



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
СССР ПО СТАНДАРТАМ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ ИЗДЕЛИЙ

Р 50-54-48-88



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ  
(Госстандарт СССР)

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
по нормализации в машиностроении  
(ВНИИНМАШ)

Утверждены  
Приказом ВНИИНМАШ  
№ 73 от 22.03.88 г.

САПР. Автоматизация проектирования технологии  
пайки изделий

Р е к о м е н д а ц и и

Р 50-54-48-88

Москва 1988

## РЕКОМЕНДАЦИИ

САПР. Автоматизация проектирования  
технологии пайки изделий

Р 50-54-48-88

ОКСТУ 0014

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Технология пайки изделий разрабатывается одновременно с проектированием конструкции на стадии подготовки производства.

I.2. Графическая модель формирования технологии пайки при изготовлении групп изделий основана на том, что качество паяного изделия определяется единством (взаимосвязью) и совместимостью важнейших элементов производственной системы между собой и с эксплуатационными характеристиками паяного изделия Э (рис.1).

I.3. Паяное изделие характеризуется конструктивными факторами его соединений  $K_{\Phi}^{П.С.}$  и собственно изделия  $K_{\Phi}^{К.И.}$ . К первым относятся тип соединения, паяльный зазор, нахлестка, угол скоса, шероховатость материала. Ко вторым – конструктивный класс изделия, масштабный фактор (габаритные размеры, толщина стенок), общая протяженность паяных швов и наклон зазора при пайке, масса изделия.

I.4. Конструкционный материал  $M_K$  кроме механических, физических и химических свойств характеризуется температурой солидуса и критическими областями нагрева, в которых обратимо или необратимо ухудшаются его эксплуатационные свойства.

I.5. Способы пайки: по формированию паяного шва (СП1); условиям образования припоя, кристаллизации шва и заполнения зазора припоем; удалению окисной пленки (СП2); источнику нагрева (СП3); осуществлению давления на соединяемые детали

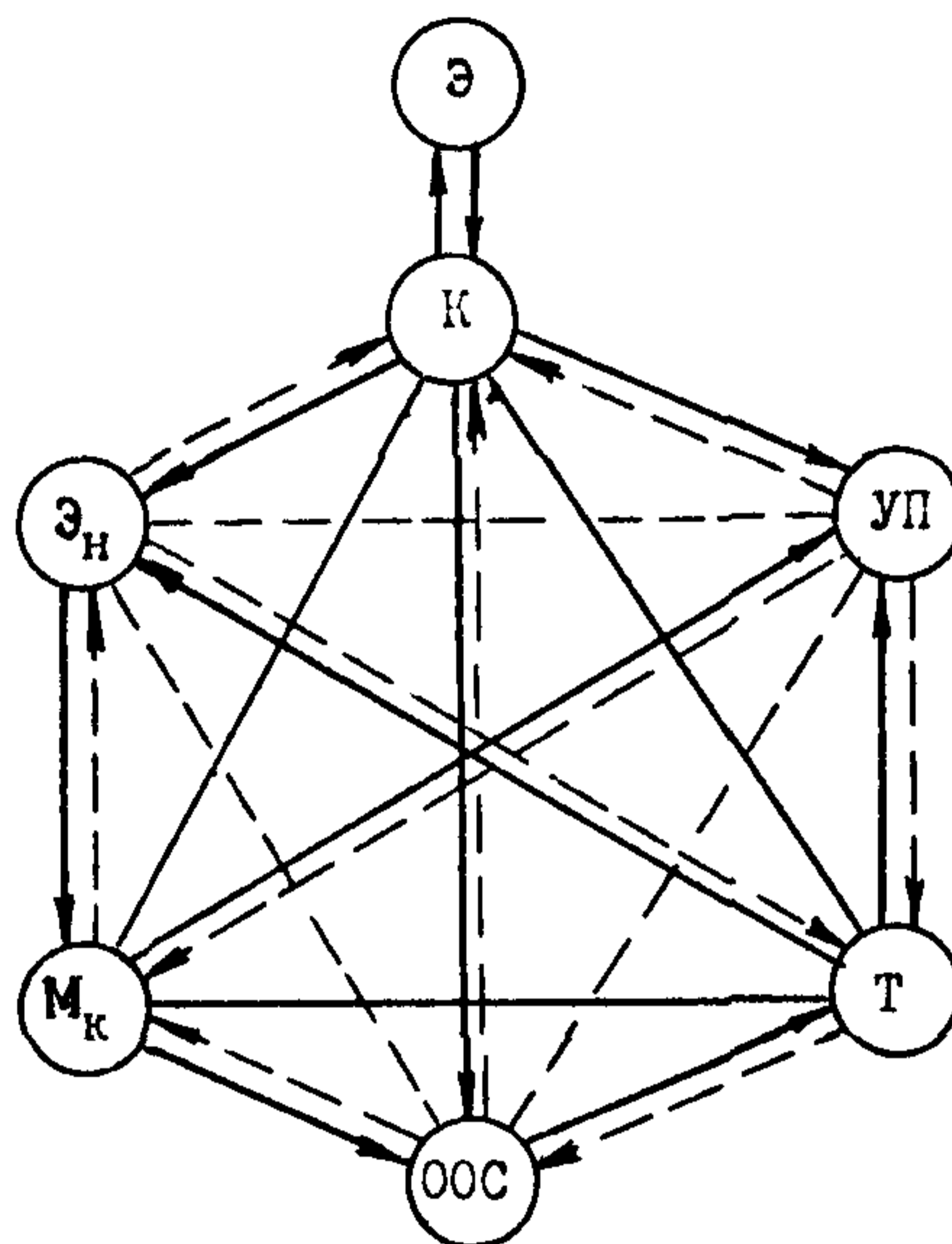


Рис.1. Взаимосвязь эксплуатационных характеристик паяного изделия Э с важнейшими элементами производственной системы

(СП4); одновременности выполнения соединений изделия (ГОСТ 17349-79).

1.6. Операции пайки: нагрев, температурный режим (ТРП), термический цикл (тип), введение припоя  $M_{\Pi}$  и вспомогательного материала  $M_{всп}$ , а при нефиксированном зазоре – приложение давления на соединяемые детали. На качество пайки существенно влияют предварительные операции: подготовка поверхности  $M_{К}$ , сборка. На качество готового изделия – последующие: промывка, термообработка и др.

1.7. Оснащение: оборудование, оснастка, инструмент, средства механизации и автоматизации.

Технология пайки Т определяется ее способами.

1.8. Эффективность производства в комплексном технологическом процессе изготовления изделия обеспечивается его экономичностью  $\mathcal{E}_H$ , организацией и управлением производства ОУ, охраной окружающей среды ООС (см.рис.1). Критерием эффективности  $K_{\mathcal{E}}$  служит совместимость  $K, M_K, T, \mathcal{E}$  с этими элементами производственной системы.

## 2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ТИПОВЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ

2.1. Основные этапы разработки ТПР технологии паяных изделий и перечень данных, служащих входной информацией, устанавливаются на основе графической информационной модели проектирования П изделий из заданного конструкционного материала  $M_K$ .

2.2. Разработке ТПР должны предшествовать следующие мероприятия:

Классификации: способов пайки (см.п.1.5), флюсов (ГОСТ 19250-73), припоев (ГОСТ 19248-73), оборудования, инструментов, оснастки, средств механизации, автоматизации и роботизации, паяных изделий и соединений по общности конструктивно-технических характеристик, для которых возможна разработка общих групповых и типовых технологий (ГОСТ 19249-73).

Определение состава входной и выходной информации для изготовления паяного изделия заданных класса, групп и партий.

Выбор групповой и единичной технологий с учетом свойств конструкционного материала, имеющегося оборудования и применяемых средств технологического оснащения.

Разработка алгоритмов преобразования входной и выходной информации для определения количественных параметров, характеризующих способы и режимы, технологические и вспомогательные материалы, оборудование и инструмент, оснастку, средства механизации и автоматизации, роботизации по всей совокупности групповых процессов для изделий каждого выделенного класса.

Подготовка математического, программного, технического и информационного обеспечения для реализации этих алгоритмов в рамках САПР ПП ПИ.

Анализ технико-экономической эффективности проектных решений.

Оформление документов ТПР, в том числе с использованием ЭВМ.

2.3. Классификация паяных изделий для условий производства конкретной отрасли выполняется путем выделения из общей номенклатуры классов, подклассов, групп, объединенных согласно конструкторской документации общностью геометрических характеристик массы, конструкционного материала, серийности изготовления и др. в рамках типовой технологии. При этом возможно использование, например, отраслевых материалов с учетом комплекса признаков, характеризующих условия последующей механо-, термообработки, и особых технологических требований к изделию.

