

Ю.В. Казаков

# МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Учебное пособие



Тольятти  
ТГУ  
2010

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Автомеханический институт  
Кафедра «Оборудование и технология сварочного  
производства и пайки»

Ю.В. Казаков

# **МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ**

Учебное пособие

Тольятти  
ТГУ  
2010

УДК (608.1:621.79)(075)

ББК 74.263:30.61

К14

Рецензенты:

директор Тольяттинского института технического творчества  
и патентоведения, д.п.н., профессор *З.Ф. Мазур*;

к.т.н., доцент Тольяттинского государственного университета  
*А.В. Гордеев*.

Научный редактор: д.т.н., профессор *В.П. Сидоров*.

**К14** Казаков, Ю.В. Методы решения изобретательских задач :  
учебное пособие / Ю.В. Казаков. – Тольятти : ТГУ, 2010. – 161 с.

Настоящее учебное пособие состоит из двух частей – курса лекций и сборника задач.

В первой части рассмотрены методика, правила и приёмы формулировки изобретательских задач. Изложена сущность основных методов их решения. По каждому из рассмотренных методов определён порядок и приведены примеры решения задач по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». Основные разделы лекций снабжены контрольными вопросами. Вторая часть содержит 320 вариантов задач из области сварочной техники, разделённых на 7 групп. Тематика и содержание задач обеспечивают межпредметные связи дисциплины «Основы технического творчества» со специальными сварочными дисциплинами, закрепляют знания этих дисциплин, вырабатывают у студентов навыки анализа и синтеза объектов сварочной техники, а также навыки постановки и решения изобретательских задач.

Пособие предназначено для студентов и магистрантов по специальности «Оборудование и технология сварочного производства» и может быть использовано для обучения студентов других технических специальностей, а также учащихся профессионально-технических училищ и техникумов, слушателей институтов технического творчества, кружков и курсов повышения квалификации работников промышленности.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© ГОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Инновационный курс развития экономики обуславливает повышенные требования к содержанию высшего инженерного образования. Это требует, во-первых, усиления подготовки инженеров, как создателей инноваций, в области технического творчества. Необходимо, чтобы выпускники вузов за короткий срок обучения усвоили логику создания изобретений и ознакомились с основными приёмами изобретательства. Во-вторых, что не менее важно, научились анализировать технические объекты на примере объектов своей специальности, разделять их на типовые признаки, определять существенность этих признаков. Заменяя или совершенствуя признаки, студенты должны уметь синтезировать из них новые, более эффективные способы, устройства и вещества, создавая инновационные решения профессиональных задач. Знание приёмов анализа и синтеза объектов техники – это одна из наиболее сильных составляющих умения учиться и способности решать новые задачи техники будущего.

В области технического творчества написано достаточно большое количество книг, учебников и учебных пособий, в которых рассмотрены десятки, если не сотни способов и приёмов решения технических задач. Создана солидная методическая база для обучения изобретательству. Однако многообразие предлагаемых методов создания изобретений зачастую мешает обучению, неоправданно увеличивая объём учебного материала. Кроме того, практически все известные литературные источники не связаны со специальностью обучаемых, что затрудняет усвоение описанных в них методов и приёмов. В известной литературе отсутствуют конкретные примеры решений изобретательских задач по специальности обучаемых, и нет массива вариантов задач, достаточного для организации самостоятельной практической работы студентов в процессе обучения.

Этим и вызвана необходимость издания настоящего учебного пособия. Его особенностью, частично устраняющей отмеченные недостатки, является разделение учебного материала на две части, первая из которых – теоретическая – представляет собой ограни-

ченный набор основных методов решения изобретательских задач и показывающая основное назначение этих методов: преодоление психологической инерции мышления. Каждый из рассматриваемых методов иллюстрируется конкретным примером решения задачи по усовершенствованию объекта сварочной техники, чем обеспечивается межпредметная связь со всеми специальными дисциплинами. Вторая часть – это сборник профессиональных задач из области сварочной техники, обеспечивающий возможность организации самостоятельной работы студентов на основе индивидуальных заданий.

Таким образом, целью настоящего учебного пособия является повышение качества инженерной подготовки путём обеспечения межпредметной связи дисциплины «Методы решения изобретательских задач» с дисциплинами специальности и организации индивидуальной самостоятельной работы студентов.

## Часть 1. МЕТОДЫ ПОСТАНОВКИ И РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

---

---

### 1.1. Изобретательская задача

#### 1.1.1. Виды инженерных задач

Задача – это действие, которое надо совершить, чтобы достигнуть поставленной цели. Задачи можно условно разделить на исполнительские, конструкторские (технологические) и изобретательские. Все они повседневно встречаются в инженерной практике.

Исполнительская – это такая задача, при решении которой не возникает противоречий. Например: по заданным чертежам и известной технологии надо изготовить сварочную горелку. Если выполнить все требования чертежей и технологии, то горелка будет отвечать эксплуатационным требованиям. Противоречий нет.

Конструкторская или технологическая задача имеет противоречие, но при её решении нет необходимости его преодолевать, найдется компромисс между двумя противоречивыми факторами. Например, при дуговой сварке стали насыщение металла шва азотом резко увеличивает предел прочности  $\sigma_b$  за счёт образования нитридов железа  $Fe_2N$  и  $Fe_4N$ . Но при этом так же резко падает пластичность (относительное удлинение  $\delta$ ). Налицо противоречие: больше прочность (хорошо) – меньше пластичность (плохо). Не преодолевая его, можно установить допустимый диапазон содержания азота в защитной атмосфере, при котором сочетание прочности и пластичности будет приемлемым (рис. 1).

Изобретательской считают такую задачу, при решении которой необходимо преодолевать имеющееся противоречие. В последнем примере задача становится изобретательской, если по её условию нужно сделать так, чтобы пластичность при увеличении концентрации  $N_2$  не изменялась или даже увеличивалась одновременно с увеличением прочности. В этом случае нужно изобретательское решение, которое позволило бы преодолеть противоречие.





Рис. 1. Пример решения технологической задачи — выбор допустимого диапазона концентрации азота в сварном шве

### 1.1.2. Типы противоречий в изобретательских задачах

Различают административные (АП), технические (ТП) и физические (ФП) противоречия. Постановка изобретательской задачи — это формулировка ФП. Административное и техническое противоречия — это этапы формулировки ФП, поскольку из описания объекта задачи ФП обычно не очевидно.

АП — это противоречие между существующими и требуемыми свойствами объекта. Оно вытекает из самого факта возникновения задачи: «Нужно, чтобы стало так-то, а как это сделать — неизвестно». Например: нужно повысить производительность процесса дуговой сварки стальных листов толщиной 2 мм встык, как — неизвестно.

Чтобы перейти к более точной формулировке задачи, необходимо сделать анализ АП. Из него должно вытекать техническое противоречие (ТП). Оно должно показывать, как получить известными средствами то, что требуется по АП, и что этому мешает. Формулировка АП только описывает ситуацию, а формулировка ТП — это переход от ситуации к задаче.

Вернёмся к примеру. В формулировке АП описана ситуация: нужно повысить производительность процесса сварки, как — неизвестно. Проведём анализ этой ситуации. Для повышения производительности можно увеличить скорость сварки. Но при этом у линии сплавления возникнут подрезы. Ширина и длина изотермы  $T = T_{пл}$  при увеличении скорости сварки уменьшаются, шов и особенно проплав становятся уже, будут возможны местные непровары. Всё это ухудшит формирование шва. Налицо ТП: повысить

производительность можно, увеличив скорость сварки, но это ухудшит качество шва.

Для постановки задачи ТП недостаточно. Нужно сформулировать физическое противоречие (ФП). Это противоречие между двумя противоположными состояниями объекта, в которые он должен быть приведён для решения задачи. В нашем примере увеличение скорости, повышая производительность, ухудшает качество шва. Следовательно, уменьшение скорости в некотором пределе будет улучшать качество. Отсюда ФП: скорость сварки должна быть большой, чтобы повысить производительность и должна быть малой, чтобы улучшить формирование шва. Кратко: скорость сварки должна быть большой и малой.

Сравнивая типы противоречий, можно заметить, что их формулировки соответствуют вопросам:

АП: Что нужно получить?

ТП: Как это получить и что этому мешает?

ФП: Как должно быть, чтобы не мешало?

Решение должно показать, как преодолеть ФП.

Физические противоречия на первый взгляд кажутся абсурдными, неразрешимыми: вещество должно быть твёрдым и одновременно жидким, деталь горячей и одновременно холодной, скорость сварки большой и одновременно малой и т.п. Но наглядную парадоксальность можно считать показателем правильности формулировки ФП.

### 1.1.3. Задача М1

*Содержание и условия задачи.* Составить описание заданного объекта, выбрать один из его недостатков, сформулировать изобретательскую задачу по устранению выбранного недостатка. При составлении описания объекта задачи использовать знания, полученные при изучении дисциплин вуза, конспекты лекций и учебники по специальным дисциплинам.

*Порядок решения.*

1. Составить описание заданного объекта.
2. Выявить недостатки заданного объекта (2...5), описать их.
3. Выбрать один из недостатков объекта для постановки изобретательской задачи по его устранению, объяснить причины выбора.

4. Провести анализ заданного объекта и определить возможные причины выбранного недостатка.
5. Сформулировать административное противоречие (АП): что нужно получить в результате решения задачи?
6. Выявить, как можно было бы устранить выбранный недостаток с помощью известных, традиционных способов или средств. Определить, что этому мешает, какое вредное свойство проявится при использовании известных способов или средств.
7. Сформулировать техническое противоречие (ТП): как можно разрешить АП известными способами и что этому мешает?
8. Сформулировать физическое противоречие (ФП): в какие два противоположных состояния надо привести объект, чтобы ничто не мешало разрешить АП ?

*Пример решения.*

Задан объект: способ сварки трением двух стержней.

*Решение.*

1. Составляем описание объекта задачи. Стержни устанавливаются в зажимы сварочной машины, прижимают друг к другу и вращают в противоположных направлениях. В контакте торцов деталей от трения выделяется тепло. После того, как торцы нагреются до пластического состояния металла, вращение прекращают, а усилие сжатия увеличивают. Металл в зоне сварки пластически деформируется, поверхностные слои металла с загрязнениями выдавливаются в грат, образуется сварное соединение.

2. Выявляем недостатки объекта:

- 1) необходимость удаления графа увеличивает трудоёмкость;
- 2) трудно контролировать качество сварного соединения.

3. Для постановки изобретательской задачи выбираем второй недостаток, считая его более существенным.

4. Анализируем объект и определяем возможные причины выбранного недостатка. При сварке трением разогретый до пластического состояния металл на поверхности торцов деформируется осевым усилием. Поэтому, даже если есть непровар, поверхность раздела между деталями неразличима.

5. Формулируем АП: надо обнаруживать непровар при сварке трением, как – неизвестно.

6. Выявляем, как можно было бы выполнить требование АП и что этому мешает. Контролировать сварное соединение можно ультразвуком или рентгеновским, или другим проникающим излучением. Но поскольку поверхность раздела деталей неразличима, эффективность этих методов будет низкой: ультразвук и излучения пройдут через непровар, не отражаясь и не давая тени. Можно сделать поверхность раздела более чёткой, уменьшив усилие сжатия деталей, но тогда непровар будет гарантирован, качественного соединения не будет.

7. Формулируем ТП: непровар можно обнаруживать ультразвуком или проникающим излучением, но этому мешает отсутствие поверхности раздела между деталями, которое необходимо для обеспечения соединения.

8. На основе ТП формулируем ФП: поверхность раздела в зоне соединения деталей должна быть, но её не должно быть.

#### **1.1.4. Уровни изобретательских задач**

Если ФП правильно сформулировано, то оно разрешимо. Только в одних случаях решение приходит сразу после формулировки ФП, а в других – для него требуются десятилетия. Это зависит от глубины противоречий или, по-другому, – от уровня задачи, который характеризуется следующими тремя признаками.

1. Степенью изменения объекта при решении задачи: он не изменяется, изменяется незначительно или существенно, заменяется полностью.
2. Областью техники, в которой может быть найдено решение: область, к которой относится объект, смежная область, другая отрасль, отрасль, далёкая от области применения объекта.
3. Количеством вариантов, которые нужно перебрать для нахождения решения методом проб и ошибок: от единиц до десятков тысяч.

По этим признакам изобретательские задачи можно разделить на 4 уровня. Первый – самые простые задачи. Объект при их решении не изменяется. Решение находится в данной узкой области техники, достаточно перебрать лишь несколько вариантов, чтобы преодолеть противоречие.

*Пример.* При дуговой сварке в сварочную ванну вводят ультразвуковые колебания через неплавящийся стержень, один конец которого погружают в ванну, а другой соединяют с генератором ультразвука. Это измельчает структуру металла шва, повышает его технологическую прочность и механические свойства. Но стержень от высокой температуры разрушается и засоряет металл шва.

Формулируем противоречия.

АП: Чтобы повысить качество шва, надо ввести в сварочную ванну ультразвуковые колебания – как, неизвестно.

ТП: Ввести колебания можно, опустив в сварочную ванну стержень, один конец которого соединён с генератором ультразвука, но стержень засоряет металл шва.

ФП: Стержень должен быть, и его не должно быть.

Теперь несложно через 2...3 попытки получить решение. Надо использовать в качестве стержня, передающего колебания металлу ванны, присадочную проволоку. ФП преодолено: специального стержня нет, но стержень есть, им служит присадочная проволока.

Второй уровень – это более сложные задачи, но объект при их решении изменяется незначительно. Решение может быть найдено в смежной области техники. Простой перебор вариантов решения может потребовать десятков проб.

*Пример.* При дуговой сварке тонких (менее 1 мм) листов встык, чтобы избежать прожогов и перегрева металла, М.П. Зайцев в 1958 году предложил применять импульсную дугу, сваривать кромки листов отдельными точками, перекрывающимися друг друга. Это обеспечило жёсткую связь кромок и более точное дозирование энергии, уменьшились деформации кромок, улучшилось формирование и структура шва. Но после каждой точки дугу надо возбуждать вновь, а это нестабильный процесс, дуга при возбуждении блуждает по кромкам, образуются подплавления основного металла и непровары в шве.

Формулируем противоречия.

АП: Надо повысить качество сварных соединений тонких листов – как, неизвестно.

ТП: Повысить качество можно, применив импульсную дугу, но при повторных возбуждениях дуги качество шва будет ухудшаться.

ФП: Дуга должна быть импульсной и непрерывной.

Несмотря на кажущуюся сейчас очевидность решения, на его поиск ушло 2 года. В 1960 году А.В.Петров и Г.А.Славин нашли его в смежной области техники. В электротехнике широко известно наложение друг на друга токов различной частоты, выполняющих различные функции. Аналогично при решении нашей задачи на импульсный ток сварочной дуги наложили непрерывный ток малой мощности, достаточной для поддержания дугового промежутка в ионизированном состоянии во время паузы сварочного тока: ввели “дежурную” дугу. Процесс сварки стал стабилен и широко внедрился в промышленность.

Третий уровень задач – это сложные изобретательские задачи, их решения надо искать в другой отрасли техники. Для решения простым перебором нужны сотни и тысячи вариантов, нужно использовать знания физических эффектов и явлений. Объект при этом существенно меняется.

Четвёртый уровень составляют самые сложные задачи. Их решение следует искать в далёких областях техники или даже только в науке, используя малоизвестные и мало применяемые эффекты и законы природы. При простом переборе вариантов их нужно десятки тысяч. Объект обычно заменяется другим или изменяется вся система, в которую входит объект. Решение некоторых из задач 4-го уровня лежит за пределами современной науки – для их решения нужно сначала сделать открытие.

Большинство изобретательских задач, встречающихся в инженерной практике, относятся к первому и второму уровням.

### Контрольные вопросы

1. Что такое задача?
2. На какие виды можно разделить инженерные задачи?
3. Что такое исполнительская задача?
4. Что такое конструкторская (технологическая) задача?
5. Что такое изобретательская задача?
6. Какие типы противоречий можно выделить при постановке изобретательской задачи?
7. Что такое АП?
8. Что такое ТП?

9. Что такое ФП?
10. Зачем нужно формулировать АП и ТП?
11. Как перейти от АП к ТП?
12. На какие вопросы отвечают АП, ТП, и ФП?
13. Какими признаками характеризуются уровни изобретательских задач?
14. Какие изобретательские задачи относятся к первому уровню?
15. Какие изобретательские задачи относятся ко второму уровню?
16. Какие изобретательские задачи относятся к третьему уровню?
17. Какие изобретательские задачи относятся к четвёртому уровню?

## 1.2. Решение изобретательских задач

### 1.2.1. Метод проб и ошибок

Метод проб и ошибок – это перебор возможных вариантов решения задачи. Он требует большого числа проб, трудоёмок, малоэффективен.

Психологическая инерция, порождающая здравый смысл, – главный враг творчества. Её влияние можно иллюстрировать классической схемой (рис. 2).

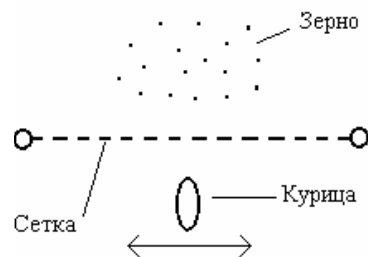


Рис. 2. Курица перед сеткой – пример влияния психологической инерции

Если между двух столбиков натянуть сетку и с одной её стороны насыпать зерно, а с другой пустить курицу, то курица, скорее всего, умрёт с голоду.

В самом деле: курица точно знает из своего опыта, что для того, чтобы добраться до пищи, надо к ней приблизиться. А в данной ситуации решение заключается в том, что для того, чтобы прибли-

зиться к пище, надо от неё сначала удалиться. Этого курица перенести не может.

При решении изобретательских задач мы часто оказываемся в положении этой курицы, выдавая методом проб и ошибок массу неработоспособных идей, большая часть которых направлена в сторону вектора инерции (ВИ) противоположно направлению на идеальный конечный результат (ИКР). Это можно представить схемой (рис. 3), из которой видно, что большинство проб не дают решения задачи, они ошибочны. Эти пробы в результате действия психологической инерции чаще всего направлены в сторону от идеального конечного результата ИКР по вектору инерции ВИ.

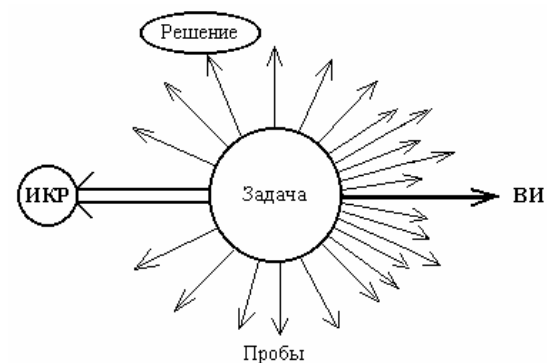


Рис. 3. Схема решения изобретательской задачи методом проб и ошибок

История техники свидетельствует, что многие крупные изобретения были созданы дилетантами. Например, преподаватель школы глухонемых Александр Грейам Белл изобрёл удачную конструкцию телефона. Современные ему специалисты-электрики говорили, что если бы Белл был знаком, хотя бы с азами электротехники, ему никогда бы не сделать этого изобретения. Добывать нефть бурением предложил юрист Буссель. Пневматические шины, на которых основан сегодня почти весь наш наземный транспорт, изобрёл ветеринар Денлоп. Электрический телеграф и специальную азбуку для него предложил художник Сэмюэл Морзе. Автоматическую прялку изобрёл английский цирюльник Аркрайт. Этот перечень можно продолжить, но главное, что объединяет этих «дилетантов», – это отсутствие или очень слабое проявление психологической инерции.

Очевидно, что повысить эффективность метода проб и ошибок можно двумя путями.

1. Интенсифицировать процесс генерирования идей – увеличить число проб в единицу времени.

2. Повысить концентрацию оригинальных идей в их общем потоке – уменьшить число ошибок.

Первый путь реализуют, увеличивая количество людей, одновременно решающих задачу. Для этого применяют метод мозгового штурма и его разновидности: синектику, конференции идей и т. п.

Второй путь – это применение специальных методов, подавляющих психологическую инерцию и стимулирующих творчество. Известно более 50 таких методов. Это, например, метод маленьких человечков, когда объект наполняют их толпой и по их предполагаемому поведению при внешнем воздействии ищут направление решения задачи, метод контрольных вопросов, которые заранее подбирают так, чтоб ответы на них расшатывали психологическую инерцию. Эффективны методы фокальных объектов, морфологического анализа и ряд методов, предусмотренных алгоритмом решения изобретательских задач (АРИЗ), разработанным Г.С. Альтшуллером в СССР.

### 1.2.2. Мозговой штурм

Предложен в США в начале сороковых годов, опубликован в 1953 году А. Осборном. По психологическим наклонностям людей можно условно разделить на две группы: склонных к генерированию идей (фантазёры) и более склонных к критическому анализу (критики). Собравшись вместе и не будучи ничем ограничены, они мешают друг другу решать задачу. На разделении их функций основан метод мозгового штурма.

В мозговом штурме участвуют несколько человек, желательно разного уровня знаний и даже разных специальностей. В группе нет руководителей и подчинённых. Ведущим излагается задача. Затем участники высказывают любые идеи по её решению. Обоснования идей не требуется, допускается выдвижение фантастических, шуточных, явно нереальных идей. Критика предложений запрещена в любой форме, отношения между участниками должны быть сво-

бодными, доброжелательными. Высказанные идеи записываются на магнитофон, а затем критики внимательно анализируют их, производят экспертизу и отбор перспективных идей, на основе которых разрабатывается решение задачи.

Мозговой штурм может быть прямым, когда ищется решение поставленной задачи, и обратным, когда рассматривается объект, коллективно находят его недостатки и затем, после их анализа, формулируется изобретательская задача.

Одна из разновидностей мозгового штурма – синектика. Штурм в этом случае ведёт группа специалистов. Допускается критика идей. При их выдвижении используются приёмы, основанные на аналогиях.

Прямая аналогия: как решаются похожие задачи?

Личная аналогия: попробуйте войти в образ объекта данной задачи.

Фантастическая аналогия: как эту задачу решили бы сказочные персонажи?

Символическая аналогия: нужно обнаружить в привычном определении объекта неясность, противоречие и составить его краткое противоречивое определение. Например, сварочный флюс – порошковая жидкость.

Мозговой штурм и его разновидности могут ускорить решение задачи, но главные недостатки метода проб и ошибок, большая трудоёмкость и сильное отрицательное влияние психологической инерции мышления, остаются.

### 1.2.3. Задача М2

*Содержание и условия задачи.* Провести анализ заданного объекта, выбрать один из его недостатков, сформулировать изобретательскую задачу и решить её методом мозгового штурма.

Задача решается коллективно, составом одной студенческой группы. Анализ объекта и формулировка изобретательской задачи проводится также коллективно под руководством преподавателя. При мозговом штурме ведущим выступает преподаватель или один из студентов по заданию преподавателя. Запись всех подаваемых в ходе мозгового штурма предложений по решению задачи ведётся



каждым студентом группы индивидуально. В процессе мозгового штурма запрещается критика высказываемых предложений в любой форме и обоснование предложений.

Критический анализ поданных предложений и разработка решения задачи ведётся каждым студентом индивидуально во внеаудиторное время самостоятельной работы.

Решение, сдаваемое на проверку преподавателю каждым студентом, должно включать в себя описание заданного объекта, его анализ, формулировку изобретательской задачи (физического противоречия), содержание всех предложений, поданных в ходе мозгового штурма, критический анализ каждого предложения и описание разработанного технического решения, а также доказательства преодоления этим решением физического противоречия, составляющего изобретательскую задачу.

#### *Порядок решения.*

1. Описать объект задачи.
2. Выбрать один из его недостатков, выявить причины недостатка.
3. Сформулировать АП, ТП и ФП.
4. Каждому из участников высказать 1...3 предложения по решению задачи.
5. Каждому из участников записать все высказанные предложения, пронумеровав их в порядке поступления.
6. Каждому участнику индивидуально провести критический анализ каждого из предложений. Выбрать из них перспективные для разработки решения задачи. Выводы по каждому предложению аргументировать, объяснив, почему это предложение перспективно, а это – нет.
7. На основе перспективных предложений разработать решение поставленной задачи и составить его описание. У каждого участника решения могут быть различными или по-разному аргументированными.
8. Доказать, что полученное решение преодолевает сформулированное в п.3 физическое противоречие.

#### *Пример решения.*

1. Задан объект. При монтаже трубопроводов часто встречаются соединения двух стальных труб, одна из которых врезаётся в боковую

поверхность другой трубы под углом, равным или близким 90°. Линия стыка труб при таком соединении представляет собой седловидную кривую. Сваривают такие стыки ручной дуговой сваркой штучными электродами. Производительность процесса сварки низкая. Автоматизировать сварку таких стыков можно, но для этого требуется сложное и дорогое оборудование: автоматы с системой копирования стыка или самообучающиеся роботы.

2. Выбираем недостаток заданного объекта, находим его причину. Высокая трудоёмкость процесса сварки. Это обусловлено трудностью автоматизации сварки криволинейного стыка седловидной формы: для автоматизации потребуется сложное оборудование. Поэтому такие стыки сваривают ручной сваркой.

#### 3. Формулируем противоречия.

АП: Надо повысить производительность процесса сварки, как – неизвестно.

ТП: Повысить производительность можно, автоматизировав процесс сварки, но это усложнит оборудование.

ФП: Автоматизация должна быть, но её не должно быть.

4 и 5. Задача решалась группой из 20 студентов. В ходе мозгового штурма были высказаны и записаны следующие предложения по решению сформулированной изобретательской задачи:

- 1) придумать специальное оборудование;
- 2) разбить сварное соединение на мелкие участки и варить их автоматом по отдельности;
- 3) вращать деталь при неподвижном автомате;
- 4) вращать автомат вокруг детали;
- 5) заставить дугу самостоятельно перемещаться по стыку деталей;
- 6) вращать одновременно сварочную головку и деталь, но в разные стороны;
- 7) сварочную головку сделать с направляющей по стыку;
- 8) сваривать взрывом;
- 9) применить контактную стыковую сварку;
- 10) нагреть до оплавления и соединить;
- 11) применить холодную сварку;
- 12) применить пайку;
- 13) применить сварку электрозаклёпками;

- 14) сваривать трением;
- 15) вместо автомата применить полуавтомат;
- 16) сварку производить в космосе;
- 17) закрепить детали в оправках с помощью пневматических или гидравлических зажимов;
- 18) залить жидким металлом;
- 19) склеить детали;
- 20) привязать детали друг к другу;
- 21) применить электрод, который сам варит;
- 22) сделать детали не из металла
- 23) изменить конструкцию соединения;
- 24) заточить вертикальную трубу на конус и забить её в отверстие другой трубы.

6. Производим критический анализ высказанных предложений, выбираем из них перспективные для решения изобретательской задачи.

- 1) не перспективно, усложнит оснастку;
- 2) не перспективно, усложнит процесс и не преодолеет ФП;
- 3) не перспективно, усложнит процесс и не преодолеет ФП;
- 4) не перспективно, усложнит процесс и не преодолеет ФП;
- 5) перспективно, наводит на мысль о электроде, копирующем линию стыка деталей;
- 6) не перспективно, автомат остаётся и задача слежения за стыком не решается;
- 7) перспективно, предполагает использование копира;
- 8) не перспективно, решает другую задачу;
- 9) не перспективно, решает другую задачу;
- 10) не перспективно, усложнит процесс;
- 11) не перспективно, решает другую задачу;
- 12) не перспективно, решает другую задачу;
- 13) не перспективно, для условий задачи практически не применимо;
- 14) не перспективно, решает другую задачу;
- 15) не перспективно, не позволяет преодолеть ФП, так как автоматизация частично будет, а производительность повысится незначительно;
- 16) не перспективно, усложнит процесс и не решит задачу;

- 17) не перспективно, решает другую задачу;
- 18) перспективно, если осуществить, то ФП может быть преодолено;
- 19) и 20) перспективны, могут помочь реализовать предложения 5 и 7;
- 21) перспективно, наталкивает на мысль о лежащем электроде;
- 22) не перспективно, материал деталей задан;
- 23) и 24) не перспективны, решают другую задачу.

7. На основе перспективных сочетаний разрабатываем решение. Перед сваркой изготавливают электрод, копирующий форму линии контура стыка деталей (предложение 7), немного больше её по периметру. На этот электрод наносят обмазку и укладывают его на стык деталей (предложение 21 – лежащий электрод). Электрод можно привязать к деталям (предложение 20) или приклеить к ним (предложение 19), чтобы он не смещался относительно стыка во время сварки или при подготовке к ней. Один полюс источника тока подключают к концу электрода, другой – к детали и зажигают дугу. По мере оплавления электрода дуга будет перемещаться по стыку, копируя его (предложение 5). Расплавленный металл электрода будет образовывать сварной шов (предложение 18).

8. В результате решения сварка происходит без участия сварщика, автоматизация процесса сварки осуществлена. В то же время оборудования для автоматизации не требуется, автоматизация в общепринятом смысле отсутствует. ФП преодолено. Производительность процесса повышается, так как можно повысить силу сварочного тока и увеличить скорость плавления электрода по сравнению с ручной сваркой.

#### 1.2.4. Метод фокальных объектов

Разработан в 1958 году Чарльзом Вайтингом в США. Реализует второй путь совершенствования метода проб и ошибок.

Сущность метода заключается в том, что на объект, который надо усовершенствовать (фокальный объект), переносят признаки нескольких случайно выбранных объектов. Полученные неожиданные сочетания позволяют преодолеть психологическую инерцию. Сочетания признаков случайных объектов с фокальным объектом анализируют, отбирают из них перспективные для решения задачи и на их основе разрабатывают решение.



### 1.2.5. Задача МЗ

*Содержание и условия задачи.* Решить изобретательскую задачу методом фокальных объектов. В качестве объекта задачи (фокального объекта) принять объект задания М1, в качестве формулировки изобретательской задачи принять физическое противоречие (ФП), полученное при решении задачи М1.

*Порядок решения.*

1. Выписать название или краткое описание объекта задачи М 1 на основе п.1 её решения. Указать на выбранный недостаток этого объекта, записать формулировку ФП, полученную при решении задачи М 1.
2. Выбрать 2...5 случайных объектов. Следует иметь в виду, что увеличение количества случайных объектов повышает вероятность преодоления ФП, но резко усложняет ход решения задачи.
3. Сформулировать и выписать существенные признаки всех выбранных случайных объектов.
4. Присоединить поочерёдно все признаки случайных объектов к фокальному объекту, записать полученные сочетания.
5. Провести анализ полученных сочетаний с учётом ФП, выбрать перспективные сочетания, объяснить, почему они могут считаться перспективными.
6. На основе перспективных сочетаний фокального объекта с признаками случайных объектов разработать решение изобретательской задачи. Составить описание объекта, усовершенствованного в результате решения.
7. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.
8. Если не удаётся доказать, что ФП преодолено, то повторить все шаги решения, начиная с п.2.

*Пример решения.*

1. Объектом задачи М1 был способ сварки трением двух стержней. При решении задачи М1 был выбран недостаток этого объекта: трудность контроля качества сварного соединения. Сформулировано ФП: поверхность раздела в зоне соединения деталей должна быть, но её не должно быть.

2. Выбираем случайные объекты: стол, самолёт, перец.

3. Формулируем и выписываем существенные признаки выбранных случайных объектов.

- |                            |                 |                     |
|----------------------------|-----------------|---------------------|
| 1. Стол                    | 2. Самолёт      | 3. Перец            |
| 1.1. С плоской столешницей | 2.1. С крыльями | 3.1. Едкий          |
| 1.2. На четырёх ногах      | 2.2. Летящий    | 3.2. Пахучий        |
| 1.3. Деревянный            | 2.3. С мотором  | 3.3. В виде порошка |

4. Присоединяем поочерёдно признаки случайных объектов к фокальному объекту. Согласно ФП преобразована должна быть поверхность раздела деталей, её и примем в качестве фокального объекта:

- 1.1) поверхность с плоской столешницей;
- 1.2) поверхность на четырёх ногах;
- 1.3) поверхность деревянная;
- 2.1) поверхность с крыльями;
- 2.2) поверхность летающая;
- 2.3) поверхность с мотором;
- 3.1) поверхность едкая;
- 3.2) поверхность пахучая;
- 3.3) поверхность в виде порошка.

5. Анализируем полученные сочетания с учётом ФП, выбираем из них перспективные для преодоления ФП.

Сочетания 1.1 и 1.2 – не перспективны. Сочетание 1.3 наталкивает на мысль, что можно изменить материал поверхности, – перспективно. Сочетания 2.1, 2.2, 2.3, 3.1 и 3.2 – не перспективны. Сочетание 3.3 перспективно, оно подсказывает, что в зону соединения деталей можно ввести порошок другого материала.

6. На основе перспективных сочетаний 1.3 и 3.3 разрабатываем решение. Нужно перед сваркой нанести на поверхность одной из свариваемых деталей порошок из материала, имеющего плотность больше, чем у материала свариваемых деталей. Лучше, если это будет порошок легирующего материала, который улучшает или хотя бы не ухудшает свойства сварного соединения. В процессе сварки этот порошок частично диффундирует в материал свариваемых деталей, а большая часть его выдавится в грат вместе с поверхностными слоями металла соединяемых деталей. В этом случае соединение деталей будет качественным, поверхности раздела между ними

не будет. При непроваре часть порошка останется между деталями, чётко обозначив поверхность раздела между ними. При лучевых или ультразвуковых способах контроля эта поверхность даст тень или эхо, непровар будет выявлен. Контроль качества обеспечен.

7. В результате решения поверхность раздела между деталями есть при наличии непровара и её нет при качественном соединении. ФП преодолено.

### 1.2.6. Морфологический анализ

Предложен в 1942 г. Ф. Цвикки (США).

Сущность метода: анализируя строение (морфологию), структуру объекта задачи, выделяют его главные характеристики – оси. Затем выбирают возможные варианты этих характеристик и заносят их в таблицу. Составляют сочетания вариантов осей и анализируют эти сочетания, выбирая из них перспективные для решения задачи. Необычность некоторых сочетаний позволяет преодолеть психологическую инерцию. На основе перспективных сочетаний разрабатывают решение. Следует помнить, что сочетания вариантов осей, даже самые перспективные, как правило, не дают решения. Они лишь наталкивают на направление, в котором можно найти эффективное решение.

### 1.2.7. Задача М4

*Содержание задачи.* Провести анализ заданного объекта, выбрать его недостаток, сформулировать изобретательскую задачу и решить её методом морфологического анализа (путём анализа структуры, строения объекта).

*Порядок решения задачи.*

1. Выбрать недостаток заданного объекта, определить его причины и сформулировать изобретательскую задачу.
2. Провести анализ объекта задачи М 4, выделить его основные характеристики – оси. Рекомендуется выбрать 2...4 оси, учитывая, что увеличение их количества хотя и повышает вероятность решения задачи, но резко усложняет процесс решения.
3. Определить возможные варианты осей, занести их в таблицу морфологического анализа. Чтобы не усложнять процесс решения, лучше выбрать не более 2...4 вариантов каждой оси.

4. Составить сочетания вариантов осей.

5. Провести с учётом ФП анализ полученных сочетаний вариантов осей, отделить известные и неперспективные сочетания, выбрать сочетания, перспективные для преодоления ФП. Объяснить, почему выбранные сочетания перспективны.

6. На основе выбранных перспективных сочетаний вариантов осей разработать решение задачи, подробно описать его.

7. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.

Если ФП не преодолено – найти новое решение, повторив все действия, начиная с п.2, и выбрав новые оси или их варианты.

*Пример решения.*

Задан объект. Если на поверхность кромок деталей, свариваемых аргонодуговой сваркой, нанести тонкий ( $\approx 0,5$  мм) слой активирующего флюса, содержащего галогениды, то проплавливающая способность сварочной дуги увеличивается. Это позволяет сваривать за один проход со сквозным проплавлением стальные детали с толщиной кромок до 6 мм и уменьшить ширину зоны термического влияния. Но при большей толщине свариваемых кромок приходится повышать силу сварочного тока. Это резко увеличивает радиус образующихся в зоне дуги газовых вихрей, которые уносят пары флюса из дугового промежутка. Эффективность флюса падает. Уменьшить радиусы вихрей можно, если зону дуги ограничить, например, толстым (2...5 мм) нерасплавившимся слоем флюса. Но это увеличит расход флюса. Кроме того, избыток активирующего флюса ухудшает стабильность горения дуги.

*Решение.*

1. Выбираем недостаток, формулируем противоречия. При сварке деталей с большой толщиной кромок активирующий флюс не эффективен, так как газовые вихри увеличивают свой радиус при повышении силы сварочного тока и уносят пары флюса из дуги.

АП: Нужно повысить эффективность флюса при сварке деталей большой толщины, как – неизвестно.

ТП: Повысить эффективность флюса можно, если заглубить дугу в толстый слой флюса, но это увеличит расход флюса и понизит стабильность горения дуги.

ФП: Слой флюса должен быть толстым, но он должен быть тонким.

2. Выбираем главные характеристики заданного объекта – оси. Задан способ аргонодуговой сварки по слою активирующего флюса. Основную роль в эффективности этого способа играет флюс, изобретательская задача (ФП) сформулирована на его основе. Поэтому выбираем основные оси объекта, его характеристики, относящиеся к флюсу. Пусть это будут: способ нанесения флюса; физическое состояние флюса; время нанесения флюса.

3. Выбираем возможные варианты осей, заносим их в таблицу.

1. Способ нанесения флюса	2. Физическое состояние флюса	3. Время нанесения флюса
1. Насыпают	1. Порошок	1. Перед сваркой
2. Намазывают	2. Паста	2. Во время сварки
3. Наклеивают	3. Твёрдое тело	
4. Распыляют	4. Жидкость	

4. Составляем сочетания вариантов осей, используя для упрощения их номера по таблице.

