

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(институт, факультет)

Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы

(кафедра)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Оборудование и технология пайки

(наименование профиля магистерской программы)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему «Технология пайки в процессе опытного производства автомобилей»

Студент(ка)

Д.А. Шалаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.Л. Федоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель магистерской

программы д.т.н, профессор Б.Н. Перевезенцев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ д.т.н, профессор В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

## Содержание

Введение.....	3
Состояние вопроса.....	6
1.1 Пайка, основные понятия.....	6
1.2 Применение пайки в автомобилестроении.....	15
1.3 Применение пайки для соединения и ремонта кузовных деталей автомобиля.....	30
1.4. Логика разработки автомобиля.....	37
2 Методика проведения исследований.....	46
2.1 Предлагаемые к применению материалы в процессе пайки кузовных деталей прототипного автомобиля.....	46
2.2 Предлагаемый к применению процесс пайки кузовных деталей прототипного автомобиля.....	62
2.3 Контролируемые факторы образцов исследования в процессе пайки кузовных деталей автомобиля и их значения.....	64
2.4 Порядок проведения опытов по исследованию процесса пайки кузовных деталей прототипного автомобиля .....	72
3 Результат проведенных испытаний кузова прототипного автомобиля .....	74
3.1 Результат коррозионных испытаний кузова прототипного автомобиля .....	74
3.2 Результат дорожных испытаний кузова прототипного автомобиля .....	76
3.3 Результат испытаний кузова прототипного автомобиля на жесткость и кручение.....	78
3.4 Анализ результатов проведенных испытаний кузова прототипного автомобиля.....	81
Заключение.....	83
Список использованных источников.....	86
Приложение.....	90

## Введение

Пайка - один из древнейших способов соединения материалов известных человечеству. Многовековая история развития пайки указывает на высокий уровень этого ремесла, позволившего решить многие проблемы производства предметов домашней утвари, оружия и особенно украшений из драгоценных материалов.

В настоящее время чаще всего пайка различными способами применяется при проведении промышленных производственных работ, при которых, согласно технологического процесса, необходимо соединить две или более детали. При этом качество пайки должно соответствовать требованиям на разрыв и изгиб. Одной из основных сфер применения является машиностроение, радиоэлектроника и электротехника, где необходимо не только получить надежное соединение, но и решить задачу по сокращению материалоемкости и трудоемкости.

Замена сварочных операций на применение пайки является современной тенденцией развития автомобилестроения, тесно связанной с общемировой тенденцией по сокращению себестоимости производимой продукции при сохранении необходимых технологических параметров.

Таким образом, представляется весьма актуальным исследовать принципы и методологию организации процесса пайки в отрасли автомобилестроения, а также вопросы практического применения пайки в производстве автомобилей.

Основная цель работы – углубленное исследование сущности процесса пайки в отрасли автомобилестроения на конкретном примере, место и роли пайки в изготовлении автомобиля, анализ практики применения пайки и выявление возможных перспектив развития данного процесса в отношении к производству конкретного автомобиля.

Исходя из сформулированной цели, в работе поставлены следующие

основные задачи:

- исследовать сущность процесса пайки применительно к отрасли автомобилестроения;

- изучить процесс пайки кузовных деталей на примере конкретного прототипного автомобиля;

- проанализировать материалы и технологию используемые в процессе пайки кузовных деталей прототипного автомобиля в соответствии с действующей технологией;

- определить методику проведения исследований;

- определить контролируемые факторы образцов исследования и их значения;

- определить порядок проведения опытов и оценить результаты;

- предложить альтернативную методику с возможной заменой технологии и материалов.

Поставленные задачи определили структуру курсовой работы, которая состоит из введения, двух глав, заключения.

Предмет и объект исследования определяется тематикой работы, ее целью и задачами.

Предметом исследования являются паяные соединения кузовных деталей автомобиля.

Объектом исследования выступает процесс пайки кузовных деталей на примере конкретного прототипного автомобиля.

Теоретической, методологической и информационной базой исследования послужили:

- ГОСТы, нормативные документы,;

- труды российских и зарубежных специалистов в области пайки;

- научные статьи в современной экономической и периодической печати;

- данные официальных сайтов промышленных учреждений и

информационно-аналитических агентств.

В ходе исследования использовались общенаучные и специальные методы познания, а именно системный анализ как методология постановки и подхода к решению проблемы в целом, приемы логического и сравнительного анализа и синтеза, методы сравнений, абстрактно-логических суждений.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что оно представляет собой одну из попыток комплексного анализа процесса пайки кузовных деталей автомобиля.

Практическая значимость исследования заключается в том, что ее выводы и рекомендации ориентированы на конкретное применение в производстве оригинального автомобиля.

## 1 Состояние вопроса

### 1.1 Пайка, основные понятия

Согласно ГОСТ 17325-79, пайка– процесс получения неразъемного соединения с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, смачивания их припоем, затекания припоя в зазор и последующей его кристаллизации.

Так как образование паяных соединений осуществляется с участием материала, их свойства, при прочих одинаковых условиях, зависят от структуры, формирующейся при его кристаллизации. Кристаллизация паяных швов происходит в по правилу теории кристаллизации, но в неоригинальных условиях, которые позволяют определить ее характерные особенности.

Учитывая, что при переходе материалов из одного состояния в другое образуется кристаллическая решетка, то этот процесс называют кристаллизацией (для некоторых веществ – затвердевание). В соответствии с современным представлениями, свойства жидких и твердых материалов вблизи температуры плавления ( $T_{пл}$ ) близки и связаны между собой. Плотность жидких материалов всего на 5-7% меньше плотности закристаллизовавшихся, а структура характеризуется наличием так называемого ближнего порядка (межатомные расстояния и координационное число) и определенным образом связана со структурой, образующейся при кристаллизации. Физические свойства и даже механическая прочность жидких материалов близки к соответствующим характеристикам твердых материалов вблизи  $T_{пл}$  и переход из жидкого состояния в твердое не сопровождается резким изменением природы и свойств материалов, как, например, переход в газообразное состояние.

Кристаллизация, как и любой фазовый переход, в том числе из одного агрегатного состояния в другое, возможна, если она сопровождается уменьшением свободной энергии системы, то есть энергетически выгодна.

Для системы, состоящей из большого числа находящихся в тепловом движении атомов, свободная энергия, определяющая ее энергетическое состояние, равна:

$$F=U-TS, \quad (1)$$

где  $U$  – внутренняя энергия системы;

$T$  – абсолютная температура;

$S$  – энтропия.

Чем больше  $F$ , тем устойчивость системы меньше, и есть возможность перехода ее в другое состояние с меньшим значением  $F$ . С изменением температуры и давления свободная энергия системы для жидкого и твердого состояния изменяется по-разному, как схематично показано на рисунке 1. Поэтому при изменении внешних условий возможны фазовые превращения. Выше определенной температуры  $T_S$  меньшая свободная энергия у жидкого состояния, выше температуры  $T_S$  – у твердого. При температуре равной  $T_S$  жидкое и твердое состояние материала находятся в равновесии. Эта равновесная температура  $T_S$  называется теоретической температурой кристаллизации. Но при  $T_S$  кристаллизация происходить не может, так как  $F_{жс}=F_{тс}$ . Энергетически выгодна кристаллизация становится только когда  $F_{жс}>F_{тс}$ , то есть когда  $T<T_S$ . Температура, при которой практически начинается кристаллизация, называется фактической температурой кристаллизации, а требуемое для этого снижение температуры по отношению к  $T_S$  называется переохлаждением. Процесс кристаллизации в координатах температура-время можно изобразить графически (рис. 2). Пока материал находится в жидком состоянии, его температура со временем изменяется равномерно по линейному закону, при  $T= T_S$  появляется горизонтальная площадка, обусловленная тем, что отвод тепла компенсируется выделяющейся при кристаллизации скрытой теплотой кристаллизации. После завершения кристаллизации температура вновь начинает снижаться равномерно. Наклон прямых охлаждения определяется условиями теплоотвода.

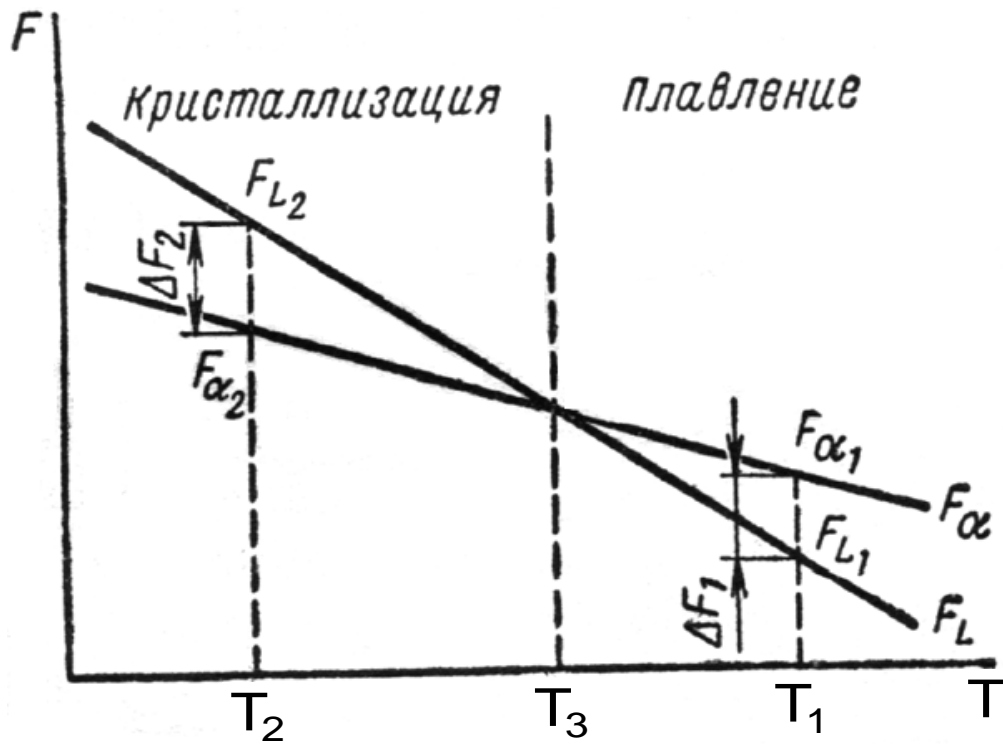


Рис. 1. Зависимость свободных энергий жидкого  $F_L(F_{ж})$  и твердого  $F_{\alpha}(F_{тв})$  вещества от температуры.

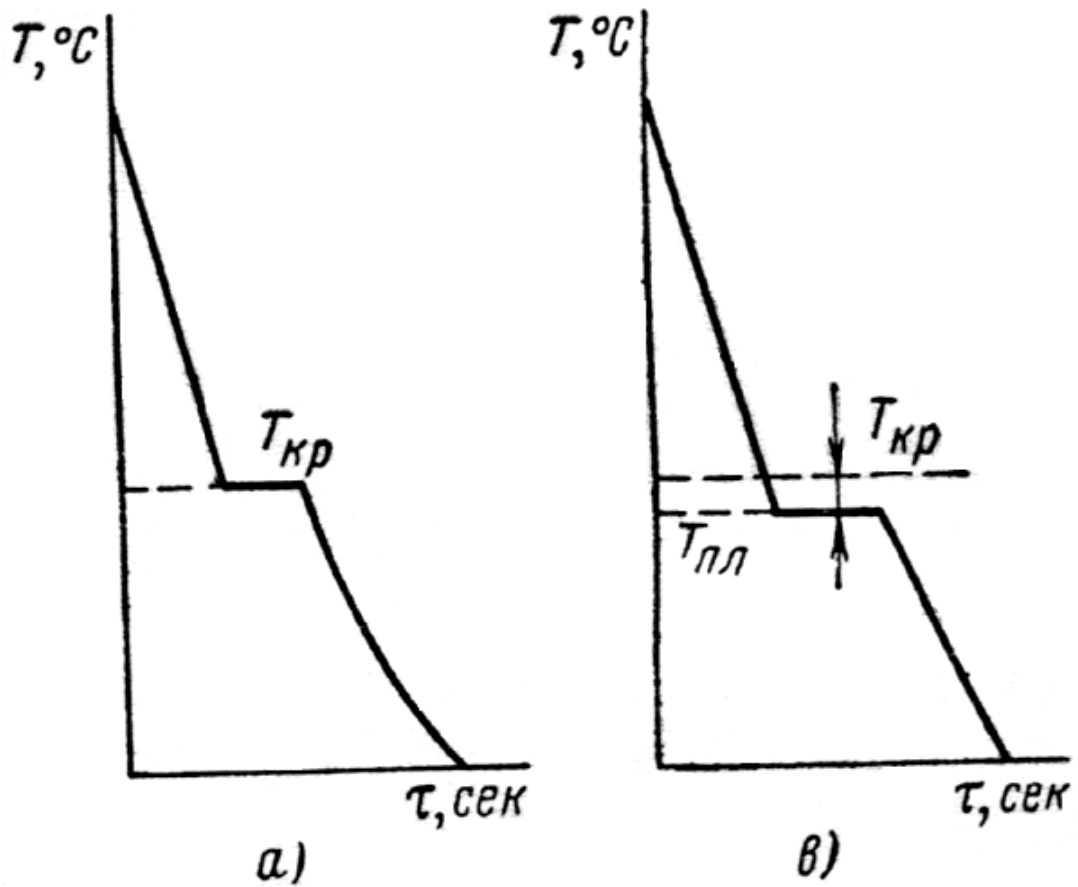


Рис. 2. Кривые охлаждения кристаллических веществ: а – медленное, в – быстрое, с переохлаждением.



Самопроизвольное развитие процесса кристаллизации при достижении необходимой температуры затрудняется тем, что с образованием и ростом зародыша твердой фазы появляется поверхность раздела между фазами, а так как поверхностные атомы обладают более высокой энергией, чем находящиеся внутри объема, то это приводит к увеличению свободной энергии системы  $F$ . Если это увеличение компенсируется за счет перехода соответствующего объема менее устойчивой фазы (жидкой) в более устойчивую (твердую), то превращение развивается самопроизвольно. Однако на начальной стадии, когда частицы твердой фазы имеют очень маленькие размеры, отношение числа поверхностных атомов к числу внутренних достаточно велико и такая компенсация не обеспечивается. Поэтому на начальной стадии превращения нужна какая-то компенсация увеличения свободной энергии. При наличии такой компенсации размер зародыша увеличивается до значения, при котором процесс дальнейшего роста будет сопровождаться снижением свободной энергии, так как с увеличением размера зародыша свободная энергия поверхностного слоя растет пропорционально квадрату радиуса  $F_S \approx f(r^2)$ , а уменьшение внутренней свободной энергии – пропорционально кубу радиуса  $F_V \approx f(r^3)$ :

$$\Delta F = k_1 \cdot 4\pi r^2 - k_2 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3, \quad (2)$$

где  $k_1$  – удельная поверхностная энергия;

$$k_2 = F_{ж} - F_{тв}.$$

$$\frac{dF}{dr} = 8k_1\pi r - 4k_2\pi r^2 \quad (3)$$

$$\frac{dF}{dr} = 0 \quad \text{при} \quad r_{кр} = \frac{2k_1}{k_2}.$$

При  $r > r_{кр}$   $\Delta F < 0$  и рост зародыша продолжается самопроизвольно.

Величина  $r_{кр}$ , при которой  $\frac{dF}{dr} = 0$ , называется критической, частица такого размера становится термодинамически устойчивой и будет расти, так как это приводит к снижению ее свободной энергии  $F$ .

Таким образом, на начальном этапе кристаллизации требуется наличие каких-то «облегчающих» образование и рост зародышей до  $r_{кр}$  условий. Такими условиями, помимо переохлаждения, могут быть энергетические флуктуации, флуктуации плотности, а также наличие готовых поверхностей раздела, на которых могут нарастать слои атомов кристаллизующегося материала (это могут быть включения нерастворимых примесей и наружные поверхности раздела жидкого материала и окружающей среды). В реальных условиях при кристаллизации однородных жидких расплавов вероятность образования устойчивых зародышей в результате флуктуаций очень мала – для материалов высокой степени чистоты для образования зародышей внутри объема в результате таких флуктуаций требуется переохлаждение расплава на сотни градусов. На практике величина требуемого для кристаллизации переохлаждения составляет несколько градусов, что свидетельствует о том, что основным механизмом зарождения и роста кристаллов из жидкого расплава является кристаллизация на готовых зародышах.

Формирующаяся при кристаллизации структура определяется соотношением скоростей образования числа устойчивых зародышей и их роста, условий теплоотвода, а также целым рядом других факторов.

Для сплавов, в отличие от чистых материалов, кристаллизующаяся фаза по химическому составу отличается от исходного расплава. Если растворенный компонент  $B$  снижает температуру плавления сплава, как это показано на рисунке 3, то при охлаждении сплава состава, соответствующего точке  $O$ , при температуре ликвидуса  $T_o$  будет кристаллизоваться твердая фаза равновесного для этой температуры состава  $C_o^m$ , то есть из расплава

концентрации  $C_o$  будет кристаллизоваться фаза состава  $C_o^m$ . При этом некоторое количество компонента  $B$ , пропорциональное концентрационному интервалу  $C_o - C_o^m$  будет вытесняться в расплав. Этот процесс перераспределения атомов на фронте кристаллизации для установления равновесных составов твердой и жидкой фаз называется *разделительной диффузией*. В результате, по мере охлаждения в интервале кристаллизации у поверхности растущего кристалла будет образовываться слой расплава, обогащенный компонентом  $B$  при одновременно протекающем процессе *выравнивающей диффузии*. По мере роста кристалла содержание легкоплавкого компонента  $B$  в его наружных слоях и прилегающем слое расплава будет увеличиваться до тех пор, пока при постоянной скорости роста кристалла не установится динамическое равновесие, при котором количество скапливающейся перед фронтом кристаллизации легкоплавкого компонента  $B$  будет равно количеству, отводимому вглубь объема расплава в результате *выравнивающей диффузии*. Если охлаждение протекает достаточно медленно, так что в расплаве за счет *выравнивающей диффузии*, будет обеспечиваться равновесное для каждой температуры значение  $C_o^{эст}$ , то в процессе кристаллизации состав кристаллизующейся фазы будет плавно меняться в соответствии с линией солидуса и при температуре солидуса  $T_c$ , остаток жидкого расплава закристаллизуется в твердый раствор состава  $C_o$ , соответствующий исходному составу сплава.