2.4. Количественную оценку принадлежности изделия к одному из классов и формирование типовой технологии осуществляют с помощью статистических методов или детерминированно.

2.5. В соответствии с классификацией изделий создается каталог типовых проектных решений и типовых технологий, а также выделяются типовые паяные изделия.

2.6. При оформлении рабочей технологии на основе типовой уточняют (при автоматизированном проектировании с помощью специальных алгоритмов) количественные параметры и последовательность выполнения отдельных этапов, а также выбирают (на базе типовых) средства технологического оснащения.

На каждом этапе определяют рациональные (оптимальные) режимы изготовления изделий как производственно-технического назначения (ПТН), так и в целом выделенного класса.

2.7. При проектировании технологии изготовления изделий ПТН следует учитывать сложные функциональные взаимосвязи между исходными факторами элементов производственной системы.

2.8. Образование паяного соединения происходит в результате теплового воздействия на паяемый материал, припой, вспомогательные материалы (флюсы, газовые среды, стоп-пасты и др.); их физического и физико-химического взаимодействия, а также с окружающей средой и материалом оснастки и др. Выбирая опти-

мальную технологию пайки, надо учитывать влияние всех этих процессов, а также конструктивных факторов на качество паяного изделия. Проектирование технологии пайки должно состоять из нескольких этапов, отвечающих следующим требованиям:

механические, физические и физико-химические свойства паяемого материала необходимо сохранять в требуемых интервалах,

применяемые припой и способы пайки должны обеспечивать требуемые свойства паяного соединения и изделия в целом,

выбранную технологию необходимо оснастить соответствующим оборудованием, инструментом, средствами механизации, автоматизации и роботизации.

Только при поэтапном проектировании технологии возможна ее оптимизация. Каждый следующий этап базируется на данных, полученных на предыдущих. Так, оборудование выбирают только после обоснования термического режима и цикла пайки; последнее – после того, как выбран припой (способ пайки по формированию паяного шва и получению припоя), способы пайки по удалению окисной пленки – после получения информации о допустимых температурах плавления припоя и пайки, т.е. интервалах нагрева паяемого материала, в которых он не теряет своих эксплуатационных свойств.

2.9. На этапах проектирования технологии пайки, когда существенное влияние оказывают конструкция, масса и габаритные размеры изделия, следует учитывать возможность ее осуществления при заданных конструктивных факторах соединений и изделия.

2.10. Выбор оптимальной технологии изделия требует учета всех влияющих на технологию факторов и должен базироваться на теории процессов пайки, производственном опыте и опыте эксплуатации паяных изделий.

### 3. ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ

3.1. Информационная модель проектирования технологии пайки приведена на рис.2. В основу поиска оптимальной технологии положен декомпозиционный алгоритм, реализуемый в 15 этапов

( $Z_1, Z_2, \dots, Z_{15}$ ). На каждом следующем этапе происходит целенаправленное сужение области допустимых решений с помощью соответствующих ограничений (частных критериев  $K_I, \dots, K_{15}$ ).

Модель базируется на условиях обеспечения качества паяных изделий, задаваемых критерием качества  $K_K$ .

3.2. Входной информацией для данной модели служат эксплуатационные характеристики изделия (условия и ресурс работы) и соответствующие им свойства соединений. К последним относятся прочностные свойства (кратковременная, длительная, вибрационная прочность, жаро- и хладостойкость, ударная вязкость и др.); физические (герметичность, вакуумплотность, электропроводность и др.) и химические (коррозионная стойкость в различных климатических условиях и средах); температура распайки и др.

3.3. Учитывая требование сохранения эксплуатационных свойств  $M_K$ , пайку производят:

- а) при температуре ниже температуры солидуса  $M_K$  (и выше ликвидуса (солидуса) припоя  $t_{e.n}$ :  $t_{c.n} < t_{n.лм}$ );  $t_n < t_{M_K}^{сол}$   
 $t_n > t_{M_K}^{ликв}$
- б) в интервалах вне критических температур  $M_K$ :  $t_n \geq \Delta t_{кр}$ ;
- в) при температуре ниже температуры распайки выполненных ранее паяных швов  $t_n < t_{рсн}$ .

3.4. В связи с этим на первом этапе проектирования  $Z_1$  по входной информации о марке конструкционного материала и данным о температуре его солидуса и критических температурах пайки (критерий  $K_I$ ) принимают температурные области допустимого нагрева  $M_K \Delta t'_n$ .

3.5. На следующем этапе  $Z_2$  по входной информации  $\Delta t'_n$  и данным о температурах плавления групп припоев (критерий  $K_2$ ) выбирают основы  $M_{II}^I$ , у которых температура пайки  $[t_n = t_{лп} + (15-50^\circ\text{C})]$  находится в интервале допустимого для  $M_K$  нагрева  $\Delta t_n$  и (или)  $t_n < t_{рсн}$ .

3.6. На этапе  $Z_3$  из припоев  $M_{II}^I$  выбирают  $M_{II}^{II}$ , которые физико-химически совместимы с  $M_K$  (критерий  $K_3$ ). Входной информацией служат основы припоев  $M_{II}^I$ , а также таблица физико-химической совместимости известных  $M_K$  с различными основами припоев и примерные температурные области пайки. Для принятых



$M_{II}^{II}$  должны удовлетворять следующие неравенства:

$$t_n \leq t_{x.7} \text{ и } \tau_n < \tau_{x.7},$$

$$t_n \leq t_{g.n} \text{ и } \tau_n \leq \Delta t_{g.n}$$

$$t_n \leq \Delta t_x \text{ и } \tau_n < \tau_{x.c},$$

где  $t_n$  - температура пайки;  $\Delta t_{x.7}, \Delta t_{x.c}, \Delta t_{g.n}, \Delta t_{охр}$  температурные интервалы недопустимого развития химической эрозии, прослоек, химических соединений, диффузионной пористости или охрупчивания  $M_K$  в контакте с жидким припоем соответственно;

$\tau_n$  - выдержка при температуре пайки;  $\tau_{x.7}, \tau_{x.c}, \tau_{g.n}$  - минимальное время до начала развития химической эрозии, химических прослоек и диффузионной пористости при температуре пайки  $t_n$ .

Условная совместимость  $M_K$  с основой  $M_{II}$  может быть скорректирована легированием выбранной основы припоя  $M_{II}^{II}$  (или заменой  $M_K$ ).

3.7. Основу припоя  $M_{II}^{II}$  получают способом пайки СПІ (этап  $Z_4$ ) по входной информации о классификации этих способов и областей применения (рис.2, табл.4). По критерию  $K_4$ , температура пайки должна быть выше температуры контактно-реактивного (к-р) плавления  $M_K$  с контактным материалом  $M_{конт}$  или температуры контактно-твердогазового (К-Т-Г) плавления  $M_K$  или  $M_{конт}$  с парами депрессанта  $M_{дп}$ , температуры начала высаживания основы припоя  $M_{II}^{II}$  из компонентов флюса в контакте с  $M_K$ , температуры твердожидкого спекания при композиционной пайке, температуры заметной диффузии депрессанта припоя в твердый раствор на основе  $M_K$  при диффузионной пайке.

3.8. Некоторые способы СПІ требуют прижима паяных деталей. Поэтому на этапе  $Z_5$  производят дополнительный отбор СПІ с учетом особенностей  $K_{\Phi}^{ПС}$  и  $K_{\Phi}^{ПИ}$  по критерию  $K_5$ : при контактно-реактивной композиционной и диффузионной способах пайки, а также пайке готовым припоем, уложенным в зазор, необходим прижим деталей ( $P > 0$ ); при контактно-твердогазовой пайке и пайке готовым припоем с введением последнего в зазор (изотермический контакт) или в процессе расплавления припоя,

уложенного предварительно у зазора при сборке (неизотермический контакт), - лишь фиксация зазора ( $P=0$ ).

3.9. На этапе  $\mathcal{Z}_6$  по входной информации о классификации способов пайки СП2, а также данным их пригодности для принятых ранее СП1<sup>II</sup>,  $t_n$ ,  $M_{II}^{II}$ ,  $M_K$  и заданных  $K_{\Phi}^{П.С}$  и  $K_{\Phi}^{П.С}$  по критерию  $K_6$  выбирают СП2<sup>I</sup> (активирования), который обеспечит требуемую коррозионную стойкость соединений и температуру смачивания  $M_K$  жидким припоем  $M_{II}^{II}$  в интервале  $\Delta t'_n$  допустимого нагрева  $M_K$ . При этом:

при абразивно-кристаллической пайке температурная область лужения должна находиться в области твердо-жидкого состояния припоя  $\Delta t_{T-ж} M_n$ , а при ультразвуковой - выше ликвидуса припоя

$$\Delta t_{луж} \subset \Delta t_{T-ж} M_n ; \Delta t_{ликв. M_n} ;$$

при абразивно-кристаллической, ультразвуковой и абразивно-кавитационной пайке (лужении) удаление окисной пленки от мест нарушения ее сплошности возможно при условии достаточной растворимости  $M_K$  в жидком  $M_{II}$ ;

слой полуды при пайке и хранении не должен окисляться и препятствовать последующей бесфлюсовой пайке.