1.1 – 2.1 – 3.1	1.1 – 2.1 – 3.1
1.1 – 2.2 – 3.1	1.1 – 2.2 – 3.1
1.1 – 2.3 – 3.1	1.1 – 2.3 – 3.1
1.1 – 2.4 – 3.1	1.1 – 2.4 – 3.1
1.1 – 2.1 – 3.2	1.3 – 2.1 – 3.2
1.1 – 2.2 – 3.2	1.3 – 2.2 – 3.2
1.1 – 2.3 – 3.2	1.3 – 2.3 – 3.2
1.1 – 2.4 – 3.2	1.3 – 2.4 – 3.2
1.2 – 2.1 – 3.1	1.4 – 2.1 – 3.1
1.2 – 2.2 – 3.1	1.4 – 2.2 – 3.1
1.2 – 2.3 – 3.1	1.4 – 2.3 – 3.1
1.2 – 2.4 – 3.1	1.4 – 2.4 – 3.1
1.2 – 2.1 – 3.2	1.4 – 2.1 – 3.2
1.2 – 2.2 – 3.2	1.4 – 2.2 – 3.2
1.2 – 2.3 – 3.2	1.4 – 2.3 – 3.2
1.2 – 2.4 – 3.2	1.4 – 2.4 – 3.2

5. Анализируем полученные сочетания, выбираем из них перспективные для преодоления ФП.

Перспективными можно считать сочетания 1.2 – 2.2 – 3.1 (намазывают – паста – перед сваркой) и 1.3 – 2.3 – 3.1 (наклеивают

– твёрдое тело – перед сваркой). Эти сочетания наталкивают на мысль о том, что для преодоления ФП можно использовать сочетание пастообразного флюса с твёрдым телом.

6. На основе выбранных сочетаний вариантов осей разрабатываем решение задачи.

Флюс будем применять в виде пасты. Толщина слоя флюса будет небольшой, минимально необходимой для эффективного воздействия на дугу. Но дополнительно к флюсу введём в зону сварки твёрдое тело из материала, нейтрального по отношению к флюсу и к материалу свариваемых деталей. Таким телом может быть лента, например, из стеклоткани. Её перед сваркой укладывают (наклеивают) на стык собранных под сварку деталей. На эту ленту наносят (намазывают) флюс в виде пасты, например, порошка, смоченного этиловым спиртом. Сверху слой флюса можно закрыть второй лентой из стеклоткани. Это предохранит флюс от раздувания газовыми потоками в зоне дуги при высыхании пасты и увеличит суммарную толщину пакета лент с флюсом. В процессе сварки оба слоя ленты расплавляются дугой, образуя канал, в котором горит дуга. Газовые вихри в зоне дуги будут ограничиваться стенками этого канала. Флюс, находящийся между лентами, испаряется, пары флюса концентрируются в узком канале между оплавленными краями лент. Эффективность действия флюса повышается.

7. В результате решения слой флюса в совокупности с лентами стал достаточно толстым, чтобы исключить потери флюса и обеспечить его эффективное воздействие на проплавляющую способность дуги. В то же время слой флюса между лентами остался тонким, что обеспечивает стабильность горения дуги и небольшой расход флюса. ФП преодолено: слой флюса толстый, но он тонкий.

### Контрольные вопросы

1. В чём сущность метода проб и ошибок?
2. Какие недостатки присущи методу проб и ошибок?
3. Почему при использовании метода проб и ошибок большинство проб направлены в сторону, противоположную ИКР?
4. Каковы пути повышения эффективности метода проб и ошибок?
5. Что такое прямой и обратный мозговой штурм?

6. Каковы правила проведения мозгового штурма?
7. В чём особенности синектики?
8. Какими аналогиями пользуются в процессе решения задач методом синектики?
9. В чём сущность метода фокальных объектов?
10. В чём сущность метода морфологического анализа?

### 1.3. Устранение физических противоречий по АРИЗ

В 1959 г. советским инженером Г.С. Альтшуллером был разработан алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Он состоит из трёх этапов. Первые два этапа посвящены анализу объекта и формулировке изобретательской задачи. Третий этап – это комплекс методов решения изобретательских задач.

Число типов физических противоречий не велико, в разных задачах они повторяются – ФП типичны. Это позволяет пользоваться типовыми приёмами. АРИЗ предусматривает 4 основных метода устранения ФП: простейшие преобразования дефектной зоны, вепольные преобразования, использование физических эффектов и явлений и применение типовых (эвристических) приёмов. Их лучше применять последовательно: если первый метод не даёт решения, переходят ко второму и т.д.

#### 1.3.1. Простейшие преобразования

Применяют два типа простейших преобразований (прил. 1): разделение объекта во времени и разделение объекта в пространстве.

##### *Разделение во времени*

Для этого преобразования применяют следующие приёмы.

1. Растянуть (либо, наоборот, сжать) действие во времени.
2. Выполнить требуемое действие до начала (либо, наоборот, по окончании) работы объекта.
3. Выполнить действие чуть раньше (чуть позже).
4. Если действие непрерывно, сделать его прерывистым, импульсным или наоборот, прерывистое действие сделать непрерывным.
5. Использовать паузы между импульсами одного действия для другого действия.

##### *Разделение в пространстве*

Для этого преобразования применяют следующие приёмы.

1. Разделить объект на независимые части, выполняющие одинаковые функции.
2. Выполнить объект разборным.
3. Вместо одного рабочего элемента сделать несколько.
4. Каждую часть объекта поместить в условия, наиболее благоприятные для её работы.
5. Перейти от однородной структуры объекта или внешней среды к неоднородной.
6. Сделать так, чтобы различные части объекта выполняли различные функции.

#### **Задача М5**

*Содержание задачи.* Провести анализ заданного объекта, сформулировать изобретательскую задачу и решить её методом простейших преобразований.

*Порядок решения задачи.*

1. Найти недостаток заданного объекта, установить его причину.
2. Записать АП и провести его анализ.
3. Сформулировать ТП и ФП.
4. Выбрать вид простейшего преобразования и приём, с помощью которого можно преодолеть сформулированное ФП.
5. Решить задачу, применив выбранный приём простейшего преобразования, описать полученное решение.
6. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.

*Пример решения.*

Задан объект. Нужно соединить дуговой сваркой между собой листы из титанового сплава и из сплава алюминия. У титана температура плавления 1700°C, у алюминиевого сплава 650°C. При сварке алюминий перегревается, вступает в реакцию с титаном, образуются хрупкие интерметаллиды, уменьшается пластичность шва, образуются трещины.

*Решение.*

1. Из описания объекта очевиден недостаток способа дуговой сварки титанового сплава с алюминиевым: уменьшение пластичности шва и повышение вероятности образования трещин. Причи-

на – перегрев алюминия в зоне соединения, вследствие чего образуются интерметаллиды.

2. Формулируем АП: Надо получить качественное соединение при дуговой сварке, как – неизвестно.

Анализируем АП. Сварочной дугой можно нагреть титановый сплав до расплавления (до 1700°C), чтобы образовать сварочную ванну. Это обеспечит образование соединения, но алюминий при этом нагреется значительно выше 650°C, качество шва будет плохим.

3. Формулируем ТП и ФП.

ТП: Нагрев зоны сварки выше 1700°C позволит получить сварной шов, но при этом ухудшится его качество.

Отсюда ФП: Надо нагревать зону сварки выше 1700°C, но её нельзя нагревать выше 650°C.

4. Выбираем вид простейшего преобразования и приём, которым можно преодолеть ФП. Поскольку согласно ФП температура зоны сварки должна быть выше 1700°C и не выше 650°C, предположим, что зону сварки можно разделить в пространстве. Эта зона содержит две части: кромку из титанового сплава и кромку из сплава алюминия. Одна из них должна нагреваться выше 1700°C, другая не выше 650°C. Это наиболее благоприятные для них условия. Очевидно, что здесь может быть эффективным приём 4 разделения в пространстве: каждую часть объекта поместить в условия, наиболее благоприятные для её работы.

5. Решаем задачу, применив выбранный приём.

Соберём кромки деталей внахлёстку. Кромку из титанового сплава поместим сверху и будем нагревать её дугой. После того, как температура поверхности титановой кромки превысит 1700°C, на ней образуется ванна жидкого металла. На кромку из алюминиевого сплава дуга воздействовать не будет, эта кромка будет нагреваться от внутренней поверхности титановой кромки, где температура ниже, чем со стороны дуги. Когда в стыке деталей температура достигнет 650°C, алюминиевая кромка начнёт оплавляться, на ней возникнет вторая сварочная ванна, не соприкасающаяся с первой. Титан восстанавливает окисную плёнку алюминия, жидкий алюминий смачивает нагретую поверхность титановой кромки, образуется соединение (рис. 4).

6. В результате решения зона сварки нагревается до 1700°C со стороны титановой кромки и не нагревается больше 650°C со стороны алюминиевой кромки. ФП преодолено.

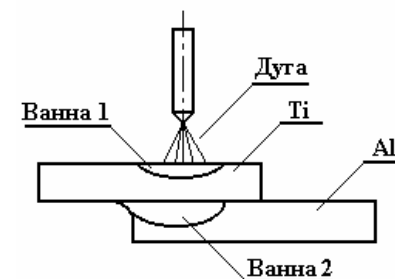


Рис. 4. Схема решения задачи сварки титанового сплава с алюминиевым

### 1.3.2. Вепольные преобразования дефектной зоны

Рассмотрим два примера изобретательских задач.

1. Нужно быстро и точно проверить герметичность сварных ёмкостей в условиях эксплуатации. В ёмкостях под давлением находится жидкость (например, масло).

Формулируем противоречия.

АП: Нужно проверить герметичность ёмкостей при эксплуатации, как – неизвестно.

ТП: Проверять герметичность можно, если изменить среду внутри ёмкости: удалить из ёмкости жидкость и применить известные способы контроля (пневмоиспытания, проверку керосином по мелу, гелиевым течеискателем и т.п.), но это трудоёмко и нарушит условия эксплуатации.

ФП: Нужно изменить среду внутри ёмкости, но среду менять нельзя.

2. Для сборки крупногабаритных деталей, например, для электрошлаковой сварки, применяют распорные клинья, забиваемые между опорой и деталью. Чтобы не повредить деталь между ней и клином устанавливают прокладку. Это упрощает сварочную оснастку, но клин после сварки трудно удалять.

Формулируем противоречия.

АП: Надо легко и просто удалять клин после сварки, как – неизвестно.



ТП: Удалять клин можно, если применить механизм, например, винтовой, но это усложнит оснастку.

ФП: Устройство для удаления клина должно быть, но его не должно быть.

*Решение.*

1. В жидкость внутри ёмкости вводят люминофор в малых количествах, которые не повлияют на технологические свойства жидкости. Затем в темноте освещают сварные швы ультрафиолетовыми лучами. В местах утечек жидкости люминофор в ультрафиолетовых лучах будет светиться. По наличию или отсутствию свечения можно судить о герметичности ёмкости.

ФП преодолено: среда внутри ёмкости осталась прежней, её технологические свойства не изменились, и в то же время она изменена: она стала реагировать на ультрафиолетовое излучение.

2. Предложено прокладку между клином и фиксируемой деталью делать из двух частей, одна из которых легкоплавкая. Чтобы удалить клин, нужно нагреть прокладку и расплавить её легкоплавкую часть.

ФП преодолено: устройство для удаления клина есть, его роль играет прокладка, но специального устройства нет, оснастка не усложняется.

В решениях этих разных задач применён общий приём. В обоих случаях в объект введено дополнительное вещество: в первом решении — люминофор, во втором — легкоплавкая часть прокладки. Кроме того, в обоих случаях в объект задачи введено поле: в первом — ультрафиолетовое излучение, во втором — тепловое поле.

Это типовой приём решения изобретательских задач, называемый вепольным преобразованием объекта задачи (дефектной зоны этого объекта). Вепольное преобразование заключается в том, что в объект задачи вводят дополнительное вещество и взаимодействующее с ним поле. Отсюда термин “веполь”: вещество — поле. Веполь обычно имеет вид треугольника: два вещества (имевшиеся в объекте и дополнительно введённое) и поле. В решении может оказаться несколько веполей.

Под веществом понимают любые материальные объекты, независимо от степени их сложности: защитный газ и гайка, сварочный автомат и флюс — всё это вещества. Поле понимают несколько

шире, чем в физике: любые энергетические воздействия (тепловое, силовое, акустическое, электрическое) — это поля.

Вещества обозначают буквой **В**, поля — **П** (прил. 2). Чтобы отличать вещества и различные поля друг от друга, эти буквы снабжают цифровыми или буквенными индексами. Взаимодействия (действия) обозначают стрелками.

————→ — действие;

