

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**«ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ»**

лекция №17

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., доцент кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

# СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ №17

**Тема 17.** Технология диффузионной сварки.

Разновидности процессов диффузионной сварки, их технологические особенности.

Основные параметры режима сварки.

Технология сварки однородных и разнородных металлов и их сплавов.

Области применения

В 1953 г. профессором Н.Ф. Казаковым был разработан принципиально новый способ соединения материалов – **диффузионная сварка** в вакууме.

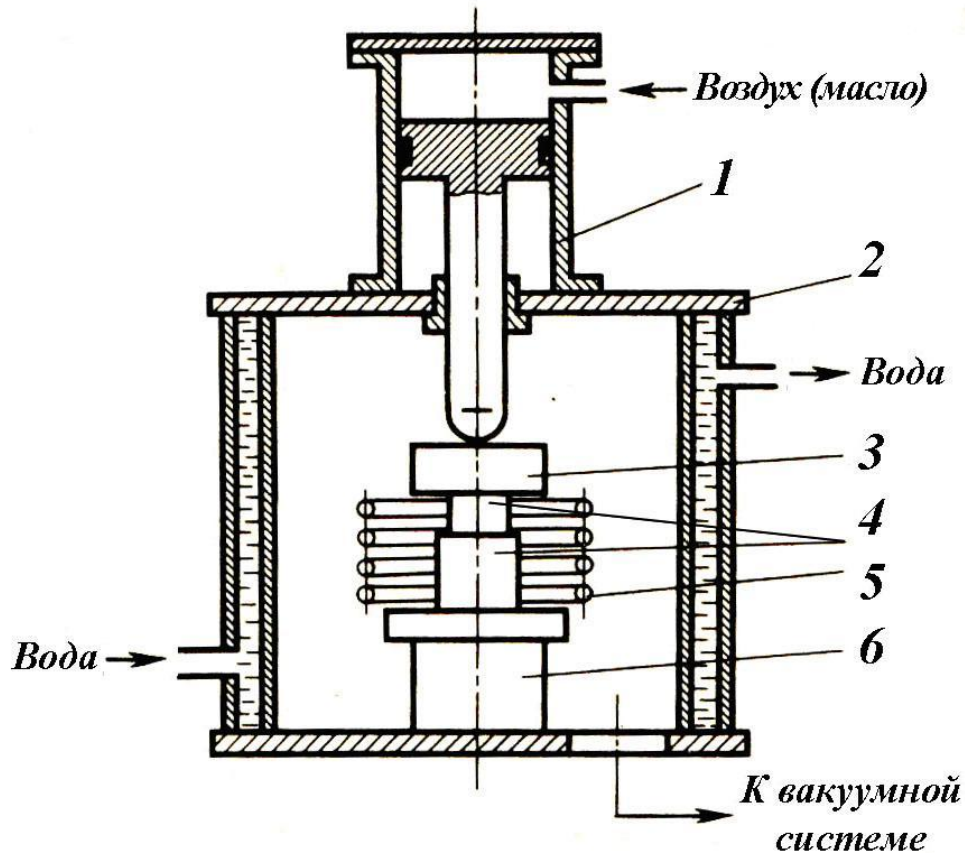
Диффузионная сварка – это сварка давлением, осуществляемая за счет взаимной диффузии атомов, спекания и ползучести материалов в тонких поверхностных слоях контактируемых частей.

Соединение образуется в результате совместного действия температуры и давления. Соединяемые поверхности с помощью сжимающего усилия сближаются на расстояние действия межатомных сил.

В связи с относительно большой длительностью процесса сварки и высокой температурой нагрева деталей  $t_{св} = (0,5...0,8)T_{пл}$  важное значение приобретает среда, в которой ведется процесс.

Чаще всего диффузионную сварку осуществляют в вакууме. Для защиты металла возможно также использование газовых и жидких сред.

