого способа – отсутствие тепловой инерции источника, локальность и быстрота нагрева и вытекающая отсюда возможность точного регулирования параметров процесса пайки.

*Установки с инфракрасным излучением.* Тепловое (инфракрасное) излучение с длинами электромагнитных волн 0,4...40 мкм применяют при различных способах нагрева под пайку, в том числе и локальном, где тепловой поток сконцентрирован.

Для высокотемпературной пайки изделий из тонкостенных деталей сравнительно простой формы применяют установки с кварцевыми лампами. В зависимости от конфигурации и конструкции паяемых изделий рефлекторы с кварцевыми лампами устанавливают с одной или нескольких сторон. Такие установки могут быть с нагревом в вакууме, в контролируемой и воздушной средах. В последнем случае установки используют для соединения деталей легкоплавкими припоями из-за ограниченной стойкости кварцевого стекла ламп при нагреве до высоких температур на воздухе.

В зависимости от конструкций нагревательных установок применяют кварцевые иодные лампы накаливания в различном исполнении. Наиболее часто используют прямые лампы инфракрасного нагрева.

В качестве источников лучистой энергии наряду с лампами могут служить металлические радиационные нагреватели. Например, на многопозиционной установке типа УПТ для пайки тонкостенных трубопроводов металлический нагреватель выполнен разъемным и охватывает непосредственно место соединения.

*Процесс пайки электронным лучом* основан на использовании энергии ускоренных электронов, быстро перемещающихся в вакууме в результате разности потенциалов между катодом и анодом. При торможении ускоренных электронов вблизи паяемой поверхности их кинетическая энергия превращается в тепловую. Процесс характеризуется кратковременностью и высоким КПД.

Пайку узлов из керамики и тугоплавких металлов с местным нагревом осуществляют с применением электронно-лучевых установок с пушкой типа У250А.

Для пайки изделий с местным нагревом применяют установки типа ЭЛУ-4 с пушкой ЭЦ-60/10. Для исключения перегрева и оплавления кромок изделия, а также обеспечения равномерного прогрева зоны пайки электронный пучок колеблется в результате подачи на отклоняющую систему пушки импульсов синусоидальной или пилообразной формы от генератора НГПК-3М.

Установка «Луч-3» предназначена для пайки трубчатых конструкций из высокоактивных металлов и сплавов с нагревом кольцевым электронным пучком, получаемым в высоковольтном тлеющем разряде при температурах до 2000°С.

Технические характеристики установки «Луч-3»:

- потребляемая мощность – 15 кВт;
- ускоряющее напряжение – 20 кВ;
- сила тока пучка – 300 мА.

*Лазерные установки.* Излучение оптического квантового генератора (лазера) характеризуется рядом уникальных свойств: большой интенсивностью потока электромагнитной энергии, высокой монохроматичностью, значительной степенью временной и пространственной когерентности. Вследствие этого лазерное излучение отличается от других источников электромагнитной энергии очень узкой направленностью.

В зависимости от конструктивных особенностей и массы паяемых изделий, а также свойств соединяемых материалов используют лазерные установки различной мощности (К-3М – 1кВт; УЛ-2М – 2,5кВт; Луч-1М – 3,0 кВт; УЛ-20 – 5кВт; Кван-10 – 12кВт).

*Установки для пайки световым лучом.* Концентрированный нагрев, сфокусированный лучистой энергией, обладает рядом преимуществ, основными из которых являются бесконтактный подвод энергии к изделиям за счет удаления источника от объекта нагрева, возможность передачи энергии через оптически прозрачные оболочки как в контролируемой среде, так и в вакууме и, что особенно важно для процессов пайки, нагрев различных материалов независимо от их электрических, магнитных и других свойств с широкими пределами регулирования и управления параметрами.

Оптический источник теплоты, представляющий собой эллипсоидный отражатель в сочетании с дуговой ксеноновой лампой, наиболее перспективен для пайки изделий с регулированием энергетических параметров за счет изменения формы и размеров пятна нагрева.

Для пайки узлов электровакуумных приборов используют установки с оптической головкой, выполненной на базе ксеноновой газоразрядной лампы высокого давления ДКсР-5000М мощностью 5 кВт.

Максимальная температура, получаемая в фокусе оптической системы установки, составляет 1400...1600°C, диаметр фокальной области 6...15 мм, продолжительность процесса пайки 3...5 мин. В установке могут быть использованы также лампы ДКсР-3000М и ДКсШ-1000, которые имеют меньшую мощность.

Устройства для пайки электрической дугой. Высокая температура электрической дуги позволяет использовать ее для пайки проводов, узлов, приборов и двигателей, а также ленточных пил и других узлов с большой скоростью и этим предотвратить окисление припоя и металла шва. Дуга может гореть между двумя угольными электродами, закрепленными в оправах приспособления, с подводом в нее паяемых узлов небольших размеров или между угольным электродом и паяемым изделием.

При пайке горючими газами и парами широко применяется инжекторная горелка типа «Москва». Безынжекторную горелку микромощности ГС-1 применяют для низко- и высокотемпературной пайки изделий из различных материалов небольшой толщины.

К горелкам малой мощности относят инжекторные горелки «Малютка», ГС-2, «Звездочка», которые используют для ацетилено-кислородной пайки конструкций небольших размеров, изготовленных из черных и цветных металлов.

В производстве изделий средних размеров целесообразно использовать инжекторные универсальные ацетилено-кислородные горелки «Москва», ГС-3, «Звезда», которые работают на ацетилене низкого и среднего давления.

Наряду с рассмотренными горелками для газопламенной пайки применяются и другие. Так, для пайки с использованием жидкого горючего используют керосино-кислородную горелку ГКР-1-67, обеспечивающую широкий диапазон регулирования мощности пламени.

Для пайки небольших по размерам и массе деталей используются паяльники электрические, которые представляют собой стержень из меди или специального медного сплава, имеющего электронагреватель с изолятором.

Температура нагревателя составляет 700°C, температура жала – 260...340°C. Электрические паяльники выпускаются на различные напря-

жения: 220В, 127В, 36В, 24В, 12В и 6В. Конструктивное исполнение паяльников различно для пайки массивных узлов, пайки печатного монтажа, для демонтажа с импульсным отсосом припоя, для пайки микросхем. Нагревательные элементы выполняются преимущественно в виде спирали, в основном из нихромовой проволоки. Температуру жала можно регулировать изменением питающего напряжения.

Ультразвуковое лужение применяют для покрытия поверхностей алюминия и его сплавов, керамики, ферритов, сталей и других материалов легкоплавкими припоями. Абразивное лужение используют в некоторых случаях для нанесения легкоплавких припоев на поверхности алюминиевых деталей.

Для ультразвукового лужения применяют ультразвуковые паяльники или ультразвуковые ванны (табл. 89).

Таблица 89

Технические данные ультразвуковых электропаяльников

Параметр	УП-21	УП-42
Рабочая частота, кГц	20	23...26
Мощность, Вт:		
генератора	40	30
нагревателя	100	170
Напряжение, В	110; 127; 220	220
Частота питающего тока, Гц	50	50
Масса, кг:		
генератора	14	11
паяльника	1,0	0,9

Примечание: Установку УП-21 комплектуют ванной размерами 288x200x162 мм.

Для ультразвукового лужения часто используют паяльники без нагревателей. При работе с ними в качестве источника теплоты применяют газопламенные горелки, электрические плиты и другие источники. Особенно эффективен этот способ для лужения алюминиевых изделий под пайку.

В качестве специальных источников нагрева используют:

- термитные шашки – нагрев проводится за счет горения термитной смеси;

- нагревательные блоки – нагрев места пайки происходит от массивных блоков, предварительно нагретых или имеющих внутри себя нагреватели;

- электронагревательные маты (стеклоткань с вмонтированными электронагревателями) применяются для пайки изделий сложной конфигурации; используются в производстве панелей с сотовым наполнителем.

#### 14.4. Особенности пайки различных металлов

Все припои для высокотемпературной пайки можно разбить на следующие группы: медные, медно-цинковые, серебряные, медно-фосфористые.

*Медные припои* применяют для пайки стали, преимущественно в печах с защитной атмосферой. *Медно-цинковые* – при пайке стали, чугуна, меди, бронзы и никеля.

Лучшие результаты дает припой марки ЛОК 62-06-04, содержащий 60...63% меди; 0,3...0,4% олова; 0,4...0,6% кремния, остальное – цинк. Его температура плавления – 905°C, предел прочности – 45 кгс/мм<sup>2</sup>.

*Серебряные припои* можно применять при пайке всех черных и цветных металлов, кроме алюминия и цинка, имеющих более низкую температуру плавления, чем припой. Температура плавления серебряных припоев – 720...870°C.

*Медно-фосфористые* припои находят широкое применение в электропромышленности. Их используют только для пайки меди и латуни.

Припои низкотемпературной пайки готовят на основе оловянно-свинцовых сплавов различного состава. В зависимости от содержания олова (Sn) используют припои марок от ПОС 90 (89...90% Sn) до ПОС 18 (17...18% Sn).

Для низкотемпературной пайки применяют также сурьмянистые припои марки ПОСС-4-6.

Для пайки алюминия в качестве низкотемпературных припоев рекомендуются сплавы: 50% – Zn, 45% – Sn, 5% – Al и 25% – Zn, 70% – Sn, 5% – Al. Соединения, паяные низкотемпературными припоями, обладают низкой коррозионной стойкостью, что ограничивает их применение для деталей, работающих в воде или влажном воздухе. Для высокотемпературной пайки алюминия и его сплавов рекомендуются припои, содержащие 10...12% Si; 0,7% Fe, остальное – Al, с температурой плавления

577°C; и припой состава 28% – Cu, 6% – Si, 66% – Al, с температурой плавления 525°C.

При газопламенной пайке применяются флюсы в виде порошков, пасты и газа. Основой большинства флюсов при твердой пайке является бура (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>). Для усиления действия флюса к буре часто добавляют борную кислоту, благодаря которой флюс становится более густым и вязким, требующим повышения рабочей температуры. Для понижения рабочей температуры флюса, что особенно важно для легкоплавких припоев, вводят хлористый цинк (ZnCl<sub>2</sub>), фтористый калий (KF) и другие щелочные металлы.

Перед пайкой соединяемые детали тщательно очищают от загрязнений, окислов, жира и др. Порошкообразные флюсы насыпают тонким слоем на очищенные кромки, причем часто применяют предварительный подогрев кромок с тем, чтобы частицы флюса плавилась, прилипали к металлу и не сдувались пламенем горелки при пайке. Порошкообразный флюс наносят также на конец прутка припоя. Пасты и жидкие растворы наносят на поверхность соединяемых деталей кистью или обмакивают в них припой. При пайке наибольшее применение получили нахлесточные соединения. Зазор между соединяемыми поверхностями должен быть минимальным, а при пайке серебряными припоями – 0,05...0,03 мм.

Техника пайки подготовленного соединения сводится к нагреву его до температуры плавления припоя, введения и расплавления припоя. Обычно пайку производят нормальным пламенем.

При пайке *медно-цинковыми припоями* рекомендуется применять пламя с избытком кислорода. Нагрев ведут широкой частью пламени. Для равномерного прогрева горелкой совершают колебательные движения вдоль шва. После того как флюс, предварительно нанесенный на кромки, расплавится и заполнит зазоры, а изделие прогреется до необходимой температуры, начинают вводить припой. Для гарантии полного заполнения зазора припоем после прекращения подачи припоя горелкой еще некоторое время подогревают место спая. После окончания пайки спай должен медленно остывать, остатки флюса после пайки необходимо тщательно удалять. Для полного удаления флюсов изделие погружают в 10%-ный раствор серной кислоты с последующей промывкой водой. Брак, возникший при пайке, может быть исправлен. Для этого необходимо нагреть деталь до температуры плавления припоя и разъединить спаянные эле-

менты. После этого заново зачистить соединяемые поверхности и повторно произвести пайку.

При пайке составного инструмента (резцов, сверл, фрез и др.) с державками из стали 40Х или инструментальной типа У7 применяют медно-цинковые и серебряные припои. Нагрев под пайку осуществляют газовыми горелками, в печах, токами высокой частоты и в солевых ваннах. Пайку инструмента в солевых расплавах ведут при температурах 1150...1200°C, охлаждают на воздухе до 900...1000°C, а затем охлаждают до 500...600°C в ваннах с расплавом хлористых солей (бария –30%, натрия –22%, кальция –48%), после чего охлаждают на воздухе до комнатной температуры и промывают водой до полного удаления остатков солей. При печной пайке пластину из быстрорежущей стали помещают в паз державки, флюсуют и загружают в камеру, нагретую до температуры 750...800°C. После выгрузки из камеры закладывают припой, снова флюсуют и помещают в печь для пайки. Спаянные детали выгружают, охлаждают на воздухе, а затем при температуре 560°C проводят отпуск, после чего инструмент очищают. С использованием токов высокой частоты паяют зонкеры, развертки, метчики.