←————— — взаимодействие;

~~~~~→ — вредное действие;

⇒ — переход от условия задачи к её решению.

В процессе решения составляют вепольную схему задачи и её возможного решения. В схемах вещества всегда пишут в строку по горизонтали, а поля над строкой или под ней.

Два правила вепольных преобразований.

1. Невепольные системы (один элемент — вещество или поле) и неполные вепольные системы (два элемента — поле и вещество, два вещества) необходимо достраивать до полного веполя (три элемента — два вещества и поле).

2. Правило развития веполей: с увеличением степени дисперсности  $V_2$  (инструмента) эффективность веполя повышается; действие поля на  $V_2$  (инструмент) эффективнее действия на  $V_1$  (изделие); электрические (электромагнитные, магнитные) поля в веполях эффективнее не электрических (механических, тепловых и т.п.).

Порядок решения задач с помощью вепольных преобразований.

1. Выбрать недостаток объекта, выявить его причины.
2. Сформулировать АП, ТП и ФП.
3. Составить вепольную схему исходной ситуации (условий задачи).
4. Произвести вепольное преобразование объекта: определить, какое дополнительное вещество и взаимодействующее с ним поле могут способствовать преодолению ФП, и построить полную вепольную схему решения задачи. Описать полученное решение.
5. Доказать, что ФП преодолено.

*Пример решения задачи* методом вепольных преобразований.

Задан объект. Для очистки воздуха от сварочных аэрозолей применяют фильтры в виде пакета из нескольких слоёв металлической

ткани. Пыль хорошо задерживается таким фильтром, но именно поэтому фильтр трудно очищать.

*Решение.*

1. Недостаток объекта – трудность очистки фильтра от пыли, так как фильтр хорошо задерживает пыль.

2. Формулируем противоречия.

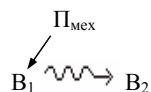
АП: Надо очищать воздух от пыли, как – неизвестно.

ТП: Можно очистить воздух с помощью фильтра, но сам фильтр после этого трудно очищать.

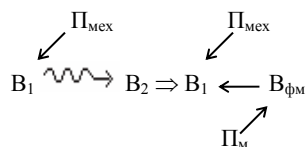
ФП: Фильтр должен задерживать пыль и не должен её задерживать.

3. Составляем вепольную схему исходной ситуации.

В условиях задачи имеется два вещества:  $V_1$  – пыль и  $V_2$  – фильтр. На  $V_1$  действует механическое поле  $\Pi_{\text{мех}}$  потока воздуха. В результате  $V_1$  оказывает вредное воздействие на фильтр  $V_2$  (забивает его) –  $V_2$  перестаёт пропускать воздух. Строим левую часть схемы.



4. Определяем, какое поле можно применить для устранения ФП и какое вещество можно для этого ввести в объект задачи. Тепловое поле, излучение – не эффективны. Механическое или акустическое поля могут выбить пыль из фильтра, но не преодолевают ФП и не устраняют недостатка. На фильтр можно воздействовать магнитным полем. Для этого нужно, чтобы фильтр был ферромагнитным. Можно вместо введения  $V_3$  видоизменить  $V_2$ , сделав фильтр из ферромагнитного порошка  $V_{\text{фм}}$ , и воздействовать на него магнитным полем  $\Pi_{\text{м}}$ . Если поле включено, порошок уплотнится и будет задерживать пыль. Если выключить поле, порошок рассыплется, и не будет задерживать пыль, его легко очистить. Строим полную схему решения.



5. Фильтр задерживает пыль (когда включено магнитное поле) и не задерживает пыль (когда поля нет). ФП преодолено.

### Задача М6

*Содержание и условия.* В бюллетене изобретений найти техническое решение, полученное методом вепольных преобразований, и выполнить анализ этого решения: построить схему вепольного преобразования, определить, какое ФП этим решением преодолено, и доказать, что это ФП действительно преодолено.

*Порядок решения.*

1. В бюллетене изобретений, в подклассах, соответствующих тематике своей специальности, найти техническое решение, полученное с помощью вепольного преобразования. Указать его библиографические данные, достаточные для поиска первоисточника информации об этом изобретении (его описания к охранному документу).
2. Определить, какое вещество и какое поле дополнительно введены в объект при решении изобретательской задачи. Если из текста формулы изобретения явно не следует, какое вещество и поле введены вновь, – продолжить поиск.
3. Выписать формулу найденного изобретения.
4. Построить схему вепольного преобразования, с помощью которого получено данное изобретение. Объяснить значения всех символов схемы.
5. Определить формулировку ФП, которое преодолено найденным решением. Для этого провести анализ формулировки цели изобретения. Если цель не указана, определить технический эффект, анализируя совокупность известных и новых признаков изобретения. Технический эффект (цель) – это устранённый недостаток прототипа найденного изобретения. На основе формулировки цели последовательно определить АП, затем ТП и вывести из последнего ФП.
6. Доказать, что полученное ФП найденным решением преодолевается. Если доказательство не получается – проверить правильность выполнения п.5.



*Пример решения задачи М 6.*

1. В бюллетене изобретений СССР № 26 за 1987 год под рубрикой МКИ В23К9/16 находим авторское свидетельство СССР № 1323288 на техническое решение «Способ дуговой сварки в защитных газах в узкую разделку с поперечными колебаниями электрода», полученное с помощью вепольного преобразования.

2. При решении изобретательской задачи в объект введены вновь вещество – газовый поток и силовое поле давления этого потока.

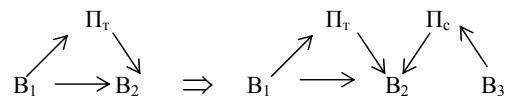
3. Выписываем формулу изобретения.

Способ дуговой сварки в защитных газах в узкую разделку с поперечными колебаниями электрода, при котором сварочную дугу направляют под углом к поверхности изделия, отличающийся тем, что с целью повышения качества за счёт улучшения оплавления кромок разделки в зону активного пятна дуги навстречу движению электрода подают дополнительный газовый поток под углом 30...40° к поверхности изделия и перемещают его синхронно с движением конца электрода.

4. Строим схему вепольного преобразования, с помощью которого получено решение.

Введём обозначения:  $V_1$  – сварочная дуга;  $V_2$  – свариваемое изделие;  $V_3$  – дополнительный газовый поток;  $P_T$  – тепловое поле дуги;  $P_C$  – силовое поле давления дополнительного газового потока.

Строим схему вепольного преобразования.



5. Проводим анализ формулировки технического результата изобретения, определяем физическое противоречие, которое преодолевалось найденным техническим решением.

По прототипу, основные признаки которого показаны в ограничительной части формулы изобретения, производили дуговую сварку деталей в защитном газе в узкую разделку с поперечными колебаниями электрода. Сварочную дугу направляли под углом к поверхности свариваемого изделия. В формуле изобретения показан его технический результат: повышение качества за счёт улучшения оплавления кромок разделки. По прототипу металл кромки детали,

оплавившийся дугой при перемещении электрода в сторону этой кромки, стекал вниз после удаления электрода, образуя сплошной шов. Но на кромке получался подрез. Можно уменьшить оплавление кромок, например, уменьшив амплитуду колебаний электрода или силу сварочного тока. Тогда оплавленного металла на кромках деталей будет мало, он в результате теплоотвода в основной металл быстро затвердеет, не успев стечь с кромок. Подрезов не будет, но может образоваться непровар.

Формулируем противоречия.

АП: Надо устранить порезы кромок, как – неизвестно.

ТП: Подрезы устранить можно, если уменьшить оплавление кромок, но это может привести к непровару.

ФП: Оплавленного металла на кромках должно быть много, но его должно быть мало.

6. В результате решения дополнительный поток газа, перемещаясь вместе с электродом, выдувает жидкий металл ванны и набрасывает его на кромки деталей. Оплавленного металла на кромках становится много. Избыток его стекает с кромок, образуя шов. Оплавленный металл кромок затвердевает, не успевая стекать с них. Подрезы не образуются.

ФП преодолено: жидкого металла на кромках много, но оплавленного металла кромок мало.

### 1.3.3. Использование физических эффектов и явлений для решения изобретательских задач

Физические эффекты и явления используются и при всех других методах, но не системно. Сущность этого метода состоит в том, что физические эффекты и явления разделены по группам в зависимости от требуемых для решения задач действий или свойств, которые этими эффектами или явлениями вызываются. Эти группы сведены в таблицу, которой пользуются при решении задач. Такая таблица, разработанная Г.С. Альтшуллером [1], полностью приведена в прил. 3. Рассмотрим фрагмент этой таблицы.

| № групп | Требуемое действие, свойство             | Физическое явление, эффект, фактор, способ                                                                                                                                                                                            |
|---------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Измерение температуры                    | Тепловое расширение. Изменение собственной частоты колебаний. Термоэлектрические явления. Спектр излучения. Измерение оптических, электрических, магнитных свойств вещества. Переход через точку Кюри. Эффекты Гопкинса и Баркгаузена |
| 2       | Снижение температуры                     | Фазовые переходы. Эффект Джоуля – Томсона. Эффект Ранка. Магнитокалорический эффект. Термоэлектрические явления. Электронное охлаждение                                                                                               |
| 7       | Управление движением жидкости или газа   | Капиллярность, Осмос. Эффект Бернулли. Волновое движение. Центробежные силы. Эффект Вейссенберга                                                                                                                                      |
| 20      | Контроль состояния и свойств поверхности | Электрические разряды. Отражение света. Электронная эмиссия. Муаровый эффект. Излучение                                                                                                                                               |

**Порядок и пример решения задач с помощью таблицы физических эффектов и явлений**

1. Выбрать недостаток объекта, определить его причины, сформулировать АП, ТП, ФП.
2. Определить, какое действие нужно совершать по условию задачи, или какое свойство нужно придать объекту в результате решения.
3. Найти в таблице физических эффектов и явлений это требуемое действие или свойство.
4. Из правой колонки таблицы выбрать физическое явление, эффект, фактор, способ, с помощью которого можно обеспечить требуемое действие, свойство объекта.
5. Применяя выбранное явление (эффект, фактор, способ), разработать решение.
6. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.

**Пример.**

Задан объект. В процессе электронно-лучевой сварки (ЭЛС) надо контролировать наличие проплава. Сварка ведётся в вакуумируемой камере, поверхность шва обычно очень не ровная, судить по ней о проплаве трудно.

**Решение.**

1. Недостаток ЭЛС – трудность контроля наличия проплава. Причина недостатка: трудно наблюдать за формированием шва, так как сварка ведётся в камере. Шов при ЭЛС имеет неровную поверхность, во время сварки судить по ней о проплаве нельзя. Нет

сигнала о формировании проплава. Формулируем противоречия.

АП: Нужно определить наличие проплава в процессе ЭЛС, как – неизвестно.

ТП: Пролав в процессе сварки можно определить, если использовать сигнал о его формировании, но такого сигнала нет.

ФП: Сигнала о формировании проплава нет, но он должен быть.

2. Определяем, какое действие должно быть обеспечено при решении задачи. Появление проплава изменяет состояние и свойства поверхности обратной стороны детали. Значит, для решения задачи нужно осуществить контроль состояния поверхности.

3. В таблице физических эффектов и явлений контроль состояния поверхности соответствует строке 20.

4. Из физических эффектов, указанных в строке 20, наиболее подходит к заданному объекту электронная эмиссия.

5. Разрабатываем решение. Повышение температуры увеличивает эмиссию электронов с поверхности металла. Очевидно, что для индикации проплава достаточно установить, какова величина тока вторичной эмиссии с поверхности обратной стороны детали при образовании проплава, и в процессе сварки измерять этот ток. Это можно сделать с помощью амперметра, подключенного к детали и к изолированной от неё металлической подкладке, установленной под свариваемым стыком (рис. 5).

6. В результате решения сигнал о формировании проплава найден, но видимого сигнала нет. ФП преодолено.

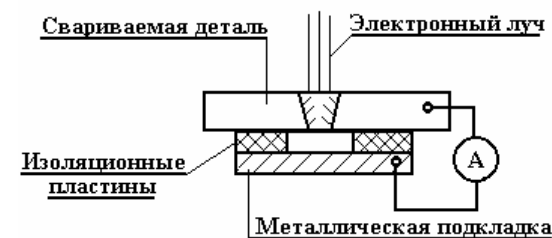


Рис. 5. Схема решения задачи контроля проплава при ЭЛС

### 1.3.4. Типовые приёмы устранения противоречий при решении изобретательских задач

Г.С. Альтшуллер [2] предлагает 40 таких приёмов, причём большинство из них состоит из нескольких вариантов. Рассмотрим некоторые приёмы из этого перечня.

#### 1. Дробление:

- а) разделить объект на независимые части;
- б) выполнить объект разборным;
- в) увеличить степень дробления объекта;
- г) увеличить объём расходуемого элемента.

#### 7. Компакт (принцип матрёшки):

- а) разместить объект внутри другого, который в свою очередь находится внутри третьего и т.д.;
- б) один объект проходит сквозь полость в другом объекте.

#### 13. Принцип “наоборот”:

- а) вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие;
- б) сделать движущуюся часть объекта или внешней среды неподвижной, а неподвижную – движущейся;
- в) перевернуть объект вверх ногами, вывернуть его.

#### 14. Сфероидальность:

- а) перейти от прямолинейных частей к криволинейным, от плоской поверхности к сферической, от куба или параллелепипеда к шару;
- б) перейти от равномерной кривизны к неравномерной;
- в) использовать ролики, шарики, спирали;
- г) перейти от прямолинейного движения к вращательному, использовать центробежную силу;
- д) перейти от симметричной формы объекта к асимметричной.

#### 22. Вред в пользу:

- а) использовать вредные факторы для получения положительного эффекта;
- б) устранить вредный фактор за счёт сложения с другим вредным фактором;
- в) усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть вредным.

#### 27. Дешёвая недолговечность:

Заменить дорогой объект набором дешёвых, поступившись долговечностью.

Для облегчения поиска приёмов, наиболее подходящих для данной задачи, Г.С. Альтшуллером разработана [1] таблица, в первой колонке которой записаны параметры объекта, подлежащие изменению для решения задачи, а в первой строке – параметры, недопустимо ухудшающиеся при использовании известных способов и средств. На пересечении колонок и строк указаны номера приёмов, рекомендуемых для решения задачи данного типа. Номера приёмов расставлены в ячейках таблицы не по порядку, а по степени их перспективности для решения задачи данного типа. Приведённый ниже фрагмент таблицы иллюстрирует её структуру.

| Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                    |                       |                    |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|                                                                        | Сложность устройства                                            | Сложность контроля | Степень автоматизации | Производительность |
| Площадь подвижного объекта                                             | 14, 1, 13                                                       | 2, 36, 20, 18      | 14, 30, 28, 23        | 10, 26, 34, 2      |
| Скорость                                                               | 10, 28, 4, 34                                                   | 3, 34, 27, 16      | 10, 18                | -                  |
| Форма                                                                  | 16, 29, 1, 28                                                   | 15, 13, 39         | 15, 1, 32             | 17, 26, 34, 10     |

Полностью перечень типовых приёмов и таблица их применения приведены в прил. 4 и 5.

#### **Порядок и пример решения изобретательских задач с помощью типовых приёмов**

1. Выбрать недостаток объекта, определить его причины и сформулировать АП, ТП, и ФП.
2. Определить, что нужно изменить для решения задачи и что недопустимо ухудшится, если для этого изменения применить известные способы.
3. В таблице применения типовых приёмов найти номера приёмов, рекомендуемых для решения задачи такого типа.
4. Выбрать приём, наиболее перспективный для решения данной задачи.
5. На основе выбранного приёма разработать решение.
6. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.

*Пример.*

Задан объект. При электрошлаковой сварке (ЭШС) толстых деталей нужна сварочная ванна большого объёма. Чтобы обеспечить такую ванну, применяют плавящийся мундштук, через который подают электродную проволоку. К мундштуку крепят трубку, через которую в шлаковую ванну вдувают струю газа (например, аргона), которым перемешивают ванну, уменьшая неравномерность температурного поля и повышая производительность процесса сварки.

*Решение.*

1. Выбираем недостаток объекта. Струя газа действует только в одном направлении на небольшом участке поверхности сварочной ванны. Поэтому неравномерность температурного поля остаётся, производительность повышается незначительно. Можно устранить этот недостаток, если увеличить площадь действия струи газа, вращая её, но будет нужен привод вращения, усложнится конструкция оборудования.

Формулируем противоречия.

АП: Надо повысить производительность процесса ЭШС, как — неизвестно.

ТП: Производительность повысить можно, если вращать струю газа, перемешивающую шлаковую ванну, но это усложнит оборудование.

ФП: Струя газа должна вращаться и не должна вращаться.

2. Определяем, что нужно изменить для решения задачи и что при этом может недопустимо ухудшиться. При перемешивании шлаковой ванны струи горячего шлака из центральной её части переносят тепло к поверхностям сварочной ванны и оплавляемых кромок. Чтобы повысить производительность, нужно увеличить площадь этих поверхностей, омываемую горячими потоками шлака. Это может быть достигнуто, если вращать струю газа, но при этом усложнится оборудование.

3. В таблице применения типовых приёмов на пересечении строки “Площадь подвижного объекта” и столбца “Сложность устройства” находим номера рекомендуемых приёмов: 14, 1, 13.

4. Выбираем наиболее перспективный приём. Приём 13 “Принцип “наоборот” и приём 1 “Дробление” для данной задачи не

перспективны. Приём 14 “Сфероидальность” содержит вариант б: “Использовать ролики, шарики, спирали”, который наталкивает на мысль, что если подводную газ трубку сделать в форме спирали, то по мере её оплавления струя газа будет менять своё положение в шлаковой ванне, вращаться в её объёме. Задача может быть решена.

5. На основе приёма 14 б разрабатываем решение. Трубку, подводную газ, обматываем вокруг плавящегося мундштука спиралью. По мере плавления мундштука вместе с ним плавится трубка, и торец её в каждый последующий момент времени меняет своё положение в шлаковой ванне, струя газа в объёме этой ванны вращается. Задавать параметры этого вращения можно шагом спирали и диаметром её витков. Перемешивание шлака и металла становится более интенсивным, свариваемые кромки будут нагреваться равномерно, производительность процесса сварки повысится.

6. В результате решения струя газа в шлаковой ванне вращается, но вращения трубки, подводной газ, а следовательно, и струи газа нет. ФП преодолено.

### **1.3.5. Задача М 7**

*Содержание и условия.* Провести анализ объекта курсовой работы №1 по патентно-технической информации или наиболее эффективного аналога этого объекта, выбрать один из его недостатков, сформулировать изобретательскую задачу и решить её любым из изученных методов. Для задачи М7 может быть выбран также любой произвольный объект из области сварочной техники, однако желательно выбирать его так, чтобы работа над ним была продолжена при дипломном проектировании. Решение М7 будет являться заданием на курсовую работу № 2.

*Порядок решения.*

1. Составить описание выбранного объекта.
2. Определить основные недостатки выбранного объекта, выбрать из них недостаток, который будет устраняться, обосновать его выбор.
3. Определить причины выбранного недостатка, сформулировать изобретательскую задачу (ФП).
4. Выбрать метод решения задачи.

5. Решить задачу выбранным методом, составить описание решения.
6. Доказать, что сформулированное в п.3 ФП преодолено.

### Контрольные вопросы

1. Что такое АРИЗ и из каких этапов он состоит?
2. Какие основные методы преодоления ФП предусмотрены АРИЗ?
3. В чём заключаются простейшие преобразования объекта задачи?
4. Каков порядок решения задачи методом простейших преобразований?
5. В чём сущность вепольных преобразований объекта задачи?
6. Каков порядок решения задачи методом вепольных преобразований?
7. Что считают веществом и полем при вепольных преобразованиях?
8. Как обозначают вещества, поля и взаимодействия в схемах вепольных преобразований?
9. Из каких частей состоит схема вепольных преобразований?
10. В чём заключается правило развития вепольей?
11. В чём сущность метода использования физических эффектов и явлений для решения изобретательских задач?
12. Как построена таблица физических эффектов и явлений?
13. Каков порядок решения задачи с использованием физических эффектов и явлений?
14. В чём сущность метода применения типовых приёмов для решения изобретательских задач?
15. Как построена таблица типовых приёмов решения изобретательских задач?
16. Как из перечня типовых приёмов выбрать приём, перспективный для решения данной задачи?
17. Каков порядок решения изобретательских задач с помощью типовых приёмов?

## Часть 2. СБОРНИК ЗАДАЧ

### 2.1. Содержание сборника задач и правила пользования им

Сборник содержит 7 групп задач. Для первой, четвёртой и пятой задач в сборнике имеется по 100 заданий на каждую, что даёт возможность одновременного обучения 4...5 студенческих групп. Вторая задача, решаемая коллективно студенческой группой, имеет 20 заданий.

Все задачи имеют индексы, состоящие из буквенного обозначения учебной дисциплины – М (Методы решения изобретательских задач), номера группы и номера конкретного задания этой группы. Например, М 4.82 означает, что это 82-я задача четвёртой группы сборника задач по методам решения изобретательских задач. Задачи М 3 имеют номер конкретного задания такой же, как и соответствующие задания М 1. Например, если студентом решалась задача М 1.32, то решаемая им задача М 3 будет иметь индекс М 3.32. Задачи М 6 и М 7, не имеющие конкретных заданий, будут иметь индекс, состоящий только из буквенного обозначения и номера группы задач, например, М 6, М 7.

Чтобы сдать зачёт по дисциплине «Методы решения изобретательских задач», студент должен решить все 7 задач (по одной из каждой группы). Конкретные номера заданий для задач М 1, М 2, М 4 и М 5 задаются студентам преподавателем. Решения сдаются студентами преподавателю в письменном виде. Преподаватель оценивает решения баллом 1 или 0 (задача решена или не решена). Студент, не решивший задачу (получивший оценку 0), получает новое задание из групп М 1, М 3 или М 5 либо вновь ищет в бюллетене «Изобретения» техническое решение для задачи группы М 6 до тех пор, пока задача не будет решена правильно. При неправильном решении задач из групп М 3, М 5 или М 7 студент дорабатывает решение, устраняя замечания преподавателя.

Представленные в сборнике задания имеют разную степень сложности. Это нужно учитывать преподавателю и студентам, задавая или выбирая задания в зависимости от уровня подготовки и



способностей данного студента. Однако все задания доступны для решения студентам, имеющим средний уровень общетехнической и специальной подготовки, соответствующей четвёртому курсу вуза. Основным критерием правильности решений задач следует считать продемонстрированную студентом логику анализа и синтеза технических решений, основанную на знаниях правил постановки и решения изобретательских задач. Чтобы облегчить решения задач М 5 и М 6, а также обеспечить возможность решения задачи М 7 любым выбранным методом, сборник снабжен приложениями, в которые входят разработанные Альтшуллером Г.С. перечень приёмов простейших преобразований, условные обозначения для построения схем вепольных преобразований, таблица физических эффектов и явлений, перечень типовых (эвристических) приёмов решения изобретательских задач, а также таблица применения этих приёмов.

## 2.2. Задача М 1

### 2.2.1. Содержание и условия задачи М 1

Составить описание заданного объекта, выбрать один из его недостатков, сформулировать изобретательскую задачу по устранению выбранного недостатка. При составлении описания объекта задачи использовать знания, полученные при изучении дисциплин вуза, конспекты лекций и учебники по специальным дисциплинам.

### 2.2.2. Порядок решения задачи М 1

1. Составить описание заданного объекта.
2. Выявить основные недостатки заданного объекта (2...5), описать их.
3. Выбрать один из недостатков объекта для постановки изобретательской задачи по его устранению, объяснить причины выбора.
4. Провести анализ заданного объекта и определить возможные причины выбранного недостатка.
5. Сформулировать административное противоречие (АП): что нужно получить в результате решения задачи?
6. Выявить, как можно было бы устранить выбранный недостаток с помощью известных, традиционных способов или средств.

Определить, что этому мешает, какое вредное свойство проявится при использовании известных способов или средств.

7. Сформулировать техническое противоречие (ТП): как можно разрешить АП известными способами и что этому мешает?

8. Сформулировать физическое противоречие (ФП): в какие два противоположных состояния надо привести объект, чтобы ничто не мешало разрешить АП?

### 2.2.3. Пример решения задачи М 1

Задан объект: способ электронно-лучевой сварки (ЭЛС).

*Решение.*

1. Составляем описание заданного объекта.

Детали собирают в приспособлении и устанавливают в вакуумируемую камеру. Закрывают и герметизируют крышку камеры, откачивают из камеры воздух до остаточного давления  $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-5}$  мм ртутного столба. Затем на стык деталей направляют электронный луч, генерируемый встроенной в камеру электронно-лучевой пушкой, и перемещают деталь под лучом или отклоняют луч, перемещая пятно нагрева вдоль стыка. Электронный луч оплавляет кромки детали, образуется сварной шов.

2. Выявляем основные недостатки объекта задачи.

2.1. Для осуществления сварки нужно создавать вакуум, так как электронный луч, сталкиваясь с молекулами газа, теряет мощность, сварка в газах при нормальном давлении трудноосуществима. На создание вакуума требуется время, уменьшается производительность процесса.

2.2. При электронно-лучевой сварке, так же как и при других способах сварки плавлением, трудно сваривать криволинейные, особенно замкнутые стыки деталей. Нужны сложные системы слежения за положением луча относительно свариваемого стыка, которые не обеспечивают точности слежения. Поскольку при ЭЛС образуется узкий шов с глубоким проплавлением, то даже незначительные отклонения луча от линии стыка могут привести к непрочарам.

2.3. Металл образующегося при электронно-лучевой сварке шва из-за большой концентрации тепла перегревается и интенсивно испаряется, из-за большого градиента температуры (от тем-

пературы кипения металла на фронте плавления до температуры кристаллизации на фронте затвердевания) в сварочной ванне возникают силы, интенсивно перемещающие жидкий металл из зоны нагрева в зону затвердевания. В результате этих процессов металл сварочной ванны перемешивается и поверхность шва получается неровной, с большими и резкими наплывами и выплесками. Приходится накладывать вторым проходом косметический шов расфокусированным лучом пониженной мощности.

3. Для постановки изобретательской задачи выбираем второй недостаток: трудность слежения за положением луча относительно криволинейного стыка при его сварке. Этот недостаток можно считать наиболее существенным, так как существующие системы слежения за стыком сложны и не обеспечивают требуемой для ЭЛС точности слежения.

4. Существующие системы слежения основаны на управлении положением источника нагрева по сигналу от датчика, расположенного в зоне стыка деталей перед пятном нагрева источника тепла, и сигнализируют о своём положении относительно стыка на некотором расстоянии от места сварки. На криволинейных стыках, особенно при малом радиусе кривизны, это приводит к существенной ошибке, для компенсации которой требуется ещё более усложнять систему слежения, что делает её ненадёжной. При электронно-лучевой сварке этот недостаток так же актуален, как и при других способах сварки плавлением, несмотря на то, что перемещениями электронного луча для корректировки его положения относительно стыка легко управлять с помощью отклоняющих магнитных полей. Расположение датчика в зоне действия электронного луча повысило бы точность слежения за стыком, но это выведет датчик из строя, так как луч расплавит его.

5. Формулируем АП : Нужно обеспечить слежение за положением электронного луча относительно стыка деталей, как – неизвестно.

6. Обеспечить точное слежение за криволинейным стыком можно с помощью системы слежения, состоящей из датчика положения стыка любой известной конструкции, усилителя его сигнала и электромагнитной системы отклонения луча. В процессе сварки луч должен перемещаться по стыку, но при движении он отклоняет-

ся от стыка на криволинейных участках, так как положение датчика не совпадает с положением луча. Если бы луч был неподвижен, отклонения не возникали бы.

7. Формулируем ТП: Обеспечить слежение за положением электронного луча относительно криволинейного стыка можно, если луч перемещать по стыку и корректировать его положение с помощью системы слежения, но при движении луча возникают его отклонения от стыка, компенсация которых усложнит систему слежения.

8. Формулируем ФП: Луч должен перемещаться по линии стыка и не должен по ней перемещаться.

#### **2.2.4. Задания М 1**

М 1.1. Мундштук горелки для дуговой сварки плавящимся электродом.

М 1.2. Электрод для контактной точечной сварки.

М 1.3. Защитная маска сварщика ручной дуговой сварки.

М 1.4. Способ охлаждения электродов контактной сварочной машины.

М 1.5. Горелка для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов.

М 1.6. Сварочный манипулятор.

М 1.7. Роликовый стенд-вращатель для сварки кольцевых швов крупногабаритных обечаек.

М 1.8. Электрододержатель для ручной дуговой сварки.

М 1.9. Лежачий электрод для дуговой сварки.

М 1.10. Способ автоматической дуговой сварки под слоем флюса.

М 1.11. Способ газопламенной сварки.

М 1.12. Способ сварки взрывом.

М 1.13. Роликовый электрод для контактной шовной сварки.

М 1.14. Подкладная планка для формирования обратной стороны шва при дуговой сварке листов встык.



М 1.15. Способ электрошлаковой сварки толстостенных деталей.

М 1.16. Материал для электродов контактной точечной сварки.

М 1.17. Способ пневматических испытаний сварных ёмкостей на герметичность.

М 1.18. Способ рентгеновского контроля сварных швов.

М 1.19. Способ дуговой сварки в защитных газах.

М 1.20. Неплавящийся электрод для дуговой сварки.

М 1.21. Способ дуговой сварки толстых листов встык с разделкой кромок.

М 1.22. Трансформатор для дуговой сварки.

М 1.23. Автомат для дуговой сварки.

М 1.24. Механизм подачи проволоки при автоматической сварке.

М 1.25. Способ сварки дугой, вращающейся в магнитном поле.

М 1.26. Способ дуговой сварки наклонным электродом.

М 1.27. Способ регулирования силы сварочного тока при дуговой сварке.

М 1.28. Способ дуговой сварки в  $\text{CO}_2$  плавящимся электродом.

М 1.29. Способ уменьшения склонности сварных соединений среднелегированных и высоколегированных сталей к образованию холодных трещин.

М 1.30. Способ уменьшения склонности сварных соединений к образованию горячих трещин.

М 1.31. Способ регулирования силы сварочного тока при контактной сварке.

М 1.32. Привод усилия сжатия контактной сварочной машины.

М 1.33. Способ зачистки электродов при контактной точечной сварке.

М 1.34. Способ зажигания сварочной дуги.

М 1.35. Балластный реостат для регулирования силы сварочного тока.

М 1.36. Способ регулирования крутизны падающей вольт-амперной характеристики источника питания сварочной дуги.

М 1.37. Способ холодной сварки.

М 1.38. Способ диффузионной сварки в вакууме.

М 1.39. Эксцентриковый зажим для фиксации деталей при сборке под сварку.

М 1.40. Плавящийся мундштук для электрошлаковой сварки.

М 1.41. Способ лазерной сварки.

М 1.42. Способ заварки кратера при автоматической дуговой сварке в защитном газе неплавящимся электродом.

М 1.43. Способ визуального контроля качества сварных швов.

М 1.44. Магнитный способ контроля качества сварных соединений.

М 1.45. Контроль качества сварных соединений методом красок.

М 1.46. Способ сварки импульсной дугой неплавящимся электродом в защитном газе.

М 1.47. Способ подготовки свариваемых кромок деталей из алюминиевых сплавов к сварке.

М 1.48. Сопло горелки для дуговой сварки в защитных газах.

М 1.49. Способ сварки сжатой дугой.

М 1.50. Электромеханический привод каретки автомата для дуговой сварки.

М 1.51. Способ дуговой точечной сварки плавящимся электродом.

М 1.52. Устройство для предохранения от взрыва баллона с горючим газом при обратном ударе в процессе газопламенной сварки и резки.

М1.53. Способ сварки импульсной дугой плавящимся электродом.

М 1.54. Способ сварки трёхфазной дугой неплавящимися электродами в защитных газах.

М 1.55. Способ пайки легкоплавкими припоями.

М 1.56. Способ печной пайки в контейнере с контролируемой атмосферой.

М 1.57. Способ нанесения компонентов припоя на поверхность паяемых деталей из паровой фазы.

М 1.58. Устройство для подачи в зону дуговой сварки флюса и его уборки после сварки.

М 1.59. Способ дуговой наплавки на плоскую поверхность.

М 1.60. Способ нанесения износостойких покрытий с помощью сжатой дуги.

М 1.61. Способ газопламенного нанесения покрытий.

М 1.62. Широкой дуговая наплавка ленточным электродом.

М 1.63. Защитные рукавицы сварщика

М 1.64. Сварочный плазмотрон.

М 1.65. Шланг для подачи присадочной проволоки полуавтомата для дуговой сварки.

М 1.66. Способ пайки волной припоя.

М 1.67. Способ определения прочности металла сварного шва.

М 1.68. Способ газопламенной резки металла.

М 1.69. Способ термитной сварки с использованием тигля.

М 1.70. Способ раскисления металла шва при дуговой сварке с помощью обменных реакций.

М 1.71. Способ определения ударной вязкости металла сварного шва.

М 1.72. Способ определения прочности сварной точки при контактной точечной сварке.

М 1.73. Способ контактной роликовой наплавки на поверхности тел вращения.

М 1.74. Способ устранения трещин в сварных швах стальных изделий после дуговой сварки.

М 1.75. Способ подготовки поверхности стальных деталей к сварке.

М 1.76. Способ диффузионной пайки.

М 1.77. Способ контактно-реактивной пайки.

М 1.78. Способ определения микроструктуры сварных соединений.

М 1.79. Способ разделки кромок толстых листов для дуговой сварки.

М 1.80. Способ холодной дуговой сварки чугуна.

М 1.81. Способ горячей дуговой сварки чугуна.

М 1.82. Способ сварки погружённой дугой.

М 1.83. Способ кислородно-флюсовой резки.

М 1.84. Способ контроля сварных швов  $\gamma$ -излучением.

М 1.85. Способ резки металлов сжатой дугой.

М 1.86. Способ ультразвукового контроля качества сварных швов.

М 1.87. Способ устранения дефектов литья с помощью дуговой сварки.

М 1.88. Выпрямитель для питания сварочной дуги.

М1.89. Порошковая проволока для дуговой сварки.

М 1.90. Электрод с качественным покрытием для ручной дуговой сварки.

М 1.91. Способ вибродуговой наплавки.

М 1.92. Способ сварки трением.

М 1.93. Электрический паяльник.

М 1.94. Способ ионно-плазменного нанесения покрытий.

М 1.95. Способ воздушно-дуговой резки металлов.

М 1.96. Способ резки материалов кислородным копьем.

М 1.97. Способ стыковой контактной сварки сопротивлением.

М 1.98. Магнитный фиксатор для сборки деталей под сварку.

М 1.99. Способ прессовой сварки с нагревом токами высокой частоты.

М 1.100. Способ стыковой контактной сварки оплавлением.

## 2.3. Задача М 2

### 2.3.1. Содержание и условия задачи М 2

Провести анализ заданного объекта, выбрать один из его недостатков, сформулировать изобретательскую задачу и решить её методом мозгового штурма.

Задача решается коллективно составом одной учебной группы. Анализ объекта и формулировка изобретательской задачи проводится также коллективно под руководством преподавателя. При мозговом штурме ведущим выступает преподаватель или один из студентов по заданию преподавателя. Запись всех подаваемых в ходе мозгового штурма предложений по решению задачи ведётся каждым студентом группы индивидуально. В процессе мозгового штурма запрещается критика высказываемых предложений в любой форме и обоснование предложений.

Критический анализ поданных предложений и разработка решения задачи ведётся каждым студентом индивидуально во внеаудиторное время самостоятельной работы.

Решение, сдаваемое на проверку преподавателю каждым студентом, должно включать в себя описание заданного объекта, его

анализ, формулировку изобретательской задачи (физического противоречия), содержание всех предложений, поданных в ходе мозгового штурма, критический анализ каждого предложения и описание разработанного технического решения с доказательствами преодоления этим решением физического противоречия, составляющего изобретательскую задачу.

### 2.3.2. Порядок решения задачи М 2

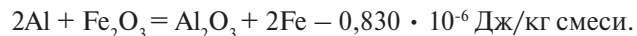
1. Описать объект задачи.
2. Выбрать один из его недостатков, выявить причины недостатка.
3. Сформулировать административное, техническое и физическое противоречия.
4. Каждому из участников высказать 1...3 предложения по решению задачи.
5. Каждому из участников записать все высказанные предложения, пронумеровав их в порядке поступления.
6. Каждому участнику индивидуально провести критический анализ каждого из предложений. Выбрать из них перспективные для разработки решения задачи. Выводы по каждому предложению аргументировать, объяснив, почему это предложение перспективно, а это – нет.
7. На основе перспективных предложений разработать решение поставленной задачи и составить его описание. У каждого участника решения могут быть различными или по-разному аргументированными.
8. Доказать, что полученное решение преодолевает сформулированное в п.2 физическое противоречие.

### 2.3.3. Пример решения задачи М 2

Задан объект: способ центробежной наплавки внутренней поверхности втулки с помощью экзотермической смеси.

1. *Составляем описание объекта.* Чтобы наплавить слой стали на внутреннюю поверхность цилиндрической втулки, в неё засыпают экзотермическую смесь, например, термит, состоящий из порошков окиси железа  $Fe_2O_3$  и алюминия. Затем торцы втулки плотно закрывают заглушками из термостойкого материала (например, керамики). Втулку располагают горизонтально и вращают. Под

действием центробежной силы смесь равномерно распределяется по внутренней поверхности втулки. После этого смесь внутри втулки поджигают, нагревая её до 1300...1360°C. Происходит реакция, в результате которой алюминий восстанавливает железо из окисла с выделением тепла



Жидкое железо, имея больший удельный вес, чем окисел, прижимается центробежной силой к наплавляемой поверхности втулки и образует наплавленный слой, а новый окисел образует лёгкий шлак, который располагается над слоем железа. Если добавить в смесь легирующие элементы, то можно получить наплавленный слой нужного состава и свойств.

### 2. *Выбираем недостаток заданного объекта, находим его причину.*

В качестве недостатка заданного способа центробежной наплавки выбираем трудность зажигания экзотермической смеси внутри втулки. Чтобы зажечь смесь, надо ввести внутрь втулки запал, например, электрический. Но втулка вращается, любое устройство для питания и закрепления запала усложнит конструкцию оснастки.

### 3. *Формулируем противоречия.*

АП: Нужно зажечь экзотермическую смесь внутри вращающейся втулки с заглушками на торцах, как – неизвестно.

ТП: Зажечь смесь можно, если ввести внутрь втулки запал, но это усложнит конструкцию оснастки.

ФП: Запал должен быть, но его не должно быть.

4 и 5. *Задача решалась группой из 16 студентов.* В ходе мозгового штурма высказаны и записаны следующие предложения по решению поставленной изобретательской задачи.

1. Нагреть деталь до 1500°C.
2. Взорвать внутри втулки газовую смесь.
3. Остановить вращение, ввести запал, поджечь смесь, убрать запал и продолжить вращение.
4. Использовать трущийся контакт.
5. В заглушке сделать отверстие для введения запала.
6. Через ось вращателя проложить бикфордов шнур.
7. Добавить в смесь самовоспламеняющийся порошок.

8. К детали подключить “плюс”, а к заглушке “минус” от источника тока и зажечь дугу.
9. Через заглушку пропустить электроды, между которыми зажечь дугу.
10. Бросить внутрь горящее полено.
11. Налить в смесь нитроглицерин и после начала вращения ударить по втулке.
12. Резко изменить направление вращения втулки.
13. Залить внутрь втулки расплавленный металл.
14. Убрать заглушку с одной стороны, чтобы можно было ввести запал.
15. Подогревать смесь горячим газом.
16. Бросить внутрь втулки спичку.
17. Резко изменить положение оси вращения.
18. Смонтировать на заглушке свечу зажигания.
19. Поместить внутрь втулки колесо.
20. Нагреть смесь газовой горелкой через заглушку.

### 6. *Критический анализ предложений.*

1. Не перспективно. Слишком велики будут затраты энергии.
2. Не перспективно. Для взрыва всё равно должен быть запал.
3. Не перспективно. При остановке вращения экзотермическая смесь сыплется вниз, реакция начнётся, когда смесь не будет равномерно распределена по наплавляемой поверхности. Ухудшится качество наплавки.
4. Перспективно. Тепло от трения можно использовать.
5. Не перспективно. Усложняется конструкция оснастки.
6. Перспективно. На конце шнура внутри наплавляемой детали можно закрепить горючее вещество.
7. Перспективно. Порошок сам будет служить запалом.
8. Не перспективно. Нужно передавать большую силу тока дуги через скользящий по втулке контакт. Такой контакт не надёжен, будет трудно добиться стабильного зажигания дуги.
9. Не перспективно. Усложняется оснастка.
10. Перспективно. Если что-то внутри будет горящим, оно будет играть роль запала.
11. Не перспективно. Взрыв не обеспечит нагрев смеси до темпера-

туры её воспламенения. Опасно для оператора.

12. Не перспективно. Усложнится процесс, температура заметно не повысится.
13. Не перспективно. Усложнится оснастка.
14. Не перспективно. Нечем будет удерживать смесь от высыпания из втулки.
15. Не перспективно. Сложно осуществить и опасно для оператора.
16. Перспективно. Спички воспламеняются от трения. Сочетается с предложением 4.
17. Не перспективно. Не даст эффекта.
18. Не перспективно. Усложнит оснастку.
19. Перспективно. Наводит на мысль о том, что запал должен свободно кататься внутри наплавляемой детали.
20. Не перспективно. Усложнит оснастку.

7. *Решение разрабатываем на основе предложений 4, 7, 10, 16, 19.*

Внутри детали вместе с экзотермической смесью закладываем шар (19 – колесо), прессованный или склеенный из веществ, легко воспламеняющихся при трении (4 – трущийся контакт, 7 – самовоспламеняющийся порошок, 16 – спичка). Ещё лучше, если шар будет с шипами или это будет не шар, а многогранник (10 – горящее полено, что-то корявое, неровное). В начале вращения, поскольку масса шара больше массы частиц порошка смеси, порошок и шар будут перемещаться с разными скоростями, между ними возникнет трение. Шар воспламенится, разогреет экзотермическую смесь и зажжёт её.

8. В результате решения задачи запал внутри наплавляемой детали есть, но как отдельного элемента оснастки его нет, оснастка не усложняется. ФП преодолено: запал есть, но его нет.

### 2.3.4. Задания М 2

М 2.1. При монтаже трубопроводов часто встречаются соединения двух труб, одна из которых врезается в боковую поверхность другой трубы под углом равным или близким 90°. Линия стыка труб при таком соединении представляет собой седловидную кривую. Сваривают такие стыки ручной дуговой сваркой штучными электродами. Производительность процесса сварки низкая. Автоматизировать сварку таких стыков можно, но для этого требуется сложное

и дорогое оборудование: автоматы с системой копирования стыка или самообучающиеся роботы.

М 2.2. Сопло жидкостного реактивного двигателя – это усечённый конус высотой 2500 мм с диаметрами оснований 2000 мм и 800 мм. Состоит оно из двух вставленных друг в друга сплошных оболочек из листа толщиной 0,8...1,0 мм, между которыми помещена гофрированная оболочка с толщиной стенки 0,5 мм. Толщина всего этого пакета 10 мм. Оболочки соединяют между собой пайкой по вершинам гофр. Соединение оболочек должно быть герметичным, не пропаяны не допускаются. Но при сборке такой конструкции очень трудно ввести между оболочками припой, он мешает сборке: увеличиваются зазоры между вершинами гофр и сплошными оболочками. Из-за трудности введения припоя сборка этой конструкции трудоёмка.

М 2.3. Нужно сварить встык две трубки из нержавеющей стали с толщиной стенки 0,2...0,5 мм и с внутренним диаметром 5...10 мм. Шов хорошо формируется при аргоно-дуговой сварке неплавящимся электродом с присадочной проволокой. Но без подкладки с обратной стороны стыка проплав получается неравномерным, может уменьшаться проходное сечение трубки или полностью заплываться вся её полость. Подкладку в виде пробки установить перед сваркой можно, но неизвестно как её удалить после сварки.

М 2.4. Для повышения коррозионной стойкости массивную крышку сосуда диаметром 2000 мм из малоуглеродистой стали облицовывают листом толщиной 1 мм из нержавеющей стали. Тонкий лист укладывают на поверхность крышки, на нём размещают слой взрывчатого вещества. В центре помещают детонатор и подрывают его. Взрыв распространяется от центра к периферии листа. Тонкий лист деформируется концентричной волной, ударяясь о поверхность крышки. С поверхностей обеих деталей кумулятивной струёй удаляются окислы и загрязнения, происходит сварка. Соединение получается хорошим, но процесс опасен для рабочих, производящих сварку.

М 2.5. Стальные листы толщиной 5...8 мм сваривают автоматической сваркой под слоем флюса за два прохода. Первым проходом формируют корень шва, а вторым – заполняют разделку и форми-



руют шов. Это снижает производительность процесса. Увеличение скорости сварки позволяет повысить производительность, но при этом по границам шва образуются подрезы.

М 2.6. При дуговой сварке с местной газовой защитой зоны нагрева защитный газ подают обычно через сопло, установленное концентрично электроду. Газ, выходя из сопла, соприкасается с поверхностью детали и, отражаясь от неё, завихряется. Вихри подсасывают воздух, защита зоны сварки ухудшается. При сварке активных металлов это может существенно повлиять на качество сварного соединения. Увеличение расхода газа увеличивает турбулентность газового потока, что вновь ухудшает защиту зоны сварки.

М 2.7. Перед капиллярной пайкой детали зачищают, собирают с небольшим зазором, укладывают у входа в зазор припой, например в виде проволоки или фольги, и флюс. Затем нагревают собранные детали до температуры пайки, выдерживают при этой температуре в течение заданного времени, после чего охлаждают. Во время выдержки на расплавленный припой действует сила капиллярного всасывания, которая зависит от поверхностного натяжения  $\sigma$  припоя, ширины зазора  $d$  и плотности припоя  $\rho_{ж}$ :

$$P_{кап.} = \frac{4\sigma}{d\rho_{ж}}.$$

Однако часть припоя может растекаться по поверхности детали за пределами соединения. Это увеличивает расход припоя.

М 2.8. При дуговой сварке алюминиевых сплавов очистку свариваемых кромок выгодно производить сварочной дугой обратной полярности за счёт катодного распыления окисной плёнки в процессе сварки. Но при обратной полярности сварочного тока больше тепла выделяется на электроде, чем на свариваемом изделии, рабочий конец неплавящегося электрода оплавливается, теряет форму, его капли могут попасть в сварной шов, образуя дефекты. Металл плавящегося электрода перегревается и интенсивно испаряется, заметно меняется его состав, что ухудшает свойства шва.

М 2.9. Ёмкость, изготовленная из обечайки с продольным швом, к которой приварены два днища, имеет в средней части вваренный в неё фланец. Сварные швы должны быть герметичными.

Пневмо- и гидроиспытания на герметичность требуют заполнения ёмкости газом и погружения её в жидкость или заполнения ёмкости жидкостью, что очень трудоёмко. Надо найти способ быстро проверить общую герметичность без определения места течи сразу же после окончания сварки последнего стыка.

М 2.10. В конструкциях машин и аппаратов часто встречаются сварные узлы, состоящие из трубки или небольшой ёмкости с доннышками либо заглушками, приваренными по её торцам сваркой плавлением герметичными швами. При небольших размерах узла в процессе сварки воздух внутри полости, нагреваясь, расширяется, давление его увеличивается. В конце замыкающего шва под действием внутреннего давления нагретого воздуха происходит выплеск металла сварочной ванны — образуется прожог.

М 2.11. На поверхность металлических деталей нанесено покрытие из другого металла, которое придаёт этой поверхности новые свойства, например, износостойкость или высокую теплопроводность. При сварке таких деталей между собой покрытие, расплавляясь вместе с кромками деталей и растворяясь в основном металле, может вызвать появление хрупких межзёренных ликвационных прослоек, понизится пластичность металла шва и могут образоваться микротрещины по границам его зёрен. Механическое или химическое удаление покрытия со стыкуемых кромок перед сваркой трудоёмко. Легче удалить покрытие, испаряя его лазерным лучом и совмещая эту операцию со сваркой. Но для испарения покрытия нужна небольшая мощность луча, которая недостаточна для расплавления кромок деталей.