Установка для диффузионной сварки в вакууме: 1 – привод сжатия; 2 – вакуумная камера; 3, 6 – оправки; 4 – свариваемые детали; 5 – нагреватель (индуктор)



Соединения, полученные диффузионной сваркой в вакууме, по прочности, термической и коррозионной стойкости полностью отвечают требованиям, предъявляемым к любым ответственным соединениям.

Как и во всех процессах сварки давлением, при диффузионной сварке важнейшим является удаление поверхностных окислов из зоны контакта. За счет пластической деформации, а она при диффузионной сварке мала, удалить окислы невозможно.

В условиях глубокого вакуума возможны четыре механизма удаления окислов.

1. Возгонка (сублимация) окислов – непосредственный переход вещества при нагревании из твердого в газообразное состояние, минуя жидкую фазу. Возгонка возможна при значительно меньших давлениях и температурах, которые выбираются с учетом параметров тройной точки рассматриваемого вещества.
2. Удаление окисла за счет его диссоциации. При диффузионной сварке наблюдают в основном термическую диссоциацию (особенно при сварке серебра, меди, никеля).
3. Разрушение окисла за счет диффузии кислорода в металл. Этот механизм особенно сильно осуществляется на поверхности металлов, хорошо растворяющих кислород (например, титан, цирконий и др.).
4. Разрушение окисла элементами-раскислителями, находящимися в сплаве и диффундирующими при нагреве к границе металл–окисел.

Диффузионную сварку в вакууме выполняют по двум схемам: без промежуточных прослоек и с промежуточными прослойками. Рассмотрим некоторые случаи применения прослоек.

1. При соединении разнородных материалов с отличающимися коэффициентами термического расширения в процессе остывания деталей в зоне соединения возникают значительные остаточные напряжения, способные даже разрушить образовавшееся соединение. Для снижения указанных напряжений используют прослойки из материалов, имеющих промежуточный коэффициент термического расширения и высокие пластические свойства.

2. При соединении многокомпонентных взаимно нерастворимых в твердом состоянии материалов вводят прослойки, облегчающие развитие процессов диффузионного объемного взаимодействия. Основное требование к ним – способность к образованию твердых растворов с обоими соединяемыми материалами.

3. При сварке материалов, склонных к образованию интерметаллидов и других хрупких фаз, вводят прослойки с целью ограничения или исключения развития объемного взаимодействия. У таких прослоек скорость диффузии в соединяемые материалы должна быть выше, чем встречные потоки диффузии в прослойку.

4. Прослойки могут применяться для ускорения развития физического контакта между свариваемыми материалами и интенсификации диффузионных процессов.

Промежуточная прослойка вводится в стык в виде фольги, нанесением слоя металла путем электролиза, напылением в вакууме и другими способами. Химический состав промежуточной прослойки выбирают в зависимости от рода свариваемых материалов и требований к сварному соединению. Толщина ее может быть различной.

В процессе сварки прослойка полностью изменяет свой состав за счет диффузии или сохраняется в стыке, что необходимо при сварке материалов с различными свойствами или металлов, образующих хрупкие соединения. Диффузионную сварку можно производить с применением расплавляющихся и рассасывающихся прослоек. При сварке после активации поверхностей расплавленную прослойку под действием приложенного усилия сжатия выдавливают, а состав остающейся незначительной части прослойки за счет диффузионных процессов приближается к составу основного металла. В процессе соединения элементов конструкций с расплавляющимися промежуточными прослойками сочетаются особенности диффузионной сварки и пайки в вакууме.

# ГОСТ 20549-75 - Диффузионная сварка в вакууме рабочих элементов разделительных и формообразующих штампов. Типовой технологический процесс

Настоящий стандарт устанавливает типовой технологический процесс диффузионной сварки в вакууме вставок из твердых металлокерамических сплавов марок ВК 15, ВК 20 и ВК 25 по ГОСТ 3882—74 с основаниями рабочих элементов разделительных и формообразующих штампов из сталей марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХНСВ по ГОСТ 5950—73 и марок 38ХНЗМФА и 18Х2Н4ВА по ГОСТ 4543—71.

