

# Высокочастотная Сварка Труб



# **Высокочастотная сварка труб**

Составлено и отредактировано

Robert K. Nichols, RE.

*Thermatool Corp.*

1-е издание - 1994

Thermatool Corp.

P.O. Box 7B9, East Haven, Connecticut 06512 U.S.A.

203-468-4100

АВТОРСКОЕ ПРАВО©1995 THERMATOOL CORP.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Данная «Книга» в основном является обновлённым и более подробным изданием «Пособия по высокочастотной сварке труб фирмы Thermatool», выпущенного в 1964 году. В дополнение к первоначальному изданию нами добавлены разделы по Качеству, Отжигу сварных швов, Термообработка швов и всего корпуса трубы, Дефекты сварки и Цветные материалы.

Цель книги – помочь всем мировым производителям труб различного сортамента. Комментарии по специальному оборудованию, относящемуся к безопасности, по электромагнитным излучениям, и некоторым особенностям и получаемым выгодам, связанным с качеством и производительностью, касаются исключительно продукции фирмы Thermatool. В отношении продукции других фирм, никаких гарантий получения ими каких-либо выгод в данной книге не даются.

С момента первого издания фирма Thermatool расширила ареал своей деятельности в области экспертизы практически во всех аспектах трубного производства. Вместе с тем, мы разработали вопросы экспертизы в смежных технологиях, связанных с производством труб. И мы доводим наши разработки до любого производителя труб, где бы он ни находился.

Мы полагаем, что практические рекомендации по изготовлению труб, изложенные в данном «Пособии», верны и оптимальны, но мы не даём никаких заверений или гарантий в отношении полученных вами результатов. Довольно часто успех в производстве труб заключается в реализации практического опыта занятых в этом производстве конкретных специалистов.

И, наконец, выражаем особую благодарность многочисленным сотрудникам фирмы Thermatool, которые внесли свой вклад в реализацию этого «Пособия» и длинный список которых невозможно здесь привести. Лично я питаю надежду, что данное «Пособие» принесёт пользу всем, кто им воспользуется. Мы будем рады получить от вас любые предложения или дополнения по усовершенствованию рекомендуемых нами инструкций.

Тэд Морин  
Президент фирмы  
Thermacool Corp.

# ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СВАРКА

## СОДЕРЖАНИЕ

---

	Стр.
ГЛАВА 1 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	4
ГЛАВА 2 СПОСОБ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СВАРКИ	7
ГЛАВА 3 ВЧ ВПАДИНА	25
ГЛАВА 4 СВАРОЧНЫЕ КАТУШКИ	30
ГЛАВА 5 СВАРОЧНЫЕ КОНТАКТЫ	35
ГЛАВА 6 ИМПИДЕРЫ	44
ГЛАВА 7 ЗАГОТОВКА И ПОЛОСА	51
ГЛАВА 8 ФОРМОВОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ 54	
ГЛАВА 9 СВАРОЧНЫЕ ВАЛЬЦЫ	62
ГЛАВА 10 НАПРАВЛЯЮЩАЯ ДЛЯ ШВА 79	
ГЛАВА 11 КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И КАЧЕСТВА 83	
ГЛАВА 12 МАТЕРИАЛ ИЗ НЕРЖАВСТАЛИ И ЦВЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 94	
ГЛАВА 13 ДЕФЕКТЫ СВАРКИ	104
ГЛАВА 14 ТЕРМООБРАБОТКА ШВА И ВСЕГО КОРПУСА ТРУБЫ 132	
ГЛАВА 15 ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ ЛЕТУЧИМИ НОЖНИЦАМИ 141	
ПРИЛОЖЕНИЕ А ТЕРМИНЫ	152
ПОЛЕЗНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	154

# РАЗДЕЛ 1

СПОСОБ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ  
СВАРКИ И ОБОРУДОВАНИЕ

---

# **ГЛАВА 1**

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ**

### **Правильно информированный обслуживающий персонал снижает риски травматизма**

При правильной сборке, эксплуатации и обслуживании ВЧ оборудование не представляет опасности. Фирма Thermatool устанавливает большое число блокировок безопасности в каждый механизм, тем не менее, невозможно разработать такое оборудование, в котором нельзя было бы обмануть систему безопасности. Для вашей безопасности оставляйте включёнными все блокировки, никогда не работайте в одиночку, и не выполняйте операций, которые вы не полностью освоили. Вы должны знать, когда необходимо вызвать представителя ремонтной службы вашего предприятия.

### **Основное оборудование**

Оборудование для высокочастотной сварки состоит из ВЧ генератора с необходимыми устройствами контроля, ВЧ линии передачи или обходной шины, установленной на агрегате сварочной головки (при контактной сварке) или индукционные катушки (при индукционной сварке), импидоров, системы рециркуляции дистиллированной воды, водоводяного теплообменника, и, возможно, лопастного насоса.

Некоторые детали генератора и блока питания работают при таких высоких напряжениях, которые достаточны для поражения человека дугой ещё до физического прикосновения. Удостоверьтесь, чтобы агрегат был отключен и все детали обесточены, прежде чем приступить к работе на установке. ВЧ провода внутри системы линии передачи или обходных шин также находятся под высоким напряжением, но из-за высокой частоты они вероятнее всего могут вызвать сильные ожоги. Тем не менее, при работающем агрегате и физическом прикосновении людей к оборудованию возможны серьезные травмы.

### **Встроенные устройства безопасности**

Генератор размещается в шкафах, выполненных из прочного стального материала и алюминия, которые снабжены блокировками дверей и автоматическими заземляющими устройствами. Блокировки дверей включены в схему управления и это не даёт возможности включения главного силового контактора при открытой двери. Двери снабжены замками. Заземляющие устройства срабатывают при открывании двери. Заземляющие устройства автоматически подсоединяют к земле детали, находящиеся под высоковольтным напряжением. Они также разряжают все конденсаторы, которые могут сохранять высоковольтный заряд. Некоторые съёмные панели также оснащены блокировками.

В схеме управления предусмотрена блокировка агрегата для предотвращения подачи ВЧ напряжения при не работающей установке.

## **Техника безопасности при монтаже**

Фирма THERMATOOL настоятельно просит, чтобы её технические специалисты были уверены в том, что перед включением агрегата были соблюдены определённые дополнительные меры безопасности, а именно:

- a. Правильное и соответствующее заземление всего оборудования.
- b. Высокочастотная линия передачи или обходные шины должны быть надёжно закрыты сверху алюминиевым и заземленным коробом.
- c. Наружная электропроводка должна быть безопасной.
- d. Защитный кожух сварной головки ( при контактной сварке) правильно установлен, заземлён и закрыт крышкой.
- e. Обслуживающий персонал Заказчика должен быть хорошо обучен правилам технике безопасности.

## **Некоторые правила техники безопасности для операторов.**

Небезопасное обращение с оборудованием может вывести из строя самые совершенные системы защиты. Приводим некоторые правила безопасности:

- a. НЕ РАБОТАТЬ при открытых дверях и при выключенных блокировках и заземляющих устройствах.
- b. НЕ РАБОТАТЬ при снятых защитных панелях с ЛЮБОЙ ЧАСТИ оборудования.
- c. Поддерживать должный порядок вокруг генератора и сварочного агрегата. Особенно это касается скользких поверхностей под ногами.
- d. Не носить просторных одежд, галстуков, и длинных волос.
- e. Носить защитные очки.
- f. Осмотреть сверху и снизу весь агрегат перед его включением или изменением направления.



## **Необходимость в сервисном обслуживании**

Всякий ремонт внутри любой части оборудования должен быть выполнен только квалифицированным специалистом. Любое тестирование, когда требуется удерживать систему под напряжением при открытых дверях, должно выполняться только специалистом фирмы Thermatool. В наши отделы запчастей и технического обслуживания можно звонить в течение 24 часов суток, ежедневно и круглый год и мы рады вашим звонкам с просьбой об оказании помощи в любое время. Звонки по телефону с просьбой об оказании помощи бесплатны и при необходимости оказать помощь на месте мы обычно работаем там в течение 24 часов в сутки на территории США и 48 часов по международным поясам времени.

Не рискуйте выполнять какие-либо работы без соответствующей квалификации и обучения. Знайте, когда нужно обратиться и вызвать специалиста фирмы Thermatool!

## **ГЛАВА 2**

### **СПОСОБ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СВАРКИ ТРУБ**

Высокочастотная сварка была разработана на основе низко- и среднечастотных технологий, созданных примерно в начале века. Изначально ток, применявшийся для нагрева кромок, вырабатывался с помощью контактного маховика. При этой технологии, известной, как контактная сварка сопротивлением (КСР), для нагрева кромок полос использовался ток частотой в 60 Гц. Хотя при этом и достигалось высокое качество сварки, этот способ был ограничен по скорости и создавал нагрев, намного превышающий массу металла, необходимого для получения качественной сварки. Созданные во время Второй Мировой Войны высокочастотные (ВЧ) генераторы показали бесспорное преимущество для их применения в сварочном деле. ВЧ сварка давала возможность намного увеличить скорость сварки и прогревать очень небольшие участки металла за счет малой глубины проникновения ВЧ токов.

Способ высокочастотной контактной сварки был изобретён в 1950-годы Уоллесом Руддом, одним из создателей фирмы «Терматул». Примерно в это же время была разработана и ВЧ индукционная сварка. ВЧ контактная сварка отличается от ВЧ индукционной сварки тем, что в ней применяются скользящие контакты, подающие ВЧ ток на кромку свариваемого листа, а не в обжимную катушку, используемую при ВЧ индукционной сварке. При ВЧ контактной сварке повышается КПД передачи тока от ВЧ выходного трансформатора к кромке. Хотя как при ВЧ контактной, так и ВЧ индукционной сварке используется высокочастотный ток, подаваемый на кромки полос для получения требуемой температуры сварки, существует разница в принципах действия этих способов.

Ниже приводятся сходные и отличительные особенности этих двух способов.

#### **Работа ВЧ сварочного агрегата**

ВЧ сварочный агрегат Thermatool сложная высокочастотная система преобразования тока. Её детали оптимизированы для применения при сварке труб. Тем не менее, её работу можно объяснить довольно просто. Сварочный агрегат Thermatool состоит из подающего ток щитка в шкафу генератора, теплообменника и пульта управления сварщика. Ниже приводятся разделы, в которых объясняется работа каждого компонента.

#### **Блок питания**

Блок питания принимает сигнал от заводской сети переменного 3-фазного тока 380 в., частотой 50 Гц или 3-фазного тока 460 в. частотой 60 Гц., как указано в технической документации, и преобразовывает этот входной сигнал переменного тока в плоский отфильтрованный сигнал постоянного тока на выходе до 16 000 в., используемый в генераторе.

Ниже приводится описание, каким образом генератор использует это напряжение, которое подаётся от блока питания к шкафу генератора по высоковольтному коаксиальному кабелю (кабель В+).

Мы устанавливаем в шкафу блока питания автономную систему прерывания цепи для включения или выключения подачи тока от сети. Оператор агрегата дистанционно включает этот прерыватель цепи выключателем на пульте управления.

В блоке питания нами предусмотрена система контроля и автоматического тестирования. Это обеспечивается программируемым логическим контроллером (ПЛК). ПЛК позволяет оперативно информировать оператора об условиях режимов работы при запуске и последующей нормальной работы сварочного агрегата, о выходной мощности и о нарушениях работы, как например, повышение рабочей температуры или прохождение защитного сигнала. ПЛК выдаёт эту информацию в виде сообщения на программируемом дисплее информации пульта управления (ПДИ).

Контроль питания осуществляется набором из 6 управляемых кремниевых выпрямителей (УКВ), известных как тиристоры. УКВ действует в качестве дроссельного клапана, регулирующего сигнал постоянного тока, подаваемого на повышающий трансформатор напряжения (пластинчатый трансформатор). Выходной сигнал из трансформатора преобразуется в постоянный ток в наборе из 6 стоек выпрямителей. Данный сигнал постоянного тока сглаживается затем в сглаживающем фильтровом реакторе и фильтровом конденсаторе перед тем, как он подаётся в шкаф генератора. Мы регулируем постоянный ток, настраивая переключение УКВ при помощи схемы управления, которую мы называем блоком запуска. Этот блок запуска имеет встроенную защиту от перегрузок по току и по напряжению и потери чувствительности входящей фазы. Нами предусмотрена также встроенная защита от случайных высоковольтных пиков или переходного напряжения при помощи схемы подавителя импульсов.

При выборе режима ручного управления уровень постоянного напряжения на выходе задаётся регулятором питания сварочного агрегата на пульте управления оператора. При выборе режима автоматического управления напряжение контролируется системой регулятора скорости. Система регулятора скорости выдаёт команду в зависимости от скорости агрегата. Информация о скорости поступает от тахометра генератора, который мы просим установить на агрегате.

### **Ламповый генератор**

Ламповый генератор принимает постоянное напряжение от шкафа блока питания, поступающего по кабелю В+. Это напряжение подаётся через высокоиндуктивный дроссель на анод электронной лампы. Дроссель преобразует высокую индуктивность в радиочастотные сигналы

Это даёт возможность направлять высокочастотную энергию от лампы на первичную обмотку трансформатора, который мы также подсоединяем к аноду лампы. Энергия проходит через это трансформатор и поступает в индукционную катушку или на контактные головки, которые используют энергию для нагрева трубы для сварки.

На аноде трубки создаётся резонансный контур, образуемый индуктивностью на выходе первичной обмотки трансформатора (L) и набором настроечных конденсаторов (C) резонансного контура. Целью этого резонансного контура является накопление энергии в качестве циркулирующего тока и напряжения между L и C, очень напоминая механический маховик. Номинальная частота этого резонансного контура составляет 400,000 Гц. Мы используем этот сигнал от контура для переключения управляющего электрода (катодная сетка) лампы на эту частоту. Эта накачка электронной лампы на частоту резонансного контура позволяет осуществлять наиболее эффективным способом передачу энергии от входного сигнала постоянного напряжения в резонансный контур. Контур перебрасывает синусоидальное напряжение через первичную обмотку выходного трансформатора. Каждый цикл этого синусоидального переменного напряжения передаёт какое-то количество энергии на нагрузку питания. Как уже сказано выше, выходная мощность, соединённая с нагрузкой (как для контакта, так и для индукции) управляется постоянным напряжением от блока питания, поскольку это также задаёт переменное напряжение на выходе генератора.

### **Полупроводниковый радиочастотный генератор**

Хотя ламповые генераторы численно намного превосходят полупроводниковые генераторы, как здесь сказано, очевидно, что будущее принадлежит полупроводниковым генераторам. Схема полупроводникового генератора (радиочастотного генератора) потребляет значительно более низкое напряжение (225 в. постоянного напряжения по сравнению с 16, 000 в.) от блока питания, и генерирует на выходе радиочастотную синусоиду постоянного напряжения, которая используется для накопления энергии в кромках полосы. Радиочастотный выходной сигнал создаётся за счёт пропускания постоянного напряжения через систему мощных транзисторов MOSFET.

Синусоидный выходной сигнал поступает от резонансного контура L-C. Напряжение, необходимое для индукционной связи изменяется в зависимости от выходной мощности и рабочей частоты. Для повышения безопасного низкого напряжения, необходимого для транзисторов, до уровня напряжения, потребляемого при сварке, мы устанавливаем конденсаторы контура в умножитель напряжения. Множитель калиброван для производительности каждого сварочного агрегата. Эти конденсаторы резонируют с электрической индукцией катушек и образуют параллельную резонансную цепь. Преимущество этого способа заключается в использовании наиболее минимального напряжения в индукционной катушке, что сводит к минимуму электродуговые разряды и повышает надёжность работы. (Следует отметить, что в течение многих лет использовались частоты от 100 до 300 килогерц в 100 -1000 квт. агрегатах, и эти агрегаты применялись для толстостенных труб.)

Однако из-за большой глубины прогрева низкими частотами производить сварку тонкостенных труб было сложно или невозможно. С помощью полупроводниковых генераторов можно было получить радиочастоты, но только для очень низкой производительности. Терматул дал возможность создать настоящий радиочастотный полупроводниковый генератор мощностью в 400 квт. и частотой в 450 Гц.

.Система управления РЧ генератора включает в себя источник высокочастотного сигнала, который адаптируется или отслеживает резонансный контур. Этот источник сигнала управляет работой транзисторов MOSFET так, чтобы получить наиболее эффективное преобразование постоянного напряжения в радиочастоту. Система управления включает также необходимую схему защиты для безопасного отключения сварочного агрегата при неисправной работе регулятора частоты, перегрузок или при перенапряжении на выходе.

### **Теплообменник**

Как указывает название, теплообменник передаёт тепло, производимое в шкафах блока питания и генератора, внешней охлаждающей среде. Для охлаждения электрических частей, находящихся в этих шкафах, мы применяем дистиллированную воду. Дистиллированная вода поглощает тепло, производимое циркулирующими электрическими токами и затем передаёт его через систему металлических пластин охлаждающей воде. Вашим внешним источником воды может быть неочищенная вода из реки или охлаждённая вода в градирне или в холодильнике. Ваше решение полностью зависит от наличия источника на вашем предприятии.

Наш контур системы дистиллированной воды полностью изолирован от вашего внешнего источника воды, они никогда не смешиваются. Мы используем насос для подкачки дистиллированной воды, циркулирующей в наших шкафах, а также сборный резервуар, в котором всегда можно проверить состояние этой воды. Мы также установили систему отслеживания дебита воды и её температуры в целях защиты сварочного агрегата.

### **Пульт управления**

Пульт управления оператора обычно устанавливается на полу в виде рабочего места, откуда оператор сварочным агрегатом следит и управляет его работой. Как указано выше, мы как правило, поставляем информационную панель (PMD), но можно поставить компьютерный монитор для графического изображения работы сварочного агрегата. Такой монитор может быть использован для облегчения устранения повреждений, показывая место возникновения неисправности. Выбор вариантов оборудования зависит от принятых на вашем предприятии практик и потребностей. В обоих случаях работа сварочного агрегата не меняется.

## Передача энергии на кромки полосы

Вырабатываемая генератором энергия передаётся на рабочее место (свариваемая труба) при помощи питающих шин. Шины подают радиочастотное напряжение на рабочую катушку или контакты. Сопротивление медных шин радиочастотному току вызывает их нагрев, поэтому их охлаждают во избежание расплавления. По этой же причине водой охлаждаются и медная рабочая катушка или контакты. Чем меньше диаметр трубы, подлежащей индукционной сварке, тем больше оборотов необходимо рабочей катушке, чтобы эффективно передать мощность, вырабатываемую генератором, на кромки полосы. Поскольку соответствие нагрузки на катушку является определяющим для достижения оптимального КПД, в индукционных сварочных агрегатах ThermoTool применяется автоматический согласующий трансформатор. Автоматический согласующий трансформатор удерживает на постоянном уровне выходную мощность даже при изменении условий сварки (например, нагрев импидора или изменение размеров полосы). Он также снижает влияние разницы геометрических размеров между рабочими катушками. Правильное согласование нагрузки может сэкономить от 1 до 3% ваших годовых расходов на оплату электроэнергии, поэтому такое устройство стоит иметь.

Объяснив в общих чертах выработку радиочастотного напряжения, считаем необходимым объяснить, как воздействует высокочастотное напряжение (КФ)? на кромки полосы.

## Высокочастотная индукционная сварка

При высокочастотной индукционной сварке высокочастотный ток примерно в 400 КГц подаётся на открытый шов трубы через индукционную катушку, расположенную перед местом сварки как показано на рис. 2-1. Кромки трубы раздвинуты во время их прохода через катушку, образуя V-образную впадину, вершина которой находится несколько впереди места сварки. Катушка не соприкасается с трубой.



Способ высокочастотной индукционной сварки

Рис. 2-1

Катушка действует в качестве первичной обмотки ВЧ трансформатора, а труба с раскрытым швом – как вторичная обмотка. Как в обычных применениях индукционного нагрева, траектория индукционного тока в обрабатываемой детали (сформированная полоса) стремится согласоваться с формой индукционной катушки. Большая часть индукционного тока завершает свою траекторию вокруг сформированной полосы, протекая вдоль кромок и скапливаясь вокруг пика V-образного зазора полосы.

Плотность ВЧ тока максимальна на кромках возле пика и на самом пике, здесь происходит моментальное нагревание, в результате чего на кромках достигается температура сварки, когда ток достигает пика. Вальцы пресса сжимают кромки вместе, производя сварку.

Именно высокая частота сварочного тока является причиной концентрации нагрева вдоль V-образных кромок. Ещё одно преимущество состоит в том, что только малое количество всего проходящего тока протекает по траектории вокруг задней части сформированной полосы. При условии, что диаметр трубы не слишком мал относительно длины V-образного шва, ток предпочитает выбрать удобную траекторию вдоль кромок трубы, образующих V-образный зазор.

### **Поверхностный эффект (скин-эффект)**

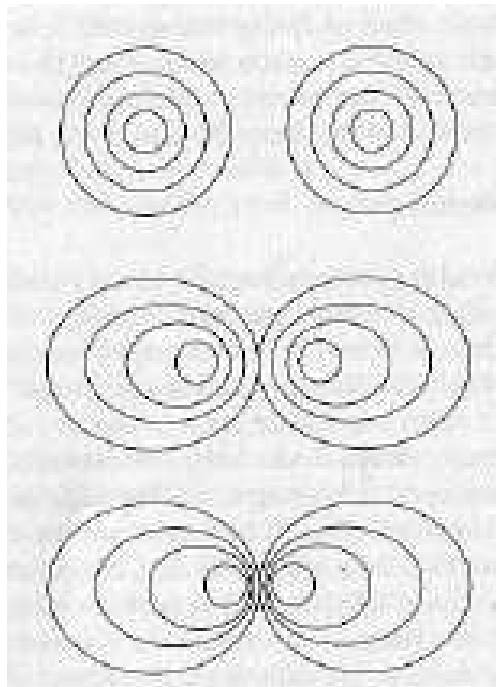
Способ ВЧ сварки зависит от двух явлений, связанных с ВЧ током: это скин-эффект и эффект близости.

Скин-эффект является тенденцией ВЧ тока концентрироваться на поверхности проводника. Это иллюстрируется на рисунках 2-3, где показано, как ВЧ ток протекает в изолированных проводниках различной формы. Практически весь ток протекает в приповерхностной части проводника.

### **Эффект близости**

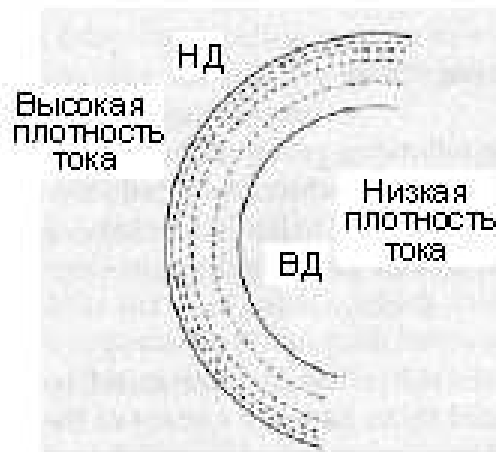
Вторым свойством электричества, важным для способа ВЧ сварки, является эффект близости. Это тенденция ВЧ тока в парных (дунаправленных) проводниках концентрироваться в зонах поверхности проводника, ближе всего расположенных друг к другу. Это показано на рис. 2-4 и 2-6 на примере проводников круглого и квадратного сечения и промежутков между ними.

Физическое свойство, лежащее в основе эффекта близости, зависит от того факта, что магнитное поле вокруг дунаправленных проводников более всего сконцентрировано в самом узком зазоре, чем в других местах (рис.2-2). Магнитные силовые линии ввиду малого пространства сжимаются вместе. Отсюда следует, что эффект близости сильнее, когда проводники находятся на близком расстоянии друг от друга. Он также тем сильнее, чем шире противоположащие кромки.



**Влияние расстояния между проводниками на плотность магнитного потока**

Рис. 2-2



**Поток ВЧ тока в полем проводнике-скин-эффект**

Рис. 2-3



На рис. 2-6 показан эффект двух наклонённых рядом расположенных двунаправленных проводников квадратного сечения. Концентрация ВЧ тока наибольшая в наиболее близко расположенных друг к другу углах и постепенно снижается вдоль расходящихся плоскостей.

