

Владимир Петров

Израиль,

E-mail: Atrl@bigfoot.com

Переход к более сложным и энергонасыщенным формам движения

Статья представляет собой одну из серии статей, описывающей законы развития систем. Эта серия статей - краткий обзор книги, написанной автором совместно с Эстер Злотин, посвященной законам развития систем.

Работа описывает теоретические представления авторов о законах развития систем с позиций системных исследований. В данной статье описывается один из механизмов выполнения закона увеличения степени динамичности, входящий в группу законов эволюции технических систем (рис. 1). Этот механизм называется переход системы к более сложным и энергонасыщенным формам движения. Он детализирует закон перехода структуры системы с макро- на микроуровень (рис. 2).

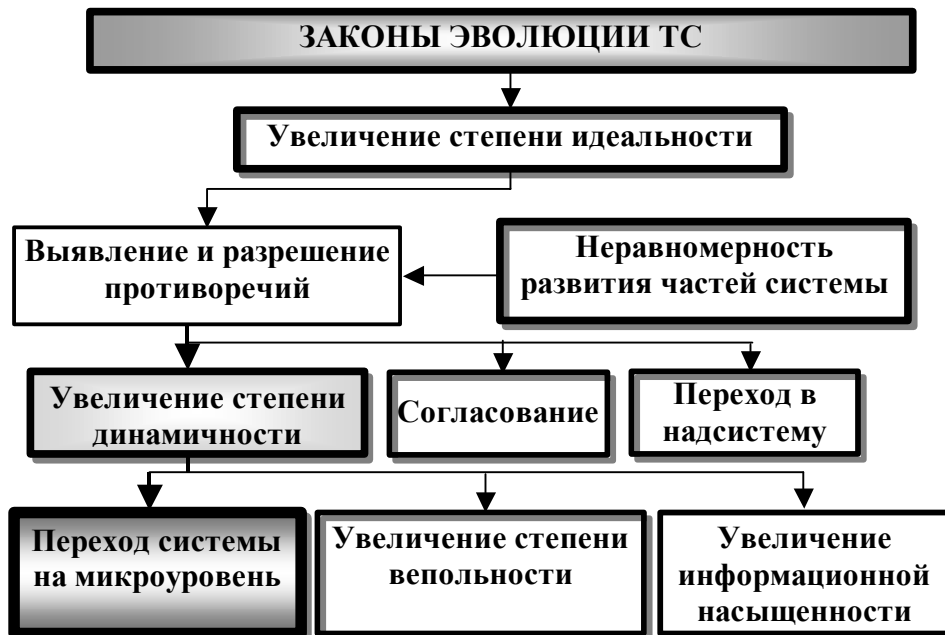


Рис. 1.

СТРУКТУРА ЗАКОНА ПЕРЕХОДА СИСТЕМЫ НА МИКРОУРОВЕНЬ

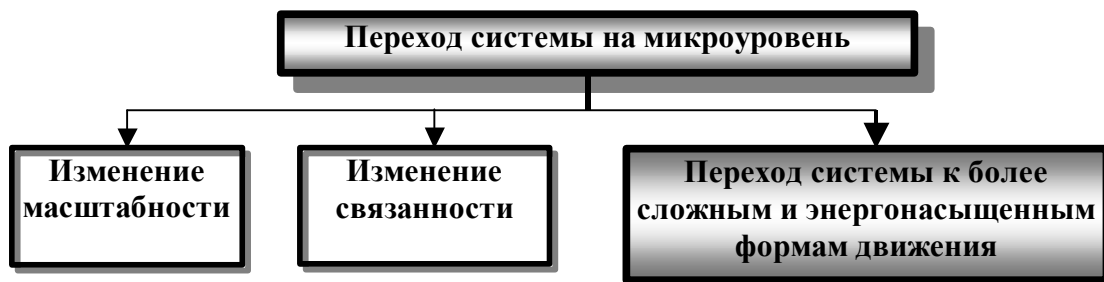


Рис. 2

1. Общие соображения

Закон перехода к более сложным и энергонасыщенным формам движения является составной частью закона перехода системы с макро- на микроуровень, который входит в более общий закон увеличения степени динамичности.