## 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1. Сварку вставок и оснований следует производить через компенсационную прокладку из никелевой ленты марки Н2 толщиной от 0,04 до 0,12 мм по ГОСТ 15515—70. Когда площадь свариваемой поверхности меньше 100 мм<sup>2</sup>, допускается применять компенсационную прокладку из железоникелевого сплава марки 50НП по ГОСТ 10160—75 толщиной от 0,03 до 0,06 мм.

1.2. Шероховатость свариваемых поверхностей вставок и оснований — не более Ra 1,25 мкм по ГОСТ 2789—73.

1.3. Непараллельность свариваемых и противоположных им плоскостей вставок и оснований не должна быть более 0,02 мм на длине 100 мм.

1.4. На свариваемых поверхностях вставок, оснований и компенсационных прокладок перед сваркой не должно быть следов коррозии, жировых пленок и грязи.



## 2. СХЕМА ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

2.1. Процесс диффузионной сварки рабочих элементов штампов должен включать следующие основные технологические операции:

- а) протирка свариваемых поверхностей вставки, оснований и компенсационной прокладки;
- б) сборка рабочего элемента штампа под сварку и установка в камеру сварочной диффузионной вакуумной установки;
- в) предварительное сжатие рабочего элемента штампа;
- г) вакуумирование камеры;
- д) нагрев зоны сварки рабочего элемента штампа до температуры сварки;
- е) увеличение сжимающего усилия до рабочего значения;
- ж) выдержка рабочего элемента штампа при температуре сварки и рабочем давлении;
- з) охлаждение рабочего элемента штампа до температуры закалки основания;
- и) напуск воздуха в камеру и снятие сжимающего усилия;
- к) извлечение рабочего элемента из камеры и охлаждение на воздухе до комнатной температуры.

