

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

**КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ АВИАЦИОННЫЙ  
ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

**НА ПРОЦЕСС ПАЙКИ СТАЛЕЙ**

**У т в е р ж д е н о  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве  
методических указаний  
к лабораторной работе № 10  
для студентов**

**КУЙБЫШЕВ 1989**

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П. Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ПРОЦЕСС ПАЙКИ СТАЛЕЙ

У т в е р ж д е н о

редакционно-издательским советом  
института в качестве  
методических указаний для студентов

Куйбышев 1989

Составители: Л.А. Дударь, М.Д. Рудман

УДК 621.791.754.293

Исследование влияния технологических факторов на процесс спайки сталей:  
Метод «указания» /Сост. Л.А.Дударь, М.Д.Рудман: Куйб.авиационн-т. Куибышев,1989.  
23 с.

В методических указаниях приведены краткие теоретические основы пайки, изложены требования к последовательности выполнения лабораторных работ и оформлению отчета.

Указания рекомендованы кафедрой производства летательных аппаратов для студентов всех специальностей, выполняющих лабораторные работы по пайке.

Рецензенты: Г.П. Мигушин, Ф.З. Тененбаум

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 04.42

Цель работы: экспериментальная проверка влияния некоторых технологических факторов на смачивание припоем поверхности металлов и на прочность паянных соединений.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Пайка- образование соединений с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, смачивания припоем, затекание припоя в зазор и последующей его кристаллизации [1].

Для образования прочной связи паяемого материала с припоем необходимо, чтобы поверхностные атомы металла вступили в тесный контакт с атомами расплавленного припоя. В создании контакта между припоем и металлом большое значение имеет смачивание. При смачивании металла припоем идут процессы взаимного растворения и диффузии, что всегда приводит к образованию металлической связи – твердого раствора или химического соединения. Металлы взаимно нерастворимые, не образующие между собой химические соединения или твердые растворы, не смачивают друг друга. Они образуют несмешивающиеся жидкости, причем расплавленный металл (припой) стягивается в капли.

Смачивание – первая стадия физико-химического взаимодействия жидкости с поверхностью твердого тела, результатом которой является растекание ее тонким слоем. От того, насколько хорошо расплавленный припой смачивает поверхность паяемого металла, зависит прочность, коррозионная стойкость и другие свойства данного соединения.

Наименьшая температура, при которой расплавленный припой смачивает паяемый металл, называется нижним пределом температурного интервала смачивания. Верхний предел температурного интервала смачивания лимитируется свойствами припоев сохранять стабильность при нагреве выше температуры ликвидуса и возможностью предупредить окисление их в процессе пайки.

При смачивании атомы металлов сближаются на расстоянии порядка  $10^{-9}$  м [2]. В поверхностных слоях взаимодействующих металлов, обладающих особыми свойствами, при этом возникают связи, которые, образовавшись, в отдельных местах, очень быстро распространяются по всей площади контакта паяемой металл-расплав припоя. Необходимым условием самопроизвольного растекания припоя по свободной поверхности паяемого металла и затекания в зазоры является сопровождающее эти процессы снижение поверхностной энергии системы. Атомы расплавленного припоя, вступившие при смачивании во взаимодействие с паяемым материалом, образуют монослой, по которому лежащие под ним слои атомов припоя свободно перемещаются в плоскости параллельно спаю, что способствует развитию процесса взаимодействия.

Количество энергии, выделяемой при взаимодействии атомов расплавленного припоя и паяемого металла, характеризует прочность химических связей в зоне спаю.

Интенсивность процесса смачивания паяемого металла расплавом припоя определяется характером реакции жидкости с твердым металлом, если реакция

эндотермическая, то энергия химической активации состоит из собственно активационного барьера и подводимой теплоты, необходимой для протекания реакции. В случае экзотермического взаимодействия после преодоления активационного барьера теплота реакции вызовет скачкообразное развитие процесса смачивания, что наблюдается, например, при смачивании железа оловом и свинцом в среде водорода и алюминием в вакууме. В этих случаях после соответствующего перегрева происходит скачкообразное растекание расплавленного припоя.

При растекании капли жидкости по плоской поверхности твердого тела условия ее равновесия могут быть выражены в виде равновесия векторов сил поверхностного натяжения в точке на границе трех фаз (рисунок 1). Этой границей является периметр зоны смачивания:

$$\sigma_{1,3} + \sigma_{2,3} + \sigma_{1,2} \cos \theta = 0, \quad (1)$$

где  $\sigma_{1,3}$  - поверхностное натяжение между паяемым материалом и газовой средой или флюсом, действующее на каплю по периметру ее контакта с твердым телом;  $\sigma_{2,3}$  - поверхностное натяжение припоя на границе с паяемым материалом;  $\sigma_{1,2}$  - поверхностное натяжение припоя на границе с газовой средой или флюсом.

