

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ
по дисциплине

**«ТЕХНОЛОГИЯ и ОБОРУДОВАНИЕ
СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ»**

лекция №15

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., доцент кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ №15

Тема 15. Технология сварки трением.

Особенности формирования соединений.

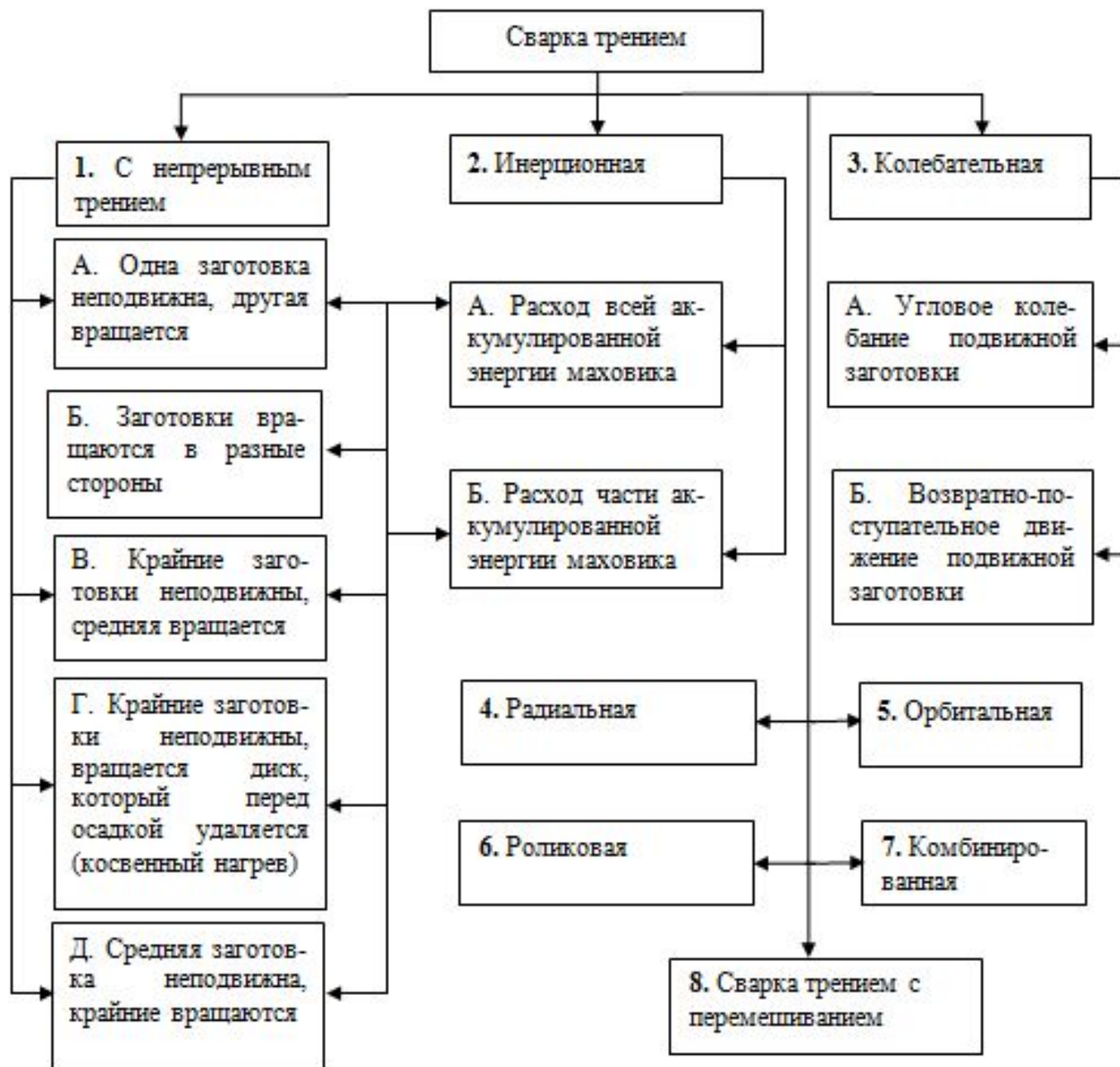
Разновидности способов сварки трением.

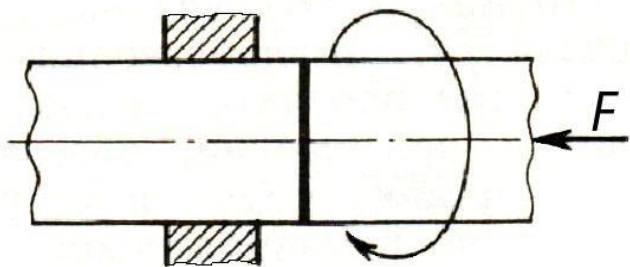
Основные параметры режима сварки.

Свойства сварных соединений.

Области применения.

Сварка трением – это сварка давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным относительным перемещением свариваемых частей или инструмента. 3





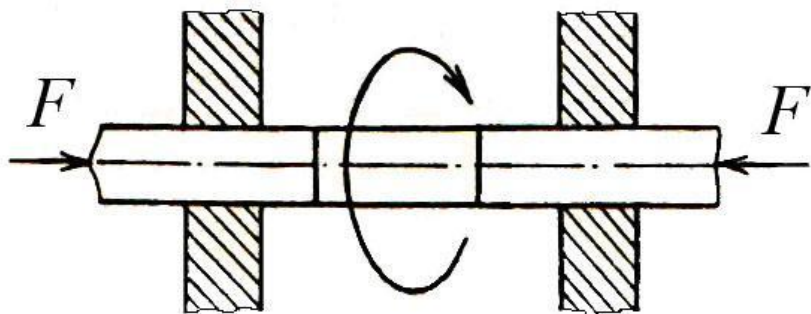
Простейшая схема
процесса сварки
трением

Две детали устанавливаются по одной оси в зажимах машины. Одна из них неподвижна, другая вращается. На сопряженных торцах деталей, прижатых друг к другу осевым усилием F , возникают силы (момент) трения. Работа, затрачиваемая на их преодоление, при относительном вращении свариваемых заготовок преобразуется в теплоту, которая выделяется на поверхностях трения и в приповерхностных слоях металла, нагревая их до температуры сварки.

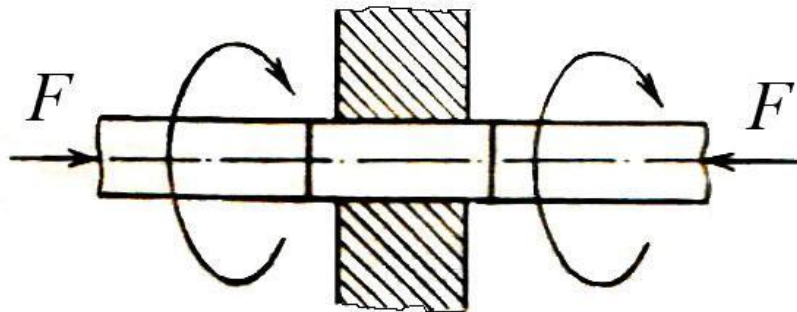
Металл, ставший пластичным в процессе трения, выдавливается из стыка в радиальных направлениях под действием осевого усилия. Происходит осадка – сближение деталей. Выдавленный металл (грат) имеет форму сдвоенного кольца, симметрично располагающегося по обе стороны плоскости стыка. Окисные пленки, покрывавшие торцовые поверхности деталей до начала сварки, разрушаются и частично удаляются с выдавленным металлом, а также исчезают из стыка вследствие диффузии.