### **Высокочастотная контактная сварка**

При ВЧ контактной сварке труб ток высокой частоты примерно в 450 Гц подаётся на кромки полосы при помощи скользящих контактов, расположенных перед местом сварки (по ходу), как показано на рис. 2-7. Кромки полосы раздвинуты в месте контактов, заставляя дугу открыть V-образную впадину, вершина которой находится перед местом сварки. ВЧ ток течёт от одного контакта вдоль кромки впадины до вершины и обратно по другой кромке впадины вследствие скин-эффекта и эффекта близости. Высокая концентрация тока нагревает кромки до температуры сварки в момент их сближения в верхней части. Необходимым условием способа ВЧ контактной сварки является большая скорость подачи трубы, поскольку это сокращает период времени соприкосновения между контактами и местом сварки. Создаваемое тепло вдоль V-образной линии кромок из-за короткого промежутка времени не успевает распространиться на холодные участки трубы, прежде чем кромки плотно прижимаются друг к другу. Тем не менее, в большинстве случаев применения сварки в стальных изделиях можно использовать скорость не выше 20 футов (609,6 см.) в минуту.

Способ ВЧ контактной сварки зависит от тех же двух свойств, что и ВЧ сварка: от скин-эффекта и эффекта близости.

### **Траектории индуцированных токов**

Целью следующих эскизов является помочь понять траектории прохождения токов, наведённых в кромках полосы. На рис. 2-8а показано простое и известное устройство индукционного нагрева, в котором одинарная индукционная катушка (или первичная обмотка) наводит ток в плоском слябе (или вторичная обмотка). Предполагается, что скин-эффект настолько отчётливо здесь выражен, что практически весь наведённый ток протекает в поверхностном слое плиты. Его направление почти мгновенно меняется на противоположное по отношению к току первичной обмотки, что указано стрелками. Наведённый ток должен иметь замкнутую цепь в слябе. Он протекает вдоль верхней поверхности, затем вниз, огибая кромку нижней поверхности вдоль нижней поверхности к другой кромке, откуда устремляется обратно к верхней поверхности. На рис. 2-8b сляб слегка изогнут.

Вогнутая верхняя поверхность находится дальше от катушки, чем в предыдущем случае (т.е. они более слабо связаны). Однако траектория наведённого тока остаётся прежней. Глубина прохождения тока остаётся той же, поскольку ни один из факторов, влияющих на скин-эффект, не изменился. Если сляб и катушка расположены на одной оси, то траектории катушки и сляба будут равными.

На рис. 2-8с сляб изогнут и образует почти замкнутое кольцо. Как и прежде, наведённый ток совершает свою полную траекторию, протекая сначала вдоль верхней поверхности (внутренняя поверхность) и возвращаясь вдоль нижней поверхности (наружная поверхность).

На рис. 2-9 показано, что происходит, когда осевая длина изогнутого кольца больше осевой длины катушки и кромки сдвинуты вместе в точке (верхушка) несколько в стороне от катушки. Это аналогично устройству на рис. 2-8с. Наведённый ток получает здесь вторую траекторию параллельно траектории вокруг внутренней поверхности. Это траектория вдоль одной кромки V-образной формы к вершине и обратно вдоль другой кромки. Именно в этой траектории образуется необходимое тепло при способе ВЧ в контактной сварке. Эти две траектории показаны схематично.

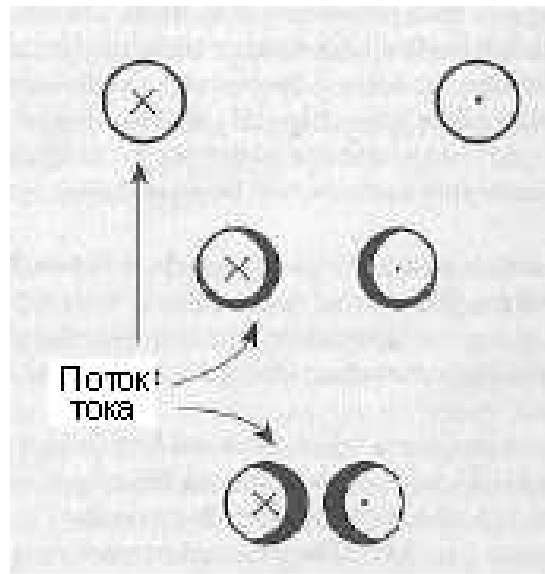
На рис. 2-10 весь наведённый ток протекает вокруг наружной поверхности трубы. Часть этого тока протекает вдоль полезной V-образной траектории, а остальная часть проходит вокруг внутренней поверхности трубы.

Совершенно ясно, что всё, сделанное для увеличения доли наведённого тока, протекающего по V-образной траектории и снижения доли протекающего тока по внутренней поверхности трубы, сделает способ сварки более совершенным. Это значит, что V-образная траектория должна быть как можно более предпочтительна, чем внутренняя траектория.

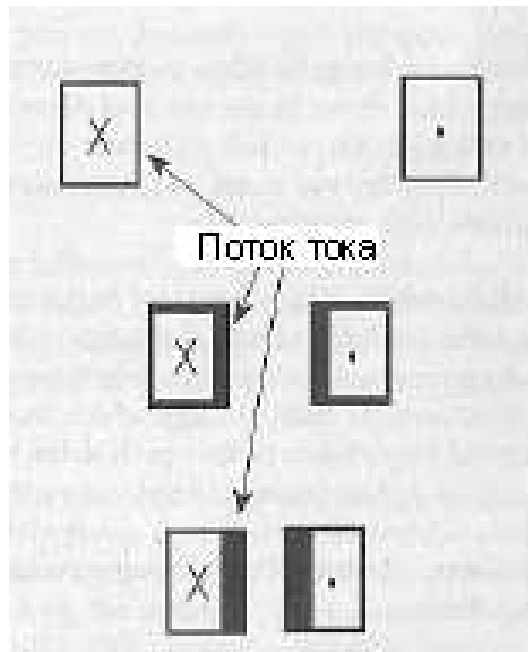
Кроме этого, желательно максимально облегчить протекание тока вокруг наружной поверхности трубы. Это полный наведённый ток. Любая производимая здесь работа, это потеря тока. Падение напряжения в этой траектории повышает суммарный расход тока, который должен быть использован для целей сварки. Снижение электрического сопротивления в этой траектории помогает снизить влияние этих двух факторов.

Выражая это электротехническим языком, на рис. 2-10 желательны следующие относительные сопротивления:

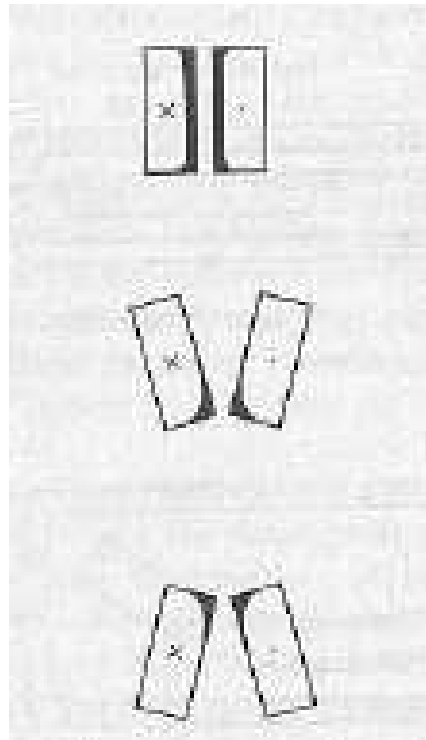
- a. высокое внутреннее сопротивление
- b. низкое сопротивление V-образной траектории
- c. низкое сопротивление наружной поверхности



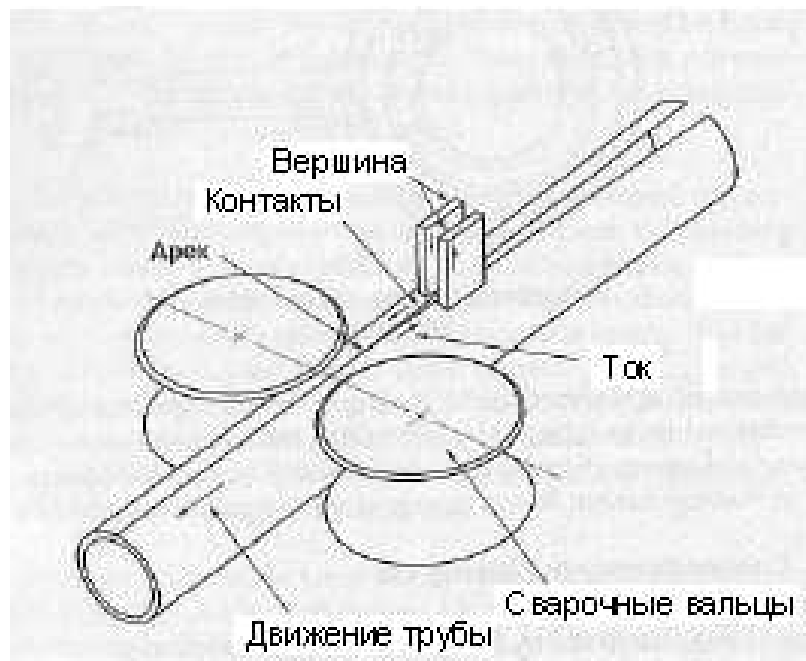
**Поток ВЧ тока в круглом проводнике - эффект близости**  
Рис. 2-4



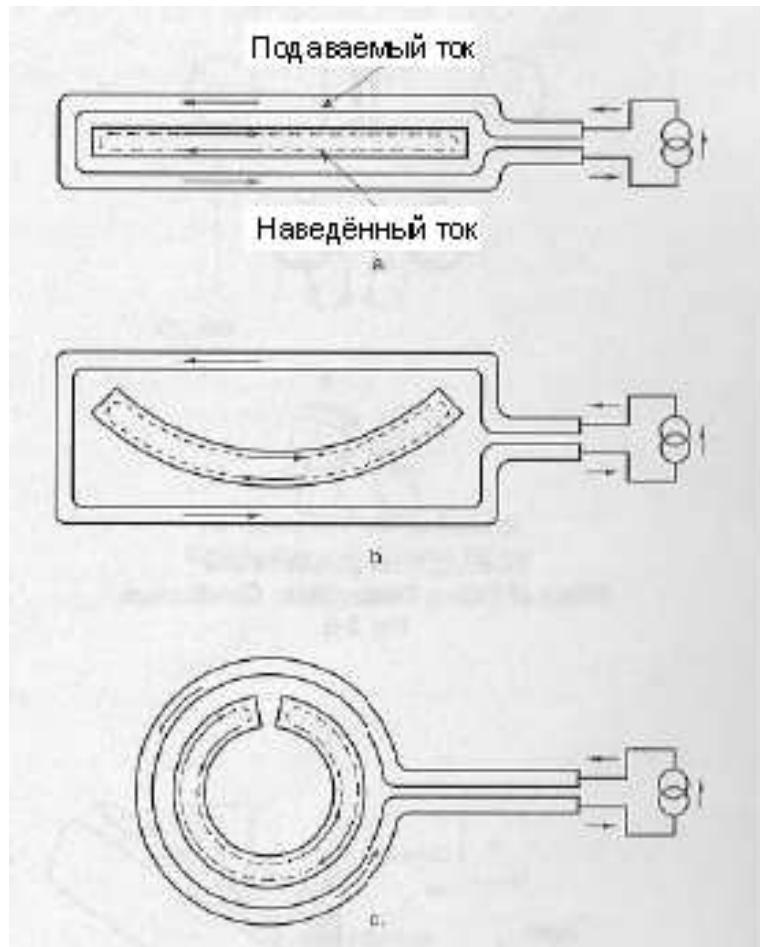
**Поток ВЧ тока в квадратном проводнике- эффект близости**  
Рис. 2-5



**Нагревание потоком тока  
Влияние наклонных прямоугольных проводников**  
Рис. 2-6



**Способ ВЧ контактной сварки**  
Рис. 2-7



### Индукционный нагрев согнутого сляба

Рис. 2-8

В общем виде, (а) достигается при использовании импидорного устройства (импидора) внутри трубы; (b) регулируя размеры V-образной зазора (длина и угол раствора); (c) расширяя катушку вокруг задней поверхности трубы так, чтобы ток поступал сюда как можно в большую конфигурацию.

### Плотность тока в сварном V-образном шве

На рис. 2-11 показан разрез рис. 2-1 выполненный по сечению V-образного зазора.

ВЧ ток протекает в одном направлении на малой глубине (скин-эффект) вдоль одной кромки и обратно на малой глубине вдоль другой кромки. По мере взаимного сближения кромок в направлении верхушки зазора трубы, эффект близости всё более и более возрастает. На рис. 2-11а показана плотность тока (и результат нагрева) при параллельном расположении кромок. Нагрев одинаков относительно толщины стенок. Это оптимальные условия для получения сварки высокого качества. Наружная и внутренняя температуры одинаковы. Наружные и внутренние наплавленные валики одинаковы. Следовательно, такая скорость сварки для данного значения тока на V-образном прорези трубы является оптимальной.

На рис. 2-11b показан случай завышенной формы (высокий пик) V-образного зазора трубы. Эта форма предпочтительна для низкочастотной контактной сварки сопротивлением. (КОНТАКТНАЯ СВАРКА). При этом способе используется крупный тяжёлый сварочный ролик, располагаемый прямо над местом сварки. На него подаётся низкое напряжение и очень высокий ток. В случае с этим способом сварки не происходит нагрев кромки зазора трубы перед точкой сварки. А при ВЧ сварке всё тепло сварки формируется в V-образном зазоре трубы.

При остrokонечной форме зазора трубы внутренние кромки в V-образного зазора находятся ближе друг к другу, чем наружные. Плотность ВЧ тока максимальна во внутренних углах. Внутренние углы прогреваются сильнее, чем наружные. Внутренние наплавленные валики тяжелее, чем наружные. Для достаточного нагрева наружных углов требуется больший прогрев металла. Это условие не только отрицательно с точки зрения качества сварки, но и требует больше ВЧ мощности для заданной скорости сварки.

На рис. 2-11с приведён случай обвала формы (заниженный профиль кромок). Опытные сварщики всячески избегают такой формы из-за последующего деформирования, которое нелегко выровнять на участке сортировки по размерам. Если такое случается, то наружные кромки расположены ближе друг к другу, чем внутренние. Эффект близости действует сильнее на наружные кромки, чем на внутренние. Плотность ВЧ тока максимальна во внешних углах. Наружная часть прогревается сильнее, чем внутренняя, наружные валики сварки тяжелее, чем внутренние, а значит, требуется больший прогрев металла для прогрева внутренней части. Это условие также отрицательно сказывается на качестве сварки и требует больше ВЧ мощности для заданной скорости.

В заключение, с точки зрения электротехники рекомендуется, чтобы КРОМКИ БЫЛИ РАСПОЛОЖЕНЫ ПАРАЛЛЕЛЬНО! Далее в данном пособии приводятся и другие причины параллельности кромок. На достижение параллельности кромок влияют механические факторы, т.е. трубопрокатный стан и состояние полос.

## **Взаимосвязь электрической и механической частей**

Для достижения наилучших условий с точки зрения электротехники необходимо оптимизировать два фактора:

- a. Первый фактор состоит в том, чтобы сделать всё возможное, чтобы снизить как можно больше расход суммарного ВЧ тока в полезной траектории V-образного прохода тока.
- b. Второе, это сделать всё возможное, чтобы достичь максимального параллельного расположения кромок в V-образном проходе тока, чтобы получить равномерный нагрев изнутри наружу.

Вариант (а) в значительной степени зависит от таких электрических факторов как конструкция и положение сварочных контактов или катушки и от установленного импеданса внутри трубы. На конструкцию влияет физическое пространство на трубопрокатном стане и расположение и размер сварочных вальцев. Если для скашивания (зачистки) кромок или вальцевания будет использован сердечник, он влияет на импидорное устройство. Кроме того, на вариант (а) влияют размеры V-образного скоса кромок и угол раствора шва трубы. Поэтому, хотя вариант (а) в основном относится к электрическому фактору, он тесно связан с механическими особенностями трубопрокатного стана.

Вариант (b) полностью зависит от механических факторов, таких как форма раствора шва трубы и состояния кромок полосы. На это влияет всё, происходящее во время раската полос на трубопрокатном стане и даже на агрегате для продольной резки полосы.

ВЧ сварка – это электромеханический процесс: генератор подаёт тепло на кромки, но фактически сварку производят прижимные вальцы. Если на кромках достигается необходимая температура, а у вас идёт бракованная сварка, то с уверенностью можно сказать, что проблема связана с прокатным станом или с материалом.

### **Особые механические факторы**

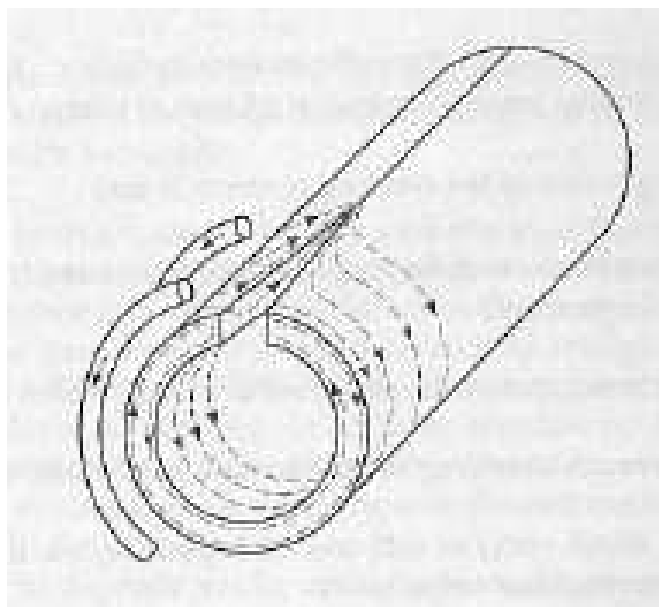
В конечном счёте, всё, что происходит в V-образном растворе шва трубы, играет решающую роль. Все происходящие там процессы могут оказать положительное или отрицательное влияние на качество и скорость сварки. Вот некоторые факторы, которые следует учитывать в этой связи:

- a. длина V-образного шва
- b. угол раствора (угол V)
- c. на каком расстоянии от центральной линии сварочного вальца начинают соприкасаться друг с другом кромки полосы.

- d. Форма и состояние кромок полосы на участке V
- e. Как соприкасаются друг с другом кромки полосы, одновременно по всей толщине или сначала снаружи или внутри, или через заусеницу или расщеп.
- f. Форма образования полосы в зоне V
- g. Равномерность всех размеров V, в том числе длина, угол раствора, высота кромок, толщина кромок
- h. Положение сварочных контактов или катушки
- i. Совпадение кромок полосы относительно друг друга при соприкосновении
- j. Количество выжимаемого материала (ширина полосы)
- k. Допуски размеров трубы, оставляемые для участка сортировки по сортаментным размерам
- l. Количество воды или хладагента и скорость их подачи на V-образный раствор трубы
- m. Чистота хладагента
- n. Чистота полосы
- o. Наличие инородных материалов, напр. окалина, сколы, расщепы, включения
- p. Изготовлена ли полосовая заготовка для труб из кипящей или спокойной стали
- q. Производится ли сварка на наружной кромке полосы из кипящей стали или из полосовой заготовки
- r. Качество полосовой заготовки – из ламинированной стали, из стали с большим кол-вом заусениц и включений («грязная сталь»)
- s. Твёрдость и физические свойства материала полосы (которые влияют на величину упругости и требуемого давления на сжатие)
- t. Равномерность скорости трубопроката
- u. Slitting quality Качество

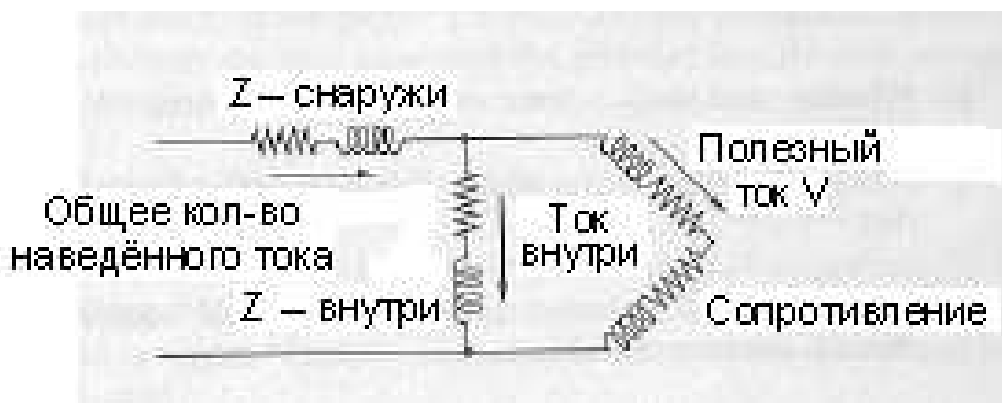


Совершенно очевидно, что происходящее в V-образном растворе трубы является результатом прошлых операций – либо на самом трубопрокатном стане, либо до того, как полоса или заготовка поступает на стан. Поэтому данное пособие рассматривает факторы, касающиеся не только сварочной головки. Ниже будут приведены рекомендации, касающиеся устройства и работы трубопрокатного стана. Некоторые из них будут в значительной степени отличаться от тех, к которым привыкли многие операторы трубопрокатных станов.



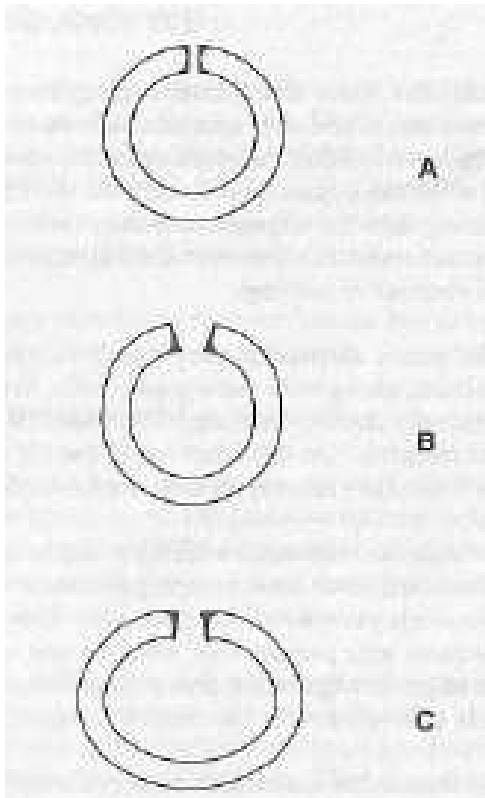
**Поток тока при индукционной сварке трубы**

Рис. 2-9



**Электрическая схема траекторий ВЧ тока в трубе**

Рис. 2-10



**Разрез по А-А рис. 2-1, где показан нагрев  
Образцы с (а) параллельными кромками (б) труба с высоким пиком V  
(с) Вогнутая Труба**

Рис. 2-11

### **Сравнение ВЧ сварки с низкочастотной сваркой сопротивлением (КОНТАКТНАЯ СВАРКА)**

Перед рассмотрением деталей устройства трубопрокатного стана для ВЧ сварки желательно перечислить некоторые общие отличия между технологическим процессом стана и низкочастотной электросваркой сопротивлением (КОНТАКТНАЯ СВАРКА).

- а. При низкочастотной сварке сопротивлением (КОНТАКТНАЯ СВАРКА) на полосу необходима подача высокого тока низкого напряжения при помощи массивных вращающихся электродов, а при ВЧ сварке амперное значение тока сварки намного ниже и контакты небольшие.
- б. При контактной сварке кромки полосы сведены вместе в момент электрического контакта, а при ВЧ сварке ток протекает вдоль полосы до соединения кромок.