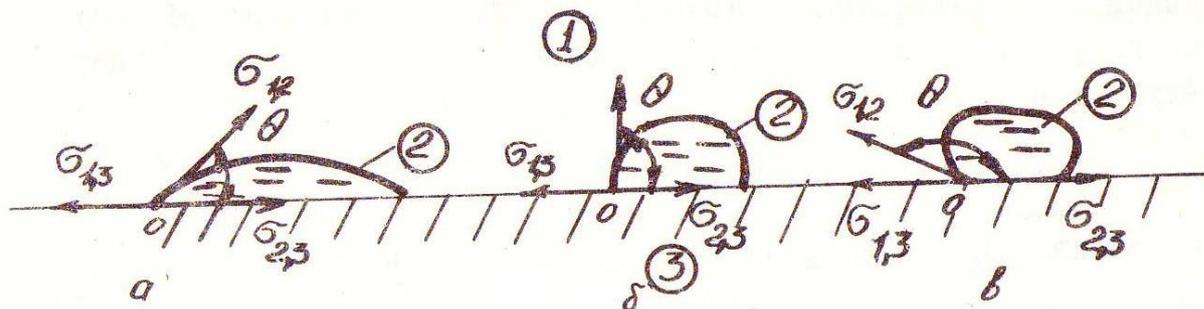


Рисунок 1 - Зависимость краевого угла смачивания  $\theta$  от соотношения сил поверхностного напряжения: 1- газ/ флюс/, 2- капля жидкости, 3- твердое тело, а - краевой угол смачивания  $\theta < 90^\circ$ ; б-  $\theta = 90^\circ$ ; в-  $\theta > 90^\circ$ .

Из выражения (1) следует, что

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{1,3} - \sigma_{2,3}}{\sigma_{1,2}}, \quad (2)$$

где  $\cos \theta$  - коэффициент смачивания, характеризующий смачивающую способность припоя, а  $\theta$  краевой угол смачивания - двугранный угол между плоскостью, касательной к поверхности припоя у границы смачивания, и смачиваемой припоем плоской поверхностью паяемого материала [1], отсчитанный внутрь жидкого припоя.

Механизм растекания связан с взаимодействием расплава припоя и его парообразной фазы с паяемым материалом, с поверхностной диффузией расплавленного припоя, с его капиллярным течением в поверхностном слое паяемого металла и т.д. На растекание значительное влияние оказывает, вязкость расплава припоя и его жидкотекучесть. \_Особое

значение жидкотекучести приобретает, когда припой имеет широкий интервал кристаллизации, а пайка им происходит при температурах, лежащих ниже температуры ликвидуса.

Растекание расплава припоя по поверхности паяемого материала, как и всякой жидкости по поверхности твердого тела, определяется соотношением сил адгезии припоя к поверхности паяемого металла, и когезии, характеризуемой силами связи между частицами припоя.

Работа адгезии определяется свободной поверхностной энергией, освобождающейся при смачивании твердого тела жидкостью:

$$A_a = \sigma_{1,3} + \sigma_{1,2} - \sigma_{2,3}. \quad (3)$$

Полное растекание припоя происходит при краевом угле  $\theta = 0$ ; при этом из условия равновесия капли жидкости на поверхности твердого тела имеем:

$$\sigma_{1,3} = \sigma_{1,2} + \sigma_{2,3}. \quad (4)$$

Подставив  $\sigma_{1,3}$  в уравнение сил адгезии, получим:

$$A_a = 2\sigma_{1,2}. \quad (5)$$

Введя в первоначальное равенство  $\sigma_{1,3} - \sigma_{2,3}$ , из условия равновесия капли жидкости на поверхности твердого тела получим работу адгезии в случае, когда краевой угол смачивания не равен нулю:

$$A_a = 2\sigma_{1,2}(1 + \cos \theta). \quad (6)$$

Когезия частиц припоя оценивается работой, необходимой для разрыва жидкости и образования двух новых поверхностей:

$$A_k = 2\sigma_{1,2}. \quad (7)$$

Растекание капли расплава припоя по основному металлу будет происходить, если работа адгезии к поверхности металла будет равна или больше работы когезии частиц припоя:

$$K = A_a - A_k = \sigma_{1,2}(1 + \cos \theta) - 2\sigma_{1,2} = \sigma_{1,2}(\cos \theta - 1), \quad (8)$$

где  $K$  - коэффициент растекания,  $A_a$  - работа адгезии,  $A_k$  - работа когезии.