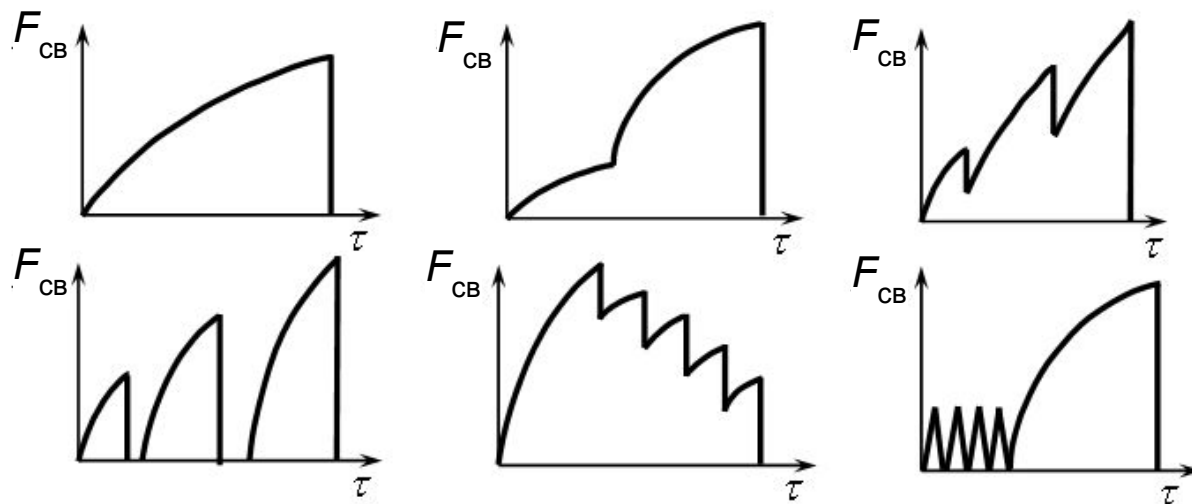
Таблица 2

Марка материала		Температура сварки, °С	Остаточное давление в камере, мм. рт. ст.	Усилие сжатия, приходящееся на 1 мм <sup>2</sup> свариваемой поверхности, кгс		Время выдержки, мин	Температура закалки, °С
вставки	основания			предварительное	рабочее		
ВК 15	18Х2Н4ВА	1050 <sup>+20</sup>	5 · 10 <sup>-4</sup>		1,0 <sup>+0,2</sup>	10 <sup>+2,0</sup>	850 <sup>+10</sup>
ВК 20	38ХН3МФА			0,2			
ВК 25	5ХНВ 5ХНМ 5ХНСВ	1140 <sup>±10</sup>			0,5 <sup>±0,05</sup>		

Основными параметрами режима диффузионной сварки в вакууме являются:

- 1) состояние поверхностей свариваемых деталей перед сваркой;
- 2) величина разрежения;
- 3) температура нагрева  $t_{CB}$ ;
- 4) усилие сжатия при нагреве  $F_H$ ;
- 5) усилие сжатия  $F_{CB}$  при температуре сварки;
- 6) время выдержки при температуре сварки;
- 7) время охлаждения (в камере или на воздухе).

При диффузионной сварке чаще всего усилие сжатия  $F_{CB}$  прикладывают постоянным по величине на протяжении всего процесса. Применяется также диффузионная сварка с принудительным деформированием, при которой изменение усилия сжатия во времени может быть различным.



Графики изменения усилий сжатия при диффузионной сварке с принудительным деформированием

Как и при других способах сварки давлением с нагревом до температуры  $t_{CB} < T_{пл}$ , процесс взаимодействия металлических и неметаллических материалов при диффузионной сварке можно условно подразделить на три последовательные стадии: 1) активация контактных поверхностей; 2) образование физического контакта; 3) объемное взаимодействие соединяемых материалов.

# Специализированная установка диффузионной сварки в вакууме медных токоподводов вакуумных выключателей.



потребляемая мощность	не более 75 кВт.
площадь сварки	60 X 60 мм <sup>2</sup>
производительность	1000 деталей в месяц
давление сжатого воздуха	6 атм
расход охлаждающей воды	не более 1 м <sup>3</sup> /час
габаритные размеры	1300 X 1500 X 2000 мм
масса	1500 кг.



# Установка диффузионной сварки в вакууме медных гибких связей (перемычек)



Система управления установки	микропроцессорная
Сварочная температура	до 900° С
Сварочное усилие	до 12500 кгс
Вакуум в рабочей камере	0,999 бар
Размеры свариваемых деталей	
ширина	до 100 мм
толщина	до 10 мм
длина	до 600 мм
Площадь сварной точки	100x100 ммl
Производительность	1000 шт/мес
Номинальное напряжение питающей сети 50 Гц	380/3 ± 10% В
Количество вакуумных камер	1 шт
Максимальная потребляемая мощность	180 кВА
Расход охлаждающей воды	2500 л/час
Давление воздуха в сети	5 бар

## Диффузионная сварка в защитных газах

Диффузионная сварка может осуществляться в газовой среде. В качестве защитной среды могут использоваться нейтральные газы (аргон, гелий, азот и их смеси), активные газы (водород, углеводороды, углекислый газ), а также их смеси с инертными газами. Сварка углеродистых и низколегированных сталей может выполняться в  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ . Окисление в среде  $\text{CO}_2$  происходит при температуре  $650\text{ }^\circ\text{C}$ . Осуществление процесса сварки при температуре ниже  $650\text{ }^\circ\text{C}$  исключает окисление соединяемых поверхностей. Перед сваркой требуется тщательная очистка контактных поверхностей от окислов. Хорошие результаты дает очистка поверхностей металлическими щетками непосредственно в камере, заполненной  $\text{CO}_2$ .