*Пайку твердосплавных пластинок с державкой* обычно осуществляют нагревом токами высокой частоты или погружением в расплавленный припой. В последнем случае пайку совмещают с термообработкой. Закалочной средой для сплавов марок ВК8 и Т15К6 служит расплав едкого калия (70%) и едкого натрия (30%). Перед пайкой собранный узел обрабатывают в кипящем насыщенном растворе буры (для вольфрамовых пластин) или в 35%-ном водном растворе фтористого калия (для титанокарбидных пластин). При пайке инструмента используются медно-цинковые припои, легированные никелем, марганцем или алюминием.

*Оловянистые бронзы* можно паять оловянно-свинцовыми, серебряными и медно-цинковыми припоями. Пайка высокооловянистых бронз медно-цинковыми припоями нежелательна ввиду близости температуры пайки к температуре плавления паяемых материалов. Пайку осуществляют любым известным способом.

*Пайку титана и его сплавов* ведут в вакууме или в среде аргона при температуре 800...900°C. В качестве основы припоя часто выбирают серебро, которое образует с титаном менее хрупкие интерметаллиды, чем с другими металлами. Иногда за основу припоя берут алюминий. Для получения более пластичных и прочных соединений применяют диффузион-

ную пайку титана, для чего на поверхность изделия наносят тонкие слои никеля, меди, цинка, железа, кобальта, серебра или их комбинаций.

Низкотемпературную пайку магниевых сплавов проводят по предварительно нанесенным покрытиям легкоплавких металлов (меди, никеля, серебра и др.) в вакууме ( $10^{-2}$  Па) или активной газовой среде (смесь аргона и азота, активированная парами хлористого аммония) при температуре 100...500°C с применением оловянно-свинцовых припоев или галлиевых паст. Высокотемпературную флюсовую пайку магния проводят при температуре 450...600°C с использованием припоев на основе магния, обычно методом погружения в расплавленный припой.

Пайкой можно соединять металлы с полупроводниками, минералокерамикой, стеклами, фарфором, кварцем, графитом, ферритом, ситаллом и др. Вследствие различия физико-химических свойств и состава металлов и неметаллических материалов природа связи в паяных швах более сложная, чем в соединениях между металлами. Так как неметаллические материалы, подвергающиеся пайке, состоят в основном из оксидов ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $LiO_2$  и др.) и практически не смачиваются металлическими припоями, то пайка их требует особых приемов.

*Пайку неметаллических материалов с металлами* осуществляют, используя:

- активные припои с индием, титаном, цирконием, обеспечивающие одновременно смачиваемость металла и неметаллического материала;
- нанесение на паяемую поверхность покрытий-металлов, хорошо смачиваемых металлическими припоями;
- в качестве припоев легкоплавкие стекла, глазури или эмали.

Керамика обычными металлическими припоями не смачивается, поэтому ее поверхность предварительно натирают индиевым припоем (обслуживают поверхность ультразвуковым паяльником с титановым накопчиком) или производят напыление хорошо смачиваемого металла (Cu, Ni, Ag, Au). Также используется втирание графита в шероховатую поверхность керамики с последующим нанесением электролитическим способом этих же металлов и вжигание (870°C) стеклянной фриты, состоящей из порошка стекла и серебра. Затем производится низкотемпературная пайка. В отдельных случаях применяют вжигание в керамику (1100...1650°C) оксидов меди, никеля, серебра и других, наносимых на керамику в виде порошка или пасты, в водородной среде, обычно в электропечах конвейерного типа. Наиболее широко для пайки применяется



припой ПСр 72. Пайка легкоплавкими стеклами, глазуриями или эмалями осуществляется при температуре 1000°C в электропечах с обыкновенной атмосферой, так как эти расплавы хорошо смачивают керамику и окисленные металлы.

*Пайка металла со стеклом* осуществляется аналогично пайке металла с керамикой галлиевым припоем (Ga – 39,6%, Sn – 4,4%, Cu – 56%).

*При пайке кварца с металлом* на кварц наносятся пленки меди, никеля, серебра, золота (гальванически, напылением, вжиганием) и по покрытиям проводится пайка паяльником малооловянистыми припоями с применением жидких флюсов.

*Для пайки керамики, стекла, кварца с металлом* также возможно применение активной пайки, суть которой сводится к способности некоторых металлов (титана, циркония и др.) восстанавливать металлы из оксидов ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , BeO,  $Cr_2O_3$  и др.). Поэтому эти металлы (в количестве около 10%) вводят в любые высокотемпературные припои и производят пайку. Пайка может осуществляться в среде азота, в вакууме и атмосфере.

## **Глава 15. СКЛЕИВАНИЕ И ОКРАСКА МАТЕРИАЛОВ**

### **15.1. Подготовка материалов к склеиванию и окраске**

Технологические процессы склеивания и окраски схожи между собой. Основное отличие состоит в том, что клеевой слой находится между соединяемыми поверхностями и охватывает незначительные площади (хотя при ремонте корпусов судов, больших резервуаров и др. площади могут быть значительными). Нахождение клеевого слоя между поверхностями существенно влияет на условия его отверждения, требует приложения определенного давления и др. Поэтому ниже мы будем подчеркивать особенности склеивания материалов и обобщать схожесть процессов склеивания и окраски.

Типичный процесс склеивания (окраски) можно разделить на следующие основные стадии:

- превращение клеящего (красящего) вещества в состояние, пригодное для нанесения на поверхность материала (растворение, расплавление, частичная полимеризация и др.);

- подготовка склеиваемых (окрашиваемых) поверхностей материалов (придание шероховатости, различные виды химической, механической обработки и др.) и нанесение клеящего (окрашивающего) вещества;

- создание условий для отверждения клеевого (окрашенного) слоя, отвечающего предъявляемым требованиям условий эксплуатации (температурный режим, время выдержки при заданной температуре, давление, время выдержки без давления и под давлением и т.д.).

Прочностные свойства клеевых соединений и лакокрасочных покрытий определяются не только высокой адгезией клея и краски, но и состоянием поверхности склеиваемых (окрашиваемых) материалов. На поверхности могут быть дефекты: трещины, микрокапилляры, загрязнения, продукты коррозии и старая краска, заусеницы и т.п., наличие которых приводит к неоднородной активности по отношению к клею или краске. Поэтому необходима предварительная подготовка соединяемых (окрашиваемых) поверхностей материалов.

Обычно применяют следующие способы подготовки поверхности (см. гл.11,12): *механические* – обработка механизированным инструментом, галтовка, обработка сухим абразивом, гидроабразивная очистка; *химические* – обезжиривание в водных растворах и в органических растворителях, травление, одновременное обезжиривание и травление, фосфатирование, пассивирование, анодирование и др.; *физические и физико-химические* – обработка ультразвуком, электрическим полем, тлеющим и коронным разрядом в среде инертных газов и др.; *термические методы обработки*.

Обработка механизированным инструментом пригодна для удаления дефектов (заусенцев, старой краски, продуктов коррозии). При мокрой галтовке стальных деталей к абразивным материалам добавляется 2...3%-ный раствор каустической соды, тринатрийфосфата или серной кислоты. После обработки детали тщательно промывают и просушивают. При обработке сухим абразивом стальной и чугунный песок используют для очистки только стальных поверхностей. При гидроабразивной обработке в жидкую среду добавляют ингибитор коррозии (1%-ный раствор кальцинированной соды). После обработки, промывки в 0,2%-ном растворе хромпика или нитрида натрия, просушки детали желательнее подвергнуть пассивации.

Методы очистки с помощью реактивов, вступающих в химическое взаимодействие с поверхностью материала, требуют погружения обрабатываемой детали в камеру или ванну. Исключение составляют пасты, которые накладывают на обрабатываемые поверхности. Перед травлением в кислых растворах жировые загрязнения удаляются. При травлении чер-

ных металлов применяются ингибиторы коррозии. Слабую ржавчину удаляют обработкой в 2-3%-ном растворе фосфорной кислоты при 75...80°C, образующаяся после обработки пленка фосфата железа улучшает адгезию. Крупногабаритные изделия обрабатываются пастами, состоящими из воды, ингибиторов коррозии, серной, соляной и фосфорной кислот, сульфата целлюлозного щелока, нефтяного контакта и трепела. Паста наносится слоем 1...2 мм и удаляется через 30...40 мин. Обезжиривание в щелочных растворах осуществляется с добавкой поверхностно-активных веществ – эмульгаторов ОП-7, ОП-10 и др. Изделия из олова, свинца, алюминия и цинка обезжиривают в растворах солей с меньшей свободной щелочью (углекислый натрий, углекислый калий, жидкое стекло). Обезжиривание органическими жидкостями производится в соответствующих ваннах или протиркой. Одновременное обезжиривание и травление достигается путем введения в травильные составы поверхностно-активных веществ, которые эмульгируют жировые вещества и тем самым очищают поверхность. Наиболее эффективен струйный метод очистки давлением жидкости 1,5...2,5 кг/м<sup>2</sup>. Фосфатирование применяется как метод подготовки поверхностей углеродистых сталей и цинка. При обработке алюминиевых сплавов широко применяется метод анодного оксидирования. Кроме защитных свойств оксидная пленка обладает также высокими адгезионными свойствами.

Подготовка к склеиванию (окраске) стекла химическим методом заключается в обработке его аппретами (органические производные кремния и хлора, например винилтрихлорсилан).

Адгезионную способность неполярных полимеров (полиолефинов, фторопластов и др.) повышают с помощью химической модификации их поверхности. Для этого их подвергают действию химически активных веществ и окислителей, прививке реакционно-способных групп, обработке пламенем или электрическим разрядом. Для химической обработки полиолефинов (полиэтилен, полипропилен) применяют газообразный хлор, хлористый сульфурил (SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), озон, перекись водорода, смесь азотной и соляной (3:1) кислот, хромовую смесь. Обработка полиолефинов окислителями повышает смачиваемость их поверхности за счет образования на ней гидроксильных, карбонильных и других полярных групп. Этот же метод можно использовать для обработки лавсана и полистирола. На лавсан иногда наносят эфиры ортотитановой кислоты. Поверхность фторопластов имеет очень низкую адгезию, поэтому зачастую ее обрабатывают

щелочными и щелочноземельными металлами в жидком аммиаке или органических растворителях, а также в расплавах солей.

Для улучшения адгезии поверхности резин и каучуков, содержащих большое количество пластификаторов, применяют ионную обработку (обрабатываемые поверхности погружают на 20...100 с в ванну, содержащую 7%-ный раствор бромиды и бромата калия и 7%-ный раствор серной кислоты). На 1 м<sup>2</sup> поверхности расход раствора составляет 2 л. После травления в ванне обработанную поверхность резины нейтрализуют в растворе щелочи и сульфита натрия, промывают водой и просушивают.

Наиболее дешевыми и распространенными растворами для обезжиривания являются водные растворы синтетических моющих средств, пригодные для обработки поверхностей как металлов, так и неметаллов. Они обладают высокой обезжиривающей и смачивающей способностью, оказывают защитное действие, являясь ингибиторами коррозии. Газопламенная очистка применяется для удаления окалина, ржавчины и старой краски, а также нефтепродуктов с поверхности крупногабаритных изделий. В результате нагрева и последующего охлаждения окалина и ржавчина разрушаются и легко удаляются механическими способами очистки. Газопламенная обработка полимеров, особенно неполярных (полиолефинов), приводит к изменению структуры поверхностного слоя и термоокислению.

Ультразвуковая обработка поверхностей материалов является достаточно дорогостоящей, но очень эффективной для обработки деталей сложной конфигурации. Для мелких деталей используется частота 100...300 кГц, для крупных – 15...30 кГц.

Для активации поверхности полимеров используют обработку их в электрическом поле. Этот способ применяют для пленок из полиолефинов, фторопласта, полиамидов, лавсана и др. Пленку пропускают в зазор между двумя электродами, на которые падает высокое напряжение.

При обработке полимерных пленок тлеющим или коронным разрядом в среде нейтральных газов с их поверхности удаляются низкомолекулярные вещества (например, водород). В результате этого образуются насыщенные (двойные) связи и поперечные сшивки между макромолекулами полимерной пленки, которые улучшают их адгезионную способность.

Более подробно о способах подготовки и обработки поверхностей см. в гл. 11, 12.