3.10. Для выбранного СП2<sup>I</sup> на этапе  $\mathcal{Z}_7$  по входной информации о классификации  $M_{всп}$  и данным о марках, составе, температурных интервалах активности термической стойкости и  $M_{всп}^I$  по критерию  $K_7$  пригодности вспомогательных материалов:

температурно-временная область пайки  $S(t, \tau)_n$  находится в температурно-временной области активности флюса в контакте с жидким припоем  $S(t, \tau)_{акт.ф}$  а последняя - в области достаточной термической стойкости флюса  $S(t, \tau)_ф$ :  $S(t, \tau)_n \subset S(t, \tau)_{ф M_n} ; S(t, \tau)_n \subset S(t, \tau)_{акт.ф} ;$

для активных газовых сред температура пайки находится в температурной области их активности, а продукты взаимодействия при пайке - в жидком или газообразном состояниях; активная газовая среда не должна при пайке ухудшать свойства  $M_K$  и  $M_{II}$ ;  $t_n \subset t_{0n}$  *нормативные*;

при пайке в вакууме не должно происходить испарения компонентов припоя, приводящего к заметному изменению их свойств или уменьшению толщины контактных прослоек, а в поверхностном слое  $M_K$  — изменение его свойств, определяющих физико-химическую совместимость с  $M_{II}$  и  $M_{всп}$ ;  $t_n < t_{исп}^{Mn}$ .

3.11. На этапе  $Z_8$  по входной информации  $M_{II}^{II}$  и данным о характере влияния легирующих элементов на свойства паяных соединений по критерию  $K_8$  выбирают дополнительное легирование припоев на основе  $M_{II}^{II}$ , обеспечивающее требуемые эксплуатационные свойства этих соединений;  $Э_{л.с} \geq Э$ .

3.12. На этапе  $Z_9$  по входной информации о  $K_{ф.с.}^{II}$ ,  $M_{II}^{II}$ ,  $M_{всп}^{II}$ ,  $СП1^{II}$ ,  $СП2^I$ , расходе припоев на изделие и данным о различных планах экспериментов по критерию  $K_9$  принимают тот план, который подходит для рассматриваемого случая:

при 3—4 факторах — полный факторный эксперимент;

при очень большом числе факторов и минимальном — опытов — симплексный метод;

при смешанных количественных и качественных факторах — метод сложных совмещенных планов.

3.13. На этапе  $Z_{10}$  по входной информации о классификации способов давления при пайке СП4 и данным об областях их применения по критерию  $K_{10}$  выбирают  $СП4^I$ , который обеспечит режим давления РД, выбранный на этапе  $Z_9$ .

3.14. На этапе  $Z_{11}$  принимают способ пайки СП5 по входной информации о классификации способов СП3 и данным о пригодности их для принятых ранее  $M_{II}^{III}$ ,  $M_{всп}^I$ ,  $СП4^I$  и  $K_{ф.и}^{II}$  (критерий  $K_{11}$  для изделий с разовым  $K_{ф.и}^{II}$ ).

3.15. На этапе  $Z_{12}$  для способа пайки СП3<sup>I</sup> определяют ТЦП по тепловым характеристикам  $M_K$ , массе, конструкционному классу, габаритным размерам изделия и др., представляющий развитие термических формаций изделий и трещин.

3.16. Материал оснастки  $M_{осн}$  выбирают на этапе  $Z_{13}$  по входной информации о его классификации по теплостойкости, жаропрочности и жаростойкости, данным о составе и марках.

По критерию  $K_{I3}$  при температуре пайки сохраняется предел упругости материала оснастки. Механические свойства  $M_{осн}$  не должны ухудшаться под воздействием  $M_{всп}$ ,  $M_{II}$ , ТРП, ТЦП после  $N$ -кратного использования и он не должен вступать в контактно-реактивное или контактно-твердожидкое плавление с  $M_K$  и  $M_{II}$  и контактно-твердогазовое плавление с парами газовой среды.

3.17. Оборудование для пайки изделия выбирают на этапе  $Z_{14}$  для  $M_K$ , Г, а также  $M_{II}^{II}$ ,  $M_{всп}^I$ ,  $M_{осн}^I$ , СП1<sup>II</sup>, СП2<sup>I</sup>, СП4<sup>I</sup> по входной информации о его классификации и данным о нагревательном инструменте, объему рабочей камеры или мощности, ТЦП. По критерию  $K_{I4}$  для СПЗ с общим нагревом оборудование выбирается с учетом габаритных размеров рабочей камеры, температурно-временных режимов, а для локального нагрева – мощности нагревательного инструмента.

3.18. При выборе припоев и вспомогательных материалов (флюсов, активных газовых сред) следует учитывать их стоимость и дефицитность, а также токсичность, особенно в условиях массового и крупносерийного производств, используя заменители и пайку в вакууме.

3.19. Заданная информация в таблицах данных и частных критериях должна быть достаточно полной и достоверной.

#### 4. ОПИСАНИЕ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ $X_N$ И ТАБЛИЦ $T_m$

4.1. Входная информация графической модели проектирования технологии пайки.

Этап  $Z_1$  (прил. I):

$X_1$  – марка  $M_K$  изделия;

табл. I. Конструкционные материалы  $M_K$  и их критические температуры нагрева.

Этап  $Z_2$  (прил. I):

$X_2$  – допустимые температурные интервалы  $N$  нагрева  $M_K$ ;

табл. 2а. Основы припоев и их температурные интервалы плавления;

табл. 2б. Механические свойства припоев в литом состоянии.