с. При контактной сварке ток вдоль кромок отсутствует, он проходит поперёк их, а также вокруг задней части трубы. Нагрев при контактной сварке зависит от контактного сопротивления между кромками. А при ВЧ сварке большая часть нагрева создаётся на кромках до их контакта. Контактное сопротивление между кромками не влияет на величину нагрева.

d. Вращающиеся электроды при контактной сварке несут высокий ток и должны работать также вместе с прижимными вальцами для физического удержания трубы во время сварки. Поэтому они должны быть массивными и тяжёлыми. С другой стороны, ВЧ контакты выполняют только одну функцию, а именно, нагревать кромки трубы при сварке.

e. Прижимные вальцы, применяемые для контактной сварки, взаимодействуют вместе с контактным кольцом для оказания давления во время сварки. При ВЧ сварке только сварочный агрегат обеспечивает давление. Они должны создавать необходимое боковое давление для сварки и одновременно поддерживать кромки на одной линии для предотвращения искривления или нахлёста. Сварочные вальцы, применяемые для ВЧ сварки, почти полностью обхватывают трубу.

f. Кол-во нагреваемого материала намного меньше при ВЧ сварке, чем при контактной сварке. ВЧ ток производит нагрев в самом необходимом месте, т.е. на гранях кромок полосы.

g. . Максимальная температура при ВЧ сварке выше, чем при контактной сварке. На поверхности кромок прогревается и плавится только тонкий слой материала. Это позволяет выплавлять и выдавливать инородные частицы, а не загонять их внутрь, приводя к дефектам сварки.

h. При ВЧ сварке создаётся более высокое давление сварки, чем при контактной сварке из-за тонкого нагреваемого слоя, который опирается на более холодный и жёсткий металл.

i. Несмотря на несколько более высокую максимальную температуру при ВЧ сварке в результате достигается тип шва кузнечной сварки. Расплавленный металл выдавливается вместе с инородными частицами и примесями.

Вследствие этих различий существуют определённые различия в устройстве и способе эксплуатации трубопрокатного стана при низкочастотной сварке сопротивлением и ВЧ сварке.

## ГЛАВА 3.

### УГОЛ (VEE) ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СВАРКЕ ТРУБ

Цель данного раздела заключается в описании идеальных условий в угле (vee). Было показано, что параллельные кромки дают однородный нагрев между внутренней и внешней сторонами. В данной главе буду изложены дополнительные причины удерживания кромок столь параллельно друг другу, на сколько это возможно. Также будут указаны другие свойства угла такие, как расположение вершины, угол раствора и устойчивость во время работы.

Последующие разделы дадут специальные рекомендации, основываясь на производственном опыте для достижения требуемых условий угла.

**Расположение вершины должно быть на столько близко к сварной точке, на сколько это возможно:**

Рис. 3-1 показывает, что точка, где стыкуются кромки (т.е. вершина), должна быть слегка выше центральной линии обжимных валков, так как во время сварочного процесса выдавливается небольшое количество материала. Вершина завершает электрическую цепь, и высокочастотный ток от одной кромки разворачивается и возвращается вдоль другой.

В промежутке между вершиной и центральной линией обжимных валков не происходит дальнейший нагрев из-за отсутствия проходящего тока, и теплота быстро рассеивается из-за высокотемпературного градиента между горячими кромками и остатком трубы. Таким образом, необходимо, чтобы вершина была расположена на столько близко к центральной линии сварочных валков, на сколько это возможно для того, чтобы температура оставалась достаточно высокой для выполнения хорошей сварки при применении обжима.

Это быстрое рассеивание тепла ответственно за тот факт, что высокочастотная мощность удваивается, а достижимая скорость увеличивается более, чем вдвое. Более высокая скорость, возникающая в результате более высокой мощности, дает меньше времени на проведение теплоты. Большая часть теплоты, которая электрически создается в кромках, становится полезной, в результате чего увеличивается производительность.

#### **Степень раствора угла**

Удержание вершины настолько близко к центральной линии сварочного давления, насколько это возможно, означает, что раствор угла должен быть настолько широким, насколько это возможно. Однако существуют практические пределы. Первый – это физическая способность стана удерживать кромки открытыми без складкообразования или повреждения кромок. Второй – снижение влияние близости соседнего провода между двумя кромками, когда они в дальнейшем разделены. Тем ни менее слишком малый раствор угла может способствовать предварительному оплавлению и преждевременному смыканию угла, что вызовет дефекты сварки.

Основываясь на производственном опыте раствор угла является удовлетворительным, если пространство между кромками в точке 2,0" выше центральной линии сварных валков располагается между 0,080" (2мм) и 200" (5 мм), создавая угол разделки кромок между 2° и 5° для углеродистой стали. Для нержавеющей стали и цветного металла необходим больший угол.

### Рекомендуемый раствор угла

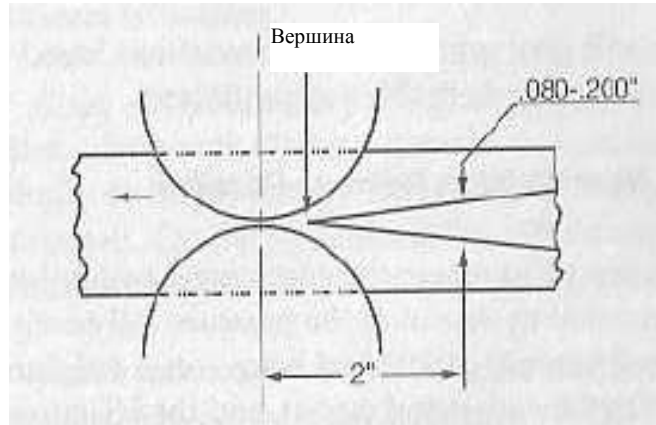


Рис.3-1

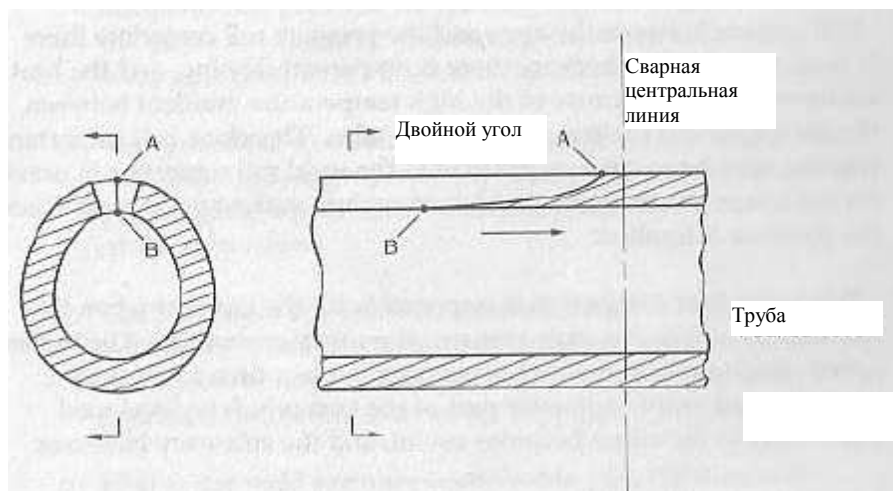
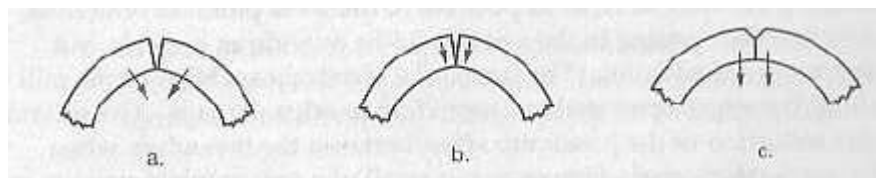


Рис. 3-2



### Труба – Сгибание во время сварки

Рис. 3-3

## **Параллельные кромки помогают избежать образования сдвоенного угла**

Рис. 3-2 изображает, что если первыми вместе смыкаются внутренние кромки, образуется два угла – один на внешней стороне с вершиной в точке А, а другой на внутренней стороне с вершиной в точке В. Внешний угол длиннее и его вершина расположена ближе к центральной линии обжимных валков.

На рис. 3-2 высокочастотный ток используется на внутреннем угле, так как кромки сближены. Ток разворачивается в точке В. Между точкой В и сварной точкой отсутствует нагрев, и кромки быстро охлаждаются. Таким образом, необходимо выполнить перегрев трубы посредством увеличения мощности или уменьшения скорости для того, чтобы температура в сварной точке была достаточно высокой для осуществления удовлетворительной сварки. В дальнейшем это даже ухудшается, так как внутренние кромки будут нагреваться больше, чем внешние.

В чрезвычайных случаях двойной угол может вызвать капанье металла внутри и холодносварное соединение снаружи. Этого всего можно избежать, если кромки бы кромки были параллельными.

## **Параллельные кромки снижают включения**

Одним из важных преимуществ высокочастотной сварки является тот факт, что на верхней поверхности кромок оплавляется тонкий поверхностный слой. Это позволяет вытеснять оксиды и другие нежелательные материалы и производить чистую, высококачественную сварку. При параллельных кромках оксиды вытесняются в обоих направлениях. На их пути не встречается никаких препятствий, и им не приходится проходить более половины толщины стенки.

Если сначала смыкаются внутренние кромки, оксидам становится труднее быть вытесненными. На Рис. 3-2 изображено углубление между вершиной А и вершиной В, которое действует как металлоприемник для содержания инородного материала. Этот материал держится на поверхности расплавленной стали около горячих внутренних кромок. По времени он вытесняется после прохождения вершины А. Он не может полностью пройти более холодные внешние кромки и может удерживаться в поверхность контакта между свариваемыми деталями, образуя нежелательные включения.

Возникало много случаев, где дефекты сварки из-за включений около внешней стороны, удерживались на внутренней кромке, благодаря слишком быстрому смыканию (т.е. пикообразной трубе). Решение состоит в простом изменении гибки таким образом, чтобы кромки были параллельными. Невыполнение этого условия может ухудшить одно из наиболее важных преимуществ высокочастотной сварки.

### **Параллельность кромок снижает относительное движение**

На Рис. 3-3 показаны поперечные сечения, возможные между В и А на рисунке 3-2. При первом контакте внутренние кромки трубы соединяются (Рис. 3-3а). Через короткое время (Рис. 3-3б) происходит сгибание соединенной части. Внешние углы сходятся, как если бы кромки имели внутри шарнирное соединение (Рис. 3-3б).

Такое сгибание внутренней части стенки в процессе сварки приносит меньше вреда при сварке стали, чем при сварке таких материалов, как алюминий. Сталь имеет более широкий температурный диапазон пластичности. Предотвращение такого рода относительного движения приводит к повышению качества сварки. Это достигается посредством удерживания кромок в параллельном положении.

### **Параллельность кромок сокращает время сварки**

Следует вновь обратиться к Рис. 3-3, сварка выполняется на всем расстоянии от В до центральной линии сварочных валков. Именно в точке центральной линии прилагается максимальное давление, и сварка завершается.

И наоборот, когда кромки сходятся параллельно, они не начинают соприкасаться, пока не достигнут точки А. Практически сразу после этого прилагается максимальное давление. Параллельность кромок может приводить к сокращению времени сварки с 2.5 до 1 и более.

Принцип параллельного сведения кромок использует издавна известную всем кузнецам истину: куй железо, пока горячо!

### **Угол в качестве электрической нагрузки генератора**

Во время ВЧ процесса, когда, как и рекомендовано, используются направляющие шва и импидоры, полезный путь вдоль кромок угла составляет полную цепь нагрузки на ВЧ-генератор. Ток, потребляемый углом от генератора, зависит от полного сопротивления угла. А полное сопротивление, в свою очередь, зависит от размеров угла. По мере удлинения угла (контакты или катушка смещается назад) увеличивается полное сопротивление, и ток имеет тенденцию к уменьшению. Также, теперь пониженный ток должен нагревать больше металла (по причине удлинения угла), поэтому требуется большая мощность для доведения участка сварки до требуемой температуры сварки. По мере увеличения толщины стенок полное сопротивление снижается, и ток имеет тенденцию к возрастанию. Важно, чтобы значение полного сопротивления угла было достаточно близким к проектному значению, если полная мощность должна передаваться от ВЧ-генератора.

Аналогично нити накала в лампочке, передаваемая мощность зависит от сопротивления и напряжения, а не от размера электростанции.

Таким образом, с электротехнической точки зрения важно, особенно когда необходима максимальная производительность ВЧ-генератора, чтобы размеры угла соответствовали рекомендуемому.



## ГЛАВА 3.

### СВАРОЧНЫЕ КАТУШКИ

#### Общее

Помимо выполнения основной функции - нагрев для сварки с максимальным электрическим КПД - индукционные сварочные катушки отвечают следующим техническим требованиям:

- Прочность
- Простота установки
- Простота регулировки
- Простота заправки стана
- Хорошая индукционная связь

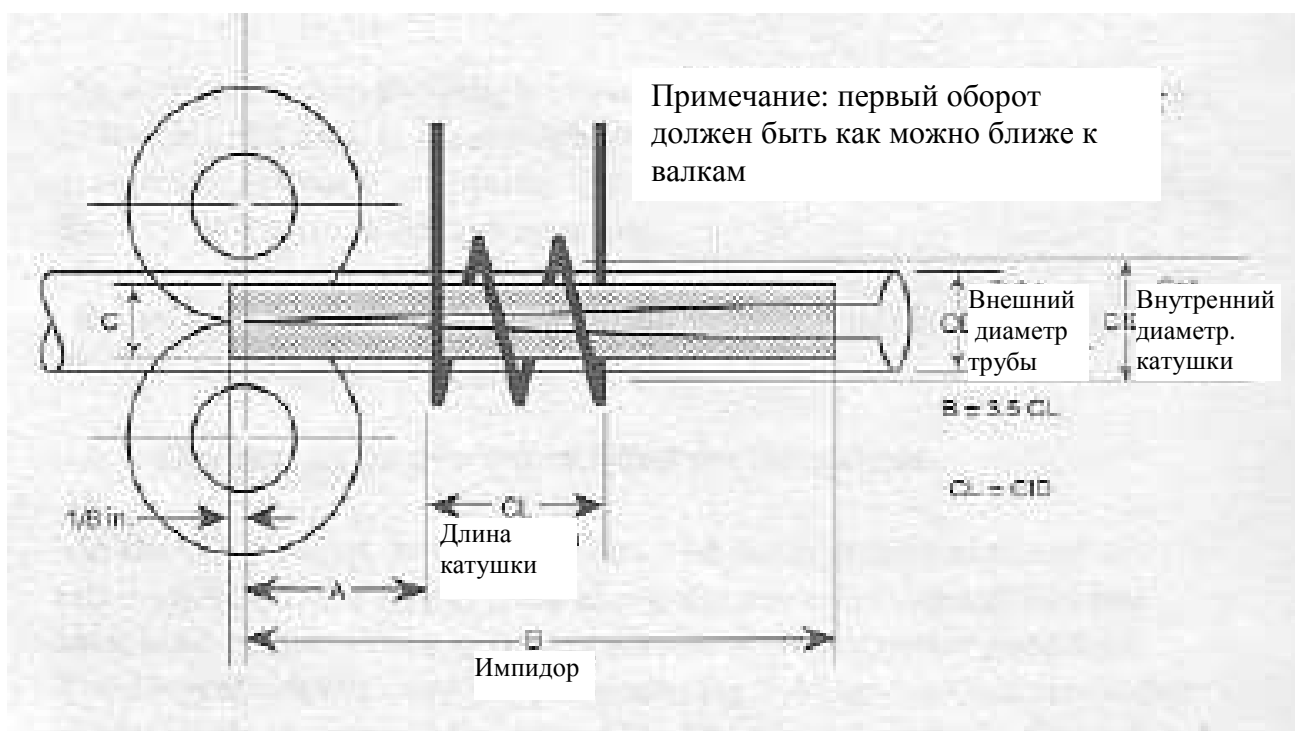


Рисунок 4-1

#### ВЫБОР РАЗМЕРА ИНДУКЦИОННОЙ КАТУШКИ THERMATOOL

Для максимальной эффективности важен правильный выбор индукционной катушки. Размер А будет зависеть от конструкции стана и диаметра сварочных валков, должен быть минимальным и, по возможности, не превышать диаметр трубы (OD).

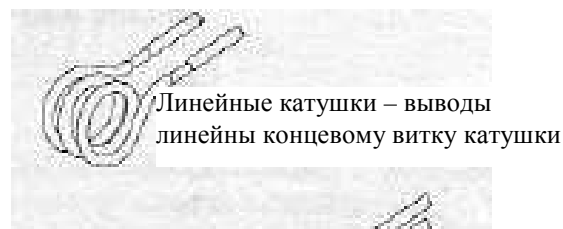
Внутренней диаметр катушки (CID) и длина (CL) должны быть одинаковыми примерно на 20 % превышать диаметр трубы (OD). Максимальный радиальный зазор должен составлять максимум 1”.

**Таблица А: стандартные рекомендуемые размеры катушек**

Размер трубы	ID катушки	Размер трубы	ID катушки	Размер трубы	ID катушки
0.500”	0.625”	1.500”	2.000”	3.500”	4.000”
0.625”	0.875”	1.750”	2.250”	3.750”	4.500”
0.750”	1.000”	2.000”	2.500”	4.000”	5.000”
0.938”	1.125”	2.250”	2.750”	4.500”	5.500”
1.000”	1.250”	2.500”	3.000”	5.000”	6.000”
1.125”	1.500”	2.813”	3.500”	5.500”	7.000”
1.250”	1.750”	3.000”	3.500”	6.000”	7.000”

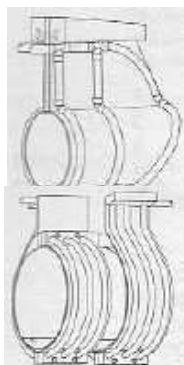
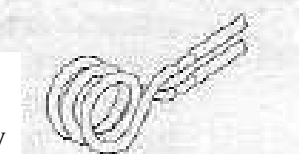
### ИНДУКЦИОННЫЕ СВАРОЧНЫЕ КАТУШКИ

Имеется четыре типа индукционных сварочных катушек Thermatool: линейные, смещенные, пластинчатые и бандажные катушки.



Линейные катушки – выводы линейны концевому витку катушки

Смещенные катушки – оба вывода линейны одному концевому витку катушки



Катушки пластинчатого типа разработаны для труб большого диаметра, обеспечивается увеличение длины одновитковых катушек. Разъемная конструкция упрощает смену катушки.

Линейные катушки имеют холодотянутые латунные выводы диаметром 1/2”, рекомендуется использовать их со сварочными аппаратами серии ТМІ. Смещенные катушки имеют выводы диаметром 3/8” и предназначены для использования с более старыми сварочными аппаратами типа VT с двойным выводом. Пластинчатые и бандажные катушки используются, когда требуется одна или две катушки при производстве

труб большого размера. Эти катушки обеспечивают достижение требуемой длины катушки (CL) одним или двумя витками. Они также имеют разъемную конструкцию, позволяющую осуществлять смену катушек без повторной заправки стана. Бандажные катушки обеспечивают увеличение длины катушки при малом количестве витков. На рисунке показана разъемная конструкция.

### Стандартные катушки НFI

Рис. 4-2

## Срок службы катушки

Срок службы катушки HFL не определен. Катушка может работать до тех, пока она не повреждена в результате:

- а. удара при заправке стана;
- б. оплавления из-за расщепов;
- в. скопления смазки, грязи, щепок;
- г. неправильного охлаждения;
- д. искривления в сварной зоне.

Поддержание чистоты стана зависит от качества сварки, а также увеличивает срок службы катушки. Вы можете заметить, что при именно содержание стана в чистоте поможет снизить время простоя.

**ТАБЛИЦА В: Стандартный дизайн многовитковых катушек  
(линейные и смещенные типы)**

Идентификационный номер катушки	Диаметр трубки катушки	Количество витков	Идентификационный номер катушки	Диаметр трубки катушки	Количество витков
0,500"	0.19"	5	3.250"	0,38"	3
0,560"	0.19"	5	3.500"	0,38"	3
0,630"	0.25"	4	3.750"	0,38"	3
0,690"	0.25"	4	4.000"	0,38"	3
0,750"	0.25"	4	4.250"	0,38"	3
0,810"	0.25"	4	4.500"	0,38"	3
0,880"	0.25"	4	4.750"	0,38"	3
0,940"	0.25"	4	5.000"	0,50"	3
1,000"	0.25"	4	5.250"	0,50"	3
1,130"	0.31"	3	5.500"	0,50"	3
1,250"	0.31"	3	5.750"	0,50"	3
1.380"	0.31"	3	6.000"	0,50"	3
1,500"	0.38"	3	6.250"	2 x 0,50"	3
1,630"	0.38"	3	6.500"	2 x 0,50"	3
1,750"	0.38"	3	6.750"	2 x 0,50"	3
1,880"	0.38"	3	7.000"	2 x 0,50"	3
2,000"	0.38"	3	7.250"	2 x 0,50"	3
2,130"	0.38"	3	7.500"	2 x 0,50"	3
2,250"	0.38"	3	7.750"	2 x 0,50"	3
2,380"	0.38"	3	8.000"	2 x 0,50"	3

**ТАБЛИЦА В: Стандартный дизайн многовитковых катушек  
(линейные и смещенные типы)**

Идентификационный номер катушки	Диаметр трубки катушки	Количество витков	Идентификационный номер катушки	Диаметр трубки катушки	Количество витков
2,500"	0.38"	3	8.250"	2 x 0,50"	3
2,630"	0.38"	3	8.500"	2 x 0,50"	3
2,750"	0.38"	3	8.750"	2 x 0,50"	3
2,880"	0.38"	3	9.000"	2 x 0,50"	3
3,000"	0.38"	3	9.250"	2 x 0,50"	3

Лента для спирали Thermatool

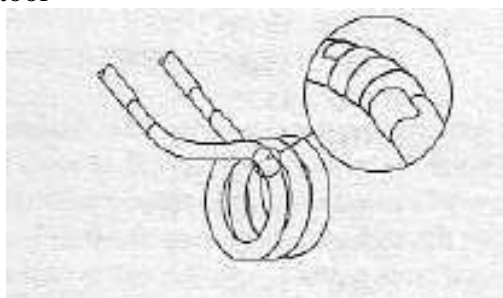


Рис. 4-3

Лента катушки Thermatool идеальна для проведения ремонта изоляции индукционной катушки без остановки производства. Лента выполнена из самоотверждаемого силикона, не пригорает, легко используется и может выдерживать температуру до 500°F.

**ТАБЛИЦА С: Стандартный пластинчатый тип  
Дизайн катушки (расщепленная конструкция)**

Наружный диаметр трубки	Идентификационный номер катушки	Количество витков
6.000"	8.00"	1
6.750"	8.25"	1
7.000"	8.50"	1
7.250"	8.75"	1
7.500"	9.00"	1
7.750"	9.25"	1
8.000"	9.50"	1
8.500"	10.00"	1
8.750"	10.25"	1

**ТАБЛИЦА D: Стандартный бандажный тип  
Дизайн катушки (расщепленная конструкция)**

Наружный диаметр трубки	Идентификационный номер катушки	Количество витков
5.500"	7.625"	2
6.625"	8.750"	2
7.625"	10.75"	2
10.750"	13.125"	2
12.750"	15.125"	2

**ТАБЛИЦА С: Стандартный пластинчатый тип  
Дизайн спирали (расщепленная конструкция)**

Наружный диаметр трубки	Идентификационный номер катушки	Количество витков
9.000"	10,50"	1
9.250"	10,75"	1
9.750"	11.25"	1
10.000"	11.55"	1
10.500"	12.00"	1
10.750"	12.25"	1
11.000"	12.50"	1
11.250"	12.75"	1
11.500"	13.00"	1
11.750"	13.25"	1
12.000"	13.50"	1
12.250"	13.75"	1
12.500"	14.00"	1
12.750"	14.25"	1
13.000"	14.50"	1

**ТАБЛИЦА Е: Стандартный бандажный тип  
Дизайн спирали (стандарт)**

Наружный диаметр трубки	Идентификационный номер катушки	Количество витков
3,000"	4.340"	2
4.500"	5.125"	2
5.125"	5.900"	2
5.500"	6.290"	2
6.000"	6.690"	2
7.000"	7.870"	2

## **Глава 5**

### **Сварочные контакты ТЕРМАТУЛ**

#### **Стандартные типы**

В технологии высоко частотной сварки для трубок и труб технологии ТЕРМАТУЛ существует два типа контактов, как показано на рисунке 5-2.