Для предохранения поверхностей, подготовленных к склеиванию и окраске, а также улучшения их смачиваемости, применяют адгезионные грунты (праймеры). Их использование увеличивает долговечность клеевых соединений и лакокрасочных покрытий (особенно в условиях высокой влажности). Обычно адгезионные грунты представляют собой разбавленные растворы смол и эмалей, которые входят в состав соответствующих клеев и красок. Если нужно защитить часть детали от клея или краски, то на ее поверхность наносят антиадгезионный слой. Это могут быть кремнийорганические жидкости или смазки, растворы силиконовых каучуков или суспензия низкомолекулярного фторопласта в хладоне (обычно во фреоне). Некоторые из них выпускаются в аэрозольной упаковке, что облегчает способ нанесения слоя. Иногда для защиты поверхности материала сразу после изготовления на нее наносят защитный удаляемый слой. Это может быть бумага (например, для защиты органического стекла), нейлоновая или стеклоткань, пропитанная связующим. После удаления защитного слоя не требуется обезжиривания и повторной обработки поверхности.

### **15.2. Факторы, определяющие прочность склеивания и окраски**

Для получения прочного соединения пленки клея или краски с поверхностью материала необходимо знать адгезионные свойства клея (краски) и зависимость этих свойств от физических и физико-химических характеристик исходного материала клея (краски), условия эксплуатации, структуру и состояние склеиваемых (окрашиваемых) поверхностей.

Адгезионная прочность материала клея (краски) зависит от числа концевых реакционно-способных функциональных групп, которые могут вступить в реакции со склеиваемой поверхностью. Чем больше число этих групп и чем короче цепные молекулы, тем выше адгезионная прочность соединения, хотя длинноцепные молекулы обеспечивают лучшую пластичность. Поэтому для получения оптимальной прочности соединения требуется сочетание высоко- и низкомолекулярных фракций исходного материала клея (краски).

Введением наполнителей можно регулировать вязкость клея (краски), его пропитывающие свойства, создавать определенную толщину пленки, уменьшать внутренние напряжения, выравнивать физические свойства

материала клея (краски) и склеиваемого (окрашиваемого) материала. Наполнители могут быть как активными (влиять на адгезию), так и неактивными. Введение наполнителей придает клеям (краскам) специфические свойства: тепло- и электропроводность, теплостойкость, электросопротивление и диэлектрические свойства, негорючесть, стойкость к действию низких или высоких температур и др.

Адгезия зависит как от свойств клея (краски), так и от структуры и состояния поверхности склеиваемого (окрашиваемого) материала. Установлено, что при склеивании металлов в большинстве случаев наблюдается снижение прочности клеевых соединений в следующем порядке: сталь, алюминиевые сплавы, латунь, медь. На адгезионную прочность, например, эпоксидного и акрилатного клеев заметно влияют легирующие добавки к стали. В случае склеивания (окрашивания) полимерных материалов следует учитывать полярность, которая определяется их строением. Неполярными называются полимеры, имеющие симметричное построение молекул (дипольный момент равен нулю), например, макромолекула полиэтилена  $[-CH_2-CH_2-]_n$ . В полярных полимерах электронная плотность распределена несимметрично, т.е. положительные и отрицательные заряды смещены друг относительно друга (например, макромолекула поливинилхлорида  $[-CH_2-CHCl-]_n$ ).

К полярным полимерам также относятся: эпоксидные, фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные, полиэфирные смолы (олигомеры), полиамиды, полиуретаны и материалы на их основе (см. гл. 2). Все они хорошо склеиваются между собой и с другими материалами многими клеями.

При склеивании (окрашивании) неполярных полимеров возникают трудности, которые преодолеваются специальной подготовкой поверхности (см 15.1).

Керамика, стекло, феррит, древесина, бумага, кожа, ткань и другие материалы имеют достаточно полярную поверхность, поэтому трудностей при склеивании (окрашивании) не вызывают.

При склеивании надо учитывать, что полярные материалы склеиваются полярными клеями, а неполярные – неполярными. При склеивании двух разнородных материалов клей должен иметь сродство с обеими склеиваемыми поверхностями и содержать различные по полярности и реакционной способности функциональные группы.

Прочность соединения клея (краски) с материалом существенно зависит от температуры эксплуатации. Так, при температуре свыше 100°C наблюдается падение прочности большинства термореактивных клеев, термопластичные же разрушаются при более низкой температуре (40...80°C). Наиболее стойки к действию повышенных температур неорганические полимеры, но они обладают невысокой адгезией. Полиуретановые и модифицированные эпоксидные клеи могут эксплуатироваться при низких температурах. Для режима многократного резкого перепада температур рекомендуются клеи на основе эпоксидно-фенольных соединений. Высокую атмосферостойкость имеют фенолокаучуковые композиции. Для работы в условиях повышенной влажности рекомендуется использовать гидрофобные наполнители. Большинство термореактивных композиций стойко к действию масел, растворов солей, кислот и щелочей, органических растворителей.

Для предохранения окрашенных (склеенных) поверхностей от действия коррозии и развития микроорганизмов в краски (клеи) вводят специальные ингибиторы, восстановители или преобразователи ржавчины и ядовитые вещества (фунгициды).

Прочность клеевого соединения существенно зависит от продолжительности и скорости приложения нагрузки и от типа клеевого соединения (внахлест, встык, с накладками, втулка-отверстие и др.). При изгибающих нагрузках в краску (клей) добавляют пластификаторы с тем, чтобы избежать появления трещин и снизить хрупкость пленок (при этом возможно снижение прочности клеевого соединения).

### **15.3. Нанесение клея и формирование клеевого слоя**

Исходное состояние клеев может быть различным: жидкое, пастообразное и твердое. Клеевую композицию можно наносить на склеиваемые детали как вручную, так и с помощью специальных приспособлений. Количество наносимой массы обычно составляет от 100 до 300 г/м<sup>2</sup> и зависит от вида клея и состояния склеиваемой поверхности. Равномерная толщина нанесения клеевой композиции – первооснова успешного склеивания. Большинство клеев наносится при температуре воздуха 15...25°C с относительной влажностью до 75%.

Если клей имеет жидкую консистенцию, его наносят кистью, валиком, распылителем или окунают деталь в раствор. Для создания нужной тол-

щины клеевой пленки клей наносят в несколько слоев, предварительно подсушивая каждый предыдущий слой выдержкой времени, причем последующий слой желательно наносить под прямым углом к предыдущему.

Нанесение клея на пленочные, листовые и волокнистые материалы осуществляется с помощью лакировальных и пропиточных машин. В лакировальной машине рулон пленки (бумаги, ткани) пропускают между валками, один из которых погружен в раствор клея. Затем пленка проходит через сушильную камеру и сматывается в рулон или сразу идет на припрессовку с другой пленкой или основой (например, нанесение полимерной пленки со слоем прозрачного клея на обложку книги или открытку).

Нанесением ворса в электрическом поле на ткань с клеем производят искусственный мех и синтетические ковры. Приклеивание полимерных пленок к металлической фольге и бумаге позволило создать новые упаковочные материалы (например, тетрапакеты).

При производстве гетинакса, текстолита, стеклотекстолита, фольгированных изделий, декоративных слоистых пластиков используют пропиточную машину, в которой волокна, бумага, ткань и др. пропускаются через ванну с клеем и высушиваются от растворителя. Пропитанный клеем материал нарезается в листы, собирается в пакет и запрессовывается в многоярусных прессах при повышенной температуре.

Вязкий пастообразный клей обычно наносится шпателем. При этом клеевая композиция (зачастую содержащая наполнители) вдавливаются в поры и неровности поверхности склеивания. Клеи-расплавы можно наносить на предварительно нагретые выше температуры плавления клея материалы, подготовленные для склеивания. Для термопластичных клеев-расплавов рекомендуются приспособления, представляющие собой трубку с соплом, на которой крепится подогреватель (с регулировкой по температуре) и рукоятка. Брикет клея соответствующего диаметра помещается внутрь трубки и после подогрева выдавливается поршнем через сопло.

Пленочный клей, обладающий липкостью, прикатывают к поверхности склеиваемого материала холодным или разогретым валиком.

Порошкообразные и жидкие клеи можно наносить в электростатическом поле. Для этого к распылителю подают высокое напряжение, а деталь заземляют. Заряженные частицы клея равномерно распределяются по

поверхности, а излишек собирается пылеуловителем. Толщина клеевой пленки регулируется скоростью перемещения распылителя или детали.

Время до момента соединения склеиваемых поверхностей зависит от типа клея. Для жидких клеевых композиций делают открытую выдержку клеевого слоя. Испарение испарителя может протекать как при комнатной, так и при повышенной температуре. Время сушки обычно составляет 15...60 мин, после чего детали соединяют друг с другом и обеспечивают усилие прижима на определенный период времени. При нанесении клея в несколько слоев возможно применение сушки со ступенчатым подъемом температуры.

Клеевую пленку из растворов и дисперсий термопластичных клеев обычно наносят в один слой на каждую склеиваемую поверхность. Например, для клея ПВАД время сушки слоя клея составляет от 2 до 10 мин при комнатной температуре. Затем склеиваемые детали прижимают друг к другу под давлением 0,3 МПа и выдерживают при температуре  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  от 1 до 1,5 сут. При необходимости прессования давление повышают до 5 МПа. Склеивание поролона с деревом осуществляется без приложения давления.

Клеевой слой из клея-расплава формируется несколькими способами. Расплавленный клей можно нанести на холодные склеиваемые поверхности и тут же прижать их друг к другу. Эффективнее наносить клей на подогретые поверхности, при этом он лучше растекается и проникает в поры и неровности. Можно нанести расплавленный клей на поверхности, создать давление и нагреть соединяемые детали до температуры плавления клея и затем, не снимая давления, охладить до температуры отверждения клея.

Создание давления при склеивании обеспечивает не только лучшее проникновение клея в поры поверхностей, но и фиксирует требуемое соединение деталей. Для этого применяют грузы, резьбовые соединения, струбцины, пружинные приспособления, вакуум и прессы. Величина давления при склеивании обычно лежит в пределах от 0,01 до 1,0 МПа (иногда до 5 МПа) и подбирается в каждом конкретном случае склеивания.

За исключением клеев холодного отверждения, для всех остальных терморезистивных клеев требуется нагревание. Отверждение при повышенных температурах проводят в термостатах, печах, между обогреваемыми плитами пресса, путем облучения и др.

Влияние температуры и давления на прочность клеевых соединений носит сложный характер. Повышение температуры при склеивании вызывает снижение вязкости расплава, возрастание текучести и диффузии молекул к поверхности, что благоприятствует достижению более высокой адгезии. С повышением температуры увеличивается скорость реакции в клеевой композиции и между клеем и склеиваемой поверхностью и снижается продолжительность формирования клеевых соединений. При более высоких температурах прочность снижается в результате деструкции полимеров и недостаточности времени смачивания поверхности.

Увеличение давления сопровождается увеличением числа контактов между молекулами клеевой композиции и склеиваемой поверхности, при этом поры и неровности поверхности заполняются клеем, а толщина клеевой пленки снижается. Недостаточное давление образует пористое, непрочное соединение неравномерной толщины с наличием в клеевой пленке пузырьков воздуха и низкомолекулярных продуктов реакций отверждения. Под излишним давлением образуется тонкая («голодная») склейка. Требуемая толщина клеевой пленки для различных клеев различна. Так, для мочевиноформальдегидных клеев для уменьшения внутренних напряжений рекомендуется тонкий слой – толщиной до 0,1 мм. В то же время для эпоксидных клеев толщина клеевого слоя не играет особого значения.

При отверждении клеевой композиции возникают остаточные напряжения в клеевых соединениях. На эти напряжения влияют: исходный материал клеевой композиции, испаряемость растворителя, разность коэффициентов линейного расширения соединяемых материалов и адгезива и др. Для снижения остаточных напряжений увеличивают время остывания и прессования склеенного изделия, добавляют в клеевые композиции пластификаторы и модификаторы и др. Другими словами, правильно подбирают как состав клеевых композиций, так и режим склеивания.

#### **15.4. Нанесение лакокрасочных покрытий**

Лакокрасочные покрытия наносят: пневматическим краскораспылителем (холодное и с подогревом), окунанием, обливом, струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителей, распылением в электрическом поле, безвоздушным распылением или кистью.

Выбор метода (табл. 90) зависит от размеров и конфигурации изделия, количества изделий, заданного класса отделки, количества слоев покрытия и вида лакокрасочного материала.