Стадия нагрева завершается прекращением относительного вращения свариваемых деталей. В этот момент в контакт оказываются вовлеченными ювенильные поверхности металла, доведенного до состояния повышенной пластичности. Для завершения процесса получения прочного соединения этот металл подвергается проковке, т. е. дополнительному обжатию осевым усилием, величина которого остается неизменной (равной усилию при нагреве) или может быть увеличена.

Прочность образовавшегося соединения определяется свойствами металла свариваемых деталей, степенью пластического деформирования их концов при нагреве и режимом проковки.



Сварка двух неподвижных деталей посредством зажатой между ними вращающейся детали. Основными преимуществами ее являются: обеспечение соединения массивных (длинных) деталей, приведение во вращение которых и быстрое торможение в конце нагрева затруднительно или невозможно; обеспечение соединения заранее сориентированных деталей; возможность сварки деталей из трудносвариваемых между собой материалов.



Одновременная сварка двух вращающихся крайних деталей с неподвижной средней деталью по своим технологическим особенностям аналогична двум предыдущим способам, но оборудование для ее выполнения конструктивно сложнее

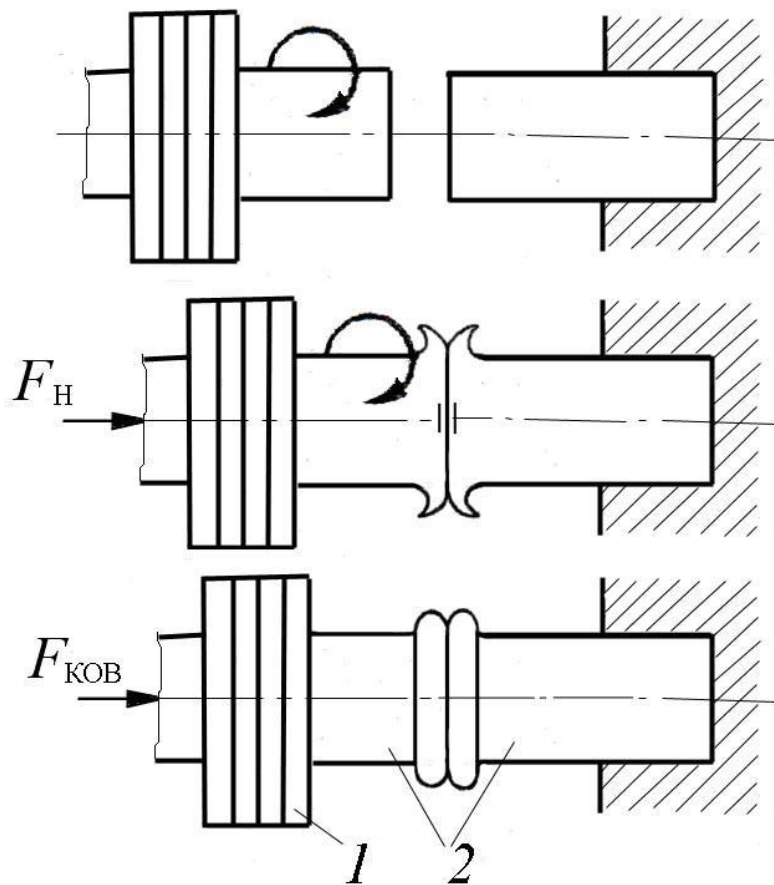


Схема инерционной сварки

трением: 1 – маховик;

2 – свариваемые заготовки;

F_H – усилие при нагреве; F_{KOB} –

усилие проковки

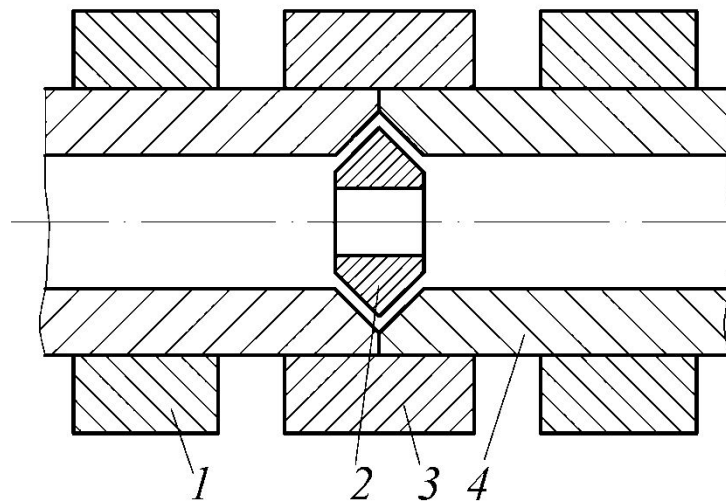
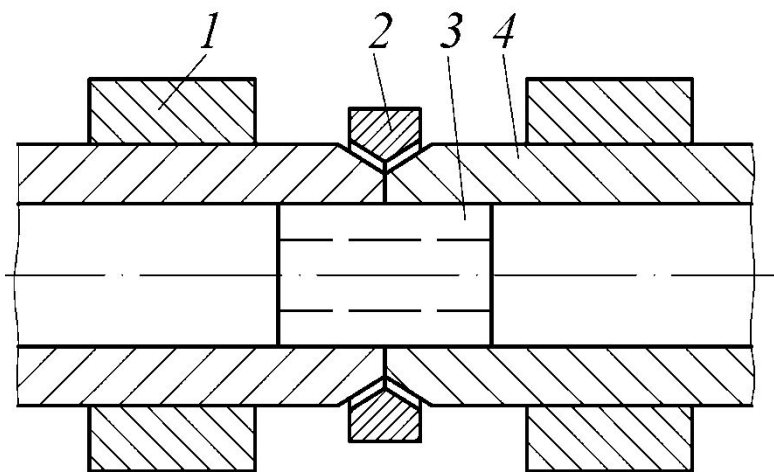
Принцип инерционной сварки трением основан на использовании энергии, накопленной вращающимся маховиком. Шпиндель с насаженным на него маховиком заданной массы разгоняют, затем привод отключают, а заготовки сжимают с заданным усилием. Сварка заготовок завершается в момент остановки шпинделя. В этом способе сварки расходуется вся аккумулированная энергия маховика.

В другом варианте инерционной сварки трением маховик устанавливают на шпинделе с закрепленной в нем неподвижной заготовкой, а вторую заготовку закрепляют в оснащем приводе шпинделя и сообщают вращательное движение. При сжатии заготовок силы трения разгоняют шпиндель с маховиком. Момент выравнивания угловых скоростей заготовок соответствует завершению процесса сварки. При этом расходуется часть аккумулированной энергии маховика.

Преимуществами обеих разновидностей инерционной сварки являются высокое и стабильное качество соединений, небольшой грат и легкое его удаление.

При колебательной сварке создается возвратно-поступательное движение в плоскости трения одной из свариваемых деталей относительно другой с небольшой амплитудой и частотой порядка нескольких десятков герц. Возможно использование в плоскости трения углового колебания подвижной детали. Эти разновидности колебательной сварки применяются в основном при сварке пластмасс.

При радиальной сварке трением свариваемые трубы 4 устанавливают в зажимах 1. Скошенные концы труб прижимают друг к другу с определенным усилием, затем их нагревают с помощью наружного или внутреннего разжимного кольца 2, вращающегося с заданной угловой скоростью. Внутри или снаружи труб находится оправка 3. После торможения осуществляют проковку. Однако этот способ из-за конструкторских и технологических трудностей не нашел широкого промышленного применения.