#### Кинетика образования и классификация спаев

Образующееся при пайке соединение по своему строению и составу неоднородно: включает литую прослойку (шов), спаи и диффузионные зоны (рисунок 2).

Шов - неоднородная по составу и строению прослойка между соединяемыми деталями, образующаяся в результате взаимодействия припоя с паяемым материалом и последующей кристаллизацией расплава в зазоре.

Связь между швом и поверхностью детали возникает в результате образования спаев. Спай - переходный слой на границе паяемая де таль-шов, образующийся в

результате взаимодействия паяемого материала с расплавом припоя.

Диффузионная зона - граничащий со спаем слой паяемого материала с измененным химическим составом и микроструктурой, образующейся в результате диффузии компонентов припоя и паяемого материала.

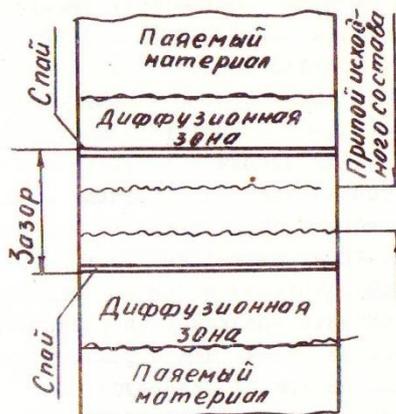


Рисунок 2 - Схема строения паяного соединения

В зависимости от условий и режима пайки, а также от соотношения физико-химических свойств паяемого материала и припоя спай, образующийся между ними, может иметь различное строение. В начальный момент на поверхности раздела твердой и жидкой фаз при температуре пайки паяемый материал и расплав припоя имеют составы, близкие к исходным. Пайка может завершиться как на более ранней стадии, так и на последующих, более глубоких стадиях развития процессов взаимодействия паяемого материала и припоя в зоне спаев. В соответствии с этим будут меняться состав и структура спаев. Взаимодействие паяемого материала с расплавом припоя приводит к возникновению четырех разновидностей спаев [2]: бездиффузионного, растворно-диффузионного, контактно-реакционного и диспергированного (рисунок 3).

Бездиффузионный спай - когда взаимной диффузией паяемого материала и припоя в их объеме можно пренебречь, когда процесс прекращается на стадии образования химических соединений.

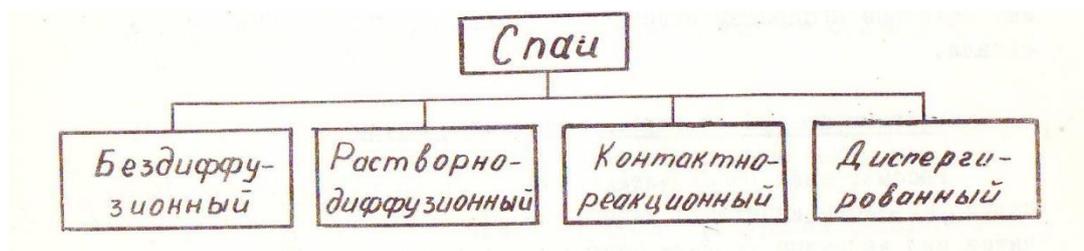


Рисунок 3 - Классификация спаев

Растворно-диффузионный спай - когда последующая выдержка создает условия для развития диффузионных и растворно-диффузионных процессов в зоне контакта твердого и жидкого металлов.

Контактно-реакционный спай - когда соединение при пайке может быть получено и без предварительного введения припоя, Процесс ведется при температурах ниже точек автономного плавления взаимодействующих металлов. Образование спаев при температуре пайки начинается за счет диффузионных процессов при отсутствии жидкой

фазы. В момент образования жидкой фазы взаимодействующие металлы (при наличии растворимости в твердом состоянии) предельно насыщены диффундирующим в них компонентой.

Контактно-реакционный спай возникает, когда соединяемые металлы дают эвтектики или образуют непрерывные твердые растворы с минимумом на кривой ликвидуса.

Диспергированный спай - когда паяемый металл и припой не смачиваются и не вступают в химическое взаимодействие. В этих случаях пайкой можно получить соединения, когда взаимодействие расплава с паяемым металлом характеризуется диспергированием последнего. Роль межзеренных границ в этом явлении остается определяющей, поскольку в условиях снижения межфазной энергии под действием расплава границы зерен являются наиболее ослабленным местом. Это связано с тем, что границы зерен обладают значительным избытком свободной энергии ввиду ее компенсированное™ межфазных сил. Поэтому на поверхностях с избыточной свободной энергией происходит более активная адсорбция расплава, что приводит к снижению прочности. При образовании спаия процесс диспергирования паяемого, материала под действием расплавленного припоя протекает в условиях, характеризуемых высокой температурой, ограниченным количеством жидкой фазы, активным процессом миграции расплавленного припоя в паяемый металл.