Таблица 90

**Выбор метода нанесения**

Окрашиваемый объект	Метод нанесения	Характеристика метода
Мелкие и среднего размера изделия различной несложной конфигурации	Окувание	Экономичен, производителен, возможна механизация. Не обеспечивает высокого класса покрытия
Мелкие, среднего и крупного размера изделия простой и сложной конфигурации	Струйный облив с поддержкой в парах растворителей. Пневматическое распыление: - без подогрева, - с подогревом	Экономичен, производителен, автоматизирован, обеспечивает хороший внешний вид. Сокращает количество слоев за счет получения большей толщины покрытия за один слой. Производителен. Значительны потери лакокрасочного материала (до 30...40%), неавтоматизирован. Применение подогретых лакокрасочных материалов сокращает расход растворителей до 30...40%, уменьшает количество слоев. Хороший внешний вид покрытия
Изделия простой и сложной конфигурации. Решетчатые конструкции, трубы (внешняя поверхность)	Электроокраска	Высокая производительность, полная автоматизация, сокращение потерь материалов до 3...5%. Хороший внешний вид покрытия
Средние, крупные и особенно большие изделия различной конфигурации	Безвоздушное распыление	Высокая производительность (до 300 м <sup>2</sup> /ч), экономичен по сравнению с пневматическим способом. Хороший внешний вид покрытия
Изделия различных размеров	Кисть	Малопроизводителен. Необходим для окраски мест, недоступных для

и конфигураций

других методов окраски. Непригоден для нанесения быстросохнущих материалов

Окраска пневматическим краскораспылителем широко применяется в промышленности для нанесения покрытий на изделия любых размеров и конфигураций.

Мелкие капельки краски (аэрозоль) силой сжатого воздуха направляются на окрашиваемую поверхность, часть их отражается от поверхности и не используется.

Окраска в электрическом поле основана на том, что микрочастички жидкого лакокрасочного материала, заряженные отрицательным зарядом в поле постоянного тока высокого напряжения, двигаясь по силовым линиям электрического поля, осаждаются равномерным слоем на поверхности окрашиваемого изделия, находящегося под положительным потенциалом.

Окраска производится на конвейере автоматически с использованием перхлорвиниловых, нитроцеллюлозных, меламиноалкидных, алкидных, масляных, битумных, эпоксидных и мочевиновых лакокрасочных материалов. При использовании нитроцеллюлозных и перхлорвиниловых материалов во избежание взрыва в электрическую схему обязательно включают искропредупреждающее устройство. Метод пригоден для окраски металлических, деревянных, пластмассовых, резиновых и стеклянных изделий простой и сложной конфигурации, желательна однотипной конструкции. Внутренние полости и глубокие «карманы» не прокрашиваются.

Применение электроокраски повышает производительность за счет полной автоматизации процесса; улучшает санитарно-гигиенические условия работы в малярном цехе, экономит лакокрасочные материалы за счет более полного осаждения красочного «тумана» (до 90% и более) на окрашиваемую поверхность.

Качество окраски зависит от диэлектрических свойств лакокрасочного материала и отладки процесса. Улучшение диэлектрических свойств достигается введением в лакокрасочные материалы соответствующих растворителей.

Окраска методом окувания заключается в погружении изделия в лакокрасочный материал определенной вязкости, после чего изделие вынимается из ванны и избыток краски стекает с окрашиваемой поверхности.

Этот метод пригоден для окраски, грунтовки, лакировки изделий простой и сложной конфигурации размером не более 3000...4000 мм. Изде-

лия должны иметь обтекаемую форму (прутки, листы, угольники и т.п.), обеспечивающую равномерное стекание излишка краски, и не иметь карманов и неровностей, где могла бы задерживаться краска.

Метод позволяет полностью механизировать процесс нанесения покрытия и окрашивать как внутренние, так и внешние поверхности. К его недостаткам относятся: образование подтеков и неравномерность толщины пленки покрытия (на верхней части изделия она всегда тоньше, чем на нижней), необходимость значительных объемов лакокрасочных материалов, представляющих опасность в пожарном отношении.

*Окраска обливом* осуществляется вручную или механически, а избыток материала сливается в приемник и используется вторично. Для получения качественного покрытия необходимо тщательно регулировать вязкость наносимого материала. Рекомендуется для нанесения грунтовочного покрытия и для изделий, не требующих высокого качества отделки.

Окраска струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителей заключается в том, что изделие после облива лакокрасочным материалом поступает в камеру, где создана определенная концентрация паров растворителей. Это обеспечивает равномерное стекание излишка краски и получение ровного покрытия без подтеков и наплывов. Излишек краски поступает в производство, благодаря чему непроизводительные потери лакокрасочного материала минимальны. По сравнению с окраской пневматическим распылением этот метод в 2...3 раза сокращает потери краски.

Удельный расход краски составляет при окраске окунанием 70%, при окраске струйным обливом – 85%, качество окраски и внешний вид хорошие.

Струйный облив рекомендуется для окраски изделий различной конфигурации размером до 4000 мм. Обязательным условием является возможность попадания краски на окрашиваемую поверхность и ее стекание. Метод позволяет полностью автоматизировать окраску на конвейере в массовом производстве. Его недостатки: невозможность многоцветной окраски в одном агрегате и необходимость больших производственных площадей.

*Окраска безвоздушным распылением* под большим давлением и с подогревом основана на свойстве лакокрасочного материала при определенной скорости истечения из сопла (выше критической) дробиться на мельчайшие капельки. Нагретую краску (лак) под давлением 40...60 кг/см<sup>2</sup> по-

дают к соплу, проходя которое, она обретает скорость выше критической при данной вязкости.

Нагрев снижает вязкость краски и способствует лучшему ее распылению за счет образования паров растворителей. Метод экономичен, высокопроизводителен по сравнению с пневматическим способом, уменьшает удельный расход краски на 25% и уменьшает расход растворителей. При его применении требуется меньшая вентиляция и снижаются затраты на оборудование окрасочных камер. Создается также возможность (благодаря малому туманообразованию) окраски изделий вне камер при наличии достаточного общего воздухообмена. Качество покрытия – высокое (глянцевое, беспористое, равномерное по толщине).

Метод рекомендуется для окраски особо больших поверхностей при серийном и единичном производстве.

*Окраска электроосаждением* основана на перемещении частичек пигментированного водорастворимого лакокрасочного материала на металлическую поверхность детали под влиянием электрического заряда. Окраска производится в ванне с водорастворимым грунтом или эмалью, где анодом является окрашиваемая деталь, а катодом – стенки ванны. Метод позволяет окрашивать изделия любых размеров, полностью автоматизирован, обеспечивает минимальные потери материала при высоком качестве покрытия. Безопасен и безвреден.

Зачастую перед нанесением лакокрасочного покрытия изделие подогревают до определенной температуры, при этом адгезия между покрытием и поверхностью увеличивается, однако при этом предъявляются определенные требования к консистенции и вязкости краски. После нанесения лакокрасочного покрытия осуществляют его сушку

Различают два вида сушки: естественную при 15...35°C и искусственную при 80...200°C. Искусственная сушка осуществляется конвекционным способом (детали нагревают горячим воздухом или продуктами сгорания в специальных сушильных камерах) или терморadiационным способом (изделие облучается инфракрасными лучами, проникающими через пленку лакокрасочного покрытия и поглощаемыми металлом детали). В результате нагрева металла сушка покрытия начинается с нижних слоев и распространяется к поверхности. Метод обеспечивает беспрепятственное улетучивание растворителей, что ускоряет процесс сушки. В качестве источников инфракрасного излучения применяют генераторы, выполненные

в виде трубчатых или панельных нагревательных элементов, а также специальные лампы накаливания.

Достоинством терморрадиационных сушильных установок является: высокое качество получаемой пленки покрытия, экономичность, быстрота нагрева установки и сушки; недостатки – трудность регулирования температуры разогрева поверхности деталей сложной конфигурации, особенно имеющих стенки различной толщины.

Качество пленки лакокрасочного покрытия и время его высыхания зависят от температуры сушки. Некоторые виды лакокрасочных материалов вообще пригодны для высыхания только при температуре 150...180°C. С повышением температуры длительность высыхания резко сокращается (рис. 51, а). Одновременно с этим снижается влагонабухаемость (рис. 51, б) и повышается твердость пленки покрытия (рис. 51, в).

Применение горячей сушки улучшает адгезию пленки, стойкость к действию органических растворителей, кислот, щелочей и других веществ.



**Раздел III**  
**ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ**  
**ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

**Глава 16. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ**  
**ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

**16.1. Техника безопасности**  
**при обработке материалов резанием**

Постоянно работающие металлообрабатывающие станки должны быть установлены на прочных фундаментах или общем основании пола, тщательно выверены и закреплены. Все станки (постоянные или переносные) обслуживаются только закрепленными за ними лицами. Выключение станка обязательно при смене инструмента, установке, закреплении и снятии заготовки, ремонте, чистке, смазке и уборке станка.

При обработке на станках тяжелых деталей, например блоков цилиндров двигателей, необходимо пользоваться подъемными средствами.

Станки, работа на которых приводит к образованию осколков, стружки или искры, оборудуют удобными в эксплуатации предохранительными устройствами с достаточно прочным стеклом или другим прозрачным материалом для наблюдения за процессом обработки. Если по техническим условиям предохранительные щитки поставить невозможно, то на станках работают в защитных очках.

Металлообрабатывающие станки и другое оборудование устанавливают в помещениях таким образом, чтобы они не загромождали главные проходы и двери. Расстояние между отдельными станками должно быть не менее 0,8 м, этого достаточно для прохода рабочих при обслуживании и ремонте станков.

Необходимо ограждать: ременные и зубчатые передачи; все выступающие движущиеся части станков, находящиеся на высоте до 2 м от пола; обрабатываемые движущиеся предметы, выходящие за габариты станка.

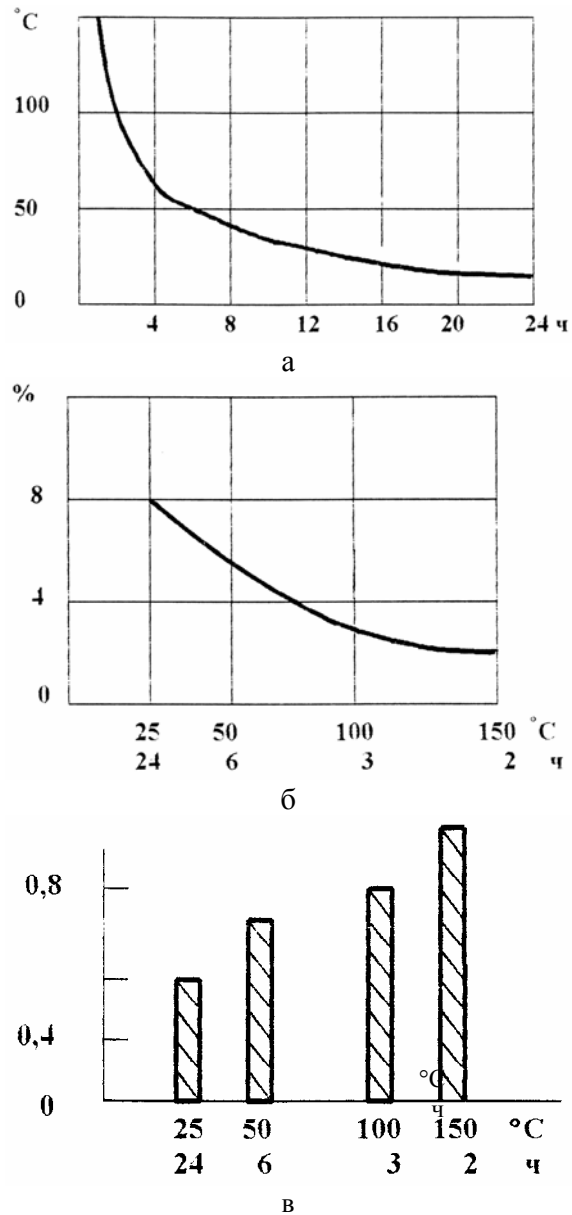


Рис. 51. Влияние температуры сушки на время (а) сушки, влагонабухание (б) и твердость (в) пленки алкидной эмали

Стружку от станка нельзя убирать руками, для этого используют щетки и крючки.

Высоту укладки изделий в штабеля определяют исходя из устойчивости штабеля и удобства пользования. Максимальная высота штабелей – 1,5 м.

Все эксплуатируемое оборудование должно находиться в полной исправности. За его состоянием осуществляется постоянный контроль со стороны технического руководства.

При приемке из ремонта в акте необходимо оговорить наличие на станке всех оградительных устройств и их исправность. Работа на неисправных станках и с неисправными ограждениями запрещается.

Станочники должны работать в хорошо застегнутой одежде. Волосы, особенно у женщин, должны быть закрыты головным убором (фуражкой, косынкой, беретом, сеткой и др.).

При обработке пруткового материала на револьверных станках и токарных автоматах выступающие за шпиндель части прутков ограждаются. Зачистка деталей наждачным полотном, зажимаемым руками, запрещается.