Варианты радиальной сварки трением с наружным обжимным или внутренним разжимным ввариваемым кольцом

Схема орбитальной сварки трением. Эффект тепловыделения в данном случае возникает в результате смещения осей свариваемых деталей на величину эксцентриситета e , после чего каждая деталь продолжает вращение в одну сторону вокруг своей собственной оси. Все точки поверхности трения одной из них описывают кривые траектории радиусом e относительно противоположащих точек поверхности трения другой. Тепловыделение прекращается при восстановлении соосности деталей. Сварка заканчивается в процессе продолжающегося вращения деталей, после чего осуществляется их принудительное торможение. Сварка применяется для соединения деталей некруглого сечения.

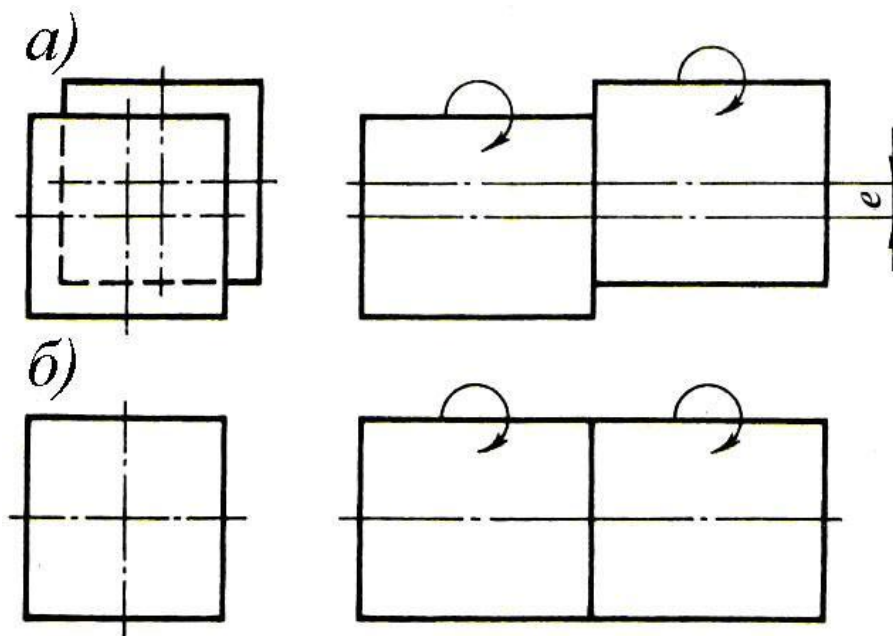


Схема процесса орбитальной сварки: а – период нагрева; б – период проковки

При роликовой сварке трением к сжатым заготовкам из листового материала подводят ролик, вращающийся с большой скоростью. Он перемещается относительно свариваемых заготовок с небольшой скоростью и малым усилием сжатия. Вращающийся ролик способствует инициированию тепловой энергии и возникновению ультразвуковых колебаний, способствующих разрушению оксидных пленок в зоне контакта свариваемых деталей. Применение роликовой сварки перспективно для соединения тонколистовых материалов, в том числе из разнородных металлов.

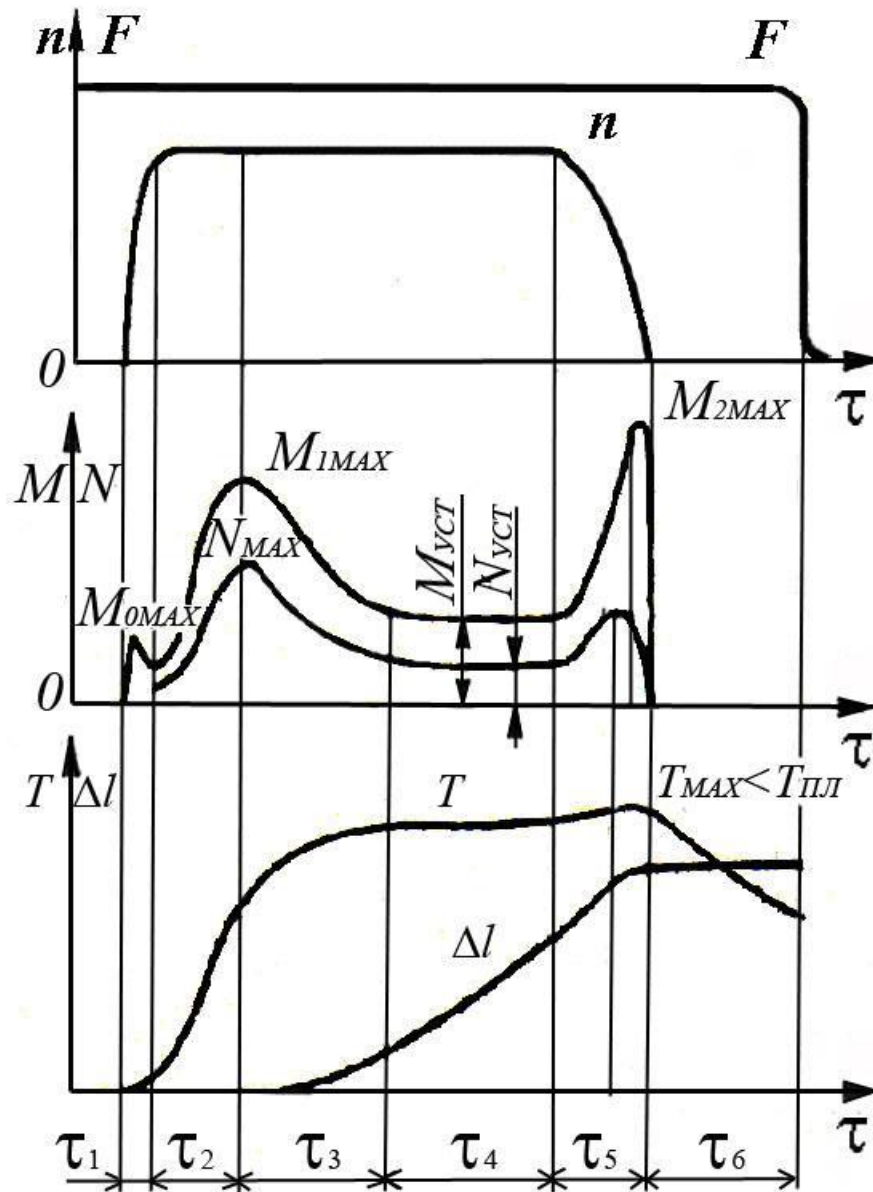
Комбинированная сварка трением сочетает преимущества способов 1 и 2. Например, предварительный нагрев осуществляют по способу 1, затем привод отключают и в дальнейшем процесс происходит так же, как и при обычной инерционной сварке трением. При достижении частоты вращения $6 \dots 5 \text{ с}^{-1}$ его останавливают.

Особенности формирования соединений

Внешне простой процесс сварки трением в действительности весьма сложен. Он представляет собой целый комплекс взаимосвязанных явлений:

- 1) интенсивное локализованное выделение тепла на поверхностях трения;
- 2) механическое внедрение частиц одной свариваемой детали в тело другой;
- 3) разрушение оксидных пленок и удаление их из стыка;
- 4) непрерывное образование металлических связей между поверхностями и немедленное разрушение этих связей;
- 5) быстрый нагрев и быстрое охлаждение малых объемов металла в условиях очень больших местных давлений;
- 6) упругопластическая деформация в микрообъемах;
- 7) наклеп и рекристаллизация;
- 8) взаимная диффузия;
- 9) интенсивное перемещение дислокаций и активация поверхностей контакта;
- 10) образование прочного соединения свариваемых заготовок тотчас же после прекращения их относительного движения.