#### Влияние зазора на глубину затекания припоя

Рассматривая расплавленный припой как жидкость, текущую по цилиндрическому капилляру диаметром  $d$  (рисунок 4, б), высоту ее поднятия над заданным уровнем поверхности ванны определим из выражения:

$$h = \frac{4\sigma_{1,2} \cos \theta}{d\rho g}, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  - ускорение силы тяжести.

Следовательно, высота поднятия жидкости в капилляре прямо- пропорциональна ее поверхностному натяжению и смачивающей способности и обратно пропорциональна диаметру капилляра и плотности жидкости.

В случае капиллярного течения жидкости между двумя параллельными пластинами, если зазор  $d$  между ними мал, а ширина достаточно велика, высота подъема определяется из тех же соотношений (рисунок 4, в):

$$h = \frac{2\sigma_{1,2} \cos \theta}{a\rho g}. \quad (10)$$

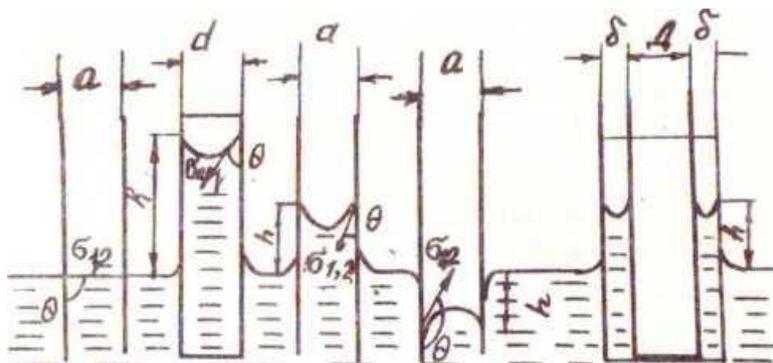


Рисунок 4 - Схема равновесия жидкости в капиллярах: а, в, г - образованных параллельными стенками, установленными с зазором а; б - кругового сечения диаметром  $d$ ; д - между двумя цилиндрическими поверхностями, установленными соосно с зазором  $\delta$  ; в случае а -  $\theta = 90^\circ$ ; в случае б, в и д -  $\theta < 90^\circ$ ; в случае г -  $\theta > 90^\circ$

Таким образом, высота капиллярного поднятия жидкости в зазоре между двумя параллельными пластинами в 2 раза меньше, чем в капилляре кругового сечения.

В реальных условиях течение расплавленного припоя в зазоре по сравнению с идеальными условиями имеет свои особенности взаимодействия с паяемым металлом (характер предшествующей механической обработки поверхности паяемого металла, способа удаления окисной пленки и т.д.). Вместе с тем установлено, что уменьшение зазора увеличивает глубину затекания припоя при прочих равных условиях. Кроме того известно, что величина зазора между паяемыми деталями влияет и на прочность соединения. Поэтому при конструировании паяных соединений и их сборке стремятся получить наименьшие допустимые для заданного припоя зазоры.

Рекомендуемые зазоры для исследуемых соединений приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Паяемый металл	Припой	Величина зазора, мм
Углеродистые стали	Медь	0,02-0,15
	Латунь	0,05-0,30
	Серебро	0,05-0,15
Нержавеющие стали	Медь	0,02-0,15
	Латунь	0,05-0,30
	Серебро	0,05-0,15
	Никель - хромовый	0,05-0,20

При установлении величины зазора учитывают также и экономические факторы. Увеличенные зазоры приводят к излишнему расходу припоя, а чем меньше зазор, тем более точной должна быть механическая обработка и сборка под пайку. При решении этих вопросов необходимо в каждом конкретном случае исходить из требований к изделию, условий производства и экономичности.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

К работе допускаются студенты, которые прошли инструктаж по правилам техники безопасности и ответили на вопросы по карточкам контроля степени самостоятельной

Таблица 2

Химический состав и свойства некоторых припоев для пайки сталей

Марка припоя	Химический состав, %					Температура, $^\circ\text{C}$		Температура пайки, $^\circ\text{C}$	Прочность паяных соединений из стали $\tau_{cp}$ , МПа
	$S_n$	$P_B$	$A_g$	$C_u$	$Z_n$	Начала плавления	Полного расплава		
ПОС40	39-41	61-59				183	238		268 [2]