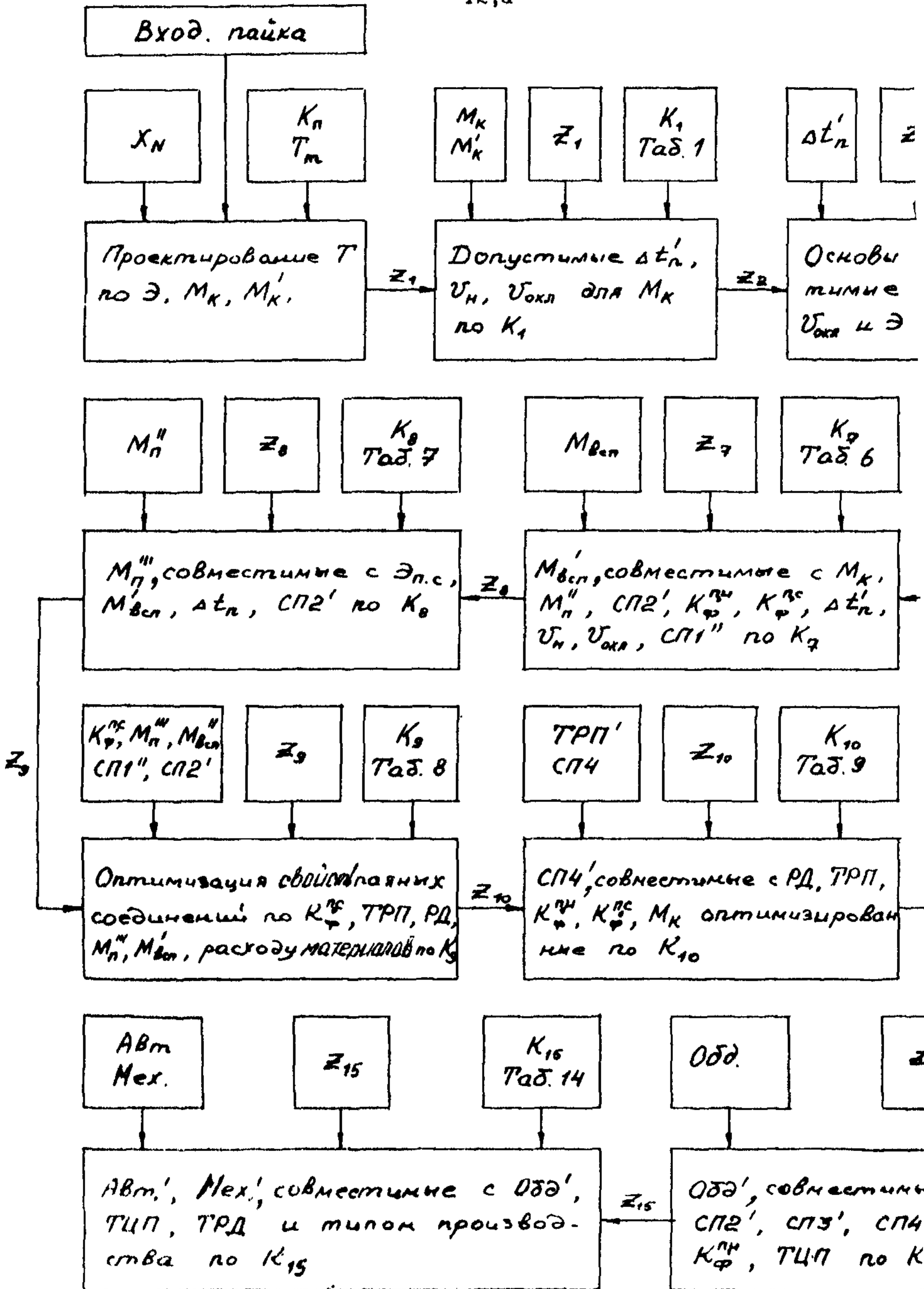
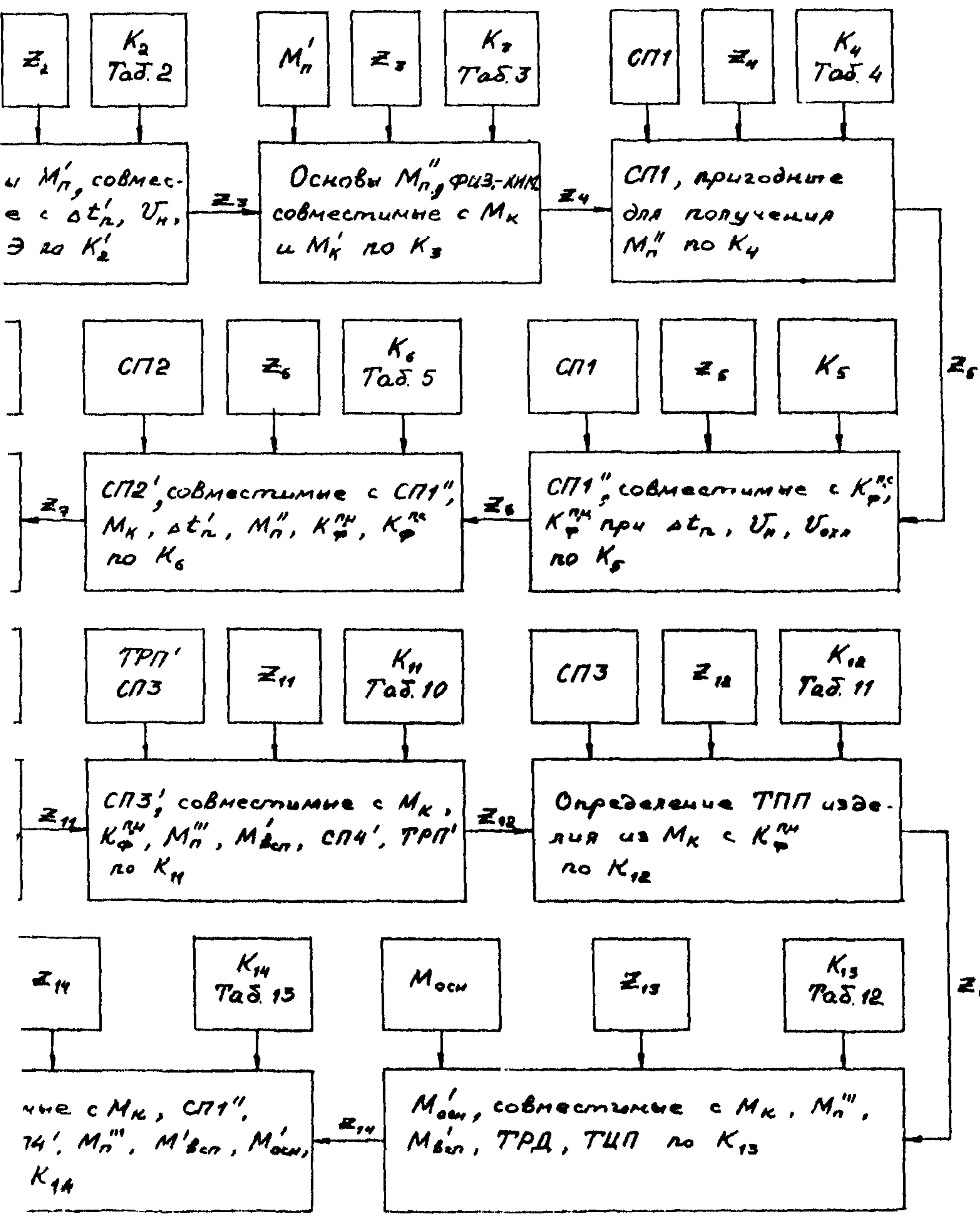


Рис. 2. Графическая ил



информационная модель

Этап  $\mathcal{Z}_3$  (прил.2):

$X_3$  - основы припоев  $M_{II}^I$ , пригодные для пайки  $M_K$  с допустимыми температурами плавления;

табл.3. Физико-химическая совместимость  $M_K$  с основами припоев  $M_{II}^I$ .

Этап  $\mathcal{Z}_4$ ;

$X_4$  - классификация СП1;

табл.4. СП1 и получаемые по ним основы припоев  $M_{II}^I$ .

Этап  $\mathcal{Z}_5$ ;

$X_5$  - СП1.

Этап  $\mathcal{Z}_6$ ;

$X_6$  - классификация СП2;

табл.5. Пригодность СП2 для выбранных СП1<sup>II</sup>  $\Delta t_n$ ,  $M_{II}^{II}$  и заданных  $M_K$ ,  $K_{\Phi}^{II \cdot II}$ ,  $K_{\Phi}^{II \cdot \alpha}$  (СП<sup>I</sup>).

Этап  $\mathcal{Z}_7$ ;

$X_7$  - классификация  $M_{всп}$ ;

табл.6. Группы  $M_{всп}$ , их состав, температурные интервалы активности и термическая стойкость флюсов  $M_{a.g}$ ,  $M_{и.g}$ ,  $M_{в}$ .

Этап  $\mathcal{Z}_8$ ;

$X_8$  -  $M_{II}^{II}$ ;

табл.7. Группы припоев на основе  $M_{II}^{II}$  и их легирование для обеспечения Э.

Этап  $\mathcal{Z}_9$ ;

$X_9$  -  $M_{II}^{III}$ ,  $M_{всп}^I$ , СП1<sup>II</sup>, СП2<sup>I</sup>,  $K_{\Phi}^{I \cdot c}$ ;

табл.9. Планы экспериментов и их области применения.

Этап  $\mathcal{Z}_{10}$ ;

$X_{10}$  - классификация СП4;

табл.10. Области применения способов давления при пайке.

Этап  $\mathcal{Z}_{11}$ ;

$X_{11}$  - классификация СП3;

табл.11. СП3 и их пригодность для  $M_{II}^{III}$ ,  $M_{всп}$ , СП4,  $K_{\Phi}^{III}$ .

Этап  $\mathcal{Z}_{12}$ ;

$X_{12}$  - СП3<sup>I</sup>;

табл.12. Формулы расчета ТП изделия по тепловым характеристикам  $M_K$ ,  $M_c$ ,  $M_{ш}$ ,  $K_{\Phi}^{I \cdot II}$ .

Этап  $Z_{13}$ :

$X_{I3}$  - классификация  $M_{осн}$  по температурам, средам нагрева, прочности, назначению;

табл.13. Состав и свойства материала для оснастки при пайке.

Этап  $Z_{14}$ :

$X_{I4}$  - классификация нагревательного оборудования и инструмента для пайки;

табл.14. Оборудование и инструмент для нагрева при пайке и его характеристики по рабочей температуре, объему рабочего пространства или мощности, ТЦП и др.

Этап  $Z_{15}$ :

$X_{I5}$  - классификация средств механизации, автоматизации, роботизации процессов при пайке;

табл.15. Установки средств механизации, автоматизации, роботизации процессов пайки и их области применения (СПЗ, СП4).

4.2. При составлении программы проектирования технологии пайки в память машины вводят все данные критерии, приведенные выше, учитываются в таблицах оценки совместимости. Алгоритм проектирования на первых трех этапах приведен в прил.3.

4.3. Графическая модель проектирования технологии пайки изделий из разнородных материалов отличается тем, что поэтапные критерии и содержание таблиц дополняются с учетом особенностей формирования соединений. Например, критерий К1 - требованием ориентировки на температуру солидуса наиболее легкоплавких из паяемых материалов: температурой пайки могут быть все области  $\Delta t_p$  ниже температуры их плавления, расположенные вне критических областей  $M_K$  и  $M_K^I$ .