Стандартные контакты применяются в большинстве стандартных сварочного оборудования. Тем не менее, при сварке не металлических соединений контакты должны задевать края трубок ближе к обжимным валам, что не возможно при технологии этих двух типов. Удлиненные полукруглые контакты имеют форму соответствующие своему названию, а концы могут быть длиннее между обжимными валами без помех, как это вероятно при использовании других типов. Это позволяет использовать минимальную длину.

#### **Конструкция контакта**

Корпус контакта состоит из меди с внутренними проходами для охлаждения водой, которые просверлены близко к кончикам и материалу контакта. Они присоединены к второстепенным концевым выводам или к переходникам с помощью шурупов. Ввод и вывод воды каждого контакта осуществляется с помощью соединения через кольцо (прокладку) к концевому выводу или переходнику. На контактах нет никаких патрубков для рукава.

#### **Материал конца контакта**

Конец, который образует прямой контакт с трубкой подбирается, исходя из принципа своих несущих и износостойких качеств, а также качеств привариваемого материала. Эти концы припаяны к обратной стороне основания самого контакта. Для этого используются несколько типов материал как описано на Рис. 5-1.

Следует заметить, что при использовании концов медных контактов, может произойти утилизация меди из прожогов искры. Медь способна пропитать стальные грани и привести к охрупчиванию. Это следует учитывать при сварке труб, которые в дальнейшем будут использоваться для транспортировки углеводородов с высоким содержанием сероводорода. Эту проблему можно избежать при использовании не медных контактов, а таких как вольфрамовые контакты или вольфрамовые-серебрянные.

#### **Размер конца контакта**

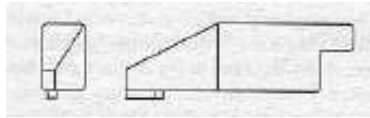
Размеры концов могут быть разные. Оптимальный необходимый размер зависит от некоторых факторов. Для труб с небольшим диаметром, например, предпочтительнее, чтобы размер конца был как можно ужу. Это уменьшит поток тока вокруг задней шины.

Для труб большего диаметра лучше использовать контакты с более широкой площадью контакта, чтобы уменьшить давление прибора и механический износ. Оснащенный конец имеет прямоугольные сечения, чтобы они могли быть припаяны к основанию контакта, со стороны концов или с плоской стороны. Оптимальная длина конца также зависит от конкретной ситуации. Инженер конструкции ТЕРМАТУЛ может порекомендовать соответствующий размер и способ установки для каждой сборки.

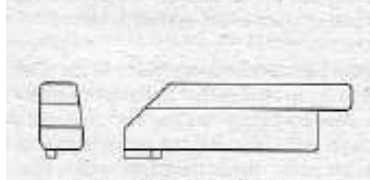
### МАТЕРИАЛ КОНЦА КОНТАКТА

Тип	Состав	Используется для
ELKOLOY A	Медь, кадмий	Нежелезистые материалы, оцинкованная сталь
N4	Медь, цирконий	Алюминий (для долговечности)
35S	Серебро, вольфрам	Холоднокатаная сталь, Горячекатаная сталь, Протравленная сталь
G17	Серебро, молибден	Ранее использовалось для холоднокатаной стали, а сейчас заменяется типом 35S
TC5	Медь, вольфрам, карбид	Горячекатаная сталь
30W3	Медь, вольфрам	Ранее использовался для горячекатаной стали, сейчас заменяется типом TC5
MALLORY 3	Материал из старых электродов ERW (контактная электросварка сопротивлением)	Используется как замета типа TC5 (когда нет типа TC5)
МЕДЬ (COPPER)	Медная сборная шина	Используется как замета типа TC5 (когда нет типа TC5). Быстро изнашивается при первом использовании, но после притирки степень износа меньше. Для крупных работ используйте толщину до .625.

Рисунок 5-1



**Удлиненный закругленный конец контакта А**



**Прямой конец контакта - Б (английский вариант В)**

Рисунок 5-2

### **Замена концов контактов**

При необходимости концы могут быть припаяны к контактам. Они должны быть соответствовать размерам. ТЕРМАТУЛ предоставляет специальное зажимное приспособление, как показано на рисунке 5-3. Рекомендуется использовать серебряный паяльник HANDY AND HARMON Easy Flow провод 43, и запас клиньев Easy Flow № 3. Этот материал имеет хорошие увлажняющие свойства с материалами конца контакта, которые рекомендованы фирмой ТЕРМАТУЛ. Одним из самых лучших материалов для этого использования это флюс высоких температур HANDY AND HARMON Type – В.

Очистите и зачистите контактный материал с трех сторон, чтобы удалить всю грязь и выровнять грубую поверхность.

Старые концы контактов можно снять с помощью нагревания или их зачистить, или также обработаны на фрезере. Очистите контакты путем обмакивания в кислоту или с помощью раствора ОАКІТЕ # 32, или эквивалент. Отполируйте проржавевшие участки с помощью диска-щеткой еще до выше указанных шагов.

Сделайте флюс всех соединяющихся поверхностей и вставьте прокладку Easy Flow # 3 между концом и корпусом. Используйте пружинный ограничитель в креплении Рис. 5-3, чтобы обеспечить удерживание конца в положении. Не используйте зажимы! Используйте нейтральное пламя и не применяйте внутренний конус пламени напрямую к материалу контакта. Не применяйте пламя на спаянный сплав. Соответствующее «увлажнение» и склеивание может быть достигнуто только в том случае, если составные части достигли температуры плавки сплава. Поэтому применяйте теплоту к контакту и колодке и пусть они передадут нагревание к спаиваемому сплаву. Необходимая температура спая

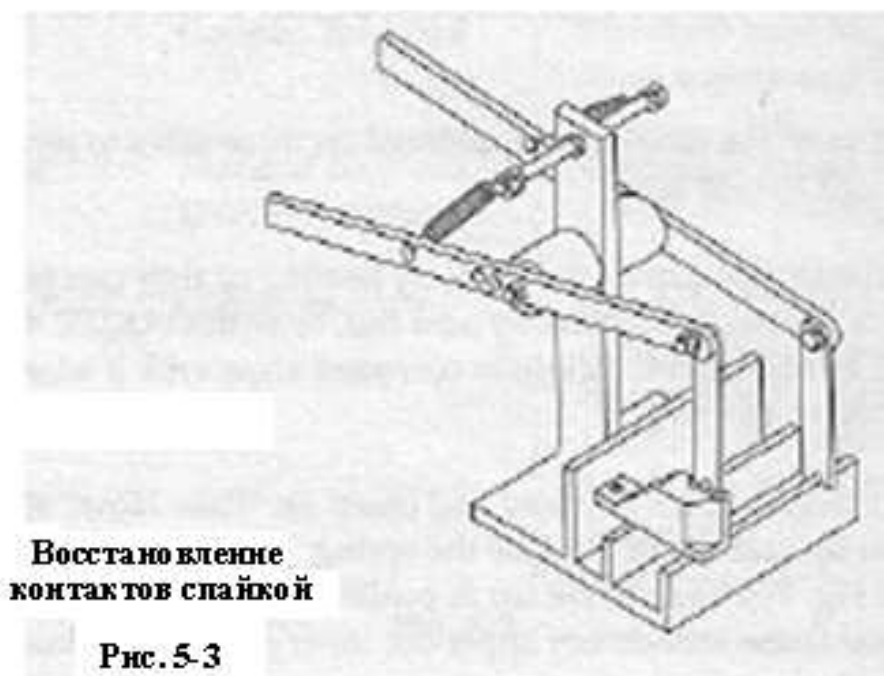


достигается тогда, когда флюс становится жидким. Используйте 1/6 диаметр Easy Flow # 3 провода для пайки, чтобы образовалось угло сварного шва вокруг конца. Будьте осторожны, чтобы не перегреть материал конца, потому что это нарушит свойства материала контакта и ухудшит изгиб. Сильное воздействие нагреванием понадобится для медного корпуса таким образом, чтобы горелка была направлена на корпус, не на контактный материал.

Важным шагом, после спайки концов, - это обработка на токарном станке до гладкой поверхности, чтобы убедиться в том, что оба конца пары имеют одинаковую длину. Это можно сделать с помощью обточки, слегка одновременно с карбидным концевым измельчением. Пронумеруйте концы, чтобы не перепутать разные пары. Разбейте кончики ножовкой.

### **Заделка корпусов контакта, который дает утечку**

Возможно, что корпус контакта может быть настолько сильно поврежден, что образуется утечка. Большим искушением будет заделать эту утечку путем напайки материала. Но это только увеличит проблему. Из-за высокой концентрации, проводимость материала корпуса должна быть, по крайней мере, такой как у меди. Когда используется материал с проводимостью меньшей, чем у меди, то электрические потери увеличиваются. Теплота увеличивается. Далее, материал для пайки будет попадать в проходы для воды, ограничивая поток. В результате чего, в самой критической части оборудования, потерь будет больше и охлаждения будет меньше. Поэтому лучше всего будет просто их заменить.



## Концы контакта в форме плуга

Рекомендуется обрезать задние края от концов контакта под углом как показано на Рис. 5-4.

Задние края под уклоном на концах контакта наиболее важны для стали с неровной поверхностью. Если задние стороны концов контакта обрезать прямоугольно, то это будет создавать вероятность возникновения неровной поверхности сзади и формировать бугры. Иногда, может образоваться неровность значительного размера прежде, чем она отломится. При том, что, когда она отломится она может образовать прореху между контактами и это приведет к замыканию электрического тока. Это обычно случается в форме искры, и это может привести и может не привести к дефекту сварки. Или же этот наростший кусок может отломиться и упасть на сторону острого тонкого края. Возможно, этот кусок будет слишком большим, чтобы он вышел и в результате образует дефект сварки.

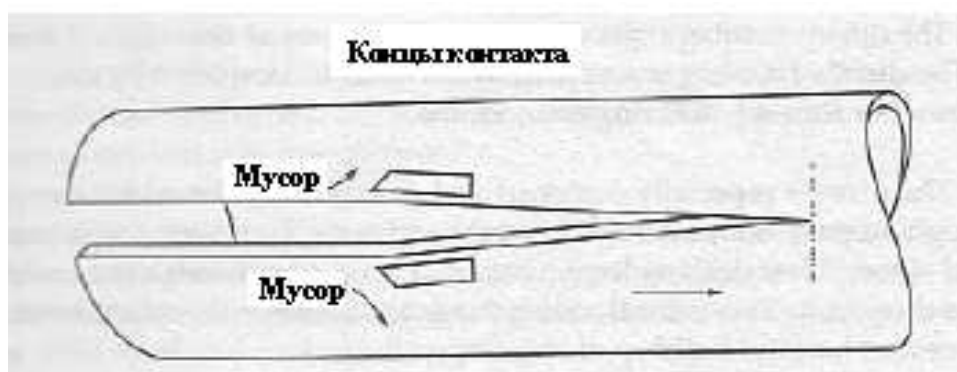


Рис. 5-4

## РАСПОЛОЖЕНИЕ СВАРОЧНЫХ КОНТАКТОВ

### Гибкие переходники

Сварочные контакты обычно расположены на гибких переходниках, прикрученных к нижним краям тяжелых, жестким, охлажденных водой концевых выводов (Рис. 5-5). Гибкие переходники позволяют контактам следовать незначительным неровностям в трубе без потери электрического контакта, в то же время, сохраняя постоянное давление контакта.

### Строение гибкого переходника

Каждая сторона гибких переходников состоит из трех основных частей:

**А. Верхний элемент (стационарный)**

**Б. Ось**

**С. Нижний элемент (перемещаемый)**

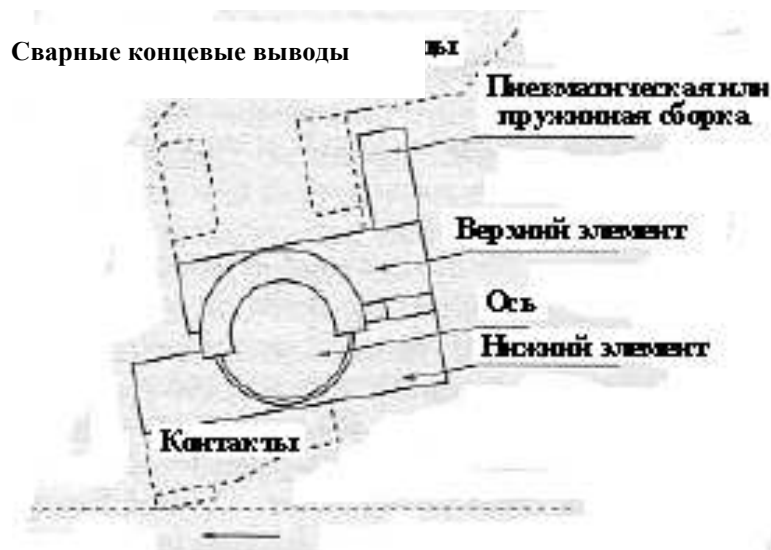


Рис. 5-5

Этот верхний элемент привинчивается болтами прямо к нижней стороне сварных концевых выводов. Проход дистиллированной охлаждающей воды формируется до конца с помощью этого элемента через соединение кольца (прокладки).

Ось имеет особую разработку и выточена очень точно для передачи амперных величин высокого значения тока высокой частоты. Серебро позволяет плотно использовать эту ось. Большинство разработок имеют охлаждающие соединения через центр оси. Это наполняемое пространство между переходниками, чтобы предотвратить образование наростов или кусочков.

Передвигаемый нижний элемент поддерживает сварочные контакты на переднем конце. Этот элемент легкий по весу и очень прочный, чтобы инерцию выдерживать на низком уровне.

Заизолированное регулируемое оборудование позади оси тянет нижний край передвижного элемента вверх, тем самым тянет контакты напротив трубки или трубы, выполняя роль рычага. Давление контакта должно быть отрегулировано, чтобы сделать минимальными прожиги искры (следы на контакте).

### Гибкий переходник и Внутреннее охлаждение контакта

А. Стационарные верхние элементы охлаждаются дистиллированной водой из концевых контактов.

Б. Нижние передвижные элементы содержат патрубки ввода и вывода. Охлаждающий проход пролегает по контактам последовательно по бороздке, которая идет через нижний элемент, через кольца (прокладки). Чем использовать относительно теплую дистиллированную воду, лучше рекомендуется использовать самую холодную воду, которая имеется, для нижней части гибкого переходника и контакта. Обычно это городская вода.

Необходимо отметить, что дистиллированная вода намеренно должна содержаться в температурном колодце выше уровня росы, чтобы избежать образование конденсата в других частях оборудования. Однако, показания плотности тока и питания выше в контактах. Конденсат не представляет большой проблемы на контактах, так как они охлаждаются в любом случае с внешней стороны.

С. В некоторых разработках ось имеет проход для охлаждения, который идет через нее в пространство между переходниками, как было указано ранее. Во всех проектах, концы оси разработаны таким образом, чтобы охлаждающая жидкость могла бы быть разбрызгана напротив них, исключая при этом опасность образования абразивных частиц, которые могут попасть в подшипник.

### **Внешнее охлаждение**

Охлаждение фрезы разбрызгивается на определенные внешние участки сварной головки. Особенно важно, чтобы охлаждение попало на сторону каждого конца контакта. Такое охлаждение в значительной мере увеличивает долговечность конца. Эти потоки должны быть направлены таким образом, чтобы как можно меньше попало количества охлаждения на шпунт.

Манифольд устроен специально для соединений охлаждения фрезы. Давление идет от насосов подачи охлаждения на фрезу. Медные трубки, подсоединенные к этому манифольду, направляют охлаждение на различные участки сварной головки и контакты.

### **Расстояние от конца трубки**

Концы контакта должны быть расположены немного назад от краев колодки (Рис. 5-6). Рекомендуется, чтобы они были позади на .015 дюйма для таких размеров трубок, как 2 дюйма, а назад на .030 дюйма при больших размерах трубок. Нельзя допускать, чтобы они находили на края. Это будет изнашивать материал конца и приведет к большому местному нагреванию. Концы автоматически примут форму приваренной трубки. При правильном расположении по отношению к краям, на поверхности конца не будет образовываться бороздок и ступенек.

Существует определенная ловкость в отверстиях контактов для установки, которые помогают установить концы с учетом рекомендуемых зазоров. Разрешается открыть эти отверстия даже больше, так как это не будет способствовать тому, что кольца (прокладки) останутся слишком далеко, которые ограничивают поток то воды.

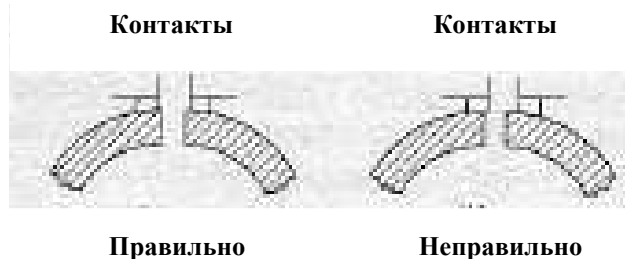


Рис. 5-6

Контакты для больших труб имеют специальный дизайн с отточенными коническими внутренними сторонами, чтобы концы можно было разобрать дальше. Дополнительно можно отрегулировать концы путем спайки концов назад от края корпуса контакта как требуется для соответствующего зазора.

Расстояние между сварными концевыми выводами никогда не должно быть открыто, при попытке отрегулировать зазор конца контакта. Это увеличит индуктивность концевых выводов, что в свою очередь уменьшит максимальное питание, подаваемое от генератора. Далее это потом отразится таким образом. Что концевые выводы будут более подвержены попаданию инородных частиц и чипов между ними.

### **Угол отклонения**

Новые контакты всегда должны быть под углом таким образом, чтобы передний край самых ближних к точке сварки концов, должен задевать трубку первым. Они не должны лежать в плоском положении. Если это они были все-таки в плоском положении, то момент передачи тока будет ходить туда сюда по материалу конца. Даже малейшая неровность в колодке может привести к тому, что правильное положение электрического контакта, может моментально сдвинуться из одного конца в другой. Как только это произойдет, полезная длина шпунта будет изменяться, что приведет также к изменениям температуры сварки.

Другая причина для наклона заключается в том, что это уменьшает образование неровностей и инородного материала на заднем крае концов. Большинство частиц спокойно пройдут через шпунт. Но, если много частиц попали на плоскую поверхность, они могут, в конце концов, сформировать большое нарастающее образование. Этот нарост может быть настолько большим, что может перегорить контакты и тем самым образуется короткое замыкание с вытекающими отсюда повреждениями. Этот нарост может отвалиться и упасть на шпунт, став включением в сварной шов.

ВСЕ таблицы по предоставлению данных для сварных головок от ТЕРМАТУЛ содержат указание по наклону. Иногда сварные концевые выводы и переходники уже имеют края под углом, чтобы уменьшить необходимое отклонение концов контакта для всей сварной головки.

### **Регулировка с помощью гибких переходников**

Контакты на гибких переходниках должны быть наклонены вперед, путем регулировки опоры для обеспечения отклонения. Сами переходники должны быть всегда отрегулированы, чтобы передвижной элемент стоял параллельно по отношению к верхнему стационарному элементу. Это обеспечит максимальную гибкость в обоих направлениях. При любой регулировке переходников, необходимо произвести проверку с помощью отвертки, чтобы убедиться в том, что подвижный элемент на самом деле свободно движется. См. Рис. 5-5.

## **Факторы долговечности контактов и качества трубок или труб**

Необходимо учитывать электрические факторы даже больше, чем механический износ при определении долговечности контакта. В общем, механизм передает ток между двумя скользящими поверхностями в маленькие последовательные искры. Электрическая эрозия является той самой причиной, которая и ограничивает долговечность контакта. Для увеличения долговечности контакта необходимо учитывать некоторые шаги, которые как раз сократят искрение до минимума. Степень искрения от конца до трубки зависит от следующих факторов:

А. Амплитуда тока в контакте

Б. Давление в точке контакта

С. Грубость поверхности

Д. Температура контакта

Что касается амплитуды тока контакта, очевидно, что контакты должны передавать то количество тока, которое требуется для сварки шпунта в зависимости от размера трубы, материала и сварки. Необходимо учитывать все причины, чтобы предотвратить возникновение ненужного тока, которые протекает вокруг трубки. Это означает, что необходимо выполнять условия по установке ограничителей тока, как, например, нужно устанавливать направляющие шва, сами контакта также должны быть размещены правильно. Бывали случаи, когда долговечность контакта была увеличена вдвое, просто при выполнении всех требуемых условий.

Давление контакта должно быть адекватно, чтобы предотвратить физическую потерю контакта с трубкой. Часто бывает, что неопытные операторы установят давление слишком низко, дабы уменьшить механический износ.

Неровность поверхности связана с давлением контакта. Обычно для неровной поверхности требуется больше давления, как, например, горячекатаная сталь, противоположно гладким поверхностям, как, например, холоднокатаная сталь. Выступы и шероховатости в трубе по-разному влияют на долговечность контакта. Они могут моментально привести к физической потере контакта. Минимум, что может произойти, точка контакта может смещаться взад и вперед. Сама поверхность контакта также важна, так как это позволяет периодически проверять концы и убирать выемки и грубые фрагменты.

Температура контакта напрямую влияет на долговечность контакта. Самая холодная вода, (обычно городская вода), используется для внутреннего охлаждения контакта. Внешние форсунки охлаждения должно напрямую подавать охлаждение на стороны концов. Эти форсунки должны быть направлены таким образом, чтобы попадание на шпунт было самым минимальным.

## ГЛАВА 6.

### **ИМПЕДЕРЫ.**

При индукционной сварке высокочастотное магнитное поле, создаваемое обмоткой (см. Рис. 6-1) индуцирует переменные токи на внешней поверхности открытого шва трубы. Эти токи могут проходить по одному из двух путей: через замкнутую часть шва (по пути ADC) или вдоль внутренней поверхности трубы (по пути ABC). Токи от контактов протекают по трубе аналогичным образом.

### **РОЛЬ ИМПЕДЕРА.**

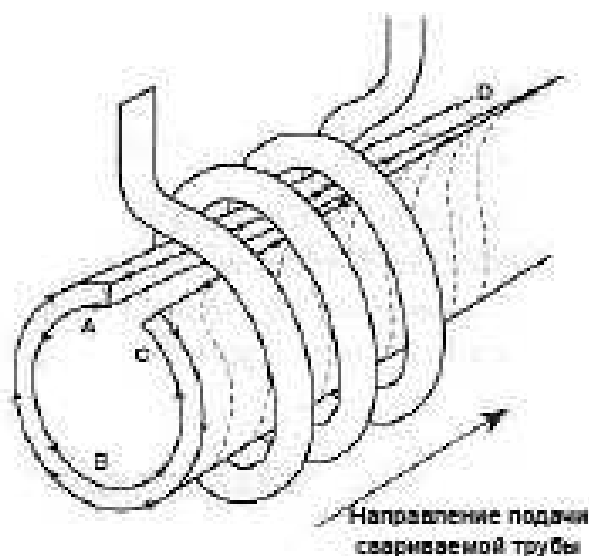
Независимо от типа оборудования, используемого для сварки труб, фундаментальной целью приложения мощности или электроэнергии является нагрев краев свариваемой трубы. Если эти края достаточно нагреты, то при их сжимании друг с другом они образуют сварной шов. Например, при высокочастотной индукционной сварке происходит индукция высокочастотных токов в свариваемой трубе с помощью обмотки, охватывающей трубу, но не касающейся ее, поэтому данный метод и получил название “индукционной сварки”. Зона сварки нагревается за счет тепла, выделяющегося при протекании тока вдоль разомкнутой части шва до места его смыкания, а затем по его противоположной стороне (по пути ADC).