ПСР40			40,0 ± 1,0	16,7 ± 0,7;	17 ± 0,8	590	610		162 [4]
Л63				60,5-63,5	Остальн.	900	905	940-950	268 [7]

Таблица 3

Химический состав и область применения некоторых флюсов для пайки сталей

Марка флюсов	Химический состав, %					Температурный интервал активности, °C	Область применения
	$Na_2B_2O_7$	$B_2O_3$	$C_aF_2$	$ZnCl_2$	$H_2O$		
Бура	100					880-1150	Пайка углеродистых сталей, меди, и медных сплавов медно-цинковыми припоями
ПВ200	18-20	65-67	14-16			850-1200	Пайка коррозионно-стойких и жаропрочных сплавов высоко- и среднеплавкими припоями
-	-	-	-	40	60	290-350	Пайка углеродистых и низколегированных сталей легкоплавкими припоями

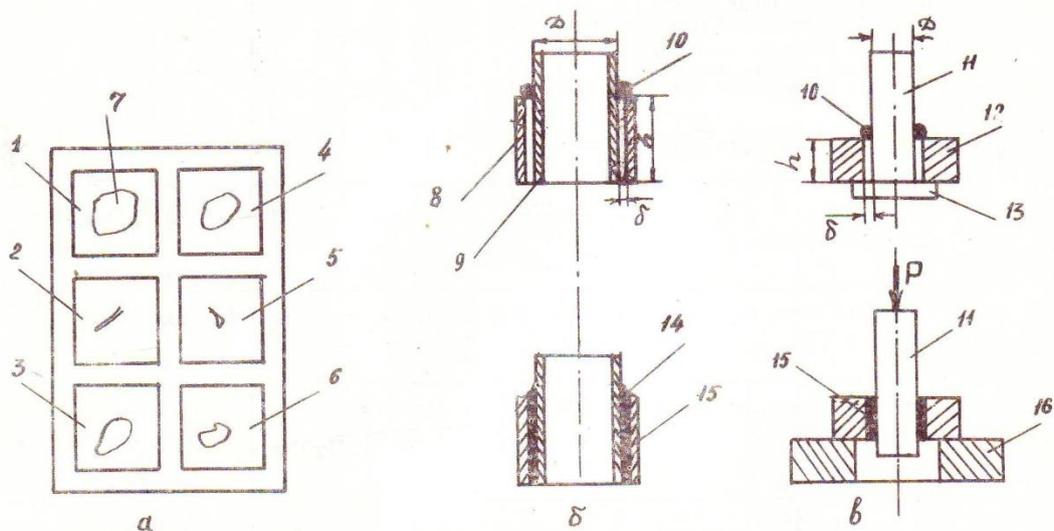


Рисунок 5 Образцы для проведения исследований: а- растекания припоя; б – заполнения припоем телескопического зазора; в- прочности паяных соединений

подготовки к выполнению работы[3].

1. Исследование влияния состояния поверхности деталей на растекание припоя. Опыты проводятся на плоских образцах из малоуглеродистой и нержавеющей стали. Используются среднеплавкие припои и высокотемпературные флюсы, нагрев в печи.
- 1.1 Выбрать марку припоя (таблица 2). Температура в печи устанавливается на 30...50°C выше температуры полного расплавления припоя. Выбрать марку флюса (таблица 3), температурный интервал активности которого соответствует

- температуре пайки.
- 1.2 Подготовить поверхность образцов. Для исследования берется шесть образцов - по три образца из малоуглеродистой и нержавеющей стали. Четыре образца (по два каждого материала - образцы № 1,2,4,5) тщательно зачищаются наждачной шкуркой и обезжириваются бензином. Два образца - по одному из каждого материала (образцы № 3 и 6) нагреваются в печи при температуре 350...400°С с целью образования на их поверхности слоя окислов (рисунок 5, а).
  - 1.3 Подготовить шесть навесок припоя по 0,5 г. и четыре навески флюса по 0,3 г; припой обезжирить бензином.
  - 1.4 Образцы уложить на приспособление. На все образцы наложить припой» покрыв его слоем флюса на образцах № 1,3,4 и 6. Образцы с приспособлением поместить в печь, нагретую до температуры пайки. Образцы в печи выдержать до расплавления припоя, после чего несколько охладить при открытой печи и осторожно извлечь приспособление с образцами.
  - 1.5 После полного остывания образцов определить площадь растекания припоя по поверхности каждого образца. В протоколе отчета указать площади растекания припоя на образцах в процентах по отношению к образцу № 1 (рисунок 5, поз. 7).
  - 1.6 На основании проведенных опытов сделать заключение о влиянии состояния поверхности образцов на растекание припоя.
  2. Исследование влияния состояния поверхности деталей на заполнение припоем телескопического зазора. Исследование проводится на образцах из нержавеющей стали. Используется среднеплавкий проволоочный припой и высокотемпературный флюс, пайка в печи.
    - 2.1 Выбрать марку припоя и флюса, установить температуру пайки (см.п.1.1).
    - 2.2 Подготовить поверхность образцов. Для исследования используются два образца, каждый из которых состоит из двух вставленных одна в другую трубок, образующих телескопическое паяное соединение (рисунок 5,6). Подлежащие пайке поверхности трубок образца № 1 тщательно зачистить наждачной шкуркой и обезжирить бензином. Трубки образца № 2 нагреваются при температуре 350-400°С для образования на поверхности слоя окислов.
    - 2.3 Собрать образцы, как показано на рисунок 5,6. Зазор между трубками  $\delta$  должен соответствовать величине рекомендуемой в таблице 4.