По критерию  $K_3$  учитывающему степень химического сродства  $M_K$  с  $M_{KI}$  и интенсивность их массопереноса через жидкую фазу, температура пайки должна находиться вне температурных интервалов недопустимой химической эрозии, роста химических прослоек, развития диффузионной пористости и охрупчивания  $M_K$  и  $M_{KI}$  в контакте жидкого  $M_{II}$  с обоими материалами. При большой разнице коэффициентов теплового расширения или полиморфного превращения паяемых материалов следует избегать образования



несогласованных спаев, применяя композиционные или высокопластичные припой, широкие зазоры. Критерий  $K_5$  дополняется требованием целесообразного расположения деталей при пайке с замкнутыми спаями: снаружи помещают деталь с большим КТР. Критерий  $K_6$  – требованием применимости СП2 для обоих паяемых материалов  $M_K$  и  $M_K^I$ , а  $K_7$  – условием, чтобы температура пайки для них одновременно находилась в температурно-временном интервале активности  $M_{всп}$ .

На всех этапах проектирования, кроме  $Z_9$ , данные получают из сложных функциональных зависимостей между исходными факторами (способы пайки, режимы, материалы и конструкционные особенности паяных соединений и изделий, оснащение) и входными параметрами готового изделия, свойствами паяных соединений и изделий, представляемых в виде табличных, графических и других математических зависимостей. Математическая модель технологии аппроксимируется эмпирически установленными правилами (критериями), формулами, табличными зависимостями, обобщающими теоретико-экспериментальный и производственный опыт. При этом на отдельных этапах проектирования (например  $Z_9, Z_{10}$ ) используются вероятностно-статистические математические модели, получаемые путем регрессионного анализа результатов экспериментов.

Наиболее высокий уровень автоматизации проектирования достигается при описании ТЦП при расчете температурных полей изделий в условиях выбранного способа нагрева ( $Z_{12}$ ). Числовое решение системы дифференциальных уравнений, адекватно описывающих процесс нагрева или охлаждения и термический режим пайки позволяет применить режим диалога технолога с ЭВМ с тем, чтобы наиболее эффективно решать технологические задачи с учетом организационно-технических ограничений, возникающих в условиях производства. Универсальный характер численных моделей обеспечивает возможность их широкого использования для оптимизации технологических решений и анализа устойчивости разрабатываемой технологии в производственных условиях в случаях отклонений реальных параметров процесса от оптимальных значений.

4.4. Разработка завершается оформлением следующей технологической документации:

допустимые температурные интервалы и скорости нагрева  $V_H$  и охлаждения  $V_{Oxл}$   $M_K$ ;

основы припоев  $M_{II}^{///}$ , физико-химически совместимых с паяемым материалом  $M_K$ ;

способы пайки по формированию паяных соединений (СП'), пригодные для пайки и получения припоя  $M_M^{///}$ ;

способы пайки по удалению окисной пленки, совместимые с паяемым материалом  $M_K$ , припоем  $M_{II}^{///}$ , способами СП $^{///}$ ,  $\Delta t_n$ ,  $K_{\Phi}^{П.С.}$ ,  $K_{\Phi}^{П.И.}$ ;  $V_H$ ,  $V_{Oxл}$ ;

составы и марки вспомогательных материалов, совместимые с  $M_K$ ,  $M_{II}^{///}$ , СП $^{///}$ ,  $\Delta t_n$ ,  $V_H$ ,  $V_{Oxл}$ ;

состав и марки припоев  $M_{II}$  на основе  $M_{II}^{///}$ , дополнительно легированных совместимыми добавками в соответствии с требуемыми условиями эксплуатации паяных соединений и изделий;

оптимизированные термические режимы пайки ( $t_n$ ,  $\tau_n$ ) и режимы давления на паяные детали (РД) $_{II}$ , значения конструктивных факторов паяных соединений и изделий и допустимые интервалы нагрева  $M_{II}^{///}$  и  $M_{всп}^{///}$ , по расходу материалов;

способы давления при пайке СП $^{///}$ , совместимые с оптимизированными ТП $_{II}$ , ТРД, конструктивными факторами паяных соединений и изделий, а также свойствами при пайке  $M_K$ ;

оптимальные способы нагрева при пайке СП $^{///}$ , совместимые с  $M_K$ ,  $K_{\Phi}^{П.С.}$ ,  $M_{II}^{///}$ ,  $M_{всп}^{///}$ , СП $^{///}$ , ТП $_{II}$  изделия;

термический цикл пайки изделия с заданными  $M_K$  и  $K_{\Phi}^{П.И.}$ ; материал оснастки  $M_{осн}^{///}$ , совместимый с  $M_K$ ,  $M_{всп}^{///}$ , ТП $_{II}$  и ТРД;

нагревательное оборудование Обд', совместимое с  $M_K$ ,  $M_{II}^{///}$ , СП $^{///}$ , СП $^{///}$ , СП $^{///}$ , СП $^{///}$ ,  $M_{всп}^{///}$ ,  $M_{осн}^{///}$ ,  $K_{\Phi}^{П.И.}$ , ТП $_{II}$ ;

средства механизации и автоматизации, совместимые с Обд', ТП $_{II}$ , ТП $_{II}$ , ТРД' для заданного типа производства.

4.5. Полученные при проектировании данные служат основой для оформления документации на техпроцесс изготовления контактных опытных изделий. Исследование качества последних в сочетании с технико-экономическим анализом позволяет оценить уровень разработки ТПР.

4.6. При неудовлетворительных результатах опытного опробования технологии следует оценить принятые классификационные признаки и систему количественных классификаций изделий, а также процедуры расчета, экспериментальные данные и внести соответствующие коррективы.

4.7. Непрерывное расширение номенклатуры паяных изделий и повышение требований к их качеству, обновлению оборудования оснастки влечет за собой постоянное расширение каталога технологий пайки и ТПР, совершенствование алгоритмов расчета режимов и циклов пайки, критериев отбора данных.

При учете факторов, влияющих на качество паяных изделий в производстве и при ремонте, учитывают соответственно качество исходных материалов, условия хранения готовых изделий, соблюдение технологической дисциплины и степень износа изделий при эксплуатации (перед ремонтом).

При отсутствии данных по совместимости  $M_K$  с  $M_{II}$  при оптимизации ( $Z_0$ ) используют стандартные методики испытаний на смачиваемость (ГОСТ 23204-78), затекание припоя в зазор (ГОСТ 20485-75), определения глубины химической эрозии (ГОСТ 21549-76), толщины прослоек химических соединений (ГОСТ 21548-76), температуры распайки (ГОСТ 21547-76), механических свойств паяных соединений при растяжении (ГОСТ 23047-78, ГОСТ 25200-82) и ударе (ГОСТ 23046-78).

При определении влияния на качество паяных соединений состава  $M_{II}$ ,  $M_{всп}$  и норм их расхода, особенностей конструкции соединений и изделий используют технологические образцы минимальных размеров, воспроизводящих  $K_{\Phi}^{П.С}$  и  $K_{\Phi}^{П.И}$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ I (рекомендуемое)

Таблица 1

Критические температурные интервалы для некоторых цветных сплавов

$M_k$	$\Delta t_{кр}, ^\circ C$	Условия проявления в $\Delta t_k$	Причина
Медь	700-750	-	Рост зерна (собирает. рекристаллизация) Снижение $\sigma_{0,2}$
Бескислородная медь	1025	0,8-1,2 мин	Ухудшение малоцикло-вой усталости
Бронза	775	-	Хрупкость, трещины
Броф 6-5	710	-	Резкое снижение механических свойств
Броф 6,5-0,15	750	-	Вторичная рекристаллизация
Латунь	720-730	0,8-1,2 мин	Сильный рост зерна Резкое снижение $\sigma_{0,2}$
Мельхиор	800	-	-"-
Нейзильбер	1100	-	-"-
Al (99,99)	нет	нет	нет
АДЦ	-"-	-"-	-"-
АМЦ*	-"-	-"-	-"-
АМГ2; АМГ3; АМГ4; АМГ6**	-"-	-"-	-"-
Никелевые*** деформируемые сплавы (термообработка)	1350-1380 1150-1150 1220-1250	- - -	Температура плавления Собирает. рекристаллизация Пережог

Примечание: \* - резкое снижение  $\sigma_{0,2} > 150^\circ C$ ; \*\* -  $\sigma_{0,2} > 200-250^\circ C$ ; \*\*\* -  $\sigma_{0,2} > 800-900^\circ C$ .

Таблица 2

Температурный интервал плавления магниевых  
литейных сплавов

Марка сплава	Температура, °С	
	солидуса	ликвидуса
МЛ15	430	600
МЛ18	525	636
МЛ12	550	644
МЛ15	539	530

Таблица 3

Температурные интервалы превращения  $\alpha - Ti \rightarrow \beta \rightarrow Ti'$   
и снижения  $\sigma_{0,2}$  титановых сплавов (по данным Вульфа Б.К.)