Рассмотрим механизмы перехода к более сложным и энергонасыщенным формам движения, которые прежде всего относятся к рабочему органу.

Такой переход осуществляется за счет **увеличения удельной ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТИ** системы и перехода к более **УПРАВЛЯЕМЫМ** полям (см. рис. 3).

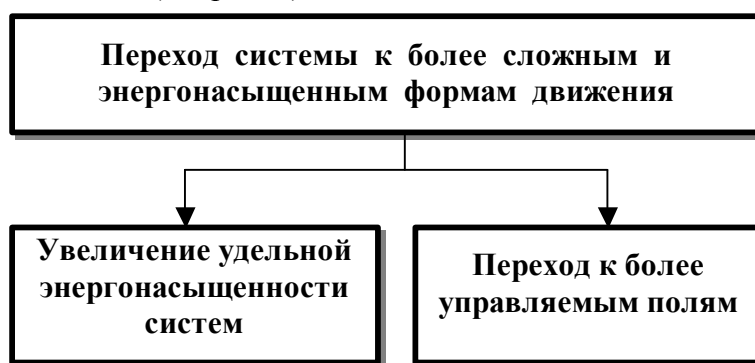


Рис. 3

2. Увеличение удельной энергонасыщенности

Увеличение удельной энергонасыщенности рабочего органа позволяет не только повысить производительность и качество технологических процессов, но и выполнять качественно новые технологические процессы.

Пример 1. При **обычной дуговой сварке** тепловая энергия не концентрирована, что приводит к нагреву большой зоны (рис. 4).

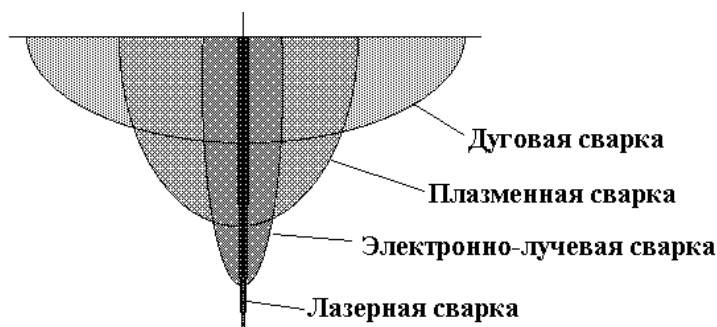


Рис. 4

Тем самым повышается качество и производительность сварки. Еще больше удельная плотность энергии в **электронном луче**. Поэтому электронно-лучевая сварка еще более производительная и качественная. Наибольшая удельная плотность в **лазерном луче**. Этот вид сварки наиболее перспективный. Кроме того, лазерная обработка позволяет осуществить процессы, которые невозможно сделать, например, с помощью дуговой сварки. Сканируя лазерным лучом по поверхности металлической детали, можно ее упрочнять. Это происходит потому, что слой поверхности детали моментально расплавляется под лучом лазера и затем быстро остывает.

Это, в свою очередь, приводит к дефектам шва и температурным деформациям свариваемых деталей. **Сжимая дугу** и увеличивая ее плотность, например, с помощью **магнитного поля**, можно получить более сконцентрированную тепловую энергию. В пределе получается **плазма**. У плазменной сварки пятно расплава значительно меньше.

3. Переход к более управляемым полям

Увеличение степени управляемости полей осуществляется по двум направлениям:

- замена **вида поля** (рис. 5)
- своеобразному переходу **МОНО-БИ-ПОЛИ** для полей (рис. 6).

3.1. Замена вида поля¹

Замена вида поля на более управляемое может осуществляться в следующей последовательности: **гравитационное, тепловое, механическое, электромагнитное, химическое, биологическое** и любые комбинации этих полей. Эта закономерность показана на рис. 5. Опишем тенденции изменения наиболее употребительных в технических системах полей.

Механическое поле по степени управляемости можно расположить в следующей последовательности (рис. 5.2): поля **трения, давления, перемещения (линейное перемещение, центробежные силы), колебания (в частности акустическое поле)**.

Электромагнитное поле можно рассматривать во всем его диапазоне от **радио-** до **гамма-излучений**. Рассмотрим только наиболее употребительные из них (рис. 5.4). Степень управляемости увеличивается, если последовательно использовать следующие электромагнитные поля: **магнитное, электрическое, оптическое**.