Циклограмма процесса сварки трением. Весь цикл сварки удобно рассматривать состоящим из шести фаз, длительность которых составляет τ_1 ,



В первой фазе τ_1 происходит начальная притирка поверхностей трения. По мере увеличения частоты вращения n момент трения M сначала возрастает, а затем снижается. В контакт вступают отдельные микровыступы. Они деформируются, происходит их срез, внедрение друг в друга. При этом обнажаются ювенильные поверхности. Появляются первые очаги схватывания. Граничное трение сменяется сухим трением.

В течение второй фазы τ_2 происходит лавинообразное увеличение числа взаимодействующих микроконтактов, увеличение фактической площади касания, быстрый рост температуры в стыке. С ростом температуры T снижается σ_T свариваемого металла и его сопротивление деформации. Момент трения достигает величины M_{1max} . Происходит интенсивное смятие и срез микровыступов, вовлекаемых в граничную плоскость и перемещающихся между еще достаточно твердыми контактами поверхностями. Трение распространяется на всю поверхность контакта, появляется слой пластифицированного металла, являющегося как бы смазочным материалом.

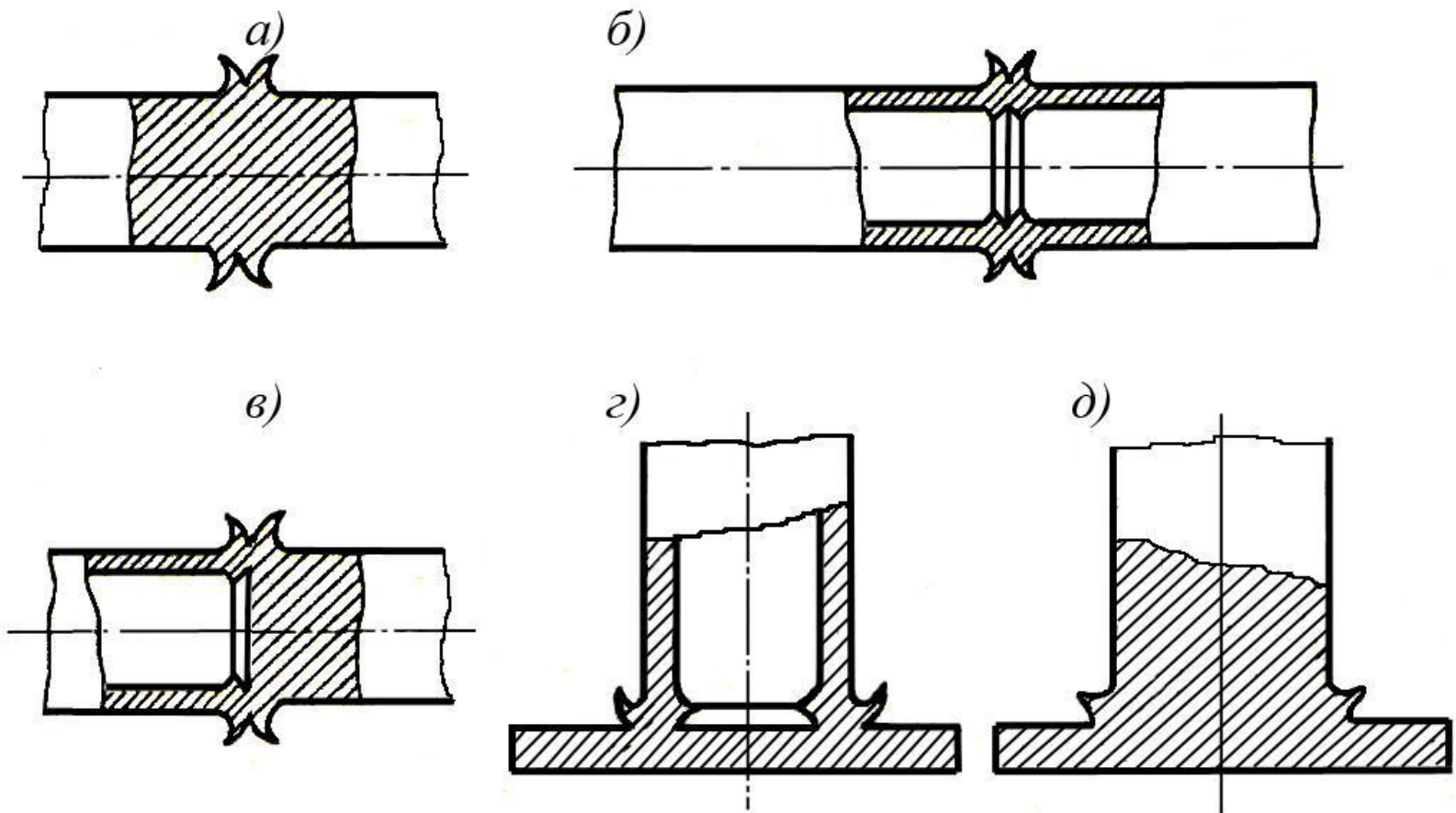
Третья фаза τ_3 отличается постоянным подъемом температуры металла и, как следствие, спадом момента трения M . Начинается вытеснение из стыка пластифицированного металла (начинается образование грата). Температура в зоне контактирования достигает максимального значения. Момент трения M , потребляемая мощность P и скорость осадки V_{oc} стабилизируются. Наступает состояние, близкое к квазистационарному. Амплитуда дрейфа момента трения уменьшается.

Четвертую фазу τ_4 называют фазой квазистационарного процесса трения. Она характеризуется установившимся состоянием многих параметров процесса (M , P , T , V_{oc}). Металл в зоне стыка пластифицирован, поверхности трения активизированы, обломки пленок окислов и инородные включения удалены в грат. Детали сближаются на расстояние Δl . Таким образом, контактные поверхности подготовлены к образованию сварного соединения.

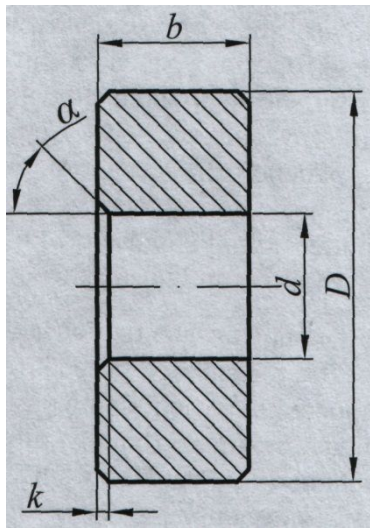
Пятая фаза τ_5 характеризуется уменьшением n до нуля, а также сначала ростом M и P , затем снижением их значений до нуля. Снижается температура в стыке. Величина осадки Δl достигает своего максимального значения. Наступает момент полной остановки с образованием металлических связей.

Шестая фаза τ_6 – фаза проковки. Усилие проковки обычно равно осевому усилию при сварке либо возрастает. Эту фазу можно рассматривать как своеобразную высокотемпературную обработку сварного соединения, способствующую повышению прочности и вязкости металла зоны сварки. Обычно шестая фаза длится несколько секунд. После этого изделие освобождается из зажимов и продолжает охлаждаться в естественных условиях.

При инерционной сварке трением процесс сварки может быть разделен на три этапа: этап сухого трения, этап пластической деформации и этап образования сварного соединения. Энергия, запасенная в маховике, определяется моментом инерции вращающихся частей машины и начальной угловой скоростью.