Марка сплава	Температурный интервал превращения, °С	Температура резкого снижения $\sigma_{0,2}$ , °С
ОТ4	920-1000	400-450
ОТ4-1	800-990	-"-
ВТ3-1	930-980	400-450
ВТ5	940-980	-"-
ВТ6	950-1000	-"-
ВТ8	970-1000	-"-
ВТ9	970-1000	-"-
ВТ14	920-960	450
ВТ15	750-800	400

Таблица 4

## Критические интервалы температур никелевых сплавов (деформируемых)

Марка	$t_{пл.}, ^\circ C$	$t_{рекр.}, ^\circ C$	$t_{собира-т., рекр.}, ^\circ C$	$t_{пережога}, ^\circ C$	Темпера-тура резкого снижения, $^\circ C$	$\sigma_{0,2}$ кг/мм <sup>2</sup>	
						20 $^\circ C$	При темпе-ратуре резкого снижения
ВН-4 <sup>Ж</sup>	1352-1375	1050	1039-1150	1250-1300	800-900	30-55	10-14
ЭП-9 <sup>ЖЖ</sup>	1320-1379	1000-1379	1100	1220	900	65-70	40-45
ЭП-9 <sup>ЖЖЖ</sup>	солидус 1320	1000	1100	1220	900	65-72	40-45

Примечание. Термообработка соответственно при 1200<sup>Ж</sup>, 1180<sup>ЖЖ</sup>, 1200<sup>ЖЖЖ</sup> на воздухе.

Таблица 5

Критические температурные области  $\Delta t_{кр}$  °С  
 нержавеющей сталей (по данным Химушина Ф.Ф.)

Марка, класс стали	$\Delta t_{кр}$		Условия прояв- ления $\Delta t_{кр}$ :
	снижение коррозионной стойкости	снижение пластичности	
I	2	3	4
<b>Ферритные</b>			
12Х17 15Х28; 08Х17Т	> 950 Несклонны	> 950 ≥ 850	Длительный нагрев (часы)
<b>Аустенитные</b>			
08Х18Н10; 0Х18Н11; Х18Н9; 12Х18Н9; 2Х13Н4Г9; Х14Г14Н; Х17Г9АН4; Х17АГ14	450-750	Несклонны	"-
00Х18Н10; 00Х17Г9АН4; 0Х17Н5Г9БА	450-750	"-	> 5-30 мин.
Х18Н9; 3Х18Н9	"-	"-	Нагрев 5 мин. При сварке плавлением
Х18Н9Т; Х18Н10Т;	500-800	"-	$T_i/C < 5,5$
0Х18Н10Т; 0Х18Н12Т; 0Х18Н12Б	"-	"-	$C/T_i < 7$
0Х17Н5Г9Б	500-750	"-	Только при очень длительном нагре- ве (часы)
Х14ГН3Г	Несклонны	"-	
Х17Н13М3Т	500-700	"-	$C/T_i > 0,7$ и замед- ленное охлаждение при сварке
<b>Аустенитные (стабили- зированные)</b>			
0Х18Н10Т; Х18Н12Т; 0Х18Н12Т; 1Х18Н12Т;			Длительный нагрев
0Х18Н12Б; Х14Г14Н3Г	> 1000	"-	на воздухе
0Х23Н28М2Т	650	"-	Если $T_i/C > 7$ ,
0Х23Н28М3д3Т	500-700	"-	нагрев медленнее, чем при сварке плавлением

I	2	3	4
Аустенитно-ферритная 0X21H5T; 1X21H5T	475	475	При замедленных режимах дуговой сварки
0X20H14C2 X20H14C2	--"	--"	
1X18H9T X23H18	1000 Несклонны	700-800	
X25H25TP X25H20C2	--"	--"	
X25H1677AP	600-850	Несклонны	
Мартенситная класса 23X13H13MФА 0X13; 1X13	Несклонны 450-550	--" 450-550	При низкотемпера- турном отпуске
2X13; 3X13; 4X13 X18; 1X17H2	Несклонны	Несклонны	
13X12HBMФА	--"	--"	
10X12HBMФА	--"	--"	
13X14HBFPA	--"	--"	
С карбидным упрочнением			
4X14H14B2M	--"	--"	
4X15H7Г7Ф2MC	--"	--"	
4X12H8Г8MФB	--"	--"	
X12H20T3P	--"	--"	
X12H22T3MP	--"	--"	
С интерметаллидным упрочнением			
XH35BTЮ	--"	--"	
XH35BMTP	--"	--"	
XH35BT; XH35BФ	--"	--"	
Нержавеющая сталь переходного класса			
X15H9Ю (CH2)	--"	--"	
X17H5M3 (CH3)	--"	--"	
X17H7I0	--"	--"	
Мартенситоферритная			
I4X17H2	--"	--"	



Фактическая и прогнозируемая  
конструкционных материалов М<sub>к</sub>

Основы паяемого сплава или марка М <sub>к</sub>	П Р И П О							
	<i>Ga</i>	<i>Bi-лр</i>	<i>Sn-лр</i>	<i>Sn-Pb</i>	<i>Sn-Zn</i>	<i>Pb-лр</i>	<i>Cd-лр</i>	<i>Zn-лр</i>
М-сплавы	(С <sub>6,4</sub> )	(С <sub>6,3</sub> )	С <sub>6</sub>	(С <sub>6</sub> )	(С <sub>6</sub> )	С <sub>6</sub>	С	Н <sub>7</sub>
АД <sub>1</sub>	(С <sub>5,3</sub> )	(С <sub>5,3</sub> )	(Н <sub>5,3</sub> )	Н <sub>5,3</sub>	Н <sub>5,3</sub>	Н <sub>5,3</sub>	С <sub>10</sub>	С <sub>5</sub>
АМ <sub>ц</sub>	С <sub>6,4</sub>	С <sub>8</sub>	Н <sub>8,6</sub>	С <sub>8,6</sub>	С <sub>8</sub>	С <sub>8</sub>	(С <sub>1,2,4</sub> )	С
АМГ2	С <sub>6,4</sub>	С <sub>8</sub>	С <sub>8,6</sub>	С <sub>8,6</sub>	С <sub>8</sub>	С <sub>8</sub>	(С <sub>1,2,4</sub> )	С
АМГ6	(С <sub>6,4</sub> )	(С <sub>8</sub> )	С <sub>8</sub>	С <sub>8</sub>	С <sub>8</sub>	С <sub>8</sub>	(С <sub>1,2,4</sub> )	С
АМГ8	(С <sub>4,6</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>2,4</sub> )	С
АВ	(С <sub>4,6</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8,6</sub> )	(С <sub>8,6</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>2,4</sub> )	С
Д20	(С <sub>4,6</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8,6</sub> )	(С <sub>8,6</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>8</sub> )	(С <sub>2,4</sub> )	С
А	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>3</sub> )	(С <sub>5,3</sub> )	(С <sub>3,5</sub> )	(С <sub>5,3</sub> )	(С <sub>3,5</sub> )	(С <sub>2,4</sub> )	(С <sub>5</sub> )
А	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5,3</sub> )	С <sub>5,3</sub>	С <sub>5,3</sub>	(С <sub>5,3</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )
М1	С <sub>5</sub>	(С <sub>6</sub> )	С <sub>5</sub>	С <sub>5</sub>	С <sub>5,3</sub>	С <sub>2,6</sub>	С <sub>5</sub>	С <sub>5</sub>
Латунь Л63	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>6</sub> )	С <sub>5</sub>	С	(С)	С <sub>2</sub>	С <sub>5,3</sub>	(С <sub>5</sub> )
Бронза	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>6</sub> )	С <sub>5</sub>	С	(С)	С <sub>2</sub>	С <sub>5,3</sub>	(С <sub>5</sub> )
БТ1	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	С <sub>5</sub>	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )
ОТ4	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	С <sub>5</sub>	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )
ВТ14	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	С <sub>5</sub>	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5,3</sub> )	(С <sub>5</sub> )
ОВКП	(С)	(С <sub>5</sub> )	С <sub>5</sub>	(С <sub>5,6</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>1,6</sub> )	(С <sub>2</sub> )	(Н)
Ст.10	(С)	(С <sub>1,2,6</sub> )	(С <sub>2,6</sub> )	(С <sub>5,6</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>1,6</sub> )	(С <sub>2</sub> )	(Н)
Ст.45	(С)	(С <sub>1,2,6</sub> )	(С <sub>2,6</sub> )	(С <sub>5,6</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>1,6</sub> )	(С <sub>2</sub> )	(Н)
1Х18Н10Т	(С)	(С <sub>1,2,6</sub> )	(С <sub>2,6</sub> )	(С <sub>5,6</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>1,6</sub> )	(С <sub>2</sub> )	(Н)
Х13	(С)	(С <sub>1,2,6</sub> )	(С <sub>2,6</sub> )	С <sub>5,6</sub>	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>1,6</sub> )	С <sub>1,2</sub>	Н
ЖСВКП	(С <sub>5</sub> )	С <sub>5,3</sub>	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С <sub>1,2</sub> )	(С <sub>5</sub> )	(С)