Необходимо следить за надежностью крепления заготовок (деталей), которое во многом зависит от состояния центров и центровых отверстий и соответствия центров выполняемой работе. При работе с изношенными центрами и неверно выполненными центровыми отверстиями обрабатываемая заготовка под действием сил резания может быть вырвана из центров.

Правку шлифовальных кругов осуществляют алмазами, алмазно-металлическими карандашами или алмазозаменителями (металлическими звездочками, кругами, брусками из карбида кремния или дисками). Правка кругов зубилом или каким-либо другим слесарным инструментом недопустима. Запрещается также при обработке деталей шлифовальными кругами применять рычаги для увеличения давления на круг. При установке на шпинделе шлифовального станка двух кругов их диаметры не должны отличаться более чем на 10%. Для работы можно использовать только испытанные на прочность круги; резцы, фрезы и другой режущий инструмент должен быть надежно закреплен.

Перед началом работы необходимо проверить станок на холостом ходу и только затем надежно закрепить заготовку и приступить к ее обработке.

Запрещается облокачиваться или опираться на станок, класть на него инструменты, заготовки и готовые изделия.

При обработке древесных материалов на круглопильных станках для продольной распиловки, рейсмусовых, четырехсторонних продольно-фрезерных (строгальных) и некоторых других станках большую опасность представляет обратный выброс из станка заготовок или обрезков. Поэтому станки должны быть снабжены противовыбрасывающими устройствами, а станочник при подаче заготовок должен находиться сбоку от места подачи.

Лезвийный инструмент должен быть тщательно и правильно заточен, а пилы и фрезы правильно разведены и защищены кожухами от случайного прикосновения.

При обработке древесных материалов и пластиков образуется много пыли. Рабочие места должны быть снабжены приточно-вытяжной или вытяжной вентиляцией. Из-за высокой температуры резания также выделяются ядовитые газы, особенно при обработке пластиков. В этих случаях возможно применение респираторов.

Образовавшиеся в результате обработки материалов стружку и опилки необходимо регулярно убирать с рабочего места.

Ленточные пилы для распиливания металла ограждают по всей длине ленты прочными полосами или бугелями.

Верстаки из металла и дерева для слесарных работ должны иметь жесткую и прочную конструкцию и быть достаточно массивными, чтобы не качаться и не вибрировать при работе на них. Верхнюю крышку верстака делают из хорошо пригнанных досок толщиной 40...50 мм, которые обивают листовым железом. Ширина двухсторонних верстаков 1,2...1,5 м. В середине верстака предусматривают сетку высотой 0,8 м для предохранения рабочих от ранения отлетающими при рубке кусочками металла. Ширина односторонних верстаков 0,6...0,8 м. С точки зрения безопасности предпочтительнее одноместные верстаки, но для экономии площади ремонтные производства часто оборудуют многоместными верстаками. Высота верстаков должна быть такой, чтобы губки тисков находились на уровне локтя работающего.

Стеллажи для хранения деталей должны иметь небольшой уклон полок внутрь и быть удобными по высоте для укладки деталей.

Пол на рабочем месте слесаря оборудуют решетчатым настилом с расстоянием между планками 25...30 мм.

Поражение электрическим током может произойти в случае прикосновения к металлическим частям оборудования, которые из-за некачественной изоляции электропроводки или ненадежного заземления могут оказаться под напряжением.

В сухих помещениях опасным для человека считается напряжение выше 36 В. Смертельной является сила тока 0,1 А, а ток 0,05 А вызывает судорожное сокращение мышц, не позволяющее человеку оторваться от источника поражающего напряжения.

Для предупреждения поражения работающих электрическим током необходимо предусмотреть надежное заземление всех частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением, осуществить качественную изоляцию соединительных проводов и оградить все доступные для прикосновения токоведущие части оборудования.

В случае перерыва в подаче электрического тока или выхода из строя одной фазы все электроприборы и электродвигатели должны быть немедленно выключены.

При загорании проводов или электроприборов следует немедленно их обесточить и гасить сухим углекислотным огнетушителем и покрывалом из асбеста. Применять воду запрещается.

Искры статического электричества, возникающие при трении, дроблении, перемешивании порошков, при переливании жидкостей, могут быть источником пожара и взрыва. Для отвода статического электричества все металлические части аппаратов должны быть заземлены.

При поражении электрическим током необходимо отключить прибор или оторвать провод от человека нетокопроводящим предметом (палкой), проверить пульс пострадавшего и приступить в случае необходимости к искусственному дыханию, сообщить о случившемся в медпункт.

При получении травмы на производстве пострадавшему должна быть немедленно оказана медицинская помощь. Первая помощь, оказываемая на производстве, заключается в остановке кровотечения, перевязке раны или ожога, освобождения пострадавшего от действия электрического тока, проведении искусственного дыхания и др. В аптечке первой помощи на каждом участке или в каждой бригаде должны быть йод, бинты, нашатырный спирт, марганцово-кислый калий, жгут и др.

При воспалении слизистой оболочки глаз следует наложить на глаза повязку (вату), смоченную в холодной воде или в 2%-ном растворе борной кислоты и перевести пострадавшего в темное помещение.

Первая помощь при ожогах заключается в смазывании обожженного участка спиртом или раствором марганцово-кислого калия с последующим наложением повязки с любым несоленым жиром. При тяжелых ожогах одежду и обувь нужно снимать осторожно, лучше их разрезать; после наложения повязки пострадавшего необходимо отправить в больницу.

При отравлении ядовитыми газами первая помощь заключается в удалении пострадавшего из загазованного помещения. При отравлении ядовитыми газами появляется головная боль, головокружение, тошнота, рвота, теряется сознание. В этих случаях пострадавшего укладывают на свежем воздухе, расстегивают одежду, дают нюхать нашатырный спирт, растирают кожу, дают подышать кислородом и при необходимости делают искусственное дыхание. При отравлении свинцом и его соединениями во рту появляется металлический привкус, язык приобретает беловатую окраску. При отравлении свинцом промывают желудок 1%-ным раствором английской или глауберовой соли.

При обработке пластмасс и древесины возникает возможность появления пожара или взрыва, которая определяется как факторами присутствия легковоспламеняющихся материалов (стружки, опилок, лаков, красок и др.), так и несоблюдением норм пожаробезопасности (несвоевременная уборка отходов, неисправность в работе вытяжной вентиляции, неисправности в работе электрооборудования и др.).

Для предупреждения возникновения пожаров запрещается курить на рабочих местах, пользоваться открытым огнем или выполнять операции, которые могут вызвать появление искр. При удалении стружки и опилок необходимо особенно тщательно сметать (или удалять пылесосом) их с элементов электрооборудования. Запрещается сушить спецодежду, лесоматериалы и другие воспламеняющиеся предметы на приборах отопления, производственных и отопительных печах.

Рабочие места, где имеется повышенная опасность возникновения пожара, должны быть снабжены огнетушителями, ящиками с песком и емкостями с водой.

Бывшие в употреблении обтирочные материалы, концы, тряпки и т.п., пропитанные горючими веществами, необходимо складывать в специальные металлические ящики с крышками.

Смазочные материалы, горючие жидкости, химикаты должны храниться в специальных изолированных помещениях или металлических ящиках и шкафах.

Соблюдение требований техники безопасности труда является обязанностью каждого рабочего. Таким образом, рациональная организация рабочих мест, введение передовой технологии, соблюдение правил трудового распорядка, соблюдение правил техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной безопасности позволят добиться на предприятиях работы без травматизма.

## 16.2. Техника безопасности при химической и гальванической обработке материалов

Основные процессы химической и электрохимической обработки осуществляются в ваннах, заполненных различными растворами кислот, щелочей, солей и их смесями. Технологический процесс сопровождается выделениями в воздушную среду аэрозолей серной и соляной кислот, едких щелочей, оксида азота, паров азотной и соляной кислот, цианистого водорода и других вредных веществ.

Такие операции, как шлифование, полирование, гидropескоструйная и дробеструйная обработка, галтовка, гарцовка, сопровождаются выделением пыли.

Нормализация воздушной среды в цехах гальванопокрытий может быть достигнута путем использования технологических мероприятий и рационального применения вентиляции. Так, укрытие поверхностей растворов в ваннах пластмассовыми шариками или пеной позволяет существенно снизить выделение вредных веществ с поверхности растворов и сократить расход вентиляционного воздуха.

Высокая токсичность выделяющихся вредных веществ вызывает необходимость создания устройств местной вытяжной вентиляции от большинства ванн травления и гальванопокрытий.

Наиболее широкое применение в современных цехах находят местные вытяжные устройства типа бортовых отсосов. При ширине ванн более 1,2 м следует применять отсосы, активированные приточными струями. При этом повышается эффективность отсоса и требуются значительно меньшие расходы воздуха. Рекомендуемые скорости всасывания воздуха приведены в табл. 91.

Таблица 91

### Рекомендуемые скорости всасывания воздуха

Выполняемая операция	Вредные выделения	Скорость всасывания, м/с
<i>Термическая обработка</i>		
Закалка и отпуск в масляной ванне	Пары масла и продукты его разложения	0,3
Закалка в селитровой ванне при температуре 400...700°C	Аэрозоль селитры, тепло	0,3
Закалка в соляной ванне при 350...1100°C	Аэрозоль соли, тепло	0,5
Свинцевание при 400°C	Пары и аэрозоль свинца	1,5
Цианирование в солях при 800...900°C	Пары и аэрозоль свинца	1,5
<i>Гальваническая обработка металлов</i>		
Кадмирование цианистое или серебрение, меднение цианистое	Пары синильной кислоты	1,5
Обезжиривание: бензином	Пары бензина	0,5
хлорированными углеводородами	Пары углеводородов	0,7
электролитическое травление:	Аэрозоли щелочей	0,5
азотной кислотой	Пары азотной кислоты	1,0
соляной кислотой	Пары хлористого водорода	0,7
Хромирование	Аэрозоли ангидрида хромовой кислоты	1,5
Цинкование цианистое	Пары синильной кислоты	1,5
<i>Окончание табл. 91</i>		
Выполняемая операция	Вредные выделения	Скорость всасывания, м/с
<i>Другие операции</i>		
Пескоструйная очистка	Силикатная пыль	1,5
Металлизация напылением	Аэрозоли металлов	1,5

Пайка свинцом	Пары и аэрозоли свинца	0,5...0,7
Операции с особо токсичными веществами	Бериллий, теллур, радиоактивные вещества и др.	2...3
Расфасовка сыпучих материалов, смешивание	Пыль	0,5...1,2

Для улавливания вредных веществ, выделяющихся с поверхности обрабатываемых деталей при выемке их из ванны, применяются отсасывающие панели, установленные на уровне, на котором подвешены вынутые из ванны детали.

При больших габаритных размерах обрабатываемых предметов, когда ванны обслуживаются мостовыми кранами, удаление выделяющихся паров у мест их образования становится затруднительным. В этом случае применяют общеобменную вентиляцию с удалением загрязненного воздуха из верхней зоны крышными вентиляторами.

При приточно-вытяжной вентиляции объем приточного воздуха должен быть меньше вытяжки из ванного отделения на 5%, если оно примыкает к помещениям, не имеющим выделений вредных веществ, и сообщается с ними дверьми или другими проемами. В случае, когда это количество воздуха в смежном помещении больше, чем однократный воздухообмен, необходимо предусматривать принудительную подачу воздуха в смежное помещение из расчета компенсации 5% расчетного воздухообмена в гальваническом или травильном отделении.

Приготовление растворов для травления поверхности металлов и полимеров связано с использованием едких веществ, поэтому рабочий обязан пользоваться предохранительными очками, резиновыми перчатками, сапогами и прорезиненными передниками.

При приготовлении растворов серной кислоты необходимо приливать кислоту к воде тонкой струей при непрерывном перемешивании, чтобы не было местного перегрева и выброса кислоты.

При поражении слизистых оболочек или кожи кислотами рекомендуется промывание водой и 2...3%-ным раствором пищевой соды, при поражении щелочами – обильное промывание водой и 1...2%-ным раствором борной кислоты.

Подготовку металлического натрия для натрийнафталинового комплекса во избежание ожога следует проводить в фарфоровой ступке под слоем керосина ножом из цветного металла. В случае попадания металлического натрия на кожу следует промыть пораженное место большим ко-

личеством воды, обработать 5%-ным раствором борной кислоты и смазать мазью от ожогов.