Типы сварных соединений: а – стержни сплошного сечения; б – трубы; в – труба со стержнем; г, д – труба и стержень с пластиной



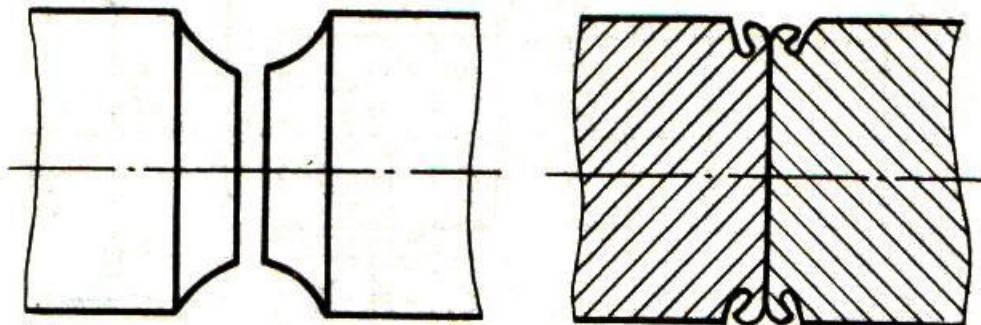
При сварке трением материалов с резко различающимися свойствами рекомендуется применять жесткие режимы нагрева. Это способствует отсутствию нежелательных структурных превращений и снижению активности диффузионных процессов. Часто используют осадочную матрицу, которая одевается на невращающийся конец заготовки из более пластичного металла. Матрицу изготовляют из жаростойкого материала и охлаждают проточной водой. С помощью матрицы предупреждается свободное радиальное течение пластичного металла, создаются условия всестороннего сжатия в стыке при приложении усилия как при нагреве, так и в процессе проковки.

Перед началом сварки трением необходимо произвести рациональную подготовку кромок с целью создания приемлемых условий формирования, обеспечения частичного или полного укрытия грата

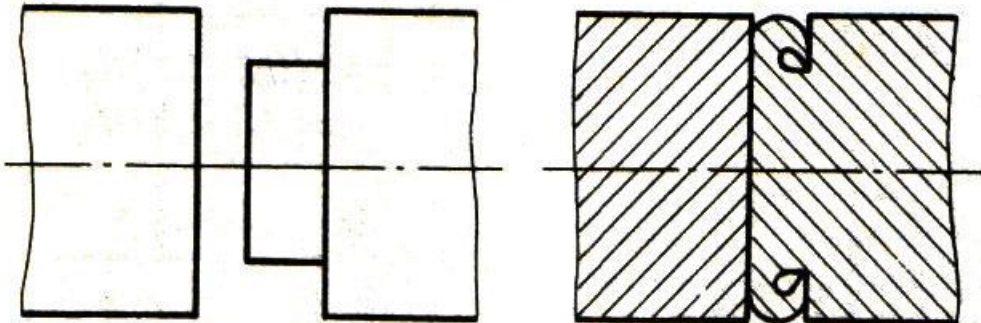
Удаление грата может производиться как на отдельном рабочем месте, так и непосредственно на сварочной машине (резцом или с помощью пуансона).

К свариваемым поверхностям при обычной сварке трением не предъявляются высокие требования по загрязненности и чистоте обработки. Подготовка поверхностей под сварку может быть выполнена на токарном станке, рубкой и различными способами резки. При инерционной сварке в связи с точной дозировкой вкладываемой в стык энергии подготовка свариваемых кромок должна быть более тщательной, чем при обычной сварке трением.

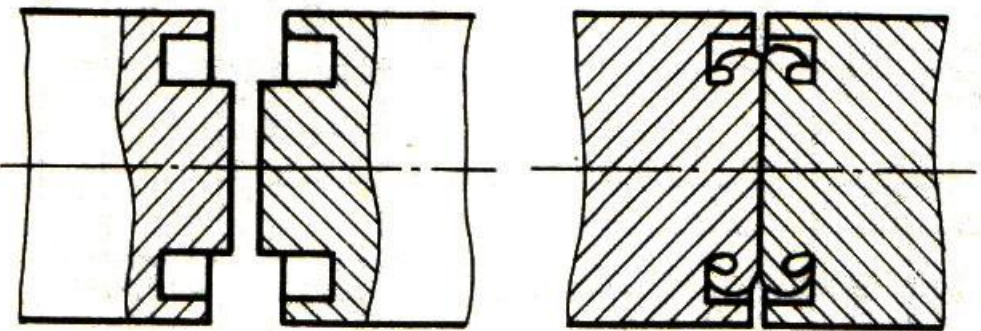
а)



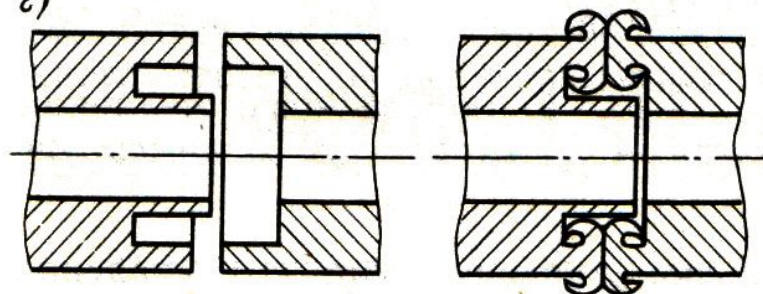
б)



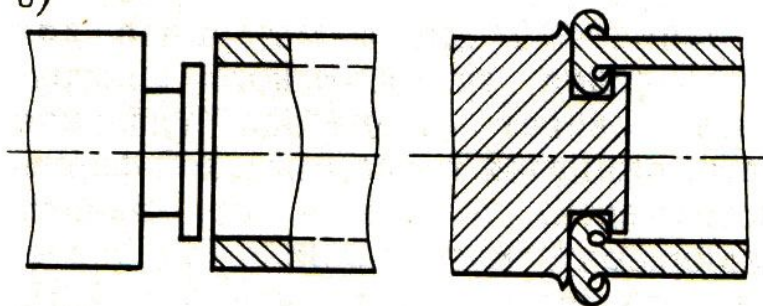
в)



г)