Примечание: С - совместимы; С - условно совместимы с учетом: 1 - вид  
3 - общая химическая эрозия; 4 - межзеренная химическая  
те с жидким припоем; 7 - температура плавления и пайк  
требует проверки; 9 - пониженная коррозионная стойкос

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица

(рекомендуемое)

я (в скобках) физико-химическая совместимость

М<sub>к</sub> с основой готовых припоев при капиллярной пайке

О И	Al-Pr	Mg-Pr	Al-Si-Cu	Al-Si	Ag-Pr	Au-Pr	Cu	Cu-Pr	Pb-Cu	Sn-Cu	Cu-Sn	Cu-Ni-Mn	Mn-Pr	Ni-Pr	Ti-Pr	Fe-Mn-Mg
H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
C <sub>5</sub>	C	H <sub>7,5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
C	H <sub>5</sub>	C <sub>9</sub>	C	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
C	H <sub>5</sub>	C <sub>9</sub>	C	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
C	H <sub>5</sub>	C <sub>9</sub>	C	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
C	H <sub>5</sub>	C <sub>9</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
C	H <sub>5</sub>	(H <sub>7</sub> )	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
(C)	H <sub>5</sub>	(C <sub>4</sub> )	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
(C <sub>3,5</sub> )	(H <sub>5</sub> )	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	(C)	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
(C <sub>5</sub> )	(H <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	C	C	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
C <sub>5</sub>	H <sub>5,3</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C	C	H <sub>7</sub>	C	C	C	(C <sub>3</sub> )	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
(C <sub>3</sub> )	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C	(C)	H <sub>7</sub>	C	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
(C <sub>3</sub> )	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C	(C)	H <sub>7</sub>	C	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
(C <sub>3</sub> )	(C)	C	C	C	C <sub>5</sub>	(C <sub>5</sub> )	C <sub>5</sub>	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	-	H <sub>7</sub>	(C <sub>5</sub> )	C	(H <sub>7</sub> )	
(C <sub>3</sub> )	(C)	C	C	C <sub>5</sub>	(C <sub>5</sub> )	C <sub>5</sub>	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	-	H <sub>7</sub>	(C <sub>5</sub> )	C	H <sub>7</sub>	
(C <sub>5</sub> )	(C)	(C)	(C)	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5,3</sub> )	C <sub>5</sub>	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	(C <sub>5</sub> )	-	H <sub>7</sub>	(C <sub>5</sub> )	C	H <sub>7</sub>	
(H <sub>5</sub> )	(C <sub>2</sub> )	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	(C)	C <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>4,6</sub>	(C <sub>6</sub> )	C	(C)	(C)	H <sub>7,5</sub>	C	C	
(H <sub>5</sub> )	(C <sub>2</sub> )	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	(C)	C	H <sub>5</sub>	C <sub>4,6</sub>	(C <sub>6</sub> )	C	(C)	(C)	H <sub>7,5</sub>	C	C	
(H <sub>5</sub> )	(C <sub>2</sub> )	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>4,2</sub>	(C)	C	H <sub>5</sub>	C <sub>4,6</sub>	(C <sub>6</sub> )	C	(C)	(C)	H <sub>7,5</sub>	C	C	
(H <sub>5</sub> )	(C <sub>2</sub> )	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>9,6</sub>	(C)	(C)	H <sub>5</sub>	C <sub>4,3</sub>	C <sub>6</sub>	C	C <sub>3,9</sub>	C	H <sub>5</sub>	(C)		
H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>8,9</sub>	(C)	C	H <sub>5</sub>	C <sub>4,5</sub>	C <sub>6</sub>	C	C <sub>3,9</sub>	C	H <sub>5</sub>	(C)		
(C <sub>5</sub> )	H <sub>5</sub>	-	(C <sub>1,2</sub> )	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C <sub>6</sub> )	(C)	(C)	(C)	H <sub>5</sub>	(C)		

адгезионная смачиваемость; 2 - плохое смачивание, затекание в зазор; эрозия; 5- прослойки химических соединений; 6 - охрупчивание в контакте выше солидуса М<sub>к</sub>; 8 - щелевая коррозия п.с. ( ) - предположительно, охрупчивание при хранении в результате упорядочения твердого раствора.

Пример проектирования температурных интервалов нагрева и основ припоев, совместимых с  $M_k$

Пример решения задачи на этапах  $Z_1 - Z_3$ .

Представлен алгоритм (рис.3), по которому просматривается два массива данных: температурные интервалы допустимого нагрева основ паяемого материала  $M_k$  с заданными верхним и нижним пределами нагрева и данные по физико-химической совместимости выбранных основ припоев с основой паяемого материала.

Исходные данные:

$TM(8)$  – температура плавления материала (табл.1);

$TP(I2)$  – верхняя температурная граница плавления припоев (табл.2);

$(8, I2)$  – матрица соответствий СНАР.