Одну из тенденций изменения химического поля можно показать на реакции окисления. Впервые эту тенденцию сформулировал Г.Альтшуллер в виде приема разрешения технических противоречий 38: "Применение сильных окислителей"². В дальнейшем эта тенденция была развита Ю.Саламатовым³.

Эта линия развития технических систем показана на рис. 5.5.

¹ Эта закономерность была разработана В.Петровым в 1976 году.

² Альтшуллер Г.С. **Алгоритм изобретения**. - М.: Московский рабочий, 1973.

³ **Нить в лабиринте**/Сост. А.Б.Селюцкий. - Петрозаводск: Карелия, 1988.-277 с. -(Техника - молодежь - творчество).

Линия характерна для систем, использующих кислород.

Линия отражает общую тенденцию развития техники - переход ко все более сильным окислителям. Каждый элемент линии представляет собой форму используемого вещества. Можно повысить эффективность каждого этапа этой линии путем использования физических эффектов и выбора управляющих полей П упр.

Воздух, как известно, используют в самых различных технологических процессах, прежде всего - в процессах горения и окисления.



Рис. 5.

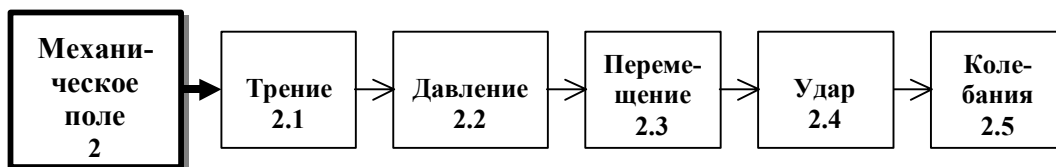


Рис. 5.2.

ТЕНДЕНЦИИ УВЕЛИЧЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

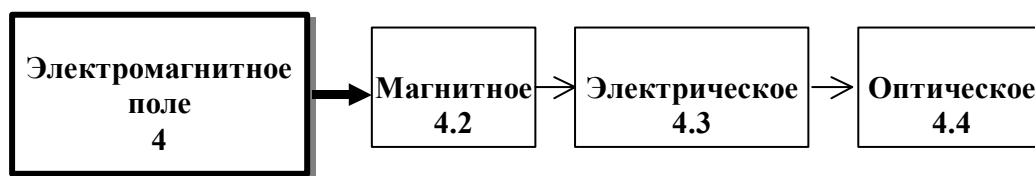


Рис. 5.4

ТЕНДЕНЦИИ УВЕЛИЧЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ ХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ (Окисление)

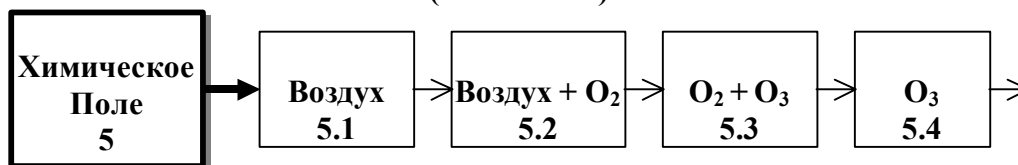


Рис. 5.5

Кроме основной линии, можно указать некоторые ее ответвления. Так как в воздухе содержится только 21% кислорода, то активность воздуха можно повысить не только увеличением содержания кислорода (рис. 5.5), но и ионизацией воздуха.

На этапе 4 увеличить активность кислорода можно дроблением кислородных молекул, т.е. переходом к атомарному кислороду.

3.2. Переход поля от МОНО к БИ и ПОЛИ

Эффективность работы рабочего органа увеличивается применением комплекса полей по схеме МОНО-БИ-ПОЛИ (рис. 6).

СВЕРТЫВАНИЕ ПОЛЕЙ

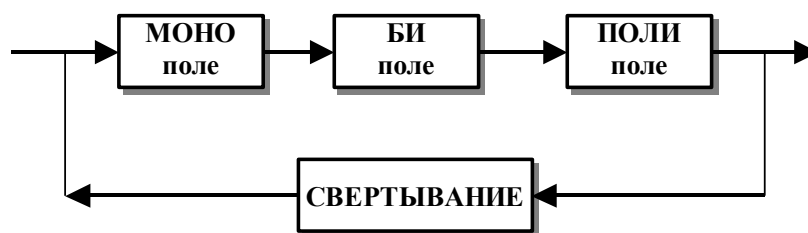


Рис. 6.