При высокочастотной сварке цель заключается в том, чтобы направить как можно большую часть тока вдоль краев создаваемого шва по пути ADC. Тем не менее, часть тока имеет тенденцию протекать вдоль внутренней поверхности трубы по пути ABC, что снижает нагрев зоны сварки. Для повышения импеданса пути ABC используется импедер, заставляющий ток течь вдоль краев создаваемого шва по пути ADC и максимизирующий их нагрев, необходимый для их сварки. Чем выше создаваемый импеданс, тем более эффективным будет процесс сварки. Невозможно переоценить роль импедера в процессе высокочастотной сварки, поскольку он влияет как на скорость сварочного процесса, так и на качество создаваемого сварного шва.

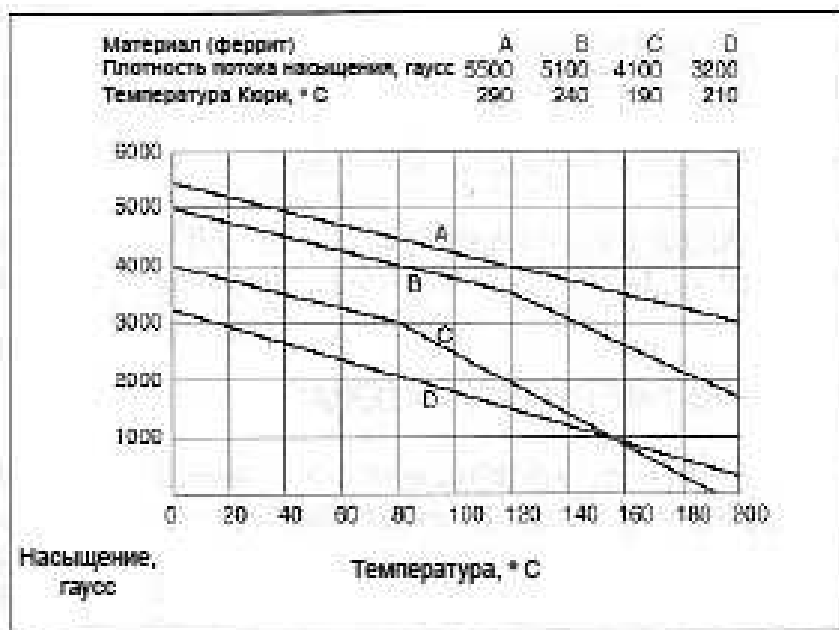
### **Ферромагнитные материалы.**

За последние годы создание новых специальных сортов феррита для использования в сварочном деле позволило повысить производительность сварочного процесса.

Высокочастотная сварка была впервые разработана в 50-е годы, когда единственными имевшимися в наличии ферритовыми стержнями были стержни из материалов группы Q (никель-цинковых). С тех пор развитие технологий привело к появлению материалов группы H (марганцево-цинковых), которые, в сочетании с недавними улучшениями в конструкции сварочных аппаратов, позволили совершить громадный рывок в скорости проведения сварки.



Течение токов, создаваемых индукционной обмоткой, в районе стыка стенок трубы.  
Рис. 6-1



Зависимость плотности потока насыщения от температуры для различных типов феррита.  
Для оптимальной работы необходимо надлежащее охлаждение.

Рис. 6-2:

В настоящее время разработаны ферритные импедеры, специально предназначенные для использования при индукционной сварке. Они обладают высокими значениями плотности потока насыщения и высокими точками Кюри, что увеличивает рабочий диапазон условий их использования при сварке труб.



## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРИТА.**

На Рис. 6-2 показаны характеристики различных типов феррита и значение надлежащего охлаждения для их оптимальной работы.

Этот рисунок также показывает, что рабочие характеристики ферритов не являются линейными на всем промежутке до точки Кюри (температуры, при которой они теряют свои магнитные свойства и становятся неэффективными), поэтому следует предпринимать меры для обеспечения максимального охлаждения с помощью теплообменника для стабилизации температуры ферритов в тех случаях, когда это необходимо.

Важными характеристиками при выборе феррита для высокочастотной сварки являются:

- Высокая плотность потока насыщения;
- Высокое значение температуры Кюри;
- Максимальная стабильность в рабочем диапазоне температур;
- Значение коэффициента диссипации на рабочей частоте.

Имеются ферритовые стержни и трубки с различными вариантами формы сечения. В частности, очень широко используются ферритовые стержни, имеющие трубчатую конструкцию с глубокими канавками. Подобная конструкция может более чем вдвое увеличивать поверхность ферритовых стержней по сравнению со стандартной конструкцией, что способствует значительному улучшению их охлаждения.

Как правило, длина импедера должна как минимум в 3,5 раза превышать длину индукционной обмотки (CL) или ее внутренний диаметр (CID).

## **РАЗМЕЩЕНИЕ ФЕРРИТНОГО МАТЕРИАЛА.**

Точное размещение ферритного материала внутри свариваемой трубы является ключевым фактором для эффективного осуществления сварки. В идеале ферритовый сердечник должен доходить до самой зоны сварки и заходить немного дальше. Конец ферритового сердечника должен на 1/8 дюйма заходить дальше центра сварочных роликов (см. Рис. 4-1). Подобное положение улучшает способность импедера фокусировать индукционные токи в зоне сварки, где необходима их энергия. Другой конец ферритового сердечника должен на столько же выступать с другой стороны за противоположный край индукционной катушки или за место, где находятся контакты.

Из-за интенсивного нагрева и вспенивая достижение этого является весьма сложной задачей. Для борьбы с вышеуказанными проблемами предпринимались различные попытки по использованию импедеров трубчатой и желобчатой конструкции. Одним из наиболее успешных подходов является прикрепление феррита к фибергласовой трубке, охватывающей дальний конец импедера и продолжающейся дальше, непосредственно в зону сварки. Подобная конструкция обеспечивает непрерывное омывание рабочего конца импедера охладителем, что способствует его надлежащему охлаждению и предотвращает накопление пены.

При проведении высокочастотной сварки ферритовый импедер должен иметь достаточные размеры и быть изготовленным из материала нужного типа. Импедер также должен быть установлен в правильное положение и обеспечен надлежащим охлаждением.

Для обеспечения его максимальной эффективности импедер должен иметь по возможности максимальный диаметр, но на практике его размер ограничивается приблизительно 75% внешнего диаметра свариваемой трубы. Как правило, чем выше диаметр ферритового сердечника, тем выше скорость сварки.

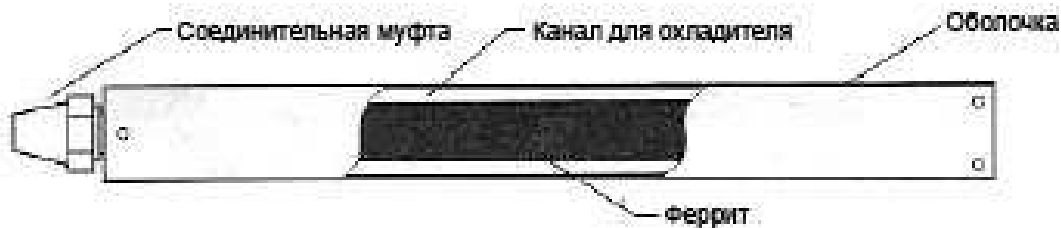


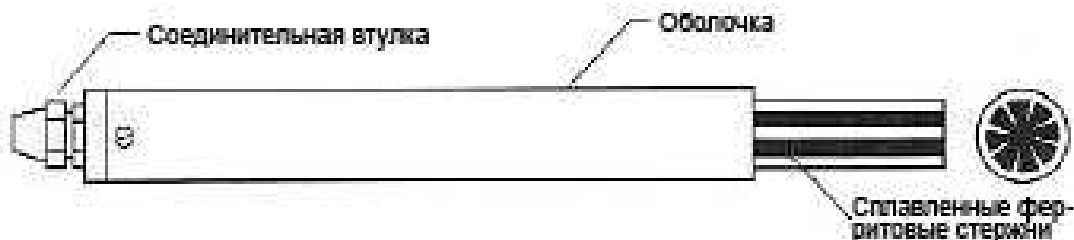
Рис. 6-3.

### ПРОТОЧНЫЕ ИМПЕДЕРЫ.

Конструкция проточных импедеров позволяет охладителю поступать в их внешний конец через резьбовую соединительную втулку. Далее охладитель протекает между ферритовым сердечником и оболочкой, охлаждая феррит, и выходит через рабочий конец. Иногда оболочка снабжается защитным выступом вблизи зоны сварки для обеспечения дополнительной защиты от повреждения пеной.

Типичными материалами для изготовления оболочки являются:

- Эпоксидно-фибргласовый композит — хорошие рабочие характеристики при минимальной стоимости.
- Силиконово-фибргласовый композит — более высокие рабочие характеристики и большая устойчивость к нагреву при умеренной стоимости.
- Магнитное стекло (феррит, усиленный стеклом) — самые высокие рабочие характеристики и максимальная скорость сварки при достаточно высокой стоимости.



**Использование проточного импедера с обнаженным ферритовым сердечником минимизирует повреждение оболочки из-за перегрева и накопления пены.**

Рис. 6-4

## ПРОТОЧНЫЕ ИМПЕДЕРЫ С ОБНАЖЕННЫМ ФЕРРИТОВЫМ СЕРДЕЧНИКОМ.

В импедерах с обнаженным ферритовым сердечником используются сердечники желобчатой конструкции, выступающие за конец оболочки. Поток охладителя вдоль поверхности феррита предотвращает накопление пены и значительно повышает срок службы таких импедеров и их эксплуатационные характеристики. Обнаженный конец сердечника предотвращает термическое повреждение оболочки из-за ее перегрева в процессе сварки и накопления пены (см. Рис. 6-4).



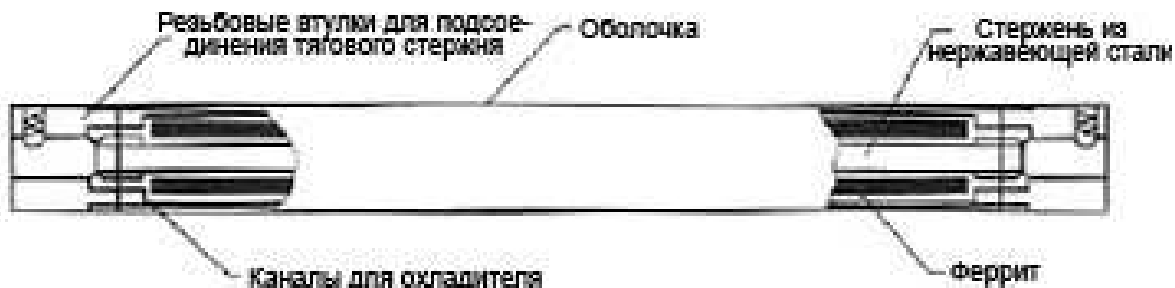
Противоточный импедер с коаксиальной соединительной муфтой.

Рис. 6-5:

## ПРОТИВОТОЧНЫЕ ИМПЕДЕРЫ.

Противоточные импедеры рекомендуется использовать в тех случаях, когда важно сохранять внутреннюю поверхность свариваемой трубы сухой. Охладитель поступает в импедер и выходит из него через специальную коаксиальную соединительную муфту. Отработанный охладитель либо рециркулируется, либо выбрасывается за пределами трубы (см. Рис. 6-5).

Противоточные импедеры снабжены коаксиальными линиями для подачи и отвода охладителя и требуют использования специальных коаксиальных соединительных муфт. Эти муфты снабжены с одной стороны подходящими коаксиальными соединениями и заканчиваются двумя короткими патрубками, которые могут быть удлинены в соответствии с конструкцией станка, на котором их предполагается использовать.

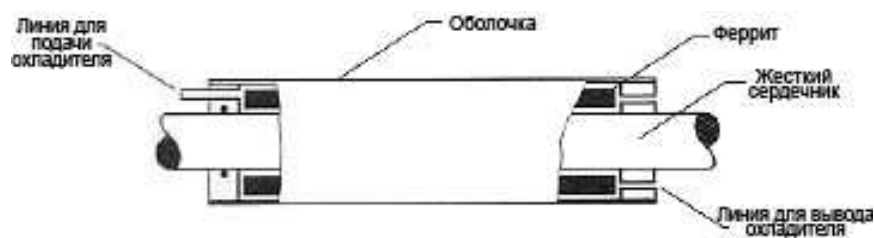


Импедер с интегрированным сердечником для использования на трубах малого диаметра, в которых ограниченность пространства не позволяет использовать цельный сердечник.

Рис. 6-6:

## **ИМПЕДЕРЫ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ СЕРДЕЧНИКОМ.**

Импедеры с интегрированным сердечником оснащены встроенным в них стержнем из нержавеющей стали, который принимает на себя торсионные и растягивающие нагрузки при обработке внутренней поверхности трубы или bead rolling, проходящим до места крепления импедера на станке. Массивные латунные втулки на обоих концах снабжены резьбовой нарезкой для подсоединения тягового стержня. Для предотвращения их вращения эти втулки зафиксированы стопорными винтами. Тяговый стержень должен быть изготовлен из немагнитного материала, особенно в зоне действия индукционной катушки, для минимизации его индукционного нагрева (см. Рис. 6-6).

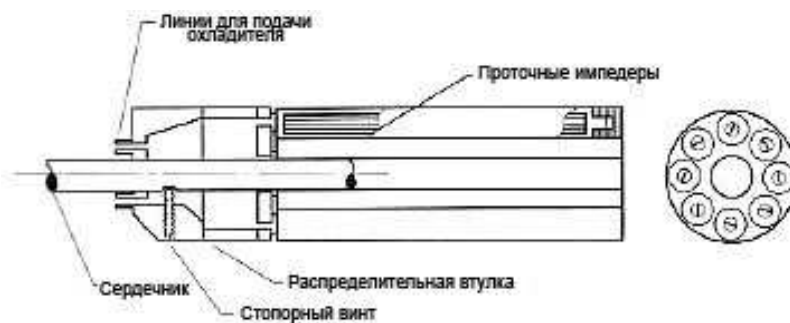


**Насадочный импедер для использования в тех случаях, когда имеющееся пространство допускает использование жесткого сердечника.**

Рис. 6-7:

## **НАСАДОЧНЫЕ ИМПЕДЕРЫ.**

В тех случаях, когда требуется большая жесткость при обработке внутренней поверхности трубы и при наличии достаточного рабочего пространства, рекомендуется использовать насадочные импедеры (см. Рис. 6-7).



**Сборка импедерного кластера для сварки труб большого диаметра.**

Рис. 6-8:

## **СБОРКИ ИМПЕДЕРНЫХ КЛАСТЕРОВ.**

При изготовлении труб большого диаметра рекомендуется использовать импедерные кластеры. Импедерный кластер – это сборка стандартных протоочных импедеров, закрепленных на распределительной втулке, зафиксированной на сердечнике или на консольном стержне. Импедерный кластер позволяет экономично разместить нужное количество феррита в трубах большого диаметра без использования дорогих цельных ферритных сердечников большого диаметра. Импедерные кластеры обеспечивают улучшенное охлаждение феррита и простоту и дешевизну замены вышедших из строя ферритных элементов (Рис. 6-8).

## **РАЗДЕЛ 2**

### **ПРОЦЕСС ФОРМОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ**

## ГЛАВА 7

### ЛЕНТА И ШТРИПС

#### Невозможность определения точной ширины

При изготовлении пробной партии изделий обычно требуется определить точную ширину ленты для последующего задания размеров или для материалов, которые не использовались ранее. Без этого невозможно произвести большое количество заготовок. Однако, возможно сделать некоторые полезные оценки заранее. Некоторые значительные факторы рассматриваются в данном разделе. Формула, которая будет предложена, используется только в качестве руководства для изготовления первой пробной партии с новыми параметрами.

#### Ширина и толщина ленты по отношению к поперечному сечению

Ширина полосы и поперечное сечение являются разными параметрами. Ширина ленты – это ширина плоской полосы или штрипса после разрезания и обрезки кромок (если применяется) до формовки. Поперечное сечение – это ширина, измеренная по боковой стороне внешней поверхности в определенном положении прокатного стана. Например, сечение GF в финальной стадии больше, чем GW – после сварки, вследствие нормальной деформации, сечение после сварки больше чем итоговое сечение трубы вследствие шлифовки.

Сечение также меняется от одной формовочной секции к другой. Лента может в некоторых местах быть толще, в других более растянутой, в зависимости от таких факторов как способ проката, настройки проката, жесткость и толщина материала.

Даже при отсутствии растяжений и сжатий, ширина ленты не равна поперечному сечению. Потому что при придании заготовке формы трубы внешняя поверхность подвергается растяжению, а внутренняя – сжатию, независимо от используемого метода. Внешняя ширина (сечение) увеличивается, а внутренняя уменьшается по сравнению с оригинальной шириной ленты.

Толстые стенки требуют большего растяжения и сжатия, чем тонкие. Поэтому ширина ленты для трубы с толстыми стенками, показанной на Рис. 7-1b меньше, чем для легкой трубы на Рис. 7-1a даже при одинаковом внешнем диаметре. Масштаб рисунков приблизительный.

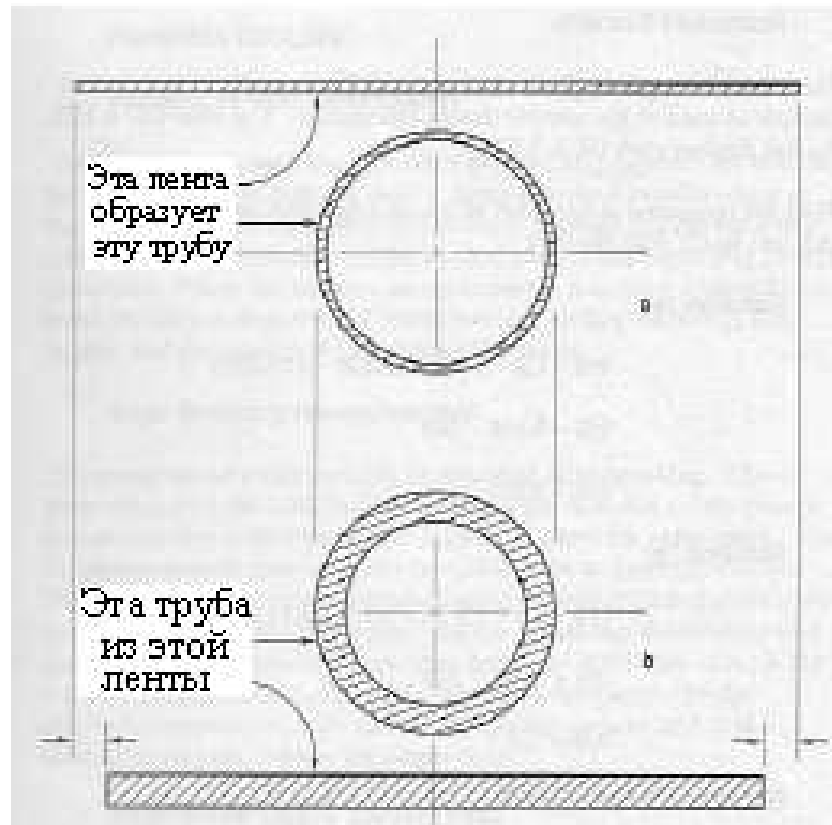


Рис. 7-1

### Формула для определения ширины ленты

Данная формула предлагается просто для справочных целей. Используется для определения экспериментальной ширины пробной партии:

$$WS = GP - 2.1 TS$$

Где:

WS = ширина ленты

GF = сечение в финальной стадии

TS = толщина ленты

## Числовой пример

Данный пример иллюстрирует применение формулы. Это тот же пример, который использован при расчете образца. Конечный внешний диаметр OD равен 1,75. Поперечное сечение GF равно 5,538

Найдем приблизительную ширину ленты для использования в пробной партии при толщине стенки (1) 0,05; (2) 0,25

### Решение (а)

$$WS=GS-2.1 TS=5.538-2.1(0.05)$$

$$WS=5.538-0.105$$

$$WS=5.433$$

### Решение (b)

$$WS=GS-2.1 TS=5.538-2.1(0.25)$$

$$WS=5.538-0.525$$

$$WS=5.013$$

## Нарезка ленты и обрезка кромок

Для высокочастотной сварки пригодны края после промышленной нарезки. Обрезка кромок применяется только при неудовлетворительном качестве нарезки или для корректировки конечной ширины ленты. Она не нужна, если определена необходимая ширина ленты, произведена качественная нарезка и процесс штамповки. Обрезка кромок не поможет при искривлении продольной кромки.

Искривление продольной кромки может быть допущено при нарезке. При многослойной нарезке нужно следить, чтобы не было натяжения между нарезаемыми заготовками и перематывающим устройством. Это помогает избежать искривления внешних заготовок разматывающими распорками. Лучше всего использовать два рулона, чтобы соседние заготовки были из разных рулонов. Рекомендуется сматывать заготовки по прямой линии (т.е. в направлении «вверх и вниз»)

Лента должна быть пропущена через станок для снятия облоя. Облой находится на внешней стороне заготовки и его видно, внутренние дефекты изготовления также несколько снижаются.



## **ГЛАВА 8**

# **ФОРМОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

### **Воздействие формовки на качество сварки**

Как уже объяснялось, успех высокочастотной сварки зависит от того, обеспечивает ли формовочная секция устойчивые, параллельные края без зазубрин. Мы не пытаемся рекомендовать конкретный инструментарий для каждой технологической операции, однако предложим некоторые общие принципы. Когда причины понятны, остальное – простая работа для конструкторов вальцов. Надлежащее формовочное оборудование улучшает качество сварки и облегчает работу оператора.

### **Рекомендуемая обрезка кромки**

Мы рекомендуем прямую или закругленную обрезку кромки. Это позволяет достичь конечного радиуса верха трубы уже в первой или второй фазе. Иногда трубы с тонкими стенками чрезмерно формуются, чтобы учесть эффект спружинивания. Лучше не использовать финальные стадии для достижения конечного радиуса, поскольку при чрезмерной формовке нарушается параллельность кромки. Причина такой рекомендации в том, что кромка останется параллельной до применения сварных вальцов. Это отличается от обычной практики контактной сварки сопротивлением, при которой большие роликовые электроды одновременно являются контактными устройствами тока и служат для формовки кромки.

### **Боковая кромка против центральной**

Сторонники центральной кромки утверждают, что этот метод увеличивает диапазон размеров, понижает расход материалов, отходы производства и время на смену вальцов. Это весомый экономический аргумент для больших прокатных станков, где используются большие и дорогостоящие вальцы. Однако, это преимущество отчасти теряется, так как часто требуются боковые вальцы или несколько плоских после последней стадии для выравнивания краев. До 6 или 8” внешнего диаметра боковая кромка является более выгодной.

Это правда, несмотря на то, что желательно использование различных верхних разделительных вальцов для толстых и тонких стенок. Рис 8-1a иллюстрирует, что верхние вальцы для тонких стенок не оставляют достаточно места по бокам для более толстых стенок. При попытке использовать достаточно узкие вальцы для самой толстой ленты, возникает проблема с узким концом, как показано на Рис. 8-1b. Стороны ленты не могут быть соединены, и кромка не может быть обрезана. Это делает линию стыка от края до края очень нежелательной для хорошей сварки.