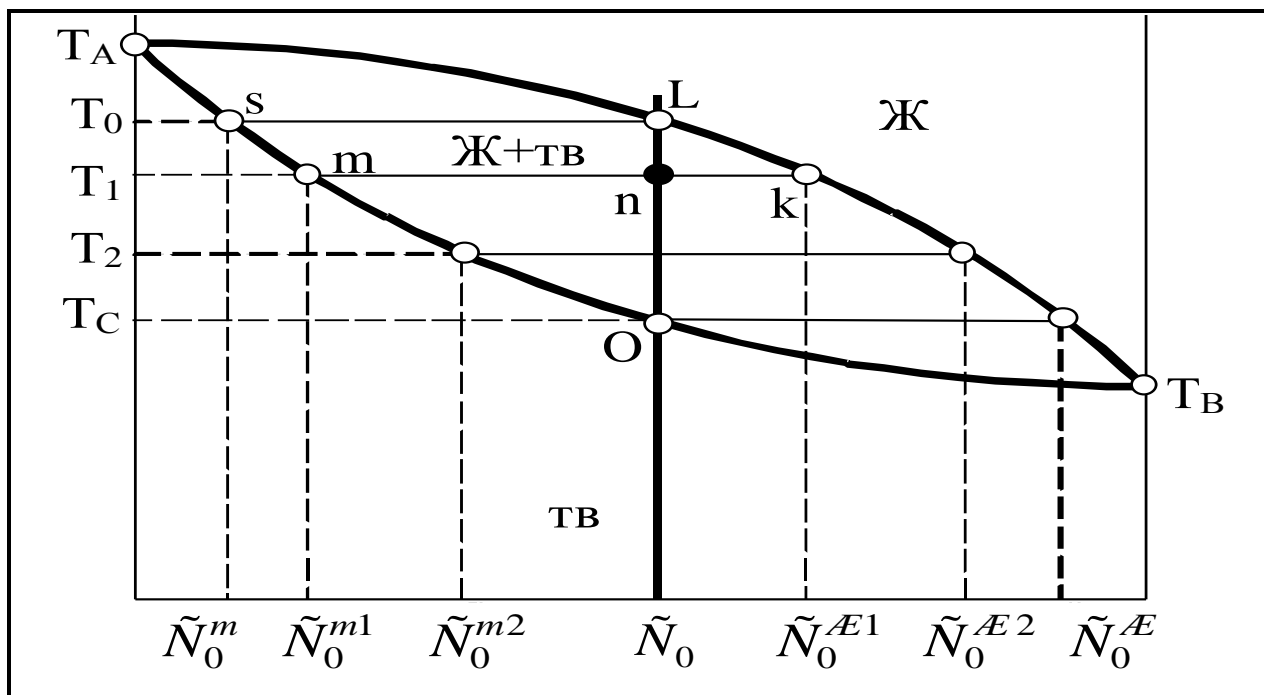


Рис. 3. Схема равновесной кристаллизации сплава с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состояниях

Кристаллизация при бесконечно малых скоростях охлаждения, когда за счет выравнивающей диффузии в твердой и жидкой фазах и диффузионного взаимодействия между ними к моменту завершения кристаллизации вся закристаллизовавшаяся фаза будет иметь одинаковую концентрацию соответствующую исходной  $C_0$ , называется *равновесной*. Она возможна, если между твердой и жидкой фазами устанавливается динамическое равновесие, при котором в процессе кристаллизации происходит диффузионное выравнивание концентраций по всему объему твердой и жидкой фаз.

В действительности, в том числе и при пайке, процесс кристаллизации далек от этой идеальной схемы, что связано с большими скоростями охлаждения, направленным теплоотводом и другими факторами. При этом из-за того, что скорость диффузии в жидкой фазе на 2-3 порядка выше, чем в твердой, выравнивающая диффузия в последней практически не имеет места, а в жидкой, в зависимости от условий охлаждения, полностью или частично происходит. Если в жидкой фазе успевает происходить диффузия, поддерживающая в процессе охлаждения равновесный для каждой

температуры между  $T_L$  и  $T_c$  равновесный состав, то перед фронтом кристаллизации образуется слой расплава, в котором концентрация растворенного компонента  $B$  экспоненциально уменьшается от  $C_o^{ж}$  у фронта кристаллизации до  $C_o$ , при этом кристаллизующаяся фаза имеет состав  $C_o^m$ . Толщина такого обогащенного растворенным компонентом  $B$  слоя зависит от скорости кристаллизации и скорости диффузии в жидкой фазе и составляет от 1 до 100 мкм. Так как скорость кристаллизации определяется интенсивностью отвода скрытой теплоты кристаллизации, для непрерывного роста кристаллизующейся фазы необходимо обеспечить такую интенсивность отвода, при которой перед фронтом кристаллизации образуется зона термического переохлаждения. С другой стороны, в слое с повышенным содержанием растворенного компонента  $B$  температура ликвидуса  $T_L$  также изменяется по экспоненте.

Если изменение температуры расплава перед фронтом кристаллизации и распределение равновесной  $T_L$  в обогащенном слое таковы, как показано на рисунке 4, то перед фронтом кристаллизации образуется, так называемая, зона концентрационного переохлаждения (заштрихована). Наличие такой зоны и ее размер зависят от толщины обогащенного растворенным компонентом  $B$  слоя и градиента температуры в жидкой фазе. Если градиент температуры существенно больше  $T_L$ , то такая зона отсутствует.

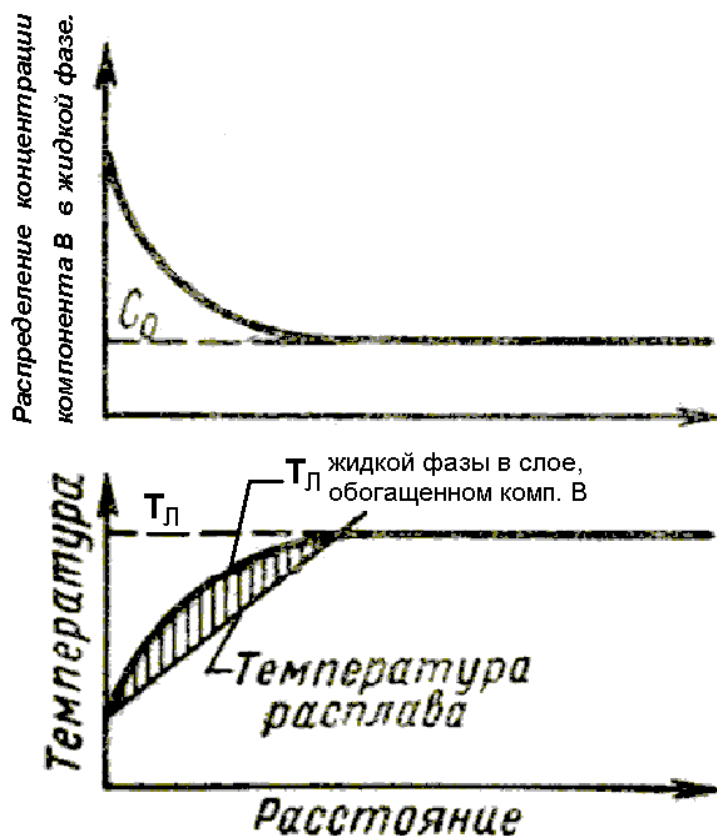


Рис. 4. Схема возникновения концентрационного переохлаждения при кристаллизации сплава.

Наличие зоны концентрационного переохлаждения, ее размеры определяют форму кристаллизации расплава:

- При малом термическом переохлаждении происходит направленная кристаллизация с устойчивым плоским фронтом.
- При наличии зоны концентрационного переохлаждения на гладком фронте образуются выступы, попадающие в область большего переохлаждения, чем перед гладким фронтом, которые начинают быстро расти через обогащенный растворенным компонентом **B** слой, при этом возникают дополнительные диффузионные потоки, параллельные плоскому фронту кристаллизации, что ускоряет отвод компонента **B** от выступов и делает их рост более устойчивым. В этом случае образуется, так называемая, ячеистая структура, состоящая из «стержней», примерно параллельных направлению кристаллизации, которая в поперечном

сечении характеризуется системой почти правильных гексагональных ячеек, границы которых обогащены компонентом *B*.

- При достаточно большой зоне термического переохлаждения на ячеистых кристаллах образуются ветви и они превращаются в дендриты – скорость роста дендритов значительно превосходит скорость перемещения плоского фронта. Оси дендритов и их ветви растут в определенных кристаллографических направлениях, определяемых типом кристаллической решетки.

Неравновесная кристаллизация сплавов всегда приводит к образованию химической неоднородности – ликвации. Степень ликвации зависит от скорости кристаллизации, которая влияет на полноту прохождения диффузионных процессов в жидкой и твердой фазах. При увеличении скорости кристаллизации внутрикристаллическая ликвация вначале увеличивается, достигая максимального значения при средних скоростях охлаждения, а затем снижается из-за подавления разделительно диффузии.

Кристаллизация сплавов, структура которых состоит из нескольких фаз, имеет свои характерные особенности. Типичным примером является эвтектическая кристаллизация. Ее особенность состоит в том, что при постоянной температуре и постоянном составе жидкой фазы одновременно кристаллизуются две фазы постоянного, но различного состава.

## **1.2 Применение пайки в автомобилестроении**

До изобретения электрической сварки плавлением, пайка, наряду с кузнечной сваркой, была основным технологическим приемом соединения материальных конструкций. В известной степени электрическая сварка плавлением, с ее широкими технологическими возможностями, задержала развитие пайки из ремесла в современный технологический процесс. Лишь с развитием таких отраслей промышленности как авиастроение, радиотехника и электроника, автомобилестроение и, особенно, ракетно-космическая

техника резко повысился интерес и объемы применения пайки в производстве сложных конструкций машиностроения и приборостроения. Ее применение оказалось целесообразным, а в некоторых случаях единственно возможным при изготовлении целого ряда деталей и узлов этих отраслей техники [1].

Преимущества пайки как технологического процесса и преимущества паяных соединений обусловлены, главным образом, возможностью формирования паяного шва ниже температуры автономного плавления соединяемых материалов. При этом становится возможным общий нагрев паяемого узла или изделия до температуры пайки. Этими особенностями и определяются основные преимущества пайки по сравнению с другими способами соединения:

- осуществлять групповую пайку, широкую механизацию и автоматизацию, обеспечивающих высокую производительность процесса;
- получать соединение деталей в скрытых или малодоступных местах конструкции, а следовательно, изготавливать сложные конструкции за один прием, сократить их материалоемкость, повысить коэффициент использования материала;
- паять не по контуру, а одновременно по всей поверхности соединения, что наряду с обеспечением высокой производительности процесса позволяет широко варьировать прочность соединений;
- ограничиваться при пайке на порядок меньшими давлениями, чем при сварке давлением в твердой фазе, когда для соединения деталей необходим непосредственный их контакт. При пайке физико-химический контакт деталей обеспечивается при смачивании и заполнении зазора припоем, а давление необходимо лишь для сохранения зазора, компенсации усадки припоя и выдавливания лишней жидкой фазы;
- соединять разнородные материальные и нематериальные материалы и с большой разностенностью, т. е. обеспечить универсальность процесса;



- выбирать температуру пайки в зависимости от необходимости сохранения механических свойств материалов в изделии, для совмещения нагрева под пайку и термическую обработку и для выполнения ступенчатой пайки;

- предотвратить развитие значительных термических деформаций и обеспечить получение изделий без нарушения его формы и размеров, т. е. с высокой прецизионностью;

- в условиях формирования паяных швов при смачивании и растекании припоя по паяемому материалу обеспечивать высокую плавность галтелей, а следовательно, высокую прочность, надежность и долговечность в условиях вибрационных и знакопеременных нагрузений;

- разъединять детали и узлы путем их распайки ниже температуры автономного плавления паяемого материала и ремонтировать изделия в полевых условиях.

Эти преимущества приобретают особое значение в условиях резкого повышения цен на конструкционные и технологические материалы. Широкое применение пайки, при рациональном конструировании машин и приборов, позволяет широко применять прогрессивные технологии изготовления соединяемых деталей (штамповка, литье, прессование порошка) с высоким коэффициентом использования, материала и наиболее полно использовать физико-химические и механические свойства конструкционных материалов.

Вместе с тем, применение при пайке припоев, более легкоплавких, чем паяемый материал, и поэтому часто менее прочных, обуславливает ряд традиционных недостатков паяных соединений:

- неравнопрочность паяного шва с паяемым материалом при статических испытаниях на разрыв, причиной чего являются более низкая прочность и пластичность большинства припоев по сравнению с паяемым материалом (рис. 5), литая структура в шве, высокое химическое сродство компонентов припоев с основой или компонентами паяемого материала, приводящее к росту прослоек химических соединений, развитие в паяном

соединении диффузионной пористости, слабая активность газовых сред и флюсов при температуре пайки, нетехнологичность конструкции паяемых соединений и изделий, развитие остаточных паяльных напряжений в элементах и паяных соединениях и др., что накладывает ограничения на применение пайки в высоконагруженных конструкциях;

$T_1$  – температура плавления припоя,  $T_2$  – температура плавления паяемого материала. Для большинства систем:  $\sigma_b(T_1) < \sigma_b(T_2)$ , где  $\sigma_b(T_1)$  – предел прочности припоя,  $\sigma_b(T_2)$  – предел прочности паяемого материала.

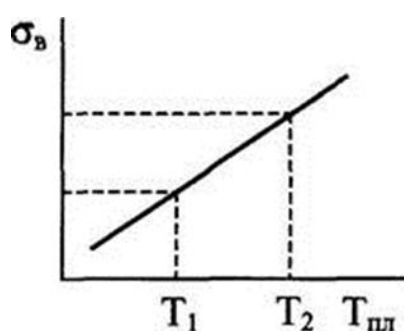


Рис. 5. Условная зависимость прочности материалов от их температуры плавления

– необходимость точной сборки с малыми зазорами, что удорожает себестоимость узлов и изделий;

– применение в припоях дорогих и дефицитных материалов.

Эти недостатки паяных соединений во многих случаях могут быть устранены при использовании новых прогрессивных способов пайки и новых паяльных материалов.

Потенциальные возможности повышения прочности паяных швов достаточно велики в связи с малым объемом литого материала в паяном соединении, развитием новых способов пайки и в первую очередь диффузионной пайки, при которой обеспечивается равнопрочность паяных швов и паяемого материала, в том числе и в стыковых соединениях, достижениями в области интерматериалидного упрочнения сплавов в литом состоянии специальным легированием и термообработкой. Появившиеся в

последние годы возможности в области повышения пластичности и прочности припоев до значений, близких к теоретическим при отсутствии в них ликвации и зерен в результате быстрого охлаждения и кристаллизации или кристаллизации в условиях отсутствия гравитации (в космосе), указывают на принципиальную возможность повышения прочности шва также путем создания определенных условий охлаждения.

Кроме того, существенное значение на прочность паяных соединения оказывает конструкция стыка, так благодаря применению рациональных сочетаний паяемых материалов и припоев и использованию конструкций с оптимальной площадью нахлестки надежность паяных соединений для самолетов в 4 раза выше, а для космических аппаратов в 25 раз выше, чем сварных.

Паяемость — это свойство материала образовывать паяное соединение при заданном режиме пайки (ГОСТ 17325–79). В отличие от свариваемости стандартное определение паяемости не отражает в прямом виде функциональное назначение паяного соединения, хотя в скрытой форме оно заложено в термине «заданный режим пайки».

Под режимом пайки понимают совокупность параметров и условий, при которых осуществляют пайку. К этой совокупности относят температуру пайки, время выдержки при этой температуре, скорость нагрева и охлаждения, способ пайки, припой, флюс (газовую среду), давление на соединяемые заготовки и др. (ГОСТ 17325–79).

Тогда при заданном режиме пайки паяемость — это свойство материала образовывать паяное соединение с требуемой прочностью, пластичностью, герметичностью, электропроводностью, коррозионной стойкостью и т. д.

На паяемость оказывает влияние совокупность факторов, которые условно подразделяют на три группы: физико-химические, технологические и конструктивные факторы [33, 34].

К первой группе факторов относят физико-химические свойства паяемого материала и припоя, определяющие характер их взаимодействия, воздействие флюсующих сред на припой и паяемый материал, условия и характер кристаллизации при пайке. Характер взаимодействия твердого и жидкого материалов зависит от электронного строения их атомов, соотношения атомных радиусов, положения элементов в ряду электроотрицательности, валентности и потенциалов ионизации атомов.

Группу технологических факторов составляют подготовка поверхности и сборка изделий перед пайкой, способ удаления окисной пленки, режим пайки, обработка паяных соединений и др.

К конструктивным факторам относят тип паяного соединения, геометрические параметры и расположение паяных соединений в изделии.

Среди перечисленных факторов наибольшее влияние на паяемость оказывают свойства паяемого материала и припоя.

Использование материалокерамической пайки композиционными припоями, при которой возможна сборка и пайка с некапиллярными зазорами, позволяет снизить требования к точности изготовления заготовок и сборки их под пайку.

В свою очередь, при контактно-реактивной пайке, при которой припой образуется в результате контактно-реактивного плавления, может быть резко снижен расход дорогостоящих и дефицитных материалов.

В настоящее время трудно представить себе какую либо отрасль промышленности, где в той или иной степени не применялась бы пайка. К изделиям, изготавливаемым в различных отраслях машиностроения и приборостроения, относятся различные теплообменные аппараты, трубопроводы, электродвигатели, узлы и детали реактивных двигателей и двигателей внутреннего сгорания, сотовые и слоистые панели и оболочки, печатные платы и гибридные схемы, сантехническое и отопительное оборудование, режущие и мерительные инструменты, консервные банки и многое другое.

Развитие техники привело к необходимости применения в конструкции машин и приборов новых материалов и сплавов: высокоактивных (титан, цирконий), легких (алюминий, бериллий, магний), тугоплавких (вольфрам, молибден, ниобий), жаропрочных (никелевые, кобальтовые, железные сплавы), драгоценных (золото, серебро, платина), композитных материалов, а так же различных нематериальных материалов – керамик, графита, полупроводников, стекла и т.д. Технологии пайки таких материалов, как в однородных, так и в разнородных сочетаниях обеспечивают прочностные, коррозионные, электрические и другие характеристики с заданной надежностью, долговечностью, ремонтпригодностью в условиях эксплуатации.

Интерматериалиды в узком смысле – это кристаллы, представляющие соединения материалов друг с другом, а в широком смысле – это двух- или многокомпонентные кристаллы, электронное строение которых имеет характерные признаки материала или полупроводника. В этом случае в состав интерматериалида уже могут входить и нематериалы, образуя, например, карбиды, нитриды или гидриды материалов (фазы внедрения) или ряд других соединений.

Кристаллическая структура интерматериалида отличается от структуры входящих в него отдельных компонентов.