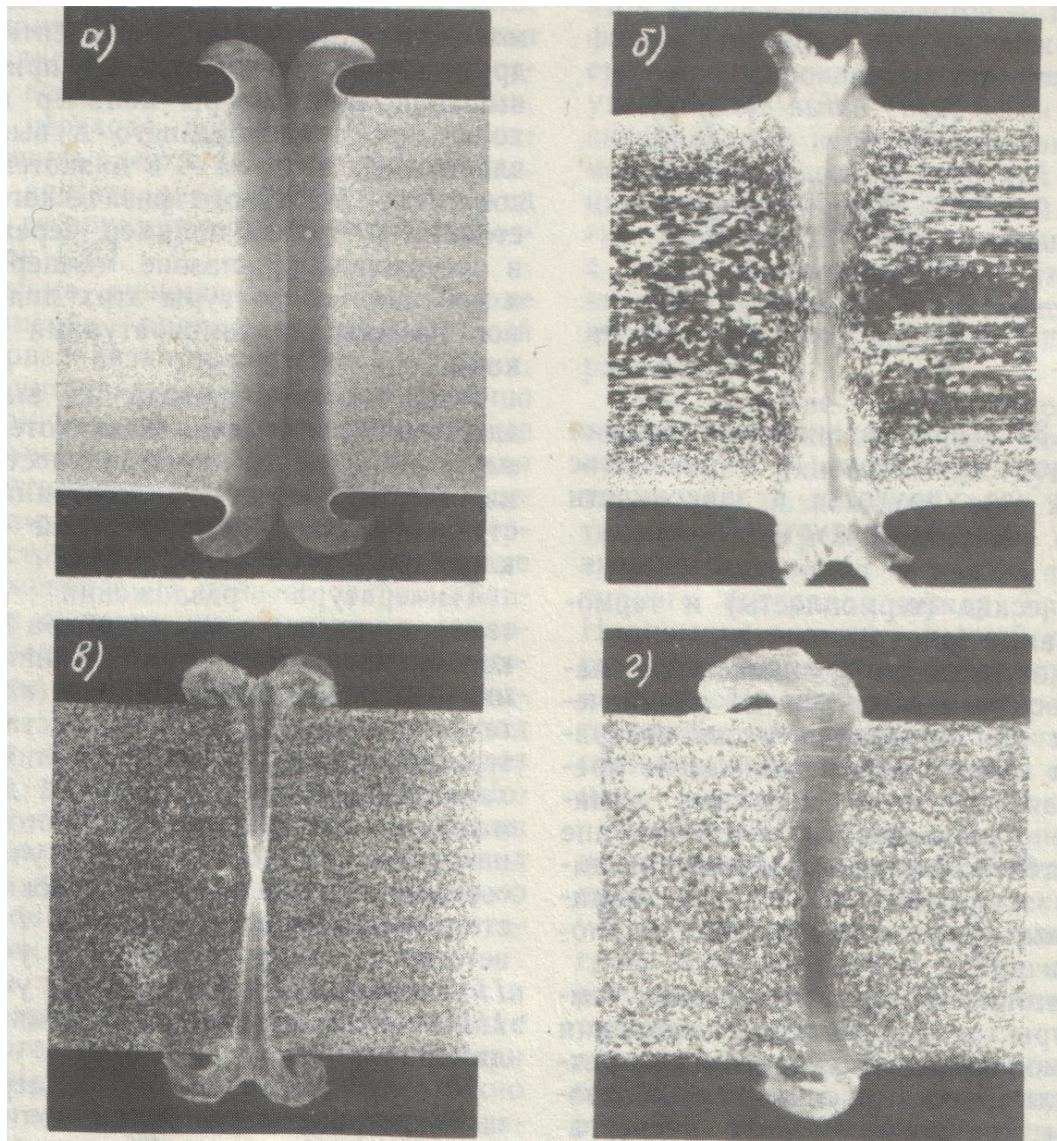


д)



Примеры подготовки деталей, обеспечивающей частичное (а, б, г, д) или полное (в) укрытие графа

После сварки металл в зоне соединения имеет измельченную структуру, что предопределяет высокие механические характеристики соединения. Однако после сварки нередко применяется и дополнительная термообработка



Примеры
микроструктуры
соединений,
выполненных сваркой
трением:

а – сталь 45;
б – алюминий А1;
в – сталь 0Х18Т;
г – медь М1

Основными параметрами режима сварки трением являются:

- 1) давление при нагреве p_H ;
- 2) давление проковки $p_{\text{КОВ}}$;
- 3) время нагрева τ_H ;
- 4) время проковки $\tau_{\text{КОВ}}$;
- 5) частота вращения n ;
- 6) осадка при нагреве Δ_H ;
- 7) суммарная осадка $\Delta_{\text{сум}}$.

Оптимальные параметры процесса сварки трением можно определить опытным путем. В этом случае в качестве ориентиров могут быть использованы табличные данные по опробованным режимам.

Частота вращения n выбирается из следующих соотношений:

– для черных металлов при окружной скорости $V \approx 1 \dots 2$ м/с

$$n \cdot d = (0,3 \dots 0,6) 10^3;$$

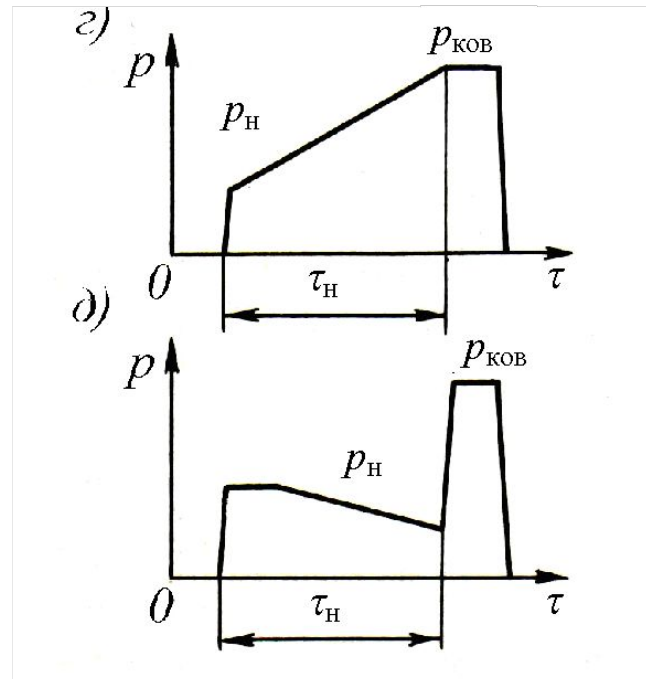
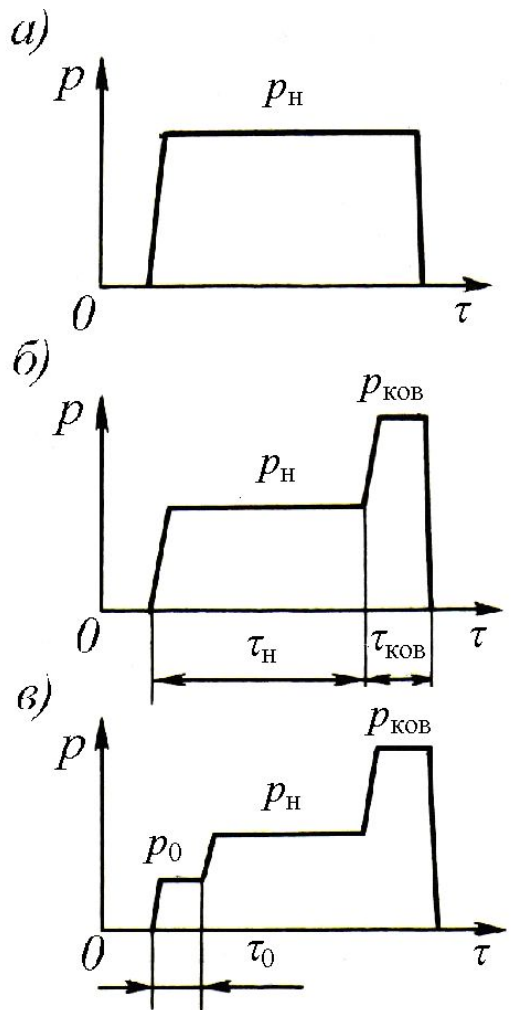
– для цветных металлов при окружной скорости $V \approx 2$ м/с