Рабочие, использующие кислоты, щелочи, купоросное масло, каустическую соду и другие аналогичные жидкости, во избежание ожогов глаз и тела должны работать в предохранительных очках, перчатках (рукавицах) и соответствующей специальной одежде. При работе с летучими растворителями надевают респираторы (РПГ-67, РУ-60М, «Лепесток», «Снежок»), а при работе с токсичными веществами – противогазы (ЗПС-80, ЗП2-60, ЗН4-72, ЗН8-72 и др.), спецодежду и обувь. Защита кожного покрова осуществляется нанесением на кожу защитных паст (ИЭР-2, С 42-95-72, Чумакова) и кремов (ПМС-200, ПМС-400, «Красная роза», «Силиконовый»). После работы и снятия защитных мазей и паст рекомендуются препараты «Кристалл» и «Прогресс».

Все работающие должны знать составы, с которыми им приходится контактировать, а также признаки поражения химическими веществами, действия и порядок применения различных противоядий, правила оказания первой помощи.

### 16.3. Техника безопасности при сварке и пайке материалов

К электросварочным и наплавочным работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и специальное обучение, имеющие удостоверение на право выполнения указанных работ и группу по электробезопасности не ниже второй.

Все сварщики, выполняющие дуговую и газовую сварку, должны ежегодно проходить проверку знаний на своих предприятиях с продлением срока действия удостоверения на право выполнения сварочных работ.

*Дуговая сварка.* Правильное и рациональное размещение рабочего места сварщика имеет большое значение в повышении безопасности сварочных работ, производительности труда и качества сварки. В целях защиты сварщиков, подсобных и вспомогательных рабочих от лучистой энергии горящих поблизости сварочных дуг в постоянных местах сварки для каждого сварщика устраивают отдельные кабины площадью [2x2 или 2x3] м (не считая площади, занятой оборудованием) и высотой 1,8...2 м. Для улучшения вентиляции стены кабины не доводят до пола на 15...20 см. Материалом стен кабин может служить тонкое железо, фанера, брезент, покрытие огнестойким составом, или другие огнестойкие материала-

лы. Дверной проем, как правило, закрывается брезентовым занавесом на кольцах. Стены окрашивают в светлые матовые тона.

При ручной дуговой сварке в кабине сварщика устанавливают сварочный стол или кондуктор, настенную полку для мелкого инструмента и приспособлений, стул со спинкой и другое оборудование. Кабина оборудуется местной вентиляцией.

Для предохранения глаз и лица сварщика от вредного воздействия дуги необходимо использовать щитки или маски со специальными светофильтрами в зависимости от силы сварочного тока: Э-1 при силе тока до 75 А, Э-2 при 75...200 А, Э-3 – 200...400 А, а также ЭС-100, ЭС-300, ЭС-500.

В целях исключения попадания под напряжение при замене электродов сварщик обязан пользоваться сухими брезентовыми рукавицами, которые одновременно защищают его руки от расплавленного металла и лучистой энергии дуги.

Большое значение для безопасности сварщика имеет проверка правильности подведения проводов к сварочным постам и оборудованию.

Прокладка проводов к сварочным машинам по полу или земле, а также другим способом, при котором провода не защищены изоляцией и доступны для прикосновения, не разрешается. Ток от сварочных агрегатов к месту сварки передается гибкими изолированными проводами, чаще всего марки ПРГД.

Перед началом работ электросварщик обязан надеть специальную одежду – брезентовый костюм, ботинки и головной убор.

При сварке и наплавке деталей под флюсом режим работы должен быть таким, чтобы сварочная дуга была полностью закрыта слоем флюса. Убирают флюс флюсоотсосами, совками и скребками.

Сварочную дугу при вибродуговой наплавке и сварке закрывают специальными устройствами, в которых должно быть предусмотрено смотровое окно со светофильтром нужной плотности.

*Газовая сварка.* При выполнении газовой сварки соблюдаются те же правила безопасности, что и при дуговой. Однако при газовой сварке необходимо следить, чтобы в радиусе 5 м от рабочего места отсутствовали горючие материалы. Сварку емкостей разрешается выполнять лишь при удалении из них следов легковоспламеняющихся веществ и при открытых люках и пробках.

В местах хранения и вскрытия барабанов с карбидом кальция запрещено курить и применять инструмент, дающий при ударе искры. Барабаны с карбидом хранят в сухих прохладных помещениях. Вскрытие барабана разрешается только латунным ножом.

Ацетилен при соприкосновении с медью образует взрывчатые вещества, поэтому применять медные инструменты при вскрытии карбида и медные припои при ремонте ацетиленовой аппаратуры нельзя. Ацетиленовые генераторы располагают на расстоянии не менее 10 м от открытого огня.

Баллоны с газами хранят и транспортируют только с навинченными на их горловины предохранительными колпаками и заглушками на боковых штуцерах вентилей. При транспортировании баллонов не допускаются толчки и удары. Переносить баллоны на руках запрещается. К месту сварочных работ баллоны доставляют на специальных тележках или носилках.

Баллоны с газом устанавливают в помещении не ближе чем на 1 м от радиаторов отопления и не ближе чем на 10 м – от горелок и других источников тепла с открытым огнем.

Запрещено хранить баллоны с кислородом в одном помещении с баллонами горючего газа, с барабанами карбида кальция, лаками, маслами и красками.

При обнаружении на баллоне или вентиле следов жира или масла баллон немедленно возвращают на склад. Соседство масла и кислорода может привести к взрыву.

В целях безопасности в обращении кислородные баллоны окрашивают в синий цвет, ацетиленовые – в белый, а баллоны с пропан-бутановыми смесями – в красный.

При газовой сварке и резке металлов сварочное пламя вредно действует на сетчатую и сосудистую оболочку глаз. Опасность для глаз представляют также брызги расплавленного металла и шлака. Поэтому газосварщики должны работать в защитных очках со специальными светофильтрами, выбираемыми в зависимости от мощности сварочного пламени. Для подсобных рабочих рекомендуются очки со светофильтрами марки Г-1, для газосварщиков и газорезчиков, работающих с аппаратурой средней мощности, – светофильтры Г-2, а при работе с более мощной аппаратурой – светофильтры Г-3. Очки должны плотно прилегать к лицу. От брызг расплавленного металла и искр светофильтр рекомендуется защищать

простым сменным стеклом. При сварке цветных металлов, латуни и свинца ее необходимо вести в респираторах.

Во избежание ожогов от брызг расплавленного металла брюки необходимо носить навыпуск, куртку – застегивать на все пуговицы. Для сварочных работ используются костюмы из брезентовой парусины с комбинированной пропиткой согласно ГОСТу. Работать можно только в целой, сухой, непромасленной спецодежде. Карманы куртки закрывают клапанами, концы рукавов завязывают тесемками. После работы спецодежду необходимо просушивать.

По окончании работы воду из генераторов и водяных затворов следует сливать. После окончания работы необходимо полностью разрядить генератор, вынуть загрузочное устройство, слить из промывателя ил, все части аппарата тщательно промыть водой и очистить от налетов извести. Очистку от ила можно производить только латунными скребками.

Не реже одного раза в месяц генераторы и водяные затворы разбирают для капитальной очистки.

Карбид кальция необходимо хранить в сухих, хорошо проветриваемых помещениях. Склады должны быть обеспечены огнетушителями и ящиками с песком. Барабаны с карбидом кальция разрешается хранить как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях. Вскрывать барабаны следует латунным зубилом и деревянным молотком или специальным ножом.

Во время работы шланги необходимо оберегать от соприкосновения с токоведущими проводами, нагретыми предметами, масляными и жировыми материалами, от попадания на них искр и брызг расплавленного металла. Шланги, проложенные в проходах и проездах, необходимо подвешивать или защищать специальными коробами. В случае возгорания шланга его следует быстро перегнуть возле горящего места со стороны редуктора или генератора, закрыть вентиль редуктора или кран на газоподводящей трубке водяного затвора.

Перед зажиганием горелки или резака необходимо проверить, плотны ли соединения и не засорено ли сопло наконечника. При зажигании сначала открывают кислородный вентиль на горелке или резаке, а потом – ацетиленовый; при тушении – наоборот. Около рабочего места необходимо иметь ведро с чистой водой для охлаждения перегреваемых мундштуков горелки или резака.

При обратном ударе пламени необходимо немедленно перекрыть ацетиленовый вентиль горелки или резака, а затем кислородный. После каждого обратного удара горелку или резак необходимо охладить в чистой холодной воде, а выходные каналы мундштуков и наконечников прочистить латунными и деревянными иглами. В случае неисправности кислородного или ацетиленового вентиля горелку или резак следует сдать в ремонт.

При выполнении газосварочных работ необходимо соблюдать правила пожарной безопасности. Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении огневых работ несет начальник цеха, участка, заведующий мастерской или лабораторией, где будут проводиться огневые работы. Допускать к проведению огневых работ лиц, не прошедших техминимума по правилам пожарной безопасности, запрещается. Газосварщики и газорезчики должны иметь специальные квалификационные удостоверения на право допуска их к выполнению огневых работ.

Место проведения огневых работ необходимо обеспечить средствами пожаротушения – ящиками с песком, огнетушителями, лопатами, ведрами и др. Все рабочие, занятые на огневых работах, должны уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения. В помещениях газопламенной обработки металлов запрещается хранение легковоспламеняющихся и горючих материалов.

При производстве паяльных работ на работающих могут воздействовать вредные и опасные факторы, к которым относятся: повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение источника нагрева и нагретой детали; электромагнитные поля, ионизирующие излучения, шум, ультразвук.

При пайке, напылении, выплавке припоев в окружающий воздух могут поступать аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы оксиды различных металлов (марганца, хрома, никеля, меди, титана, алюминия, железа) и другие соединения, а также токсичные газы (оксид углерода, озон, фтористые, хлористые, бромистые соединения, оксиды азота и др.). В составе аэрозолей могут быть составляющие флюсов и припоев, содержащие свинец, кадмий, цинк, олово, углеводороды. Воздействие на организм выделяющихся вредных веществ может явиться причиной заболеваний и отравлений.

Для снижения концентрации вредных веществ на рабочих местах паяльщиков необходимо применять местные отсосы. Спецодежда, спец-

обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания, глаз и головы должны выдаваться работающим в соответствии с условиями выполняемой работы и типовыми нормами. Для защиты кожи рук от воздействия sensibilizing веществ, входящих в состав флюсов, необходимо применять защитные мази и пасты типа «Миколан», ИЭР-1, ХИОТ-14, казеиновую пасту и биологические перчатки. В целях пожаро- и взрывобезопасности концентрация легковоспламеняющихся и горючих веществ не должна превышать 50% нижнего предела взрываемости.

#### **16.4. Техника безопасности при обработке материалов давлением и прессованием**

Воздух рабочей зоны цехов обработки металлов давлением характеризуется отклонениями от состава, наиболее благоприятного для дыхания человека, так как проводимые в них технологические процессы сопровождаются выделением в воздух вредных веществ: пыль оксидов (при прокатке), газы – продукты сгорания смазки и неполного сгорания топлива в нагревательных печах (при прокатке, ковке, штамповке). Вследствие удаления окалины, проведения разделительных и формовочных операций наблюдается появление в воздухе мелких металлических частиц. Газы образуют с воздухом смеси, а твердые частицы – аэрозоли.

В производстве работающие находятся рядом с нагревательными устройствами, нагретыми до высоких температур заготовками и штампами, подвергаясь тепловому облучению от этих источников. При прокатке возможны ожоги и повреждения отлетающей окалиной и мелкими частицами металла.

Наметившаяся тенденция увеличения производительности, роста мощностей и быстроходности современного технологического оборудования сопровождается нежелательным побочным эффектом – усилением вибраций, а машины обработки металлов давлением и без этого относятся к виброактивным.

В цехах имеются и факторы, вызывающие шумы механического происхождения, – это ударные процессы формования. В свою очередь выпуск пара или сжатого воздуха из цилиндров молотов можно рассматривать как аэродинамические источники шума.

Одним из опаснейших производственных факторов обработки давлением является возможный захват рук и одежды движущимися частями машин.

На производстве прежде всего необходимо обеспечить электробезопасность. Заземление машин проверяется очень часто, так как оно может быть нарушено в связи с вибрациями. Широкое применение манипуляторов, механических рук, ПР остро поставило вопрос тщательной изоляции токопроводящих коммуникаций путем установки ограждений, а также размещения их на соответствующей высоте.

Одним из основных условий здорового и производительного труда рабочих является создание системы вентиляции, направленной на обеспечение чистоты воздуха в рабочей зоне помещений.

Наиболее эффективным способом защиты от теплоты в цехах являются экранирование и водяные завесы у рабочих окон нагревательных устройств.

При переработке пластмасс методом литья под давлением, методом экструзии и методом прессования кроме вредных воздействий, характерных для обработки металлов, добавляются дополнительные факторы: частицы пыли пластмассового производства, окисляясь, могут разогреваться до температуры воспламенения, что может привести к самовоспламенению, а также взрыву пыли; выделение особо токсичных веществ (хлорированные углеводороды, соединения свинца, фенолы, формальдегид, окись углерода), вызывающих тяжелые отравления и изменения в нервной системе, крови, сосудах и печени; накопление статических зарядов как на металлических частях оборудования, так и на поверхностях перерабатываемых пластмасс, что приводит к появлению искровых разрядов, являющихся источниками воспламенения горючих веществ, пожаров, взрывов.