Можно сказать, что интерматериалиды являются «порождением 20 века». В их открытие и исследование внесли существенный вклад и российские ученые. В 1912...1914 годах Н.С. Курнаков, применяя физико-химический анализ к изучению материальных систем, установил существование двух типов интерматериалидов, которым дал название «дальтонида» и «бертоллиды». Дальтонида характеризуются наличием на диаграмме «состав-свойства» наличием сингулярной точки, отвечающей постоянному и, как правило, простому соотношению между числами атомов, образующих интерматериалид. Отсутствие такой точки и переменный состав твердой интерматериалической фазы являются признаками бертоллидов.

Исследования последних десятилетий позволили установить целый ряд разнообразных уникальных свойств интерметаллидов, которые уже сегодня находят широкое практическое использование.

Среди интерметаллидов есть сверхпроводники ( $V_3Si$ ,  $Nb_3Ge$ ), полупроводники, ферромагнетики, кристаллы с высокими термоэмиссионными свойствами ( $LaB_6$ ). Многие интерметаллиды обладают высокой твердостью ( $WC$ ,  $TiC$ ), жаропрочностью ( $TiB_2$ ,  $Ti_3Al$ ), некоторые обладают эффектом памяти формы ( $TiNi$ ). На основе некоторых интерметаллидов ( $Ni_3Al$ ,  $TiAl$ ) создаются новые конструкционные материалы с высокими эксплуатационными характеристиками.

Часто в металлических сплавах встречаются химические соединения, которые образуются как полной, так и при ограниченной растворимости компонентов в жидком состоянии. Принято считать, что химические соединения образуют элементы сильно различающиеся по строению атомов и по физико-химическим свойствам. Между материалами, расположенными в одной подгруппе периодической системы, химические соединения обычно не образуются. Кристаллические решетки химических соединений обычно относятся к другим типам по сравнению с кристаллическими решетками исходных компонентов, имеют сложную кристаллическую структуру и большое число атомов на одну элементарную ячейку.

В реальных диаграммах часто присутствуют сразу несколько химических соединений. По своим формулам химические соединения часто не отвечают нормальным валентностям элементов.

Основные группы химических соединений:

- а) Химические соединения с нормальной валентностью. Образуются между материалами с ярко выраженными металлическими свойствами и элементами, обладающими свойствами как металлов, так и интерметаллидов ( $Mg_2Si$ ,  $Mg_2Pb$ ,  $Mg_3Sb_3$ ).

b) Так называемые «электронные соединения». Они характеризуются определенным отношением числа валентных электронов к числу атомов, образующих их материалов: 3/2, 21/13, 7/4 (CuZn, AgZn).

с) Фазы Лавеса типа AB<sub>2</sub>, со структурами типа MgZn<sub>2</sub> (гексагональная), MgCu<sub>2</sub> BeCu<sub>2</sub> (гранцентрированная). Эти соединения образуются при определенном отношении атомных радиусов материалов:

$$\frac{R_A}{R_B} = 1,09..1,34 \quad (4)$$

d) Соединения со структурой никельорекида NiA<sub>3</sub> (гексагональная решетка). Образуются между переходными материалами и элементами обладающими свойствами материалов и материалидов (FeSb, NiSb).

e) Фазы внедрения, образующиеся между переходными материалами и

углеродом, азотом и водородом. При  $\frac{R_{\text{растворителя}}}{R_{\text{растворенного}}} < 0,59$  они имеют простые кристаллические решетки (ГЦК, ОЦК, ГК). Если отношение

$\frac{R_{\text{растворителя}}}{R_{\text{растворенного}}} > 0,59$  образуются фазы со сложной кристаллической решеткой (TiC, Fe<sub>4</sub>N, ZrH<sub>2</sub>).

f) Так называемые σ-фазы (сигма-фазы). Эти параллельные соединения встречаются в сплавах переходных материалов и имеют тетрагональную решетку (FeV, FeCr).

g) Упорядоченные твердые растворы на основе кристаллической решетки одного из компонентов (сверхструктуры). Эти фазы занимают промежуточное положение между обычными твердыми растворами и химическими соединениями (CuAu).

h) Остальные химические соединения, которые трудно отнести к какой либо одной из этих групп (Fe<sub>3</sub>C, Fe<sub>3</sub>Al и другие).

В реальных диаграммах состояния химические соединения образуются как при кристаллизации из жидкого состояния, так и при охлаждении в твердом состоянии. Химические соединения, которые кристаллизуются из

жидкости  $\alpha \rightarrow A_m B_n$  называют устойчивыми соединениями или соединениями с открытым максимумом – конгруэнтные (от лат. – совпадающий, соответствующий) соединения с конгруэнтным плавлением. Химические соединения, которые образуются по реакции синтетического ( $\alpha_A + \alpha_B \rightarrow A_m B_n$ ) или перитектического типов ( $\alpha_p + B \rightarrow A_m B_n$ ) типов, называют неустойчивыми химическими соединениями или соединениями со скрытым максимумом (соединения с инконгруэнтным плавлением).

химическое соединение прочно (устойчиво) в твердом состоянии и мало диссоциирует при плавлении.

химическое соединение прочно (устойчиво) в твердом состоянии, но заметно диссоциирует в жидком состоянии

химическое соединение диссоциирует в жидком и твердом состояниях.

В реальных диаграммах состояния с областью твердых растворов на основе химического соединения часто достаточно трудно установить состав такого соединения. Определить тип соединения и его состав помогает исследование диаграммы «состав-свойство» (твердость,  $\rho$ , модуль упругости).

Дальтонид – является твердым раствором на основе определенного (то есть, недиссоциированного в твердом состоянии) химического соединения. Состав этого соединения находится в пределах области однородности дальтонидной фазы. На диаграммах «состав-свойство» этому соединению отвечают сингулярные точки.

Бертоллид – можно представить себе как твердый раствор на основе реально несуществующего (то есть, диссоциированного) химического соединения. Состав этого соединения изображается точкой, лежащей за пределами области однородности бертоллидной фазы. Различные свойства бертоллида изменяются по плавным кривым.

Положение сингулярных точек у дальтонидов остается неизменным при изменении температуры или давления.



Для некоторых бертоллидов на кривых «состав-свойство» также имеются максимумы или минимумы, но они не четко выражены и изменяют свое положение в зависимости от факторов равновесия – температуры и давления.

Разные свойства бертоллидов и дальтонилов объясняются различием в их атомном строении. Установлено, что в фазах дальтонидного типа при определенном соотношении атомов компонентов наблюдается наибольшая степень дальнего порядка в их расположении. В бертоллидах нет состава с максимальной степенью упорядочения.

I. Диаграмма с неустойчивым химическим соединением, образующимся при взаимодействии двух жидких фаз.

Эта диаграмма характеризуется ограниченной растворимостью компонентов в жидком состоянии и отсутствием растворимости компонентов химического соединения в твердом состоянии.

Скрытый максимум –  $m'$ .

Во многих случаях при пайке результатом физико-химического взаимодействия жидкого припоя и паяемых материалов могут быть химические соединения (интерматериалиды). Их количество, форма и расположение в структуре паяного соединения оказывают существенное влияние на свойства паяных соединений.

Отдельные выделения интерматериалидных фаз в матрице припоя, не соединенные между собой, не оказывают существенного влияния на свойства паяных соединений, а в некоторых случаях повышает их прочность.

Наиболее неблагоприятны сплошные прослойки химических соединений на границе припоя и паяемого материала. Высокая твердость химических соединений, своя кристаллическая решетка, различие физических свойств (линейный коэффициент термического расширения) приводят к тому, что эти прослойки являются слабыми местами в паяных соединениях и определяют их прочность. Известно много случаев когда

прочность литых припоев значительно превосходит прочность паяных ими соединений. Так, при пайке меди свинцовым припоем Пср3Кд (прочность литого припоя составляет 11,5 кг/мм<sup>2</sup>), прочность паяного соединения на разрыв лежит в пределах 2,7...3,5 кг/мм<sup>2</sup>; при пайке титанового сплава ОТ-4 серебряными припоем Пср-72 (прочность литого припоя составляет 28...31 кг/мм<sup>2</sup>) прочность паяного соединения на разрыв составляет 12...18 кг/мм<sup>2</sup>.

Для предотвращения образования или торможения роста прослоек химических соединений необходим физико-химический анализ факторов, определяющих эти процессы. Для прогноза образования химических соединений необходим анализ диаграмм состояния взаимодействующих материалов, находящихся в жидкой и твердой фазах. Образование интерматериалидной прослойки возможно лишь тогда, когда контактирующие материалы способны к образованию хотя бы одного химического соединения... вставка

Образование интерматериалидных прослоек на границе твердого и жидкого материала возможно по трем механизмам:

1. В результате химического взаимодействия между ними на межфазной границе, при условии, что скорость образования интерматериалида больше скорости его растворения в жидком припое.
2. В результате диффузии компонентов припоя в паяемый материал и перестройки кристаллической решетки твердого раствора после достижения предела растворимости в кристаллическую решетку интерматериалида.
3. В результате обогащения жидкого припоя атомами паяемого металла вблизи межфазной границы и образования слоя химического соединения при кристаллизации в процессе охлаждения в объеме, прилегающем к паяемому материалу. Такое обогащение может результатом контактного или контактно-реактивного плавления паяемого металла и диффузии его в жидкую фазу.

Начальная стадия образования прослоек химических соединений на границе жидкой и твердой фазы изучена недостаточно. По всей вероятности в местах дефектов кристаллического строения, выходящих на поверхность, происходит зарождение отдельных центров химических соединений, которые растут вдоль межфазной границы до образования сплошной прослойки. Время от начала контакта жидкого припоя до образования сплошной прослойки, которое можно назвать временем подготовительного периода, определяется кинетикой диффузионных процессов и может быть выражено:

$$\tau_0 = K \cdot e^{Q_n/RT} \quad (5)$$

где  $K$  – постоянная, зависящая от физико-химических свойств взаимодействующих материалов;

$Q_n$  – энергия активации подготовительного периода;

$T$  – температура, °К.

Имеющиеся экспериментальные данные показывают, что порядок времени подготовительного периода может быть от единиц, до десятков секунд. Энергия активации подготовительного периода может быть определена экспериментально из двух значений  $\tau_0$ :

$$\frac{\tau_0'}{\tau_0''} = \frac{e^{Q_n/RT_1}}{e^{Q_n/RT_2}} \quad (6)$$

откуда:

$$Q_n = \ln \left( \frac{\tau_0''}{\tau_0'} \right) \cdot \frac{R}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \quad (7).$$

После образования сплошной прослойки интерматериалида скорость его роста, в направлении перпендикулярном межфазной границе, будет определяться диффузией компонентов, входящих в состав химического соединения, через эту прослойку. Направление роста прослойки зависит от соотношения парциальных коэффициентов диффузии компонентов жидкой и твердой фазы. Установлено, что коэффициенты диффузии атомов через

прослойки химических соединений существенно выше, чем через чистые материалы и их твердые растворы. Учитывая более высокую подвижность атомов жидкого материала, можно предположить, что скорость их диффузии через прослойку выше, чем скорость диффузии атомов паяемого материала. Вероятно по этой причине рост толщины прослойки происходит в большинстве случаев в сторону твердого материала. Этим объясняется и тот факт, что после образования сплошной прослойки на межфазной границе резко тормозится процесс растворения паяемого материала в жидком припое.

Во многих материальных системах-сплавах образуются не одно, а несколько химических соединений. Установлено, что в контакте твердого и жидкого материалов в таких системах образуется и растет прослойка химического соединения богатого легкоплавким материалом.

Так как процесс роста интерматериалидных прослоек – активируемый процесс, энергию активации можно определить по экспериментальным значениям толщины прослойки интерматериалида, образовавшегося при различных температурах.

Кинетика роста толщины интерматериалидной прослойки в контакте жидкого и твердого материала подчиняется параболической зависимости:

$$\delta^2 = \tilde{n} \cdot c \cdot (\tau - \tau_0), \quad (8)$$

где:  $\delta$  – толщина прослойки;

$c$  – постоянная, зависящая от температуры;

$$\tilde{n} = D \cdot e^{-Q_p/RT}, \quad (9)$$

$\tau_0$  – время подготовительного периода;

$\tau$  – время изотермической выдержки при температуре пайки;

$Q_p$  – энергия активации роста интерматериалида;

$T$  – температура пайки, °К.

Тогда, определив значения  $\delta_1$  и  $\delta_2$  при соответствующих температурах  $T_1$  и  $T_2$ , или времени выдержки  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , можно определить энергию активации роста прослойки интерматериалида:

$$\delta_1^2 = \tilde{n}_1 \cdot (\tau_1 - \tau_0') = D \cdot e^{-Q_p/R T_1} \cdot (\tau_1 - \tau_0'), \quad (10)$$

$$\delta_2^2 = \tilde{n}_2 \cdot (\tau_2 - \tau_0'') = D \cdot e^{-Q_p/R T_2} \cdot (\tau_2 - \tau_0''). \quad (11)$$

Произведя преобразование, получим:

$$Q_p = \frac{R}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \cdot \ln \left[ \frac{\delta_2^2}{\delta_1^2} \cdot \frac{\tau_1 - \tau_0'}{\tau_2 - \tau_0''} \right] \quad (12)$$

Знание величин энергий активации подготовительного периода роста прослойки химического соединения и факторов, определяющих их значения, позволяют управлять процессом возникновения и роста прослоек интерматериалидов.

При больших значениях энергий активации и возможно более низкой температуре пайки время подготовительного периода может иметь один порядок с временем изотермической выдержки при температуре пайки. Сплошная прослойка в этом случае может не сформироваться или иметь незначительную величину, что сведет к минимуму ее влияние на механические свойства соединений.

Одним из путей уменьшения интерматериалидной прослойки может быть и сокращение времени контакта жидкого припоя и паяемого материала. Это достигается нанесением на паяемую поверхность твердого материала покрытия из элемента, составляющего основу припоя и имеющего температуру плавления выше, чем температура пайки. Так, при пайке никеля или сплавов на его основе алюминиевыми припоями на паяемую поверхность наносят покрытие из чистого алюминия, на растворение которого затрачивается время, увеличивающее время подготовительного периода образования химической прослойки.

### 1.3 Применение пайки для соединения и ремонта кузовных деталей автомобиля

В процессе производства автомобилей пайка применяется для соединения или ремонта некоторых кузовных деталей, в тех местах, где использование сварки является более материалоемким и трудоемким процессом. Также пайка является неотъемлемой составляющей в изготовлении автокомпонентов. Итак, рассмотрим применяемые в автомобильной отрасли способы пайки.

Пайка оловянным припоем. Этот способ пайки обеспечивает соединение путем осаждения легкоплавкого сплава. Пайку оловянным припоем в ремонтных работах применяют для соединения наконечника с концом электрического провода, для напайки олова на листовые детали, готовящиеся под покраску, для выполнения некоторых соединений, которые невозможно получить штамповкой листов.

В качестве припоя чистое олово не применяют, так как оно является недостаточно жидкотекучим, чтобы проникнуть (просочиться) между опорными поверхностями соединяемых деталей, а при охлаждении оно становится хрупким.

В качестве сварочного материала, или припоя, применяют сплав свинца с оловом. Процентное соотношение каждого из материалов зависит от выполняемых работ. В большинстве случаев припой, применяемый для пайки в жестяном деле, представляет собой сплав, содержащий 67 % свинца и 33 % олова. Припой применяют в виде литых стержней различной толщины, проволоки диаметром 3 мм, навитой на катушку, и лудильного порошка. Температура плавления припоя 230–250 °С.

Первой операцией при выполнении пайки оловянным припоем является подготовка деталей. Необходимо, чтобы детали припаивались. Среди материалов, применяемых для изготовления автомобилей, мягкая сталь или сталь с покрытием, медь, латунь, сталь подвергаются пайке

оловом. Алюминий и его сплавы оловянным припоем не паяют, однако для их пайки есть специальные сплавы.

Детали должны быть идеально чистыми. Материал должен быть очищен от инородных частиц и собственных соединений. Следует удалить все жировые вещества, для чего детали промывают в бензине или трихлорэтилене.

Краску с соединяемых поверхностей удаляют шабером. Окислы или сам материал начисто зачищают напильником. Стекланную шкурку для зачистки необходимо использовать с большой предосторожностью. Порошок стекла наклеен на поверхность ткани, и пока шкурка новая, нет опасности осаждения порошка, но по мере ее износа трение вызывает образование теплоты, приводящее к расплавлению клея. Тогда клей начинает прилипать к деталям, частички клея, невидимые глазом, противодействуют соединению материала припоя с материалом детали. На производстве детали чаще всего подвергают очистке с помощью кислот.

Пайка встык не является прочной, так как припой обладает низкой механической прочностью. При пайке детали устанавливают друг на друга с перекрытием.

Для нагревания деталей и плавки припоя применяют паяльники или пламя сварочной горелки.

Рабочая часть паяльника является аккумулятором для частиц, которые, благодаря высокой теплопроводности меди, передаются в зону пайки с того момента, когда паяльник находится в контакте с деталями. Боек паяльника не должен выполняться в виде острия, он должен иметь сплюсненную форму.

Массивная медная головка паяльника устанавливается в державке из стали, на конце которой выполнена ручка из теплоизоляционного материала. Чтобы поддерживать в них нужную температуру, большинство паяльников выполняются самонагревающимися. Для выполнения небольших работ нагрев паяльников может осуществляться электрическими спиралями. Для выполнения крупных работ паяльники нагревают пламенем воздушно-

газовой смеси (бытовой газ, ацетилен, бутан, пропан).

Паяльник не надо нагревать докрасна. При нагревании паяльника докрасна капельки оловянного припоя испаряются, медь окисляется, в результате чего ухудшаются условия пайки.

Перед пайкой лезвие паяльника необходимо залудить в припое.

Для нагрева паяльника можно использовать пламя сварочной кислородно-ацетиленовой горелки. Регулирование пламени осуществляют при небольшом избытке ацетилена. Можно также применять воздушно-газовые горелки.

Разогрев паяльника пламенем обычно применяют для залужения больших поверхностей или в том случае, когда не хватает мощности паяльника. Однако применять сильно сконцентрированный источник огня нельзя.

Независимо от выполняемых работ, будь то соединение двух деталей либо нанесение припоя на листовые детали, необходимо сначала залудить поверхности, подвергаемые пайке.

Хотя поверхности, подвергаемые лужению, зачищаются до чистого материала, все равно, если не будут приняты специальные меры, в процессе нагрева поверхность материала, а также поверхность материального припоя подвергаются окислению, а возникающая при этом окисная пленка противодействует схватыванию припоя с деталью.