М 2.12. Тугоплавкие пластмассовые трубы (например, из сетчатого полиолефина) обладают хорошими механическими и эксплуатационными свойствами. Однако их трудно сваривать, так как они практически не расплавляются. Для их соединения применяют муфты из хорошо расплавляемого материала, например, из плавкого стабилизированного полиолефина. Если нагреть муфту так, чтобы вставленные в неё концы соединяемых труб размягчились, то расплавляющийся материал муфты соединится с поверхностями

концов труб и образует надёжное их соединение. Но при внешнем расположении источника тепла толстая стенка муфты препятствует нагреву труб, теплопроводность её низкая. Муфта оплавится снаружи, соединения труб не произойдёт. Если поместить источник тепла внутрь стыка труб, то трудно будет прогреть муфту до её оплавления.

М 2.13. Для изготовления каркасных решетчатых конструкций из алюминиевых сплавов применяют трубы прямоугольного сечения размером от 36×36 мм до 60×130 мм с толщиной стенки 3...4 мм. Детали из этих труб стыкуют торцами к поверхностям друг друга под разными углами и накладывают швы по периметру стыка. Швы каждого стыка короткие, сваривать их приходится ручной дуговой сваркой. Но в условиях массового производства ручная сварка экономически не выгодна. Нужно попытаться хотя бы частично автоматизировать процесс сварки.

М 2.14. С помощью сварки взрывом можно создавать на поверхности металлических деталей тугоплавкое покрытие. Для этой цели хорошо подходят вольфрам или молибден, листы из которых накладывают на поверхность обрабатываемой детали, на них размещают слой взрывчатого вещества и взрывают его. Но при комнатной температуре тугоплавкие металлы не пластичны и могут при сварке взрывом растрескиваться. Пластичность их с повышением температуры увеличивается, но при сварке взрывом соединяемые детали нагреваются незначительно, нагрев практически не влияет на процесс образования соединения.

М 2.15. При сварке плавлением, например сварочной дугой или лазерным лучом, чтобы уменьшить деформации свариваемых деталей, нужно резко охлаждать шов непосредственно после кристаллизации металла сварочной ванны. Самое эффективное и дешёвое средство для этого — вода, струю которой можно подавать на металл шва вблизи фронта затвердевания сварочной ванны, сформировав её в виде полосы, расположенной поперёк шва. Но вода при этом попадёт в сварочную ванну и в атмосферу над ней, что изменит процесс кристаллизации металла и увеличит содержание в нём водорода.

М 2.16. При монтаже трубопроводов в полевых условиях, когда отсутствует электроэнергия, соединять стыки труб можно газопрессовой сваркой. Стык разогревают газовыми горелками до пластичного состояния и затем сдавливают, деформируя разогретые кромки труб. Окислы и загрязнения выдавливаются в грат, происходит сварка. Для сдавливания стыка требуются большие усилия. Их можно создать с помощью механического или гидравлического приводов, но как это сделать, если нет электроэнергии?

М 2.17. Плакирующий слой на поверхности детали можно создать путём лужения, например, погружая деталь в расплавленный припой или нанося жидкий припой на эту поверхность. Такой процесс обеспечивает высокую производительность плакирования. Однако лужением трудно нанести плакирующий слой толщиной > 0,5 мм, обеспечив одинаковую толщину его на всей поверхности детали. Могут образовываться наплывы, неровности поверхности, которые потребуют последующей механической обработки, что увеличит трудоёмкость процесса и расход припоя.

М 2.18. При изготовлении с помощью дуговой сварки пространственных каркасных или ферменных конструкций из труб круглого или прямоугольного сечения свариваются стыки, в которых торец одной трубы примыкает к боковой поверхности другой. Если угол между соединяемыми трубами 60...90°, то сварка таких стыков не представляет трудностей. Но если этот угол меньше 45°, то проварить стык очень трудно. В остром углу сопло горелки при сварке в защитном газе упирается в стенки труб и не позволяет установить нужную длину дуги. Дуга перебрасывается со стенки одной трубы на стенку другой, стык плохо прогревается и не проваривается.

М 2.19. При утилизации старых радиоэлектронных устройств (телевизоров, радиоприёмников и т.п.) на их платах остаётся большое количество припоя, который мог бы использоваться вторично. Однако распайка каждого элемента радиоаппаратуры, отсос и сбор припоя от мест пайки — очень трудоёмкие операции, затраты на них не окупятся. Можно нагреть большое количество плат одновременно и расплавить припой на всех этих платах во всех местах



сразу. Но припой растечётся по платам, индивидуальный сбор его от каждого места пайки и в этом случае не рационален.

М 2.20. Чтобы изготовить тонкостенное изделие с полостями внутри, например радиаторную батарею отопления или сотовую панель, вначале из двух листов штампуют половинки этого изделия, затем складывают эти половинки вместе и сваривают контактной роликовой или дуговой сваркой по местам их касания. Такая технология трудоёмка и требует изготовления сложной штамповой оснастки.

## 2.4. Задача М 3

### 2.4.1. Содержание и условия задачи М 3

Решить изобретательскую задачу методом фокальных объектов. В качестве объекта задачи (фокального объекта) принять объект задания М 1, в качестве формулировки изобретательской задачи принять физическое противоречие (ФП), полученное при решении задачи М 1.

### 2.4.2. Порядок решения задачи М 3

1. Выписать название или краткое описание объекта задачи М 1 на основе п.1 её решения. Указать на выбранный недостаток этого объекта, записать формулировку ФП, полученную при решении задачи М 1.
2. Выбрать 2...5 случайных объектов. Следует иметь в виду, что увеличение количества случайных объектов повышает вероятность преодоления ФП, но резко усложняет ход решения задачи.
3. Сформулировать и выписать существенные признаки всех выбранных случайных объектов.
4. Присоединить поочерёдно все признаки случайных объектов к фокальному объекту, записать полученные сочетания.
5. Провести анализ полученных сочетаний с учётом ФП, выбрать перспективные сочетания, объяснить, почему они могут считаться перспективными.
6. На основе перспективных сочетаний фокального объекта с признаками случайных объектов разработать решение изобретатель-

ской задачи. Составить описание объекта, усовершенствованного в результате решения.

7. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.
8. Если доказать, что ФП преодолено, не удаётся, то повторить все шаги решения, начиная с п.2.

### 2.4.3. Пример решения задачи М 3

1. Для задачи М 1 был задан (см. раздел 2.3) способ электронно-лучевой сварки. Для постановки изобретательской задачи при решении М 1 был выбран недостаток: трудность слежения за положением луча относительно криволинейного стыка при его сварке. При решении задачи М 1 было сформулировано ФП: луч должен перемещаться по линии стыка и не должен по ней перемещаться.

2. Выбираем случайные объекты: карандаш, небо, бомба.

3. Выписываем признаки случайных объектов.

- |                          |                            |                   |
|--------------------------|----------------------------|-------------------|
| 4. Карандаш              | 2. Небо                    | 3. Бомба          |
| 1.1. Деревянная оболочка | 2.1. Голубое               | 3.1. Падающая     |
| 1.2. Рисующий            | 2.2. С бегущими облаками   | 3.2. Взрывающаяся |
| 1.3. Мягкий сердечник    | 2.3. Огромное              | 3.3. Разрушающая  |
| 1.4. Остро заточен       | 2.4. Закрывающее всю землю |                   |

4. Присоединяем поочерёдно все выписанные признаки случайных объектов к фокальному объекту. Поскольку согласно ФП луч должен перемещаться по линии стыка и не должен по ней перемещаться, то можно конкретизировать фокальный объект: это будет электронный луч.

- |                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1.1. Луч с деревянной оболочкой      | 2.1. Луч голубой               |
| 1.2. Луч рисующий                    | 2.2. Луч с бегущими облаками   |
| 1.3. Луч с мягким сердечником внутри | 2.3. Луч огромный              |
| 1.4. Луч остро заточенный            | 2.4. Луч закрывающий всю землю |
|                                      | 3.1. Луч падающий              |
|                                      | 3.2. Луч взрывающийся          |
|                                      | 3.3. Луч разрушающий           |

5. Анализируем полученные сочетания, выбираем из них перспективные для преодоления ФП.

1.1. - Не перспективно.

1.2. - Перспективно, так как наталкивает на мысль о том, что луч рисует контур стыка.

- 1.3. - Не перспективно.
- 1.4. - Наталкивает на мысль, что луч должен быть сфокусирован во время сварки на поверхности детали, – перспективно.
- 2.1. - Не перспективно.
- 2.2. - Перспективно. Наталкивает на мысль о постоянном поступательном движении луча.
- 2.3. - Не перспективно.
- 2.4. - Перспективно, наталкивает на мысль о том, что луч, перемещаясь, перекрывает всю площадь, в пределах которой находится свариваемый стык.
- 3.1. - Не перспективно.
- 3.2. - Наталкивает на мысль о резком изменении мощности луча во время его движения в процессе сварки – перспективно.
- 3.3. - Не перспективно.
6. На основе перспективных сочетаний разрабатываем решение. При ЭЛС луч должен поступательно перемещаться (сочетание 2.2), перекрывая всю площадь, занимаемую стыком (сочетание 2.4). Это возможно, если луч будет совершать возвратно-поступательные перемещения, постоянно смещаясь поперёк направления перемещений: сканировать по всей площади, занимаемой стыком деталей (или частью стыка). При этом луч должен быть сфокусирован на поверхности деталей (сочетание 1.4) и рисовать контур стыка деталей на самом стыке (сочетание 1.2). Очевидно, что “рисовать” луч сможет, если пересекая стык при сканировании, луч будет резко увеличивать свою мощность, “взрываться” (сочетание 3.2). Команду на такой “взрыв” луч может получать от передающей электронной трубки – видикона, который можно установить над стыком и подключить через усилитель к системе электронно-лучевой пушки, управляющей мощностью луча. Тогда луч будет рисовать изображение стыка на самом стыке точками повышенной мощности так же, как рисуется изображение на экране телевизора. Остальные участки поверхности детали луч будет проходить при такой минимальной мощности, которая не будет вызывать нагрева металла. Сварной шов на всём стыке будет образовываться практически одновременно независимо от конфигурации стыка.

7. Доказываем, что ФП преодолено. При предлагаемом способе электронно-лучевой сварки луч не перемещается по линии стыка, он совершает возвратно-поступательные движения не по этой линии, а по всей площади поверхности свариваемых деталей, занимаемой стыком, постоянно смещаясь поперёк направления этого движения. В то же время точки повышенной мощности луча последовательно оплавливают пересекаемые лучом участки стыка, образуя сварной шов. Это эквивалентно быстрому и точному перемещению луча по стыку деталей. ФП преодолено: луч перемещается по стыку, последовательно образуя на нём сварной шов, но в то же время луч не перемещается по стыку, а сканирует по всей площади, занимаемой стыком.

## **2.5. Задача М 4**

### **2.5.1. Содержание и условия задачи М 4**

Провести анализ заданного объекта, выбрать его недостаток, сформулировать изобретательскую задачу и решить её методом морфологического анализа (путём анализа структуры, строения объекта).

### **2.5.2. Порядок решения задачи М 4**

1. Выбрать недостаток заданного объекта, определить его причины и сформулировать изобретательскую задачу.
2. Провести анализ объекта задачи М 2, выделить его основные характеристики – оси. Рекомендуется выбрать 2...4 оси, учитывая, что увеличение их количества, хотя и повышает вероятность решения задачи, но резко усложняет процесс решения.
3. Определить возможные варианты осей, занести их в таблицу морфологического анализа (см. пример решения задачи М 4). Чтобы не усложнять процесс решения, лучше выбрать не более 2...4 вариантов каждой оси.
4. Составить сочетания вариантов осей.
5. Провести с учётом ФП анализ полученных сочетаний вариантов осей, отделить известные и неперспективные сочетания, выбрать сочетания, перспективные для преодоления ФП. Объяснить, почему выбранные сочетания перспективны.

6. На основе выбранных перспективных сочетаний вариантов осей разработать решение задачи, подробно описать его.

7. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.

Если ФП не преодолено – найти новое решение, повторив все действия, начиная с п. 2, и выбрав новые оси или их варианты.

### 2.5.3. Пример решения задачи М 4

1. Задан объект. При диффузионной сварке детали помещают в камеру, герметизируют её и, откачивая из камеры воздух, создают в ней вакуум. Зону сварки нагревают, затем детали прижимают друг к другу и выдерживают под давлением. При повышении температуры вакуум предохраняет соединяемые поверхности от окисления, а имеющиеся окислы в вакууме при нагреве легко диссоциируют, поверхность очищается, обеспечивается возможность сварки и высокое качество соединения.

*Решение.* В качестве недостатка заданного объекта выберем большую трудоёмкость создания вакуума и сложность необходимого для этого оборудования. Причина этого недостатка в том, что при нагреве деталей в процессе сварки нужно обеспечить защиту соединяемых поверхностей деталей от окисления, препятствующего сварке. Вакуум играет роль защитной среды – отсюда необходимость его создания, увеличивающая трудоёмкость и усложняющая оборудование. Заменим узкий термин “вакуум” на более широкий “среда”.

Формулируем противоречия.

АП. Нужно обеспечить качественное соединение деталей при диффузионной сварке, как – не известно.

ТП. Качественное соединение обеспечить можно, если создать вокруг соединяемых поверхностей защитную среду, но это увеличивает трудоёмкость и усложнит оборудование.

ФП. Среда вокруг соединяемых поверхностей должна быть создана, но она не должна создаваться.

2. Анализируем объект задачи и определяем его характеристики (оси). Основное препятствие для получения качественного соединения деталей при диффузионной сварке – это плёнка окислов на соединяемых поверхностях. Её легко удалить известными способами (например, механической обработкой в процессе изготовления

деталей), но при контакте с воздухом она быстро возникает вновь, препятствуя сварке. Следовательно, защитная среда, предохраняющая соединяемые поверхности от окисления, является наиболее существенным фактором при диффузионной сварке. При решении задачи могут изменяться виды защитной среды, время её создания относительно процесса сварки и зона расположения защитной среды. Эти характеристики примем в качестве осей объекта.

3. Определяем варианты осей. В качестве среды могут быть применены газ, жидкость и твёрдое тело (вакуум – это тоже газ, только при очень низком давлении). Среда может создаваться до сварки и в процессе сварки. Среда может быть создана вокруг соединяемых деталей, только в зоне соединения и только на соединяемых поверхностях. Принимаем эти варианты для решения задачи и заносим их в таблицу морфологического анализа.

| Оси           | 1. Вид среды                             | 2. Время создания среды                  | 3. Зона расположения среды                                                                            |
|---------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Варианты осей | 1. Газ<br>2. Жидкость<br>3. Твёрдое тело | 1. Перед сваркой<br>2. В процессе сварки | 1. Вокруг соединяемых деталей<br>2. Только в зоне соединения<br>3. Только на соединяемых поверхностях |

4. Составляем сочетания вариантов осей.

|                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.1 - 2.1 – 3.1 | 1.2 – 2.1 – 3.1 | 1.3 – 2.1 – 3.1 |
| 1.1 – 2.1 – 3.2 | 1.2 – 2.1 – 3.2 | 1.3 – 2.1 – 3.2 |
| 1.1 – 2.1 – 3.3 | 1.2 – 2.1 – 3.3 | 1.3 – 2.1 – 3.3 |
| 1.1 – 2.2 – 3.1 | 1.2 – 2.2 – 3.1 | 1.3 – 2.2 – 3.1 |
| 1.1 – 2.2 – 3.2 | 1.2 – 2.2 – 3.2 | 1.3 – 2.2 – 3.2 |
| 1.1 – 2.2 – 3.3 | 1.2 – 2.2 – 3.3 | 1.3 – 2.2 – 3.3 |

5. Анализируем с учётом ФП полученные сочетания вариантов осей и выбираем сочетания, перспективные для решения задачи.

Сочетание 1.1 – 2.2 – 3.3 – газ, в процессе сварки, только на соединяемых поверхностях – перспективно. Газ будет выделяться на соединяемых поверхностях и, выходя наружу, будет оттеснять воздух, что предохранит эти поверхности от окисления. Среда в этом случае специально не создаётся, время на её создание не затрачивается, но среда будет создана – значит, ФП может быть преодолено.

Сочетание 1.2 – 2.1 – 3.3 – жидкость, перед сваркой, только на соединяемых поверхностях – перспективно, так как жидкость, смачивающая очищенную поверхность, плотно закроет её от контакта с воздухом, окисления поверхности не будет. Если совместить нанесение этой жидкости с процессом зачистки поверхности, то время на создание среды затрачиваться не будет, ФП может быть преодолено.

6. На основе выбранных перспективных сочетаний вариантов осей разрабатываем решение задачи.

В процессе механической обработки (точения или фрезерования) соединяемых поверхностей деталей на эти поверхности любым известным способом (например, струёй или с помощью кисти, тампона) наносим защитную жидкость. Чтобы в процессе сварки в соединении не возникли дефекты, выбираем жидкость нейтральную по отношению к материалу свариваемых деталей и разлагающуюся (или испаряющуюся) при нагреве до температуры сварки без образования твёрдых остатков. Такой жидкостью может быть, например, акриловая смола или клей БФ-2. Эта жидкость, смачивая зачищенные поверхности деталей, предохраняет их от контакта с воздухом с момента обработки. Детали могут храниться до сварки неограниченное время – окисления поверхности не произойдёт. Во время сварки жидкость частично испарится при нагреве, а частично разложится, образуя газообразные продукты, которые вместе с паром будут выходить из контакта между деталями, оттесняя от зоны соединения воздух. Это обеспечит дополнительную защиту от окисления в процессе сварки.

7. Доказываем, что полученным решением ФП преодолено. На создание защитной плёнки жидкости на соединяемых поверхностях время не затрачивается, жидкость наносится в процессе механической обработки поверхностей. Газовая защита соединяемых поверхностей происходит в процессе сварки самопроизвольно, в результате сварочного нагрева. Следовательно, защитная среда на поверхностях деталей не создаётся специально (на неё не тратится время), но среда создана (одновременно с механической обработкой и в процессе сварочного нагрева). ФП преодолено. Недостаток устранён, затраты времени и специальное оборудование для создания среды не нужны.

#### 2.5.4. Задания М 4

М 4.1. При дуговой сварке в среде защитных газов обратную сторону шва защищают с помощью жёсткой подкладной планки с канавкой. Канавку располагают под свариваемым стыком вдоль него, планку прижимают к поверхности детали, в канавку подают защитный газ. Но стыки свариваемых деталей могут быть прямолинейными и криволинейными.

М 4.2. При дуговой сварке выделяются газы, дым, аэрозоли и т. п. Для охраны здоровья сварщика на рабочем месте устанавливают устройства для общей вытяжной вентиляции.

М 4.3. Для облегчения зажигания и горения сварочной дуги постоянного тока применяют осцилляторы, генерирующие ток высокой частоты и высокого напряжения, опасного для сварочного выпрямителя.

М 4.4. При крупносерийном производстве плат электронной аппаратуры встречаются случаи, когда на плате нужно произвести несколько паек, не нагревая остальные точки соединений платы. Это делают с помощью электропаяльника, нагревая каждый спай отдельно и поочерёдно.

М 4.5. При контактной стыковой сварке оплавлением образуется грат, который после сварки удаляют механическим путём на специальной установке.

М 4.6. Для наблюдения за дугой в процессе сварки применяют телевизионную систему, состоящую из передающей трубки – видикона и телевизора, причём видикон устанавливают в непосредственной близости от дуги.

М 4.7. Для повышения коррозионной стойкости трубопроводов трубы покрывают изнутри слоем эмали. При монтаже трубопроводов сваривают стыки труб. В зоне шва эмаль расплавляется, растекаясь по проплаву, а в околошовной зоне растрескивается под действием термических напряжений.

М 4.8. Для измерения температуры в зоне сварки устанавливают термопары, которые подключают к милливольтметрам или к осциллографу.

М 4.9. Стыки листов большой толщины (более 10 мм) сваривают без разделки кромок по узкому зазору. Дугу зажигают в глубине зазора и в несколько проходов заполняют зазор присадочным (электродным) металлом. Дуга при этом может иногда смещаться в сторону одной из кромок, другая кромка может не расплавиться.

М 4.10. Чтобы начать процесс электрошлаковой сварки, нужно создать шлаковую ванну. Для этого под стык деталей устанавливают технологическую пластину, засыпают флюс, возбуждают дугу и расплавляют флюс.

М 4.11. При сварке плавлением нержавеющей стали на участке околошовной зоны, нагреваемом до температуры  $\approx 700^\circ\text{C}$  (температуры провоцирующего отжига), по границам зёрен металла образуются сложные карбиды хрома (типа  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ). Границы зёрен обедняются хромом и теряют коррозионную стойкость. Сварное соединение становится склонным к межкристаллитной коррозии.

М 4.12. Производительность процесса дуговой сварки можно повысить, если производить сварку несколькими электродами одновременно. Но взаимное влияние магнитных полей каждой из дуг может нарушать стабильность их горения.

М 4.13. Дуговую точечную сварку нахлесточных соединений листов толщиной более 2 мм производят по отверстию, которое предварительно высверливают в верхнем листе.

М 4.14. При сварке сжатой дугой концентрация энергии в пятне нагрева обеспечивает увеличение проплавляющей способности дуги и повышение производительности процесса. Но струя сжатой плазмы создаёт значительное давление на сварочную ванну, жидкий металл отбрасывается в её хвостовую часть, на поверхности шва образуются наплывы.

М 4.15. При дуговой сварке внахлестку деталей с большой разницей толщин (например, 0,2 + 10 мм) условия теплоотвода в массивную и тонкую детали различны, массивная деталь поглощает больше тепла, в тонкой кромке тепло концентрируется. Температурное поле асимметрично, максимальная температура смещена на тонкую кромку, которая перегревается, образуются прожоги.

М 4.16. При сварке плавлением деталей из титановых сплавов с алюминиевыми деталями при контакте расплавленного титана с алюминием образуются хрупкие интерметаллиды, шов растрескивается.

М 4.17. Для защиты глаз и лица сварщика применяют маски со светофильтрами. В процессе сварки светофильтр загрязняется копотью и металлическими брызгами, видимость ухудшается.

М 4.18. Для защиты лица сварщика применяют маски со светофильтрами. До зажигания дуги сварщик должен видеть зону стыка деталей, маска должна быть поднята. Непосредственно перед зажиганием дуги маску надо опустить на лицо.

М 4.19. Для повышения коррозионной стойкости стальные листы плакируют – покрывают тонким слоем алюминия. Из таких листов изготавливают детали для сварных конструкций, например обечайки, на которых надо сваривать дуговой сваркой продольные и кольцевые стыки. В зоне сварки плакирующее покрытие нарушается, шов получается незащищенным от коррозии.

М 4.20. При контактной роликовой сварке деталей с большой разницей толщин (например, 0,2 + 10 мм) на мягких режимах контакт между деталями уже в начале импульса сварочного тока, разогреваясь, сминается, его сопротивление становится малым, тепла в нём выделяется немного и сварное ядро формируется в середине столбика металла свариваемых деталей – в толще массивной детали. Если установить жёсткий режим, контакт между деталями за время импульса не успевает смяться и потерять сопротивление, ядро в зоне этого контакта получить удаётся. Но также не успевает сминаться контакт между электродом и тонкой деталью. В нём выделяется много тепла, поверхность тонкой детали подплавляется, образуются выплески, могут быть прожоги тонкой кромки.

М 4.21. При контактной роликовой сварке листов с полимерным покрытием слой покрытия раздавливается роликом и обеспечивается контакт рабочей поверхности ролика со свариваемой деталью. Но в процессе сварки покрытие разогревается и налипает на ролик. Процесс сварки становится нестабильным, т. к. при боль-



шом слое налипшего на ролик полимера нарушается контакт между роликом и деталью.

М 4.22. Алюминиевые листы хорошо свариваются контактной точечной и роликовой сваркой. Но для этого необходимо зачищать поверхность листов в зоне сварки от окислов непосредственно перед сваркой

М 4.23. Электроды, токоведущие шины и вторичную обмотку трансформатора машин для контактной сварки охлаждают проточной водой.

М 4.24. При автоматической дуговой сварке под слоем флюса засыпают флюс в бункер, из которого он сыпается через трубку и сопло в зону сварки, на поверхность свариваемых деталей. После сварки флюс и шлаковые корки остаются на поверхности деталей и убираются пневматическим флюсоотсосом.

М 4.25. Применение лежачих электродов с качественным покрытием повышает производительность ручной дуговой сварки штучными электродами. Но на участках стыков электродов, уложенных в разделку кромок деталей друг за другом, дуга может прерываться — образуются непровары, уменьшается производительность процесса.

М 4.26. При сварке фланцев или штуцеров с тонкостенной оболочкой или листом источник тепла, например сварочная дуга, перемещается по кругу. При этом тепло, распространяясь от зоны сварки, нагревает участки стыка деталей, которые ещё не заварены. По мере движения источника тепла каждый последующий участок стыка оказывается нагретым больше, чем предыдущий. Температурное поле расширяется, при малом диаметре стыка заметно растёт ширина шва и проплава, металл перегревается.

М 4.27. Паяемый узел эксплуатируется при высокой температуре. Если паять его припоем, температура плавления которого выше температуры эксплуатации узла, то сильно возрастут затраты на электроэнергию и оборудование.

М 4.28. Если соединять пайкой две детали из металлов, имеющих разный коэффициент термического расширения, то при на-

греве под пайку и при последующем охлаждении в паяном узле возникают термические напряжения.

М 4.29. Низкотемпературный припой системы Pb—Sn изготавливают в виде трубки, внутрь которой помещают флюс на основе канифоли. В изготавливаемую прессованием трубку через оправку — дорн заливают расплавленный флюс, который затекает в полость трубки под собственным весом. Для обеспечения плотности флюса, отсутствия в трубке пустот нужно повышать температуру расплава флюса. Это ухудшает его флюсующие свойства.

М 4.30. Необходимо сваривать две детали из термопластичных пластмасс, которые не терпят перегрева. При сварке нужно точно дозировать энергию и обеспечить минимальные размеры зоны нагрева. Это можно сделать лазерным лучом, но свариваемые детали оптически прозрачны.

М 4.31. При обучении сварщиков необходима практическая отработка навыков ведения процесса сварки. При этом непроизводительно расходуются электроэнергия, электроды, металл на образцы.

М 4.32. Наплавку плоской или цилиндрической поверхности ведут плавящимся электродом порошковой проволокой. Швы накладывают последовательно, так чтобы каждый последующий шов перекрывал предыдущий на 10...20% по ширине. Поверхность наплавленного перекрываемого слоя неровная, в зоне перекрытия могут быть зашлаковки, непровары.

М 4.33. Сварочный источник питания во время перерывов горения дуги остаётся подключённым к питающей сети и работает на холостом ходу, непроизводительно потребляя энергию. Если сварщик будет всё время включать и выключать источник — уменьшится производительность труда.

М 4.34. При сборке тавровой балки её полку укладывают на ложементы, ставят стенку на полку вертикально и фиксируют обе детали винтовыми или эксцентриковыми прижимами.

М 4.35. Контактная поверхность электродов для точечной и роликовой сварки загрязняется в процессе сварки, контактное сопротив-

ление электрод — деталь увеличивается, качество сварных соединений ухудшается. Электроды зачищают непосредственно на сварочной машине механически: напильником или специальной фрезой.

М 4.36. Для управления формированием шва при сварке плавлением необходимо изучать особенности движения жидкого металла сварочной ванны. Направление движения металла на поверхности можно наблюдать в процессе сварки, например, с помощью киносъёмки. Однако струи металла даже на поверхности ванны трудно различимы, а в глубине вообще не видны.

М 4.37. Для улучшения качества газовой защиты зоны сварки необходимо изучать характер истечения газа из сопла сварочной горелки, влияние формы сопла и состава газа на особенности формирования его струи. Но применяемые при сварке газы бесцветны и прозрачны.

М 4.38. При сварке импульсной дугой неплавящимся электродом в среде защитного газа присадочная проволока во время паузы между импульсами сварочного тока, поступая в сварочную ванну, не расплавляется, а затем, во время импульса сварочного тока, необходимо расплавить большой участок проволоки, поданной в ванну во время паузы и подаваемой во время импульса. Это может увеличить неравномерность формирования шва, чешуйчатость его поверхности.

М 4.39. Для направления сварочной дуги по стыку свариваемых деталей применяют жёстко связанные с горелкой индукционные и другие датчики, которые размещают перед сварочной ванной. Но при значительной кривизне стыка деталей положение датчиков не соответствует положению дуги относительно стыка.

М 4.40. Электроды для контактной точечной сварки испытывают на долговечность, сваривая контрольные точки до тех пор, пока электрод не деформируется больше допустимой величины. О долговечности судят по числу сварочных циклов, после которого электрод необходимо перетачивать.

М 4.41. Электрододержатель для ручной дуговой сварки снабжён рукояткой, выполненной из неэлектропроводного материала.

Внутри рукоятки проходит токоведущий провод. При сварке на больших токах тепло от провода нагревает рукоятку.

М 4.42. При ручной дуговой сварке после расплавления электрода остаются огарки, использовать которые для сварки нельзя из-за близости сварочной дуги к электрододержателю. Огарки выбрасывают.

М 4.43. Механизмы подачи присадочной или электродной проволоки при автоматической и полуавтоматической сварке содержат привод, вращающий через редуктор подающий ролик. Второй ролик прижимает под действием пружины проволоку к подающему ролику. При сварке мягкой проволокой (например, алюминиевой) большое усилие прижатия проволоки ведёт к её деформации или срезанию, малое — к проскальзыванию проволоки.

М 4.44. При контактной точечной сварке мелких деталей в массовом производстве однообразие и высокий темп работы утомляют сварщика, внимательность притупляется, возможны травмы рук при сжатии электродов.

М 4.45. Диффузионная сварка оксидной керамики с медью возможна, только если удалить окислы на поверхности меди в зоне соединения. Однако в контакте с керамикой зачищенная медь немедленно окисляется вновь при нагреве.

М 4.46. При сварке трением образуется неравномерный, с рваными краями грат, который затем удаляют механическим путём. Однако грат может служить усилением шва, которое увеличит прочность сварного соединения. Это особенно важно при возможности частичных непроваров в стыке, которые не выявляются никакими способами контроля.

М 4.47. При автоматической сварке плавящимся электродом дугу зажигают замыканием торца электродной проволоки на изделие. Если для сварки нужна большая сила сварочного тока, то при замыкании проволоки на изделие возникает чрезмерно большой ток короткого замыкания, так как сопротивление сварочной цепи невелико. Конец проволоки на всей длине вылета мгновенно, взрывом, оплавляется. Могут образоваться дефекты в начале шва, дуга может не зажечься.

М 4.48. При сварке плавлением тонких листов встык нужно интенсивно охлаждать кромки рядом со швом в процессе сварки. В то же время нужно обеспечить хорошее формирование проплава. Проплав качественно формируется, если обратная сторона шва контактирует с газом или шлаком, которые увеличивают силу поверхностного натяжения. Но газ и шлак — плохие проводники тепла.

М 4.49. Для автоматизации зажигания пламени горелки при газопламенной сварке или резке можно применять искровой разряд от свечи, питаемой индукционной катушкой. Но после зажигания пламени свеча и катушка, расположенные в зоне сварки, мешают работе, в процессе сварки они не нужны.

М 4.50. Для защиты рук при ручной сварке применяют рукавицы, изготавливаемые из плотной и прочной ткани. Такие рукавицы хорошо защищают руки от теплового и механического воздействия.

М 4.51. Для контактной точечной и роликовой сварки применяют электроды из материала с высокой электро- и теплопроводностью. Лучший материал — это медь и её сплавы. Но при сварке, например, алюминиевых сплавов следы меди на поверхности сварных точек резко снижают коррозионную стойкость сварных соединений.

М 4.52. При дуговой сварке плавлением сталей перлитного или мартенситного класса большая скорость естественного охлаждения сварного шва ведёт к появлению в шве и в зоне термического влияния хрупкой мартенситной структуры. При этом до низких температур (< 200°C) сохраняется относительно много аустенита, который, преобразуясь в мартенсит при дальнейшем понижении температуры, вызывает напряжения, не способные релаксироваться из-за низкой пластичности металла. Образуются холодные трещины. Предупредить их появление можно, если сразу после сварки произвести термообработку изделия (отпуск).

М 4.53. Торец втулки из малоуглеродистой стали припаивают к поверхности плоской детали из этого же материала. Оказалось, что хорошее качество соединения обеспечивается, только если на соединяемых поверхностях не будет неровностей и по всей площади эти поверхности будут совпадать. Этого удалось достигнуть,

предварительно вдавливая втулку в плоскую деталь до состояния пластической деформации металла обеих деталей или одной из них. Но после вдавливания трудно ввести в зону пайки припой — появляется опасность непропая.

М 4.54. Чтобы исправить дефекты алюминиевого или магниевого литья (например, раковины), производят механическую разделку дефектного места, например, сверлом или фрезой. Затем контролируют качество разделки и заваривают её дугой с неплавящимся электродом в защитном газе. Однако при механической обработке окислы на поверхности металла, которые контрастно оттеняют дефект, удаляются. Оставшийся в разделке дефект на фоне чистого металла не виден. Если заварить разделку, в которой раковина удалена не полностью, дефект возникнет вновь.

М 4.55. Предупредить возникновение пор и рыхлот в металле шва можно, если дуговую сварку производить в среде защитного газа при повышенном давлении. Для этого свариваемые детали, сварочный автомат и оснастку помещают в герметичную камеру, в которую закачивают газ. После сварки камеру открывают, газ выбрасывают в атмосферу.

М 4.56. При отработке технологии дуговой наплавки на поверхность деталей износостойких или защитных покрытий можно выбирать параметры режима, ориентируясь на химический состав металла шва. Чтобы его определить, нужно вырезать из деталей образцы металла шва и производить их химический анализ. Уменьшить трудоёмкость этого процесса можно, если отсасывать металл шва для анализа непосредственно из сварочной ванны через трубку. Но трубка захолаживает сварочную ванну, что затрудняет отбор пробы и может исказить результаты анализа.

М 4.57. Надо сварить дуговой сваркой встык листы разной толщины из стали, покрытые с обеих сторон слоем лакирующего металла, стойкого против коррозии. После сварки на шов можно наплавить такой же защитный металл. Но резкий перепад толщины деталей в стыке служит концентратором напряжений, уменьшается конструктивная прочность изделия. Если кромку более толстой де-

тали обработать механически, сделав на ней скос, то можно избежать концентрации напряжений. Однако при этом снимется на большой ширине лакирующий слой, нарушится защита от коррозии.

М 4.58. Наиболее распространён способ зажигания сварочной дуги касанием изделия концом электрода. Но электрод часто приваривается к изделию, что увеличивает трудоёмкость процесса зажигания дуги, а при неплавящемся электроде приводит к включениям электродного металла в металл шва. Бесконтактное зажигание дуги (например, импульсом высокого напряжения) усложняет аппаратуру и требует защиты источника питания дуги.

М 4.59. Для изготовления конструкций, которые должны иметь большую прочность и малый вес (например, деталей летательных аппаратов) применяют сотовые панели. Они представляют собой гофрированный лист, с обеих сторон охваченный тонкими плоскими листами. Соединяют листы с гофрами чаще всего пайкой. Тонкие листы имеют малую массу, поэтому они быстро нагреваются в процессе пайки и быстро охлаждаются после неё. Гофрированный лист нагревается и охлаждается медленнее, так как он экранирован плоскими листами. Это ведёт к накоплению напряжений и к деформациям готовой сотовой панели.

М 4.60. Дуговая сварка лежачим электродом повышает производительность труда. Но чтобы сваривать с его помощью криволинейные стыки деталей, электрод надо согнуть по форме стыка. При этом разрушается и осыпается электродная обмазка. Нанесение обмазки на заранее согнутый стержень трудоёмко и не обеспечит концентричность обмазки и стержня.

М 4.61. Дуговой сваркой под слоем флюса можно сваривать стыки деталей в потолочном положении. При этом обеспечивается высокая производительность процесса сварки. Высокая плотность тока и большое поверхностное натяжение на границе между жидким металлом и шлаком позволяют улучшить формирование шва по сравнению с ручной дуговой сваркой. Но очень трудно удерживать флюс на поверхности свариваемой детали.

М 4.62. При пайке блоков монтажных плат радиоаппаратуры волной припоя расплавленный припой в ванне приходится перегревать на 20...30% выше температуры его плавления. Это создаёт запас тепла, компенсирующий его потери на нагрев паяемых поверхностей плат, а также на теплоотдачу в окружающую среду. Но при этом поверхность припоя интенсивно окисляется, увеличиваются потери припоя.

М 4.63. При подготовке к диффузионной сварке соединяемые поверхности должны быть очищены от окисных плёнок. Это легко сделать механической обработкой, но окисные плёнки после обработки быстро образуются вновь. Обработка в инертной среде позволит защитить поверхности от окисления.

М 4.64. При контактной точечной сварке стальных листов, имеющих цинковое покрытие, установлено, что наличие покрытия требует увеличения силы тока и загрязняет электроды, что ускоряет их износ. Оказалось, что если применять мягкий режим сварки, то можно деформировать покрытие и удалить часть его из-под электрода. Износостойкость электрода повысится. Но сварное ядро нужных размеров на мягких режимах не получается.

М 4.65. При дуговой сварке листов встык со сквозным проплавлением в начале шва трудно проплавить стык, так как источник тепла располагается на поверхности состыкованных кромок деталей. Для внутренних слоёв металла тепла недостаточно, приходится увеличивать мощность источника тепла на время до образования проплавления, а это ведёт к перегреву металла в поверхностных слоях и увеличивает зону термического влияния.

М 4.66. Для монтажа металлоконструкций часто бывает необходимо использовать облегчённые двутавровые или швеллерные балки. В таких случаях в стенках балок вырезают отверстия, удаляя лишний металл. Чтобы уменьшить трудоёмкость этого процесса, балки разрезают вдоль по кривой линии, имеющей выступы и впадины, а затем стыкуют получившиеся половинки по выступам и сваривают стыки выступов. Но такой способ приводит к тому, что концы половинок балки консольно выступают на длине, равной шагу выступов реза. Их приходится отрезать и выбрасывать.

М 4.67. Для нанесения покрытий из паровой фазы в вакууме изделие помещают в вакуумируемую камеру. Туда же помещают тигель с материалом покрытия и источник тепла, которым вначале расплавляют, а затем испаряют этот материал. Для этого нужен мощный источник тепла, имеющий большие габариты. Всё это ведёт к увеличению объёма камеры, увеличивается время вакуумирования, снижается производительность работы установки.

М 4.68. Хорошее качество металлических покрытий получают с помощью дугового разряда в вакууме. Дугу зажигают между расходимыми электродами из материала покрытия. Электроды оплавляются, металл с их торца испаряется, пар частично ионизируется, пароплазменный поток конденсируется на поверхности обрабатываемой детали (подложке), образуя покрытие. Однако при оплавлении электрода образуются капли металла, часть крупных капель не успевает испаряться. Попадая на подложку, капли металла ухудшают качество покрытия.

М 4.69. При полуавтоматической дуговой сварке электродная или присадочная проволока подаётся через шланг. Во время перемещений сварщика шланг может изгибаться и даже сворачиваться в кольцо. Проходящая внутри шланга проволока может тормозиться на изгибах, что вызовет дефекты сварного шва. Торможение проволоки можно предупредить, если проволоку подавать толчками, импульсами. Но при непрерывном горении дуги остановки подачи проволоки приведут к неравномерному формированию шва.

М 4.70. Печатные платы радиоаппаратуры с размещёнными на них деталями перемещают над гребнем волны расплавленного припоя, создаваемого в ванне. Припой, касаясь поверхности платы, смачивает выводы радиодеталей, установленные в монтажных отверстиях платы, — происходит пайка. Это повышает производительность процесса. Однако припой омывает всю поверхность платы и смачивает элементы, которые паять и лудить не надо (например, полоски фольги, соединяющие монтажные отверстия). Это вызывает лишний расход припоя.

М 4.71. Чтобы управлять кристаллизацией металла в сварочной ванне при дуговой сварке под флюсом, предложено ванну быстро

охлаждать в процессе сварки. Однако сверху ванна закрыта слоем жидкого шлака и слоем нерасплавившегося флюса. Охлаждающее вещество к её поверхности подвести нельзя, это будет нарушать процесс сварки. Подвести его можно к обратной стороне стыка деталей и к зоне термического влияния, но это не даст эффекта: скорость охлаждения жидкого металла увеличится незначительно, так как основная его масса находится со стороны действия сварочной дуги.

М 4.72. При дуговой сварке под слоем флюса легирование металла шва и его раскисление производят за счёт компонентов флюса. Это удорожает флюс, так как необходим сложный многокомпонентный его состав. Можно снизить расход флюса, засыпая его в зону сварки тонким слоем, достаточным для осуществления металлургических процессов в сварочной ванне. Однако такой слой не обеспечит хорошей защиты дугового промежутка и расплавляемого электродного металла от воздуха. Кроме того, зона сварки будет быстро охлаждаться, что при сварке, например, мартенситных сталей может увеличить склонность сварных соединений к холодным трещинам.

М 4.73. Корпус и сопло горелки для дуговой сварки в защитных газах охлаждают проточной водопроводной водой, которую подают в полости этих деталей. Это повышает работоспособность и стойкость горелки. Но во время перерывов в горении дуги металлические стенки корпуса и сопла быстро охлаждаются до температуры ниже, чем у окружающего воздуха. На их наружных поверхностях конденсируется влага, которая может стекать на стык свариваемых деталей.

М 4.74. Восстанавливать изношенные поверхности деталей можно, нанося на них покрытие, например, распылением металлического порошка в струе дуговой плазмы. Но такое покрытие часто получается рыхлым и имеет невысокие механические свойства. Уплотнить и упрочнить его можно, если прокатать роликом, нагревая во время обкатки импульсами электрического тока, пропускаемого через контакт ролика с покрытием.

М 4.75. Тонкостенные тавровые балки можно изготавливать с помощью высокочастотной сварки. Для этого полку балки укладывают на подкладку, подводят к ней стенку, подают сварочный ток высокой частоты в индуктор, нагревают стык до пластического



состояния и прижимают стенку к полке. Образуется сварное соединение за счёт пластической деформации металла в зоне соединения и взаимной диффузии металла деталей. Но тонкая стенка под действием сварочного усилия может деформироваться.

М 4.76. Для упрочнения поверхностей металлических деталей, например шеек или цапф валов, можно оплавливать их лазерным лучом. Чтобы объём расплавляемого лучом металла был небольшой, луч должен быть сфокусирован на обрабатываемой поверхности. Это обеспечит большую скорость охлаждения металла и образование мелкозернистой закалочной структуры с большой твёрдостью. Но сфокусированный луч оплавляет слой небольшой ширины, приходится оплавливать несколько слоёв с их взаимным перекрытием. При последовательном оплавлении перекрывающих друг друга слоёв металла каждый предыдущий слой повторно нагревается при оплавлении последующего слоя, что ухудшает свойства оплавленного металла.

М 4.77. Сварку встык деталей из листа выгодно производить лазерным лучом. Он обеспечивает малую ширину шва и зоны термического влияния, хорошие механические свойства. Но применение лазерной сварки требует очень точной подгонки кромок друг к другу, зазор должен практически отсутствовать, а неравномерность зазора особенно недопустима. Предварительная подгонка кромок тонких листов при большой длине стыка трудоёмка и трудно достижима.

М 4.78. При дуговой сварке алюминиевых сплавов нужно удалять с поверхности деталей в зоне свариваемого стыка окисную плёнку. Это хорошо удаётся делать с помощью катодного распыления поверхностного слоя при сварке на переменном токе или на постоянном токе обратной полярности. Но перед началом сварки катодное распыление ещё не происходило, а окисная плёнка препятствует возбуждению дуги. Её можно удалить в точке, где надо зажечь дугу, механическим путём, но это требует применения специального инструмента, что усложняет процесс.

М 4.79. Две пластмассовых трубы стыкуют друг с другом и сваривают, нагревая их внешним источником тепла и сдавливая. Чтобы прочность стыка была высокой, на него надевают остающуюся после сварки муфту из такой же пластмассы, что и трубы. В муфту

при её изготовлении вводят армирующую металлическую сетку или проволоку. Однако муфта мешает нагреву стыка труб до температуры сварки. Можно было бы нагревать стык изнутри, но внутрь труб трудно ввести источник нагрева.

М 4.80. Тонкие листы из пластичных металлов (например, из алюминия или малоуглеродистой стали) можно соединять внахлёстку, простреливая их снарядами в виде стержней. Снаряд с помощью ударного устройства (взрывного, электромагнитного, гидравлического и т.д.) выстреливается через ствол, пробивает свариваемые листы, оплавливая кромки образующегося отверстия за счёт тепла, выделяющегося при трении о них поверхности снаряда. В результате снаряд приваривается к кромкам отверстия – образуется сварное соединение. Но чтобы это произошло, снаряд нужно остановить раньше, чем он полностью или частично проскочит соединяемые листы, пробив их насквозь.

М 4.81. Биметаллические изделия можно изготавливать путём наплавки. Для этого на предварительно нагретую поверхность более тугоплавкого материала заливают материал с меньшей температурой плавления, который хорошо смачивает поверхность тугоплавкого материала. Смачиваемая поверхность должна быть хорошо зачищена. Но при зачистке поверхность выравнивается, кристаллизация наплавленного слоя начинается в произвольных точках контакта двух материалов и происходит неравномерно. Это ведёт к неоднородности структуры наплавленного слоя и даже к появлению местных несплавлений, что ухудшает качество соединений. Если неровности на поверхности тугоплавкого материала оставить, они послужат затравочными центрами и зададут направление роста кристаллитов, но оставшиеся загрязнения ухудшат смачиваемость.

М 4.82. Перед дуговой сваркой алюминиевых деталей присадочная или электродная проволока должна быть очищена от тугоплавкой ( $T_{пл} = 2050^{\circ}\text{C}$ ) окисной плёнки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Применять для этого абразивные инструменты (наждачную бумагу, шлифовальные круги и т.п.) нельзя – частицы абразива, содержащие кремний и прилипающие к проволоке, изменяют химический состав металла шва. Обычно проволоку подвергают химическому травлению и электро-

полировке. Но эти операции повышают трудоёмкость. Кроме того, подготовленную проволоку нельзя долго хранить перед сваркой.

М 4.83. При резке сжатой дугой требуется большая тепловая мощность плазменной струи и большой расход плазмообразующего газа. Если применять в качестве плазмообразующего газа воздух, то резко уменьшатся затраты на газ. Но воздух плохо ионизируется, на создание плазменной струи потребуется затратить много энергии, уменьшится тепловая мощность струи или потребуется более мощный источник питания дуги. Применение газа с низким потенциалом ионизации (например, аргона) повысит затраты на газ.

М 4.84. Для возбуждения дуги при сварке в защитных газах и поддержания стабильности её горения применяют осцилляторы, генерирующие ток частотой 100...300 кГц и напряжением 1500...8000 В. Одним из основных элементов схемы осциллятора является разрядник, представляющий собой набор электродов, между которыми происходит искровой разряд конденсатора. Электроды разрядника работают на воздухе, быстро подгорают. Это изменяет параметры осциллятора, ухудшается возбуждение дуги. Частая зачистка и регулировка разрядника увеличивает трудоёмкость обслуживания осциллятора.

М 4.85. Сварку двух пластмассовых труб встык производят, нагревая инфракрасным нагревателем зону стыка до пластического состояния и сдавливая трубы осевым усилием. Образующийся при этом грат срезают. Однако удаление графа внутри труб трудоёмко и требует сложной оснастки.