В общем случае при обработке материалов давлением и прессованием опасные и вредные факторы можно подразделить на:

- механические, характеризующиеся кинетической и потенциальной энергией и механическим влиянием на человека; к ним относятся: кинетическая энергия движущихся и вращающихся элементов, потенциальная энергия тел (в том числе людей, находящихся на высоте), шумы (инфразвук, ультразвук), вибрации (общие и локальные), статическая нагрузка, примеси нетоксичной пыли в воздухе и др.;

- термические, характеризующиеся тепловой энергией и аномальной температурой, к ним относятся: температура нагретых и охлажденных



предметов и поверхностей, температура открытого огня, а также пожара, химических реакций, влажность воздуха, его подвижность и др.;

- электрические (электрический ток, электростатическое электричество, ионизирующие излучения, ионизация воздуха и др.);
- электромагнитные (включая весь спектр излучения);
- химические: едкие, ядовитые, огне- и взрывоопасные вещества, нарушение газового состава воздуха и др.;
- психофизиологические: утомление, стресс, неудобство рабочего места и др.

Все эти факторы могут привести к аварии, пожару, взрыву, травматизму, общему и профессиональному заболеванию, нервно-психическим и физическим перегрузкам.

В литейных цехах в целях борьбы с запыленностью, газо- и парообразованием все их источники изолируются и снабжаются местной вытяжной вентиляцией. Устраивается также механическая общеобменная приточно-вытяжная либо приточная вентиляция, совмещаемая с естественной аэрацией через фонари и оконные проемы цехов. Около плавильных печей монтируются индивидуальные вытяжные зонты.

Прогрессивным мероприятием по улучшению условий труда является создание специальных тоннелей, в которых обеспечиваются свободные проходы; устанавливаются конвейеры и осуществляется приточно-вытяжная вентиляция.

Для уменьшения воздействия на рабочих теплоты в литейных цехах широко применяются установки воздушного душирования рабочих мест, а также местной вытяжной вентиляции. Используются различные теплоизоляционные устройства плавильных печей и металлических форм.

С целью снижения шума и вибраций в литейном производстве пневматические машины заменяют гидравлическими; выхлопные клапаны машин выводят за пределы производственных помещений; устраивают виброизолирующие фундаменты и прокладки; применяют специальные глушители и амортизаторы. В необходимых случаях используют средства индивидуальной защиты.

Существует несколько методов борьбы с вибрациями: замена кулачковых и кривошипных механизмов равномерно вращающимися, а также механизмами с гидроприводом; перевод процессов ковки и штамповки с молотов и кривошипных прессов на гидравлические прессы. Для обеспечения динамического гашения вибраций оборудование кузнечно-прессовых

цехов устанавливается на фундаментах с амортизаторами подвесного типа или в виде эластичных опор. Это способствует защите окружающих зданий от вибраций, повышает точность обработки на металлорежущем оборудовании.

Проводятся мероприятия по борьбе с шумом: установка более спокойного, неударного оборудования; замена возвратно-поступательного движения механизмов вращательным; применение металлополимерных зубчатых передач и др. Четко устанавливается опасная зона в пространстве вокруг движущихся элементов.

Решение важной задачи современного машиностроения по проведению комплексной механизации и автоматизации производства приводит к введению дистанционного управления оборудованием – как единичным, так и в роботизированных комплексах. Таким образом, появилась возможность вывода оператора из опасной зоны.

В цехах обработки металлов давлением с целью создания нормальных метеорологических условий обеспечивается интенсивная аэрация зданий. Отходящие газы, как и в металлургических цехах, очищаются различными методами. Вода в этих цехах широко используется для гидрообеспыливания, охлаждения различных узлов машин и теплоизоляции нагревательных печей. Следовательно, обязательно создаются водоочистительные сооружения. Кроме того, могут применяться различные охлаждающие эмульсии, например, для станов холодной прокатки тонких листов. Для эмульсий устраивают специальную канализационную систему с соответствующими очистными устройствами.

Основные меры защиты от поражения электрическим током при проведении работ в литейных цехах следующие: токопроводящие части к оборудованию должны быть недоступны для случайного прикосновения, что достигается их изоляцией, размещением на недоступных высотах и установкой ограждений; устранение возможности поражения при появлении напряжения на корпусах оборудования, для чего обеспечивается двойная изоляция или устанавливается электрозащита; организация безопасной эксплуатации оборудования и инструмента. О замеченных неисправностях в оборудовании, инструменте и электропроводке следует немедленно сообщить специалистам.

Кроме общетехнических и организационных мер по технике безопасности применяют также индивидуальные средства защиты, особенно при обработке пластмасс давлением и прессованием (см. п. 16.2).

## 16.5. Техника безопасности при склеивании и окраске

При работе с клеями следует соблюдать максимальную осторожность; неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами, аппаратами и свойствами веществ, с которыми ведутся работы, могут повлечь за собой несчастный случай.

На рабочем месте разрешается выполнять только ту работу, которая поручена и разъяснена. Запрещается отвлекаться посторонними делами, принимать пищу, пить воду, курить, использовать химическую посуду как пищевую. Категорически запрещается пробовать на вкус и нюхать химические реактивы. Это вызвано тем, что применяемые для клеев компоненты токсичны, взрыво- и пожароопасны.

Токсичность клеев на основе фенолоформальдегидных олигомеров определяется концентрацией свободного фенола и паров формальдегида, которые выделяются в воздух при нанесении и отверждении клеевой композиции и раздражают слизистые оболочки глаз и кожи.

При контакте с жидкими эпоксидными смолами возможно возникновение дерматита (покраснение кожных покровов, зуд), который проходит после прекращения контакта со смолой. Кроме того, при нагревании эпоксидных смол из них выделяются эпихлоргидрин и толуол, которые оказывают вредное влияние на нервную систему и печень. Еще большую опасность для здоровья представляют отвердители, применяемые для эпоксидных клеев. Ангидриды дикарбоновых кислот (малеиновый, фталевый и др.) вызывают раздражение слизистых оболочек верхних дыхательных путей и глаз (слезотечение, покраснение, отек, гнойное воспаление). При контакте с ними на коже наблюдается покраснение и образование пузырей, напоминающих ожог. Наименьшей токсичностью из них обладает метилтетрагидрофталевоый ангидрид.

Опасность воздействия отвердителей аминного типа заключается в их высокой токсичности, предельно допустимые концентрации (ПДК) для них составляют 1...2 мг/м<sup>3</sup>. Полиэтиленполиамин, этилендиамин, гексаметилендиамин и другие амины вызывают изменения в центральной нервной системе, легких и печени. При попадании на кожу появляется раздражение, вплоть до образования язвенного дерматита, а на слизистых оболочках раздражение сопровождается гнойным воспалением.

Очень большой токсичностью обладают полиуретановые клеи, основу которых составляет толуиленидиизоцианат (продукт 102-Т). Работа с этим веществом требует особой тщательности. При случайном попадании его на кожу необходимо протереть это место ватным тампоном, смоченным этилцеллозольвом или спиртом, после этого кожу промывают водой с мылом. Применение для удаления продукта 102-Т других органических растворителей (ацетона, этилацетата) нежелательно, они сами представляют опасность, так как проникают через кожу в кровь. Для удаления пролитого продукта 102-Т с пола его засыпают опилками или песком для впитывания, после их удаления пол промывают раствором аммиака и горячей водой с мылом.

Для некоторых клеев (марок ЛН, ТМ-60, ПММ) в качестве растворителя применяется дихлорэтан. Это ядовитая жидкость с характерным сладковатым запахом. Оказывает наркотическое действие и вызывает изменения в печени, почках и других органах, всасывается через кожу.

Полиэфирные клеи обычно содержат летучие мономеры: стирол, метилметакрилат и другие, участвующие в процессе сополимеризации. Эти мономеры пожароопасны и весьма токсичны, они раздражающе действуют на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. Особую осторожность следует проявлять при работе с инициаторами: они могут взорваться в результате нагрева или удара, нельзя также смешивать инициатор и ускоритель. Вначале следует смешать инициатор со смолой, а затем добавить ускоритель; или инициатор смешать с одной порцией смолы, а ускоритель – с другой, и потом обе порции перемешать вместе. Хранить перекиси следует без доступа воздуха, оберегая от прямого солнечного облучения и нагревания.

Все работы с веществами, обладающими высокой токсичностью, следует проводить в специально оборудованных помещениях при работающей вытяжной вентиляции, скорость движения воздуха в открытых створках вытяжных шкафов и местных отсосах должна быть не менее 0,7 м/с. В случае непредвиденного выключения вентиляционной установки работу следует по возможности прекратить, надеть проверенный индивидуальный противогаз и сообщить мастеру или начальнику смены. Все работы с вредными веществами проводить в застегнутом халате, пользоваться резиновыми перчатками и прорезиненным фартуком, в ряде случаев надевать защитные очки или маски.

Для выполнения операций, сопровождающихся образованием пыли в воздухе (введение порошкообразных наполнителей и отвердителей, пескоструйная обработка), рабочий должен, кроме того, пользоваться еще и противопылевым респиратором и надевать на голову шапочку или косынку.

Органические растворители, применяемые для клеев, помимо токсичности еще легко воспламеняются и образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Пожар и взрыв могут произойти при обезжиривании деталей легковоспламеняющимися жидкостями – ЛВЖ (бензин, ацетон, спирт), при приготовлении клеев, натрийнафталинового комплекса и при подготовке наполнителя – алюминиевой пудры.

Рабочие, непосредственно соприкасающиеся с клеевой композицией, должны быть ознакомлены с пожароопасностью и ядовитостью компонентов, входящих в состав клея.

Самовоспламенение ЛВЖ может происходить не только после нагрева их до определенной температуры в открытом сосуде, но и в случае, если эти жидкости попадут на горячие поверхности. Поэтому для предотвращения пожара и взрыва запрещается хранить и использовать в работе ЛВЖ вблизи огня и нагревательных приборов. Хранить и разливать ЛВЖ необходимо в изолированных помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении.

В случае воспламенения горючей жидкости необходимо выключить нагревательные приборы и вентиляцию, руководствуясь противопожарной инструкцией, приступить к тушению пожара. Подходы к противопожарному инвентарю: ящикам с песком, водопроводным кранам, огнетушителям, асбестовому одеялу и электрошитами – должны быть всегда свободными.

В табл. 92 приведены свойства веществ, наиболее часто встречающихся в клеевых композициях. По температурам кипения и плавления, по плотности можно судить о физическом состоянии применяемых веществ. Температура воспламенения характеризует способность горючих веществ к самостоятельному горению. Это наименьшая температура, при которой вещество после воспламенения устойчиво горит. Температура самовоспламенения – это наименьшая температура вещества, при которой возникает горение. По предельно допустимой концентрации (ПДК) определяют наибольшую безопасную концентрацию вредного вещества, которая допускается в воздухе рабочих помещений. В графе «Дополнительные све-

дения» приведены наименьшие концентрации, при которых наблюдается нарушение жизнедеятельности организма.

Необходимо помнить, что подготовка поверхности склеиваемых полимерных материалов обычно связана с их зашкуриванием, поэтому предельно допустимая концентрация (в мг/м<sup>3</sup>) пыли различных пластмасс в воздухе рабочей зоны помещения не должна превышать: для полиэтилена, полипропилена и фторопласта – 10, для поливинилхлорида, аминопласта и фенопласта – 6, для стеклопластиков – 4. Это вызвано тем, что при длительном воздействии на органы дыхания пыли различных полимерных материалов наблюдается поражение бронхов, легких, болезни печени, почек, изменения в нервной системе. Уборка запыленных участков и оборудования должна проводиться с помощью промышленных пылесосов или влажным способом не реже одного раза в смену.

Все рабочие, выполняющие лакокрасочные работы (маляры, шпаклевщики и др.), должны периодически проходить медицинское освидетельствование. Лица, не прошедшие освидетельствование, подростки до 18 лет, беременные женщины и кормящие матери к работам с лакокрасочными жидкостями не допускаются.

При нанесении лакокрасочных покрытий с помощью краскопультов, пистолетов-распылителей рабочие должны пользоваться очками и респираторами РМП-62. Запрещается проводить окраску деталей распыливанием и готовить лакокрасочные составы в общих производственных помещениях.

Транспортирование лакокрасочных материалов, ацетона и других растворителей должно производиться в герметично закрытой таре. Переносить растворители и легковоспламеняющиеся вещества в открытой или стеклянной таре запрещается.