Молекулярный азот при высоких температурах (свыше  $4000\text{ }^\circ\text{C}$ ) диссоциирует на атомы. При диффузионной сварке применяются температуры, которые значительно ниже  $4000\text{ }^\circ\text{C}$ , поэтому весь азот остается в молекулярной форме. Азот в некоторых металлах (медь, никель, золото, серебро и др.) практически нерастворим. По этой причине при сварке этих металлов он может использоваться как защитный нейтральный газ. Азот сильно растворяется в титане, образует химические соединения с алюминием, хромом и др.

Для твердых сплавов, получаемых спеканием в водороде, водород является естественной газовой защитой. В то же время водород крайне опасен при сварке титановых сплавов. Углеводороды целесообразно применять при сварке сталей и твердых сплавов. Небольшие добавки водорода и углеводородов в нейтральные газы при сварке ряда сталей и сплавов обеспечивают восстановительные свойства защитной газовой смеси, не вызывая существенного наводороживания или карбидизации свариваемых поверхностей. Для защиты углеродистых сталей и чугунов приемлем углекислый газ с добавками углеводородов.

## Диффузионная сварка в жидкой среде

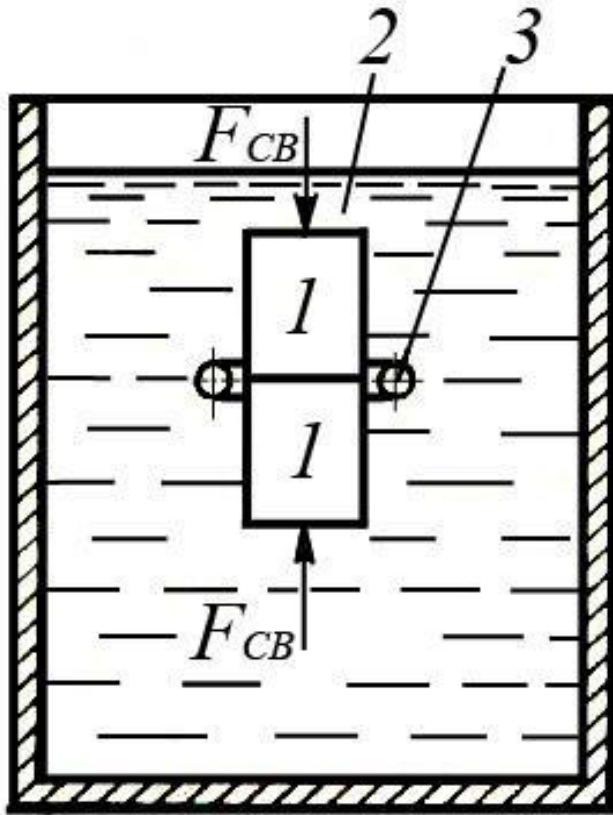


Схема диффузионной сварки в жидкой среде: 1 – соединяемые детали; 2 – жидкая среда; 3 – индуктор

Главный недостаток диффузионной сварки в вакууме – низкая производительность процесса из-за больших затрат времени на получение вакуума и охлаждение деталей в вакуумной камере.

При диффузионной сварке в жидкой среде, среда может быть химически активной или нейтральной по отношению к соединяемым материалам, иметь различную температуру плавления и испарения. В зависимости от этих свойств жидкая среда может служить источником нагрева свариваемых деталей, защищать зону соединения от проникновения воздуха, взаимодействовать с поверхностями свариваемых материалов и изменять их физико-химические свойства.

Рассмотрим одну из технологических схем: соединяемые детали после соответствующей механической обработки контактных поверхностей (фрезерование, токарная обработка, шлифовка) плотно сжимают усилием  $F_{CB}$  и погружают в ванну с жидкой средой, нагретой при помощи индуктора до температуры сварки  $t_{CB}$ . После определенной выдержки при  $t_{CB}$  детали извлекают из ванны и охлаждают на воздухе.