Таблица 4.  
Величина капиллярных зазоров, обеспечивающая заполнение их жидким припоем и оптимальную прочность паяных соединений [4]

Материал припоя	Зазор при пайке материалов, мм		
	Медные сплавы	Углеродистые стали	Коррозионно-стойкие стали
Латунь	0,075-0,400	0,010-0,025	-
Серебряный	0,05-0,37	0,025-0,15	0,075-0,375
Оловянно-свинцовый	0,030-0,40	0,025-0,20	0,02-0,75

Необходимый минимальный объем проволоочного припоя  $10$  вычисляется по формуле

$$V = 2\pi Dh\delta, \quad (11)$$

где  $D$  - диаметр внутренней трубки,  $h$  - величина нахлестки,  $\delta$  - зазор между деталями.

Коэффициент 2 учитывает расход припоя на образование галтели, диффузию в паяемый материал и потери.

Припой обезжирить бензином. Перед сборкой нанести кистью растворенный в воде флюс на поверхности образцов, подлежащие пайке, и на кольцо припоя, высушить образцы и припой до удаления влаги. Собрать образцы; кольцо припоя должно плотно прилегать к поверхности внутренней трубки.

2.4 Установить образцы в гнезда приспособления и паять в печи.

2.5 После полного охлаждения образцов разрезать их по диаметральной плоскости и из одной половины каждого образца приготовить макрошлиф.

2.6 На макрошлифах определить степень заполнения припоем 15 телескопического зазора между деталями, наличие галтели 14 раковин, непропая (рисунок 5,б).

2.7 На основании проведенных опытов сделать заключение о влиянии состояния поверхности деталей на заполнение припоем телескопического зазора.

### 3. Исследование прочности паяного соединения

Исследования проводятся на образцах из малоуглеродистой стали. Паяное телескопическое соединение образуется между стержнем II и кольцом 12 (рисунок 5,в). Для предотвращения вытекания припоя из зазора стержень II снабжен опорной головкой 13.

Используется среднеплавкий проволочный припой и высокотемпературный флюс, пайка в печи.

3.1 Выбрать марку припоя и флюса, установить температуру пайки (см.п.1.1).

3.2 Поверхности образцов, подлежащие пайке, тщательно, зачистить наждачной шкуркой и обезжирить бензином.

3.3 Сборка образцов под пайку производится аналогично указаниям п. 2.3.

3.4 Собранные образцы установить в гнезда приспособления и паять в печи.

3.5 После полного остывания образцов токарной обработкой удалить опорную головку 13 стержня II и галтель припоя.

3.6 Испытать образцы, установив их на кольцевую опору 16, и определить прочность паяного соединения на срез (схема испытаний приведена на Рисунок 5,в):

$$\tau_{ср} = \frac{P}{\pi Dh}, \quad (12)$$

где  $P$  - усилие при разрушении образца.

3.7 Результаты испытаний занести в бланк отчета и сравнить их с табличными (см. таблицу 2).

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1) Эскизы образцов для проведения испытаний (рисунок 5).
- 2) Полное наименование способа пайки, примененного в данной лабораторной работе по ГОСТам, приведенным в приложении.
- 3) Протоколы испытаний с результатами наблюдений и вычислений.
- 4) Краткие выводы о влиянии исследуемых факторов на процесс пайки.

Отчет по лабораторной работе № 04.42

Кафедра двигателей аппаратов	производства летательных	Исследование технологических средств на процесс пайки сталей	влияния на	Лаборатория сварки
Дата	Учебная группа	Фамилия студента		
Перечень применяемых приборов и оборудования				
1. Печь..... 2. Машина испытательная ..... 3. Весы лабораторные..... 4. Штангенциркуль..... 5. Приспособление для пайки и испытания образцов.....				