При пайке оловянным припоем для предотвращения окисления перед нагревом и в процессе пайки поверхности, подвергаемые пайке, покрывают флюсом. В качестве флюсов может применяться хлористый цинк, который получают растворением цинка в соляной кислоте. Эту операцию выполняют в свинцовой емкости, в процессе ее выполнения происходит выделение водорода. После окончания реакции остается хлористый цинк.

Детали, пайка которых выполняется с применением хлористого цинка, после пайки необходимо сразу промыть, чтобы избежать возможного воздействия кислоты.



В качестве флюса применяют также нейтральные вещества на базе хлористого цинка. В большинстве случаев достаточно протереть или при необходимости обезжирить места, подвергаемые пайке.

В качестве других флюсов применяют канифоль для пайки медных электрических проводов, стеарин и густую смазку-флюс для выполнения водопроводных работ.

Если лужение выполняется с помощью паяльника, то припой приближают к лезвию паяльника и выжидают, пока припой не начнет стекать на деталь, т. е. начнется смачивание. Затем постепенно перемещают паяльник в контакте с припоем, нанося тонкий слой припоя на поверхность детали. При этом необходимо периодически покрывать конец припоя флюсом.

Лужение с применением открытого пламени может выполняться с использованием припоя в виде брусков или, что более удобно, в виде лудильного порошка. В последнем случае деталь нагревают и протирают тканевым тампоном, на который насыпают немного лудильного порошка. При соприкосновении с деталью оловянный припой плавится и сцепляется с материалом. При лужении вертикально или наклонно расположенных деталей необходимо протирать поверхность в направлении снизу вверх.

Пайку двух деталей выполняют после лужения, предварительно покрыв сопрягаемые поверхности флюсом и окончательно установив их относительно друг друга. Детали слегка сжимают либо с помощью зажимов, либо другим способом, не мешающим нагреву деталей. Затем прикладывают боек паяльника к сопрягаемым поверхностям и прогревают их до расплавления припоя. При необходимости для добавки припоя расплавляют небольшой кусочек от пластинки припоя.

Итак, наносить припой на листовые детали можно двумя способами:

– с помощью паяльника. Конец бруска или проволоки припоя расплавляют и прижимают к детали. При этом необходимо следить, чтобы нагрев был не очень сильным и жидкий припой не стекал вдоль наклонных частей;

– с помощью открытого пламени. Лист нагревают до такой степени, чтобы при протирке поверхности бруском припоя на ней оставался пастообразный слой. После того как вся поверхность будет покрыта припоем, ее слегка подогревают для превращения припоя в пастообразное состояние, затем заглаживают, протирая поверхность тампоном из ткани, покрытым флюсом.

Для нанесения припоя на вертикальные участки или толстые стыки можно изготовить форму из материала, не соединяющегося с оловянным припоем. Форму прижимают к листам, и припой стекает из формы на деталь. После нанесения припоя следы флюса следует удалить, затем обработать поверхность напильником с целью придания ей нужной формы. Окончательную доводку поверхности при необходимости осуществляют полировальной машинкой или вручную.

Пайка латунным припоем. При этом способе пайки жесткое неразъемное соединение получается осаждением латуни с кремнием, которые в результате плавления растекаются и обеспечивают достаточно прочное соединение. Затвердевший шов латуни закрепляет соединенные детали.

Пайка латунным припоем применяется при ремонте кузовов автомобилей для заглушивания отверстий после высверливания точек сварки; для соединения деталей, которые нельзя нагревать до плавления; при опасности возникновения трудно выправляемых деформаций; для соединения разнородных материалов, а также для пайки деталей, которые не подвергаются автогенной пайке.

В качестве припоя применяют сплав меди с цинком, т. е. латунь с добавками, которые предназначены для уменьшения испарения цинка и снижения текучести расплава. Припой выпускают в виде круглых прутков с обработанными торцами.

В кузовных работах соединение с помощью указанного припоя осуществляется при нагреве деталей примерно до 650 °С. Диаметр прутков припоя находится в пределах 1,6–8,0 мм. Перед моментом сварки нагретый

конец прутка должен быть помещен в банку с порошкообразным флюсом на основе бората натрия. Роль флюса заключается в удалении окислов, образующихся при нагревании в зонах пайки.

Этот же материалический припой выпускается с покрытием флюсом, которое наносится протягиванием прутка на прессе. Такое исполнение исключает непроизводительные операции с порошкообразным флюсом. Участки, подвергаемые пайке, должны быть тщательно очищены, материал должен быть обнажен путем опилования напильником или шлифованием.

Детали можно соединять встык, внахлестку или под углом. Если предусматривается пайка встык, то припой должен не только просочиться между соединяемыми кромками, но и образовать шов, возвышающийся над основным материалом на величину около 10% толщины материала. Чтобы обеспечить хорошее скрепление, шов д.б. симметричным, шириной, равной трем толщинам материала. Отверстия, подвергаемые запайке, должны быть зачищены по всей окружности на ширину, равную трем толщинам материала.

Для нагрева наиболее часто применяют пламя кислородно-ацетиленовой горелки. При пайке стальных листов, которые чаще всего сваривают при кузовных работах, расход сварочной горелки составляет 60 л ацетилена в 1 ч при 1мм толщины пайки. При большом объеме сварочных работ обеспечивают небольшой излишек ацетилена, что дает возможность паяльщику быть уверенным, что пламя не будет вызывать окисление.

Первоначальное соединение деталей осуществляют короткими паяльными швами (точечная пайка). Горелку наклоняют под углом около 30°. Нагретый конец материалического припоя многократно погружают во флюс (если прутки без покрытия флюсом). Сварщик – «правша» держит горелку в правой руке и перемещает ее справа налево. Сварщик – «левша» выполняет пайку при симметричном расположении горелки и припоя.

После выполнения точечной пайки производят пайку непрерывным швом. При этом горелка наклонена в сторону охлаждающей части, конец пламени удерживают на расстоянии около 5 мм от плавящегося материала.

Как только материал деталей покраснеет, расплавляют покрытый флюсом конец прутка. Жидкий припой растекается по участку, нагретому докрасна. Если возникает опасность скатывания припоя, надо слегка приподнять горелку на короткое время, которое обеспечит мгновенное затвердевание припоя. Так создается последовательность жидких участков, тщательно и равномерно связанных друг с другом. Если материал деталей недостаточно разогрет, припой не растекается. Если детали перегреты или они были недостаточно очищены, то материал припоя соскальзывает с деталей, не схватываясь с ними. При пайке без флюса возникают те же трудности.

После пайки латунным припоем флюс образует на паяной поверхности небольшие стеклянные капельки. Их можно удалить легким скалыванием или опиливанием напильником.

Пайка припоем легких сплавов. Этот способ применяется при пайке деталей кузова, материал которых известен, однако жестянщик может столкнуться с необходимостью пайки деталей из легких сплавов, состав которых ему незнаком, и тогда возникает вопрос подбора флюсов. Пайка этим припоем позволяет соединить края легких сплавов без их плавления, следовательно, без изменения их строения.

Широко распространенными припоями этого типа являются А-510 и аналогичные ему, температура плавления которых около 580 °С. Для этих припоев необходимо применять специальные флюсы, которые вызывают коррозию алюминиевых сплавов, поэтому после пайки флюсы необходимо удалять промывкой.

Пламя горелки должно быть с избытком ацетиленом, обеспечивающего приблизительно в 3 раза большую длину пламени, чем обычно. Соединяемые кромки деталей обрабатывают шабером или напильником. При стыковой пайке следует предусмотреть небольшой зазор (0,2–0,3 мм). Пруток припоя покрывают флюсом путем нагревания его и погружения в порошок, либо составляют пасту вода-флюс, погружают в нее прутки и прокручивают для получения покрытия.

Линию пайки предварительно просушивают. Расплавляют на ней часть флюса, не доводя до плавления материальной припой. Затем расплавляют припой и непрерывно притирают пруток припоя к поверхности пайки. Расплавленный материал стекает на деталь, которая, однако, не должна плавиться. Затем дается выдержка до окончательного затвердевания.

Охлаждение применяют плавное, а затем шов промывают в проточной воде, протирая щеткой.

#### **1.4 Логика разработки автомобиля**

Различные предприятия в области автомобилестроения имеют собственные стандарты и логики разработки новых автомобилей. При этом основные понятия, последовательность и направления действий приблизительно схожи у любой компании.

Так любой автомобильный проект условно можно разделить на ключевые этапы разработки и индустриализации автомобиля, на основе которых строится график с целью последующего мониторинга исполнения четырех ключевых показателей проекта:

- качество,
- стоимость продукта,
- затрачиваемые инвестиции,
- длительность,
- потребительские свойства продукта.

Это единая процедура внедряемая в рамках развития инфраструктуры поставщиков.

Эта процедура применяется для постановки на производство новой комплектующей, или внедрение новой модернизации.

Эта процедура была создана чтобы определить требование компании к поставщикам, с первоначальной фазы внедрения проекта до запуска

продукции в серию компании определяет свои требования к Поставщику по Срокам, Стоимости и Качеству.

Поставщик берет на себя обязательства по Срокам, Стоимости и Качеству.

Поставщики должны придерживаться всех требований ISO/TS 16949

В зависимости от рисков проекта, компании адаптирует уровень своего присутствия в процессах поставщика и уровень своих требований.

Оптимизация Качества, Стоимости и Сроков разработки, постановки на производство и производства комплектующих (PPM, К°/00).

Взаимное признание принятых решений, независимо от того кем координируется процесс.

Компание уточняет свои требования КЦС по отношению к Поставщику.

Поставщик обязывается получить результаты по КЦС.

Поставщик должен приложить всю деятельность на предоставление всех необходимых документов, как это указано в процедуре.

Логика Входа/Выхода данных определяет ответственность между компанией и поставщиком.

Компание адаптирует уровень своего присутствия в процессах поставщика и уровень своих требований в зависимости от рисков проекта.

Уровень риска должен всегда пересматриваться в зависимости от ситуации.

Уровень риска влияет на статус предоставления и подписания документов в компании.

Исходя из изменения рисков, компании адаптирует свой уровень вмешательства (аудиты, помощь, частота встреч, и т.д.) в сотрудничестве с Поставщиком не описывает деятельность, которую ведет компании согласно уровню риска.

Применение способствует достижения целей по Качеству за счет:

- Более плотного участия поставщика в проекте

- Более плотного участия компании в процессах у поставщика
- Раннего обнаружения отклонений и своевременного реагирования для соблюдения целей проекта.

Фаза 1 : Организация и планирование.

Цель: выбор поставщика.

Отправка запроса на коммерческое предложение поставщику RFQ

Координация консультаций Дирекцией по закупкам посредством стандартных документов RFQ (Request for quotation – запрос на коммерческое предложение)

Техническое досье составляется инженерией

Технический ответ поставщика утверждается инженерией

SQF (Отдел качества комплектующих) передает свой опыт и анализ верности обязательств по качеству поставщика

. Основные индикаторы:

Отправка RFQ

Отправка письма о намерениях

Поступление обязательств по качеству поставщика

Критерии .

Оценочное предложение конструкции и технологии

План достижения целей по качеству (методики, мероприятия, номенклатура испытаний)

Перечень субпоставщиков (с данными по сертификации)

Перечень контактных лиц

Укрупненные транспортные решения

Закупки

указывает дату номинации поставщика в плане локальной интеграции получает и утверждает, после инженерии, обязательства поставщика по КЦС

Инженерия

разрабатывает тех. задание на изделие исходя из целей КЦС для

проекта

утверждает технический ответ поставщика

дает свое мнение о возможности постановки изделия

(Отдел качества комплектующих)

передает свой опыт и участвует в разработки тех. задания

Вносит свой вклад в анализ надежности принятых поставщиком обязательств.

Фаза 2: Разработка продукции и технологии.

Цель: запустить производство оснастки.

Оценить риски.

В случае высоких рисков привлечь экспертов

Совместно с поставщиком утвердить план действий:

- План-график
- План постановки на производство
- Разделение ответственности за испытания
- Утвердить промышленную выполнимость проекта
- Инициировать подготовку серийного тех.процесса
- Подготовить чертежи и техническое досье

Критерии:

2.1 FMEA конструкции

2.2 Рекомендации по обращению с продукцией

2.3 План испытаний

2.4 Описание производственных мощностей

2.5 Прототип плана контроля

2.6 Техническое досье изделия (чертежи, т.з., характеристики, материалы, способы идентификации)

2.8 Спецификация контрольных приспособлений

2.9 Идентификация специальных характеристик

2.10 Перечень контактных лиц

2.11 Описание логистики (DCL)



2.12 Предварительная блок – схема производственного процесса

2.13 Описание производственного процесса

2.14 Планнинг проекта

2.15 Перечень рисков проекта

2.16 Обязательства Поставщика по выполнимости характеристик

2.17 Классификация характеристик по уровню значимости

2.18 Меры по подтверждению воспроизводимости

Закупки:

- получает от поставщика подробное техническое описание процесса производства изделия

- получает от поставщика перечень поставщиков ранга 2

- дает разрешение поставщику на производство оснастки

- подтверждение обязательств взятых на себя поставщиком.

Инженерия:

- подтверждает что тех. описание изделия и размещение процесса соответствует целям по КЦС

- дает свое подтверждение на запуск изготовление оснастки

Отдел качества комплектующих:

- передает свой опыт в области создание планинга проекта и плана постановки на производство.

Фаза 3 : Производство деталей первого съема.

Цель: закончить производство оснастки.

Повтор оценки рисков:

- Следовать плану действий определенному на этапе 2

- Произвести приемку контрольной оснастки

- Подготовить прибытие производственной оснастки на производственную площадку поставщика

- Подготовка и проведение приемки первых деталей off-tool.

Критерии:

3.1 Спецификация спецтары

- 3.2 Анализ документов системы качества
- 3.3 Блок – схема производственного процесса
- 3.4 Описание производственного процесса
- 3.5 FMEA производственного процесса
- 3.6 План контроля пред-серии
- 3.7 Рабочая документация на рабочих постах
- 3.8 Окончательное описание мер по подтверждению

воспроизводимости.

- 3.9 Перечень контактных лиц
- 3.10 Рапорт контроля деталей первого съема
- 3.11 План работ по постановке на производство

Закупки:

- получает от поставщика его обязательства по соблюдению процесса изготовления деталей первого съема, что гарантирует качество продукции
- контролирует наличие и работоспособность оснастки и контрольного оборудования у поставщика

Инженерия:

- подтверждает соответствия процесса изготовления деталей первого съема (их соответствия целям КЦС)

Отдел качества комплектующих:

- подтверждает соответствия деталей первого съема

Фаза 4 : Приемка деталей первой промышленной партии.

Цель: приемка первой промышленной партии.

Повтор оценки рисков:

- Эффективное проведение совещаний по подготовке одобрения продукта.

- Получить подтверждение соответствия продукции произведенной в рамках серийного производственного процесса (применение обходной технологии исключается)

- Приемка деталей первой промышленной партии.

- FMEA процесса или продукта

- Утвержденные и заверенные чертежи
- Таблица декларирования применяемых материалов
- Рекомендации по обращению с изделием
- Обязательства по качеству поставщика
- Перечень контактных лиц
- Результаты подтверждения технологической точности оборудования
- Блок-схема производственного процесса
- План контроля серийного производства
- Описание плана производительности
- Рапорт о реализации плана постановки на производство
- Планирование предпроизводственного аудита
- Подтверждение приемки комплектующих
- Проведение монтажных испытаний
- Отчеты об испытаниях поставщика
- Отчеты об испытаниях компании
- Утверждение внешнего вида
- Описание и приемка условий транспортировки и складирования

Закупки:

- получает от поставщика его обязательство соблюдать последовательно процесс изготовления и гарантировать соответствие продукта

- контролирует применение плана контроля (Plan de Surveillance) на производстве у поставщика

Инженерия:

- утверждает соответствие процесса изготовления и деталей

произведенных с этим процессом

- утверждает ожидание от тех. задания

Отдел качества комплектующих:

- согласовывает одобрение продукта и подтверждает соответствие деталей поставляемых на завод.

Фаза 4 : разрешение на начало производства поставщика.

Цель: получение разрешения на производство поставщика.

Повтор оценки рисков:

- Проведение предпроизводственного аудита
- Получить подтверждение соответствия продукции произведенной в рамках серийного производственного процесса (применение обходной технологии исключается) с заданным тактом производства

Фаза 4 : разрешение на начало производства поставщика.

Критерии:

- Подписанный акт
- Утверждение условий логистики между компании и поставщиком
- Рапорт о реализации плана постановки на производство
- одобрение поставщиков ранга N
- Результаты подтверждения технологической точности оборудования (Результаты TAG-N)
- План контроля серийного производства
- Рекомендации по обращению с изделием
- Результаты аудита процесса
- Результаты предпроизводственного аудита
- Результаты "аудита чистоты" выполненного поставщиком

- Обязательства по производительности
- План корректирующих действий по результатам предпроизводственного аудита.

#### Закупки:

- проводят предпроизводственный аудит по запросу инженерии или других служб
- получают от поставщика доказательства подтверждающие производства изделий с требуем тактом выпуска
- получают от поставщика его обязательство соответствие продукта и процесса, сертификат
- контролирует применение плана контроля (Plan de Surveillance) на производстве у поставщика

#### Инженерия:

- утверждает соответствие процесса производства соответствующих изделий нужному такту выпуска

#### Отдел качества комплектующих:

- согласовывает и подтверждает соответствие деталей поставляемых на завод
- присутствует на предпроизводственном аудите

#### Фаза 5 : Серийное производство.

#### Цели:

- Соответствие утвержденному плану выхода на заданные мощности
- Улучшение качество продукции

Фаза 5 начинается после подписания сертификата без резервов.

#### Документы:

- Запрос на изменения процесса производства или переезда производства в другое место
- Запрос на изменение изделия.

## **2 Методика проведения исследований**

### **2.1 Предлагаемые к применению материалы в процессе пайки кузовных деталей прототипного автомобиля**

Целью работы было обозначено предложение использования процесса пайки кузовных деталей на примере прототипного автомобиля.

На основании проведенного анализа производства прототипного автомобиля было выявлено, что прототипный автомобиль (кузов универсал) совпадает по конструкции и геометрии с уже имеющимся автомобилем в серийном производстве в кузове седан в передней части автомобиля протяженностью до стойки Б.

Таким образом с целью сокращения сроков и инвестиций в прототипную штамповую оснастку для производства кузовных деталей прототипного автомобиля предложено несилловые штампованные детали, а именно правую и левую панели боковины, производить с применением процесса пайки. Т.е. предлагается изготовить штамповую оснастку только на заднюю часть панели боковины и соединять с передней частью от действующей детали «панель боковины» с серийного автомобиля седан (приложение 1, приложение 2).