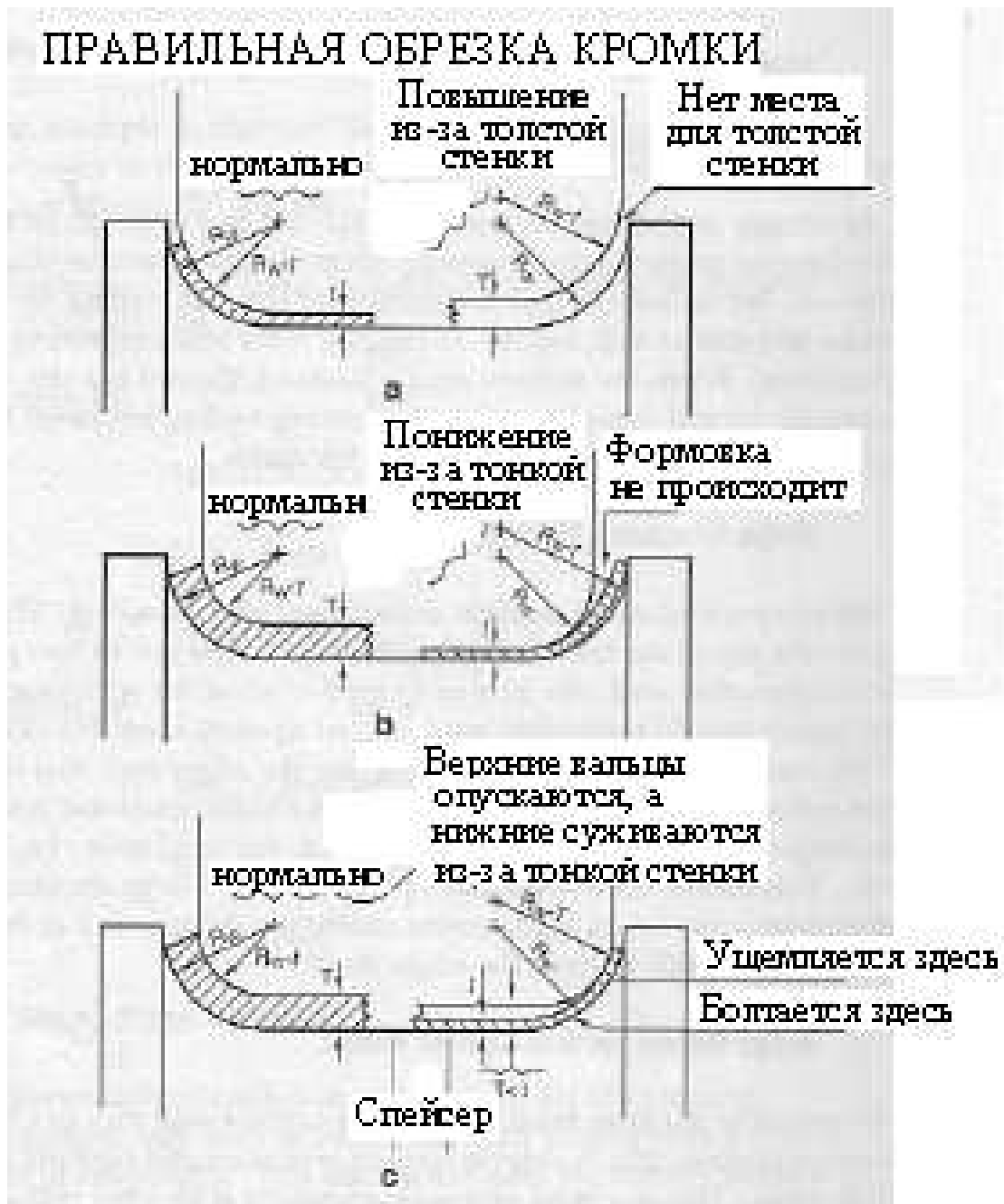


Рис. 8-1

Другой метод, который иногда используется, но не рекомендуется для небольших станов – использование встроенных нижних валцов со встроенным спейсером в центре. Более тонкий центральный спейсер и более толстый задний используются при тонких стенках. Конструкция валцов для этого метода является наилучшим компромиссом. На рис. 8-1с показано, что получается, когда верхние валцы предназначены для толстых стенок и нижние сужаются спейсерами для тонких стенок. Лента ущемляется по краям и болтается в центре. Это происходит по всей длине установки, включая сварной клин.

Еще одним аргументом является то, что кромка образует прогибы. Этого не происходит при правильной обработке зоны сжатия и правильно отрегулированном формовочном процессе.

Недавние разработки в области технологий компьютерного управления формовочной клетью обеспечивают плоские, ровные кромки и быстрое переключение.

По нашему опыту, дополнительные затраты на получение правильно обработанной кромки окупаются надежностью, легкостью обработки и высоким качеством продукции.

### **Совместимость финальных стадий**

Продвижение к финальным стадиям должно происходить плавно в конечную форму. Каждая финальная стадия должна содержать приблизительно один и тот же объем работы. Это позволит избежать деформации кромки при увеличенной финальной стадии.

### **НАСТРОЙКА СТАНА**

#### **Более тщательная для небольших прокатных станов.**

Небольшие станы требуют более точной настройки, поскольку отклонение в несколько тысячных долей дает большое процентное отклонение размеров трубы. Тянувшаяся рояльная проволока и разумная предосторожность вполне подходят для более крупных станов. Однако, для изготовления маленькой трубы высокого качества необходим более точный метод. Это особенно относится к трубам с внешним диаметром меньше 1,5.

#### **Плечи оси вальцов**

Направляющие для выравнивания плеч вальцов показаны на рис. 8-2а. Это метод единовременной настройки и не требует повторения, кроме случаев капитального ремонта и замены подшипников.

#### **Параллельность осей вальцов.**

Верхние и нижние оси вальцов должны быть параллельны несущей поверхности. Используйте верньер регулировки высоты на несущей поверхности и между осями, как показано на рис. 8-2b. Если Ваш стан не имеет соединения между передним и задним

регулируемыми винтами, позволяющего осуществлять их одинаковую регулировку, то такая регулировка циферблатов является задачей оператора. Облегчить ему задачу можно, установив равные значения при параллельных осях. Оси и циферблаты проверяются каждый раз при снятии или замене валцов. Это особенно относится к станам, лишенным опор передних подшипников, оси валцов навешаны на коробки передач.

### Регулировка валцов

После каждой замены валцов, проверьте их центровку на каждой формовочной стадии, чтобы убедиться в правильной установке спейсеров. Используйте направляющие от стадии к стадии, используйте измерительную плитку и калибр толщины, как указано на рис. 8-2с. Иногда бывает недостаточно фаски на конце заднего спейсера и его привязывают к оси валцов, как указано на рис. 8-3. Если калибр толщины 0,001 помещается между спейсером и плечом после затягивания, увеличьте фаску.

#### Комплект сварочных валцов

Еще одна регулировка, которую следует произвести – это аккуратная установка комплекта сварочных валцов. Четыре важных момента:

- а) Центральная линия оси валцов должна быть перпендикулярна центральной линии стана, как на рис. 8-4.
- б) Боковые оси валцов должны быть расположены на одинаковом расстоянии от центральной линии стана.
- в) Сварочные валцы должны иметь одну высоту.
- г) Нижняя линия сварного шва должна быть та же, что и финальная.

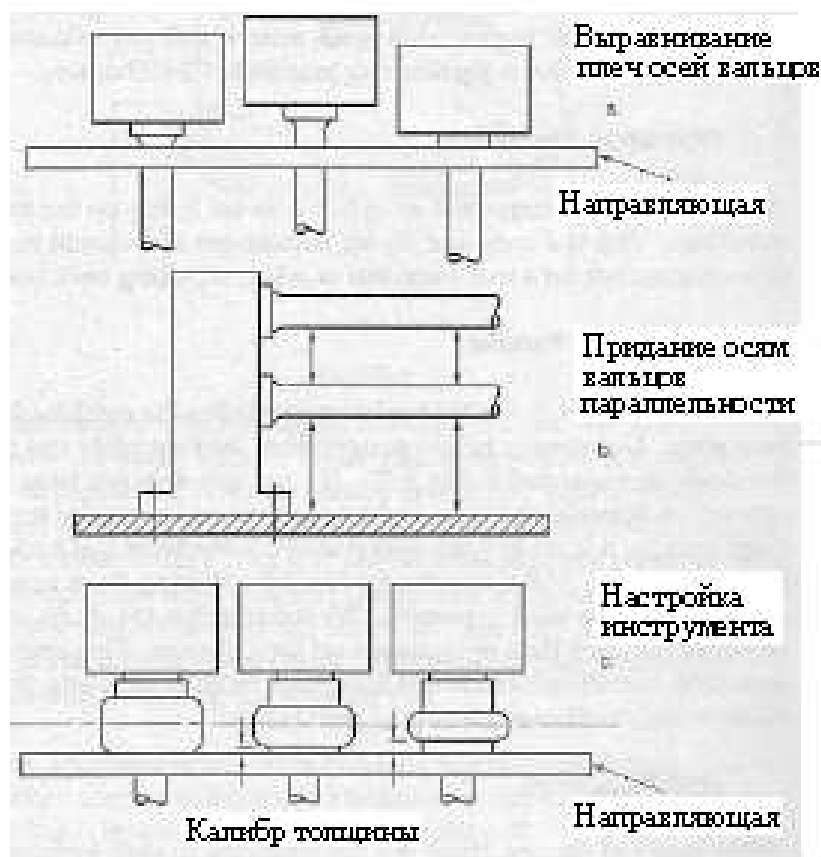
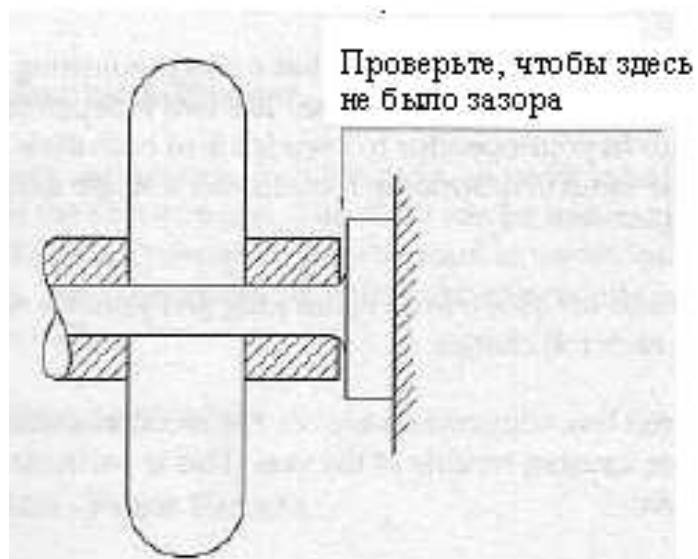
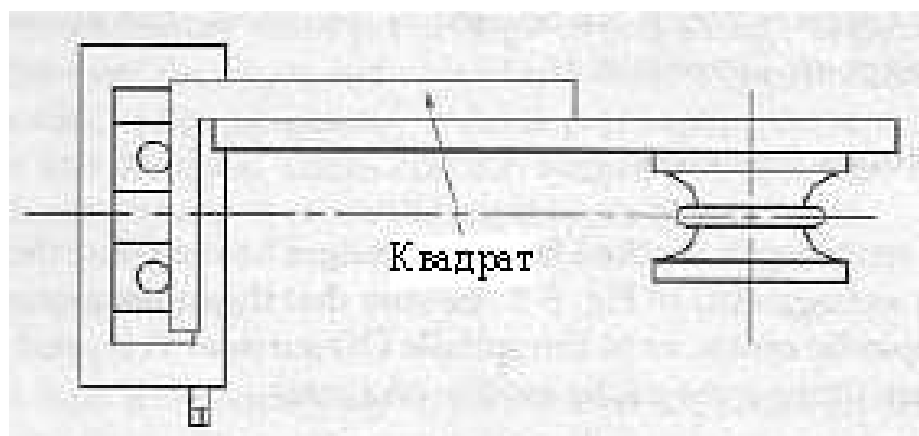


Рис. 8-2



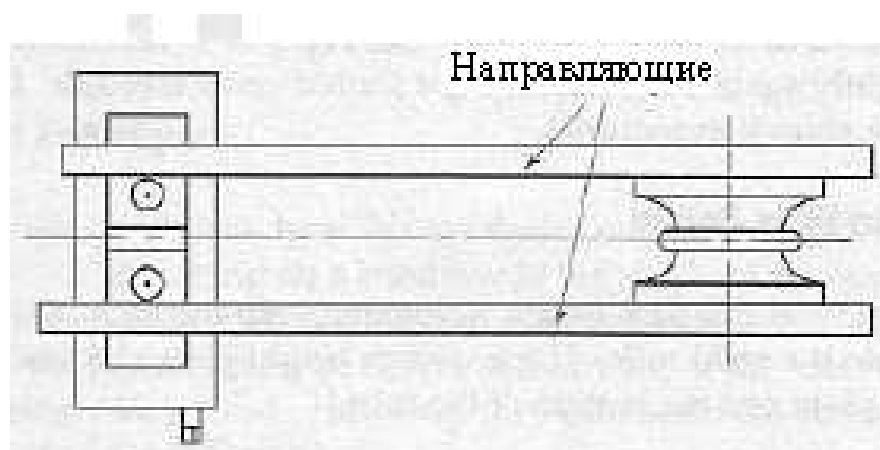
**Задний спейсер не устанавливается напротив плеча оси**

Рис. 8-3



**Сварные вальцы перпендикулярны центральной линии стана**

Рис. 8-4



**Выравнивание осей сварных вальцов относительно центральной линии**

Рис. 8-5

Первая из этих единовременных настроек должна оставаться неизменной после того, как комплект смонтирован.

Также и вторая, когда комплект снабжен одним регулировочным винтом с правой и левой резьбой. Если Ваш комплект оборудован двумя независимыми регулировочными винтами, то следить за совпадением их показаний – задача оператора. Настоятельно рекомендуем один регулировочный винт с одним циферблатом.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** (c) и (d) нуждаются в перепроверке и, возможно, подклинивании при каждой смене вальцов.

Если комплект сварных вальцов не отрегулирован, сварные вальцы будут направлять трубу не по центру и вызовут проблемы у сварного клина. Особенно серьезно это для малых труб.

### **Перпендикулярность оси центральной линии**

Хороший прокатный стан имеет как кромку несущей поверхности, так и продольные или поперечные пазы, которые могут быть использованы как опорные уровни. Используйте квадраты, направляющие и т.д. как требуется.

### **Центрированные оси**

Центровка оси проверяется установкой направляющих против вальцов финальной стадии как указано на рис. 8-5. Убедитесь, что измерения производятся по центру оси или внешнему диаметру поверхности оси. Резьбовое отверстие для масленки может находиться не по центру.

### **Сварочные вальцы одной высоты**

Измерьте высоту боковых вальцов относительно друг друга, используя обработанный стальной стержень диаметром 2RW. См. рис. 9-6. Когда вальцы накрыты стержнем, между ними не должен проникать свет. Если один из вальцов ниже, используйте регулировочные шайбы.

### **Высота сварного шва**

Проверьте высоту сварного шва, проталкивая ленту через формовочную секцию в сварочные вальцы. Используйте верньер регулировки высоты между несущей поверхностью стана и низом трубы.

### **Настройки могут влиять одна на другую.**

Настройки, необходимые для проверки перпендикулярности и центрирования осей и корректировки высоты сварного шва могут влиять друг на друга. Мы рекомендуем перепроверять их после окончательной установки комплекта сварочных вальцов.

## **Настройка калибровочной секции**

Даже калибровочная секция может повлиять на сварку. Плохо отрегулированная калибровочная секция вызывает кручение трубы. Это кручение может передаваться вдоль оси свариваемой трубы, что повлечет за собой перекосяк шва в сторону одного из сварочных вальцов. Для получения хороших результатов настройте калибровочную секцию также тщательно, как и остальной стан.

## **УХОД ЗА ПРОКАТНЫМ СТАНОМ**

### **Чистый стан - меньше дефектов**

Всегда лучше иметь дело со станом, очищенным от стружек, сколов и просто от обыкновенной грязи. Это обязательное условие для формовки высококачественных труб. Сколы, образующиеся где-то в формовочной секции, могут попасть в сварной клин и вызвать либо недостаточное или избыточное дугообразование, либо попасть между кромками и стать вкраплениями. Недостаточное дугообразование может повлечь за собой моментальное падение нагревающего тока между дугой и верхней точкой. Стружки и грязь на финальной стадии могут вызвать подобные проблемы.

### **Очищающие приспособления на финальной стадии**

Ершики из нержавеющей стали рекомендуются для поддержания чистоты углов финальной клетки. Мы предпочитаем ершики из нержавеющей стали обычному стальному, потому что стальная проволока легче рвется, скорее усугубляя проблему, чем решая ее. Купите губки из нержавеющей стали в местном супермаркете. Если углы крайне изношены, комплект вальцов должен быть заменен.

### **Салфетки из грубого сукна**

Салфетки из грубого сукна толщины 1” используются непосредственно после заваривания шва. Они нарезаются по форме ленточных заготовок, так чтобы выдаваться за пределы полосы и соприкасаться с кромкой. Они удаляют остатки стружек и грязи со сварного клина. Они неожиданно долговечны. Однако, они не могут делать всю работу - содержать чистым остальной стан.

### **Уход во время смены вальцов**

Когда Ваши сотрудники устанавливают комплект вальцов, убедитесь, что они протерли оси, спейсеры, нижнюю поверхность опоры передних подшипников и поверхность стана. Грязь между сопряженными поверхностями может вывести прокатный стан из строя.

## **Сварка торцовых поверхностей**

Гнутые оси валцов и поврежденные подшипники небольших станков могут возникнуть вследствие небрежной настройки и/или сварки торцовых поверхностей. Это происходит при заваривании торцовых поверхностей толщиной, значительно превышающей толщину прокатываемой ленты, и при стальных трубах не всегда происходит сваривание встык.

## **Охладитель прокатного стана**

Нельзя упускать из виду охладитель для стана. Поддерживать его чистым во избежание попадания примесей в сварку и использовать задерживающий фильтр. Охладитель стана остается чистым дольше, чем сам стан. Мы рекомендуем подвергать его фильтрации.



## ГЛАВА 9

### СВАРОЧНЫЕ РОЛИКИ

#### Взаимозависимость сварочных роликов и ребра

Для получения параллельных кромок V-образной впадине необходимо наличие взаимозависимости конструкции ребер и сварочных роликов. Направляющая шва, наряду с любыми боковыми роликами, которые могут использоваться в данной области, предназначена только в качестве направляющей. В данном разделе описывается несколько конструкций сварочных роликов, которые показали отличные результаты во многих установках, а также описывается конструкция ребра для соответствия конструкциям сварочных роликов.

Единственной функцией в высокочастотной сварки является сжатие вместе нагретых кромок, с использованием достаточного давления, для создания хорошей сварки. Конструкция ребра предоставляет полностью сформированную полосовую заготовку (включая кромки возле радиуса), но необходимо наличие открытия сверху к сварочным роликам. Открытие достигается таким образом, если бы полностью закрытая труба была изготовлена из двух половинок, присоединенных внизу рояльной петлей, и просто повернутых в стороны сверху (рис.9-1). Данная конструкция ребра выполняет указанное условие, без ненужных вогнутостей на дне.

#### Двухроликное устройство

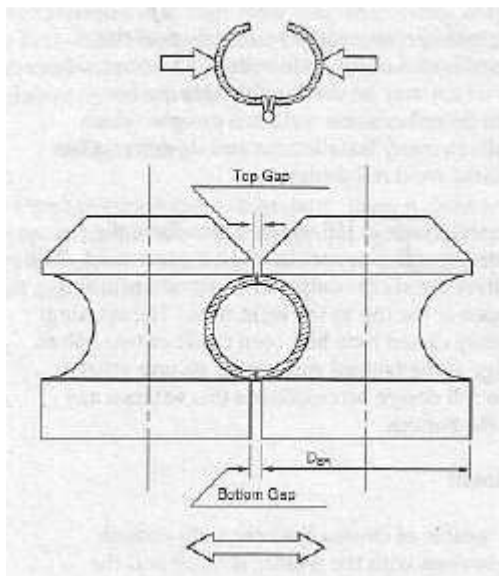
Сварочные ролики должны быть способными закрывать трубку, с использованием достаточного давления, чтобы расплющить края, даже при выключенном сварочном агрегате и холодных кромках. Для этого необходимо наличие больших горизонтальных компонентов силы (сжатия), как указано стрелками на рис. 9-1. Простым, прямым способом получения данных сил является использование двух боковых роликов, как предложено на рис. 9-2.

Двухроликная коробка является относительно экономичной. Для регулировки во время работы имеется только один винт. Имеются правосторонние и левосторонние резьбы, и происходит выдвигание и ввод двух роликов одновременно. Данное устройство широко используется для маленьких диаметров и тонких стен. Двухроликная конструкция имеет важное преимущество, благодаря которому она позволяет использовать плоскую овальную форму горлышка сварочного ролика, разработанную THERMOCOOL для помощи в обеспечении параллельности краев трубки. Это более подробно описывается в дальнейшем в данной главе.

При некоторых обстоятельствах, двухроликное устройство может быть склонно к образованию спиральных отметок на трубе. Основной причиной этого является неправильное формирование, которое требует оказания более высокого давления (выше нормального) для краев ролика. Спиральные отметки также могут возникнуть при использовании высокопрочных материалов, требующих высокое давление для сварки. Минимизировать данные отметки поможет частая очистка краев роликов, с использованием лопастного колеса или шлифовщика.

Шлифование роликов во время движения минимизирует возможность чрезмерной шлифовки или появления царапин на роликах, однако необходимо быть особенно осторожными во время осуществления данного действия.

Возле кнопки аварийного отключения всегда должен кто-то находиться, на случай возникновения аварийной ситуации.



**Боковое давление, как в случае крепления на петлях внизу (на дне) трубы**

**Рис. 9-1**

**Устройство двухроликовой сварочной коробки**

**Рис. 9-2**

### **Трёхроликовое устройство**

Многие операторы фрезерных станков предпочитают использовать трёхроликовое устройство, указанное на рис 9-3, для маленьких труб (с внешним диаметром до ок. 4-1/2"). Основным преимуществом трёхроликового устройства над двухроликовым является фактическое устранение спиральных отметок. Данное устройство, при необходимости, также предоставляет возможность регулировки для корректировки выставления кромок

Три ролика, расположенные на расстоянии 120°, установлены в хомуты на сверхмощном трёхкулачковом спирально-реечный патроне. Данные ролики можно регулировать вместе, используя кольцевой ключ для кулачковых винтов токарного патрона. Данный патрон установлен на прочной, регулируемой задней панели. Первая регулировка осуществлена при помощи трех роликов, плотно закрытых на заглушке машинного изготовления. Задняя пластина регулируется вертикально и поперечно, таким образом, чтобы привести нижний ролик в точное выравнивание, относительно высоты прохода фрезой и осевой линии фрезерного станка. После этого задняя панель надежно блокируется и не требует дальнейшей регулировки, до следующей замены ролика.

Хомуты, удерживающие два верхних ролика, установлены в радиальных ползунах, оснащенных регулировочными винтами. Любой из данных двух роликов можно регулировать индивидуально. Это предоставляется в дополнение к общей регулировке трех роликов вместе спирально-реечным патроном.

## **Трехроликовое устройство**

Четырехроликовая конфигурация, указанная на рис. 9-4, функционирует практически таким же образом, что и двухроликовое устройство. Боковые ролики оказывают горизонтальную силу сварки, а головные ролики (наклонные верхние ролики) главным образом поддерживают выставление краев. При достаточной регулировке четырехроликовой коробки, головные ролики имеют лишь небольшую нагрузку. Они должны производить небольшое формирование, или вовсе его не производить. Они направляют края и предотвращают из движение наружу ввиду давления от боковых роликов.

Четырехроликовые коробки в основном используются для больших диаметров и толстых стенок. Они имеют преимущества уменьшения износа роликовых кромок и значительного уменьшения тенденции образования спиральных отметок.

Четырехроликовые коробки часто имеют конструкцию, имеющую съемные сборки головных роликов. Это позволяет им функционировать как двухроликовые коробки для небольших размеров, и как четырехроликовые коробки для больших размеров.

## **Какое устройство использовать**

Существует большой диапазон внешних диаметров и стенок, для которых подходит любая из трех конфигураций сварочных роликов. Однако четырехроликовую коробку всегда рекомендуется использовать для больших внешних диаметров и толстых стенок. При использовании меньших размеров и при важности отсутствия спиральных отметок, предпочтительнее использовать трехроликовую коробку. Значимость экономичности и предпочтения операторов также могут выступать в качестве основных факторов выбора. Некоторые операторы предпочитают отсутствие большого количества регулировок (двухроликовая коробка), в то время как другие хотели бы иметь добавленный контроль, доступный от более сложных коробок.

На рис. 9-5 предлагаются приблизительные диапазоны внешних диаметров и стенок для малоуглеродистой стали, где очень часто используются разные конфигурации.

## **Требования для герметизации труб**

Одним из критериев конструкции является как можно полное окружение трубы сварочными роликами. Пространство между отдельными роликами должно быть как можно меньше, особенно для тонких стенок. Это необходимо для избегания вздутий и отметок между роликами. Верхний зазор должен быть лишь настолько широким, чтобы смог проходить облой (оплавление).