Эскизы образцов выполняются студентами по рисунок 5.

Краткие выводы по частям работы помещаются на обороте бланка отчета.

Подпись студента \_\_\_\_\_

Работа зачтена \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Продолжение отчета по лабораторной работе № 04.42

Результаты наблюдений и вычислений

№ Оп.	Материал образцов	Номер обр.	Марка припоя	Подготовка поверхност и образца	Марка флюса	Характер растекания и затекания в зазор	$\pi Dh$	P, кгс (Н)	$\tau$ , кгс/ мм <sup>2</sup>
1	Магоуглеродистая сталь	1		Зачистка, обезжирива ние					
		2		-	Без фл.				
		3		Без зачистки					
	Нержавеющая сталь	4		Зачистка, обезжирива ние					
		5		-	Без фл.				
		6		Без зачистки					
2	Нержавеющая сталь	1		Зачистка, обезжирива ние					
		2		Без зачистки					
3	Магоуглеродистая сталь	1		Зачистка, обезжирива ние					
		2		-					
		3		-					

### 1. Типы и параметры паяных соединений

ГОСТ 19249-79 [5] установлены следующие типы паяных соединений: внахлест (обозначаются ПН-1, ПН-2, ПН-3); телескопические (ПН-4, ПН-5, ПН-6), вскос (ИВ-3), втавр (ПТ-1, ПТ-2, ПТ-3, ПТ-4), в угол (ПУ-1, ПУ-2, ПУ-3), соприкасающиеся (НС—I, ПС-2, ПС-3, ПС-4, ПС-5).

Параметрами паяных соединений являются толщина слоя припоя  $a$ , ширина паяного шва  $b$  и его длина, для соединения вскос также угол скоса  $\alpha$ . Величины указанных параметров (в миллиметрах) входят в условное обозначение швов паяных соединений и записываются над (или под) полкой линии -выноски по ГОСТ 2.313-82 [6]. Пример условного обозначения паяного соединения типа ПН-1 при толщине припоя 0,05 мм, ширине шва 10 мм и длине шва 150 мм: "ПН-1 0,5x10x150 ГОСТ 19249-73".

### 2. Классификация припоев

В соответствии с ГОСТ 19248-73 [7] припой классифицируются по следующим признакам:

1. По степени расплавления при пайке:

1.1. Расплавляемые.

1.2. Частично расплавляемые (применяемые при металлокерамической пайке).

2. По температуре расплавления:

2.1. Особолегкоплавкие ( $\leq 145^\circ\text{C}$ ).

2.2. Легкоплавкие ( $> 145 \leq 450^\circ\text{C}$ ).

2.3. Среднеплавкие ( $> 450 \leq 1100^\circ\text{C}$ ).

2.4. Высокотемпературные ( $> 1100 \leq 1850^\circ\text{C}$ ).

2.5. Тугоплавкие ( $> 1850^\circ\text{C}$ ).

3. По способу образования припоя:

3.1. Готовые.

3.2. Образующиеся при пайке (контактно-реактивные и реактивно-флюсовые).

4. По основному компоненту:

4.1. Галлиевые. 4.4. Оловянно-свинцовые

4.2. Индиевые. 4.5. Оловянные.

4.3. Висмутовые. 4.6. Кадмиевые.

4.7. Алюминиевые. 4.17. Палладиевые

4.8. Германиевые. 4.18. Платиновые.

4.9. Магниевые. 4.19. Титановые.

4.10. Серебряные. 4.20. Железные.

4.11. Медно-цинковые (латунные). 4.21. Циркониевые.

4.12. Медные. 4.22. Ниобиевые.

4.13. Кобальтовые. 4.23. Молибденовые.

4.14. Никелевые. 4.24. Ванадиевые,

4.15. Марганцевые. 4.25. Свинцовые.

4.16. Золотые. 4.26. Цинковые.

В наименовании припоя с содержанием нескольких основных компонентов (менее 50% каждого) указываются все компоненты. Например, оловянно-свинцово-кадмиевый

припой. Наименование припоя, содержащего драгоценные или редкие металлы независимо от их количества, определяется этими металлами. Например, серебряный, палладиевый припой.