М 4.86. При пайке применяют паяльные пасты, представляющие собой смесь порошков флюса и припоя, замешанных на нейтральном связующем. Но припой и флюс имеют разную плотность. При хранении пасты припой оседает на дно ёмкости раньше, чем флюс. Паста расслаивается. Это увеличивает трудоёмкость её подготовки к пайке и может вызвать дефекты паяных соединений деталей.

М 4.87. Пластмассовые трубы сваривают между собой, нагревая стык до пластического состояния материала трубы, затем сдавливая нагретые торцы осевым усилием и осаживая их до образования графа. Однако если необходимо сваривать две длинные плети труб, за-

креплённые в траншее или на опорах, то сдвинуть их и осадить практически невозможно, так как ни одну из труб переместить нельзя.

М 4.88. Износостойкое покрытие наносят на поверхность деталей с помощью сжатой дуги. В струю дуговой плазмы вводят порошок материала покрытия. Хорошее качество покрытия получается, если поверхность детали предварительно подвергнуть лужению легкоплавким припоем. Припой служит связкой для частиц покрытия, что увеличивает прочность его сцепления с поверхностью детали и сплошность покрытия. Но лужение требует нагрева детали и затрат времени. Это увеличивает трудоёмкость процесса и требует дополнительной энергии.

М 4.89. Чтобы начать процесс электрошлаковой сварки, применяют «горячий старт», при котором в полость, образованную стенками водоохлаждаемых ползунов-кристаллизаторов и кромками свариваемых деталей, заливают жидкий шлак, окунают в образовавшуюся шлаковую ванну электрод, включают сварочный ток и ведут сварку. Но для этого надо предварительно расплавить флюс в специальной ёмкости, затратив тепло на нагрев этой ёмкости.

М 4.90. На поверхность детали можно нанести износостойкое керамическое покрытие, насыпая его на обрабатываемую поверхность и оплавливая лазерным лучом эту поверхность вместе с порошком. Керамический порошок более тугоплавок по сравнению с металлической поверхностью детали, он лишь частично оплавляется и, погружаясь в жидкий металл, закрепляется в нём, образуя покрытие. Но при этом частицы порошка могут утонуть в металлической ванне полностью. Тогда твёрдость поверхности обрабатываемой детали будет неравномерной, при эксплуатации может повреждаться контактирующая с ней деталь.

М 4.91. Для термитной сварки стальных листов применяют стержень из стальной проволоки, на который нанесена обмазка, состоящая из термитной смеси (например, из порошков  $Fe_2O_3$  и Al) и связующего (например, жидкого стекла). На одном конце стержня установлен зажигательный элемент, с помощью которого начинают процесс сварки. При горении зажигательного элемента контакти-

рующая с ним поверхность обмазки нагревается до 1000°C, после чего начинается экзотермическая реакция восстановления алюмином железа из окисла. Выделяется тепло, стержень плавится, перегретый металл и шлак, стекая на свариваемые кромки, нагревают и оплавливают их, образуется сварной шов. Но в начале процесса часть тепла от зажигательного элемента уходит на нагрев торца стержня, тепла на возбуждение экзотермической реакции может не хватить, обмазка не загорится. Повторно этот стержень использовать трудно: надо вновь устанавливать зажигательный элемент.

М 4.92. При сварке листов из термопластичного материала, армированного стекловолокном, применение обычных нагревателей затруднено, так как нагрев ими ведётся с поверхности соединяемых внахлёстку листов. Теплопроводность материала низкая, контактирующие поверхности листов нагреваются плохо. Введение источника тепла (например, проволочного электрического нагревателя) между свариваемыми листами затруднено. Хорошо подошёл бы индукционный нагрев, но материал соединяемых листов не электропроводен.

М 4.93. Чтобы повысить стабильность сварочной дуги и стойкость вольфрамового электрода, в него добавляют 1,5...2,0% двуокиси тория ( $\text{ThO}_2$ ). Периодически, по мере оплавления рабочий конец электрода затачивают на конус. Но торий радиоактивен, опилки, образующиеся при заточке электрода, загрязняют окружающую среду и вредны для здоровья рабочих.

М 4.94. Для повышения коррозионной стойкости листовых деталей автомобиля их изготавливают из оцинкованных стальных листов. Перед нанесением покрытия листы отжигают. Цинк хорошо сцепляется с поверхностью стального листа, только если сталь содержит 0,01...10% углерода. Но сталь с высоким содержанием углерода имеет низкую пластичность и плохо штампуются. Детали автомобиля из такого листа изготавливать нельзя.

М 4.95. Баллоны для сжатых газов, применяемых для газопламенной обработки и при газозлектрической сварке, имеют горловину, на которой установлен вентиль с маховичком для его открывания или закрывания и штуцер для подсоединения газового

редуктора. Вентиль – это наиболее слабый элемент баллона, который легко повредить. Поэтому горловина снабжена резьбой, на которую наворачивают защитный колпак, закрывающий вентиль. Но при работе с баллоном колпак нужно снимать, вентиль становится незащищённым.

М 4.96. При контактной точечной сварке деталей с покрытиями, например оцинкованных стальных листов, материал покрытия постепенно налипает на электроды. Это ведёт к их быстрому износу и ухудшает качество сварных соединений. Чтобы уменьшить износ электродов, между их контактными поверхностями и деталью помещают прокладку из материала с высокой электрической и термической проводимостью (из золота, серебра, меди или алюминия либо из их сплавов). Но фольга также быстро загрязняется материалом покрытия, качество сварных соединений ухудшается. Если фольгу менять после каждой сваренной точки, то хорошее качество соединений обеспечивается, но увеличиваются затраты на фольгу.

М 4.97. Заусенцы на поверхностях и гранях деталей можно удалять выжиганием. Для этого детали помещают в камеру, внутри которой установлена запальная свеча. Камеру заполняют горючей газовой смесью (например, бензинового пара с воздухом или ацетилена с кислородом). На свечу подают высокое напряжение, происходит искровой разряд, газовая смесь взрывается, ударная волна горячего газа удаляет заусенцы с деталей. Но эта же волна воздействует и на запальную свечу, которая из-за этого быстро выходит из строя.

М 4.98. Сотовые конструкции изготавливают из гофрированной стальной ленты, на которую накладывают гладкую ленту из такой же стали. Затем собранные таким образом ленты сматывают в общий рулон с натягом так, чтобы получилось их соприкосновение по вершинам гофр. На торцах этого рулона размещают припой, нагревают рулон до температуры пайки, производят изотермическую выдержку и охлаждают. В вершинах гофр образуется паяное соединение гладкой ленты с гофрированной. Но припой затекает в образованные гофрамии ячейки, образует на них натёки. Это ухудшает качество сотовой конструкции и увеличивает расход припоя.

М 4.99. Пайку плоских деталей, например плат с радиоэлементами, можно вести, опуская деталь в ванну с расплавленным припоем так, чтобы припой смачивал поверхность детали с расположенными на ней участками, подлежащими лужению и пайке. Но открытое зеркало расплавленного припоя на воздухе легко окисляется, с его поверхности идёт испарение припоя. В результате ухудшаются условия труда и качество паяных соединений, увеличивается расход припоя. Чтобы уменьшить эти недостатки поверхность припоя закрывают несколькими слоями латунной или стальной мелкоячеистой сетки, которую паяемой деталью вдавливают в ванну при пайке так, чтобы припой выступил над ней и смочил места пайки. Но материал сетки хорошо растворяется в припое, сетка рвётся и повреждает паяемые радиоэлементы.

М 4.100. Для пайки деталей, одна из которых выполнена из пористого материала (например, спечённая из мелких металлических шариков или из крупного порошка), требуется повышенный расход припоя. В процессе пайки пористая деталь всасывает в себя припой за счёт капиллярных сил, удержать его в зоне соединения не удаётся.

## 2.6. Задача М 5

### 2.6.1. Содержание задачи М 5

Изучить описание заданного объекта, выбрать один из его недостатков, сформулировать изобретательскую задачу и решить её методом простейших преобразований.

### 2.6.2. Порядок решения задачи М 5

1. Найти недостаток заданного объекта, установить его причину.
2. Записать административное противоречие и провести его анализ.
3. Сформулировать техническое и физическое противоречия.
4. Выбрать вид простейшего преобразования и приём, с помощью которого можно преодолеть сформулированное ФП.
5. Решить задачу, применив выбранный приём простейшего преобразования, описать полученное решение.
6. Доказать, что полученное решение преодолевает ФП.

### 2.6.3. Пример решения задачи М 5

Задан объект. Износостойкую наплавку на поверхность детали производят сжатой дугой. В зону наплавки подают смесь тугоплавкого и легкоплавкого порошков. Первый обеспечивает износостойкость наплавленного слоя, второй служит пластической основой, которая обеспечивает сплавление с основным материалом и связь частиц тугоплавкого порошка между собой. Расплавление частиц тугоплавкого порошка может привести к его растворению в легкоплавком расплаве: образуется хрупкий сплав, качество наплавки ухудшится. Процесс стали вести модулированным током, периодически понижая силу сварочного тока. Это позволило уменьшить перегрев порошков, но опасность растворения тугоплавкого компонента осталась.

#### *Решение*

1. Определяем недостаток заданного объекта и его причину. Ухудшение качества (охрупчивание) наплавленного слоя происходит в результате оплавления тугоплавкого порошка и растворения его в расплаве легкоплавкого порошка. Оплавление порошка тугоплавкого компонента происходит от перегрева его дугой во время импульса сварочного тока.

2. Формулируем АП: нужно получить износостойкий наплавленный слой на пластичной основе, как – неизвестно.

Анализируем АП. Если вводить в зону дуги порошки легкоплавкого пластичного металла и тугоплавкого металла, то из расплава легкоплавкого металла на поверхности обрабатываемой детали можно получить пластичную основу, в которой будут распределены частицы тугоплавкого порошка, обеспечивающие износостойкость. Но в дуге тугоплавкие частицы перегреваются и оплаваясь частично растворяются в легкоплавкой основе, охрупчивая её. Модуляция сварочного тока уменьшает перегрев тугоплавких частиц, но полностью не устраняет его.

3. Формулируем техническое и физическое противоречия.

ТП : Получить износостойкий наплавленный слой можно, если в зону дуги, питаемой модулированным током вводить смесь порошков легкоплавкого и тугоплавкого металлов, однако тугоплавкий порошок в зоне дуги перегревается и, растворяясь, охрупчивает основу наплавленного слоя.

Отсюда ФП : Тугоплавкий порошок в зоне дуги должен быть и его не должно быть.

4. Выбираем простейшее преобразование и приём, которым можно преодолеть это ФП. Поскольку согласно ФП тугоплавкий порошок в зоне дуги должен быть и его не должно быть, предположим, что его подачу можно разделить во времени. Тогда может быть полезен приём: “Сделать действие прерывистым”. Учитывая, что ток дуги модулируют, может также подойти приём: “Использовать паузы между импульсами действия для другого действия” (см. прил. 1).

5. Решаем задачу, применив выбранные приёмы. Будем подавать порошки отдельно, так чтобы во время импульса сварочного тока подавался только легкоплавкий порошок. По мере уменьшения тока количество легкоплавкого порошка будем уменьшать и начнём подавать тугоплавкий порошок, постепенно увеличивая его количество. Тогда основная часть тугоплавкого порошка будет подаваться в зону дуги и в сварочную ванну, когда мощность дуги минимальна, перегрева и оплавления тугоплавких частиц не будет. Мы разделили во времени подачу каждого порошка в их смеси. Концентрация порошков в смеси стала переменной, модулированной. Непрерывный процесс подачи смеси порошков с неизменной концентрацией заменён импульсным, причём во время паузы между максимальными значениями тока дуги подаётся основное количество тугоплавкого порошка. Применены оба выбранных приёма.

6. Доказываем, что полученное решение преодолевает ФП. Тугоплавкого порошка в зоне горения дуги при её большой мощности нет. Но он есть при малой мощности дуги, что исключает его перегрев. ФП преодолено: тугоплавкого порошка в зоне горения дуги нет, но он есть.

#### 2.6.4. Задания М 5

М 5.1. Детали из нержавеющей стали паяют припоем на основе меди. Диффузия элементов припоя в основной металл паяемых деталей уменьшает прочность паяных соединений.

М 5.2. При сварке плавлением тонкостенных листов встык при большой длине стыка по мере движения источника тепла в листах

накапливаются термические напряжения. В результате листы деформируются.

М 5.3. Припой в виде порошка смешивают с флюсом и со связующим веществом, закладывают смесь в пресс-форму и производят прессование пластин. Каждую пластину в отдельности прессовать трудно. Прессовать сразу толстый брикет, а потом разрезать его быстрее, но полученные таким образом пластинки при резке крошатся.

М 5.4. Нужно сварить между собой две детали встык сваркой плавлением. Толщина стыкуемых кромок — 3 мм. Детали выполнены из разнородных материалов. Эти материалы в контакте друг с другом при температуре на 30% ниже температуры плавления наиболее легкоплавкого из них образуют хрупкую эвтектику, при сварке шов трудно формируется и растрескивается.

М 5.5. Тонкостенная оболочка колбы термоса из нержавеющей стали имеет два одинаковых кольцевых шва. Хорошее качество соединений получается при сварке импульсной дугой неплавящимся электродом в среде аргона. Но этот способ имеет низкую производительность. Надо увеличить производительность, не меняя режимов сварки. Допускается лишь незначительное увеличение стоимости оснастки и оборудования.

М 5.6. Плавленный флюс, содержащий оксиды фосфора, марганцевый и рутиловый концентраты, приготавливают, производя совместную плавку компонентов в печи. Более тугоплавкие концентраты требуют длительного времени для плавления. За это время оксиды фосфора частично разлагаются и загрязняют фосфором флюс.

М 5.7. Термореактивный клей состоит из двух компонентов, которые смешивают перед склеиванием. Но после смешивания компонентов сразу же начинается процесс твердения, свойства клея меняются, малейшая задержка нанесения его на соединяемые кромки ухудшает качество соединения. Часть клея, которую за время твердения не успели нанести на склеиваемые детали, становится непригодной.

М 5.8. Для электронно-лучевой сварки изделий большой длины (например, оболочки бесконечного кабеля) требуются вакуумные камеры больших размеров и мощные вакуумные системы. Это дорого,



а иногда вообще трудно выполнимо. Если вынести луч в атмосферу, то теряется его мощность настолько, что сварка может стать невозможной. А с точки зрения качества соединения особенно активных металлов ЭЛС выгодна и в некоторых случаях незаменима.

М 5.9. Диффузионная сварка в вакууме позволяет получать сварные соединения металлических деталей с керамическими. Однако из-за большой разницы коэффициентов линейного расширения металла и керамики в процессе эксплуатации в соединении появятся напряжения, которые могут разрушить соединение.

М 5.10. При контактной точечной сварке уже в начале импульса сварочного тока неровности в контакте деталь – деталь под действием сварочного давления сминаются, сопротивление контакта уменьшается, тепло в течение импульса тока выделяется за счёт соприкосновения столбика металла деталей между электродами, сварное ядро образуется в контакте деталей. Ядро формируется медленно, бесполезно нагревается большая масса металла, образуются большие вмятины от электродов на поверхностях деталей, ядро имеет размеры больше, чем это нужно для обеспечения соединения деталей. Короткий импульс при большой силе тока обеспечивает лишь частичное схватывание отдельных участков поверхности контакта деталь – деталь.

М 5.11. При электрошлаковой сварке пластинчатым плавящимся электродом необходимо легировать металл шва так, чтобы количество легирующего элемента по длине шва периодически изменялось. Попытка засыпать порошок легирующего элемента в шлаковую ванну отдельными порциями с помощью дозатора не удалась: порошок проходит к металлу через перемешивающуюся шлаковую ванну и распределяется в шлаке неравномерно. Кроме того, из шлака легирующий элемент усваивается металлом медленно, разделения легированных слоёв в шве не получается.

М. 5.12. При сварке тонких листов их кромки собирают на балке и закрепляют сверху прижимами. Чтобы обеспечить защиту обратной стороны шва, в балке делают канавку, которую заглушают по торцам и подают в неё при сварке защитный газ. Однако это ведёт

к большому расходу газа. Нужно его уменьшить, сохранив качество защиты обратной стороны шва.

М 5.13. При лужении внутренней поверхности змеевика сложно ввести внутрь припой. Если в трубку, не свёрнутую в змеевик, ввести припой, облудить её поверхность, а затем навить змеевик, возможно растрескивание покрытия.

М 5.14. При дуговой сварке изделий с двумя одинаковыми, например кольцевыми, швами применяют для повышения производительности процесса сварки две горелки, с помощью которых оба шва сваривают одновременно. Но при этом требуются два источника питания сварочной дуги, что увеличивает капитальные затраты.

М 5.15. Для пайки изделий с широкими зазорами применяют специальные припои. Обычно они представляют собой смесь двух порошков: тугоплавкого и легкоплавкого. Но наносить такой припой и фиксировать его в зоне пайки при сборке трудно, требуется полимерная связка, дозирующее устройство и т.д., так как зазор может быть более 1 мм.

М 5.16. При сварке трением торцы деталей часто не совпадают по плоскости. В результате в процессе сварки их разогрев и деформация могут быть не одинаковыми в различных участках торцов, что может приводить к образованию местных непроваров, ухудшается качество сварных соединений.

М 5.17. При сварке импульсной дугой для стабилизации повторных зажигания сварочной дуги между электродом и изделием зажигают непрерывно горящую маломощную дугу, которая стабилизирует дуговой промежуток. Но для её питания нужно устанавливать дополнительный источник тока, что удорожает сварочное оборудование.

М 5.18. При газопламенной наплавке в пламя горелки подают через сопло порошок наплавляемого материала. Пламя нагревает поверхность изделия и оплавляет частицы порошка, которые образуют на поверхности детали наплавленный слой. Однако часть порошка распыляется в стороны и теряется. Это ведёт к увеличению расхода порошка.

М 5.19. Сварка импульсной дугой неплавящимся электродом в среде аргона обеспечивает уменьшение сварочных напряжений и деформаций, улучшает формирование сварного шва. Однако при соединении встык листов толщиной 5...12 мм, например из титановых сплавов и нержавеющей сталей, требуется большая величина сварочного тока в импульсе, чтобы получить сквозное проплавление в каждой точке. Процесс проплавления кромок деталей идёт медленно, тепла расходуется много. Увеличиваются термические напряжения и деформации деталей — преимущества сварки импульсной дугой утрачиваются. Хорошие результаты импульсная дуга обеспечивает при проплавлении таких листов на 60...65%. Но шов должен быть проварен полностью.

М 5.20. При контактной сварке тонкостенных деталей или тонких деталей с толстыми применяют жёсткие режимы сварки, устанавливая длительность импульса сварочного тока меньше 0,02 с. Но при такой длительности импульса происходит подплавление поверхности детали по периферии контакта электрод — деталь, появляются выплески, могут быть прожоги. Это вызвано неравномерностью плотности тока в сечении электрода: в центральной его части плотность тока меньше, на периферии контакта с деталью из-за этого тепла выделяется больше. При мягких режимах тепло успевает отводиться от зон нагрева, при жёстких образуются дефекты. Можно было бы уменьшить диаметр электрода, но это увеличит его износ, уменьшит стойкость его при сварочном давлении.

М 5.21. Теплообменники изготавливают из листов и помещённых между ними гофрированных пластин. Соединяют листы с пластинами диффузионной сваркой. Однако при толщине пакета более 10 слоёв он плохо прогревается, возможны непровары. Место непровара при гидроиспытаниях трудно обнаружить.

М 5.22. При контактной точечной сварке о качестве сварной точки можно судить по величине тока шунтирования через ядро точки. Для этого на поверхность детали по краям сваренной точки устанавливают два игольчатых электрода и пропускают по ним постоянный ток, а с обратной стороны сварного соединения в таких же точках устанавливают два щупа, подключают их к амперметру

и измеряют величину тока шунтирования через точку. По величине этого тока судят о размерах сварного ядра. Однако при использовании этого способа для активного контроля в процессе сварки магнитное поле сварочного тока вызывает наводки в измерительной цепи, которые искажают результаты измерения.

М 5.23. Горелка для ручной дуговой сварки в защитных газах снабжена рукояткой. Для сварки в труднодоступных местах (например, внутри криволинейного патрубка малого диаметра) нужна длинная рукоятка, чтобы можно было достать до свариваемого стыка, но кривизна мешает введению рукоятки внутрь детали.

М 5.24. Мундштук горелки для дуговой сварки плавящимся электродом должен обеспечивать подвод тока к электродной проволоке и направлять её к стыку свариваемых деталей. Но конец мундштука быстро истирается, могут быть замыкания его на изделие, что быстро выводит мундштук из строя. Кроме того, конец мундштука может оплавляться, нагреваясь от дуги.

М 5.25. Элементы микросхем нельзя нагревать выше 200°C, так как они при этом выходят из строя. Пайку этих элементов производят лазерным лучом, им можно точно дозировать энергию и нагревать до температуры пайки ( $\approx 400^\circ\text{C}$ ) только зону соединения очень малых размеров. Но при таком нагреве микросхема подвергается резкому термическому удару, в ней мгновенно возникают напряжения, в местах пайки её материал может разрушиться.

М 5.26. Для контроля качества сварных соединений при точечной сварке используют акустическую эмиссию — излучение кристаллизующимся металлом сварного ядра звуковых колебаний. По характеру акустической эмиссии можно судить о размерах ядра и о возникновении в нём дефектов типа выплесков и трещин. Но сигнал о размерах ядра образуется от растущих кристаллитов на высоких частотах, а выплески и трещины генерируют низкочастотные колебания. Их наложение создаёт шум, не позволяющий определить отдельно показатели качества.

М 5.27. При сварке пластмассовых конструкций возникает необходимость соединять детали из термопластов, обладающих раз-

личной температурой плавления или размягчения. Сварку производят струёй горячего воздуха, подаваемого от нагревателя через сопло. При этом одна из деталей перегревается, другая нагревается недостаточно. Ухудшается качество сварного шва.

М 5.28. Предложен припой для пайки жаропрочных сталей. Основа припоя – никель. Оказалось, что температура пайки этим припоем 960°C. Если деталь полностью очищена от окислов, то достаточно 5 минут, чтобы образовалось паяное соединение. Но чтобы удалить окислы, надо предварительно нагреть деталь до 926°C в вакууме. Полностью окислы удаляются в этих условиях примерно за 1 час. При температуре пайки происходят структурные превращения в металле детали, которые снижают свойства металла. Чтобы их восстановить, нужна термообработка при температуре 950°C с выдержкой при этой температуре  $\approx 0,5 \dots 0,6$  часа, а затем медленное охлаждение до комнатной температуры.

М 5.29. При сварке тонких листов лазерным лучом можно получать узкий шов с хорошим качеством соединения. Однако для этого нужна очень тщательная подгонка кромок стыкуемых листов, что увеличивает трудоёмкость процесса. Если луч расфокусировать и увеличить тем самым пятно нагрева, то кромки, оплаваясь с поверхности, хорошо заполняют зазор жидким металлом. Требования к подготовке кромок можно снизить. Но при этом может возникнуть непровар. Сфокусированный луч обеспечивает проплавление, но увеличивается вероятность прожога из-за местных зазоров.

М 5.30. Дугу при сварке в защитных газах зажигают с помощью высокочастотного разряда высокого напряжения. Для этого один полюс источника тока высокой частоты подключают к сварочному электроду, другой – к изделию. Но при этом происходит утечка высокочастотного тока с поверхности провода сварочного контура, теряется мощность, искровой разряд плохо возбуждается, дуга зажигается нестабильно.

М 5.31. При сварке плавящимся электродом толстолистовых деталей с разделкой кромок и без неё, как правило, не удаётся проварить полностью шов за один проход. Поэтому применяют много-

проходную сварку, что приводит к увеличению трудоёмкости процесса сварки.

М 5.32. При изготовлении электродов для ручной дуговой сварки на стержень из стали наносят обмазку. Затем электроды сушат в печи при температуре более 100°C. При этом обмазка быстро нагревается, связующее в её составе (жидкое стекло) испаряется, могут возникать раковины, поры в обмазке. Большая скорость нагрева вызывает в высыхающей обмазке термические напряжения – могут возникать трещины. Если нагрев в печи производить медленно, дефектов не будет, но резко увеличится трудоёмкость сушки или затраты на оборудование: нужно будет несколько печей.

М 5.33. При стыковой контактной сварке оплавлением нужен сварочный ток большой силы. Если при этом длительность импульса тока будет малой (жёсткий режим), то металл в зоне сварки перегреется, увеличится выплеск, что увеличит расход металла детали и ухудшит условия труда. Если импульс увеличить, соответственно уменьшив ток (мягкий режим), то за счёт теплопроводности нагреются детали на всей длине их вылета и будут нагреваться электроды – губки машины, увеличится бесполезный расход энергии.

М 5.34. При пайке сплавов алюминия применяют припои на основе алюминия с добавками кремния и магния. Чем больше в припое кремния, тем он лучше смачивает поверхность алюминиевой детали, но при этом уменьшается прочность припоя, а следовательно и паяного соединения. Если уменьшить содержание кремния, то прочность припоя повысится, но качество соединения будет хуже, возможны непропаи.

М 5.35. При сварке под водой можно применять лежачий электрод. Чтобы защитить электрод и зону сварки от окружающей воды, электрод закрывают теплоизолирующей оболочкой из самотвердеющего материала, например, цементного раствора. Однако под водой операцию создания оболочки выполнять трудно: велика трудоёмкость и может быть низким качество оболочки.

М 5.36. При дуговой сварке прерывистым швом или отдельными точками дугу переводят от шва к шву на маршевой скорости, зна-

чительно превышающей скорость сварки. Отпадает необходимость гасить дугу и вновь зажигать её на каждом шве или точке. Однако на участке между швами остаётся след дуги, что снижает качество свариваемого изделия. Если ещё увеличить маршевую скорость, трудно будет остановить дугу точно в начале следующего шва.

М 5.37. При диффузионной сварке цилиндрических деталей на свариваемых поверхностях выполняют резьбу, детали свинчивают, обеспечивая прилегание поверхностей друг к другу созданием натяга. Затем зону соединения нагревают до температуры сварки и выдерживают при этой температуре. Но в процессе нагрева детали, расширяясь, будут пластически деформироваться, натяг ослабевает, может быть непровар.

М 5.38. При контактной роликовой сварке деталей толщиной менее 0,3 мм с массивными деталями обнаружено, что первая точка имеет сплошное ядро, а все последующие точки – ядро в виде тороида по периферии контакта, причём объём расплавляемого металла последующих точек в 3...5 раз меньше, чем у первой точки. Качество шва ухудшается, возможны непровары. Увеличение силы тока ведёт к выплескам и прожогам, увеличение длительности импульса смещает ядро внутрь массивной детали, образуется непровар.

М 5.39. При сварке кольцевых и продольных стыков обечаек изнутри применяют установку, состоящую из тележки, перемещаемой по рельсам вдоль оси обечайки, закреплённой на тележке штанги и установленной на конце штанги сварочной головки. При сварке обечаек различных размеров нужны штанги разной длины. Замена их трудоёмка, набор штанг надо где-то хранить.

М 5.40. Для повышения прочности поверхности детали производят наплавку на эту поверхность. Вначале возбуждают дугу и создают ванну расплавленного металла, затем в кристаллизующийся металл хвостовой части ванны вводят частицы твёрдого сплава. Но холодные частицы, попадая в жидкий металл, резко охлаждают его, металл быстро кристаллизуется и часть твёрдых частиц не соединяется с металлом шва, попадая на уже затвердевшую поверхность. Упрочнённый слой получается тонким и быстро изнашивается.

М 5.41. Металлокерамические контакты, представляющие собой композиции из серебра с никелем, графитом, окислами кадмия и меди, надо сваривать с пластинами из бронзы. Лучше всего это делать с помощью контактной точечной сварки. Соединение получается, если на соединяемые поверхности предварительно нанести подслои из серебра, никеля, железа или их сочетаний. Для обеспечения высокого качества в материал подслоя нужно ввести вольфрам в количестве не более 5% массы подслоя. Однако специальный сплав для подслоя изготавливать трудно. Тонкую пластинку из вольфрама изготовить также трудно из-за его хрупкости.

М 5.42. Телескопическое соединение труб можно с высокой производительностью получать с помощью импульсного магнитного поля. Для этого собранное телескопически соединение труб помещают в индуктор, через который пропускают мощный импульс тока. В результате наружная труба резко обжимает конец внутренней трубы, образуется сварное соединение, так же как при сварке взрывом. Однако если надо соединить стальную трубу с алюминиевой, большая разница в пластических свойствах ухудшает качество соединения.

М 5.43. При дуговой сварке для защиты лица сварщика применяют щитки или маски со светофильтрами. Но брызги расплавленного металла, пары и аэрозоли, образующиеся в процессе сварки, быстро покрывают поверхность светофильтра. Ухудшается видимость, светофильтры надо чистить или менять.

М 5.44. Поверхность стальных листов можно зачищать с помощью электрической дуги. Для этого оплавливают тонкий слой поверхности и удаляют его, например, струёй воздуха. Чтобы ширина оплавленного за один проход участка поверхности была больше, дугу колеблют поперёк направления её движения по обрабатываемой поверхности. Это увеличивает производительность процесса. Для упрощения оборудования колебания дуги производят с помощью периодически изменяемого магнитного поля. Выдувать из-под дуги жидкую прослойку с загрязнениями можно тоже магнитным полем, при этом снижается шум и упрощается оборудование. Однако для колебаний дуги поле должно быть поперечным относительно



но оси дуги, а для выдувания металла — продольным. Если ставить два соленоида — усложнится установка.

М 5.45. При сварке в инертных газах (в аргоне и особенно в гелии) для зажигания дуги нужно повышенное напряжение холостого хода источника сварочного тока. При стандартном напряжении (40...60 В), обеспечивающем безопасность работы, дуга плохо возбуждается. Активные газы имеют более низкий потенциал ионизации, в их среде дуга возбуждается лучше. Но в этих газах нельзя сваривать активные металлы.

М 5.46. Для контроля формирования сварного шва при дуговой сварке измеряют температуру точки поверхности свариваемой детали в зоне термического влияния. Если температура становится больше или меньше заданного диапазона её значений, то соответственно уменьшают или увеличивают силу сварочного тока. Измерения ведут радиационным бесконтактным термометром. Но на точность измерений сильно влияет излучение дуги.

М 5.47. Температура плавления алюминия и свариваемых алюминиевых сплавов 660...560°C. Поверхность их всегда покрыта окисной плёнкой  $Al_2O_3$ , температура плавления которой 2050°C. На поверхности свариваемых кромок вблизи стыка деталей окисную плёнку легко разрушить в процессе дуговой сварки на переменном токе в результате катодного распыления. Но при сварке толстых листов встык поверхность торцов стыкуемых кромок для катодного распыления недоступна, дуга в зазор не проникает. Разделка кромок со стороны дуги обеспечит доступ дуги внутрь стыка и катодную очистку торцов от окисной плёнки, но тогда потребуется многопроходная сварка для заполнения разделки, что повысит трудоёмкость процесса и ухудшит качество соединения.

М 5.48. На острую кромку тонкостенной детали надо наплавить слой износостойкого металла. Это можно сделать, расплавляя на этой кромке присадочную проволоку сварочной дугой. Но кромка при этом перегревается, оплавляется неравномерно, наплавленный слой формируется плохо. Улучшить его формирование можно, если под сварочной ванной установить охлаждаемый кристаллизатор, но в этом случае возможны переохлаждение сварочной ванны и её

преждевременная кристаллизация. Формирование наплавленного металла также ухудшится.

М 5.49. Порошковая проволока или лента при дуговой сварке позволяет повысить качество наплавленного слоя и производительность труда. Шихта, помещённая в металлическую оболочку, содержит компоненты, повышающие стабильность горения дуги, обеспечивающие выделение газов, защищающих зону сварки от воздуха, позволяющие легировать и раскислять металл шва. Эти компоненты содержатся в оболочке в виде порошка. В процессе наплавки при плавлении оболочки шихта высыпается, часть её, не успевая расплавиться, распыляется, загрязняет атмосферу, ухудшая условия работы сварщика и увеличивая непроизводительный расход дорогостоящих компонентов. Предупредить распыление порошка шихты можно, если при изготовлении проволоки нагреть её до температуры спекания шихты (1200...1300°C), но тогда проволоку практически невозможно свернуть в бухту и сложно подавать в зону сварки — она становится негибкой.

М 5.50. Производительность дуговой сварки плавящимся электродом можно увеличить, если применить присадочный материал в виде полосы или проволоки большого диаметра. Поскольку такой материал трудно подавать в зону сварки, лучше уложить его на стык деталей перед сваркой и прижимать к стыку роликом. Но большая масса присадочного материала затруднит нагрев кромок деталей, потребуется увеличивать мощность дуги, что изменит характер плавления электродного металла и может отрицательно сказаться на формировании шва. Лучше было бы подогревать присадочный материал. Это можно сделать, пропуская через него ток от сварочного или дополнительного источника. Но присадочный материал контактирует с металлом свариваемых кромок. Ток пойдёт через деталь, нагрева присадочного материала практически не будет.

М 5.51. При дуговой наплавке на поверхность массивной стальной детали ток от электрода течёт к точке токоподвода на детали через ближнюю к этой точке кромку сварочной ванны больше, чем через дальнюю. Электромагнитное поле в околосварочном пространстве становится асимметричным, дуга отклоняется в сторону



меньшей напряжённости магнитного поля к дальней от точки токоподвода кромке сварочной ванны, формирование шва нарушается, могут возникнуть подрезы, поверхность наплавленного валика становится неровной. Можно было бы устранить асимметрию магнитного поля дуги, вводя со стороны, в которую отклоняется дуга, дополнительное магнитное поле от специального соленоида, но это усложнит оборудование.

М 5.52. На тонкую кромку можно наплавить износостойкий материал сжатой дугой, подавая наплавляемый материал в виде порошка через струю дуговой плазмы. Однако в процессе наплавки жидкий металл из ванны под действием давления плазменной струи стекает с кромки детали, формирование наплавляемого слоя ухудшается. Если сдвинуть плазматрон от кромки в сторону детали, то давление дуги будет сосредоточено в стороне от кромки, формирование наплавленного слоя улучшится, но тогда будет недостаточной защита сварочной ванны от воздуха, так как сдвинется в сторону и струя защитного газа.

М 5.53. Медь можно наплавлять на сталь с помощью электрической дуги, горящей в аргоне с неплавящегося электрода. Это обеспечивает высокую производительность процесса и хорошее качество наплавленного слоя. Но при дуговой наплавке происходит оплавление поверхности стальной детали. По границам зёрен стали образуются легкоплавкие ( $T_{пл} = 1094^{\circ}\text{C}$ ) медистые прослойки, которые способствуют образованию межкристаллитных горячих трещин. Устранить опасность возникновения таких межзёренных прослоек можно, если ввести в медь до 20...30% марганца (наплавлять марганцевую бронзу). Марганец увеличивает взаимную растворимость меди и железа на стадии пограничной диффузии меди в сталь, межзёренных прослоек и горячих трещин не будет. Но марганцевая бронза имеет низкую по сравнению с медью электропроводность и в тех случаях, когда наплавленный слой предназначен для обеспечения хорошего электрического контакта, неприменима.

М 5.54. При дуговой сварке листовых деталей встык одновременно с выполнением сварного шва давят роликом на хвостовую часть ванны. Это позволяет уменьшить сварочные деформации.

Наиболее полно эти деформации устраняются, если глубину проплавления кромок обеспечивать не более 0,6...0,8 их толщины. Но при этом стык не будет проплавлен полностью. Если наложить с обратной стороны второй шов после выполнения первого, то эффекта от обработки первого шва роликом не будет, второй шов вновь вызовет деформации.

М 5.55. Чтобы повысить качество наплавляемого слоя, уменьшив в нём долю основного металла обрабатываемой детали, нужно наклонить плавящийся электрод по направлению наплавки на угол 5...75° к поверхности детали и увеличить силу сварочного тока. Но поверхность наплавки получается неровная. Лучше формируется поверхность наплавленного слоя, когда электрод расположен перпендикулярно наплавляемой поверхности, но тогда в наплавленном слое может увеличиться доля основного металла.

М 5.56. При высокотемпературной пайке тугоплавких металлов на поверхность деталей предварительно наносят покрытие из материала, хорошо смачиваемого припоем. Затем в зоне соединения деталей размещают припой и производят нагрев деталей до температуры пайки. Однако при температуре близкой к температуре пайки покрытие интенсивно испаряется, что ухудшает качество соединения. Если нагревать детали с большой скоростью, покрытие не успевает испариться в опасном количестве, но тогда детали не успевают одинаково прогреться во всех сечениях, что может привести к их деформации и также ухудшит качество соединения.

М 5.57. Если сваривать плавлением тугоплавкие металлы со сплавами на основе железа (например, молибден со сталью), то сталь легируется тугоплавким металлом, образуются закалочные структуры. Резко понижается пластичность металла шва, повышается склонность к холодным трещинам. С железными сплавами хорошо сваривается ниобий, который так же, как и другие тугоплавкие металлы, хорошо смачивается медью.

М 5.58. Металлическое покрытие на поверхности детали можно получать, если в электрическую дугу, горящую между двумя неплавящимися электродами, подавать проволоку из материала покрытия, а расплавленный металл этой проволоки распылять и переносить на по-

верхность обрабатываемой детали струёй газа (например, сжатого воздуха). Но если капли металла сильно разгоняются струёй газа, то часть их может отражаться от обрабатываемой поверхности, что уменьшит производительность процесса. Уменьшение давления газа ухудшит качество покрытия: капли наносимого материала успеют охладиться в потоке газа, ухудшится их сцепление с поверхностью детали. Поддерживать постоянным оптимальное давление газа трудно.

М 5.59. При дуговой сварке плавящимся электродом трудно точно установить скорость подачи электрода равной скорости его плавления. Обычно процесс ведут за счёт саморегулирования длины дуги: случайное увеличение длины дуги ведёт к уменьшению силы сварочного тока (так как увеличивается сопротивление дуги), в результате уменьшается скорость плавления электрода и увеличивается длина дуги. Наоборот, при случайном уменьшении длины дуги сила тока и скорость плавления электрода увеличатся, длина дуги уменьшится. Но этот процесс неуправляемый, нет стабильной периодичности регулирования длины дуги, поэтому формирование шва может быть неравномерным.

М 5.60. На поверхность режущего инструмента из твёрдого сплава или быстрорежущей стали наносят износостойкое покрытие путём осаждения ионов из дуговой плазмы. Это повышает стойкость режущего инструмента. Наилучшие результаты получены при нанесении композиционного покрытия, нижний слой которого состоит из нитрида циркония, средний — из композиционного нитрида титана и циркония, а верхний из нитрида титана. Однако, несмотря на то, что цирконий хорошо соединяется с поверхностью стали или твёрдого сплава, нитрид циркония имеет плохую адгезионную способность по отношению к этой поверхности. Покрытие может отслаиваться, что выводит режущий инструмент из строя.

М 5.61. Отрезные резцы состоят из массивной державки и узкой режущей части. Работает и изнашивается только режущая часть. Весь резец делать из быстрорежущей стали невыгодно. Можно было бы наплавить на режущую часть быстрорежущую сталь, а весь резец сделать из дешёвой конструкционной стали, но обеспечить качественную наплавку на таком малом участке (площадью  $\approx 5 \times 5$  мм) труд-

но. Сложить вместе режущие части нескольких резцов для одновременной наплавки практически невозможно, так как державка в 3...5 раз шире режущей части.

М 5.62. С помощью лазерного луча можно резать металл большой толщины. Для этого соосно лучу в зону реза подают сверхзвуковую струю защитного газа, которая выдувает расплавленный металл из реза. Это позволяет получать глубокий рез малой ширины с чистыми кромками. Струя газа с высоким давлением и скоростью нужна только на ширине реза. Но при этом может быть подсос воздуха внутрь реза и окисление его кромок. Широкая газовая струя устранит этот недостаток, но резко увеличится расход газа.

М 5.63. Изношенные поверхности деталей восстанавливают газотермическим, например плазменным, напылением порошкового износостойкого материала. Но поверхность детали в процессе эксплуатации может изнашиваться неравномерно. Существующими способами напыления наносят слой покрытия одинаковой толщины на всю поверхность детали. Это ведёт к увеличению расхода напыляемого металла, так как на участках поверхности с малой величиной износа часть напылённого слоя приходится убирать.

М 5.64. При автоматической дуговой сварке нужно, чтобы горелка двигалась вдоль свариваемого стыка без участия сварщика. Для этого положение электрода относительно стыка должно регулироваться автоматически. Можно обеспечить такую регулировку, управляя приводом поперечного перемещения сварочной горелки с помощью сигналов фотодатчика, расположенного над стыком. Если электрод, а вместе с ним и фотодатчик отклонится от стыка, освещённость датчика изменится, и на привод будет подан сигнал, включающий перемещение горелки с электродом на стык. Но такой датчик должен быть расположен перед горелкой, а значит будет следить за стыком на значительном расстоянии от электрода. При отклонениях от стыка будет корректироваться положение не электрода, а датчика, что при некоторой кривизне стыка приведёт к смещению сварного шва и к непровару.

М 5.65. Паяльную пасту приготавливают из порошка припоя и тестообразного флюса. Однако флюс при хранении пасты с течени-

ем времени реагирует с припоем. Долго хранить его можно только в охлаждённом состоянии, что ведёт к дополнительным затратам.

М 5.66. В стенке трубы с помощью лазерного луча можно легко вырезать отверстие. Однако луч, проходя сквозь рез, может так же легко прорезать заодно такое же отверстие в противоположной стенке трубы, где оно не нужно.

М 5.67. Прозрачные пластмассовые плёнки толщиной менее 1 мм можно легко и быстро резать лазерным лучом. Однако вырезать каждую заготовку в отдельности трудоёмко, а при резке пакета плёнок вырезаемые заготовки свариваются между собой. Кроме того, через прозрачную плёнку луч проходит, слабо рассеиваясь в ней, что ведёт к большой потере мощности.

М 5.68. Детали из термопластичных материалов хорошо свариваются, если их стык нагревать инфракрасным излучением. Однако перемещение источника излучения (например, проволочного электронагревателя) трудоёмко, особенно если это стык криволинейный. Производительность резко повысится, если нагревать и расплавлять весь стык одновременно. Но большой нагреватель будет вместе со стыком деталей нагревать и оплавливать большую часть их поверхности, что недопустимо.

М 5.69. При сварке трением детали прижимают друг к другу и вращают одну из них до достижения температуры в стыке, достаточной для пластического деформирования металла и образования соединения, после чего усилие сжатия увеличивают, производя осадку. Но в тех случаях, когда соединяемые поверхности деталей несимметричны, их невозможно прогреть известным способом, так как отдельные их участки будут периодически выходить из контакта, поверхности будут нагреваться неравномерно.

М 5.70. Две трубы можно сварить между собой взрывом, если собрать их концы телескопически или надеть муфту на их стыковое соединение. Но в процессе сварки давление взрыва может деформировать внутреннюю трубу — соединение не образуется. Вставить внутрь трубы подкладку нельзя, так как после сварки её невозможно вынуть.

М 5.71. При дуговой наплавке поверхности алюминиевых деталей высокая производительность и возможность легирования наплавленного слоя обеспечивается с помощью плавящегося электрода. Однако процессом переноса электродного металла в сварочную ванну трудно управлять. При сварке с использованием больших токов резко увеличивается доля основного металла в наплавленном слое, что затрудняет получение заданных механических свойств наплавленного металла. При сварке на малых токах имеет место крупнокапельный перенос электродного металла в ванну, что обуславливает неравномерное проплавление основного металла и ухудшает формирование наплавленного слоя. Хорошо формируется проплавление при наплавке неплавящимся электродом, но процесс сварки в этом случае малопродуктивен.

М 5.72. Электрод для контактной шовной сварки — это ролик диаметром 150...250 мм из медного сплава. По периметру ролик заточен на конус с обеих сторон. Контактная поверхность имеет ширину 4...8 мм, а толщина ролика 10...15 мм. По мере загрязнения контактной поверхности ролик перетачивают, его диаметр уменьшается. Когда в результате износа и переточки диаметр ролика уменьшится на 15...20%, ухудшается формирование сварных точек, составляющих шов. Ролик заменяют новым. Но изнашивается только контактная часть, а заменяют весь ролик. Уменьшить толщину ролика до ширины его контактной части нельзя, он может потерять устойчивость и деформироваться сварочным усилием.

М 5.73. Для восстановления или упрочнения крупногабаритных валов можно применять электрошлаковую наплавку, которая обеспечит высокую производительность труда. Однако электрошлаковый процесс требует создания большой сварочной ванны, заключённой между поверхностью детали и водоохлаждаемым ползуном. Для этого нужно вводить много тепла в зону наплавки, что приведёт к глубокому проплавлению поверхности детали и увеличит долю основного металла в наплавленном слое.

М 5.74. Пайку деталей на печатных платах радиоаппаратуры производят волной припоя. Для этого расплавляют припой в ванне и с помощью насоса (например, лопастного) создают струю жид-

кого припоя, образующую на поверхности волну. Над этой волной перемещают печатную плату так, чтобы гребень волны касался её поверхности, на которой расположены выводы деталей, подлежащих пайке. Но насос нужно соединить валом с приводом, который не может быть помещён в ванну. Вводить вал через стенки или дно ванны сложно — требуются уплотнения, способные работать в контакте с жидким припоем. Через поверхность припоя вал привода вводить тоже неудобно, он будет мешать пайке или потребует увеличения поверхности (а значит, и объёма) ванны.

М 5.75. Инструменты (например, формы для литья, штампы) удобно наплавлять с помощью лазерного луча, обеспечивающего хорошие механические свойства наплавленного слоя. Для этого на обрабатываемую поверхность газовой струёй через сопло подают порошок наплавляемого материала и одновременно оплавливают его лучом. Однако так трудно получить наплавленный слой большой толщины, порошок раздувается газовой струёй, наплавленный слой получается неравномерным по толщине.

М 5.76. При рельефной контактной сварке достигается высокая производительность процесса и стабильное качество сварных соединений. Но в случае когда свариваются детали из малопластичных материалов, изготовление на них рельефа практически невозможно ни штамповкой, ни резанием, так как эти материалы плохо обрабатываются.

М 5.77. При контактной точечной или роликовой сварке электроды сближаются друг с другом под действием сварочного усилия. Это создаёт опасность для сварщика: его рука может случайно попасть между электродами. Если уменьшить усилие на электродах так, чтобы оно стало безопасным, тогда не будут обеспечены условия, необходимые для образования сварного соединения.

М 5.78. Импульсная дуговая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов обеспечивает хорошее проплавление стыка стальных и алюминиевых деталей толщиной 5...6 мм за один проход без разделки кромок. Капля электродного металла сбрасывается в сварочную ванну электродинамическими силами при резком увеличении силы сварочного тока во время импульса. Это увеличивает

глубину проплавления, сварку можно производить в любом пространственном положении. Но при этом металл ванны расплещивается, образуются подрезы и грубая чешуйчатость на поверхности шва. Этих дефектов можно избежать, если уменьшить ток в импульсе, но тогда уменьшится и проплавливающая способность дуги.