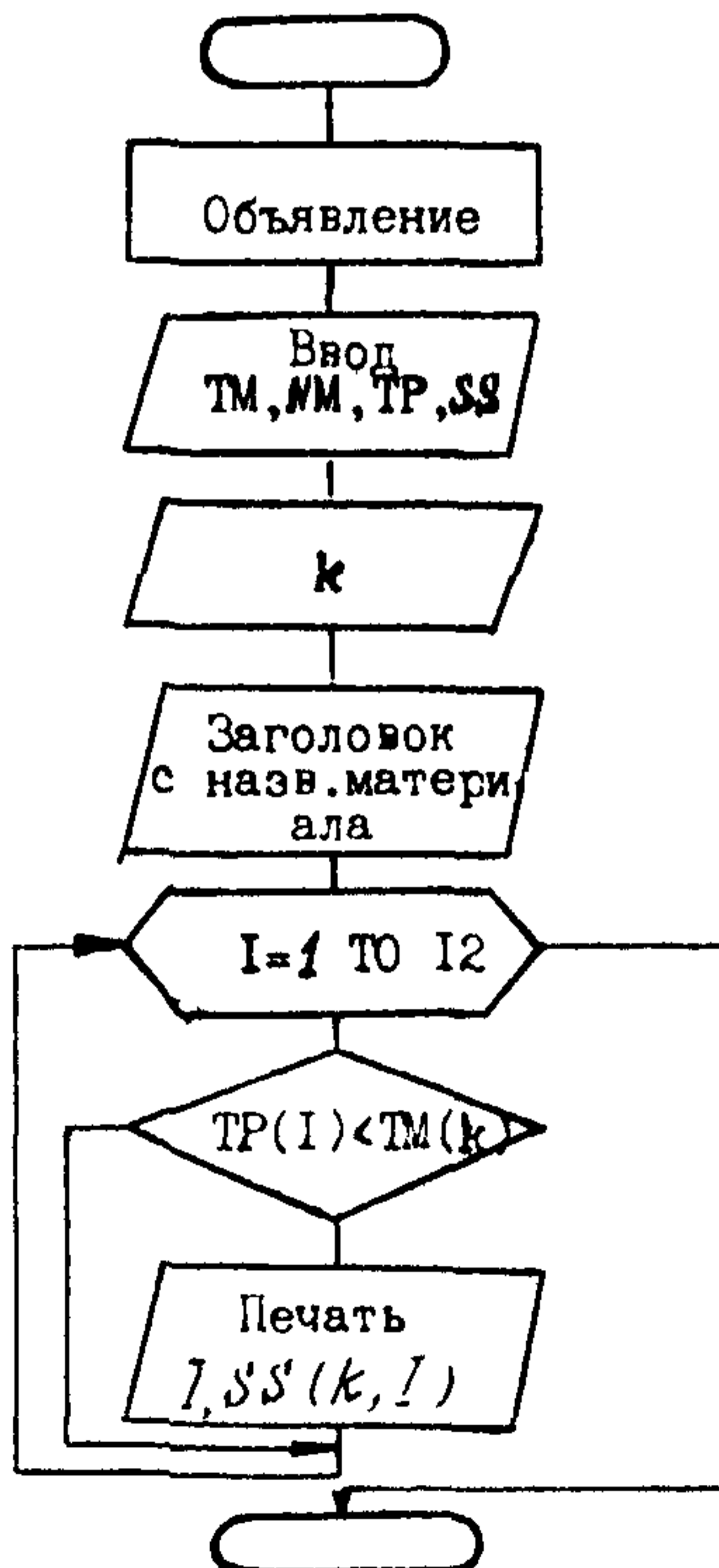


Рис.3 Алгоритм проектирования на этапах  $Z_1 - Z_3$

Таблица I

Допустимый верхний предел нагрева  $M_x$ 

	TM		TM
I.	660	5.	540
2.	659	6.	580
3.	100	7.	550
4.	620	8.	1025

Таблица 2

Температура конца плавления  $M_{II}$ 

	TP		TP		TP
I.	29	6.	350	II.	680
2.	140	7.	500	12.	850
3.	181	8.	620		
4.	270	9.	380		
5.	380	10.	625		

Основа паяемого материала (по вертикали) - к табл.3 п.2

- I -  $\text{Zn}$
- 2 -  $\text{Mg}$
- 3 -  $\text{Al}$
- 4 -  $\text{Ag}$
- 5 -  $\text{Au}$
- 6 - Бронза
- 7 -  $\text{Cu}$
- 8 - Латунь
- 9 -  $\text{Ti}$
- 10 -  $\text{Fe} - \text{c}$  (сталь)
- 11 -  $\text{Fe} - \text{c} - \text{Cr}$  (легированная сталь)
- 12 -  $\text{Fe} - \text{c} - \text{Cr} - \text{Ni}$  (хромоникелевая сталь)

## Основы припоя

1. Ga	13. Ag-Mn
2. Bi	14. Au
3. Sn	15. Cu
4. Sn-Pb	16. Cu-P
5. Sn-Zn	17. Cu-Zn-Si
6. Pb	18. Cu-Zn
7. Cd	19. Cu-Ni-Mn
8. Zn	20. Mn-Ni
9. Mg	21. Ni
10. Al-Si-Cu	22. Ti
11. Al-Si	23. Fe-Mn
12. Ag	24. Cu-Sn

Таблица 3

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	C <sub>4,6</sub>	C <sub>3,6</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	C	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>7</sub>
2	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	H <sub>3,5</sub>	H <sub>3,5</sub>	H <sub>3,5</sub>	H <sub>3,5</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	H <sub>5,7</sub>	H <sub>5,7</sub>	H <sub>7</sub>
3	C <sub>4,6</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>6,8</sub>	C <sub>6,8</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>1,2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4,9</sub>	C	H <sub>7</sub>
4	C <sub>5</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C
5	C <sub>5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>3,5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C
6	C <sub>3,5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>3,5,6</sub>	C <sub>5,6</sub>	C <sub>3,5,6</sub>	C <sub>2,6</sub>	C <sub>2,3,5</sub>	C <sub>2,6</sub>	C <sub>2,6</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3,6</sub>
7	C <sub>3,5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>3,5,6</sub>	C <sub>5,6</sub>	C <sub>3,5,6</sub>	C <sub>2,6</sub>	C <sub>2,3,5,6</sub>	C <sub>2,6</sub>	C <sub>2,6</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3,6</sub>
8	C <sub>3,5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>3,5,6</sub>	C <sub>5,6</sub>	C <sub>3,5,6</sub>	C <sub>2,6</sub>	C <sub>2,3,5</sub>	C <sub>2,6</sub>	C <sub>2,6</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>5</sub>	C <sub>3,6</sub>

В табл.3 приняты следующие сокращения: С – совместимы; Н – несовместимы; CN – условно совместимы, где N :

1. Адгезионная смачиваемость.
2. Плохое растекание и затекание в зазор.
3. Общая химическая эрозия.
4. Межзеренная химическая эрозия.
5. Прослойки химических соединений.

6. Охрупчивание в контакте с жидким припоем.
7. Температура плавления или пайки выше солидуса основного материала.
8. Щелевая коррозия.
9. Пониженная коррозионная стойкость паяного соединения.
10. Охрупчивание шва при хранении вследствие упрочнения твердого раствора.

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

К	- конструкция изделия;
$K_{\text{ц.ф}}$	- конструкционные факторы паяного изделия;
Г	- габаритные размеры изделия;
М	- масштабный фактор изделия;
$K_{\text{с.ф}}$	- конструкционные факторы паяного соединения;
ПС	- паяное соединение;
ЭП	- зазор паяльный;
ФЗ	- фиксированный зазор;
$H_x$	- нахлестка;
$Ш_x$	- шероховатость паяемого металла;
$M_k$	- конструкционный (паяемый) материал;
$M_T$	- технологический материал;
$M_{\text{всп}}$	- вспомогательный материал;
$M_{\text{п}}$	- припой;
$M_{\text{ф}}$	- флюс;
$M_{\text{аг}}$	- активная газовая среда;
$M_{\text{иг}}$	- инертная газовая среда;
$M_{\text{в}}$	- вакуум;
Т	- технология, оснащенная техникой;
ТП	- технологический процесс пайки;
ГМ	- графическая модель;
ТПР	- типовое технологическое проектное решение;
ГП	- групповая технология пайки;
СП1	- способы пайки по формированию паяного шва;
СП2	- способы пайки по удалению окисной пленки;
СП3	- способы пайки по источнику нагрева;
СП4	- способы пайки по давлению на соединяемые детали;
ТП	- температурный режим пайки;
РД	- режим давления при пайке;
$t_{\text{п}}$	- температура пайки;
$\tau_{\text{п}}$	- выдержка при температуре пайки;
$\tau_{\text{н}}$	- время нагрева до температуры пайки;
$\tau_{\text{охл}}$	- время охлаждения после температуры пайки;
$\Delta \tau_{\text{кр}}$	- температурный интервал кристаллизации;
Э	- эксплуатационные характеристики изделия;

$\mathcal{E}_H$	- экономика производства;
ОЦ	- управление в производстве;
ООС	- охрана окружающей среды;
ТЦП	- термический цикл пайки;
$M_{ш}$	- масштабный фактор;
$M_{сол}$	- масса изделий;
$M_k$	- солидус конструкционного материала;
$\Delta t_{кр}$	- интервал критических температур для $M_k$ ;
ОСН	- оснастка;
$M_{осн}$	- материал оснастки;
АВТ	- автоматизация;
Мех	- механизация;
Роб	- роботизация.



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

РАЗРАБОТАНЫ Государственным комитетом по народному образованию СССР

ИСПОЛНИТЕЛИ: д.т.н.С.В.Лашко (руководитель темы); к.т.н.О.И.Куманин; И.Г.Нагапетян; Т.В.Воронина; к.т.н.П.А.Шалаев.

УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Приказом ВНИИМаш № 73 от 22 марта 1988 г.

## ССЫЛОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение документа, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения
ГОСТ 17349-79	2.9, 3.2
ГОСТ 19250-73	3.2
ГОСТ 19248-73	3.2
ГОСТ 19249-73	3.2
ГОСТ 23204-78	5.7
ГОСТ 20485-75	5.7
ГОСТ 21549-76	5.7
ГОСТ 21548-76	5.7
ГОСТ 21547-76	5.7
ГОСТ 23047-78	5.7
ГОСТ 25200-82	5.7
ГОСТ 23046-78	5.7

## Литература

1. Проектирование технологии пайки металлических изделий: Справочник/Сост. С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко, Нагапетян И.Г. и др. - М.: Металлургия, 1983. - С.279.

2. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. - М.: Машиностроение, 1977. - С.326.

3. Лашко С.В. Разработка графической модели для автоматизированного проектирования технологии пайки изделий. - Справочное производство, 1984, № 3. - С.11-13.

4. Лашко С.В., Лашко Н.Ф., Пайка металлов - М.: Машиностроение, 1988. - С.380.

5. Налимов В.В., Чернов Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965. - С.184.

6. Аулер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - С.278.

7. Ножиц Ф.С. Планирование экспериментов в металловедении. - М.: Машиностроение, 1974. - С.262.

## Содержание

	Стр.
1. Общие положения .....	3
2. Рекомендации по разработке типовых проектных решений технологии пайки .....	5
3. Графическая модель проектирования технологии пайки .....	7
4. Описание входной информации $X_N$ и таблиц $T_m$	12
Приложения .....	18
Условные обозначения .....	27
Информационные данные .....	29
Литература .....	30

---

САПР. Автоматизация проектирования технологии  
пайки изделий

Рекомендации

Р 50-54-48-88

Редактор Волкова А.И.  
Мл. редактор Еремеева Т.В.

ВНИИНМАШ Госстандарта СССР

---

Ротапринт ВНИИНМАШ 123007 Москва Д-7, Шенюгина, 4  
Тираж 300 экз. Объем 1,6 уч.-изд.л. Заказ № 3513-88-1  
Цена 50 к.