Динамика развития рабочих органов показывает, что первоначально используется только одно поле (Π_1), вид которого изменяется по указанной выше закономерности (рис. 5).

На следующем этапе используются два поля ($\Pi_1 + \Pi_2$), т.е. происходит переход от МОНОполя к БИполю. При этом возможно объединение полей одинаковой или различной физической природы. Поля одинаковой природы могут быть полностью идентичными ($\Pi_1 + \Pi_1$) или отличаться своими характеристиками ($\Pi_1 + \Pi_1'$).

Как и в случае объединения систем, в дальнейшем происходит согласование полей в системе, например, $\Pi_1 + \Pi_1^{\sim}$ - согласование постоянного поля Π_1 с переменным полем Π_1^{\sim} . Затем поля объединяются в единое МОНОполе (Π_0) - происходит свертывание.

Дальнейший переход может использовать более двух полей ($\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \dots$) с образованием ПОЛИсистемы полей (рис. 7).

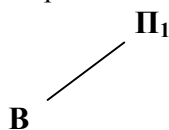
$$\Pi_1 \rightarrow \Pi_1 + \Pi_2 \rightarrow \Pi_1 + \Pi_1' + \Pi_2 \rightarrow \Pi_1 + \Pi_1^{\sim} + \Pi_2 \rightarrow \Pi_1 + \Pi_1^{\sim} + \Pi_2 + \dots \rightarrow \Pi_1 + \dots + \Pi_2 + \dots + \Pi_n \rightarrow \Pi_0$$

Рис. 7

3.2.1. Пример перехода поля от МОНО к БИ и ПОЛИ

Приведем пример из развития дуговой сварки.

Рабочим органом дуговой сварки является дуга, которая воздействует тепловым полем Π_1 на свариваемый объект, например деталь В.



Управление процессом сварки сводится в основном к изменению параметров теплового поля (Π_1) и перемещению (Π_2) дуги.

Изменение теплового поля осуществляется полем Π_3 - управление параметров дуги. Модель процесса сварки изображена на рис.8.

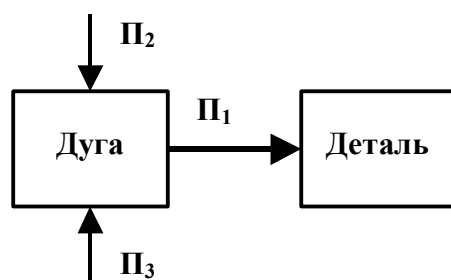


Рис. 8

Где:

Π_1 - тепловое поле,

Π_2 - поле перемещения дуги,

Π_3 - поле управления параметрами дуги

Согласно законам организации технических систем рабочий орган (дуга), для обеспечения работоспособности должен быть обеспечен энергией и управлением. Энергия обеспечивается источником энергии (в данном случае источником электрического тока). Передача этой энергии осуществляется с помощью трансмиссии (электрода). Процесс управления сваркой, как мы уже писали, сводится к управлению параметрами дуги и ее перемещению. Упрощенная схема процесса дуговой сварки показана на рис. 9, где для наглядности Π_1 представлено как $\Pi_{\text{теп}}$, Π_3 - $\Pi_{\text{упр1}}$, а Π_2 - $\Pi_{\text{упр2}}$.

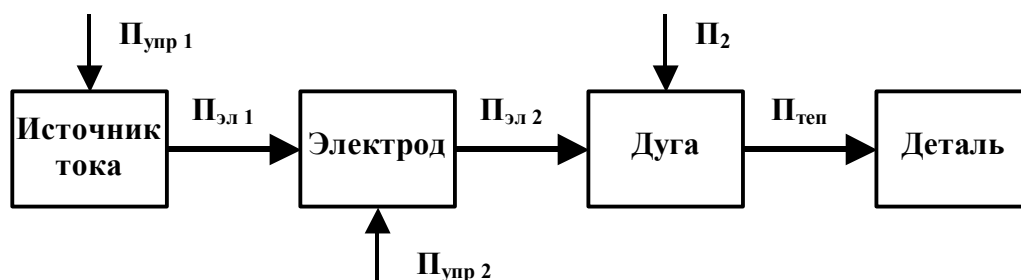


Рис. 9

Где:

$\Pi_{\text{теп}}$ - тепловое поле,

$\Pi_{\text{упр1}}$ - поле управления параметрами дуги,

$\Pi_{\text{упр2}}$ - поле перемещения дуги,

$\Pi_{\text{эл1}}$ - электрическое поле (сварочный ток),

$\Pi_{\text{эл2}}$ - электрическое поле дуги.

Управление тепловым полем осуществляется изменением параметров дуги и ее перемещением (временем удержания дуги на одном месте и расстоянием электрода от детали).

Управление параметрами дуги сводилось к изменению параметров сварочного тока $\Pi_{\text{эл1}}$.

Тенденции изменения управления током при дуговой сварке приведены на рис. 10. Первоначально сварочный ток выставляли в начале сварки и весь процесс сварки

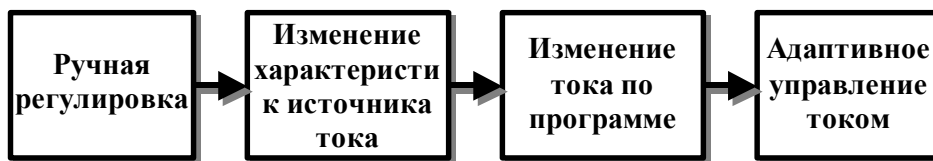


Рис. 10

велся при этом токе, а перемещение дуги осуществлялось рукой сварщика путем перемещения электрода.

Затем в полуавтоматической сварке появилась возможность управления током. Однако перемещение дуги все еще производилось вручную.

Изменение тока первоначально задавалось характеристиками источника сварочного тока (рис. 10.1).



Рис. 10.1

Например, падающая характеристика источника сварочного тока может обеспечить постоянный нагрев при изменении расстояния между электродом и свариваемой деталью, что существенно облегчает работу сварщика. На следующем этапе развития источники сварочного тока имели две или более характеристик, которые выбирались в зависимости от типа шва, материала и вида дуговой сварки. Характеристику можно было переключить и в процессе сварки.

С появлением автоматического способа сварки возросли требования к регулированию тока. Ток изменялся по определенной программе (рис. 10.2). Программа задавалась постоянная (жесткая), например, для сваривания прямолинейных швов. В дальнейшем были созданы источники, изменяющие сварочный ток по динамичной программе (управление сварочным током Π_3 осуществляется по необходимому закону).



Рис. 10.2

Например, для получения более качественного шва в толстых заготовках необходим предварительный подогрев (Π_1') свариваемых кромок. Его можно осуществить с помощью слабой дуги (малого тока). Такие операции можно проводить регулированием сварочного тока (Π_3), причем ток может регулироваться плавно (Π_3') или импульсно (Π_3''). Кроме того, можно использовать наложение двух полей ($\Pi_3 + \Pi_3'$), например, на постоянный сварочный ток (Π_3) накладывается (Π_3') - переменный ток⁴

⁴ А.с. № 747 643.

или (Π_3) - импульсный ток⁵, причем импульсы подаются в строго определенной момент, т.е. происходит согласование Π_3 и Π_1 - второго поля с процессом сварки. Импульс может подаваться для того, чтобы убыстрить или замедлить перенос капель металла или расширить поле воздействия дуги.

В будущем управление сварочным током должно стать адаптивным, приспособляющееся к виду материала, типу шва, который необходимо получить, изменения внешних условий и т. п.

Для дальнейших рассуждений представим более детальную схему процесса дуговой сварки, изображенного на рис. 11. На схеме введены новые элементы, участвующие в процессе сварки: сварная ванна (представляющая собой расплав металла), дополнительный металл, необходимый для образования шва, и защита сварочной ванны от окисления. Дополнительный металл может браться из плавящегося электрода (стрелка от электрода к металлу) или из присадочной проволоки. Управление процессом сварки можно вести любым элементом ($\Pi_{упр1}$ - $\Pi_{уп9}$).