5. По способности к флюсованию:
  - 5.1. Флюсуемые.
  - 5.2. Самофлюсующие.
6. По способу изготовления:
  - 6.1. Литые.
  - 6.2. Тянутые.
  - 6.3. Катаные.
  - 6.4. Прессованные.
  - 6.5. Измельченные.
  - 6.6. Спеченные
  - 6.7. Штампованные.
7. По виду полуфабриката:
  - 7.1. Листовые.
  - 7.2. Ленточные.
  - 7.3. Трубчатые.
  - 7.4. Пастообразные.
  - 7.5. Таблетированные.
  - 7.6. Проволочные.
  - 7.7. Прутковые.
  - 7.8. Композитные.
  - 7.9. Фасонные.
  - 7.10. Порошковые.
  - 7.11. Плакированные.
  - 7.12. Гальванические.
  - 7.13. Термовакuumные.
  - 7.14. Многослойные.

### 3. Классификация шлюсов [8]

Применяемые при пайке флюсы по ГОСТ 19250-73 классифицируются по следующим признакам:

1. В зависимости от температурного интервала активности:

- 1.1. Низкотемпературные ( $450^{\circ}\text{C}$ ).
- 1.2. Высокотемпературные ( $> 450^{\circ}\text{C}$ ).

2. По природе растворителя:

- 2.1. Водные.
- 2.2. Неводные.

3. По природе активаторов определяющего действия низкотемпературные флюсы подразделяются на:

- 3.1. Канифольные.
- 3.2. Кислотные.
- 3.3. Галогенидные.
- 3.4. Гидразиновые.
- 3.5. Фторборатные.
- 3.6. Анилиновые.
- 3.7. Стеариновые.

4. По природе активаторов определяющего действия высокотемпературные паяные флюсы подразделяются на:

- 4.1. Галогенидные.
- 4.2. Фторборатные.
- 4.3. Боридные.
- 4.4. Боридно-углекислые.

В наименовании флюса, содержащего несколько активаторов, называются все активаторы. Например, канифольно-галогенидный, фторборатно-галогенидный флюс.

5. По механизму действия:

- 5.1. Защитные.
- 5.2. Химического действия.
- 5.3. Электрохимического действия.
- 5.4. Реактивные.
- 6. По агрегатному состоянию:
- 6.1. Твердые.
- 6.2. Жидкие.
- 6.3. Пастообразные.

#### 4. Классификация способов пайки

По ГОСТ 17349-79 [9] технологическая классификация способов пайки устанавливается по следующим независимым признакам:

1. Удалению окисной пленки:
  - 1.1. Флюсовая.
  - 1.2. Ультразвуковая.
  - 1.3. В активной газовой среде.
  - 1.4. В нейтральной газовой среде.
  - 1.5. В вакууме.
2. По получению припоя:
  - 2.1. Готовым полностью расплавляемым припоем.
  - 2.2. Композиционным припоем.
  - 2.3. Контактно-реактивная.
  - 2.4. Реактивно-флюсовая.
3. По заполнению зазора припоем:
  - 3.1. Капиллярная.
  - 3.2. Некапиллярная.
4. По кристаллизации паяного шва:
  - 4.1. Кристаллизация при охлаждении.
  - 4.2. Кристаллизация при выдержке (диффузионная).
5. По источнику нагрева:
 

5.1. Паяльником.	5.10. Электролитная.
5.2. Нагретыми штампами.	5.11. В печи.
5.3. Нагретыми блоками.	5.12. Газопламенная.
5.4. Нагретыми матами.	5.13. Световыми лучами.
5.5. Нагретым газом.	5.14. Инфракрасными лучами.
5.6. Погружением в расплавленную соль.	5.15. Лазерная.
5.7. Погружением в расплавленный металл.	5.16. Электронно-лучевая.
5.8. Волной припоя.	5.17. Плазменная, припой.
5.9. Экзотермическая.	5.18. Дуговая.
5.20. Индукционная.	
5.21. Электросопротивлением.	
6. По наличию давления на паяемые детали:
  - 6.1. Без давления.
  - 6.2. Под давлением.
7. По одновременности выполнения паяных соединений:
  - 7.1. Одновременная.
  - 7.2. Неодновременная (ступенчатая).

При нормировании наименования способа пайки конкретного изделия следует

брать из перечня последовательно по одному наименованию способа пайки от каждого признака.

Пример формирования наименования способа пайки, применяемого при выполнении данной лабораторной работы: "Пайка флюсовая полностью расплавленным готовым припоем капиллярная диффузионная в печи без давления одновременная".

## Б и б л и о г р а ф и ч е с к и й   с п и с о к

1. ГОСТ 17325-79. Пайка и лужение. Основные термины и определения. Введ. 01.01.81.
2. Справочник по пайке /Под ред.И,Е.Петрунина,2-е изд. М.: Машиностроение, 1984» 400 с.