М 5.79. Дуговую сварку толстых листов встык ведут по узкой щелевой разделке, которая представляет собой увеличенный зазор между стыкуемыми кромками. Неплавящийся электрод опускают в разделку, зажигают дугу, подают присадочную проволоку и производят сварку. Чтобы дуга равномерно прогревала обе кромки, рабочий конец электрода отгибают на 90° и в процессе сварки вращают электрод. Дуга периодически переходит с одной кромки на другую, равномерно нагревая их, но усложняется оборудование: требуется привод вращения, становится более сложной сварочная головка.

М 5.80. Нитрид титана, образующий износостойкое покрытие, можно нанести на поверхность детали с помощью ионно-плазменного напыления. Для этого вначале очищают поверхность детали ионной бомбардировкой, одновременно разогревая поверхность до 450...500°С. Затем на очищенной поверхности формируют покрытие, осаждая на ней ионы плазмы с титанового катода, пропуская их через газ-реагент, в котором образуется нитрид титана. После этого поверхность детали охлаждают. Чтобы получить работоспособный слой покрытия, требуется длительное время. Пребывание детали при высокой температуре в течение такого времени может отрицательно повлиять на её структуру и свойства, а также вызвать её коробление, что ухудшит качество покрытия.

М 5.81. Некоторые материалы плохо смачиваются известными припоями на основе меди или олова. Это затрудняет их пайку. Хорошо смачиваются эти материалы при температуре около 60°С легкоплавкими эвтектическими сплавами висмута, индия, олова, кадмия, свинца. Но эти сплавы имеют низкие механические свойства, паяные ими соединения получаются непрочными.

М 5.82. При дуговой сварке в защитном газе крупногабаритных изделий с большим числом коротких швов часто происходят перемены в горении дуги, которые необходимы для перехода от одного

шва к другому. Во время перерывов нет необходимости в подаче защитного газа с тем расходом, который нужен для защиты шва. В результате значительная часть газа расходуется зря. Выключать подачу газа кнопкой, установленной на горелке, сварщику неудобно, при частой необходимости в выключении сварщик может забыть это сделать или пренебречь необходимостью выключения газа. Кроме того, полное отключение газа потребует перед началом нового шва времени на продувку шлангов для вытеснения попавшего в них воздуха.

М 5.83. При дуговой сварке встык толстых листов по узкой разделке (широкому зазору) нужно регулировать положение конца электрода, опущенного в зазор, относительно свариваемых кромок, чтобы обеспечить равномерное их оплавление. В то же время необходимо следить за длиной дуги, чтобы обеспечить своевременный подъём электрода перед началом следующего прохода. О положении электрода относительно кромок можно судить по величине напряжения дуги, горящей между электродом и одной из кромок детали, и в зависимости от этой величины перемещать электрод поперёк стыка, перебрасывая дугу на другую кромку. О положении электрода относительно предыдущего прохода можно судить по напряжению дуги, горящей между поверхностью предыдущего шва, и при определённом значении этого напряжения перемещать электрод вверх на высоту, равную толщине предыдущего прохода. Однако эти сигналы отделить друг от друга невозможно.

М 5.84. Вакуумную пайку проводят в герметичной камере, из которой откачивают воздух. Чтобы экономить время на вакуумирование рабочей камеры, её снабжают шлюзовой камерой меньшего объёма. Подготовленное к пайке изделие помещают в шлюзовую камеру, герметично закрывают её и вакуумируют, затем открывают переходный люк между шлюзовой и рабочей камерами, вводят изделие в рабочую камеру и производят пайку. Во время пайки шлюзовая камера простаивает. Затем паяное изделие вновь вводят в шлюзовую камеру, переходный люк закрывают, изделие извлекают из шлюзовой камеры. В течение этого времени и времени, необходимого для ввода нового изделия в шлюзовую камеру и для её вакуумирования, простаивает рабочая камера.

М 5.85. Сварку полиэтиленовых плёнок производят, зажимая свариваемый участок между двумя губками, в одну из которых встроены нагревательный элемент. Он выполнен в виде отрезка проволоки, концы которого подключены к источнику тока. Но к поверхности металлической проволоки прилипают частицы оплавленной плёнки, нагревательный элемент загрязняется, сварной шов становится неровным, возможны местные непровары. Плёнка не налипает на керамику, основой которой является  $\text{SiO}_2$ , но керамика не электропроводна и нагревательным элементом служить не может.

М 5.86. При пайке изделий с большими зазорами или при необходимости увеличения прочности паяного шва в припой добавляют порошок металла, обладающего высокой прочностью и температурой плавления большей, чем у припоя. Однако если этот порошок вводить в процессе пайки, он распределится в шве неравномерно. Если заранее расплавить припой, ввести в него порошок, а потом приготовить из этой смеси ленты припоя, то трудно обеспечить равномерность распределения порошка в такой ленте: в расплаве припоя порошок всё время будет осаживаться на дно сосуда с припоем.

М 5.87. Дуговую наплавку ведут в защитном газе плавящимся электродом, который колеблют поперёк направления наплавки, увеличивая ширину наплавляемого слоя и уменьшая в нём долю основного металла. Для упрочнения наплавленного слоя в хвостовую часть сварочной ванны вдоль её оси подают с помощью струи защитного газа порошок присадочного металла. Однако после затвердевания металла сварочной ванны этот порошок распределяется в наплавленном металле неравномерно, полосами вдоль оси каждого валика. Очевидно, что за счёт движения жидкого металла порошок не успевает перераспределиться по всему объёму ванны.

М 5.88. Толстые (>6 мм) листы из меди сваривают сжатой дугой в среде защитного газа (например, аргона или азота). Вследствие большой теплопроводности и теплоёмкости меди процесс идёт очень медленно, требуется вначале прогреть стык и лишь потом начать перемещение сварочной горелки. Сварку ведут при большой силе тока (200...300 А), горелка уже при нагреве кромок перед началом сварки перегревается и быстро выходит из строя.



М 5.89. Для повышения производительности контактной точечной сварки изготовлен быстродействующий пневматический привод сжатия электродов. При его испытаниях оказалось, что общее время сварки одной точки сократилось в два раза. Но высокая скорость перемещения ходовой части машины приводит к удару электрода о деталь, что увеличивает вмятину на поверхности детали и быстро деформирует контактную поверхность электрода. Из-за этого требуется более частая заточка и даже замена электрода.

М 5.90. Установка для электронно-лучевой сварки имеет камеру в виде цилиндрической обечайки, расположенной горизонтально, систему вакуумирования камеры, электронно-лучевую пушку и источник питания. Внутри обечайки проложены рельсы, на которых установлена на колёсах тележка со смонтированным на ней сварочным приспособлением. К тележке прикреплена крышка камеры. После сборки свариваемой детали в приспособлении тележку вкатывают в обечайку, крышку прижимают к торцу обечайки и закрепляют на нём, герметизируя соединение. Затем создают в камере вакуум и производят сварку. Пока вынимают из приспособления сваренную деталь и собирают в нём новую — камера простаивает.

М 5.91. Детали из углеродных материалов (угля, графита) можно паять, помещая между соединяемыми поверхностями фольгу из циркония или ванадия, либо из их сплава. Собранный таким образом блок сжимают между электродами и пропускают через него электрический ток. Детали нагреваются, фольга плавится, после выключения тока образуется паяное соединение. Но при пайке этим способом деталей большой длины трудно обеспечить одинаковые условия нагрева по всей поверхности стыка деталей, стык прогревается неравномерно, возможны местные непропаи.

М 5.92. При дуговой сварке для отсоса дыма и аэрозолей используют установку, включающую в себя отсасывающее устройство с раструбом, закреплённым на гибком трубопроводе, фильтр, компрессор и бачок с пакетами для пыли. Периодически отсасывающее устройство отключают и очищают фильтр от пыли, продувая его воздухом от компрессора. Пыль поступает в бачок и заполняет пакет, который затем удаляют в закрытом виде. Но во время очист-

ки фильтра отсос дыма и аэрозолей не производится, сварщик вынужден прекращать работу.

М 5.93. Концевой режущий инструмент (например, свёрла, метчики и т.п.) изготавливают из двух частей: режущую часть выполняют из быстрорежущей стали, а хвостовик — из дешёвой малоуглеродистой стали. Обе части стыкуют зачищенными торцами и сваривают диффузионной сваркой на воздухе через плёнку консервирующей жидкости, защищающей поверхности от окисления. Прочность соединения повышается, если соединяемые поверхности будут предварительно науглерожены путём нагрева совместно с содержащим углерод веществом. Сваренный инструмент отжигают, механически обрабатывают, затем закаляют и производят отпуск. Все эти операции улучшают свойства инструмента, но увеличивают трудоёмкость его изготовления.

М 5.94. Чтобы наплавить на поверхность стального изделия тугоплавкий металл, можно нанести его в виде порошка на обрабатываемую поверхность и оплавить на ней. Для этого требуется высокая температура, стальная деталь на значительной глубине расплавится. Хороший результат получается с помощью лазерного луча, он обеспечивает возможность локального нагрева до высокой температуры с большой скоростью. Но этот процесс непроизводителен, наплавить им толстый слой тугоплавкого металла сложно.

М 5.95. При сварке каркасных конструкций из труб прямоугольного сечения торец одной из труб стыкуется с поверхностью другой трубы и обваривается по периметру. Швы в этом случае короткие (20...120 мм), сварку ведут вручную, что увеличивает трудоёмкость. Такие швы трудно автоматизировать, автоматизации хорошо поддаются длинные швы. В то же время в серийном производстве общая длина швов на одинаковых узлах составляет несколько сотен метров, стыки деталей в большинстве однотипны.

М 5.96. К поверхности цилиндрической детали прижимают прутки из материала с механическими свойствами, близкими к свойствам материала детали, и вращают деталь. В результате трения механическая энергия переходит в тепловую, поверхности детали и прутка,

нагреваясь, размягчаются и схватываются. Материал прутка наплавляется на деталь. Если усилие прижатия будет небольшим, то деталь и прутки будут долго разогреваться, наплавляемый слой будет ровным, но тонким. В результате производительность процесса будет низкой. Хорошую скорость наплавки можно обеспечить, если усилие прижатия прутка увеличить в три раза от минимального усилия, при котором возможна наплавка. Но при этом поверхность детали сильно оплавляется, что увеличивает долю основного металла в наплавленном. Слой наплавленного металла при этом плохо формируется.

М 5.97. Штампы для холодной штамповки можно ремонтировать дуговой наплавкой изношенных участков порошковой проволокой. Наплавленный слой нужной твердости легко получить подбором состава проволоки и легированием металла ванны через шихту. Но термический цикл наплавки обуславливает малую скорость охлаждения, в зоне термического влияния образуются участки отжига, по границам наплавки могут быть участки с низкой прочностью. Это ухудшает качество рабочей поверхности штампа.

М 5.98. Детали автомобилей из оцинкованных стальных листов можно с высокой производительностью сваривать встык и внахлестку лазерным лучом. Но температура кипения цинка 913°C, при сварке цинк интенсивно испаряется и образует поры в сварных швах.

М 5.99. При дуговой сварке стальных деталей, чтобы не допустить перегрева металла в зоне термического влияния, на ширине этой зоны устанавливают прижимное приспособление, через полости которого пропускают охлажденный газ. С помощью этого приспособления металл в зоне сварки охлаждают до температуры ниже температуры точки росы, после чего зажигают дугу и производят сварку. Это предупреждает перегрев и обеспечивает высокие механические свойства соединения. Однако при такой температуре на поверхности металла перед началом сварки выпадает роса. Влага, испаряясь и разлагаясь при нагреве, образует поры в сварном шве.

М 5.100. При лазерной сварке световой луч от квантового генератора (лазера) через систему зеркал направляют к месту сварки и с помощью линз фокусируют на поверхности свариваемого изделия. В крупносерийном производстве часто бывает нужно несколь-

ких сварочных постов, чтобы обеспечить выпуск заданного количества изделий. Сварочный пост занимает немного места и относительно дешевле. Но технологический лазер — сложная дорогостоящая установка, оснащение каждого поста отдельным лазером резко повысит затраты и потребует увеличения производственной площади.

## 2.7. Задача М 6

### 2.7.1. Содержание задачи М 6

В бюллетене изобретений найти техническое решение, полученное методом вепольного преобразования, и провести анализ этого решения: построить схему вепольного преобразования, определить, какое ФП этим решением преодолевалось, и доказать, что это ФП действительно преодолено.

### 2.7.2. Порядок решения задачи М 6

1. В бюллетене изобретений, в подклассах В23К, В29С, С23С или в других подклассах по тематике своей специальности найти техническое решение, полученное с помощью вепольного преобразования.
2. Определить, какое вещество и какое поле дополнительно введены в объект при решении изобретательской задачи. Если из текста формулы изобретения явно не следует, какое вещество и поле введены вновь, — продолжить поиск.
3. Выписать формулу найденного изобретения с его библиографическими данными, достаточными для поиска первоисточника информации об этом изобретении (его описания к охранному документу).
4. Построить схему вепольного преобразования, с помощью которого получено данное изобретение. Объяснить значения всех символов, составляющих эту схему.
5. Определить формулировку физического противоречия, которое преодолено найденным решением. Для этого провести анализ формулировки технического эффекта изобретения (цели изобретения). Если в формуле изобретения цель не указана, определить технический эффект путём анализа совокупности известных и новых признаков изобретения. Формулировка технического

эффекта указывает на недостаток прототипа найденного изобретения. На основе этой формулировки последовательно определить административное (АП), затем техническое (ТП) противоречие и вывести из последнего физическое противоречие (ФП).  
 6. Доказать, что полученное ФП найденным решением преодолевается. Если доказательство не получается – переделать п. 5.

### 2.7.3. Пример решения задачи М 6

1. В бюллетене изобретений СССР № 14 за 1989 год под рубрикой В23К3/00 находим техническое решение “Датчик контроля момента расплавления припоя”, защищённое как изобретение авторским свидетельством СССР № 1472196.

2. В результате решения в объект найденного изобретения введено вещество: керамическая пластина с металлическим ферромагнитным колпачком и взаимодействующее с этим колпачком электромагнитное поле. Кроме того, на керамическую пластину оказывает воздействие механическое поле пружины, которая также введена вновь.

3. Авторское свидетельство СССР № 1472196 от 7.04.87 г., В23К3/00, Бочкарёв А.Н. и др.

Датчик контроля момента расплавления припоя, содержащий керамическое основание, токоподводы и контрольный припой, отличающийся тем, что с целью расширения технологических возможностей и исключения расхода контрольного припоя он снабжён П-образной скобой, установленной на основании, выполненном в виде резервуара с контрольным припоем, электромагнитным реле, выполненным в виде электромагнита, керамической пластины, электроконтактов, металлического колпачка, один конец керамической пластины шарнирно закреплён на дне резервуара, а другой подпружинен относительно его боковой стенки, электроконтакты закреплены на скобе и на керамической пластине, а металлический колпачок установлен на керамической пластине напротив электромагнита, размещённого на скобе.

4. Строим схему вепольного преобразования, с помощью которого получено данное изобретение (см. прил. 2).

Введём обозначения:  $V_1$  – припой,  $V_2$  – токоподводы,  $V_3$  – керамическая пластина,  $\Pi_m$  – магнитное поле,  $\Pi_{мех}$  – механическое (силовое) поле пружины.

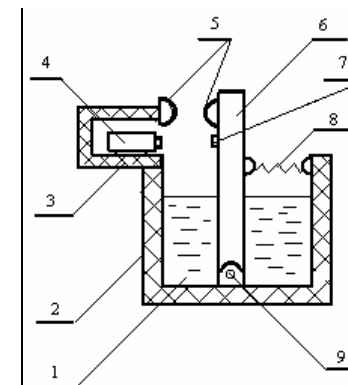
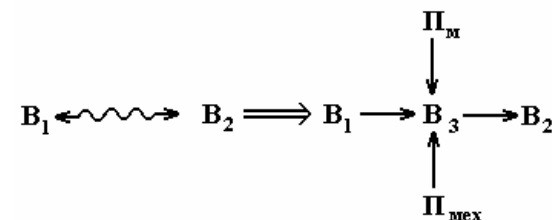


Рис. 6. Схема решения задачи контроля момента расплавления припоя: 1 – припой; 2 – основание; 3 – П-образная скоба; 4 – электромагнит; 5 – электроконтакты; 6 – керамическая пластина; 7 – металлический колпачок; 8 – пружина, 9 – шарнир

По прототипу припой  $V_1$ , расплавляясь, капал на контакты токоподводов  $V_2$  и замыкал их, что служило сигналом о моменте расплавления припоя. Припой, наливая на контакты, расходовался, загрязняя контакты. Припой с высокой температурой плавления мог расплавить контакты. Значит, между припоем и контактами токоподводов было вредное взаимодействие. В результате решения припой  $V_1$ , расплавляясь, освобождает керамическую пластину  $V_3$  с закреплёнными на ней контактами-токоподводами  $V_2$ , пластина  $V_3$  с помощью закреплённого на ней металлического колпачка притягивается магнитным полем  $\Pi_m$ , контакты замыкаются, возникает сигнал о моменте расплавления припоя  $V_1$ . Механическое поле  $\Pi_{мех}$  пружины возвращает керамическую пластину  $V_3$  в исходное состояние после выключения магнитного поля  $\Pi_m$ .

Строим схему



5. Определяем формулировку физического противоречия, которое было преодолено найденным решением. В формуле изобретения указана цель: расширение технологических возможностей и исключение расхода контрольного припоя. По прототипу капля припоя непосредственно замыкала контакты токоподвода, она смачивала контакты и терялась, не могла повторно использоваться. Этим обуславливается расход припоя при определении момента расплавления припоя по прототипу. Контакты токоподводов при каждом опыте загрязняются припоем, их нужно зачищать. Кроме того, по прототипу можно исследовать только легкоплавкие припои. Однако в технике широко используются припои с высокой температурой плавления. Например, температура плавления высокоплавких припоев достигает 1100...1850°C. При такой температуре контакты токоподводов могут разрушаться при каждом опыте. Очевидно, что эти недостатки прототипа могут быть устранены, если припой не будет воздействовать на контакты токоподводов.

Формулируем противоречия.

АП : Надо определять момент расплавления припоя, как – неизвестно.

ТП : Это можно делать, если припой, расплавляясь, будет воздействовать на контакты токоподводов, но припой будет при этом расходоваться, а припой с высокой температурой плавления может разрушить контакты.

ФП : Припой должен воздействовать на контакты токоподводов и не должен на них воздействовать.

6. Доказываем, что сформулированное ФП найденным решением преодолено. Согласно решению сигнал о моменте расплавления припоя возникнет тогда, когда керамическая пластина с помощью закреплённого на ней металлического колпачка притянется магнитным полем и замкнёт контакты. Но это может произойти, только когда припой расплавится, так как твёрдый припой фиксирует керамическую пластину в среднем положении, при котором контакты разомкнуты. Значит, припой воздействует на контакты, но не непосредственно, а через керамическую пластину, которая припоем не смачивается. Это исключает расход припоя. Керамическая пластина имеет высокую температуру плавления, что позво-

ляет исследовать любые припои. ФП преодолено: припой воздействует на контакты токоподводов и в то же время не воздействует на них непосредственно. Недостатки прототипа устранены.

## 2.8. Задача М 7

### 2.8.1. Содержание и условия задачи М 7

Провести анализ объекта любой из специальных дисциплин или лучшего (наиболее эффективного) из аналогов этого объекта, выбрать один из его недостатков, сформулировать изобретательскую задачу и решить её любым из изученных методов. Для задачи М 7 может быть выбран также любой произвольный объект из области сварочной техники, однако желательно выбирать его так, чтобы работа над ним была продолжена при дипломном проектировании.

### 2.8.2. Порядок решения задачи М 7

1. Составить описание выбранного объекта.
2. Определить основные недостатки выбранного объекта, выбрать из них недостаток, который будет устраняться, обосновать его выбор.
3. Определить причины выбранного недостатка, сформулировать изобретательскую задачу (физическое противоречие).
4. Выбрать метод решения задачи.
5. Решить задачу выбранным методом, составить описание решения.
6. Доказать, что сформулированное в п.3 ФП преодолено.

### 2.8.3. Порядок и пример решения задачи М 7 методом вепольных преобразований

1. Выбираем объект задачи и составляем его описание. В качестве объекта выбираем разжимное кольцо для сборки и дуговой сварки кольцевого стыка двух тонкостенных обечаек (рис. 7). По периметру это кольцо снабжено подкладной планкой 1 с формирующей проплав канавкой. Планку 1, разделённую на 4 сектора, устанавливают внутри обечаек на их стыке. Секторы планки соединены спицами 2 с разрезной втулкой 3, в дно которой ввинчена штанга 4. На штангу 4 надета втулка 5 с наружным конусом, входящим во внутренний конус разрезной втулки 3. Втулка 5 поджата буртом 6 штанги 4. При вращении штанги 4 её резьбовой конец ввинчивается в дно разрез-

ной втулки 3 и разводит секторы этой втулки, перемещая спицы 2 и прижимая секторы подкладки 1 к стыку свариваемых обечайек.

2. Определяем недостатки объекта и для формулировки изобретательской задачи выбираем недостаток, который будем устранять.

2.1. С помощью разжимной разрезной втулки 3 можно переместить секторы подкладной планки 1 лишь на небольшое расстояние порядка нескольких миллиметров. Этого может быть недостаточно для надёжного совмещения кромок стыкуемых обечайек и их фиксации относительно друг друга. Качество сварного шва ухудшится, а на некоторых участках стыка сварка может оказаться невозможной.

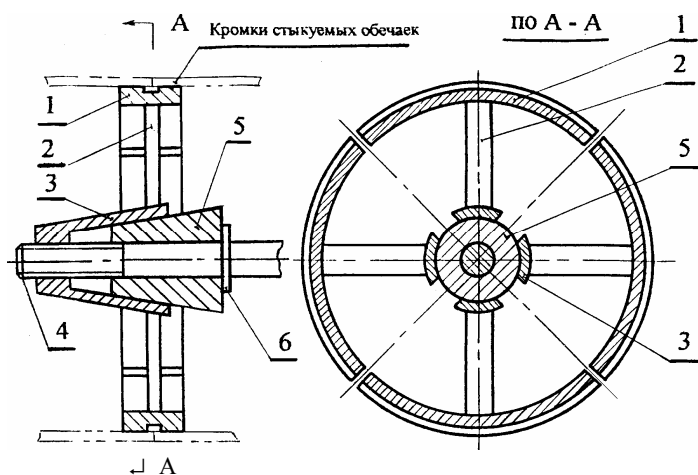


Рис. 7. Схема конструкции разжимного кольца: 1 – подкладная планка; 2 – спица; 3 – разрезная втулка; 4 – штанга; 5 – втулка; 6 – бурт

2.2. В местах разреза подкладной планки 1 проплав формируется на весу, теплоотвод от обратной стороны стыка резко ухудшается, возможны провисания проплава сварного шва.

2.3. Разжимное кольцо такой конструкции может быть применено только для стыков обечайек одинакового диаметра. Для каждого другого диаметра обечайек нужно изготавливать отдельное разжимное кольцо, что увеличивает номенклатуру требуемой оснастки.

Для постановки изобретательской задачи выбираем недостаток 2.1, считая его наиболее существенным, так как из-за него в некоторых случаях применение такого разжимного кольца может быть невозможным.

3. Определяем причину выбранного недостатка и формулируем изобретательскую задачу. Тонкостенные обечайки перед сборкой могут иметь эллипсность. Для того чтобы разжать стык до правильной окружности, нужно, чтобы разжимное кольцо имело возможность перемещения подкладной планки на величину равную разности между максимальным (с учётом допуска) диаметром обечайки и малой осью возможного эллипса. Эта разность при диаметрах обечайек 500...1000 мм может достигать десятков миллиметров. Такое перемещение подкладной планки с помощью разрезной втулки трудно обеспечить, так как это потребует резкого увеличения размеров втулки и усложнит всю конструкцию. Недостаток может быть полностью устранён, если снабдить разжимное кольцо дополнительным приводом перемещения секторов подкладной планки (например, гидравлическим), но это также недопустимо усложнит конструкцию.

Формулируем противоречия.

АП : Нужно обеспечить надёжное разжатие кромок стыка обечайек до их номинального диаметра, как – неизвестно.

ТП : Обеспечить надёжное разжатие можно, если ввести в конструкцию дополнительный привод, но это усложнит конструкцию.

ФП : Дополнительный привод должен быть, но его не должно быть.

4. Для решения задачи выбираем метод вепольных преобразований. Строим вепольную схему (см. приложение 2) исходной ситуации. Обозначим подкладную планку 1 символом  $V_1$ . Разрезная втулка 3 вместе с конической втулкой 5 и штангой 4 образуют механизм прижатия подкладной планки 1 к стыку обечайки. Обозначим этот механизм  $V_2$ . Усилие от  $V_2$  к  $V_1$  передаётся спицами 2. Обозначим их  $V_3$ . Строим правую часть схемы

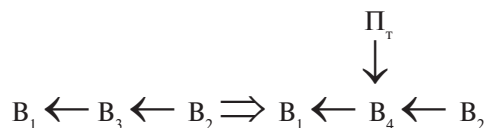
$$V_1 \leftarrow V_3 \leftarrow V_2.$$

5. Производим вепольное преобразование объекта и находим решение задачи. Чтобы преодолеть ФП по правилам вепольных преобразований, нужно ввести в объект дополнительное вещество и взаимодействующее с ним поле. Силовое (механическое) поле усложнит конструкцию, так как требуется наличие сложного привода (электромеханического, гидравлического, пневматического), что по ФП недопустимо. Магнитное или электрическое поле трудно



применить по той же причине. Остаётся тепловое поле. Применить для создания дополнительного усилия тепловое поле можно, используя тепловое расширение вещества. Для этого можно ввести между подкладной планкой  $V_1$  и приводом  $V_2$  вещество с большим коэффициентом линейного расширения и нагревать его. Но между  $V_1$  и  $V_2$  уже есть спицы  $V_3$ . Тогда лучше заменить материал спиц: выполнить их, например, из меди. Обозначим медные спицы  $V_4$ . На спицах можно легко разместить нагреватели (например, в виде нихромовой обмотки), генерирующие тепловое поле  $\Pi_T$ .

Строим полную вепольную схему решения



Здесь  $V_1$  – подкладная планка;  $V_2$  – механический привод перемещения планки с помощью конических втулок и штанги;  $V_3$  – спицы;  $V_4$  – спицы из материала с высоким коэффициентом линейного расширения (например, из меди);  $\Pi_T$  – тепловое поле.

При включении нагревателей спицы, нагреваясь, удлиняются и создают дополнительное перемещение секторов подкладной планки, прижимая её к стыку обечаек.

6. Докажем, что ФП преодолено. В результате решения дополнительный привод есть. Но в качестве привода служит уже имевшийся в конструкции элемент – спицы, изменён лишь материал, из которого они изготовлены. Нагреватели, располагаемые на спицах, не изменяют конструкцию разжимного кольца – это лишь несложные дополнительные элементы, размещаемые на свободном месте. Поэтому можно считать, что специального дополнительного привода нет. ФП преодолено. Выбранный для постановки изобретательской задачи недостаток устранен, решение обеспечивает возможность дополнительного перемещения секторов подкладной планки, не усложняя конструкцию разжимного кольца.

#### 2.8.4. Порядок и пример решения задачи М 7 методом использования таблицы физических эффектов и явлений

Выбран объект: способ термической резки титановых сплавов.

1. Составляем описание объекта. Концентрированным источником тепла (например, струёй дуговой плазмы, электронным или лазерным лучом) образуют ванну жидкого металла на поверхности разрезаемого листа, проплавливают сквозное отверстие и перемещают плазмотрон по линии резки, вырезая заготовку требуемой формы.

2. Формулируем основные недостатки выбранного объекта.

2.1. При резке титановых сплавов с местной защитой поверхность заготовки в зоне реза, нагреваясь до температуры 500...700°C, активно поглощает газы (кислород, азот, водород) из окружающей атмосферы, образуется хрупкий альфированный слой, резко увеличивается размер зёрен металла на кромках реза, механические свойства металла (особенно ударная вязкость) ухудшаются.

2.2. При резке в вакууме электронным или лазерным лучом требуется дорогое и сложное оборудование: герметичная камера с системой вакуумирования, лазерная установка или электронная пушка с системой питания и управления. Особенно сложно применить такое оборудование при резке листов большой длины и ширины (до нескольких метров).

Для постановки изобретательской задачи выбираем первый недостаток, так как его устранение позволит повысить качество резки, удешевить и упростить процесс резки.

3. Определяем причину выбранного недостатка и формулируем изобретательскую задачу. Активное поглощение газов поверхностью титана в зоне реза происходит потому, что эта поверхность на значительной ширине нагревается до температуры более 500°C. А это обусловлено тем, что в месте реза металл должен быть нагрет до температуры выше его температуры плавления (1668°C). Теплопроводность титана (0,045 кал/см·с·град.) в 4 раза меньше, чем у железа, но, несмотря на это, ширина зоны нагрева до опасных температур может достигнуть нескольких миллиметров (при сварке – до 30...40 мм).

Формулируем противоречия.

АП: Надо уменьшить ширину зоны нагрева кромок реза, как – неизвестно.

ТП: Уменьшить ширину зоны нагрева можно, если снизить температуру нагрева металла в месте резки, но тогда металл не расплавится и резка не произойдёт.

ФП: Температура резки должна быть высокой, но она должна быть низкой.

Изобретательская задача сформулирована.

4. Выбираем метод решения задачи с помощью таблицы физических эффектов и явлений (прил. 3).

5. Решение задачи.

5.1. Определим, какое действие надо произвести для решения задачи. Из формулировки ФП следует, что нужно понизить температуру, но так, чтобы она оставалась выше температуры плавления металла в месте образования реза.

5.2. В таблице физических эффектов и явлений в строке 2 находим это действие – понижение температуры. Для его выполнения согласно таблице могут быть использованы: фазовые переходы, эффект Джоуля – Томсона, эффект Ранка, магнитокалорический эффект и термоэлектрические явления.

5.3. Рассмотрим сущность этих эффектов и их перспективность для преодоления ФП.

Фазовые переходы могут оказаться перспективными, так как при термической резке происходит плавление металла, его затвердевание на кромках реза и рекристаллизация в зоне термического влияния.

Эффект Джоуля-Томсона (Физический энциклопедический словарь, т. 1, М.: Советская энциклопедия, 1960, с. 554) заключается в изменении температуры газа при его медленном стационарном перетекании через пористую перегородку по направлению от большего давления к меньшему. Для нашего случая его использование не перспективно.

Эффект Ранка заключается в разделении завихряющегося потока газа в трубе на холодный и горячий потоки (Холодильные машины / под ред. Н.Н. Кошкина. Пищевая промышленность, М., 1978, с. 15). Для решения нашей задачи неперспективен.

Магнитокалорический эффект – изменение температуры магнитного вещества при изменении напряжённости магнитного поля, и термоэлектрические явления (эффекты Зеебека, Пельтье и

Томсона), отражающие взаимосвязь между тепловыми и электрическими процессами в проводнике, возникновение и особенности термоэлектродвижущей силы в нём, для нашей задачи мало применимы.

5.4. Решаем задачу, используя фазовые переходы. Титан имеет две аллотропические модификации: низкотемпературную  $\alpha$  и существующую при высокой температуре  $\beta$  фазу. При комнатной температуре  $\beta$  фазу можно зафиксировать, легируя сплав элементами  $\beta$ -стабилизаторами, сплав при этом становится прочнее. Один из самых дешёвых  $\beta$ -стабилизаторов – это железо. С титаном железо образует эвтектику с температурой плавления примерно на 30% ниже температуры плавления титана (Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. Киев: Наукова думка, 1979, с.19). Значит, если создать в зоне реза условия для возникновения большого количества эвтектики Ti – Fe, то температуру резки можно значительно понизить и в то же время обеспечить расплавление металла в месте реза.

5.5. Формулируем решение. Резку производим сжатой дугой. В середину пятна нагрева подаём присадочную проволоку из малоуглеродистой стали. В месте касания проволокой нагретой поверхности реза образуется эвтектика, ванна эвтектического сплава, контактируя с титаном, быстро углубляется, разрезаемый лист проплавляется насквозь, струя плазмы выдувает жидкую эвтектику – образуется рез. Температура в месте реза ниже температуры плавления титана, кромки реза не оплавляются, зона термического влияния уменьшается.

6. В результате решения температура в месте резки обеспечивает плавление металла (образующейся эвтектики), резка происходит. Значит, температура достаточно высокая. Но температура резки стала значительно ниже температуры плавления титана, значит, она низкая. ФП преодолено: температура резки высокая и низкая. Это обеспечивает уменьшение (или даже полное устранение) выбранного для постановки задачи недостатка объекта задачи: зона термического влияния и разупрочнения металла уменьшена.

#### **2.8.5. Порядок и пример решения задачи М 7 методом типовых приёмов**

Выбран объект: активирующий флюс для аргоно-дуговой сварки сталей.

1. Составляем описание объекта задачи. Активирующий флюс содержит 50% галогенида, например гексафторалюмината лития, и 50% оксида – двуокиси титана. Приготовлен он в виде смеси порошков этих компонентов. Смесь перед сваркой смачивают спиртом и в виде пасты наносят на кромки свариваемых деталей. Дуга, горящая в среде инертного газа между поверхностью стыка деталей и вольфрамовым электродом, испаряет флюс. Попадая в дуговой факел, пары флюса способствуют концентрации тепловой мощности дуги. Это увеличивает её проплавляющую способность. В результате можно вести сварку стальных листов толщиной до 6 мм за один проход со сквозным проплавлением.

2. Определяем недостатки выбранного объекта.

2.1. Необходима дополнительная операция приготовления и нанесения на стык деталей активирующего флюса. Это увеличивает трудоёмкость подготовки к сварке.

2.2. Активирующий флюс действует на дугу только при сварке деталей с толщиной кромок не более 6 мм. При большей толщине действие флюса резко ослабляется, вновь приходится применять многопроходную сварку.

Для постановки изобретательской задачи выбираем второй недостаток, поскольку его устранение даст большее повышение производительности процесса сварки.

3. Определяем причины выбранного недостатка, формулируем противоречия.

АП : Надо получить сквозное проплавление стыка стальных деталей толщиной более 6 мм, как – неизвестно.

ТП : Получить сквозное проплавление можно, если при сварке с активирующим флюсом увеличить тепловую мощность дуги, но это ослабит действие флюса и ухудшит форму шва.

ФП : Тепловая мощность дуги должна быть увеличена, но её нельзя увеличивать.

Изобретательская задача сформулирована.

4. Для решения задачи выбираем метод типовых приёмов.

5. Решаем задачу.

5.1. Определяем, что надо изменить и что при этом недопустимо ухудшается. Из формулировки ТП следует, что изменять надо

мощность дуги, но при этом недопустимо ухудшится форма сварочной ванны и шва.

5.2. Определяем, какие типовые приёмы рекомендуются для решения задач такого типа.

В таблице использования приёмов (приложение 5) на пересечении строки “Мощность” с колонкой “Форма” находим номера рекомендуемых приёмов 29, 14, 2 и 40. Из перечня типовых приёмов (приложение 4) выписываем соответствующие этим номерам приёмы.

Приём 2. Принцип вынесения: отделить от объекта мешающую часть (свойство) или, наоборот, выделить единственную нужную часть (свойство).

Приём 14. Сфероидальность. Перейти от прямолинейных частей к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим, от частей, выполненных в виде куба или параллелепипеда, к шаровым конструкциям. Использовать ролики, шарики, спирали. Перейти от прямолинейного движения к вращательному, использовать центробежные силы.

Приём 29. Использование пневмо- и гидроконструкций. Вместо твёрдых частей объекта использовать газообразные и жидкие, надувные и гидронаполняемые, воздушную подушку, гидростатические и гидрореактивные.

Приём 40. Применение композиционных материалов. Перейти от однородных материалов к композиционным.

5.3. Определяем с учётом ФП, какие из найденных приёмов могут быть перспективными для решения задачи.

Приём 2 – принцип вынесения – может оказаться перспективным, так как можно предположить, что удастся выделить участок сварочной ванны и попытаться сосредоточить на нём часть выделяемой дугой мощности, поскольку свободное распределение мощности дуги по всей площади сварочной ванны эффекта не даёт. На этом участке мощность повысилась бы без изменения общей мощности дуги.

Приём 14 – сфероидальность – в нашем случае неприменим.

Приём 29 – использование пневмо- и гидроконструкций – может быть перспективным, если удастся создать вертикальный поток жидкого металла в ванне, который переносил бы тепло к дну ванны и тем самым увеличивал бы глубину проплавления. Мощ-

ность, передаваемая дну ванны под этим потоком, увеличится без увеличения общей мощности дуги.

Приём 40 – применение композиционных материалов – для нашей задачи неперспективен.

5.4. Разрабатываем решение и составляем его описание. Согласно приёму 2 выделим в сварочной ванне её часть, находящуюся под анодным пятном сварочной дуги. В этой части сварочной ванны надо согласно приёму 29 создать вертикальный поток жидкого металла. Сделать это можно, только если увеличить электродинамические силы, действующие на металл ванны в области анодного пятна дуги, которые пропорциональны плотности тока в области анодного пятна. Значит, надо увеличить плотность тока в этой области. Плотность тока увеличится, если уменьшить электрическое сопротивление металла у анодного пятна. Попробуем сделать это, вводя во флюс дополнительные компоненты. В анодном пятне выделяется большое количество тепла, значит, компоненты флюса могут там быстрее плавиться. Надо только подобрать в качестве дополнительного компонента такое вещество, при плавлении которого резко уменьшается его электрическое сопротивление. Таким свойством обладают германий, кремний и теллур (Свойства элементов. Справочник / Под ред. Самсонова Г.В., т.1, М.: Машиностроение, 1975, с. 266...281). В чистом виде эти компоненты имеют относительно невысокую температуру плавления (Ge – 959°C, Si – 1415°C, Te – 449,8°C) и могут расплавиться вне анодного пятна. Поэтому их лучше вводить во флюс в виде оксидов, имеющих более высокую температуру плавления ( $\text{GeO}_2$  – 1116°C,  $\text{SiO}_2$  – 1610°C,  $\text{TeO}_2$  – 733°C). Расплавляясь на поверхности ванны в зоне анодного пятна, окисел одного из этих элементов будет диссоциировать, электрическое сопротивление поверхностного слоя металла на этом участке уменьшится, сила тока, проходящего через этот участок, увеличится, следовательно, увеличится и плотность тока в нём. Возрастёт величина вертикальной составляющей электродинамических сил, действующих на металл на этом участке, и под анодным пятном образуется вертикальный поток жидкого металла, который будет интенсивно передавать тепло дну сварочной ванны, расплавляя его и увеличивая глубину проплавления.

Таким образом, решение задачи заключается во введении в состав активирующего флюса двуокиси германия, кремния или теллура. Можно предположить, что количество этого дополнительного компонента должно быть соизмеримо с количеством остальных компонентов. Тогда компоненты могут быть взяты в следующем соотношении (%):

Гексафторалюминат лития 20...40

Двуокись титана 20...40

Двуокись германия, кремния или теллура 30...50

Это соотношение должно быть уточнено опытной проверкой.

6. Доказываем, что ФП преодолено. В результате решения увеличилась тепловая мощность, передаваемая от дуги дну сварочной ванны за счёт конвективного переноса тепла созданным потоком жидкого металла. В то же время тепловая мощность дуги не увеличилась. Следовательно, ФП преодолено: тепловая мощность увеличилась, но мощность, вводимую в свариваемые кромки, не увеличивали. В результате выбранный для задачи недостаток устранён: при сварке деталей толщиной более 6 мм с помощью активирующего флюса можно получить полное проплавление стыка за один проход.

## Заключение

В процессе разработки настоящего учебного пособия его первоначальные варианты использовались в течение 10 лет при преподавании учебной дисциплины «Защита интеллектуальной собственности и основы технического творчества» в Тольяттинском политехническом институте и, позднее, в Тольяттинском государственном университете для студентов специальностей «Технология и оборудование сварочного производства» и «Восстановление деталей машин и приборов».

В учебном пособии содержатся примеры и задания практически из всех специальных сварочных дисциплин. В числе этих примеров и заданий 93 объекта дуговой сварки, по 10 объектов из области теории сварочных процессов, источников питания сварочной дуги, сварки пластмасс, газопламенной обработки металлов, охраны труда в сварочном производстве, 30 объектов из области технологии производства сварных конструкций, 39 объектов посвящены пайке, 21 – автоматизации сварочных процессов, 16 – контролю качества сварных соединений и 32 – технологии и оборудованию контактной сварки. Особые способы сварки (электронная, лазерная, термитная, импульсным магнитным полем, взрывом и т. д.) представлены 45-ю примерами решения задач и вариантами заданий. Таким образом, удалось обеспечить массив заданий в 320 вариантов. Этого оказалось достаточно для организации самостоятельной работы студентов на основе индивидуальных заданий. Разнообразие тематики этих заданий позволило организовать межпредметные связи дисциплины «Методы решения изобретательских задач» со специальными сварочными дисциплинами.

Практика использования пособия в учебном процессе показала, что большинство студентов с решением содержащихся в нём задач справляются успешно. Всё это свидетельствует о том, что сформулированная во введении цель с помощью данного учебного пособия достигается.

## Библиографический список

1. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. – М. : Советское радио, 1979. – 176 с.
2. Альтшуллер, Г.С. Алгоритм изобретений / Г.С. Альтшуллер. – М. : Московский рабочий, 1973. – 296 с.
3. Альтшуллер, Г.С. Найти идею / Г.С. Альтшуллер. – Новосибирск : Наука, 1986. – 209 с.
4. Голдовский, Б.И. Комплексный метод поиска решений технических проблем / Б.И. Голдовский, М.И. Вайнерман. – М. : Речной транспорт, 1990. – 112 с.
5. Гордеев, А.В. Методы решения изобретательских задач в курсовых и дипломных проектах / А.В. Гордеев. – Куйбышев : КуАИ, 1988. – 73 с.
6. Гордеев, А.В. Основы технического творчества: учеб. пособие / А.В. Гордеев. – Тольятти : ТГУ, 2008. – Ч. 1. – 216 с.
7. Казаков, Ю.В. Защита интеллектуальной собственности: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Ю.В. Казаков. – М. : Мастерство, 2002. – 176 с.
8. Казаков, Ю.В. Защита интеллектуальной собственности: сб. задач / Ю.В. Казаков. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 358 с.
9. Кудрявцев, А.В. Организация и проведение мозгового штурма / А.В. Кудрявцев. – М. : ВНИИПИ, 1987. – 46 с.
10. Кудрявцев, А.В. Совершенствование творческой деятельности в процессе создания новых творческих решений / А.В. Кудрявцев. – М. : ВНИИПИ, 1987. – 192 с.
11. Кудрявцев, А.В. Методы интуитивного поиска технических решений / А.В. Кудрявцев. – М. : Метод, 1992. – 114 с.
12. Пелипенко, В.Н. Техническое творчество : учеб. пособие / В.Н. Пелипенко. – Тольятти : Фонд «Развитие через образование», 2001. – 66 с.
13. Михелькевич, В.Н. Основы научно-технического творчества : учеб.-метод. пособие / В.Н. Михелькевич, В.М. Радомский. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2004. – 320 с.
14. Половинкин, И.А. Основы инженерного творчества / И.А. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
15. Саламатов, Ю.П. Как стать изобретателем / Ю.П. Саламатов. – М. : Просвещение, 1990. – 240 с.
16. Чяпяле, Ю.М. Методы поиска изобретательских идей / Ю.М. Чяпяле. – Л. : Машиностроение, 1990. – 96 с.



**Приёмы простейших преобразований [5]*****Разделение во времени***

1. Растянуть (либо наоборот, сжать) действие во времени.
2. Выполнять требуемое действие до начала (либо, наоборот, после окончания) работы объекта.
3. Выполнять действие чуть раньше (чуть позже).
4. Если действие непрерывно, сделать его прерывистым, импульсным, или, наоборот, прерывистое действие сделать непрерывным.
5. Использовать паузы между импульсами одного действия для другого действия.

***Разделение в пространстве***

1. Разделить объект на независимые части, выполняющие одинаковые функции.
2. Выполнить объект разборным.
3. Вместо одного рабочего элемента сделать несколько.
4. Каждую часть объекта поместить в условия, наиболее благоприятные для её работы.
5. Перейти от однородной структуры объекта или внешней среды к неоднородной.
6. Сделать так, чтобы разные части объекта выполняли различные функции.

**Условные обозначения для построения схем  
вепольных преобразований [3]**

$V$  – вещество (все вещества пишутся в одну горизонтальную строку).

$P$  – поле (поля пишутся над или под горизонтальной строкой, в которой записаны вещества).

Виды веществ и полей обозначаются нижними индексами, например:

$P_m$  – магнитное поле,  $P_{св}$  – световое поле,  $V_{ф-}$  ферромагнитное вещество, или  $P_1, P_2, V_1, V_2$  и т. п. Все эти обозначения должны быть расшифрованы.

$\rightarrow$  – действие

$\leftrightarrow$  – взаимодействие

$\rightsquigarrow$  – вредное действие

$\Rightarrow$  – переход от задачи к решению.

**Таблица физических эффектов и явлений [1]**

| Требуемое действие, свойство                        | Физическое явление, эффект, фактор, способ                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Измерение температуры                            | Тепловое расширение и вызванное им изменение собственной частоты колебаний. Термоэлектрические явления. Спектр излучения. Изменение оптических, электрических, магнитных свойств веществ. Переход через точку Кюри. Эффекты Гопкинса и Баркхаузена                                                                                       |
| 2. Понижение температуры                            | Фазовые переходы. Эффект Джоуля – Томсона. Эффект Ранка. Магнитокалорический эффект. Термоэлектрические явления                                                                                                                                                                                                                          |
| 3. Повышение температуры                            | Электромагнитная индукция. Вихревые токи. Поверхностный эффект. Диэлектрический нагрев. Электронный нагрев. Электрические разряды. Поглощение излучения веществом. Термоэлектрические явления.                                                                                                                                           |
| 4. Стабилизация температуры                         | Фазовые переходы (в том числе переход через точку Кюри)                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 5. Индикация положения и перемещения объекта        | Введение меток – веществ, преобразующих внешние поля (люминофоры) или создающих свои поля (ферромагнетики) и потому легко обнаруживаемых. Отражение и испускание света. Фотоэффект. Деформация. Рентгеновское и радиоактивное излучения. Люминесценция. Изменение электрических и магнитных полей. Электрические разряды. Эффект Доплера |
| 6. Управление перемещением объекта                  | Действие магнитным полем на объект или на ферромагнетик, соединённый с объектом. Действие электрическим полем на заряженный объект. Передача давления жидкостями и газами. Механические колебания. Центробежные силы. Тепловое расширение. Световое давление                                                                             |
| 7. Управление движением жидкости и газа             | Капиллярность. Осмос. Эффект Томса. Эффект Бернулли. Волновое движение. Центробежные силы. Эффект Вайссенберга                                                                                                                                                                                                                           |
| 8. Управление потоками аэрозолей (пыль, дым, туман) | Электризация. Электрические и магнитные поля. Давление света                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 9. Перемешивание смесей. Образование растворов      | Ультразвук. Кавитация. Диффузия. Электрические поля. Магнитное поле в сочетании с ферромагнитным веществом. Электрофорез. Солюбилизация                                                                                                                                                                                                  |

| Требуемое действие, свойство                                                                         | Физическое явление, эффект, фактор, способ                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10. Разделение смесей                                                                                | Электро- и магнитосепарация. Изменение кажущейся плотности жидкости-разделителя под действием электрических и магнитных полей. Центробежные силы. Сорбция. Диффузия. Осмос                                                                                                                                                                     |
| 11. Стабилизация положения объекта                                                                   | Электрические и магнитные поля. Фиксация в жидкостях, твердеющих в магнитном и электрическом полях. Гироскопический эффект. Реактивное движение                                                                                                                                                                                                |
| 12. Силовое воздействие. Регулирование сил. Создание больших давлений                                | Действие магнитным полем через ферромагнитное вещество. Фазовые переходы. Тепловое расширение. Центробежные силы. Изменение гидростатических сил путём изменения кажущейся плотности магнитной или электропроводной жидкости в магнитном поле. Применение взрывчатых веществ. Электрогидравлический эффект. Оптикогидравлический эффект. Осмос |