## **Два ролика – конструкция ролика**

**Внимание:** Для определения символов, см. Приложение А.

Для труб с внешним диаметром ок. 3,5 и двухроликовой коробки рекомендованная форма указана на рис. 9-6. Это оптимальная форма. Она предоставляет наилучшее качество и самую высокую скорость сварки.

При внешнем диаметре более ок. 3,5 смещение .020 становится незначительным и может быть опущено. Каждый ролик шлифуется от общего центра.

На рис. 9-6,  $DW$  – это эквивалентный диаметр в толщине сварного шва. Он равен конечному диаметру трубки  $D$ , плюс допуск измерения размера  $a$ :

$$DW = D + a$$

Из-за смещение .020, радиус шлифовки  $RW$  – менее  $DW/2$  .0064:

$$RW = DW/2 \text{ для } D > 3.5$$

Используйте рис. 9-7 как руководство для выбора диаметров роликов. На первый взгляд это значение может показаться слишком маленьким для подгонки подшипников, которые предоставят достаточный срок службы. Однако данные размеры были одобрены на практике, а подшипники являются легкодоступными. С точки зрения сварки, чем меньше диаметр подшипника, тем лучше по следующим причинам:

- a. Края находятся ближе друг к другу, относительно точки сварки;
- b. Отверстие V-образной впадины может быть шире;
- c. Контакт при скольжении может быть четко позиционирован;
- d. Обмотка может быть передвинута ближе к вершине;
- e. Температура краев достигает высокого значения за более короткое время.

Отшлифуйте каждый ролик до радиуса  $RW$ . Верхний зазор должен быть .050 или равен самой тонкой обрабатываемой стенке, какая бы ни была больше. Рекомендуется, чтобы нижний зазор (зазор дна) равнялся максимум .060, и чтобы его масштаб уменьшился до .020 для тонких стенок. При выполнении данного условия, облегчается установка, для создания равенства между верхним и нижним диаметром (диаметром верха и дна), таким образом, чтобы верхние и нижние зазоры были равны. Используйте все возможные точные данные, даже для внешних диаметров. Это важно, т.к они активизируют толщиномеры для использования между фланцами, для обеспечения соответствующей установки. Фланцы роликов никогда не должны соприкасаться. Они используются для передачи давления на трубу, а не друг на друга.

Для внешних диаметров, менее ок. 1.5 – 2.0” может быть рекомендовано использовать хомут со шпинделями, находящимися под напряжением, как указано на рис. 9-8. Откройте ползуны в двухроликовой коробке настолько, насколько они могут выйти. Обработайте на машине блок стали в форме хомута с расточенным отверстием, чтобы насадить на шпиндели ползунов. Скрепите шпонками к коробке, чтобы избежать скручивания.

## Три ролика – Конструкция ролика

**Внимание:** Для определения символов, см. Приложение А.

Толщины сварного шва трех роликов обычно шлифуются по окружности, с диаметром DW, равным окончательному диаметру трубы D, плюс допуск измерения размера a:

$$RW = DW/2$$

Как и в случае с двухроликовой коробкой, используйте рис. 9-7 как руководство для выбора диаметра ролика. Верхний зазор должен быть .050 или равен самой тонкой обрабатываемой стенке, какая бы ни была больше. Два других зазора должны равняться максимум .060, а его масштаб должен уменьшиться до .020 для очень тонких стенок. Рекомендация, относительно точности для двухроликовой коробки, также применима и в данном случае.

## Четыре ролика – Конструкция ролика

**Внимание:** Для определения символов, см. Приложение А.

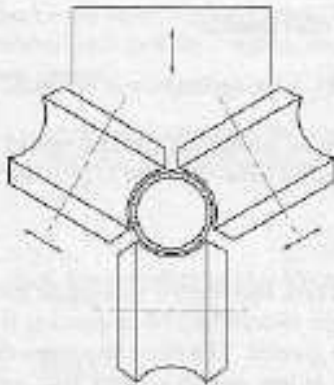
Рекомендованные формы высоты сварного шва для внешнего диаметра трубы менее 5.500 и для внешнего диаметра трубы более 3.5 являются теми же, что и для двухроликовой коробки,

$$RW = DW/2 - 0.0064 \text{ для } D < 3.5$$

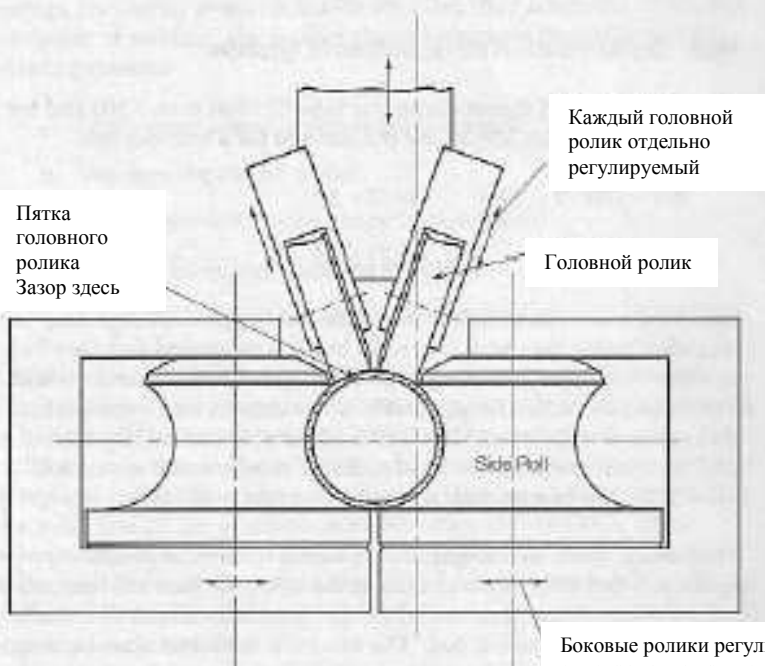
$$RW = DW/2 \text{ для } D > 3.5$$

Отшлифуйте боковые ролики до радиуса RW. Диаметры фланцев боковых роликов могут быть немного больше значения двух роликов, но рекомендуется, чтобы они не были больше 6-8 дюймов до трубы 2". Диаметр головного ролика должен быть как можно меньше, предпочтительно 2" максимум, и даже меньше для труб диаметром 2". Толщина головного ролика должны быть .75-1.0. Сохраняйте данное расстояние между головным и боковым роликом как можно меньшим (.030 - .050). Это условие является особо важным для трубы с тонкими стенками.

Очень часто, при преобразовании сварочных аппаратов контактной сварки в сварочные высокочастотные аппараты, существует возможность использовать существующие отжимные валы контактной сварки в качестве боковых роликов для четырехроликовой конфигурации высокой частоты. Опорный кронштейн для головных роликов добавляется к существующим коробке отжимных валов контактной сварки. Толщина головных роликов должны быть должна быть достаточно большой для правильного вмещения трубы. Для этого может потребоваться, чтобы головные ролики были толще рекомендованных данных, указанных в предыдущем параграфе. В данных случаях, перед вынесением финального решения, относительно окончательной конструкции, очень важно проконсультироваться с THERMOTOOL.



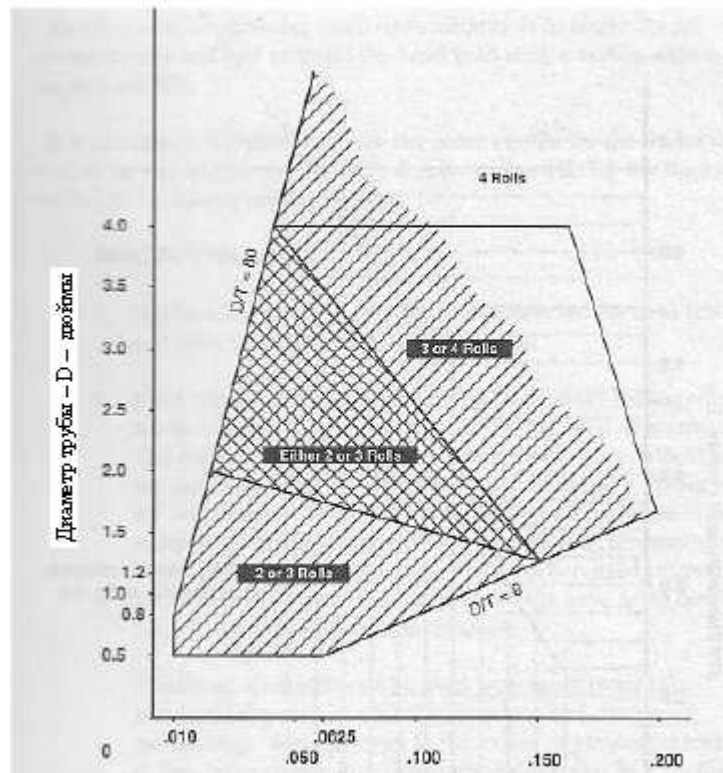
**Трехроликовое устройство сварочной коробки**  
**Рис. 9-3**



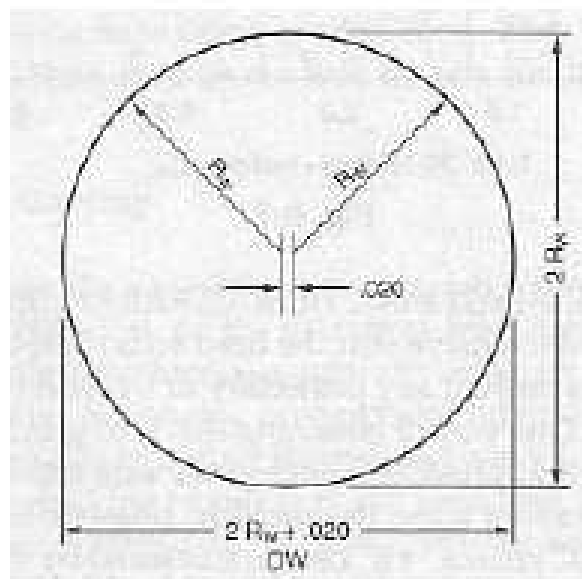
Внимание: Контактная труба головных роликов в осевой линии

Боковые ролики регулируются одновременно при помощи общего винта

**Четырехроликовое устройство сварочной коробки**  
**Рис. 9-4**



Толщина стенки – Т – дюймы  
 Количество сварочных роликов – Стальная трубка  
 Рис. 9-5



Форма высоты сварного шва – Два или четыре ролика  
 Рис. 9-6



Внешний диаметр трубы при сварке – дюймы -  $D_w$

**Рис. 9-7**

Небольшой ЗАЗОР ПЯТКИ ГОЛОВНОГО РОЛИКА, НС, как указано на рис. 9-4, требуется для обеспечения того, что головные ролики в первую очередь соприкоснутся с верхом трубы, и для предотвращения любой возможности нанесения отметок на трубу пяткой головного ролика. Одним из способов достижения данного условия является шлифовка головных роликов до того же радиуса и центр шлифовки как в боковых роликах. Затем шлифовальное колесо перемещается на несколько тысячных в сторону, по направлению к пятке, пока не будут получены необходимые результаты НС. НС может быть измерен, путем измерения диаметра пятки головного ролика до и после смещения центра шлифовки.



Другим способом достижения зазора головного ролика является перемещение центра шлифовки вниз и шлифовка головных роликов с радиусом, немного больше RW.

Рекомендуется, чтобы HC находился в порядке .020 для самых тонких стенок в пределах заданного внешнего диаметра. HC для более толстых стен будет соответственно больше.

### **Материал сварочных роликов**

а. Сварочные ролики из упрочненной стали рекомендованы для стальных труб и трубок. Обычно используется сталь инструмента D2.

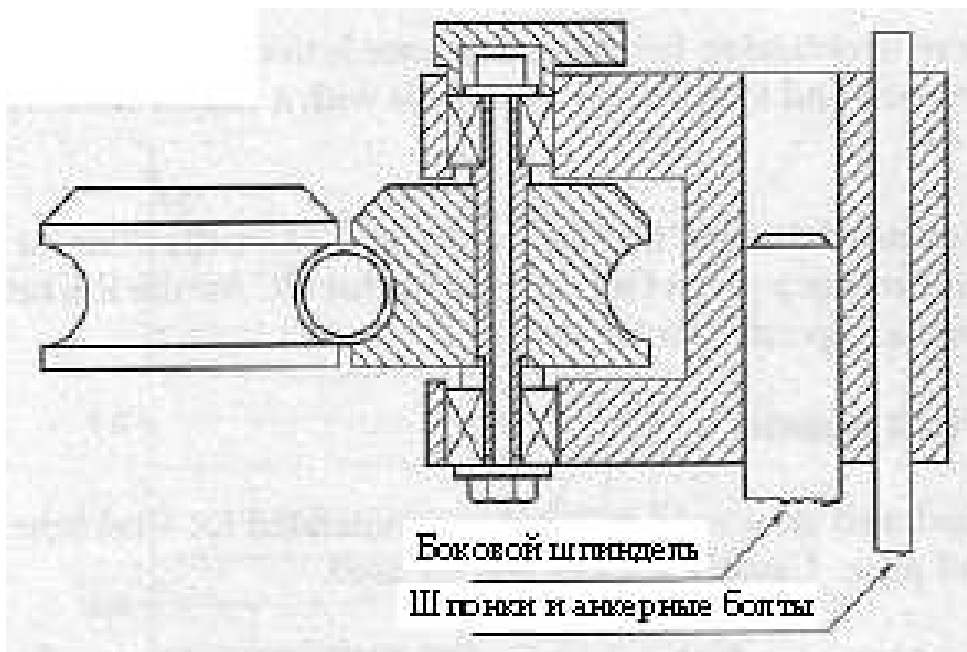
б. Твердые бронзовые ролики (например, Ampco Di-Bronze) рекомендованы для использования при сварке труб и трубок из цветного металла, например, алюминия. Причиной этого является тот факт, что в общем низкое сопротивление материалов из цветного металла приводит к более высоким значениям ампер тока сварки HF в контактах и V-образной впадине. Бронза является менее восприимчивой к индукционному нагреву соответственно высоких значений блуждающего магнитного поля. При соответствующем использовании и достаточном охлаждении, ролики из твердой бронзы имеют долгий срок службы. Данные материалы являются обрабатываемыми на машине.

Упрочненные стальные ролики могут быть использованы с трубами из цветных металлов, но за счет потери добавленной мощности и опасности перегрева, даже в пределах возможного разлома в верхнем краю фланца. Охлаждение может стать проблемой.

Использование керамических роликов для сварки материалов из мягких цветных металлов получает все большую популярность, ввиду улучшения свойств керамики. Данные ролики не требуют охлаждения, т.к. они не нагреваются, как нагревается ролик из проводникового материала.

### **Охлаждение сварочных роликов**

Сварочные ролики обычно охлаждаются распылением хладагента для фрезерных установок на поверхностях, направленных вниз (т.е. на стороне, находящейся вдали от сварной точки). Твердый войлок или шерстяные чистильщики нержавеющей стали подходят для сдерживания слишком большого количества хладагента от попадания в зону сварки. Ровное охлаждение помогает уменьшить термический стресс, который может привести к проверке нагрева или разломам. Затопление зоны сварки хладагентом для фрезерных установок настоятельно не рекомендуется. В большинстве случаев, сварочные ролики могут нормально охлаждаться без нанесения чрезмерного количества хладагента на зону сварки.



**Рекомендованная конструкция хомута для маленьких роликов**  
Рис. 9-8

### **Изолированные ролики не рекомендуются**

Не рекомендуется использовать изолированные сварочные ролики. Нагревание, имеющее место в данных роликах, производится индукцией от блуждающего поля от контактов или обмотки и V-образной впадины. Проведение через подшипники не производится током.

### **Опорная конструкция сварочных роликов**

Вне зависимости от того, какая используется конструкция сварочных роликов, ролики должны быть быстро установлены в конструкцию упругая деформация которой должна быть как можно ниже. Они должны производить осадку холодных краев.

Для Двух- и четырехроликовых коробок, рекомендуется использовать общий винт, с правосторонними и левосторонними резьбами, таким образом, чтобы ползуны обоих боковых роликов можно было одновременно регулировать. Это не только удобно для оператора фрезерного станка, но также обеспечивает то, что ролики остаются центрированными после правильного позиционирования коробки в целом. Регулировочный винт должен иметь шкалу для регистрации и повторения установок.

### **РЕБРО**

Цели конструкции

Форма, рекомендованная для ребра, была выбрана с учетом нескольких целей:

- a. Для представления трубы к сварочным роликам со сформированным радиусом кромки;

- b. Для наличия параллельных кромок через V-образную впадину;
- c. Для предоставления удовлетворительных отверстий V-образной впадины;
- d. Для соответствия конструкции сварочной конструкции, рекомендованной ранее;
- e. Для облегчения шлифовки.

## Форма ребра

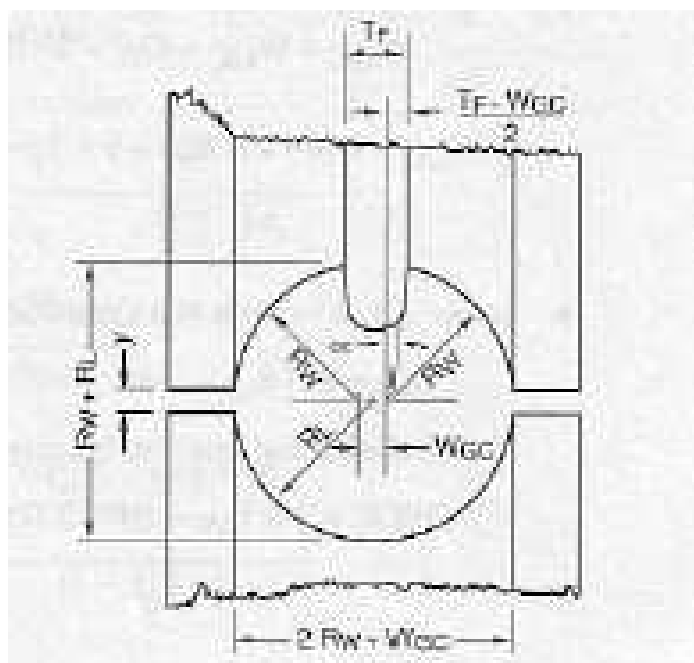
Рекомендованная форма проиллюстрирована на рис. 9-9. Нижний ролик имеет постоянный радиус от единичного центра. Каждая из половин двух верхних роликов также имеет постоянный радиус. Однако радиус верхнего ролика  $RW$  не равен радиусу более низкого ролика (нижнего ролика)  $RL$ , а центры, от которых верхние радиусы шлифуются, смещаются на расстояние  $WGC$ . Само ребро сужается под углом  $\infty$ .

## Критерий конструкции

Размеры фиксируются следующими пятью критериями:

- a. Верхние радиусы шлифовки являются теми же, что и радиус шлифовки сварочного ролика  $RW$ .
- b. Периметр поперечного сечения  $GF$  больше периметра поперечного сечения  $GW$  в сварочных роликах на сумму, равную допуску вытеснения  $S$ .
- c. Толщина ребра  $TF$  является таковой, что отверстие между кромками будет соответствовать рис. 3-1.
- d. Угол конусности ребра является таковым, что края трубы будут перпендикулярными касательной (тангенсу).
- e. Расстояние  $u$  между верхним и нижним фланцами роликов выбирается таким образом, чтобы вместить накладку без нанесения отметок, в это время одновременно предоставляя определенный уровень рабочей регулировки.

Форма ребра  
Рис. 9-9



## Формулы конструкции

**ВНИМАНИЕ:** Для определения символов, см. Приложение А.

а. Из рис. 9-9, сформированный периметр поперечного сечения, GF

$$G_F = \pi R_L + 2 \left[ \frac{\pi}{2} R_W - \left( \frac{T_F - W_{GC}}{2} \right) \right]$$
$$G_F = \pi R_L + \pi R_W + W_{GC} - T_F$$

Данное уравнение игнорирует разницу между длиной хорды ( $T_F - W_{GC}$ ) и ее соответствующей дугой. Ошибка, представленная данным допущением, незначительна.

б. Вдоль горизонтальной осевой линии на рис. 9-9

$$2 R_L = 2 R_W + W_{GC}$$
$$R_L = R_W + \frac{W_{GC}}{2}$$

с. Периметр поперечного сечения ребра GF должен равняться периметру поперечного сечения GW, плюс допуск вытеснения:

$$G_F = G_W + S$$

д. Подставьте (б) и (с) в (а) и решите уравнение для  $W_{GC}$ :

$$G_W + S = \pi \left( R_W + \frac{W_{GC}}{2} \right) + \pi R_W + W_{GC} - T_F$$
$$\frac{\pi}{2} W_{GC} + W_{GC} = G_W + S - \pi R_W - \pi R_W + T_F$$
$$W_{GC} = \frac{G_W - 2 \pi R_W + S + T_F}{\left( \frac{\pi}{2} + 1 \right)}$$

е. Ниже внешний диаметр 3.5 – С плоскими овальными сварочными роликами:

$$G_W = 2 \pi R_W + .040$$

Подставка данного уравнения в (д) даст следующее:

$$W_{GC} = \frac{2 \pi R_W + .040 - 2 \pi R_W + S + T_F}{\left( \frac{\pi}{2} + 1 \right)}$$

$$W_{GC} = \frac{.040 + S + T_F}{2.5708}$$

$$W_{GC} = .0156 + .3890 (S + T_F)$$

f. При условии, что дуга  $(T_F - W_{GC})$  равна хорде  $(T_F - W_{GC})$ , угол ребра в радианах будет равен:

$$\alpha = \frac{T_F - W_{GC}}{2 R_W}$$

радиан

$$\alpha = \frac{28.65 (T_F - W_{GC})}{R_W}$$

и в градусах , градусов

g. Больше внешнего диаметра 3.5 – С круглыми сварочными роликами:

$$G_W = 2 R_W$$

Подставка данного уравнения в (d) даст следующее:

$$W_{GC} = \frac{2 \pi R_W - 2 \pi R_W + S + T_F}{(\pi + 1)}$$

$$W_{GC} = \frac{S + T_F}{2.5708}$$

$$W_{GC} = .3890 (S + T_F)$$

h. При условии, что дуга  $(T_F - W_{GC})$  равна хорде  $(T_F - W_{GC})$ , угол ребра в радианах будет равен:

$$\alpha = \frac{T_F - W_{GC}}{2 R_W}$$

радиан

и в градусах,

$$\alpha = \frac{(180)}{\pi} \frac{T_F - W_{GC}}{2 R_W}$$

$$\alpha = \frac{28.65 (T_F - W_{GC})}{R_W}$$

градусов

## **Произвольные факторы конструкции**

Окончательная производственная конструкция ребра требует определения четырех основных количеств:

- a. Радиус сварочного ролика ( $R_w$ )
- b. Толщина ребра ( $T_F$ )
- c. Допуск вытеснения ( $S$ )
- d. Зазор фланца ролика ( $y$ )

При выборе значений  $T_F$ ,  $S$  и  $y$  конструктор должен использовать суждения (предпочтительно основанные на опыте). Сложно дать какие-либо рекомендации, относительно данных количеств, т.к. это зависит от каждой отдельной ситуации.

Обсуждения  $T_F$ ,  $S$  и  $y$ , указанные в данных параграфах, а также значения, используемые в графике иллюстрации, рис. 9-10, предоставлены только в качестве руководства. К счастью, во время работы можно осуществить незначительные корректировки, регулируя давление сварочного ролика и высоту верхнего ролика ребра.

### **Толщина ребра $T_F$**

Толщина ребра должна выбираться таким образом, чтобы отверстие V-образной впадины соответствовало данным, указанным на рис. 3-1. Это зависит от следующего:

- a. Расстояние между плоскостью ребра и осевой линией сварочного ролика;
- b. Количество ожидаемых упругих последствий. Это, в свою очередь, зависит от физических свойств обрабатываемого материала;
- c. Тип боковых роликов или других инструментов между плоскостью ребра и сварочной точкой;
- d. Использование правильной направляющей шва. Это должна быть направляющая шва, а не шовный распределитель;
- e. Диапазон толщин на одном комплекте инструментов.