$$n \cdot d = (0,6 \dots 0,75) 10^3;$$

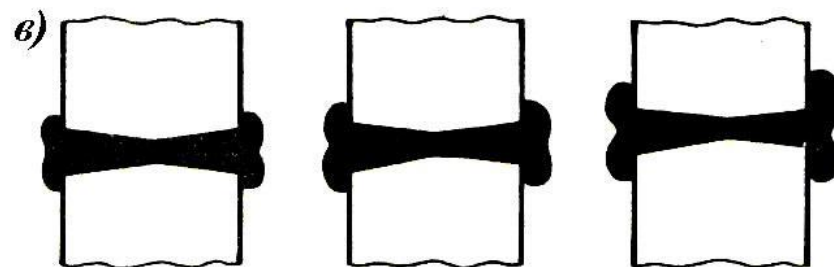
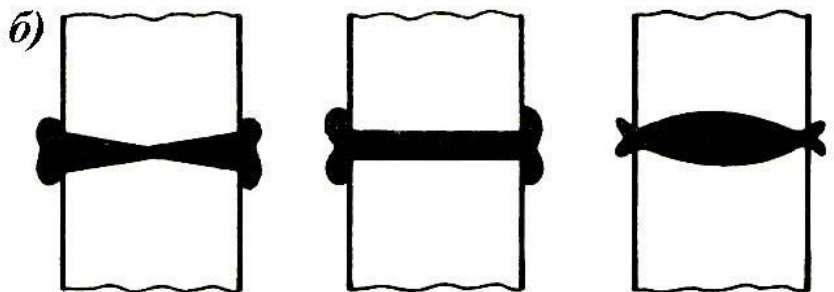
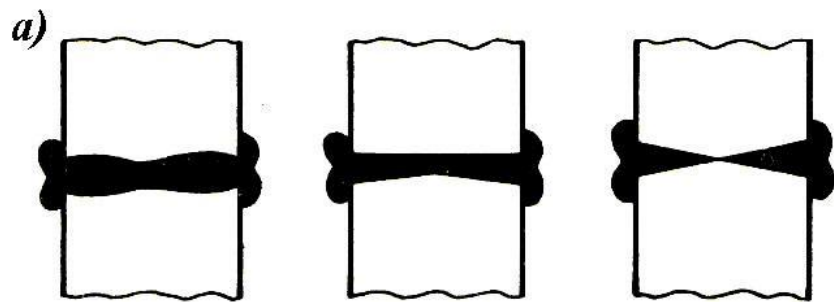
– для титана при $V \approx 4 \dots 5$ м/с

$$n \cdot d = (8 \dots 10) 10^3.$$

В приведенных формулах d – диаметр свариваемых заготовок в месте сварки, мм
 $V = \pi \cdot d \cdot n \cdot 10^{-3}$.



Циклы давления при сварке трением: p_0 – начальное давление; p_H – давление при нагреве; $p_{КОВ}$ – давление проковки; τ_0 – время нагрева при p_0 ; τ_H – время нагрева; $\tau_{КОВ}$ – время проковки



*Малое
значение
параметра*

*Среднее
значение
параметра*

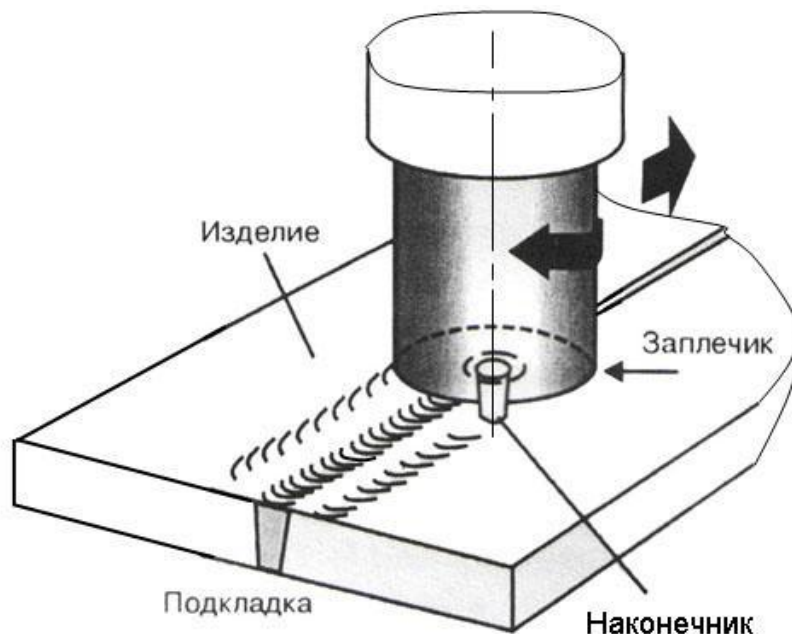
*Большое
значение
параметра*

Для выбора момента инерции маховика, начальной окружной скорости и давления рекомендуется в каждом отдельном случае проводить соответствующие экспериментальные исследования. Ориентировочные значения основных параметров могут быть определены расчетным путем.

Влияние параметров инерционной сварки на форму соединения при изменении давления (а), начальной окружной скорости (б) и момента инерции маховика (в)

Сварка трением с перемешиванием

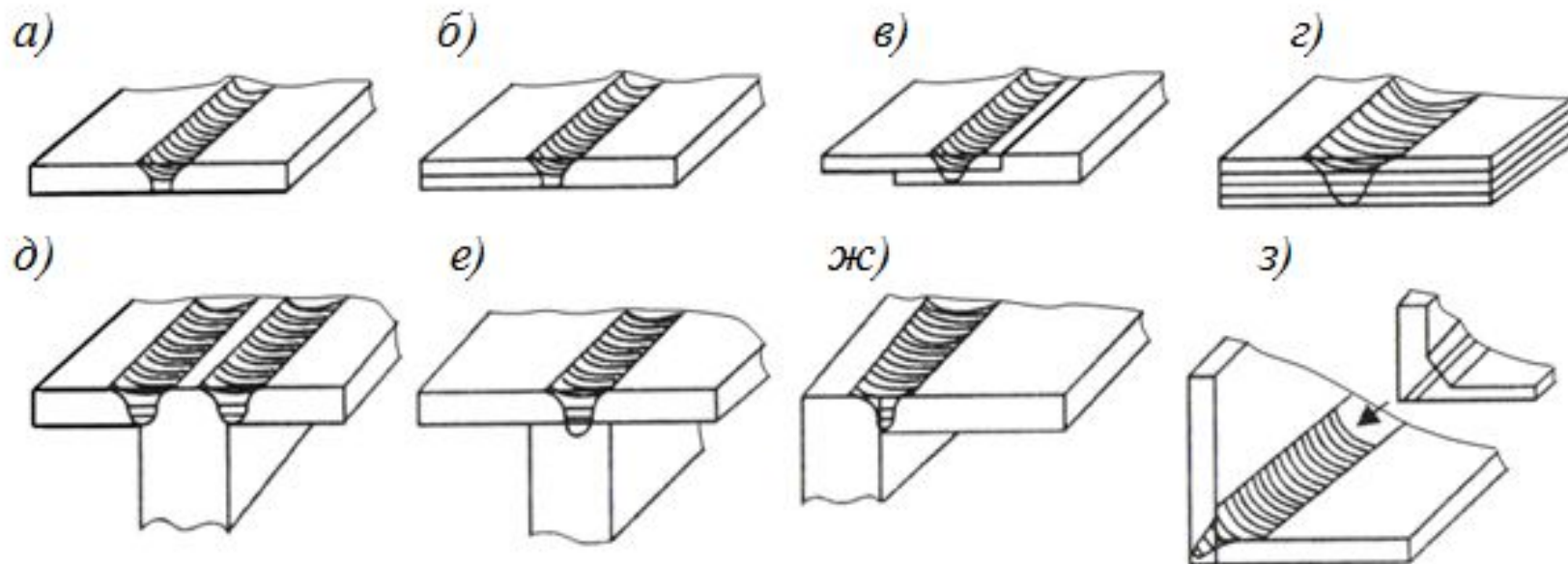
Особое место среди способов сварки трением занимает сварка трением с перемешиванием (СТП). Основная особенность его состоит в том, что в процессе сварки металл не расплавляется, а соединение формируется из металла в пластичном состоянии. Специальный вращающийся инструмент, состоящий из утонченной части – заплечика и выступающей части – наконечника, в месте сварки вводится в соприкосновение с поверхностью свариваемых деталей до упора в нее заплечиком. При сварке толстостенных изделий наконечник внедряется в предварительно просверленное отверстие меньшего диаметра. Этим облегчается процесс внедрения наконечника в свариваемый материал и увеличивается его долговечность. Глубина погружения наконечника в зону соединения металлов примерно равна толщине соединяемых кромок.