При подготовке поверхностей под нанесение лаков и красок способами, при которых выделяется большое количество пыли, применяют очки и противопылевые респираторы «Лепесток», Ф-62Ш, У-2К или РУ-60М.

Особые меры предосторожности должны приниматься при соприкосновении с этилированным бензином, который содержит тетраэтилсвинец и ядовит. Загрязненные этилированным бензином цементно-бетонные и асфальтобетонные покрытия обезвреживают кашицей хлорной извести, смываемой водой через 15...20 мин после нанесения на загрязненные места. Для деревянных полов такую операцию продлевают дважды.

Обезвреживать этилированный бензин сухой хлорной известью запрещается. Загрязненные этилированным бензином обтирочные материалы, ветошь и опилки собирают в металлическую тару с плотными крышками, а затем сжигают с принятием определенных мер предосторожности.

Этилированный бензин нельзя использовать для освещения, а также для паяльных ламп, бензорезов, для чистки одежды, промывки деталей и других целей.

## 16.6. Охрана окружающей среды

К загрязнениям окружающей среды принято относить результаты жизнедеятельности человека, которые оказывают отрицательное воздействие как на самого человека, так и на полезные для него организмы и ресурсы неживой природы.

Развитие промышленности и освоение новых, более эффективных технологических процессов с целью повышения производительности труда обусловили широкое применение физических, химических и биологических методов воздействия на вещество. Это привело к возрастанию всевозможных производственных отходов, образующихся вместе с готовой продукцией в результате переработки разнообразных природных ресурсов и вызывающих загрязнение окружающей среды. Технологические процессы являются также источниками шума и вибрации.

Механические отходы – твердые частицы и предметы, запыляющие атмосферу и загрязняющие воду и почву. Химические отходы – газообразные, жидкие и твердые соединения и элементы, попадающие в атмосферу, почву и воду и вступающие во взаимодействие с окружающей средой. Биологические отходы – все виды организмов, появляющихся при участии человека, наносящие ему вред и загрязняющие окружающую среду.

Виды вредных проявлений энергии: тепловой; механической (вибрации, шум, ультразвук и др.); световой (видимая, ультрафиолетовая и инфракрасная часть спектра); электромагнитного поля; ионизирующего излучения и др.

В машиностроении и металлообработке наибольшее значение с точки зрения загрязнения воздушного бассейна имеют разнообразные пыли – взвешенные в воздухе частицы твердых веществ.

Производственными сточными водами называются воды, используемые промышленным предприятием и подлежащие очистке от различных примесей. К последним относятся эмульсии нерастворимых в воде жидкостей (в основном нефть и продукты ее переработки), находящихся во взвешенном состоянии, и суспензии – взвеси твердых частиц.

Производственные сточные воды подразделяются на условно чистые (оборотные) и грязные. К первым относятся воды, применяемые для охлаждения технологического оборудования. Эти воды охлаждаются в заводских прудах или градирнях, очищаются от механических загрязнений и масел и затем возвращаются в производство при ограниченной добавке свежей воды. Грязные сточные воды являются специфичными для каждого вида производства или цеха. Например, стоки гальванического цеха резко отличаются от стоков кузнечного или механического цехов предприятия.

Промышленные твердые отходы делятся на токсичные и нетоксичные. Основная масса твердых отходов машиностроения и металлообработки нетоксична (металлическая стружка, окалина, зола, отходы древесных материалов и т.п.). Примерами токсичных твердых отходов могут быть названы шламы гальванических цехов и травильных участков.

Промышленный шум большой интенсивности не только поражает органы слуха, но также оказывает общее отрицательное воздействие на организм человека, повышая утомляемость, рассеивая внимание, что может привести к снижению производительности труда, росту брака, травматизму и хроническим заболеваниям. Кроме того, повышенные вибрации могут привести к повышенному износу и разрушению станка и его механизмов.

Методами охраны окружающей среды от загрязнений отходами производства называют совокупность технических и организационных мероприятий, позволяющих свести к минимуму или исключить загрязнение окружающей среды и его вредное влияние. Методы борьбы с загрязнениями окружающей среды делятся на пассивные и активные. К пассивным относятся защитные методы, использование которых не связано с непосредственным воздействием на источники загрязнения. Среди таких методов наибольшее распространение находят выбор рационального размещения источников загрязнения, локализация загрязнений и их очистка перед выбросом в окружающую среду.

К активным относятся технологические и технические методы, связанные с совершенствованием существующих и разработкой новых технологических процессов, оборудования и оснастки в целях максимального снижения уровня или исключения загрязнения окружающей среды. Этими методами охрана окружающей среды решается более успешно, поэтому активным методам уделяется все большее внимание.

Ответственность за соблюдение санитарно-оздоровительных норм и осуществление мероприятий и мер по защите окружающей среды возлагается на местные органы власти и руководителей предприятий, а контроль за их выполнением осуществляют санитарно-эпидемиологические станции (СЭС) и санитарная милиция. Органам СЭС предоставлено право запрещать или временно приостанавливать эксплуатацию действующих объектов, отходы которых могут принести вред здоровью людей, окружающей среде. Предельно допустимые концентрации тех или иных веществ, содержащихся в воздухе, воде, почве строго регламентированы соответствующими стандартами. Все нормативные акты и постановления государства направлены не только на предотвращение загрязнений окружающей среды и устранение вредных факторов воздействия на природу, но и на улучшение состояния земель, вод, лесов, богатств растительного и животного мира.

Юридические требования охраны окружающей среды являются в равной степени обязательными как для предприятий, учреждений и организаций, так и для отдельных граждан независимо от занимаемой должности и выполняемой работы.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов О.В. и др. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. Алаи С.И. и др. Технология конструкционных материалов. М.: Просвещение. 1986. 302 с.
3. Алов А.А. Основы теории процессов сварки и пайки. М.: Машиностроение, 1984. 272 с.
4. Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение) / Пер. с нем.; Под ред. М.Е. Дрица. М.: Металлургия, 1989. 680 с.
5. Аппен А.А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. Л.: Химия, 1977. 381 с.
6. Бартл Д., Мудрох О. Технология химической и электрохимической обработки поверхностей. М.: Машиностроение, 1991. 712 с.
7. Белый В.А., Егоренков Н.И., Корецкая Л.С. Металлополимерные материалы и изделия. М.: Химия, 1979. 310 с.
8. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1968. Т. 1. 596 с.; Т. 2. 597 с.
9. Вигдорович А.И. и др. Древесные композиционные материалы в машиностроении. М.: Машиностроение, 1991. 236 с.
10. Власов А.Ф. Безопасность при работе на металлорежущих станках. М.: Машиностроение, 1987. 121 с.
11. Гопаенко В.Г. Способы производства порошковой продукции из алюминия и его сплавов. Л.: ЛДНТП, 1980. 20 с.
12. Гоц В.Л. и др. Методы окраски промышленных изделий. М.: Химия, 1995. 263 с.
13. Грановский Г.И. и др. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
14. Григорьев М.А. Материаловедение для столяров, плотников и паркетчиков. М.: Высшая школа, 1989. 223 с.
15. Грилихес С.Я. и др. Защитно-декоративные покрытия алюминия. Л.: ЛДНТП, 1990. 223 с.
16. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и пассивирование металлов. Л.: Машиностроение, 1987. 112 с.
17. Грилихес С.Я., Тихонов К.И. Электролитические и химические покрытия. Л.: Химия, 1990. 288 с.
18. Дриц М.Е. и др. Технология конструкционных материалов и материаловедение. М.: Высшая школа, 1990. 447 с.
19. Клоц М.У. Травление, полирование и пассивирование нержавеющей сталей. Л.: ЛДНТП, 1985. 23 с.
20. Клячкин Я.Л. Сварка цветных металлов и их сплавов. М.: Машиностроение, 1984. 335 с.
21. Кобаяши А. Обработка пластмасс резанием. М.: Машиностроение, 1984. 192 с.
22. Колачев Б.А. и др. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1992. 480 с.
23. Коротков В.И. Деревообрабатывающие станки. М.: Высшая школа, 1991. 239 с.
24. Корягин С.И. Несущая способность композиционных материалов. Калининград: Янтарный сказ, 1996. 301 с.
25. Корягин С.И., Розендент Б.Я. Стеклопластик в судоремонте. Калининград: Калинингр. книжн. изд-во, 1979. 111 с.
26. Кочергин К.А. Контактная сварка. Л.: Машиностроение, 1987. 240 с.
27. Краткий справочник паяльщика. М.: Машиностроение, 1991. 212 с.
28. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс / Пер. с нем. М.: Машиностроение, 1986. 432 с.
29. Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1990. 180 с.
30. Курилов П.Г., Рыбаулин В.Н. Производство конструкционных изделий из порошков на основе железа. М.: Металлургия, 1992. 128 с.
31. Лаворко П.К. Оксидные покрытия металлов. М.: Машгиз, 1993. 186 с.
32. Лернер П.С. и др. Токарное и фрезерное дело. М.: Просвещение, 1990. 207 с.
33. Манко Г.Г. Пайка и припои. Материалы, конструкции, технология и методы расчета. М.: Машиноведение, 1988. 323 с.
34. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. М.: Машиностроение. Т. 1. Цветные металлы и сплавы, 1967. 304 с.; Т. 2. Конструкционная сталь, 1987. 496 с.; Т. 3. Специальные стали и сплавы, 1988. 448 с.; Т. 4. Чугун, 1988. 248 с.
35. Машины для литья под давлением. М.: Машиностроение, 1993. 286 с.
36. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 480 с.
37. Москвитин М.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М.: Лесная промышленность, 1974. 321 с.
38. Мэнсон Дж., Скерлинг Л. Полимерные смеси и композиты / Пер. с англ.; Под ред. Г.Г. Бабаевского. М.: Химия, 1981. 736 с.

39. Нектасов С.С., Зильберман Г.М. Технология материалов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
40. Никитин Л.И. Охрана труда на деревообрабатывающих предприятиях. М.: Высшая школа, 1987. 240 с.
41. Обработка давлением авиационных материалов / Под ред. А.И. Колпашникова. М.: Машиностроение, 1988. 194 с.
42. Обработка давлением алюминиевых и жаропрочных сплавов: Сб. статей / Под ред. А.И. Колпашникова. М.: Машиностроение, 1987. 123 с.
43. Обработка конструкционных материалов резанием. М.: Машиностроение, 1987. 300 с.
44. Обработка материалов резанием / Под ред. С.В. Кривоухова. М.: Машиностроение, 1988. 627 с.
45. Обработка материалов резанием / Под ред. А.А. Панова. М.: Машиностроение, 1988. 736 с.
46. Поважук Г.М. Техника безопасности при сварочных работах. Киев: Высшая школа, 1986. 94 с.
47. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. 590 с.
48. Попов С.А. Шлифовальные работы. М.: Высшая школа, 1987. 383 с.
49. Прохоренко П.П. и др. Ультразвуковая металлизация материалов / Под ред. В.А. Лабунова. Минск: Белоруссия, 1987. 271 с.
50. Резание труднообрабатываемых материалов / Под ред. П.Г. Петрухи. М.: Машиностроение, 1982. 176 с.
51. Роман О.В., Габриелов И.П. Справочник по порошковой металлургии. Минск: Белоруссия, 1988. 175 с.
52. Соколов И.И. Газовая сварка и резка металлов. М.: Высшая школа, 1991. 320 с.
53. Справочная книга по охране труда в машиностроении / Под ред. О.Н. Русака. Л.: Машиностроение, 1989. 541 с.
54. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. М.: Высшая школа, 1993. 383 с.
55. Техника переработки пластмасс. Лейпциг, 1985. 138 с.
56. Технология конструкционных материалов / Под ред. А.А. Дальского. М.: Машиностроение, 1990. 351 с.
57. Технология конструкционных материалов / Под ред. Г.А. Прейса. Киев: Высшая школа, 1984. 359 с.
58. Технология конструкционных материалов / Под ред. П.Г. Петрухи. М.: Высшая школа, 1991. 512 с.
59. Тривно М.С., Москалев Е.В. Клеи и склеивание. Л.: Химия, 1980. 120 с.
60. Фещенко В.Н. и др. Токарная обработка. М.: Высшая школа, 1984. 288 с.

61. Фридман Л.Б. Механические свойства металлов. М. Оборонгиз, 1962. 556 с.
62. Холистер Г., Томас К. Материалы упрочненные волокнами. М.: Металлургия, 1979. 249 с.
63. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов. М.: Машиностроение, 1993. 512 с.
64. Ящерицын П.И. и др. Основы резания материалов и режущий инструмент. М.: Машиностроение, 1981. 327 с.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---