Ранее мы рассматривали управление процессом сварки путем изменения сварочного тока, т.е. использовали только управляющее воздействие $\Pi_{упр1}$.

Управляемость процессом сварки увеличивается, если использовать еще одно поле ($\Pi_{упр3}$). Это воздействие может регулировать как параметры дуги, так и направленно воздействовать на перенос металла.

Изменять параметры дуги можно, воздействуя на электрод не только электрическим, но и магнитным полем.

Перенос капель металла от электрода в ванну осуществляться гравитационным полем. Замедлить или убыстрить процесс переноса металла, можно используя различные поля: электрического, например импульсного⁶; ультразвукового⁷. В дальнейшем и ультразвуковое поле делают импульсным, затем его согласовывают с имеющимся процессом, т.е. модулируют по величине, продолжительности и частоте⁸. Могут использоваться и комбинации электрического и ультразвукового полей.

⁵ А.с. № 563 244.

⁶ А.с. № 563 244.

⁷ А.с. № 515 608.

⁸ А.с. № 153 760.

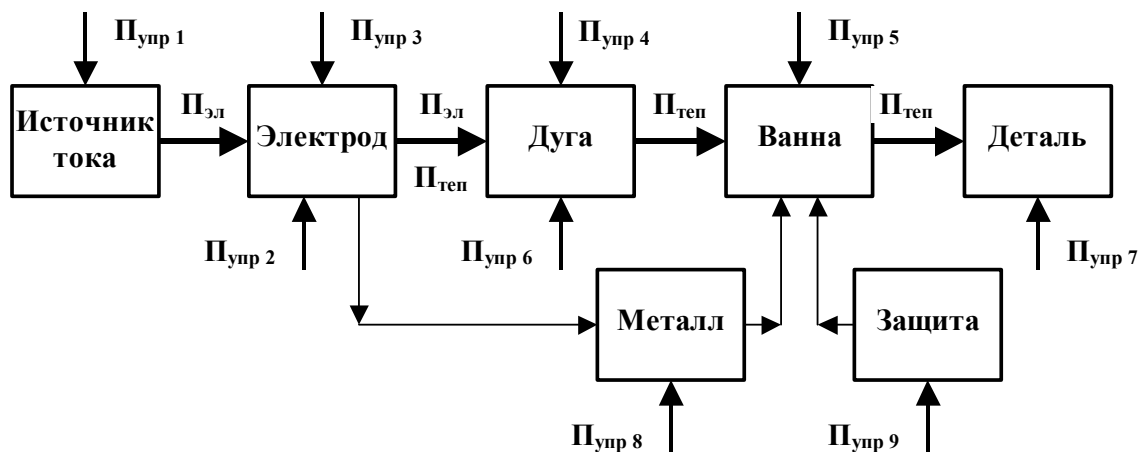


Рис. 11

Где:

- $\Pi_{упр 1}, \Pi_{упр 3}$ - поля, управляющие сварочным током,
- $\Pi_{упр 4}$ - поле, управляющее параметрами дуги,
- $\Pi_{упр 5}$ - процессом формирования ванны,
- $\Pi_{упр 2}, \Pi_{упр 6}$ - поле, управляющее перемещением,
- $\Pi_{упр 9}$ - может также участвовать в процессе формирования ванны.

Таким образом поле управления $\Pi_{упр3}$ может представлять собой электрическое поле ($\Pi_{эл}$), его видоизменение: переменное ($\Pi'_{эл}$), импульсное ($\Pi''_{эл}$); магнитное ($\Pi_{маг}$) с его различными видоизменениями: постоянным ($\Pi^=_{маг}$), переменным ($\Pi^-_{маг}$), импульсным ($\Pi''_{маг}$), вращающимся ($\Pi^0_{маг}$); ультразвуковое ($\Pi_{уз}$) или импульсное ультразвуковое ($\Pi''_{уз}$) и любые комбинации. Один из примеров изображен ниже

$$\Pi_{упр3} = \Pi_{эл} + \Pi''_{эл} + \Pi^=_{маг} + \Pi''_{уз}$$

Управление параметрами дуги (Π_3) можно осуществлять и действуя непосредственно на саму дугу ($\Pi_{упр4}$), например, сжимать ее магнитным полем, концентрируя энергию дуги.