В качестве жидкой среды, нагревающей свариваемые детали, можно использовать соли, окислы, щелочи, а также расплавы металлов и сплавов, температура плавления которых ниже, а температура испарения выше  $t_{\text{св}}$ .

По способу нагрева электрические ванны имеют следующие разновидности:

- электродные;
- с наружным косвенным нагревом;
- с внутренним косвенным нагревом.

На соединяемых поверхностях металлов наряду с окислами имеются адсорбированная влага, слой жировых молекул и адсорбированные газы. При нагреве влага и жировые пленки могут испаряться.

В начальный период сварки растет число участков ювенильных поверхностей, образовавшихся в результате частичного разрушения окисной пленки из-за смятия микронеровностей.

Между зонами образовавшихся физических контактов остаются замкнутые полости, содержащие остаточные газы. Эти газы в зависимости от химического состава свариваемых металлов могут взаимодействовать как с поверхностной оксидной пленкой, восстанавливая ее, так и со свариваемыми металлами, образуя летучие или твердые продукты реакции. Жидкая среда также поглощает часть газов, находящихся в зоне соединения.

Состав расплава	$T_m$ , °C	Температур- ный интервал применения расплава ( $t_1-t_2$ ), °C	Примечание
100 % BaCl <sub>2</sub>	962	1020...1320	Раскислитель: 2...3 % Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O; 0,5 % FeSi; 5 % MgF <sub>2</sub>
90 % BaCl <sub>2</sub> + 10 % NaCl	—	950...1300	Раскислитель: <0,5 % Si; <1 % SiO <sub>2</sub>
100 % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	577	1200...1400	—
100 % NaCl	800	850...920	Раскислитель: 0,5 % C (древесный уголь), Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O, FeSi; K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]·3H <sub>2</sub> O
100 % KCl	776	820...920	
78 % BaCl <sub>2</sub> + 22 % NaCl	—	700...950	Раскислитель: 0,5 % SiC; Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O
80 % BaCl <sub>2</sub> + 20 % KCl	640	680...1060	
70 % BaCl <sub>2</sub> + 30 % KCl	—	680...900	
53 % BaCl <sub>2</sub> + 20 % NaCl + 27 % KCl	550	600...900	
80 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + 10 % NaCl + 10 % SiC	—	870...900	
56 % KCl + 44 % NaCl	660	700...815	Для нагрева никеля и его сплавов
83 % BaCl <sub>2</sub> + 17 % BaF <sub>2</sub>	844	900...1000	
100 % KNO <sub>3</sub>	338	350...600	Для нагрева алюминия и его сплавов
100 % NaNO <sub>3</sub>	317	330...600	
100 % NaOH	318	350...580	



Хорошие результаты дает также нанесение на свариваемые поверхности гальванических покрытий.

К основным параметрам процесса диффузионной сварки в жидкой среде относятся:

- состав жидкой среды;
- температура жидкой среды;
- усилие сжатия свариваемых деталей  $F_{\text{св}}$ ;
- длительность выдержки при температуре сварки;
- шероховатость и чистота свариваемых поверхностей;
- строение и толщина оксидной пленки;
- состав вещества или покрытия, наносимого на детали перед сваркой.