| 13. Изменение трения                                                                                 | Эффект Джонсона-Рабека. Воздействие излучений. Явление Крагельского. Колебания                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 14. Разрушение объекта                                                                               | Электрические разряды. Электрогидравлический эффект. Резонанс. Ультразвук. Кавитация. Индуцированное излучение                                                                                                                                                                                                                                 |
| 15. Аккумулирование механической и тепловой энергии                                                  | Упругие деформации. Гироскопический эффект. Фазовые переходы                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 17. Установление взаимодействия между подвижным (меняющимся) и неподвижным (не меняющимся) объектами | Использование магнитных полей (переход от «вещественных» связей к «полевым»)                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 18. Измерение размеров объекта                                                                       | Измерение собственной частоты колебаний. Нанесение и считывание магнитных и электрических меток                                                                                                                                                                                                                                                |
| 19. Изменение размеров объектов                                                                      | Тепловое расширение. Деформации. Магнитоэлектрострикция. Пьезоэлектрический эффект                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 20. Контроль состояния и свойств поверхности                                                         | Электрические разряды. Отражение света. Электронная эмиссия. Муаровый эффект. Излучения                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 21. Изменение поверхностных свойств                                                                  | Трение. Адсорбция. Диффузия. Эффект Баушингера. Электрические разряды. Механические и акустические колебания. Ультрафиолетовое излучение                                                                                                                                                                                                       |

| Требуемое действие, свойство                            | Физическое явление, эффект, фактор, способ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 22. Контроль состояния и свойств в объёме               | Введение «меток» — веществ, преобразующих внешние поля (люминофоры) или создающих свои поля (ферромагнетики), зависящие от состояния и свойств исследуемого вещества. Изменение удельного электрического сопротивления в зависимости от изменения структуры и свойств объекта. Взаимодействие со светом. Электро- и магнитооптические явления. Поляризованный свет. Рентгеновские и радиоактивные излучения. Электронный парамагнитный и ядерный магнитный резонансы. Магнитоупругий эффект. Переход через точку Кюри. Эффекты Гопкинса и Баркхаузена. Измерение собственной частоты колебаний объекта. Ультразвук, эффект Мёссбауэра. Эффект Холла |
| 23. Изменение объёмных свойств объекта                  | Изменение свойств жидкости (кажущейся плотности, вязкости) под действием электрических и магнитных полей. Введение ферромагнитного вещества и действие магнитным полем. Тепловое воздействие. Фазовые переходы. Ионизация под действием электрического поля. Ультрафиолетовое, рентгеновское, радиоактивное излучения. Деформация. Диффузия. Электрические и магнитные поля. Эффект Баушингера. Термоэлектрические, термомагнитные и магнитооптические эффекты. Кавитация. Фотохромный эффект. Внутренний фотоэффект                                                                                                                                |
| 24. Создание заданной структуры. Стабилизация структуры | Интерференция волн. Стоячие волны. Муаровый эффект. Магнитные поля. Фазовые переходы. Механические и акустические колебания. Кавитация                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 25. Индикация электрических и магнитных полей           | Осмоз. Электризация тел. Электрические разряды. Пьезо- и сегнетоэлектрические эффекты. Электреты. Электронная эмиссия. Электрооптические явления. Эффекты Гопкинса и Баркхаузена. Эффект Холла. Ядерный магнитный резонанс. Гиромангнитные и магнитооптические явления.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 26. Индикация излучения                                 | Оптико-акустический эффект. Тепловое расширение. Фотоэффект. Люминесценция. Фотопластический эффект                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 27. Генерация электромагнитного излучения               | Эффект Джозефсона. Явление индуцированного излучения. Туннельный эффект. Люминесценция. Эффект Ганна. Эффект Черенкова                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| Требуемое действие, свойство                              | Физическое явление, эффект, фактор, способ                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 28. Управление электромагнитными полями                   | Экранирование. Изменение состояния среды, например, увеличение или уменьшение её электропроводности. Изменение формы поверхностей тел, взаимодействующих с полями |
| 29. Управление потоками света. Модуляция света            | Преломление и отражение света. Электро- и магнитооптические явления. Фотоупругость, эффекты Керра и Фарадея. Эффект Ганна. Эффект Франца-Келдыша                  |
| 30. Инициирование и интенсификация химических превращений | Ультразвук. Кавитация. Ультрафиолетовое, рентгеновское, радиоактивное излучения. Электрические разряды. Ударные волны. Мицеллярный катализ                        |

**Типовые приёмы решения изобретательских задач [2]**

1. Дробление.

- а) Разделить объект на независимые части.
- б) Выполнить объект разборным.
- в) Увеличить степень дробления объекта.

2. Вынесение.

Отделить от объекта мешающую часть (мешающее свойство) или, наоборот, выделить единственно нужную часть или нужное свойство.

3. Принцип местного качества.

- а) Перейти от однородной структуры объекта или внешней среды (внешнего воздействия) к неоднородной.
- б) Разные части объекта должны выполнять различные функции.
- в) Каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее благоприятных для её работы.

4. Асимметрия.

- а) Перейти от симметричной формы объекта к асимметричной.
- б) Если объект уже асимметричен, увеличить степень асимметрии.

5. Объединение.

- а) Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты.
- б) Объединить во времени однородные или смежные операции.

6. Универсальность.

Объект выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах.

7. Принцип «матрёшки».

- а) Один объект размещён внутри другого, который, в свою очередь, находится внутри третьего и т.д.
- б) Один объект проходит сквозь полость в другом объекте.

8. Принцип противовеса.

- а) Компенсировать вес объекта соединением с другим объектом, обладающим подъёмной силой.
- б) Компенсировать вес объекта взаимодействием со средой (преимущественно за счёт аэро- и гидродинамических сил).

9. Предварительное антидействие.

Если по условиям задачи необходимо совершить какое-то действие, надо заранее совершить антидействие.

10. Предварительное действие.

- а) Заранее выполнить требуемое действие (полностью или хотя бы частично).

- б) Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие без затрат времени на доставку и с наиболее удобного места.

11. Принцип «заранее подложенной подушки».

Компенсировать относительно невысокую надёжность объекта заранее подготовленными аварийными средствами.

12. Эквипотенциальность.

Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект.

13. Принцип «наоборот».

- а) Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие.
- б) Сделать движущуюся часть объекта или внешней среды неподвижной, а неподвижную – движущейся.
- в) Перевернуть объект «вверх ногами», вывернуть его.

14. Сфероидальность.

- а) Перейти от прямолинейных частей к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим, от частей, выполненных в виде куба или параллелепипеда, к шаровым конструкциям.
- б) Использовать ролики, шарики, спирали.
- в) Перейти от прямолинейного движения к вращательному, использовать центробежную силу.

15. Динамичность.

- а) Характеристики объекта (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы.
- б) Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга.
- в) Если объект в целом неподвижен, сделать его подвижным, перемещающимся.

16. Частичное или избыточное действие.

Если трудно получить 100% требуемого эффекта, надо получить «чуть меньше» или «чуть больше» – задача при этом может существенно упроститься.

17. Переход в другое измерение.

- а) Трудности, связанные с движением (или размещением) объекта по линии, устраняются, если объект приобретает возможность перемещаться в двух измерениях (т.е. на плоскости). Соответственно задачи, связанные с движением (или размещением) объектов в одной плоскости, упрощаются при переходе к пространству трёх измерений.
- б) Использовать многоэтажную компоновку объектов вместо одноэтажной.
- в) Наклонить объект или положить его «набок».

- г) Использовать обратную сторону данной площади.
- д) Использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или на обратную сторону имеющейся площади.

18. Использование механических колебаний.

- а) Привести объект в колебательное движение.
- б) Если такое движение уже совершается, увеличить его частоту (вплоть до ультразвуковой).
- в) Использовать резонансную частоту.
- г) Применить вместо механических вибраторов пьезовибраторы.
- д) Использовать ультразвуковые колебания в сочетании с электромагнитными полями.

19. Периодическое действие.

- а) Перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному).
- б) Если действие уже периодическое, изменить периодичность.
- в) Использовать паузы между импульсами для другого действия.

20. Непрерывность полезного действия.

- а) Вести работу непрерывно (все части объекта должны всё время работать с полной нагрузкой).
- б) Устранить холостые и промежуточные ходы.

21. Принцип проскока.

Вести процесс или отдельные его этапы (например, вредные или опасные) на большой скорости.

22. Обратный вред в пользу.

- а) Использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта.
- б) Устранить вредный фактор за счёт сложения с другими вредными факторами.
- в) Усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть вредным.

23. Обратная связь.

- а) Ввести обратную связь.
- б) Если обратная связь есть, изменить её.

24. Принцип «посредника».

- а) Использовать промежуточный объект, переносящий или передающий действие.
- б) На время присоединить к объекту другой объект, легко удаляемый.

25. Самообслуживание.

- а) Объект должен сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции.
- б) Использовать отходы (энергии, вещества).

26. Копирование.

- а) Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешёвые копии.
- б) Заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями). Использовать при этом изменение масштаба (увеличить или уменьшить копии).
- в) Если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым.

27. Дешёвая недолговечность взамен дорогой долговечности.

Заменить дорогой объект набором дешёвых объектов, поступившись при этом некоторыми качествами (например, долговечностью).

28. Замена механической схемы.

- а) Заменить механическую схему оптической, акустической или «запаховой».
- б) Использовать электрические, магнитные и электромагнитные поля для взаимодействия с объектом.
- в) Перейти от неподвижных полей к движущимся, от фиксированных к меняющимся во времени, от неструктурных к имеющим структуру.
- г) Использовать поля в сочетании с ферромагнитными частицами.

29. Использование пневмо- и гидроконструкций.

Вместо твёрдых частей объекта использовать газообразные и жидкие: надувные и гидронаполняемые, воздушную подушку, гидростатические и гидрореактивные.

30. Использование гибких оболочек и тонких плёнок.

- а) Вместо обычных конструкций использовать гибкие оболочки и тонкие плёнки.
- б) Изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких плёнок.

31. Применение пористых материалов.

- а) Выполнить объект пористым или использовать дополнительные пористые элементы (вставки, покрытия и т.д.).
- б) Если объект уже выполнен пористым, предварительно заполнить поры каким-то веществом.

32. Изменение окраски.

- а) Изменить окраску объекта или внешней среды.
- б) Изменить степень прозрачности объекта или внешней среды.
- в) Для наблюдения за плохо видимыми объектами или процессами использовать красящие добавки.
- г) Если такие добавки уже применяются, использовать люминофоры или меченые атомы.



**Применение типовых приёмов решения изобретательских задач [1]**

33. Однородность.  
Объекты, взаимодействующие с данным объектом, должны быть сделаны из того же материала (или близкого ему по свойствам).

34. Отброс и регенерация частей.  
а) Выполнившая своё назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена (растворена, испарена и т.п.).  
б) Расходуемые части объекта должны быть восстановлены непосредственно в ходе работы.

35. Изменение физико-химических параметров объекта.  
а) Изменить агрегатное состояние объекта.  
б) Изменить концентрацию или консистенцию.  
в) Изменить степень гибкости.  
г) Изменить температуру.

36. Применение фазовых переходов.  
Использовать явления, возникающие при фазовых переходах, например, изменение объёма, выделение или поглощение тепла и т.д.

37. Применение теплового расширения.  
а) Использовать тепловое расширение (или сжатие) материалов.  
б) Использовать несколько материалов с разными коэффициентами теплового расширения.

38. Применение сильных окислителей.  
а) Заменить обычный воздух обогащённым.  
б) Заменить обогащённый воздух кислородом.  
в) Воздействовать на воздух или кислород ионизирующими излучениями.

- г) Использовать озонированный кислород.  
д) Заменить озонированный (или ионизированный) кислород озонном.

39. Применение инертной среды.  
а) Заменить обычную среду инертной.  
б) Вести процесс в вакууме.

40. Применение композиционных материалов.  
Перейти от однородных материалов к композиционным.

|                                                  |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                          |                          |                            |                            |                              |                          |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| № п/п                                            | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Вес подвижного объекта                                          | Вес неподвижного объекта | Длина подвижного объекта | Длина неподвижного объекта | Площадь подвижного объекта | Площадь неподвижного объекта | Объём подвижного объекта |
|                                                  |                                                                        | 1                                                               | 2                        | 3                        | 4                          | 5                          | 6                            | 7                        |
| Номера приёмов, рекомендуемых для решения задачи |                                                                        |                                                                 |                          |                          |                            |                            |                              |                          |
| 1                                                | Вес подвижного объекта                                                 |                                                                 | -                        | 15,8, 29,34              | -                          | 29,17, 38,34               | -                            | 29,2, 40,28              |
| 2                                                | Вес неподвижного объекта                                               | -                                                               |                          | -                        | 10,1, 29,35                | -                          | 35,40, 13,2                  | -                        |
| 3                                                | Длина подвижного объекта                                               | 8,15, 29,34                                                     | -                        |                          | -                          | 15,17, 4                   | -                            | 7,17, 4,35               |
| 4                                                | Длина неподвижного объекта                                             | -                                                               | 35,28, 40,29             | -                        |                            | -                          | 17,7, 10,40                  | -                        |
| 5                                                | Площадь подвижного объекта                                             | 2,17, 29,4                                                      | -                        | 14,15, 18,4              | -                          |                            | -                            | 7,145, 17,4              |
| 6                                                | Площадь неподвижного объекта                                           | -                                                               | 30,2, 14,18              | -                        | 26,7, 9,39                 | -                          |                              | -                        |
| 7                                                | Объём подвижного объекта                                               | 2,26, 29,40                                                     | -                        | 1,7, 4,35                | -                          | 1,7, 4,17                  | -                            |                          |
| 8                                                | Объём неподвижного объекта                                             | -                                                               | 35,10, 19,14             | 19,14                    | 35,8, 2,14                 | -                          |                              | -                        |
| 9                                                | Скорость                                                               | 2,28, 13,38                                                     | -                        | 13,14, 8                 | -                          | 29,30, 34                  | -                            | 7,29, 34                 |
| 10                                               | Сила                                                                   | 8,1, 37,18                                                      | 18,13, 1,28              | 17,19, 9,36              | 28,10                      | 19,10, 15                  | 1,18, 36,37                  | 15,9, 12,37              |
| 11                                               | Напряжение, давление                                                   | 10,36, 37,40                                                    | 13,29, 10,18             | 35,10, 36                | 35,1, 14,16                | 10,15, 36,28               | 10,15, 36,37                 | 6,35, 10                 |
| 12                                               | Форма                                                                  | 8,10, 29,40                                                     | 15,10, 26,3              | 29,34, 5,4               | 13,14, 10,7                | 5,34, 4,10                 | -                            | 14,4, 15,22              |
| 13                                               | Устойчивость состава объекта                                           | 21,35, 2,39                                                     | 26,39, 1,40              | 13,15, 1,28              | 37                         | 2,11, 13                   | 39                           | 28,10, 19,39             |
| 14                                               | Прочность                                                              | 1,8, 40,15                                                      | 40,26, 27,1              | 1,15, 8,35               | 15,14, 28,26               | 3,34, 40,29                | 9,40, 28                     | 10,15, 14,7              |

|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                          |                          |                            |                            |                              |                          |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Вес подвижного объекта                                          | Вес неподвижного объекта | Длина подвижного объекта | Длина неподвижного объекта | Площадь подвижного объекта | Площадь неподвижного объекта | Объём подвижного объекта |
|       |                                                                        | 1                                                               | 2                        | 3                        | 4                          | 5                          | 6                            | 7                        |
| 15    | Продолжительность действия подвижного объекта                          | 19,5, 34,31                                                     | -                        | 2,19, 9                  | -                          | 3,17, 19                   | -                            | 10,2, 19,30              |
| 16    | Продолжительность действия недвижимого объекта                         | -                                                               | 6,27, 19,16              | -                        | 1,40, 35                   | -                          | -                            | -                        |
| 17    | Температура                                                            | 36,32, 6,38                                                     | 22,35, 32                | 15,19, 9                 | 15,19, 9                   | 3,35, 39,18                | 35,38                        | 34,39 40,18              |
| 18    | Освещенность                                                           | 19,1, 32                                                        | 2,35, 32                 | 19,32, 16                |                            | 19,32, 26                  |                              | 2,13, 10                 |
| 19    | Энергия, расходуемая подвижным объектом                                | 12,18, 28,31                                                    | -                        | 12,28                    | -                          | 15,19, 25                  | -                            | 35,13 18                 |
| 20    | Энергия, расходуемая недвижимым объектом                               | -                                                               | 19,9, 6,27               | -                        |                            | -                          |                              | -                        |
| 21    | Мощность                                                               | 8,36, 38,31                                                     | 19,26, 17,27             | 1,10, 35,37              |                            | 19,38                      | 17,32, 13,38                 | 35,6, 38                 |
| 22    | Потери энергии                                                         | 15,6, 19,28                                                     | 19,6, 18,9               | 7,2, 6,13                | 6,38, 7                    | 15,26, 17,30               | 17,7, 30,18                  | 7,18, 23                 |
| 23    | Потери вещества                                                        | 35,6, 23,40                                                     | 35,6, 22,32              | 14,29, 10,39             | 10,28, 24                  | 35,2, 10,31                | 10,18, 39,31                 | 1,29, 30,36              |
| 24    | Потери информации                                                      | 10,24, 35                                                       | 10,35, 5                 | 1,26                     | 26                         | 30,26                      | 30,16                        |                          |
| 25    | Потери времени                                                         | 10,20, 37,35                                                    | 10,20, 26,5              | 15,2, 29                 | 30,24, 14,5                | 26,4, 5,16                 | 10,35, 17,4                  | 2,5, 34,10               |
| 26    | Количество вещества                                                    | 35,6, 18,31                                                     | 27,26, 18,35             | 29,14, 35,18             |                            | 15,14, 29                  | 2,18, 40,4                   | 15,20 29                 |
| 27    | Надёжность                                                             | 3,8, 10,40                                                      | 3,10, 8,28               | 15,9, 14,4               | 15,29, 28,14               | 17,10, 14,16               | 32,35, 40,4                  | 3,10, 14,24              |
| 28    | Точность измерения                                                     | 32,35, 26,28                                                    | 28,35, 25,26             | 28,26, 5,16              | 32,28, 3,16                | 26,28, 32,3                | 26,28, 32,3                  | 32,13 6                  |
| 29    | Точность изготовления                                                  | 28,32, 13,18                                                    | 28,35, 27,9              | 10,28, 29,37             | 2,32, 10                   | 28,33, 29,32               | 2,29, 18,36                  | 32,28 2                  |

|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                          |                          |                            |                            |                              |                          |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Вес подвижного объекта                                          | Вес неподвижного объекта | Длина подвижного объекта | Длина неподвижного объекта | Площадь подвижного объекта | Площадь неподвижного объекта | Объём подвижного объекта |
|       |                                                                        | 1                                                               | 2                        | 3                        | 4                          | 5                          | 6                            | 7                        |
| 30    | Вредные факторы, действующие на объект извне                           | 22,21, 27,39                                                    | 2,22, 13,24              | 17,1, 39,4               | 1,18                       | 22,1, 33,28                | 27,2, 39,35                  | 22,23 37,35              |
| 31    | Вредные факторы, генерируемые самим объектом                           | 19,22, 15,39                                                    | 35,22, 1,39              | 17,15, 16,22             |                            | 17,2, 18,39                | 22,1, 40                     | 17,2, 40                 |
| 32    | Удобство изготовления                                                  | 28,29, 15,16                                                    | 1,27, 36,13              | 1,29, 13,17              | 15,17, 27                  | 13,1, 26,12                | 16,40                        | 13,291, 40               |
| 33    | Удобство эксплуатации                                                  | 25,2, 13,15                                                     | 6,13, 1,25               | 1,17, 13,12              |                            | 1,17, 13,16                | 18,16, 15,39                 | 1,16, 35,15              |
| 34    | Удобство ремонта                                                       | 2,27, 35,11                                                     | 2,27, 35,11              | 1,28, 10,25              | 3,18, 31                   | 15,13, 32                  | 16,25                        | 25,2, 35,11              |
| 35    | Адаптация, универсальность                                             | 1,6, 15,8                                                       | 19,15, 25,16             | 35,1, 29,2               | 1,35, 16                   | 35,30, 29,7                | 15,16                        | 15,35 29                 |
| 36    | Сложность устройства                                                   | 26,30, 34,36                                                    | 2,36, 35,39              | 1,19, 26,24              | 26                         | 14,1, 13,16                | 6,36                         | 34,26 6                  |
| 37    | Сложность контроля и измерения                                         | 27,26, 28,13                                                    | 6,13, 28,1               | 16,17, 26,24             | 26                         | 2,13, 18,17                | 2,39, 30,16                  | 29,1, 4,16               |
| 38    | Степень автоматизации                                                  | 28,26, 18,35                                                    | 28,26, 35,10             | 14,13, 17,28             | 23                         | 17,14, 13                  |                              | 35,13, 16                |
| 39    | Производительность                                                     | 35,26, 24,37                                                    | 28,27, 15,3              | 18,4, 28,38              | 30,7, 14,26                | 10,26, 34,31               | 10,35, 17,7                  | 2,6, 34,10               |

|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |              |              |                      |              |                              |             |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|------------------------------|-------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Объём неподвижного объекта                                      | Скорость     | Сила         | Напряжение, давление | Форма        | Устойчивость состава объекта | Прочность   |
|       |                                                                        |                                                                 |              |              |                      |              |                              |             |
| 1     | Вес подвижного объекта                                                 | -                                                               | 2,8, 15,38   | 8,10, 18,37  | 10,36, 37,40         | 10,14, 35,40 | 1,35, 19,39                  | 28,27 18,40 |
| 2     | Вес неподвижного объекта                                               | 5,35, 14,2                                                      | -            | 8,10, 19,35  | 13,29, 10,18         | 13,10, 29,14 | 26,39, 1,40                  | 28,2, 10,27 |
| 3     | Длина подвижного объекта                                               | -                                                               | 13,4, 8      | 17,10, 4     | 1,8, 35              | 1,8, 10,29   | 1,8, 15,34                   | 8,35, 29,34 |
| 4     | Длина неподвижного объекта                                             | 35,8, 2,14                                                      | -            | 28,10        | 1,14, 35             | 13,14, 15,7  | 39,37, 35                    | 15,14 28,26 |
| 5     | Площадь подвижного объекта                                             |                                                                 | 29,30, 4,34  | 19,30, 35,2  | 10,15, 36,28         | 5,34, 29,4   | 11,2, 13,39                  | 3,15, 40,14 |
| 6     | Площадь неподвижного объекта                                           |                                                                 | -            | 1,18, 35,36  | 10,15, 36,37         |              | 2,38                         | 40          |
| 7     | Объём подвижного объекта                                               | -                                                               | 29,4, 38,34  | 15,35, 36,37 | 6,35, 36,37          | 1,15, 29,4   | 28,10, 1,39                  | 9,14, 15,7  |
| 8     | Объём неподвижного объекта                                             |                                                                 | -            | 2,18, 37     | 24,35                | 7,2, 35      | 34,28, 35,40                 | 9,14, 17,15 |
| 9     | Скорость                                                               | -                                                               |              | 13,28, 15,19 | 6,18, 38,40          | 35,15, 18,34 | 28,33, 1,18                  | 8,3, 26,14  |
| 10    | Сила                                                                   | 2,36, 18,37                                                     | 13,28, 15,12 |              | 18,21, 11            | 10,35, 40,34 | 35,10, 21                    | 35,10 14,27 |
| 11    | Напряжение, давление                                                   | 35,24                                                           | 6,35, 36     | 36,35, 21    |                      | 35,4, 15,10  | 35,33, 2,40                  | 9,18, 3,40  |
| 12    | Форма                                                                  | 7,2, 35                                                         | 35,15, 34,18 | 35,10, 37,40 | 34,15, 10,14         |              | 33,1, 18,4                   | 30,14 10,40 |
| 13    | Устойчивость состава объекта                                           | 34,28, 35,40                                                    | 33,15, 28,18 | 10,35, 21,16 | 2,35, 40             | 22,1, 18,4   |                              | 17,9, 15    |
| 14    | Прочность                                                              | 9,14, 17,15                                                     | 8,13, 26,14  | 10,18, 3,14  | 10,3, 18,40          | 10,30, 35,40 | 13,17, 36                    |             |
| 15    | Продолжительность действия подвижного объекта                          | -                                                               | 3,35, 5      | 19,2, 16     | 19,3, 27             | 14,26, 28,25 | 13,3, 35                     | 27,3, 10    |
| 16    | Продолжительность действия неподвижного объекта                        | 35,34, 38                                                       | -            | -            | -                    | 39,3, 35,23  | -                            | -           |
| 17    | Температура                                                            | 35,6, 4                                                         | 2,28, 36,30  | 35,10, 3,21  | 35,39, 19,2          | 14,22, 19,32 | 1,35, 32                     | 10,30 22,40 |
| 18    | Освещённость                                                           | -                                                               | 10,13, 19    | 26,19, 6     | -                    | 32,30        | 32,3, 27                     | 35,19       |

|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |              |              |                      |              |                              |             |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|------------------------------|-------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Объём неподвижного объекта                                      | Скорость     | Сила         | Напряжение, давление | Форма        | Устойчивость состава объекта | Прочность   |
|       |                                                                        |                                                                 |              |              |                      |              |                              |             |
| 19    | Энергия, расходуемая подвижным объектом                                | -                                                               | 8,35         | 16,26, 21,2  | 23,14, 25            | 12,2, 29     | 19,13, 17,24                 | 5,19, 9,35  |
| 20    | Энергия, расходуемая неподвижным объектом                              |                                                                 | -            | 36,37        |                      |              | 27,4, 29,18                  | 35          |
| 21    | Мощность                                                               | 30,6, 35                                                        | 15,35, 2     | 26,2, 36,35  | 22,10, 35            | 29,14, 2,40  | 35,32, 15,31                 | 26,10 28    |
| 22    | Потери энергии                                                         | 7                                                               | 16,35, 38    | 36,38        |                      |              | 14,2, 39,6                   | 26          |
| 23    | Потери вещества                                                        | 3,39, 18,31                                                     | 10,13, 28,38 | 14,15, 18,40 | 3,36, 37,10          | 29,35, 3,5   | 2,14, 30,40                  | 35,28 31,40 |
| 24    | Потери информации                                                      | 2,22                                                            | 26,32        |              |                      |              |                              |             |
| 25    | Потери времени                                                         | 35,16, 32,18                                                    |              | 10,37, 36,5  | 37,36,4              | 4,10, 34,17  | 35,3, 22,5                   | 29,3, 28,18 |
| 26    | Количество вещества                                                    |                                                                 | 35,29, 34,28 | 35,14, 3     | 10,36, 14,3          | 35,14        | 15,2, 17,40                  | 14,35 34,10 |
| 27    | Надёжность                                                             | 2,35, 24                                                        | 21,35, 11,28 | 8,28, 10,3   | 10,24, 35,19         | 35,1, 16,11  |                              | 11,28       |
| 28    | Точность измерения                                                     |                                                                 | 28,13, 32,24 | 32,2         | 6,28, 32             | 6,28, 32     | 32,35, 13                    | 28,6, 32    |
| 29    | Точность изготовления                                                  | 25,10, 35                                                       | 10,28, 32    | 28,19, 34,36 | 3,35                 | 32,30, 40    | 30,18                        | 3,27        |
| 30    | Вредные факторы, действующие на объект извне                           | 34,39, 19,27                                                    | 21,22, 35,28 | 13,35, 39,18 | 22,2, 37             | 22,1, 3,35   | 35,24, 30,18                 | 18,35 37,1  |
| 31    | Вредные факторы, генерируемые самим объектом                           | 30,18, 35,4                                                     | 35,28, 3,23  | 35,28, 1,40  | 2,33, 27,18          | 35,1         | 35,40, 27,39                 | 15,35 22,2  |
| 32    | Удобство изготовления                                                  | 35                                                              | 35,13, 8,1   | 35,12        | 35,19, 1,37          | 1,28, 13,27  | 11,13, 1                     | 1,3, 10,32  |
| 33    | Удобство эксплуатации                                                  | 4,18, 39,31                                                     | 18,13, 34    | 28,13, 35    | 2,32, 12             | 15,34, 29,28 | 32,35, 30                    | 32,40 3,28  |
| 34    | Удобство ремонта                                                       | 1                                                               | 34,9         | 1,11, 10     | 13                   | 1,13, 2,4    | 2,35                         | 11,1, 2,9   |
| 35    | Адаптация, универсальность                                             |                                                                 | 35,10, 14    | 15,17, 20    | 35,16                | 15,37, 1,8   | 35,30, 14                    | 35,3, 32,6  |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |           |             |                      |             |                              |             |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|-------------|----------------------|-------------|------------------------------|-------------|
|       |                                                                        | Объём неподвижного объекта                                      | Скорость  | Сила        | Напряжение, давление | Форма       | Устойчивость состава объекта | Прочность   |
|       |                                                                        | 8                                                               | 9         | 10          | 11                   | 12          | 13                           | 14          |
| 36    | Сложность устройства                                                   | 1,16                                                            | 34,10,28  | 26,16       | 19,1,35              | 29,13,28,15 | 2,22,17,19                   | 2,13,28     |
| 37    | Сложность контроля и измерения                                         | 2,18,26,31                                                      | 3,4,16,35 | 36,28,40,19 | 35,36,37,32          | 27,13,1,39  | 11,22,39,30                  | 27,3,15,28  |
| 38    | Степень автоматизации                                                  |                                                                 | 28,10     | 2,35        | 13,35                | 15,32,1,13  | 18,1                         | 25,13       |
| 39    | Производительность                                                     | 35,37,10,2                                                      |           | 28,15,10,36 | 10,37,14             | 14,10,34,40 | 35,3,22,39                   | 29,28,10,18 |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                                 |             |              |                                         |                                           |             |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|
|       |                                                                        | Продолжительность действия подвижного объекта                   | Продолжительность действия неподвижного объекта | Температура | Освещённость | Энергия, расходуемая подвижным объектом | Энергия, расходуемая неподвижным объектом | Мощность    |
|       |                                                                        | 15                                                              | 16                                              | 17          | 18           | 19                                      | 20                                        | 21          |
| 1     | Вес подвижного объекта                                                 | 5,34,31,35                                                      | -                                               | 6,29,4,38   | 19,1,32      | 35,12,34,31                             | -                                         | 12,36,18,31 |
| 2     | Вес неподвижного объекта                                               | -                                                               | 2,27,19,6                                       | 28,19,32,22 | 19,32,35     | -                                       | 18,19,28,1                                | 15,19,18,22 |
| 3     | Длина подвижного объекта                                               | 19                                                              | -                                               | 10,15,19    | 32           | 8,25,34                                 | -                                         | 1,35        |
| 4     | Длина неподвижного объекта                                             | -                                                               | 1,40,35                                         | 3,35,38,18  | 3,25         | -                                       |                                           | 12,8        |
| 5     | Площадь подвижного объекта                                             | 6,3                                                             | -                                               | 2,15,16     | 15,32,19,13  | 19,32                                   | -                                         | 19,10,32,18 |
| 6     | Площадь неподвижного объекта                                           | -                                                               | 2,10,19,30                                      | 35,39,38    |              | -                                       |                                           | 17,32       |
| 7     | Объём подвижного объекта                                               | 6,35,4                                                          | -                                               | 34,39,10,18 | 2,13,10      | 35                                      | -                                         | 35,6,13,18  |
| 8     | Объём неподвижного объекта                                             | -                                                               | 35,34,38                                        | 35,6,4      |              | -                                       |                                           | 30,6        |
| 9     | Скорость                                                               | 3,19,35,5                                                       | -                                               | 28,30,36,2  | 10,13,19     | 8,15,35,38                              | -                                         | 19,35,38,2  |
| 10    | Сила                                                                   | 19,2                                                            |                                                 | 35,10,21    | -            | 19,17,10                                | 1,16,36,37                                | 19,35,18,37 |
| 11    | Напряжение, давление                                                   | 19,3,27                                                         |                                                 | 35,39,19,2  | -            | 14,24,10,37                             |                                           | 10,35,14    |
| 12    | Форма                                                                  | 14,26,9,25                                                      |                                                 | 22,14,19,32 | 13,15,32     | 2,6,34,14                               |                                           | 4,6,2       |
| 13    | Устойчивость состава объекта                                           | 13,27,10,35                                                     | 39,3,35,23                                      | 35,1,32     | 32,3,27,15   | 13,19                                   | 27,4,29,18                                | 32,35,27,31 |
| 14    | Прочность                                                              | 27,3,26                                                         |                                                 | 30,10,40    | 35,19        | 19,35,10                                | 35                                        | 10,26,35,28 |
| 15    | Продолжительность действия подвижного объекта                          |                                                                 | -                                               | 19,35,39    | 2,19,4,35    | 28,6,35,18                              |                                           | 19,10,35,38 |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                                 |              |              |                                         |                                           |              |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|
|       |                                                                        | Продолжительность действия подвижного объекта                   | Продолжительность действия неподвижного объекта | Температура  | Освещённость | Энергия, расходуемая подвижным объектом | Энергия, расходуемая неподвижным объектом | Мощность     |