В более общем виде управление процессом сварки сводится к формированию структуры сварочного шва. Для этого необходимо воздействовать на ванну ($\Pi_{упр 5}$). В зависимости от необходимых свойств шва воздействия на ванну должны быть различными.

Пока мы рассматривали воздействие только тепловым полем, да и то только для расплавления металла. В процессе формирования шва участвует процесс застывания металла и уплотнение его.

Уплотнение металла может проводиться в процессе сварки, переносом капель с большой скоростью, перемешиванием ванны, ее вибрацией или созданием дополнительных давлений. При этом используются магнитное, электрические поля и их взаимодействие, ультразвуковое поле и давление защитного газа.

Возможные способы формирования сварочного шва представляют в виде функционально-логического дерева. Фрагмент такого дерева изображен на рис. 12.

Сварочный шов можно создавать путем расплавления металла или, не расплавляя его, например, созданием больших давлений.

Такие давления могут создаваться импульсно (удар, взрыв) или в течение длительного времени. Этот вид создания сварочного соединения мы не будем рассматривать.

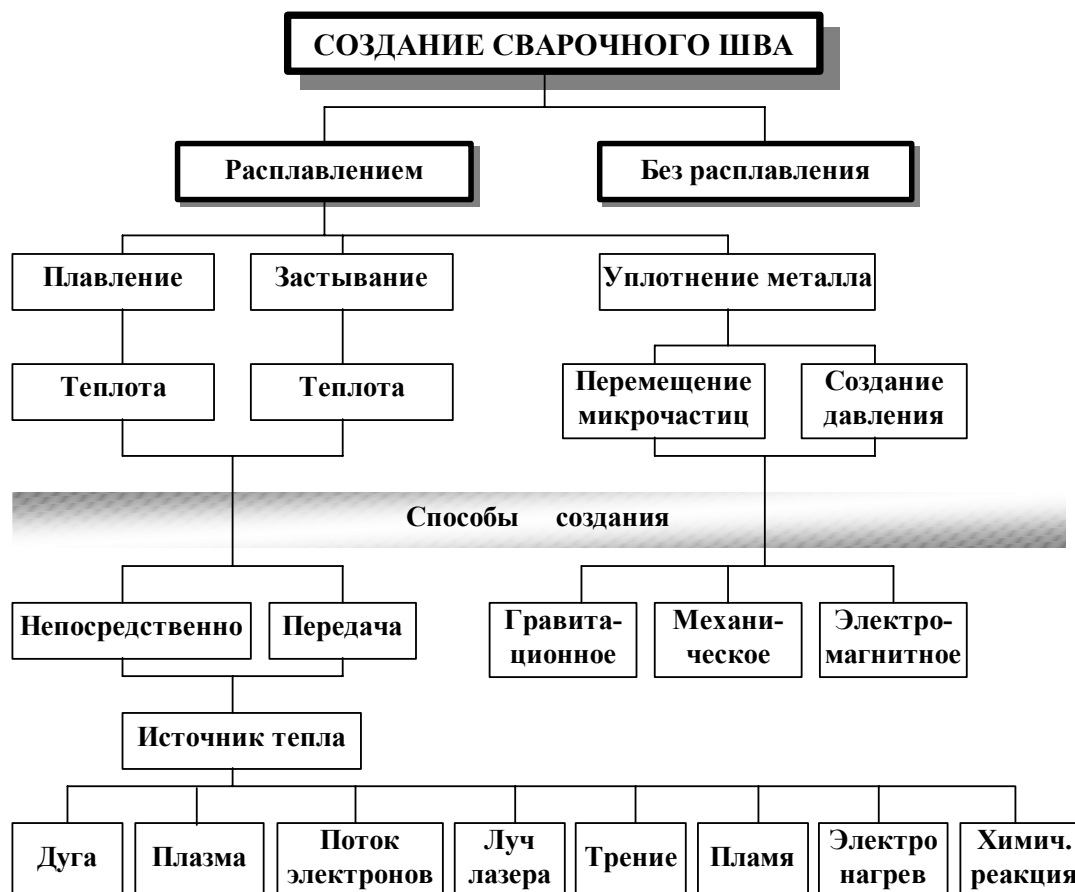


Рис. 12.