Исходя из поставленной цели, в ходе подготовки работы было проведено исследование процесса пайки, где было предложено применить для соединения детали «панель боковины».

Материал, заложенный в конструкцию панели боковины прототипного автомобиля в кузове универсал - сталь DX57D + Z140 EN 10346 толщиной 0,7мм EN 10346 от 2009 «Холоднокатаные формованные стали».

Характеристики стали DX57D + Z140 EN 10346 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Марка:	DX57D + Z140 EN 10346
Классификация:	Холоднокатаные формуемые стали
Применение:	детали, изготавливаемые холодной штамповкой с особо сложной и сложной вытяжкой

Химический состав в % материала стали DX57D + Z140 EN 10346 представлены в таблице 2.

Таблица 2

C	Si	Mn	S	P	Nb	Al	Ti
до 0.01	до 0.2	до 0,7	до 0.025	до 0.06	до 0.09	≤0,01	до 0.12

Механические свойства стали DX57D + Z140 EN 10346 представлены в таблице 3.

Таблица 3

Класс прочности группы	Класс прочност и марки	Предел текучести, Мпа	Предел прочности, Мпа	Относительное удлинение, %	R <sub>90</sub>	N <sub>90</sub>
180/310	180/330	180-240	330-390	δ <sub>80</sub> ≥34	≥1,7	≥0,18

Технологические свойства стали DX57D + Z140 EN 10346 представлены в таблице 4.

Таблица 4

Свариваемость:	без ограничений.
Флокеночувствительность:	не чувствительна.
Склонность к отпускной хрупкости:	не склонна.

Свариваемость стали DX57D + Z140 EN 10346 представлены в таблице 5.

Таблица 5

без ограничений	- сварка производится без подогрева и без последующей термообработки
ограниченно свариваемая	- сварка возможна при подогреве до 100-120 град. и последующей термообработке
трудносвариваемая	- для получения качественных сварных соединений требуются дополнительные операции: подогрев до 200-300 град. при сварке, термообработка после сварки - отжиг

Материал, используемый в производстве панели боковины действующего автомобиля в кузове седан – сталь HX180YD + Z140 EN 10346 толщиной 0,7 мм.

Химический состав стали HX180YD + Z140 EN10346 представлен в таблице 6

Таблица 6

Химический состав												
Условный номер и требования	Содержание элементов, %											
	C	Si	Mn	P	S	Al <sub>tot</sub>	Nb	Ti	Ni	Cr	Cu	Fe
94	0,010	0,014	0,351	0,042	0,009	0,055	0,031	0,014	0,006	0,034	0,020	ост.
EN 10346:2009-06	Макс. 0,01	Макс. 0,20	Макс. 0,90	Макс. 0,080	Макс. 0,025	≤0,10	Макс. 0,09	Макс. 0,12	Не норм.	Не норм.	Не норм.	ост.

Модуль упругости (в продольном направлении), E: 206000 МПа.

Механические свойства стали HX180YD + Z140 EN10346 представлен в таблице 7

Таблица 7

Механические свойства в трех направлениях прокатки						
Направление проката и требования	факт. толщина, мм	R <sub>p0.2</sub> , МПа	R <sub>p0.01</sub> , МПа	R <sub>m</sub> , МПа	A <sub>g</sub> , %	A <sub>5g</sub> , %
0°	0,697	206	225	374	22,3	36,6
45°		214	231	362	23,2	40,4
90°		219	237	371	21,4	36,7
EN 10346:2009-06 для 90°		-	От 220 до 280	От 340 до 420	-	≥ 32



Показатели деформационного упрочнения и коэффициент пластической анизотропии стали HX180YD + Z140 EN10346 представлен в таблице 8

Таблица 8

Показатель деформационного упрочнения и коэффициент пластической анизотропии

Направление проката в требования	n, при удлинении:		Г, при удлинении:		
	от 8 % до Ag	от 10 до 20 %	$\epsilon=0.1$	20 %	$A_2$
0°	0,215	0,214	1,406	1,355	1,345
45°	0,215	0,214	1,919	1,909	1,909
90°	0,210	0,208	1,971	1,986	1,997
EN 10346:2009-06 для 90°	-	$\geq 0,17$	-	$\geq 1,5$	-

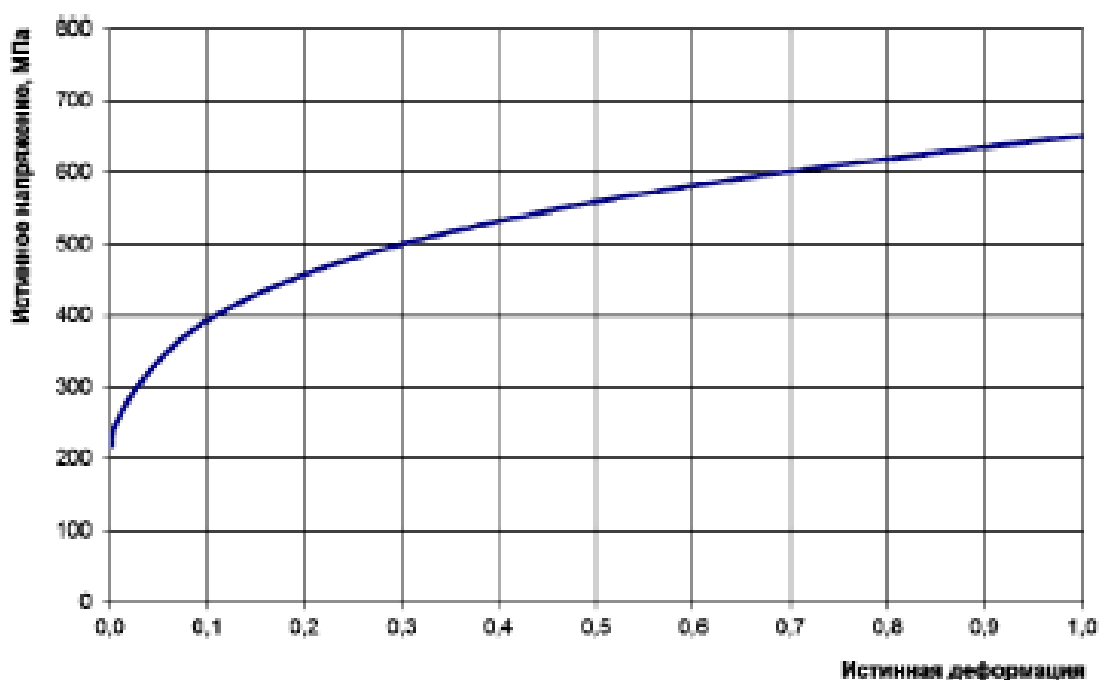


Рис.6. Кривая пластической составляющей истинной деформации/истинных напряжений проката HX180YD +Z140 толщиной 0,70 мм.

Данные деформационной кривой стали HX180YD + Z140 EN10346 представлен в таблице 9

Номер точки	Истинная пластич. деформация	Истинное напряжение, МПа	Номер точки	Истинная пластич. деформация	Истинное напряжение, МПа	Номер точки	Истинная пластич. деформация	Истинное напряжение, МПа
0	0.000	217.0	14	0.070	363.6	28	0.210	462.2
1	0.001	230.0	15	0.080	374.3	29	0.220	466.9
2	0.003	242.1	16	0.090	384.1	30	0.250	480.1
3	0.005	247.6	17	0.100	393.0	31	0.300	499.6
4	0.008	255.7	18	0.110	401.3	32	0.350	516.7
5	0.014	270.6	19	0.120	409.0	33	0.400	532.0
6	0.016	275.1	20	0.130	416.2	34	0.450	545.9
7	0.019	281.9	21	0.140	423.0	35	0.500	558.6
8	0.021	285.9	22	0.150	429.4	36	0.550	570.3
9	0.026	296.4	23	0.160	435.5	37	0.600	581.3
10	0.030	304.1	24	0.170	441.3	38	0.700	601.2
11	0.040	321.8	25	0.180	446.9	39	0.800	619.0
12	0.050	337.8	26	0.190	452.2	40	0.900	635.1
13	0.060	351.6	27	0.200	457.3	41	1.000	649.9

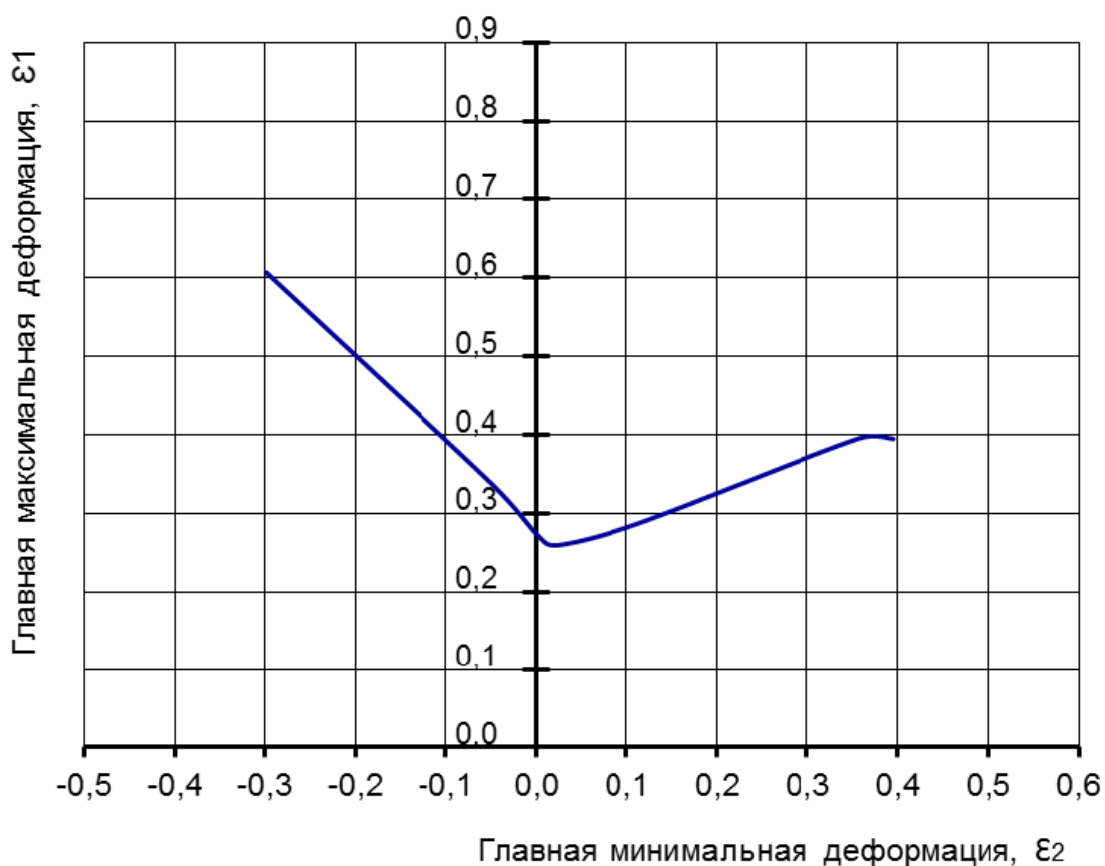


Рис.7. Диаграмма предельных деформаций проката НХ180УД +Z140 толщиной 0,70 мм.

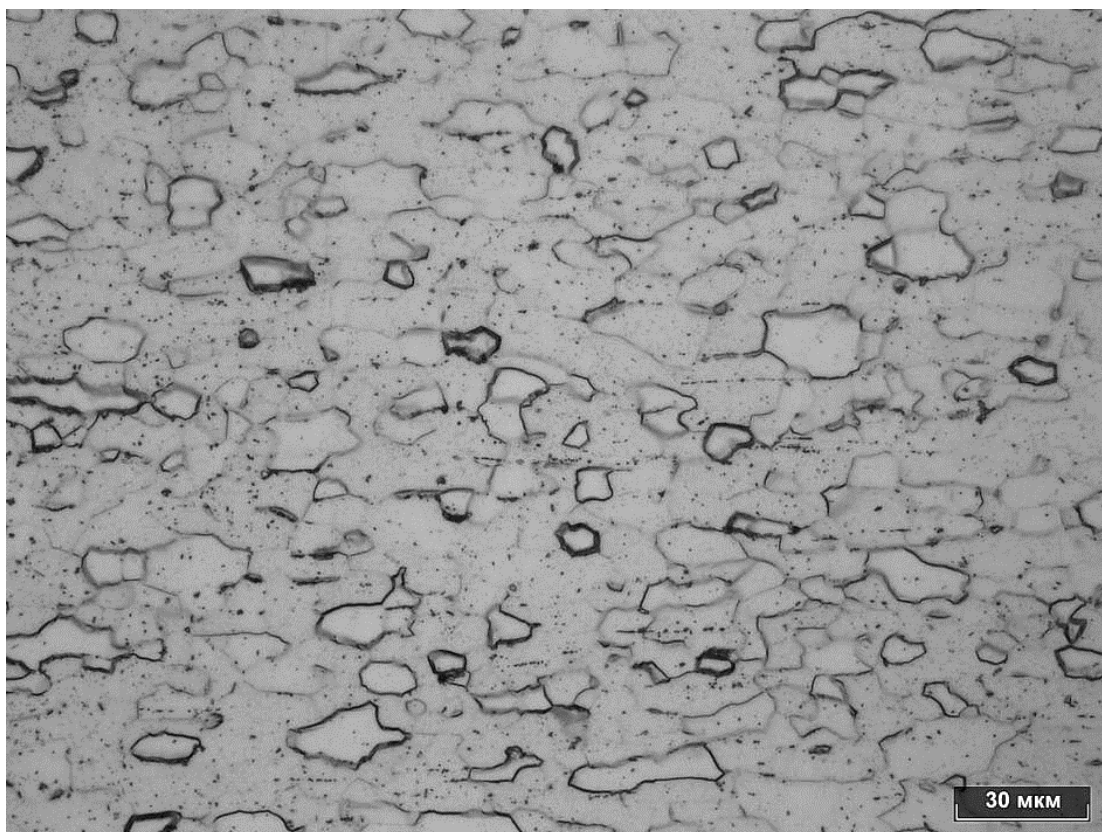


Рис.8. Микроструктура проката HX180YD +Z140 толщиной 0,70 мм.

Технологический процесс пайки отличается от процесса сварки тем, что присадочный материал имеет отличный от основного материала химический состав. Для выбора присадочного материала проведем анализ возможных систем припоев для пайки сталей.

Углеродистые и низколегированные стали широко применяются в машиностроении как конструкционный материал, так и для изготовления деталей машин и различных видов инструмента. Разработка технологии их пайки включает в себя: выбор припоя, выбор способа нагрева и режимов, выбор способа активации паяемой поверхности, выбор типа соединения. Термический цикл пайки в печи состоит в общем нагреве изделия до температуры превышающей температуру полного расплавления припоя, выдержке и последующем охлаждении. Если температура пайки превышает точку  $A_{c3}$  паяемой стали, произойдет отжиг изделия с потерей исходных механических свойств. Для их восстановления потребуется последующая

термообработка. Предпочтительнее использовать припои, температура пайки которыми ниже точки А 4с1 0 для данной стали или лежащей между точками А 4с1 0 и А 4с3 0. Однако температура точки А 4с1 0 для сталей 980°К, и припои с температурой пайки близкой к указанной не всегда обеспечивают необходимые механические характеристики паяного шва.

При высокотемпературной пайке углеродистых, низколегированных и высокоуглеродистых сталей обычно используют припои на основе серебра, железа или меди [1,5], температура плавления которых 800...1150°С. Для высокотемпературной пайки коррозионно-стойких сталей применяют серебряные, медные, никелевые припои, а также припои систем Cu-Ni-Si, Ni-Cr-Mn, Cu-Mn-Ni, Ni-P. Медно-цинковые припои не применяют из-за проникновения их по границам зёрен стали и растрескивания.

Серебро обладает уникальными свойствами, позволяющими осуществлять высококачественную пайку припоями на его основе при температурах ниже рекристаллизации углеродистых и высоколегированных сталей. Чистое серебро в качестве припоя применяется редко. Чтобы уменьшить количество серебра в припое и снизить температуру пайки используют многокомпонентные серебряные припои, прежде всего систем Ag-Cu-Zn, Ag-Cu-Zn-Cd, Ag-Cu-Sn, Ag-Cu-P, Ag-Cu-Mn, Ag-Cu-Li и др.

Основной недостаток этих припоев - высокая стоимость серебра. Запасы цветных материалов не безграничны, и важной задачей является экономия серебра [2,14,17,24]. При пайке сталей иногда используют чугун или другие припои на основе железа (системы Fe-Mn-C, Fe-Cr-Si-B, Fe-Mn-Cu-Ni-C-B-Si, Fe-Cr-Ni-B и др.). Основной недостаток этих припоев - высокая (1150 - 1250°С) температура пайки, что ведёт к опасности пережога, большому расходу электроэнергии и высоким требованиям к материалам нагревателей и применяемой оснастки.

Наиболее широко для пайки сталей применяются припои на основе меди, обладающие хорошими технологическими свойствами и не содержащие дефицитных элементов. Самый распространённый в промышленности

технологический процесс высокотемпературной бесфлюсовой пайки сталей - пайка чистой медью в печах с восстановительной атмосферой.

Достоинствами этой технологии являются высокие производительность и степень механизации. Однако температура пайки чистой медью довольно высока (1100-1150°C). Прочность паяных соединений на разрыв меняется от прочности литой меди 190 МПа, до 350 МПа за счёт растворения железа и контактного упрочнения, прочность на срез составляет 150-170 МПа, что уступает прочности сталей. Кроме того, следует считаться с требованиями экономии защитного газа, поэтому данный способ рационален только в условиях крупносерийного и массового производства.

Для снижения температуры пайки и повышения прочности применяют в качестве припоев сплавы меди. Это медно-цинковые припои - латуни и припои систем Cu-Mn, Cu-Ni, Cu-Mn-Ni, Cu-Ni-Si-Fe-, Cu-Mn-Ni-Ag, Cu-Mn-Ni-Si-Fe-Co, Cu-Mn-Ni-Fe с добавками В, Li, Zn, P, K, Na, Al и др.

Медь с никелем образует ряд твёрдых растворов. Для увеличения жаростойкости, прочности при повышенных температурах в медно-никелевые припои вводят хром, марганец, железо, кремний и алюминий [5]. При пайке в среде нейтральных газов или вакууме не происходит заметного растворения основного материала, что позволяет паять припоями Cu-Ni тонкостенные изделия.