|       |                                                                        | 15                                                              | 16                                              | 17           | 18           | 19                                      | 20                                        | 21           |
| 16    | Продолжительность действия неподвижного объекта                        | -                                                               |                                                 | 19,18, 36,40 |              | -                                       |                                           | 16           |
| 17    | Температура                                                            | 19,13, 39                                                       | 19,18, 36,40                                    |              | 32,30, 21,16 | 19,15, 3,17                             |                                           | 2,14, 17,25  |
| 18    | Освещённость                                                           | 2,19, 6                                                         |                                                 | 32,35, 19    |              | 32,1, 19                                | 32,35, 1,15                               | 32           |
| 19    | Энергия, расходуемая подвижным объектом                                | 28,35, 6,18                                                     | -                                               | 19,24, 3,14  | 2,15, 19     |                                         | -                                         | 6,19, 37,18  |
| 20    | Энергия, расходуемая неподвижным объектом                              |                                                                 |                                                 |              | 19,2, 35,32  | -                                       |                                           |              |
| 21    | Мощность                                                               | 19,35, 10,38                                                    | 16                                              | 2,14, 17,25  | 16,6, 19     | 16,6, 19,37                             |                                           |              |
| 22    | Потери энергии                                                         |                                                                 |                                                 | 19,38,7      | 1,13, 32,15  |                                         |                                           | 3,38         |
| 23    | Потери вещества                                                        | 28,27, 3,18                                                     | 27,16, 18,38                                    | 21,36, 39,31 | 1,6, 13      | 35,18, 24,5                             | 28,27, 12,31                              | 28,27, 18,38 |
| 24    | Потери информации                                                      | 10                                                              | 10                                              |              | 19           |                                         |                                           | 10,19        |
| 25    | Потери времени                                                         | 20,10, 28,18                                                    | 28,20, 10,16                                    | 35,29, 21,18 | 1,19, 26,17  | 35,38, 19,18                            | 1                                         | 35,20, 10,6  |
| 26    | Количество вещества                                                    | 3,35, 10,40                                                     | 3,35, 31                                        | 3,17, 39     |              | 34,29, 16,18                            | 3,35, 31                                  | 35           |
| 27    | Надёжность                                                             | 2,35, 3,25                                                      | 34,27, 6,40                                     | 3,35, 10     | 11,32, 13    | 21,11, 27,19                            | 36,23                                     | 21,11, 26,31 |
| 28    | Точность измерения                                                     | 28,6, 32                                                        | 10,26, 24                                       | 6,19, 28,24  | 6,1, 32      | 3,6, 32                                 |                                           | 3,6, 32      |
| 29    | Точность изготовления                                                  | 3,27, 40                                                        |                                                 | 19,26        | 3,32         | 32,2                                    |                                           | 32,2         |
| 30    | Вредные факторы, действующие на объект извне                           | 22,15, 33,28                                                    | 17,1, 40,33                                     | 22,33, 35,2  | 1,19, 32,13  | 1,24, 6,27                              | 10,2, 22,37                               | 19,22, 31,2  |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                                 |              |              |                                         |                                           |              |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|
|       |                                                                        | Продолжительность действия подвижного объекта                   | Продолжительность действия неподвижного объекта | Температура  | Освещённость | Энергия, расходуемая подвижным объектом | Энергия, расходуемая неподвижным объектом | Мощность     |
|       |                                                                        | 15                                                              | 16                                              | 17           | 18           | 19                                      | 20                                        | 21           |
| 31    | Вредные факторы, генерируемые самим объектом                           | 15,22, 33,31                                                    | 21,39, 16,22                                    | 22,35, 2,24  | 19,24, 39,32 | 2,35, 6                                 | 19,22, 18                                 | 2,35, 18     |
| 32    | Удобство изготовления                                                  | 27,1, 4                                                         | 35,16                                           | 27,26, 18    | 28,24, 27,1  | 28,26, 27,1                             | 1,4                                       | 27,1, 12,24  |
| 33    | Удобство эксплуатации                                                  | 29,3, 8,25                                                      | 1,16, 26                                        | 26,27, 13    | 13,17, 1,24  | 1,13, 24                                |                                           | 35,34, 2,10  |
| 34    | Удобство ремонта                                                       | 11,29, 28,27                                                    | 1                                               | 4,10         | 15,1, 13     | 15,1, 28,16                             |                                           | 15,10, 32,2  |
| 35    | Адаптация, универсальность                                             | 13,1, 35                                                        | 2,16                                            | 27,2, 3,35   | 6,22, 26,1   | 19,35, 29,13                            |                                           | 19,1, 29     |
| 36    | Сложность устройства                                                   | 10,4, 28,15                                                     |                                                 | 2,17, 13     | 24,17, 13    | 27,2, 29,28                             |                                           | 20,19, 30,34 |
| 37    | Сложность контроля и измерения                                         | 19,22, 39,25                                                    | 25,34, 6,35                                     | 3,27, 35,16  | 2,24, 26     | 35,38                                   | 19,35, 16                                 | 19,1, 16,10  |
| 38    | Степень автоматизации                                                  | 6,9,                                                            |                                                 | 26,2, 19     | 8,32, 19     | 2,32, 13                                |                                           | 28,2, 27     |
| 39    | Производительность                                                     | 35,10, 2,18                                                     | 20,10, 16,38                                    | 35,21, 28,10 | 26,17, 19,1  | 35,10, 38,19                            | 1                                         | 35,20, 10    |



|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                 |                   |                |                     |              |                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------|--------------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Потери энергии                                                  | Потери вещества | Потери информации | Потери времени | Количество вещества | Надёжность   | Точность измерения |
|       |                                                                        |                                                                 |                 |                   |                |                     |              |                    |
| 1     | Вес подвижного объекта                                                 | 6,2, 34,19                                                      | 5,35, 3,31      | 10,24, 35         | 10,35, 20,28   | 3,26, 18,31         | 3,11, 1,27   | 28,27 35,26        |
| 2     | Вес неподвижного объекта                                               | 18,19, 28,15                                                    | 5,8, 13,30      | 10,15, 35         | 10,20, 35,26   | 19,6, 18,26         | 10,28, 8,3   | 18,26 28           |
| 3     | Длина подвижного объекта                                               | 6,28, 24,35                                                     | 10,28, 24,35    | 24,26             | 30,29, 14      |                     | 15,29, 28    | 32,28 3            |
| 4     | Длина неподвижного объекта                                             | 6,28                                                            | 10,28, 24,35    | 24,26             | 30,29, 14      |                     | 15,29, 28    | 32,28 3            |
| 5     | Площадь подвижного объекта                                             | 15,17, 30,26                                                    | 10,35, 2,39     | 30,26             | 26,4           | 29,30, 6,13         | 29,9         | 26,28 32,3         |
| 6     | Площадь неподвижного объекта                                           | 17,7, 30                                                        | 10,14, 18,39    | 30,16             | 10,35, 4,18    | 2,18, 40,4          | 32,35, 40,4  | 26,28 32,3         |
| 7     | Объём подвижного объекта                                               | 7,15, 13,16                                                     | 36,39, 34,16    | 2,22              | 2,6, 34,10     | 29,30, 7            | 14,1, 40,11  | 26,28              |
| 8     | Объём неподвижного объекта                                             |                                                                 | 10,39, 35,34    |                   | 35,16, 32,18   | 35,3                | 2,35, 16     |                    |
| 9     | Скорость                                                               | 14,20, 19,35                                                    | 10,13, 28,38    | 13,26             |                | 10,19, 29,38        | 11,35, 27,28 | 28,32 1,24         |
| 10    | Сила                                                                   | 14,15,                                                          | 8,35, 40,5      |                   | 10,37, 36      | 14,29, 18,36        | 3,35, 13,21  | 35,10 23,24        |
| 11    | Напряжение, давление                                                   | 2,36, 25                                                        | 10,36, 3,37     |                   | 37,36, 4       | 10,14, 36           | 10,13, 19,35 | 6,28, 25           |
| 12    | Форма                                                                  | 14                                                              | 35,29, 3,5      |                   | 14,10, 34,17   | 36,22               | 10,40, 16    | 28,3 21            |
| 13    | Устойчивость состава объекта                                           | 14,2, 39,6                                                      | 2,14, 30,40     |                   | 35,27          | 15,32, 35           |              | 13                 |
| 14    | Прочность                                                              | 35                                                              | 35,28, 31,40    |                   | 29,3, 28,10    | 29,10, 27           | 11,3         | 3,27, 16           |
| 15    | Продолжительность действия подвижного объекта                          |                                                                 | 28,27, 3,18     | 10                | 20,10, 28,18   | 3,35, 10,40         | 11,2, 13     | 3                  |
| 16    | Продолжительность действия неподвижного объекта                        |                                                                 | 27,16, 18,38    | 10                | 28,20, 10,16   | 3,35, 31            | 34,27, 6,40  | 10,26 24           |
| 17    | Температура                                                            | 21,17, 35,38                                                    | 21,36, 29,31    |                   | 35,28, 21,18   | 3,17, 30,39         | 19,35, 3,10  | 32,19 24           |

|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                 |                   |                |                     |              |                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------|--------------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Потери энергии                                                  | Потери вещества | Потери информации | Потери времени | Количество вещества | Надёжность   | Точность измерения |
|       |                                                                        |                                                                 |                 |                   |                |                     |              |                    |
| 18    | Освещенность                                                           | 13,36, 1,6                                                      | 13,1            | 1,6               | 19,1, 26,17    | 1,19                |              | 11,15 32           |
| 19    | Энергия, расходуемая подвижным объектом                                | 12,22, 15,24                                                    | 35,24, 18,5     |                   | 35,38, 19,18   | 34,23, 16,18        | 19,21, 11,27 | 3,1, 32            |
| 20    | Энергия, расходуемая неподвижным объектом                              |                                                                 | 28,27, 18,31    |                   |                | 3,35, 31            | 10,36, 23    |                    |
| 21    | Мощность                                                               | 10,35, 38                                                       | 28,27, 18,38    | 10,29             | 35,20, 10,6    | 4,34, 19            | 19,24, 26,31 | 32,15 2            |
| 22    | Потери энергии                                                         |                                                                 | 35,27, 2,37     | 19,10             | 10,18, 32,7    | 7,18, 25            | 11,10, 35    | 32                 |
| 23    | Потери вещества                                                        | 35,27, 2,31                                                     |                 |                   | 15,18, 35,10   | 6,3, 10,24          | 10,29, 39,35 | 16,34 31,28        |
| 24    | Потери информации                                                      | 19,10                                                           |                 |                   | 24,26, 28,32   | 24,28, 35           | 10,28, 23    |                    |
| 25    | Потери времени                                                         | 10,5, 18,32                                                     | 35,18, 10,39    | 24,26, 28,32      |                | 35,38, 18,16        | 10,30, 4     | 24,342 8,32        |
| 26    | Количество вещества                                                    | 7,18, 25                                                        | 6,3, 10,24      | 24,28, 35         | 35,38, 18,16   |                     | 18,3, 28,40  | 3,2, 28            |
| 27    | Надёжность                                                             | 21,11, 26,31                                                    | 10,11, 35       | 10,35, 29,39      | 10,28          | 10,30, 4            | 21,28, 40,3  |                    |
| 28    | Точность измерения                                                     | 26,32, 27                                                       | 10,16, 31,28    |                   | 24,34, 28,32   | 2,6, 32             | 5,11, 1,23   |                    |
| 29    | Точность изготовления                                                  | 13,32, 2                                                        | 35,31, 10,40    |                   | 32,26, 28,18   | 32,30               | 11,32, 1     |                    |
| 30    | Вредные факторы, действующие на объект извне                           | 21,22, 35,2                                                     | 33,22, 19,40    | 22,10, 2          | 35,18, 34      | 35,33, 29,31        | 27,24, 2,40  | 28,33, 23,26       |
| 31    | Вредные факторы, генерируемые самим объектом                           | 21,35, 2,22                                                     | 10,1, 34        | 10,21, 29         | 1,22           | 3,24, 39,1          | 24,2, 40,39  | 3,33, 26           |
| 32    | Удобство изготовления                                                  | 19,35,                                                          | 15,34, 33       | 32,24, 18,16      | 35,28, 34,4    | 35,23, 1,24         |              | 1,35, 12,18        |
| 33    | Удобство эксплуатации                                                  | 2,19, 13                                                        | 28,32, 2,24     | 4,10, 27,22       | 4,28, 10,34    | 12,35               | 17,27, 8,40  | 25,13, 2,34        |
| 34    | Удобство ремонта                                                       | 15,1, 32,19                                                     | 2,35, 34,27     |                   | 32,1, 10,25    | 2,28, 10,25         | 11,10, 1,16  | 10,2, 13           |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                 |                   |                |                     |            |                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|------------|--------------------|
|       |                                                                        | Потери энергии                                                  | Потери вещества | Потери информации | Потери времени | Количество вещества | Надёжность | Точность измерения |
|       |                                                                        | 22                                                              | 23              | 24                | 25             | 26                  | 27         | 28                 |
| 35    | Адаптация, универсальность                                             | 18,15,1                                                         | 15,10,2,13,     |                   | 35,28          | 3,35,15             | 35,13,8,24 | 35,5,10,3,4        |
| 36    | Сложность устройства                                                   | 10,35,13,2                                                      | 35,10,28,29     |                   | 6,29           | 13,3,27,10          | 13,35,1    | 2,26,10,34         |
| 37    | Сложность контроля и измерения                                         | 35,3,15,19                                                      | 1,18,10,24      | 35,33,27,22       | 18,28,32,9     | 3,27,29,18          | 27,40,28,8 | 26,24,32,28        |
| 38    | Степень автоматизации                                                  | 23,28                                                           | 35,10,18,5      | 35,33             | 24,28,35,30    | 35,13,              | 11,27,32   | 28,26,10,34        |
| 39    | Производительность                                                     | 28,10,29,35                                                     | 28,10,35,23     | 13,15,23          |                | 35,38               | 1,35,10,38 | 1,10,34,28         |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                              |                                              |                       |                       |                  |                            |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|
|       |                                                                        | Точность изготовления                                           | Вредные факторы, действующие на объект извне | Вредные факторы, генерируемые самим объектом | Удобство изготовления | Удобство эксплуатации | Удобство ремонта | Адаптация, универсальность |
|       |                                                                        | 29                                                              | 30                                           | 31                                           | 32                    | 33                    | 34               | 35                         |
| 1     | Вес подвижного объекта                                                 | 28,35,26,18                                                     | 22,21,18,27                                  | 22,35,31,39                                  | 27,28,1,36            | 35,3,2,24             | 2,27,28,11       | 29,5,15,8                  |
| 2     | Вес неподвижного объекта                                               | 10,1,35,17                                                      | 2,19,22,37                                   | 35,22,1,39                                   | 28,1,9                | 6,13,1,32             | 2,27,28,11       | 19,15,29                   |
| 3     | Длина подвижного объекта                                               | 10,28,29,37                                                     | 1,15,17,24                                   | 17,15                                        | 1,29,17               | 15,29,35,4            | 1,28,10          | 14,151,16                  |
| 4     | Длина неподвижного объекта                                             | 2,32                                                            | 22,33,28,1                                   | 17,2,18,39                                   | 13,1,26,24            | 15,17,13,16           | 15,13,10,1       | 15,30                      |
| 5     | Площадь подвижного объекта                                             | 2,32                                                            | 22,33,28,1                                   | 17,2,18,39                                   | 13,1,26,24            | 15,17,13,16           | 15,13,10,1       | 15,30                      |
| 6     | Площадь неподвижного объекта                                           | 2,29,18,36                                                      | 27,2,39,35                                   | 22,1,40                                      | 40,16                 | 16,4                  | 16               | 15,16                      |
| 7     | Объём подвижного объекта                                               | 25,28,2,16                                                      | 22,21,27,35                                  | 17,2,40,1                                    | 29,1,40               | 15,13,30,12           | 10               | 15,29                      |
| 8     | Объём неподвижного объекта                                             | 35,10,25                                                        | 34,39,19,17                                  | 30,18,35,4                                   | 35                    |                       | 1                |                            |
| 9     | Скорость                                                               | 10,28,32,25                                                     | 1,28,35,23                                   | 2,24,35,31                                   | 35,13,8,1             | 32,28,13,12           | 34,2,28,27       | 15,10,26                   |
| 10    | Сила                                                                   | 28,29,37,36                                                     | 1,35,40,18                                   | 13,3,36,24                                   | 15,37,18,1            | 1,28,3,25             | 15,1,11          | 15,17,18,20                |
| 11    | Напряжение, давление                                                   | 3,35                                                            | 22,2,37                                      | 2,33,27,18                                   | 1,35,16               | 11                    | 2                | 35                         |
| 12    | Форма                                                                  | 32,30,40                                                        | 22,1,2,35                                    | 35,1                                         | 1,32,17,28            | 32,15,26              | 2,13,1           | 1,15,29                    |
| 13    | Устойчивость состава объекта                                           | 18                                                              | 35,24,30,18                                  | 35,40,27,39                                  | 35,19                 | 32,35,30              | 2,35,10,16       | 35,30,34,2                 |
| 14    | Прочность                                                              | 3,27                                                            | 18,35,37,1                                   | 15,35,22,2                                   | 11,3,10,32            | 32,40,28,2            | 27,11,3          | 15,3,32                    |
| 15    | Продолжительность действия подвижного объекта                          | 3,27,16,40                                                      | 22,15,33,28                                  | 21,39,16,22                                  | 27,1,4                | 12,27                 | 29,10,27         | 1,35,13                    |
| 16    | Продолжительность действия неподвижного объекта                        |                                                                 | 17,1,40,33                                   | 22                                           | 35,10                 | 1                     | 1                | 2                          |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                              |                                              |                       |                       |                  |                            |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|
|       |                                                                        | Точность изготовления                                           | Вредные факторы, действующие на объект извне | Вредные факторы, генерируемые самим объектом | Удобство изготовления | Удобство эксплуатации | Удобство ремонта | Адаптация, универсальность |
|       |                                                                        | 29                                                              | 30                                           | 31                                           | 32                    | 33                    | 34               | 35                         |
| 17    | Температура                                                            | 24                                                              | 22,33,35,2                                   | 22,35,2,24                                   | 26,27                 | 26,27                 | 4,10,16          | 2,18,27                    |
| 18    | Освещённость                                                           | 2,32                                                            | 15,19                                        | 35,19,32,39                                  | 19,35,28,26           | 28,26,19              | 15,17,13,16      | 15,1,19                    |
| 19    | Энергия, расходуемая подвижным объектом                                |                                                                 | 1,35,6,27                                    | 2,35,6                                       | 28,26,30              | 19,35                 | 1,15,17,28       | 15,17,13,16                |
| 20    | Энергия, расходуемая неподвижным объектом                              |                                                                 | 10,2,22,37                                   | 19,22,18                                     | 1,4                   |                       |                  |                            |
| 21    | Мощность                                                               | 32,2                                                            | 19,22,31,2                                   | 2,35,18                                      | 26,10,34              | 26,35,10              | 35,2,10,34       | 19,17,34                   |
| 22    | Потери энергии                                                         |                                                                 | 21,22,35,2                                   | 21,35,2,22                                   |                       | 35,32,1               | 2,19             |                            |
| 23    | Потери вещества                                                        | 35,10,24,31                                                     | 33,22,30,40                                  | 10,1,34,29                                   | 15,34,33              | 32,28,2,24            | 2,35,34,27       | 15,10,2                    |
| 24    | Потери информации                                                      |                                                                 | 22,10,1                                      | 10,21,22                                     | 32                    | 27,22                 |                  |                            |
| 25    | Потери времени                                                         | 24,26,28,18                                                     | 35,18,34                                     | 35,22,18,39                                  | 35,28,34,4            | 4,28,10,34            | 32,1,10          | 35,28                      |
| 26    | Количество вещества                                                    | 33,30                                                           | 35,33,29,31                                  | 3,35,40,39                                   | 29,1,35,27            | 35,29,25,10           | 2,32,10,25       | 15,3,29                    |
| 27    | Надёжность                                                             | 11,32,1                                                         | 27,35,2,40                                   | 35,2,40,26                                   |                       | 27,17,40              | 1,11             | 13,35,8,24                 |
| 28    | Точность измерения                                                     |                                                                 | 28,24,22,26                                  | 3,33,39,10                                   | 6,35,25,18            | 1,13,17,34            | 1,32,13,11       | 13,35,2                    |
| 29    | Точность изготовления                                                  |                                                                 | 26,28,10,36                                  | 4,17,34,26                                   |                       | 1,32,35,23            | 25,10            |                            |
| 30    | Вредные факторы, действующие на объект извне                           | 26,28,10,18                                                     |                                              |                                              | 24,35,2               | 2,25,28,39            | 35,10,2          | 35,11,22,31                |
| 31    | Вредные факторы, генерируемые самим объектом                           | 4,17,34,36                                                      |                                              |                                              |                       |                       |                  |                            |

| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                              |                                              |                       |                       |                  |                            |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|
|       |                                                                        | Точность изготовления                                           | Вредные факторы, действующие на объект извне | Вредные факторы, генерируемые самим объектом | Удобство изготовления | Удобство эксплуатации | Удобство ремонта | Адаптация, универсальность |
|       |                                                                        | 29                                                              | 30                                           | 31                                           | 32                    | 33                    | 34               | 35                         |
| 32    | Удобство изготовления                                                  |                                                                 | 24,2                                         |                                              |                       | 2,5,13,16             | 35,1,11,9        | 2,13,15                    |
| 33    | Удобство эксплуатации                                                  | 1,32,35,23                                                      | 2,25,28,39                                   |                                              | 2,5,12                |                       | 12,26,1,32       | 15,34,1,16                 |
| 34    | Удобство ремонта                                                       | 25,10                                                           | 35,10,2,16                                   |                                              | 1,35,11,10            | 1,12,26,15            |                  | 7,1,4,16                   |
| 35    | Адаптация, универсальность                                             |                                                                 | 35,11,32,31                                  |                                              | 1,13,31               | 15,34,1,16            | 1,16,7,4         |                            |
| 36    | Сложность устройства                                                   | 26,24,32                                                        | 22,19,29,40                                  | 19,1                                         | 27,26,1,13            | 27,9,26,24            | 1,13             | 29,15,28,37                |
| 37    | Сложность контроля и измерения                                         |                                                                 | 22,19,29,28                                  | 2,21                                         | 5,28,11,29            | 2,5                   | 12,26            | 1,15                       |
| 38    | Степень автоматизации                                                  | 28,26,18,23                                                     | 2,33                                         | 2                                            | 1,26,13               | 1,12,34,3             | 1,35,13          | 27,4,1,35                  |
| 39    | Производительность                                                     | 18,10,32,1                                                      | 22,35,13,24                                  | 35,22,18,39                                  | 35,28,2,24            | 1,28,7,19             | 1,32,10,25       | 1,35,28,37                 |

|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                |                       |                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Сложность устройства                                            | Сложность контроля и измерения | Степень автоматизации | Производительность |
|       |                                                                        | 36                                                              | 37                             | 38                    | 39                 |
| 1     | Вес подвижного объекта                                                 | 26,30,36,34                                                     | 28,29,26,32                    | 26,35,18,19           | 35,3, 24,37        |
| 2     | Вес неподвижного объекта                                               | 1,10, 26,39                                                     | 25,28,17,15                    | 2,26, 35              | 1,28, 15,35        |
| 3     | Длина подвижного объекта                                               | 1,19, 26,24                                                     | 35,1, 26,24                    | 17,24,26,16           | 14,4, 28,29        |
| 4     | Длина неподвижного объекта                                             | 1,26                                                            | 26                             |                       | 30,14,7,26         |
| 5     | Площадь подвижного объекта                                             | 14,1, 13                                                        | 2,36,20,18                     | 14,30,28,23           | 10,26,34,2         |
| 6     | Площадь неподвижного объекта                                           | 1,18, 36                                                        | 2,35,30,18                     | 23                    | 10,15,17,7         |
| 7     | Объём подвижного объекта                                               | 26,1                                                            | 29,26,4                        | 35,24,16,24           | 10,6, 2,34         |
| 8     | Объём неподвижного объекта                                             | 1,31                                                            | 2,17, 26                       |                       | 35,37,10,2         |
| 9     | Скорость                                                               | 10,28,4,34                                                      | 3,34,27,16                     | 10,18                 |                    |
| 10    | Сила                                                                   | 26,35,10,18                                                     | 36,37,10,19                    | 2,35                  | 3,28,35,37         |
| 11    | Напряжение, давление                                                   | 19,1, 35                                                        | 2,36, 37                       | 35,24                 | 10,14,35,37        |
| 12    | Форма                                                                  | 16,29,1,28                                                      | 15,13,39                       | 15,1,32               | 17,26,34,10        |
| 13    | Устойчивость состава объекта                                           | 2,35, 22,26                                                     | 35,22,39,23                    | 1,8, 35               | 23,35,40,3         |
| 14    | Прочность                                                              | 2,13, 28                                                        | 27,3,15,40                     | 15                    | 29,35,10,14        |
| 15    | Продолжительность действия подвижного объекта                          | 10,4, 29,15                                                     | 19,29,39,35                    | 6,10                  | 35,17,14,19        |
| 16    | Продолжительность действия неподвижного объекта                        |                                                                 | 25,34,6,35                     | 1                     | 20,10,16,38        |
| 17    | Температура                                                            | 2,17, 16                                                        | 3,27, 35,31                    | 26,2, 19,16           | 15,28,35           |
| 18    | Освещенность                                                           | 6,32, 13                                                        | 32,15                          | 2,26, 10              | 2,25, 16           |
| 19    | Энергия, расходуемая подвижным объектом                                | 2,29, 27,28                                                     | 35,38                          | 32,2                  | 12,28,35           |
| 20    | Энергия, расходуемая неподвижным объектом                              |                                                                 | 19,35,16,25                    |                       | 1,6                |
| 21    | Мощность                                                               | 20,19,30,34                                                     | 19,35,16                       | 28,2,17               | 28,35,34           |

|       |                                                                        | Что недопустимо ухудшается, если использовать известные способы |                                |                       |                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|
| № п/п | Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи | Сложность устройства                                            | Сложность контроля и измерения | Степень автоматизации | Производительность |
|       |                                                                        | 36                                                              | 37                             | 38                    | 39                 |
| 22    | Потери энергии                                                         | 7,23                                                            | 35,3,15,23                     | 2                     | 28,10,29,35        |
| 23    | Потери вещества                                                        | 35,10,28,24                                                     | 35,18,10,13                    | 35,10,18              | 28,35,10,23        |
| 24    | Потери информации                                                      |                                                                 | 35,33                          | 35                    | 13,23,15           |
| 25    | Потери времени                                                         | 6,29                                                            | 18,28,32,10                    | 24,28,35,30           |                    |
| 26    | Количество вещества                                                    | 3,13, 27,10                                                     | 3,27,29,18                     | 8,35                  | 13,29,3,27         |
| 27    | Надёжность                                                             | 13,35,1                                                         | 27,40,28                       | 11,13,27              | 1,35,29,38         |
| 28    | Точность измерения                                                     | 27,35,10,34                                                     | 26,24,32,28                    | 28,2,10,34            | 10,34,28,32        |
| 29    | Точность изготовления                                                  | 26,2, 18                                                        |                                | 26,28,18,23           | 10,18,32,39        |
| 30    | Вредные факторы, действующие на объект извне                           | 22,19,29,40                                                     | 22,19,29,40                    | 33,3, 34              | 22,35,13,24        |
| 31    | Вредные факторы, генерируемые самим объектом                           | 19,1, 31                                                        | 2,21, 27,1                     | 2                     | 22,35,18,39        |
| 32    | Удобство изготовления                                                  | 27,26,1                                                         | 6,28, 11,1                     | 8,28, 1               | 35,1, 10,28        |
| 33    | Удобство эксплуатации                                                  | 32,26,12,17                                                     |                                | 1,34, 12,3            | 15,1, 28           |
| 34    | Удобство ремонта                                                       | 35,1,13,11                                                      |                                | 34,35,7,13            | 1,32,10            |
| 35    | Адаптация, универсальность                                             | 15,29, 37,28                                                    | 1                              | 27,34,35              | 35,28,6,37         |
| 36    | Сложность устройства                                                   |                                                                 | 15,10,37,28                    | 15,1,24               | 12,17,28           |
| 37    | Сложность контроля и измерения                                         | 15,10,37,28                                                     |                                | 34,21                 | 35,18              |
| 38    | Степень автоматизации                                                  | 15,24,10                                                        | 34,27,25                       |                       | 5,12, 35,26        |
| 39    | Производительность                                                     | 12,17,28,24                                                     | 35,18,27,2                     | 5,12,35,26            |                    |

## Содержание

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение.....                                                        | 3   |
| Часть 1. МЕТОДЫ ПОСТАНОВКИ И РЕШЕНИЯ<br>ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ ..... | 5   |
| 1.1. Изобретательская задача.....                                    | 5   |
| 1.2. Решение изобретательских задач.....                             | 12  |
| 1.3. Устранение физических противоречий по АРИЗ.....                 | 26  |
| Часть 2. СБОРНИК ЗАДАЧ.....                                          | 43  |
| 2.1. Содержание сборника задач и правила пользования им.....         | 43  |
| 2.2. Задача М 1.....                                                 | 44  |
| 2.3. Задача М 2.....                                                 | 52  |
| 2.4. Задача М 3.....                                                 | 62  |
| 2.5. Задача М 4.....                                                 | 65  |
| 2.6. Задача М 5.....                                                 | 88  |
| 2.7. Задача М 6.....                                                 | 115 |
| 2.8. Задача М 7.....                                                 | 119 |
| Заключение.....                                                      | 130 |
| Библиографический список.....                                        | 131 |
| Приложения.....                                                      | 132 |

Учебное издание

*Казakov Юрий Васильевич*

## МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Учебное пособие

В авторской редакции

Вёрстка: *Л.В. Сызганцева*

Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 19.10.2010. Формат 60×84/16.  
Печать оперативная. Усл. п. л. 10,1. Уч.-изд. л. 9,4.  
Тираж 100 экз. Заказ № 2-29-10.

Тольяттинский государственный университет  
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14