При создании сварочного шва путем расплавления он формируется не только за счет расплавления, но и уплотнение металла. В свою очередь на формирование шва влияет не только процесс расплавления, но и застывания, в частности, скорость остывания металла.

Тепло можно создавать непосредственно в месте нагрева или передавать его от какого-нибудь источника. При чем в том и другом случае источники тепла могут иметь одинаковой или различной физической природы. Передача тепла лучше всего осуществляется тепловыми трубами, которые передают тепло практически без потерь. Кроме того, с помощью тепловых труб можно и управлять потоком тепла.

Использование различных источников тепла непосредственно в месте нагрева привело к различным видам сварки: дуговая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная, трением.

Функции перемещения (Π_2) дуги относительно детали можно выполнять различными способами. Первоначально, как указывалось выше, дуга перемещалась рукой сварщика, с помощью передвижения электрода. На рис. 11 электрод перемещается с помощью управляющего поля $\Pi_{упр2}$. В дальнейшем появились специальные тележки или роботы (Π_2'), перемещающие сварочный автомат, т.е. перемещение осуществлялось механическим полем.

Идеально если дуга перемещается сама, а не с помощью электрода. Здесь используется поле управляющее перемещением дуги $\Pi_{упр6}$. Известны и способы сварки без перемещений электрода. Электрод укладывают в разделку шва. Дуга движется по мере расплавления электродной проволоки. Для заполнения большого объема шва проволоку укладывают в виде зигзага⁹ - использование геометрических эффектов. Дуга может перемещаться сама, если использовать много электродов,

⁹ А.с. № 66582.

расположенных по линии шва на расстоянии зоны действия теплового пятна. Каждый из электродов соединен со своим источником питания¹⁰. В этом способе механическое поле заменено системой подключения электродов.

Дальнейший переход к другим управляющим полям $\Pi_{упр6}$ требует использовать ресурсы рабочего органа - дуги. Управление дугой лучше всего проводится магнитным полем ($\Pi_{маг}$)¹¹. Сначала управляли постоянным ($\Pi_{маг}^-$) магнитным полем¹², в дальнейшем магнитное поле было направлено перпендикулярно ($\Pi_{маг}^+$) воздействию дуги¹³. На это поле накладывали переменное ($\Pi_{маг}^{\sim}$) магнитное поле, а для сварки труб - вращающееся ($\Pi_{маг}^0$) магнитное поле. Магнитное поле подавали импульсами - $\Pi_{маг}''$ ¹⁴, использовали бегущее - $\Pi_{маг}'''$ ¹⁵, наконец соединение этих полей с управлением магнитным полем, воздействующим перпендикулярно постоянному магнитному полю¹⁶. Последний вариант изображен ниже

$$\Pi_{упр6} = \Pi_{маг}'' + \Pi_{маг}''' + \Pi_{маг}^+$$

Управление процессом формирования ванны ($\Pi_{упр5}$) может осуществляться не только дугой, но и дополнительными полями.

В качестве этих полей могут использоваться магнитное, электрическое, ультразвуковое или поле давления защитного газа.

Магнитное поле используется и для перемешивания сварочной ванны с помощью центробежных сил ($\Pi_{цс}$). Для этого используется наложение (соединение) двух полей. Электрическое поле дуги ($\Pi_{эл}$) и магнитное импульсное поле ($\Pi_{маг}''$), складываясь вместе ($\Pi_{эл} + \Pi_{маг}''$), образуют центробежное поле - $\Pi_{цс}$ ¹⁷. Это описан процесс свертывания поля

$$\Pi_{цс} = \Pi_{эл} + \Pi_{маг}''$$

Известны способы дуговой сварки, в которых используются три и более полей для управления дугой¹⁸.

¹⁰ А.с. № 285 740.

¹¹ А.с. № 166 981.

¹² А.с. № 221 867.

¹³ А.с. № 172 932.

¹⁴ А.с. № 221 867.

¹⁵ А.с. № 230342.

¹⁶ А.с. № 546 446.

¹⁷ А.с. № 305 969

¹⁸ А.с. №№ 721 267, 1 050 828, 1 050 829; патент США № 2 920 183 и др.