Механические свойства сплавов Cu-Mn из-за распада  $\alpha$ - фазы с течением времени меняются, поэтому двойные сплавы редко применяются для пайки нержавеющей сталей. В тройных сплавах распад  $\alpha$  - фазы происходит намного медленнее. Учитывая, что никель способствует снижению окисляемости припоев в жидком состоянии и улучшению смачиваемости ими поверхности коррозионно-стойких сталей для основы припоев более пригодны сплавы Cu-Mn-Ni [2].

Сплавы меди, содержащие фосфор в количестве 4-9%, имеют высокую жидкотекучесть и сравнительно низкую температуру плавления.

Так, эвтектический сплав содержащий 8,25% фосфора плавится при 707°C. Для снижения температуры плавления и увеличения пластичности в эвтектический сплав меди с фосфором вводят олово и цинк. Применение для пайки сталей меднофосфорных припоев ограничено изделиями не подверженными вибрационным нагрузкам из-за образования в паяном шве фосфидов железа, приводящих к потере пластичности охрупчиванию соединения.

В отдельных случаях можно получить пластичное соединение, нанося на паяемые поверхности стального изделия барьерные покрытия, например гальваническим путём (никелирование, меднение) [5,4].

Оптимальная толщина медного покрытия при пайке стали 12Х18Н10Т и меди М1 составляет 75 мкм [13]. При меньшей толщине появляются фосфиды, увеличение толщины покрытия не приводило к улучшению механических характеристик шва.

Другой вариант предусматривает удаление из шва легкоплавкой эвтектики Cu-P для предотвращения возникновения фосфидов железа. Эвтектика выдавливается в галтель, и оставшийся фосфор образует отдельные включения, излом паяного соединения не хрупкий [13].

Улучшить характеристики шва можно добавляя в припой системы Cu-P никель. Добавки никеля в количестве 4-15% предотвращают образование сплошной прослойки фосфидов, но при этом значительно возрастает температура пайки [9]. Температура плавления аналогичного припоя марки ПМФН 8,5-8,5 меньше, 630-650°C, но прочность его низка [10].

Сплавы системы Cu-Zn (латуни) широко применяются в качестве припоев для пайки сталей. Механические характеристики латуней существенно зависят от содержания цинка. С увеличением содержания цинка до 30-32% возрастают и прочность и пластичность латуней. Дальнейшее увеличение содержания цинка снижает пластичность, а при содержании цинка свыше 45% снижается и прочность, из-за большого

количества  $\gamma_0$  и особенно  $\gamma_0$  фазы. Поэтому наиболее широко распространёнными двухкомпонентными латунными припоями являются Л63 и Л68. Применение припоев с большим содержанием цинка (ПМЦ54, ПМЦ48, ПМЦ36) ограничено пайкой изделий, не подвергающихся ударным нагрузкам, изгибу и вибрации.

Вводя в двухкомпонентные латуни различные легирующие добавки, можно расширить технологические возможности применения медно-цинковых припоев и номенклатуру паяемых материалов. Добавки алюминия, марганца, железа, никеля улучшают механические свойства латуней и их теплостойкость [2,20,5]. Латуни содержащие незначительные добавки олова и кремния имеют лучшие технологические свойства и обеспечивают более высокую плотность и герметичность шва [5,4].

Легирование никелем значительно повышает механические свойства латуней. Известен ряд припоев Cu-Ni-Zn содержащих от 3-х до 10-ти процентов никеля [5,4]. Сплав состава 45-47%Cu, 5-10%Zn, 10%Ni именуемый "нейзельбер" даёт значительно более прочные соединения, чем паяные двухкомпонентной латунию [1, 2].

Для ориентации к какому структурному классу относится латунь содержащая тот или иной легирующий компонент применяют коэффициенты Л. Гийе [11,12]. Никель - единственный элемент для которого коэффициент Гийе отрицательная величина (-1,5), другими словами, присадка никеля равносильна уменьшению содержания цинка, т.е. фаза появляется при большем содержании цинка.

Из-за высокой жидкотекучести латуни возможны затруднения при пайке изделий с относительно широкими (более 0,6 мм) зазорами. Соответственно возрастают требования к сборке. Предотвратить вытекание припоев из относительно широких зазоров можно вводя в припой компоненты, расширяющие температурный интервал плавления [1]. Никель расширяет температурный интервал плавления латуни [25], и его добавки позволяют предотвратить вытекание латуни из широких зазоров.

Добавки в латуни кремния, позволяющего уменьшить испарение цинка при нагреве под пайку снижают пластичность и прочность паяного соединения вследствие образования на границе сталь-паяный шов прослойки хрупкого химического соединения железа с кремнием. Никель обладает большим химическим сродством с кремнием, чем с железом.

При введении в припой Cu-Zn, содержащий 0,5% Si, 2% Ni, кремний связывается с никелем в химическое соединение и не образует интерметаллида с железом по границе шва [1].

Кремний в латуни добавляют в количестве до 1%. Скорость испарения цинка при нагреве латуней содержащих кремний значительно снижается. Относительно механизма действия кремния существуют различные предположения [1]:

- 1) уменьшение коэффициента диффузии цинка,
  - 2) образование плотной защитной плёнки оксидов на поверхности припоя, непроницаемой для цинка,
  - 3) образование боросиликатов, всплывающих на поверхность припоя.
- Известно, что при нагреве в атмосфере гелия латуней содержащих кремний скорость испарения цинка не снижается [6].

Совместное легирование бором 0,1-0,3% и кремнием 0,75-0,9% позволяет применять латуни для пайки коррозионно-стойких сталей [24,17].

Коэффициент Гийе для кремния равен +10 [11,12] поэтому введение кремния в больших количествах охрупчивает латуни и паяные соединения получаются хрупкими. Кроме того, при напайке сталей латунию, легированной кремнием, в контакте твёрдой и жидкой фаз образуется хрупкая прослойка интерметаллида Fe Si вследствие большого сродства атомов железа и кремния. При этом высвобождающиеся атомы углерода образуют включения графита. Поэтому при напайке сталей латунию легирование последней кремнием необходимо ограничить, не более 0,3%Si [1]. Легирование марганцем сплавов Cu-Zn повышает прочность и снижает



температуру их плавления. Так, припой содержащий марганец в количестве 10-20% полностью расплавляется при температурах 850-900°C [8,9]. Однако, при содержании марганца около 20% наблюдается снижение пластичности.

Добавки олова понижают температуру плавления латуни, повышают коррозионную стойкость в морской воде и увеличивают жидкотекучесть и растекание припоя. Температура плавления латуни содержащей 10%Sn - 810°C [5]. Введение олова позволяет вести пайку при незначительном перегреве от температуры полного расплавления припоя (температуры ликвидуса) [14]. Однако олово в больших количествах также охрупчивает латуни

Снизить температуру плавления медно-цинковых припоев можно легируя их индием в количестве 1-5%. При этом механические характеристики припоя и паяного шва остаются на высоком уровне. Сплавы, содержащие до 34% Zn и 5%In имеют однофазную ( $\alpha$ -фаза) структуру [18].

При специальном легировании припоя можно улучшить совместимость припоев с паяемым материалом. Например в припой вводят легирующие химические элементы, имеющие высокое химическое сродство с паяемым материалом [1]. Учитывая, что графит удовлетворительно смачивается титаном, алюминием, кремнием, бором [5], легируя латуни вышеперечисленными элементами, можно улучшить смачивание чугунов и высокоуглеродистых сталей. Так припой для пайки чугуна ЛОМНА содержит 0,2-0,6% Al [1].

Для увеличения теплостойкости паяного соединения в латунные припои, например при пайке тяжело нагруженного составного твердосплавного инструмента, вводят хром [2]. Эвтектика Cu-Cr содержит 8,4% Cr и температура её плавления 1075°C.

Широко применяют при пайке сталей латуни, легированные двумя и более элементами, особенно для пайки тяжело нагруженных изделий

[19,1,5]. Применение сложнолегированных латуней позволяет снизить температуру нагрева при пайке и, одновременно, увеличить прочность соединения. Методами векторной оптимизации и многомерного анализа в ИЭС им.Е.О.Патона исследован ряд составов припоев систем Cu-Zn-Mn-Si-Zr, Cu-Zn-Mn-Si-Sn [14]. Полученные результаты позволили разработать припой с температурой плавления не выше 840°C, обеспечивающие высокие механические свойства паяных соединений. Оптимальный состав припоя, обеспечивающий максимальную прочность соединения Cu-34Zn-9,5Mn-0,8Si-3Sn, вес.%. Температура пайки таким припоем 826°C

Условное обозначение припоев состоит из трех частей. Первая часть содержит букву В (Brasing), означающую припой.

Вторая часть содержит группу символов — химических элементов припоя. Первым в группе символов указывают основной элемент припоя, определяющий его основные свойства. Затем указывают численное значение его массовой доли в процентах. Остальные химические символы указывают в порядке убывания массовой доли элементов. В случае, если в припое два или более элементов имеют одну и ту же массовую долю, их указывают в порядке понижения атомного номера.

Элементы припоя, массовая доля которых составляет меньше 2 %, не указывают, кроме элементов, оказывающих существенное влияние на свойства припоя, драгоценных и редких материалов, если они не являются примесями.

В обозначении указывают не более шести химических элементов.

Третья часть содержит значение температуры начала и конца плавления. Для эвтектических сплавов указывают только температуру плавления.

Примеры условных обозначений:

1. Эвтектический припой, содержащий 72 % серебра (основной элемент) и 28 % меди, с температурой плавления 780 0С: В Ag72 Cu 780.

2. Припой, содержащий 63 % никеля (основной элемент), 16 % вольфрама, 10 % хрома, 3,8 % железа, 3,2 % кремния, 2,5 % бора, 0,5 % углерода, 0,6 % фосфора, 0,1 % марганца и 0,2 % кобальта с температурой начала плавления 970 0С и конца плавления 1105 0С:

В Ni63 W Cr Fe Si B 970–1105.

3. Припой, содержащий 25 % олова (основной элемент), 73 % свинца и 2 % сурьмы с температурой начала плавления 185 0С и конца плавления 260 0С: В Sn25 Pb 185–260.

В настоящее время переход на новое обозначение припоев не завершен как в нашей стране, так и за рубежом, и пока используют обозначение припоев по ранее разработанным стандартам на отдельные группы припоев (ПОС 90, ПОССу 61-0,5, ПОСу 95-5, ПСр 72, ПСр МО 68-27-5, ПСр 50 Кд, ПМЦ 36, ПМЦ 54 и др.) или по марке, установленной заводом-изготовителем (ВПр 1, ВПр 9, ВПр 31 и др.).

По существующим стандартам обозначение припоя начинается с буквы П (припой), затем указывают химический символ основного элемента припоя. Дальнейшее обозначение припоя отличается для различных групп припоев.

Для оловянно-свинцовых припоев проставляют все символы элементов, а массовые доли этих элементов в процентах указывают только для олова и сурьмы. Символы элементов обозначают буквами русского алфавита (ГОСТ 21930–76). Например:

1. ПОС 90 — припой (П) оловянно (О)-свинцовый (С) со средним содержанием олова 90 %.

2. ПОССу 10–2 — припой (П) оловянно (О)-свинцовый (С) сурмянистый (Су) со средним содержанием олова 10 % и сурьмы 2 %.

Для медно-цинковых припоев (ГОСТ 23137–78) после символов элементов указывают содержание только основного элемента.

Например, ПМЦ 36 — припой (П) медно (М)-цинковый (Ц) со средним содержанием меди 36 %.

Для серебряных припоев существуют различные варианты обозначений (ГОСТ 19738–74).

Первый вариант. После буквы П указывают только основной элемент и его процентное содержание (ПСр 72, ПСр 40, ПСр 1). Например:

1. ПСр 72 — припой (П) серебряный (Ср) со средним содержанием серебра 72 %. Второй элемент медь (28 %) не указывают.

2. ПСр 1 — припой (П) серебряный (Ср) со средним содержанием серебра 1 %. Другие элементы — олово (35 %), кадмий (2,5 %), сурьма (0,9 %), свинец (остальное) не указывают. По данному условному обозначению серебряных припоев трудно судить об их составе.

Второй вариант. После буквы П указывают элементы, входящие в состав припоя, а затем их процентное содержание. ПСрМЦКд 45-15-16-24, например, — припой серебряный со средним содержанием серебра (Ср) 45 %, меди (М) 15 %, цинка (Ц) 16 % и кадмия (Кд) 24 %. Этот вариант обозначения припоев — самый информативный.

Следует отметить, что кадмий в серебряных припоях обозначают двумя буквами «Кд», а для оловянно-свинцовых припоев по ГОСТ 21930–76 — одной буквой «К», например, ПОСК 50-18, содержащий 50 % олова (О) и 18 % кадмия (К).

Третий вариант. После буквы П указывают основной элемент, его процентное содержание, а затем — только буквенный символ еще одного элемента, оказывающего существенное влияние на свойства припоя.

Например, ПСр50Кд — припой серебряный с содержанием 50 % серебра (Ср), имеющий в своем составе кадмий (Кд). Кадмий в серебряных припоях сильно снижает их температуру плавления, одновременно увеличивая жидкотекучесть. Для данного припоя символы меди и цинка, их процентное содержание, как и кадмия, не указывают в обозначении припоя.

Обозначение припоев по ранее разработанным стандартам не предусматривает указания температур начала и конца плавления.

Марки оловянно-свинцовых и серебряных припоев, их химический состав и назначение приведены в табл. 4.64–4.69, а марки наиболее распространенных медных, никелевых, алюминиевых припоев и их химический состав — в табл. 4.70–4.72.

В соответствии с выбранной технологией соединения детали «панель боковины» и в соответствии с выполненным анализом припоев, которые можно применить для пайки сталей, в качестве припоя предлагается использование проволоки Лат ПРВ ЛНКМЦ19-10-03-02 01,6, которая плавится при помощи газовой горелки с применением газа ацетилен-кислород.

## **2.2 Предлагаемый к применению процесс пайки кузовных деталей прототипного автомобиля**

Изучив различные способы пайки в данном случае мной был предложен метод пайки латунью с применением газовой горелки, описанный ниже (рис.9).

Пайка латунью относится к высокотемпературной пайки. Ее температура плавления составляет – 880 – 950 С. Ее необходимость возникает, когда необходимо получить более прочное соединение, чем при использовании более мягких припоев. Также преимуществами данного вида пайки являются устойчивость к высоким температурам полученного соединения и отсутствие изменений в структуре материала, что неизбежно при использовании сварки.

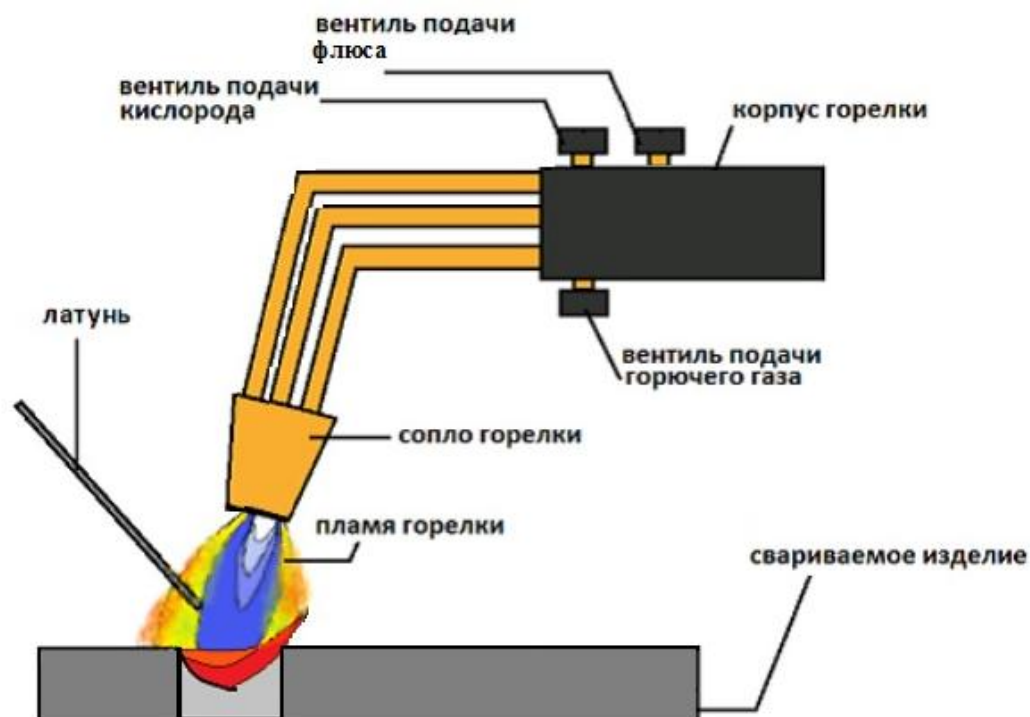


Рис.9– Схема пайки материалов латунию при помощи газовой горелки.

По сравнению с другими тугоплавкими припоями ( серебряным, медно-фосфорным) данный сплав является самым прочным и высокотемпературным. Благодаря наличию цинка в составе латуни имеет повышенную устойчивость к окружающей среде, слабо подвержена коррозии. Олово, входящее в состав некоторых видов латуни, повышает текучесть и понижает температуру плавления, а кремний не дает цинку окислиться и испариться.

Приминяются данные припои исключительно при пайке чугуна, стали, меди и оловянистой бронзы ( с содержанием олова до 8%).

Для данного вида пайки не подходит обычный паяльник. Необходимо оборудовние, способное разогреть изделие до температуры, которая несколько превышет температуру плавления латуни (900 – 1000 С). В большинстве случаев применяются различные газопламенные горелки и печи. Значительным недостатком использования горелок является быстрота и

неравномерность нагрева. В совокупности со свойством латуни в жидком состоянии проникать по границам зерен стали, что может вызвать хрупкое разрушение под напряжением, это способствует образованию трещин. Вероятность их появления становится значительно ниже при пайке стали в печах или солевых ваннах, где обеспечивается равномерный нагрев паяемых изделий. Повторная пайка в любом случае увеличивает данную опасность. При этом, учитывая большие габариты паяемого изделия, было принято решение об использовании газовой горелки.

В качестве флюса используется бура, смешанная с борной кислотой в соотношении 1:1 и залитая водой на 20 г каждого компонента необходимо взять 250 мл жидкости.

Технологию пайки латуни при помощи газопламенной горелки можно описать следующим образом:

- Прежде всего необходимо зачистить места стыковки деталей. Это делается для того, чтобы удалить стойкую оксидную пленку, которую не способен снять флюс. Для этого используют слесарные инструменты (напильники, шаберы, надфили и ножовки).

- Соединить детали при помощи тисков, либо другим способом.

- Промазать зону пайки флюсом, который снимет оксидную пленку с материала и обеспечит лучшую адгезию.

- Зажечь горелку, настроить пламя с небольшим избытком кислорода, с целью исключения окисления поверхности материала.