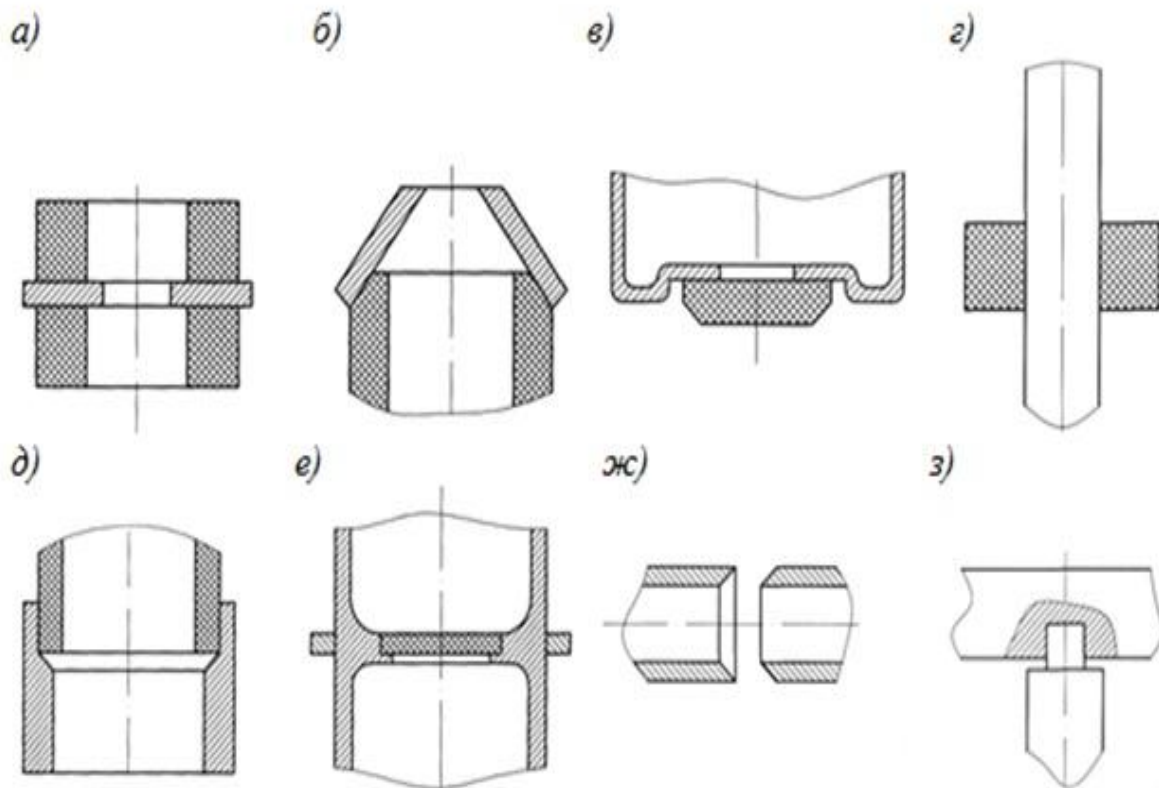
Рассматриваемый способ сварки является высокопроизводительным. Он обеспечивает надежную защиту нагретого металла от окисления, в том числе и при охлаждении готового изделия. После извлечения детали из расплава соль остается на ее поверхности в виде тонкой пленки до полного остывания. Процесс сварки можно осуществлять одновременно с химико-термической и термической обработкой. При этом можно получать сварные соединения с новым комплексом физико-механических свойств.

# Преимущества и области применения диффузионной сварки

Наиболее существенными преимуществами диффузионной сварки являются отсутствие перегрева металла и изменения его исходных свойств, отсутствие необходимости в механической и термической обработке изделий после сварки, отсутствие деформации изделий, высокое качество соединений, а также процесс не требует дорогостоящих материалов.

Диффузионная сварка нашла применение в различных отраслях промышленности для получения как миниатюрных, так и крупногабаритных изделий.

С помощью диффузионной сварки изготавливают узлы и детали из различных металлов, сплавов и неметаллических материалов. Хорошо свариваются Ni, Cu, Ti и его сплавы, стали, Mo, W, Nb, алюминий с коваром (H29K18), керамика, стекло, кварц, графит, металлокерамика с металлом и др.



Некоторые виды соединений, получаемые диффузионной сваркой: а) торцовое; б) по конусу; в) плоское некомпенсированное; г) охватывающее с валом; д) охватывающее; е) охватывающее с бандажом; ж) конусное; з) тавровое.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

**КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?**