В результате трения наконечника и заплечика о заготовку выделяется теплота, которая доводит металл вокруг инструмента до пластичного состояния. Затем инструменту сообщают поступательное движение со скоростью сварки. Находящийся в пластичном состоянии материал свариваемых деталей, перемещаясь из зоны нагрева в зону охлаждения, огибает наконечник и перемещается в зону, освобождающуюся сзади движущегося инструмента. При этом образуется соединение. Сварной шов несимметричен относительно своей продольной оси, т. к. материал вытесняется инструментом с одной стороны на другую.

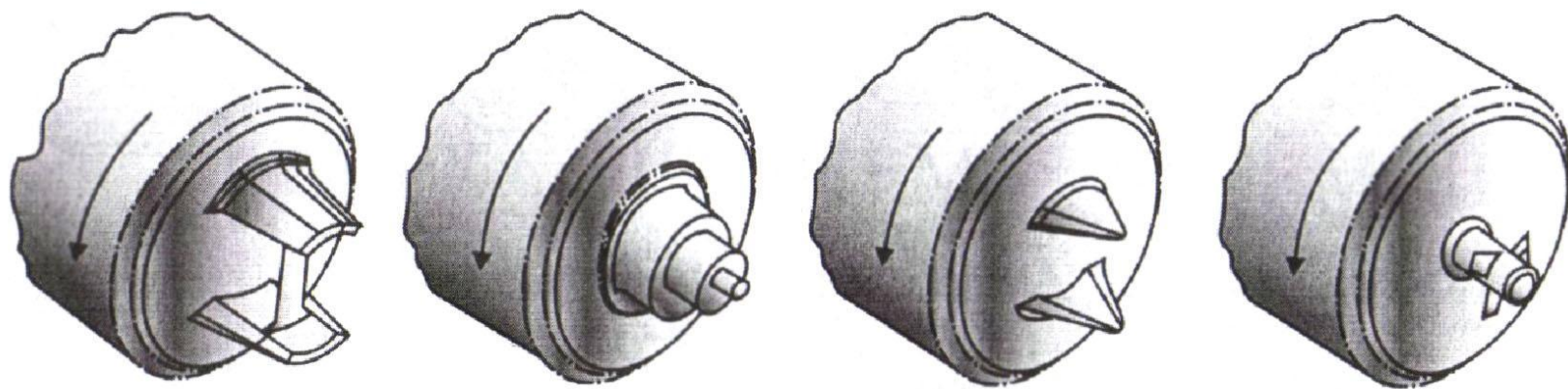
Основными параметрами процесса СТП являются:

- скорость сварки (скорость перемещения инструмента);
- частота вращения инструмента;
- усилие прижатия и усилие перемещения инструмента;
- конструкция и размеры вращающегося инструмента;
- угол наклона инструмента.



Типы соединений, выполняемых СТП: а – стыковое; б – нахлесточно-стыковое; в – нахлесточное; г – многослойное нахлесточное; д – двухпроходное тавровое; е – тавровое прорезное; ж, з – угловое

Для каждого материала и его толщины имеется оптимальное соотношение частоты вращения инструмента и скорости его перемещения по стыку. Конструкции вращающегося инструмента могут быть различными. Разработаны конструкции составного инструмента, в котором наконечник вставляется в тело заплечика и может легко заменяться другим. Технологические возможности рабочего инструмента расширяются регулированием в процессе сварки длины наконечника и диаметра заплечика. Это позволяет соединять свариваемые заготовки переменного сечения и избегать образования отверстия в конце шва при выполнении кольцевых швов. На этой основе реализован программируемый процесс сварки. За счет изменения длины наконечника от нуля до значения, равного толщине свариваемых заготовок, осуществляется плавный выход на достижение полного провара и окончание процесса без образования отверстия. Температура сварки измеряется термопарой, расположенной внутри наконечника, что позволяет точно судить о состоянии процесса сварки и автоматически регулировать скорость перемещения рабочего инструмента.



Максимальная температура нагрева, составляющая около 500 °С, существует в течение очень короткого времени. Температурный интервал 200...300 °С, определяющий размеры зоны термического влияния (ЗТВ), по длительности не превышает нескольких секунд. При дальнейшем продвижении инструмента по линии стыка температура в ЗТВ быстро понижается и сравнительно долгое время находится на уровне 100...170 °С. Для закаливающихся алюминиевых сплавов такой термический цикл влияет на структуру и механические свойства соединений. Более низкая температура нагрева изделия при СТП по сравнению со сваркой плавлением обеспечивает меньший уровень угловых деформаций в соединении.

Процесс СТП позволил сварить алюминиевые сплавы толщиной до 50 мм за один проход и толщиной 75 мм с двух сторон.

СТП нашла применение для соединения сверхтонких материалов. Она позволяет выполнять нахлесточные и точечные соединения листов толщиной менее 0,3 мм и стыковые соединения металла толщиной 0,5 мм и более. При этом размеры инструмента: диаметр наконечника – до 0,8 мм, заплечика – до 3 мм. В качестве вращающегося наконечника может также применяться расходный стержень.

Основные преимущества процесса СТП:

- отсутствие присадочного металла и защитного газа;
- значительное сокращение тепловложения;
- отсутствие при сварке дыма, шума и ультрафиолетового излучения;
- возможность получения беспористых швов;
- отсутствие специальной обработки кромок и удаления оксидной пленки перед сваркой;
- получение соединений во всех пространственных положениях;
- уменьшение деформации соединений;
- отсутствие необходимости в высокой квалификации оператора

К недостаткам способа СТП можно отнести:

- необходимость мощных подкладок, на которых должны надежно закрепляться свариваемые заготовки;
- образование в конце шва отверстия, равного диаметру наконечника, которое необходимо заполнять с помощью других методов (например, вваркой трением специальных пробок);
- более низкий уровень скорости сварки по сравнению с механизированной дуговой сваркой некоторых материалов;
- необходимость применения входных и выходных планок.

Основными специфическими дефектами соединений, выполненных СТП, являются:

- несплавление в корне шва из-за нарушения переноса металла в корневую часть соединения;
- небольшое снижение толщины металла в области соединения за счет контакта заплечика инструмента и поверхности заготовок. Обычно снижение толщины металла составляет 0,1...0,2 мм.

Сварку трением применяют при изготовлении режущего инструмента, выпускных клапанов двигателей, роторов турбокомпрессоров, деталей тракторов, автомобилей и сельхозмашин, ответственных узлов машин текстильной, химической и пищевой промышленности, а также при соединении пластмасс.

Области применения сравнительно нового способа сварки трением с перемешиванием расширяются быстрыми темпами. Перечень металлов, свариваемых СТП, уже включает не только алюминий и его сплавы, но и медь и ее сплавы, стали и титан. Ее успешно используют для соединения деталей из высокопрочных алюминиевых сплавов, которые не свариваются другими способами сварки. Разработана технология сварки алюминия с медью. Идет поиск специальных материалов для изготовления вращающегося рабочего инструмента, способных выдерживать высокие температуры и обеспечивать высокую работоспособность, особенно при сварке коррозионно-стойких сталей и титана.

Основные области применения сварки трением с перемешиванием: судостроение (секции корпуса, переборки судов), аэрокосмическая промышленность (элементы фюзеляжа и крыльев, топливные баки, корпуса ракет), транспортное машиностроение (кузова и рамы вагонов), автомобилестроение (рамы автомобилей, диски колес), электротехническая промышленность (корпуса электродвигателей, шинопроводы), строительная индустрия (мосты, трубопроводы), атомная промышленность (медные контейнеры для хранения радиоактивных отходов с толщиной стенки 50 мм, в которых радиоактивные отходы должны храниться в течение 100000 лет, и др.).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ
КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?