- Разогреть кончик припоя и окунуть его во флюс, в случае если припой изначально не был офлюсован.

- Равномерно разогреть изделие в месте стыковки до вишневого цвета.

- Расплавить припой по месту пайки, если было достаточное количество флюса, то он легко растечется и затянет стык.

- Дать припою застыть.

- Зачистить спай.

## **2.3 Контролируемые факторы образцов исследования в процессе пайки кузовных деталей прототипного автомобиля и их значения**

Для того чтобы обозначить контролируемые факторы образцов исследования изначально были определены типы испытаний, которые необходимо провести.

Первое испытание – исследование на коррозию ГОСТ 9.308-85 «метод испытаний при воздействии нейтрального соляного тумана».

Сущность метода заключается в ускорении коррозионного процесса повышением температуры окружающей среды и введением в атмосферу раствора хлористого натрия.

Требования к образцам, их маркировке - по ГОСТ 9.905-82. Допустимая погрешность при изготовлении образцов  $\pm 1$  мм.

Покрyтия, наносимые на образцы, должны соответствовать требованиям ГОСТ 9.301-88, ГОСТ 9.304-87 и другой нормативно-технической документации.

Торцы образцов и места клеймения должны быть защищены лакокрасочными покрытиями или другими способами, например, пушечной смазкой по ГОСТ 19537-83 при температуре испытаний до 50 °С.

Количество образцов устанавливают в зависимости от общей продолжительности испытаний, числа промежуточных съёмов, количества образцов, снимаемых с испытаний, и количества контрольных образцов.

За вариант принимают совокупность образцов, изготовленных из одного материала или сплава и имеющих одинаковое покрытие, нанесенное по одному технологическому процессу.

От каждого варианта, предназначенного для испытаний, сохраняют контрольные образцы в количестве не менее трех штук, предназначенные для сравнения с образцами, снимаемыми с испытаний.



В установленные программой испытаний сроки от каждого варианта снимают с испытаний не менее трех образцов, в конце испытаний должно остаться не менее трех образцов каждого варианта.

Контрольные образцы и образцы, снятые с испытаний, хранят в условиях, исключающих возникновение или дальнейшее развитие коррозии, например, в эксикаторах с влагопоглотителем.

В качестве аппаратуры для проведения испытаний используют камеру тепла и соляного тумана объемом не менее 0,4 м<sup>3</sup>, с автоматическим поддержанием температуры режима, например, типа 12 КСТ-0,4-001; КСТ-1, удовлетворяющая следующим требованиям:

- внутренние поверхности деталей камеры должны быть изготовлены из коррозионно-стойкого в испытываемой среде материала или должны быть футерованы таким материалом;

- конструкция камеры должна позволять создавать в ней однородные условия и давать возможность туману свободно циркулировать вокруг всех изделий.

Не допускается прямое попадание аэрозоля на образцы, стекание конденсата с элементов конструкции камеры на расположенные ниже образцы.

Устройство для подачи и контроля тепла должно поддерживать в месте расположения образцов заданную температуру с погрешностью  $\pm 2$  °С. Допускаются отдельные кратковременные отклонения  $\pm 5$  °С, но не более 15 мин каждые 6 ч работы. Температуру в камере контролируют датчиком, помещенным в камеру на расстоянии не менее 100 мм от стенок.

Центробежный или ультразвуковой аэрозольный аппарат для образования соляного тумана в камере распылением раствора хлористого натрия.

Допускается применение пульверизаторов: увлажненный сжатый воздух, попадаемый в пульверизаторы под давлением от 70 до 170 кПа в

зависимости от конструкции сопла, должен соответствовать классам загрязненности 0-4 по ГОСТ 17433-80.

Соляной туман должен обладать дисперсностью 1-10 мкм (95% капель) и водностью 2-3 г/м<sup>3</sup>. Дисперсность и водность тумана не контролируют, если они оговорены в паспорте испытательной камеры.

Сборник осаждающегося соляного тумана, состоящий из измерительного цилиндра по ГОСТ 1770-74 со вставленной в него стеклянной воронкой типа В по ГОСТ 25336-82 диаметром 100 мм.

В камере устанавливают не менее двух сборников: один в непосредственной близости от распыляющего устройства, другой на наибольшем расстоянии от него. Сборники должны быть размещены так, чтобы в них собирался только оседающий соляной туман. Повторное применение раствора для распыления не допускается.

Анализатор жидкости потенциометрический по ГОСТ 27987-88 с точностью измерения  $\pm 0,1$  рН.

Допускается применение узкодиапазонной индикаторной бумаги с точностью измерения  $\pm 0,1$  рН, градуированной электрометрически.

Эксикаторы по ГОСТ 25336-82.

Кислота соляная по ГОСТ 857-88  
Натрий хлористый по ГОСТ 4233-77, ч.д.а., содержащий примесей не более 0,4%, примеси меди и никеля не допускаются.

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72 или деионизированная по нормативно-технической документации.

Раствор хлористого натрия концентрацией  $(50 \pm 5)$  г/дм<sup>3</sup>; раствор должен быть профильтрован.

Если при 25 °С рН приготовленного раствора не определяется значениями от 6,0 до 7,0, необходимо провести анализ воды и (или) соли на соответствие.

Подготовка образцов производится по ГОСТ 9.909-86.

Образцы размещают в камере таким образом, чтобы воздействие тумана на их поверхность было равномерным и капли раствора не стекали на расположенные ниже образцы.

Образцы в камере помещают под углом  $(20^\circ)$  к вертикали испытуемой поверхностью вверх. При испытаниях изделий допускается подвешивать их вертикально. Испытуемые образцы должны занимать не более 15% объема камеры. При проведении испытаний образцы помещают в камеру, которую нагревают до температуры  $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ , и подвергают воздействию соляного тумана. Допускается помещать образцы в камеру после установления в ней заданной температуры, предварительно нагрев их до температуры, превышающей испытательную на 2-3  $^\circ\text{C}$ .

Отсчет времени испытаний начинают с момента достижения заданных значений контролируемых параметров режима испытаний. Время промежуточных осмотров и других вынужденных перерывов не включают в общую продолжительность испытаний.

Испытания проводят при непрерывном распылении раствора. При использовании камер с герметичной дверцей распыление раствора допускается проводить в течение 15 мин через каждые 45 мин испытания. Повторное применение раствора не допускается.

Камеру допускается открывать только для периодического кратковременного осмотра испытуемых образцов и пополнения резервуара раствором, если пополнение снаружи невозможно.

Средняя скорость наполнения раствора в каждом сборнике в течение 24 ч должна быть 1-2 см /ч. рН раствора, собранного в камере, должно быть от 6,5 до 7,2 при 25  $^\circ\text{C}$ . Необходимую корректировку рН раствора перед распылением проводят добавлением растворов соляной кислоты или едкого натра.

Перед распылением раствор нагревают до 35 °С для удаления растворенного углекислого газа, если для его приготовления не применялась свежeproкипяченная дистиллированная вода.

Продолжительность испытания устанавливают в программе испытаний в соответствии с требованиями, предъявляемыми к испытываемым образцам. Рекомендуемая продолжительность испытаний 2, 6, 24, 96, 240, 480, 720 ч и т.д.

Не допускается одновременно испытывать образцы, для которых заранее определена продолжительность испытания, с образцами, которые испытывают до появления первых признаков коррозии.

По окончании испытаний образцы извлекают из камеры. После чего происходит обработка результатов испытаний.

Показатели коррозии и коррозионной стойкости устанавливают по ГОСТ 9.908-85.

Протокол испытаний составляется по ГОСТ 9.905-82.

Также частое испытание, которое обычно проводится с паяными соединениями— замеры усилия на разрыв ГОСТ 28830-90 «Соединения паяные. Методы испытаний на растяжение и длительную прочность». В соответствии, с которым результаты испытаний рассчитываются, исходя из методики описанной ниже.

Допускается использовать статистическую обработку результатов испытаний на растяжение и срез при комнатной температуре путем расчета средних значений предела прочности и среднеквадратических отклонений предела прочности от результатов испытаний.

Среднее значение предела прочности  $\bar{X}$  и среднеквадратическое отклонение предела прочности  $S$  определяют следующим образом:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad , \quad S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad . \quad (11)$$

Результаты приводят для конкретного паяемого материала, поэтому фиксируют минимально допустимое значение средней ( $M_0$ ). Настоящая обработка результатов может быть обоснована следующим образом:

- отношение между изменениями, вызванными методом испытания и изменениями, вызванными паяемым материалом, неизвестны;

- для фиксации "минимальных допусков" необходим ряд предварительных испытаний для всех типов существующих паяемых материалов;

- количество испытаний, необходимых для оценки "минимальных допусков", обычно больше, чем количество, необходимое для оценки средних значений. Принимая во внимание результаты испытаний, устанавливают правило приемки паяемого материала, если он характеризуется минимально допустимым средним значением  $M_0$  следовательно:

- вероятность приемки паяемого материала, у которого средняя прочность меньше чем  $M_0$ , должна быть равна относительно малому значению  $\beta$  -риск потребителя;

- вероятность приемки паяемого материала, у которого средняя прочность больше чем  $M_0$ , должна быть равна относительно большому значению  $1-\alpha$ , где  $\alpha$  - риск изготовителя.

Эти условия необходимо соблюдать независимо от среднеквадратических отклонений, характеризующих поведение паяемого материала во время проведения испытаний.

Каждый паяемый материал рассматривают как удовлетворяющий данному значению  $M_0$ , если среднее  $\bar{X}$  результатов измерения  $X_i$   $n$ -го количества испытаний соответствует условию

$$\bar{X} - KS > M_0 \quad (12)$$

Если задается риск  $\alpha - \beta = 0,10$  для  $P = 10\%$ , то, используя существующие различные таблицы выборочных значений, можно получить для  $n = 5$ ,  $K = 0,68$ .

При этих условиях для  $\bar{X}$  выполняется соотношение

$$\bar{X} - 0,68S > M_0 \quad (13)$$

Расчет  $K$  и  $n$  основан на законе нормального распределения. Неопределенная переменная

$$t = \frac{\bar{X} - M_0}{S/\sqrt{n}} \quad (14)$$

соответствует центральному распределению Стьюдента (если  $M_0$  - минимально допустимое среднее значение) или нецентральному распределению Стьюдента  $1,2816\sqrt{n}$  (когда  $P = 10\%$ ), а значения  $K$  и  $n$  определяют двумя вариантами:

$$P_p(t > K\sqrt{n}) = \alpha = 0,10 \quad (15)$$

для центрального распределения;

$$P_p(t > K\sqrt{n}) = \beta = 0,10 \quad (16)$$

для нецентрального распределения.

Некоторое значение предусмотренного риска оправдано для установленных режимов испытания, т.к. при этом необходимо небольшое количество испытаний, что немаловажно с экономической точки зрения.

Учитывая ограниченные требования к исследуемой детали, считаю достаточным заменить испытание на разрыв дорожными испытаниями в соответствии с методиками АВТОВАЗ.

Очередной широко распространенный метод испытаний – механический метод паяного соединения.

Контроль качества сварного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного материала методами механических испытаний осуществляется в соответствии с действующей нормативно-технической документацией и "Правилами устройства и безопасной эксплуатации изделий", утвержденными Госгортехнадзором СССР, СТ СЭВ 798-77, СТ СЭВ 799-77, СТ СЭВ 800-77.

Контроль качества сварного соединения, а также наплавленного материала методами механических испытаний или измерением твердости осуществляется в объеме, указанном в нормативно-технической документации на контролируемое изделие.

Механические испытания проводятся с целью определения качества изделия и сварочных материалов, показателей свариваемости материалов и сплавов, пригодности способов и режимов сварки при установлении квалификации сварщиков. Конкретная цель испытаний указывается в технических условиях на контролируемое изделие.

Основными методами определения характеристик механических свойств паяного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного припоя являются:

испытание материала различных участков паяного соединения и наплавленного припоя на статическое растяжение;

испытание материала различных участков паяного соединения и наплавленного припоя на ударный изгиб (на надрезанных образцах);

испытание паяного соединения на статическое растяжение;

испытание материала различных участков паяного соединения на стойкость против механического старения;

испытание паяного соединения и наплавленного припоя на (технологическая проба с наплавленным валиком) статический изгиб (загиб);

измерение твердости различных участков паяного соединения и наплавленного припоя.

Выбор метода и температуры испытаний, типа образца предусматривается в нормативно-технической документации на контролируемое изделие, устанавливающей технические требования на нее.

При определении характеристик механических свойств паяного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного припоя в качестве испытательных машин и приборов применяется испытательное оборудование всех систем при условии соответствия их требованиям ГОСТ 7855-74.

## **2.4 Порядок проведения опытов по исследованию процесса пайки кузовных деталей прототипного автомобиля**

Таким образом исходя из исследований описанных в предыдущих разделах, был определен порядок проведения опытов, которые необходимо провести для достижения поставленной цели.

1. Испытания на коррозию – необходимо поместить детали с паяным соединением (кузов) выполненным в соответствии с основным технологическим процессом, описанном в разделе 2.3 в соляную камеру и замерить показатели коррозионной стойкости соединения.

2. Провести дорожные испытания прототипного автомобиля по ускоренной методике, в т.ч. испытания на дороге с булыжным покрытием.

3. Провести испытания на проверку жесткостных характеристик кузова (испытания на скручивание).

4. Провести механические испытания паяного шва в соответствии с технологией, описанной в разделе 2.1.



5. Убедиться, в том что деталь с применением паяного шва соответствует всем необходимым требованиям, физическим и химическим свойствам и может быть использована в замен цельноштампованной детали.

### **3 Результат проведенных испытаний кузова прототипного автомобиля**

#### **3.1 Результат коррозионных испытаний кузова прототипного автомобиля**

Результаты ускоренных коррозионных испытаний кузова прототипного автомобиля LADA описаны в протоколе ОИМ УИ. Выдержка из протокола приведена ниже.

На испытания был представлен кузов прототипного автомобиля LADA, окрашенный в технологической линии окраски ООО «ОАГ», г.Ижевск, цвет «Ледниковый».

Перед испытаниями был произведен осмотр кузова с целью выявления повреждений ЛКП и мастик днища кузова в процессе транспортировки до лаборатории. Произведена визуальная оценка покрываемости скрытых полостей и адгезии пластизольной мастики к днищу кузова.

Для определения ширины распространения коррозии от искусственного очага коррозии (ИОК) были сделаны Т-образные надрезы на панелях из оцинкованного проката:

- капот;
- дверь задка;
- передние двери;
- передние крылья;
- панели боковины в районе задних крыльев.

Ширину распространения коррозии определяли согласно ГОСТ 9.401-92 п.2.4.2 по формуле:

$$W_d = (D - D_0) / 2 \quad (8), \text{ где:}$$

D – общая ширина распространения коррозии, мм;

D0 – ширина надреза, мм.

Сохранение адгезионных свойств покрытия с пластизольной мастикой к днищу кузова, сварным швам и фланцевым соединениям проверяли до и после испытаний методом отрыва от подложки подрезанной пленки мастики.

Испытания проводили в камере соляного тумана производства ф. Weiss Technik (Германия) по инструкции И 32500.37.101.0116-2007 «Ускоренные циклические испытания кузовов на коррозионную стойкость».

Каждый цикл испытаний занимает 7 суток и включает в себя следующие этапы:

- 1) выдержка в камере соляного тумана (35С и 5% NaCl) – одни сутки;
- 2) выдержка в атмосфере влажного климата с конденсацией влаги – четверо суток, при этом, в течении каждых суток:

- при температуре 40С и относительной влажности около 100% - 8 часов;

- при температуре 18-28С и относительной влажности 75% - 16 часов;

- 3) выдержка при температуре 18-28С в условиях окружающей среды – двое суток.

Общая продолжительность испытаний 5 циклов или 35 суток.

Оценка состояния ЛКП кузова, а также сварных швов и фланцевых соединений проводилась после каждого цикла испытаний. По окончании 5 циклов испытаний была произведена полная техническая экспертиза кузова, включающая в себя:

- внешний осмотр кузова автомобиля без применения увеличительной техники;

- определение ширины распространения коррозии от надреза;

- осмотр и оценка коррозионного состояния внутренних поверхностей после механического всрытия скрытых сечений;

- замеры толщины ЛКП в скрытых полостях после вскрытия сечений;

- осмотр и оценка сохранения адгезионных свойств пластизольных мастик для днища кузова и сварных швов.

В результате ширина распространения коррозии от надреза на панели боковины в районе сварного шва в одну сторону составила:

- от горизонтального – 0,9 мм;

- от вертикального – 0,9 мм.

При допустимой ширине распространения коррозии от надреза по И.37.101.0017-2006 для ЛКП с катафорезной грунтовкой – не более 2,0 мм.

Заключение – соответствие панели боковины наружной прототипного автомобиля, изготовленной с применением процесса пайки требованиям по коррозии ОАО «АВТОВАЗ».

### **3.2 Результат дорожных испытаний кузова прототипного автомобиля**

Результаты испытаний на булыжной дороге описаны в отчете рис.10. Выдержка из отчета приведена ниже.

ТО			Служба исполнительного вице-президента по инжинирингу	 <small>ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО</small>
Порядковый номер	199			
Дата регистрации				
№ экземпляра	1			
Проект	LADA VESTA SW			
Автомобиль	А <input checked="" type="checkbox"/>			
Виброустойчивость	В			
Двигатель	Д			
Кузов	К			
Трансмиссия	Т			
Шасси	Ш			
Электрооборудование/электроника	Э			
Группа				
Листов	13			
<b>Исполнитель</b>				
Управление	УППИА			
Отдел	ОДИА			
Группа	ГДИ			
Исполнитель	М.В. Мельников			
Телефон исполнителя	13-15-94			
<b>Рассылка</b>				
Адрес получателя		Кол-во копий	№ документа	
Подлинков Г.А.		1	1	
Бузовкин В.Н.		1	2	
Исаев Е.У.		1	3	
Голован В.М.		1	4	
Всего экземпляров		4		

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ**  
**ТО- 3D321- 199 - 2016 – GFK320 - A00**  
**Испытания на бульжных дорогах**  
**автомобиля LADA**  
**ПТ-101**

Приведена информация по результатам испытаний на бульжных дорогах автомобиля LADA, прилагается перечень выявленных неисправностей. По результатам испытаний, надежность автомобиля удовлетворительная.

Начальник ОДИА	Г.А. Подлинков
Главный инженер-конструктор	В.Н. Бузовкин  02.05.16
Инженер-конструктор	М.В. Мельников  07.05.16

Все права на данный отчет принадлежат ОАО АВТОВАЗ. Копирование или передача третьим лицам только с письменного согласия ОАО АВТОВАЗ

Рис.10 – технический отчет испытания на бульжных дорогах автомобиля LADA.

Основание для проведения испытаний - план НИОКР СИВПИ АВТОВАЗ на 2016 год, пункт 2.1.1.7.7.2.2.1.1.

Цель испытаний - оценка прочности кузова, работоспособности агрегатов и систем автомобиля в целом в условиях повышенных динамических и вибрационных нагрузок.

Оценка проводится в соответствии с И 31000.37.101.0017 АВТОВАЗ, по степени значимости для потребителей (категории А, В, С, D), критерием

положительной оценки является отсутствие неисправностей категории «А», влияющих на безопасность, и категории «В», приводящих к отказу автомобиля.

Испытаниям подвергался прототипный автомобиль LADA версии Full, изготовленный в ООО «ОАГ», г.Ижевск в апреле 2016г и переоборудованный ОпПП АВТОВАЗ в мае.

Общий выполненный пробег автомобиля составил 28231 км, из которых:

- 18340 км - булыжная дорога ровного мощения;
- 3666 км - булыжная дорога профилированного мощения;
- 6225 км - прочие подъездные дороги.

Перед началом испытаний проводилась проверка моментов затяжки резьбовых соединений на соответствие НД. В результате проверки отклонений не выявлено.

За время испытаний ослабление моментов затяжки основных узлов и агрегатов не выявлено.



В начале испытаний был установлен опытный образец «Панельбоковины наружная». После испытаний замечаний по внешнему виду образца не выявлено.

Прототипный автомобиль LADA после испытаний на булыжном треке соответствует требованиям И 31230.37.101.0008 по жесткости кузова.

Работоспособность конструкции автомобиля LADA оценивается как удовлетворительная.

### **3.3 Результат испытаний кузова прототипного автомобиля на жесткость и кручение**

Результаты испытаний кузова прототипного автомобиля на жесткость и кручение описаны в отчете рис.11. Выдержка из отчета приведена ниже.

Технический отчет			Служба исполнительного вице-президента по инжинирингу Управление проектирования автомобиля		 ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО	
Порядковый номер	551082					
Дата регистрации	29.09.2016					
№ экземпляра						
Проект	2181					
Автомобиль	А					
Виброакустика	В					
Двигатель	Д					
Кузов	К <b>Х</b>					
Трансмиссия	Т					
Шасси	Ш					
Электрооборуд./электроника	Э					
Группа						
Листов	6					

Исполнитель	
Управление	УПА
Отдел	ОВК
Бюро	
Исполнитель	С.Г. Егоров
Телефон исполнителя	93-24-87

Рассылка		
Адрес получателя	Количество, шт.	Номер экземпляра
УПА ОПК		
Г.В. Фомин	1	1
Всего экземпляров		

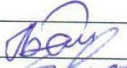
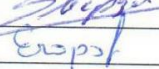
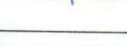
## ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

ТО-551082-2016-2181-К50

### ОЦЕНКА НАРУЖНЫХ ПАНЕЛЕЙ КУЗОВА LADA НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК

По результатам испытаний наружных панелей автомобиля LADA зафиксировано:  
- соответствует предъявляемым требованиям.

РАЗРАБОТАЛ			
Начальник ОВК	А. И. Байбаков		30.09.16
Главный специалист ОВК	С.В. Еверзов		29.09.16
Инженер-конструктор ОВК	С.Г. Егоров		29.09.16

Все права на данный отчет принадлежат ОАО АВТОВАЗ. Копирование или передача третьим лицам только с письменного согласия ОАО АВТОВАЗ.	СОБСТВЕННОСТЬ ОАО «АВТОВАЗ» КАТЕГОРИЯ <input type="checkbox"/>
---	--

Рис.11 – технический отчет испытания на устойчивость к воздействию

внешних нагрузок кузова LADA.

Основание для проведения испытаний - план ОКР СИВПИ АВТОВАЗ.

Цель - оценка наружных панелей крыши, двери задка кузова LADA 2181 на соответствие требованиям И 36520.37.101.0001-2012.

Объект - автомобиль LADA, ПТ-104.

Кузов - К-101.

Специальное приспособление для нагружения, с установленным на нем датчиком силы и измерителем перемещения.

Комплект измерительной аппаратуры НВМ:

- усилитель Spider 8;
- измеритель силы U2A 200кг, диапазон измерения от 0 до 200 кг;
- измеритель перемещения W20K, диапазон измерения  $\pm 20$  мм.

Стойка для крепления приспособления.

Испытания проводились в соответствии с И 36520.37.101.0001-2012 «Испытания наружных панелей на устойчивость к воздействию внешних нагрузок».

Результаты испытаний панели боковины представлены в таблице 6, диаграммы – в приложении Б.

Таблица 9 – результаты испытаний панели боковины на воздействие внешних нагрузок.

Объект	Контрольная точка	Результат
Панель боковины	1	Соответствует
	2	Соответствует
	3	Соответствует
	4	Соответствует
	5	Соответствует
	6	Соответствует
	7	Соответствует

Заключение – панель боковины прототипного автомобиля LADA соответствует требованиям И 36520.37.101.0001.



### 3.4 Анализ результатов проведенных испытаний кузова прототипного автомобиля

Исходя из исследований описанных в работе, был определен порядок проведения опытов, которые необходимо было провести для достижения поставленной цели (рис.12).

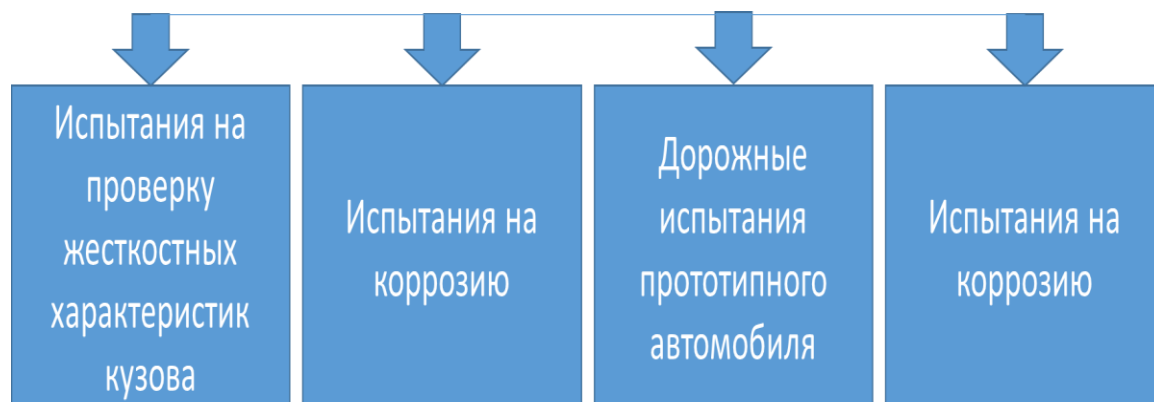


Рис.12 – порядок проведение испытаний прототипного автомобиля.

Результаты проведенных испытаний описаны в соответствующих протоколах (технических отчетах).

Анализ результатов, полученных в ходе валидации объекта показал, что паяные детали позволили в полной мере провести необходимую валидацию и получить результаты независимые от метода производства деталей, не являющихся силовой структурой кузова.

Оценка предложенной технологии выданная по результатам испытаний - удовлетворительная.

Анализ результатов, полученных в ходе валидации объекта показал, что паяные детали позволили в полной мере провести необходимую валидацию и получить результаты независимые от метода производства деталей, не являющихся силовой структурой кузова.

Таким образом, результат проведенного исследования можно считать положительным. Предложенная методика показала фактическую

жизнеспособность и рекомендована к дальнейшему использованию в процессе создания прототипных автомобилей и узлов.

## Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации проделана следующая работа:

- 1) Изучено текущее положение развития процесса пайки в автомобилестроении.
- 2) Предложено применение технологии пайки в процессе производства прототипного автомобиля.
- 3) Изготовлен физический объект (кузов прототипного автомобиля).
- 4) Проведены необходимые испытания, описанные в работе.
- 5) Произведен анализ результатов, полученных в ходе валидации объекта.
- 6) Выдано заключение по возможности использования предложенной методики.

Замена сварочных операций на применение пайки является современной тенденцией развития автомобилестроения, тесно связанной с общемировой тенденцией по сокращению себестоимости производимой продукции при сохранении необходимых технологических параметров.

В процессе производства автомобилей пайка применяется для соединения или ремонта некоторых кузовных деталей, в тех местах, где использование сварки является более материалоемким и трудоемким процессом.

На основании проведенного анализа производства прототипного автомобиля, который был взят за объект исследования, было выявлено, что прототипный автомобиль (кузов универсал) совпадает по конструкции и геометрии с уже имеющимся автомобилем в серийном производстве в кузове седан в передней части автомобиля протяженностью до стойки Б.

Таким образом с целью сокращения сроков и инвестиций в прототипную штамповую оснастку для производства кузовных деталей

прототипного автомобиля предложено несилловые штампованные детали, а именно правую и левую панели боковины, производить с применением процесса пайки.

Испытаниям подвергался прототипный автомобиль LADA версии Pflot, изготовленный в ООО «ОАГ», г.Ижевск в апреле 2016г и переоборудованный ОпПП АВТОВАЗ в мае.

Особенностью работы является ее практическая значимость, так как исследуемый предмет (паяное соединение детали «панели боковины» прототипного автомобиля) предложено к использованию в действующем производстве прототипов.

В результате проведенного исследования были получены положительные результаты по проведенным испытаниям, а именно:

1) Было выявлено, что в процессе производства автомобилей пайка применяется для соединения или ремонта некоторых кузовных деталей, в тех местах, где использование сварки является более материалоемким и трудоемким процессом. Также пайка является неотъемлемой составляющей в изготовлении автокомпонентов. При этом замена сварочных операций на применение пайки является современной тенденцией развития автомобилестроения, тесно связанной с общемировой тенденцией по сокращению себестоимости производимой продукции при сохранении необходимых технологических параметров.

2) Предложено применение технологии пайки в процессе производства прототипного автомобиля, как альтернатива применения цельноштампованных деталей, с целью сокращения сроков и затрат на изготовление штамповой оснастки длинноцикловых деталей. Проведено исследование применения процесса пайки в производстве на отдельно взятом предмете.

3) Изготовлен физический объект (кузов прототипного автомобиля). При производстве кузова были использованы наружные панели боковины универсал, полученные в результате паяного соединения передней части

панели боковины автомобиля в кузове седан и задней части панели боковины автомобиля в кузове седан, изготовленной на прототипной штамповой оснастки. Фактически получено сокращение сроков – 3 месяца. Вместо обычного срока в 6 месяцев оснастка на заднюю часть изготавливалась 3 месяца внутренним производством АВТОВАЗ. Фактически полученная экономия составила 530 000 руб. Вместо предполагаемых 980 000 руб было потрачено 450 000 руб.

3) Проведены необходимые испытания, описанные в работе. Проведены дорожные испытания по методике АВТОВАЗ, включая испытания на булыжной дороге. Проведены коррозионные испытания в камере соляного тумана. Проведены механические испытания и испытания кузова по методике кручения.

4) Анализ результатов, полученных в ходе валидации объекта показал, что паяные детали позволили в полной мере провести необходимую валидацию и получить результаты независимые от метода производства деталей, не являющихся силовой структурой кузова.

5) Таким образом, результат проведенного исследования считаю положительным. Предложенная методика показала фактическую жизнеспособность и рекомендована к дальнейшему использованию в процессе создания прототипных автомобилей и узлов.

В результате, считаю, что поставленные задачи выполнены, все необходимые требования к работе соблюдены.

## Список использованных источников

1. Лашко С.В. Пайка металлов [Текст] / С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко - М.: Машиностроение, 1977. - 328 с.
2. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов [Текст] / С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко. - М.: Машиностроение, 1988. - 376 с.
3. Петрунин И.Е. Справочник по пайке [Текст] / Под ред. И.Е.Петрунина. - М.: Машиностроение, 2003. - 480 с.
4. Хряпин В.Е. Справочник паяльщика [Текст] В.Е. Хряпин. – Изд. 5-е – М.: Машиностроение, 1981. – 349 с.
5. Горбатский Ю.В. Разработка технологии пайки в среде аргона крупногабаритных алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников для воздуходелительных установок [Текст]: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ю.В. Горбатский – М.: 2001.
6. Перевезенцев Б.Н. Восстановление чугуновых деталей пар трения высокотемпературной пайкой [Текст] / Б.Н. Перевезенцев, А.Л. Федоров, Ю.Н. Уполовников, В.С. Малкин // Сварочное производство. - 1990. - №6. - С. 26-27.
7. Краснопевцев А.Ю. Свойства и особенности соединений при парофазной пайке многокомпонентными припоями системы Cu-Zn [Текст] / А.Ю. Краснопевцев, А.Л. Федоров // Сварочное производство. - 1995. - №12. - С. 30-32.
8. Чекунов И.П. Высокотемпературная пайка трубопроводов из коррозионно-стойкой стали [Текст] / И.П. Чекунов – М.: Машиностроение, 1988. – 80 с.
9. Пат. 4003715 США, МКИ В23В 15/18, 15/20, НКИ 29-182. Припой системы Cu-Mn-Zn [Текст] - Оpubл. 18.01.77.

10. Щербединская А.В. Припой системы медь-никель-фосфор [Текст] / А.В. Щербединская, Л.С. Махновская, В.Н. Федоров // Сварочное производство. - 1983. - №1. С. 35.
11. Чекунов И.П. Пайка меди со сталью медно-фосфористым припоем [Текст] / И.П. Чекунов, В.М. Лякин, З.Н. Меркулова, В.В. Чернятин, Н.Г. Гуров // Сварочное производство. - 1988. - №1. С. 4-5.
12. Федоров А.Л. Исследование свойств соединений, паяных многокомпонентными латунями в парах цинка [Текст] / А.Л. Федоров, А.Ю. Краснопевцев, А.Ф. Пулов // Повышение эффективности сварочного производства: Материалы международной научн.-тех. конф., Липецк, 17-18 октября 1996 г. - Липецк, 1996. - С. 144-146.
13. Табелев В.Д., Карета Н.Л., Россошинский А.А. Максимова С.В. Сладкова В.Н. Пайка низкоуглеродистой стали медно-фосфорным припоем [Текст] / В.Д. Табелев, Н.Л. Карета, А.А. Россошинский, С.В. Максимова, В.Н. // Автоматическая сварка. - 1986. - №2. С. 73-74.
14. Сафронова Е.А. Разработка комплекса среднеплавких бессеребряных припоев [Текст]: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сафронова Елена Александровна - Киев: ИЭС им. Е.О. Патона - 1987.
15. Сафронова Е.А. Влияние комплексного легирования медно-цинкового припоя на его технологические характеристики [Текст] / Е.А. Сафронова // Прогрессивные методы в пайке. - Киев: ИЭС им. Е.О.Патона, 1986. - С. 40-44.
16. Россошинский А.А. Вопросы образования паяного соединения [Текст] / А.А. Россошинский // Припои для пайки современных материалов. - Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1985. - С. 3-13.
17. Россошинский А.А. О путях экономии материалов в пайке [Текст] / А.А. Россошинский // Экономия материалов в технологических процессах пайки. Киев: ИЭС м. Е.О.Патона, 1983. - С. 3-7.

18. Россошинский А.А. Прогрессивные методы в пайке [Текст] / А.А. Россошинский // Прогрессивные методы в пайке. Киев: ИЭС им. Е.О.Патона, 1986. - С. 5-9.
19. Россошинский А.А. Влияние дисперсности порошка припоя на прочность паяных соединений [Текст] / А.А. Россошинский, О.П. Бондарчук, Е.А. Сафронова, С.Н. Кушнарев // Автоматическая сварка. - 1985. - №11 С. 12-14.
20. Петрунин И.Е. Металловедение пайки [Текст] / И.Е. Петрунин, И.Ю. Маркова, А.С. Екатова. - М.: Металлургия, 1976. - 264 с.
21. Перевезенцев Б.Н. Восстановление изношенных деталей нанесением пайкой антифрикционных покрытий [Текст] / Б.Н. Перевезенцев, А.Л. Федоров, Ю.Н. Уполовников // Восстановление и упрочнение деталей машин и оборудования газотермическим напылением и плазменной наплавкой: Материалы Всесоюз.науч.-тех. конф., Тула , 28 ноября - 1 декабря 1989 г. - Тула, 1989. - С. 72-73.
22. Перевезенцев Б.Н. Исследование процессов испарения применительно к пайке сталей в парах цинка [Текст] / Б.Н. Перевезенцев, А.Ю. Краснопевцев, Ю.Н. Тюнин // Пайка в машиностроении: Тез.докл. Всесоюз.науч.-техн. конф."Расширение производства паяных изделий и повышение его эффективности в машиностроении", Омск, 24-26 июня 1980 г. - Омск, 1980. - С. 190-193 .
23. Перевезенцев Б.Н. Исследование испарения цинка при контейнерной пайке медно-цинковыми припоями [Текст] / Б.Н. Перевезенцев, А.Ю. Краснопевцев, А.Л. Федоров // Пайка в машиностроении: Материалы Всесоюз.научн.- тех. конф., Тольятти, 13 -15 февраля 1991 г. - Тольятти, 1991 - С. 83.
24. Патон Б.Е. Некоторые вопросы дальнейшего развития технологии пайки [Текст] / Б.Е. Патон, А.А. Россошинский // Современные методы пайки. - Киев: ИЭС им. Е.О.Патона, 1982. - С. 3-12.



25. Пащенко М.А. Гранулированный порошковый припой для пайки инструмента [Текст] / М.А. Пащенко, В.А. Кушнирский // Прогрессивные методы в пайке. - Киев: ИЭС им. Е.О.Патона, 1986. - С. 51-52.
26. Пат. 3673678 США, МКИ В23К 31/02, 35/38. Fluxless brazing process [Текст] / G.T.Moreau, I.P.Bielefelct. - Оpubл. 04.07.72.
27. Пат. 4003715 США, МКИ В23В 15/18, 15/20, НКИ 29-182. Припой системы Cu-Mn-Zn [Текст] / - Оpubл. 18.01.77.
28. Отика Сунао. Пайка медью в парах цинка [Текст] // Есецу гидзюцу, Weld.Tehn. - 1982. - №30. - №4. - Р. 32-36.
29. Osawa T. Vapor phase brazing of copper plated carbon steel in a zinc vapor [Текст] // Welding Journal. - 1981. - 60. - №11. - Р. 215 s - 218 s.
30. Пат. 56-17179 Япония, МКИ В23К 1/00. Получение пайкой поверхности армированной абразивной крошкой [Текст] / - Оpubл. 18.02.81.