HF в основном использует более широкую –образную впадину, чем другие процессы, например ERW или газовая сварка. Следовательно, толщина ребра TF обычно больше.

Цифровые значения TF, указанные в графике, рис. 9-10, относятся к опыту с типичными фрезерными станками, работающими с низкоуглеродистой сталью. Они представлены только в качестве руководства.

### **Допуск вытеснения S**

Сварка HF включает нагревание меньшего количества металла, чем прочие процессы, например, ERW или газовая сварка. Следовательно, допуск вытеснения S обычно меньше.

Если формирование и наладка сварочной зоны являются идеальными, а кромки (края) достигают сварочной точки параллельно друг другу, то S может минимизироваться. Однако необходим больший допуск вытеснения, если V–образная впадина является слишком длинной, или если края не являются параллельными. Оба этих условия приводят к более сильному нагреванию металла, чем это необходимо, с лучшей наладкой и, соответственно, требуют большего допуска вытеснения.

Цифровые значения S, указанные в графике, рис. 9-10, относятся к опыту с типичными фрезерными станками, работающими с низкоуглеродистой сталью, с хорошей наладкой фрезерного станка. Они представлены только в качестве руководства.

### **Зазор фланца ролика $u$**

Зазор фланца ролика ( $u$ ) должен быть достаточно маленьким, чтобы вмещать трубу без нанесения отметок, но достаточно большим, чтобы проводить некоторые операционные регулировки. Количество зазора, допустимое для вмещения трубы, зависит от диаметра, толщины стенки и физических свойств материала трубы.

Лучше начать со слишком маленького  $u$ , а не со слишком большого, т.к. легче отшлифовать диаметры роликов меньшего размера, если это действительно понадобится.

Цифровые значения  $u$ , указанные в графике, относятся к опыту с типичными фрезерными станками, работающими с низкоуглеродистой сталью, с хорошей наладкой фрезерного станка. Они представлены только в качестве руководства.

### **Расчеты конструкции – значимые цифры**

Рекомендуется проводить расчеты, используя формулы, представленные в предыдущих параграфах, применяя четырехзначные десятичные цифры. Это позволит легко осуществлять проверки, без допущения ошибок. После проверки арифметики, окончательные ответы могут быть округлены до ближайших десятичных дюйма для использования в цехе.

**Рис. 9-10 График иллюстрации конструкции**

**График иллюстрации конструкции**

Здесь указаны дальнейшие расчеты конструкции формы ребра, подверженные ограничениям, заданным в критерии конструкции на стр. 72. Все значения указаны в дюймах, кроме тех, которые указаны в градусах.  
Step – шаг

	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6a	Step 6b	Step 6c	Step 7	Step 8
DW	RW	TF	S	WOC	RL	GW	GF	-GW	α	γ
.75	.369	.225	.040	.119	.428	2.356	2.356	.040	8.2	.040
1.00	.494	.280	.040	.128	.568	3.142	3.142	.040	7.1	.040
1.25	.619	.283	.040	.134	.685	3.927	3.967	.040	6.0	.040
1.50	.744	.275	.040	.139	.813	4.712	4.752	.040	5.2	.040
1.75	.869	.288	.040	.143	.940	5.498	5.538	.040	4.8	.040
2.00	.994	.300	.040	.148	1.068	6.283	6.323	.040	4.4	.050
2.50	1.244	.325	.040	.158	1.322	7.854	7.894	.040	3.3	.050
3.00	1.494	.350	.040	.167	1.577	9.425	9.465	.040	3.5	.050
3.50	1.744	.400	.040	.187	1.837	10.995	11.035	.040	3.5	.060
3.50	1.750	.400	.040	.171	1.836	10.996	11.036	.040	3.7	.060

**Пошаговая процедура конструирования:**

Шаг 1: Определение RW. См. рис. 9-6.

Шаг 2: Выбор правильного значения для TF.

Шаг 3: Выбор правильного значения для S.

Шаг 4: Расчет  $W_{GC}$ .

Шаг 5: Расчет  $R_L$ .

Шаг 6: Проверка арифметической точности следующим образом:

a. Расчет  $G_W$ .

b. Расчет  $G_F$ .

c. Вычитание  $G_W$ , как указано в (a), из  $G_F$ , как указано в (b).  $G_F - G_W$  должно равняться S. Если данное условие не выполняется в пределах менее .0004, то где-то в арифметических подсчетах была произведена ошибка.



Шаг 7: Расчет  $\alpha$ .

Шаг 8: Выбор правильного значения для  $u$ .

Шаг 9: Округлите рассчитанные значения  $G_W$ ,  $W_{GC}$  и  $R_L$  до ближайшей тысячной дюйма. Подготовьте производственные чертежи, используя размер вала, диаметра роликов и ширину роликов, соответствующих определенному фрезерному станку.

### Расчет выборочного плана:

Пример: Разработайте форму last fin pass для трубы с внешним диаметром 1.75'' ( $G_W = 1.75$ ). Примите  $G_F = 2.88$  и  $S = .040$ .

Шаг 1

$$D_W < 3.5 R_W = D_W - .0064$$
$$R_W = \frac{1.75 - .0064}{2} = .8750 - .0064 = .8686 \text{ (Use .869)}$$

Шаг 2  $T_F = .288$  (заданное значение)

Шаг 3  $S = .040$  (заданное значение)

Шаг 4

$D_W < 3.5$ , so to calculate  $W_{GC}$

$$W_{GC} = .0156 + .3890 (S + T_F) = .0156 + .3890 (.288 + .040)$$
$$= .0156 + .3890 (.328) = .0156 + .1276 = .1432 \text{ (Use .143)}$$
 (Использование .143)

Шаг 5

$$R_L = R_W + W_{GC}$$
$$R_L = .8686 + .1432 = .8686 + .0716 = .9402 \text{ (Use .940)}$$

Шаг 6

a.  $G_W = 2 \pi R_W + .040$   
 $G_W = 2 \pi (.8686) + .040 = 5.4576 + .040 = 5.4976$

b.  $G_F = \pi R_L + \pi R_W + W_{GC} - T_F$   
 $G_F = \pi (.9402) + \pi (.8686) + .1432 - .288$

c.  $C_H = G_W = 5.5377 - 5.4976 = .0401 = S$  (Checks OK) (Проверки ОК)

Шаг 7

$$\alpha = 28.65 \frac{(T_F - W_{GC})}{R_W}$$
$$= \frac{28.65 (.288 - .143)}{.869} = \frac{28.65 (.145)}{.869} = 4.8^\circ$$

## **ГЛАВА 10**

### **НАПРАВЛЯЮЩАЯ ШВА**

При проведении высокочастотной сварки трубы, единственной функцией направляющей шва является предотвращение шва от прокатки. Если фрезерный станок достаточно хорошо работает, этого не произойдет, и направляющая шва не потребуются. Конечно, хотя это и нехарактерно, многие фрезерные станки работают без направляющих шва.

Направляющая шва не должна выполнять никакие операции, кроме направления шва. Данная направляющая не должна использоваться в качестве распределителя, или в качестве формирующего устройства для компенсации недостатков во фрезерном станке. Это происходит для предотвращения повреждений кромок и минимизации формирования обломков. Форма кромки (края) влияет на неровность нагревания и качество сварки. Осколки являются источником серьезных проблем. Они могут привести к искрению и повреждению контактов. Они могут перекрыть края V-образной впадины и привести к предварительному искрению и сопутствующим дефектам сварки. Направляющая шва должна предоставлять силу на края (кромки), достаточную только для того, чтобы удерживать шов на линии.

#### **Системы направляющих шва**

Способ детальной разработки системы направляющих шва, которая нужна именно вам, зависит от нескольких факторов: внешний диаметр и стенка трубы; требуемое качество сварки; изгиб накладки и расстояние от ребра до осевой линии сварочного ролика. Но самым важным фактором является правильность работы формирующей секции.

Для большинства размеров труб, с внешним диаметром до ок. 2.5, при стенке .100, обычно подходит простая скользящая направляющая шва. Для больших размеров и для более толстых стенок, обычно предпочтительнее использовать вращающуюся направляющую шва. Любой тип может быть дополнен боковыми роликами, которые помогают противостоять упругому последствию и обеспечить дополнительный контроль.

Наилучшим положением для направляющей шва является резкий подъем сварочных контактов или обмотки. Направляющая шва должна быть изолирована таким образом, чтобы края трубы не присоединялись электрически. В противном случае, часть индуцированного тока HF будет протекать по неправильному пути – вверх и через направляющую шва, а не вниз, через V-образную впадину.

#### **Скользящая направляющая шва**

На рис. 10-1 отображена широко используемая скользящая направляющая шва. Она состоит из двух карбидных сменных накладок в форме угла, установленных в латунных держателях, присоединенных к полке изоляционного материала. Сменные накладки изолированы друг от друга слоистым материалом G7 и G10. Общая толщина может изменяться в разумных пределах, путем замены различной толщины изоляции.

Изоляционная полка разрезана для регулировки сменных накладок. Они всегда должны быть прочными по отношению к промежуточной изоляции, чтобы предотвратить трещинообразование рабочих ножек углов.

Скользкая направляющая шва должна регулироваться таким образом, чтобы края трубы были достаточно низкими, для оставления пространства в углу, как указано на рис. 10-1. Внешняя поверхность трубы не должны тереться о направляющую шва. Нет необходимости в надавливании на края или их растяжении, если формирующая секция правильно работает.

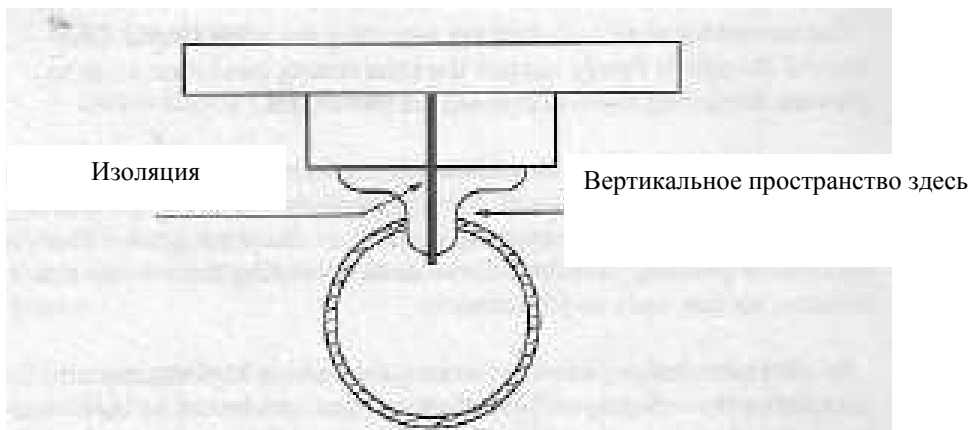
Альтернативная конструкция скользящей направляющей шва использует алюмооксидную керамику высокой плотности, в качестве поверхности износа. Это непроводник, таким образом, обе поверхности износа могут находиться на одной части Т-образной формы. Данный тип гораздо легче установить. Однако он не имеет возможности регулироваться заменой различной изоляционной толщины.

Скользкие направляющие шва часто имеют опору в виде кронштейна на задней коробке сварочного ролика. Направляющая шва также может поддерживаться собственным стендом, установленным на опорную пластину фрезерного станка. Монтажная опора должна регулироваться во всех трех направлениях, и иметь кнопочные пазы и блокирующие устройства, например, шпонки, для того, чтобы предоставлять прочное и устойчивое положение.

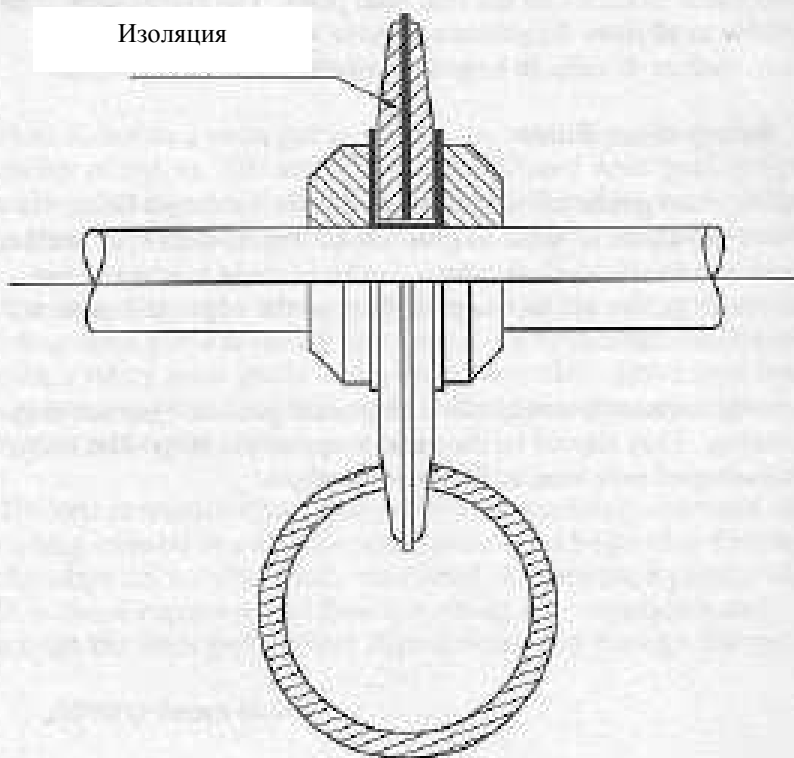
### **Вращающаяся направляющая шва**

Вращающаяся направляющая шва используется для более толстых стенок и больших внешних диаметров. Диаметр данной направляющей должен быть как можно меньше. На рис. 10-2 указан метод изоляции двух половин, который может быть осуществлен на упрочненной стали. Вращающиеся направляющие шва более подвержены повреждению краев, поэтому их нельзя подвергать слишком сильной работе.

Боковые ролики обычно используются с вращающимися направляющими шва. Они используются только для направления. Они должны относиться к тому же типу, что и накладки. Плоские ролики и V-образные ролики склонны к подъему краев накладок.



**Направляющая скользящего шва  
(Не к шкале)  
Рис. 10-1**



**Направляющая вращающегося шва  
Рис. 10-2**

## ГЛАВА 11

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

#### Ведение учёта

Есть много причин для ведения правильного учёта, в том числе и как немаловажное требование заказчика. Кроме того, оно облегчает повторяемость устройства; помогает обучению новых операторов и сигнализирует об ухудшении параметров.

Мы предлагаем вести учёт как минимум следующих данных для каждой перенастройки (работы);

1. Номинальный внутренний и внешний диаметр труб, стенок, материала, длины резания, и спецификацию, в соответствии с которой продукция было произведена
2. Все установочные параметры для всех проходов, в т.ч. на сварочной камере. И альтернативно, разницу после всех проходов.
3. Величину регулировки всех стоек клиньями, если это необходимо.
4. По возможности замеры ширины полосы, передней части, центра и хвоста, они дают чёткое представление о качестве продольной резки сляба.
5. По возможности замеры толщины полос передней части, центра и хвоста, они дают чёткое представление о качестве проката.
6. Скорость трубопрокатного стана.
7. Все электрические показания: ток и напряжение на аноде, ток на катоде, напряжение накала, параметры уставки регулирования мощности. Тепловые уставки (если они применяются) и частота.
8. Размер, тип, расположение и дата установки импидоров, давление, и по возможности, температуру хладоагента,.
9. Размеры сварочной катушки, число оборотов и положение (длина V-образного раствора трубы), дата установки, угол раствора.
10. Показания времени на генераторном приборе ВЧ при его изменении, в т.ч. серийный номер старой и новой электронной лампы.
11. Число закороченных оборотов в параллельном резонансном контуре рабочих катушек.
12. Качественная статистика на один проход, в т.ч. % продукции высшего качества и диаграмма Парето дефектов по типам. По возможности учесть число нагревов материала и любые результаты механических испытаний, так как каждая катушка работает так, что можно сделать определённую корреляцию между дефектами и материалом.

Каждый из этих параметров можно фиксировать в начале каждой операции или в начале каждой смены. Они легко могут уместиться на одном листе бумаги и введены в компьютер для оперативного анализа.

Существует много параметров, которые могут оказаться полезными, но затраченное время на сбор информации должно соответствовать ценности этой информации. Если ваш заказчик не требует её, и вы не архивировали информацию в течение 3 месяцев, но это явно не критические параметры. С другой стороны, при анализе данных для поиска причин дефектов вы можете обнаружить, что дефект напрямую связан с параметром, который вначале казался вам не заслуживающим внимания. Продолжая анализировать параметры, связанные с дефектами и сравнивать их с переменными величинами сварки, вы поистине начнёте понимать ваш производственный процесс, и это даст вам возможность легче находить параметры для замеров при механических испытаниях.

## **Механические испытания**

Большинство трубной продукции изготавливается на соответствие заданным механическим характеристикам, которые включают предел прочности при растяжении, предел текучести, % удлинения, твёрдость, и т.д. Методика проведения этих испытаний изложена в соответствующих стандартах США (ASTM).

### **Испытание на разрыв по (ASTM E8)**

Испытание на разрыв включает в себя резку секции трубы и обработку на станке взятого от неё небольшого испытательного образца. Тщательно измеряют площадь сечения образца для испытания и закрепляют в тестере для испытания на разрыв, прикладывают нагрузку на растяжение и растягивают до разрыва. Нагрузка, при которой происходит разрыв образца, делённая на первоначальную площадь сечения, даёт предел прочности на растяжение. Установив экстензометр или датчик деформации на образец до приложения нагрузки, можно определить предел текучести. Предел текучести это определённая точка, в которой сталь становится пластичной и растягивается без дальнейшего приложения разрывной нагрузки. Растяжение определяется как процент удлинённой площади на одном или двух дюймах базовой длины после разрыва образца.

### **Испытание на твёрдость по (ASTM E10, E1B, E92)**

Твёрдость – это трудно определяемый термин и обычно даётся в сравнительной величине. Наиболее известный способ испытания на твёрдость состоит в том, что круглым или заостренным индентором надавливают на образец металла и измеряют сопротивление металла индентору. Сопротивление может измеряться по глубине пенетрации при заданной нагрузке, как это имеет место при испытаниях на твёрдость по Рокувеллу или по диаметру вдавливания шарика, как при испытании на твёрдость по Бринеллю.

Испытания по Роквеллу (С) обычно производят на твёрдых, тонкозернистых металлах, а испытания по Бринеллю (и по Роквеллу В) чаще всего производят на мягких сталях или цветных металлах.

Испытания на микротвёрдость могут выявить твёрдые участки, возникающие от осевой ликвации и быстрого охлаждения сварки. При испытаниях на микротвёрдость применяется тщательно отшлифованный алмазный наконечник наподобие индентора при испытании по Роквеллу (С). Образец шлифуется, полируется, травится и помещается в тестер. Тестер встроен в применяемый в металлографии микроскоп, используемый для определения предполагаемого участка испытания на твёрдость. Как правило, на алмазный наконечник или индентор прилагают очень малую нагрузку порядка 5 – 500 граммов.

Длина и ширина вдавливания измеряется микроскопом и пересчитывается на величину твёрдости. Особое внимание следует уделять выбору места установки испытываемого образца и его приготовлению. Передняя и задняя части большинства полосовых заготовок труб проявляют разные значения прочности, чем центральная часть рулона. Важно определить места проявления максимальных и минимальных характеристик и производить испытания именно в этих местах. Предел текучести стали обычно повышается после операции формования, поэтому испытания. Выполненные на полосовой заготовке, не могут быть показательными для свойств трубы.

Образцы для испытаний не следует резать газовыми горелками, так как нагрев приводит к изменению свойств металла. Сильная обработка на станке до появления на кромках образца синего цвета побежалости также повлияет на правильность результатов испытания.

Механические свойства металла могут варьироваться для каждого рулона даже при одной плавке. Не считайте, что результаты испытаний, выполненных на одном рулоне, будут показательными для всех рулонов одной плавки. Проводите испытания на максимальном количестве рулонов каждого поставщика материалов и определите, сколько отклонений могут встретиться вам при работе. Тогда вы сможете выполнять меньшее количество испытаний на отобранных рулонах и сделать выводы на основе известных вам колебаниях. Испытания на твёрдость должны производиться после снятия с поверхности окалины и обезуглероживания поверхностного слоя горячекатанной стали.

Это можно сделать при помощи небольшого шлифовального круга и аккуратно очистить поверхность, избегая нагрева поверхности образца. Результаты испытаний на твёрдость, выполненных перпендикулярно поверхности внутреннего или внешнего диаметра могут несколько выше, чем испытаний, выполненных на торцах или параллельно поверхности внешнего диаметра. Испытания на цветных металлах не требуют такой тщательной подготовки поверхности. Более детально материалы по подготовке образцов и методике проведения испытаний смотрите в соответствующих спецификациях стандартов ASTM.

## **Дефектоскопия и контроль качества (ASTM E213, E309г E42Б, E570, E273)**

Мы можем предостеречь вас от одной ошибки: не приобретать новое и сложное лабораторное оборудование прежде, чем вы не приобрели опыта полного контроля за технологическим процессом. Если ваша способность обнаруживать дефекты лучше, чем их предотвращать, то выход вашей продукции высшего качества снизится, увеличив тем самым её себестоимость.

Создайте систему логичного, воспроизводимого контроля качества, отвечающего уровню качества продукции. Достигнув стабильного уровня качества, начинайте работать над усовершенствованием технологического процесса. Когда уровень дефектов снизится до того момента, когда существующее оборудование уже не эффективно, подумайте о создании новой и лучшей методики контроля качества. Ведите строгий учёт типов и мест расположения дефектов, так чтобы любое изменение в технологии, можно было сравнить с ситуацией «до и после». Дайте возможность нескольким проходам на одном и том же материале, прежде чем сделать какой-то вывод; не забывайте об изменчивости качества полосовых заготовок. Представьте вашим специалистам по закупке перечень спецификаций по размерам заготовок, качественного хранения материала, методов погрузки и разгрузки и других параметров, которые могут оказывать влияние на качество вашей продукции. И тогда пусть продавцы придерживаются этих спецификаций!

Неразрушающий контроль включает в себя много методик, в т.ч. УЗ, электромагнитная, цветная дефектоскопия, рентгеноскопия и другие, каждая из которых имеет преимущества и недостатки.

Два наиболее часто встречающихся способов контроля на трубопрокатном производстве – это ультразвуковой и электромагнитный. УЗ чаще всего применяется только для контроля сварочных швов, но в настоящее время существуют системы контроля всей трубы. При УЗ-контроле пьезоэлектрический кристалл заряжается электротоком и это вызывает вибрацию на частоте пропорциональной толщине кристалла. Звуковые волны подаются на сварной шов под определённым углом, и любой дефект сварки передаётся обратно в датчик. Кристалл датчика поглощает звуковую энергию, генерируя электрический ток. Электрический ток пропорционален размеру и ориентации дефекта. Отражённый сигнал высвечивается на дисплее осциллографа, индикаторы допустимого размера включают сигнализацию или систему распыления краски для обнаружения дефекта трубы. УЗ контроль требует применения воды или другого хладагента для передачи звуковой энергии от кристалла до трубы и поэтому плохо работает на горячих поверхностях. Скорость звука в контролируемом материале ограничивает скорость прохождения трубы и обычно составляет менее 200 футов/мин. Превышение допустимой скорости может привести к пропуску сигналов на кристалл датчика.



Для контроля качества труб чаще всего используется метод испытания пульсирующими вихревыми токами. При этом методе труба пропускается через катушку возбуждения, которая создаёт в трубе магнитное поле. Переменное магнитное поле генерирует вихревые токи, которые протекают через трубу. Эти токи протекают в замкнутом контуре трубы и их величина и фаза зависят от свойств трубы и от электромагнитного поля, создаваемого вихревыми токами, проходящими через трубу. Любое отклонение в потоке вихревых токов, вызванное наличием дефекта, может быть обнаружено по мере продвижения трубы через сенсорную катушку. Степень чувствительности, сложность оборудования и его способность точно и многократно определять размер и место дефектов в значительной степени зависят от конструкции установки. Рекомендуется до покупки или аренды установки направить несколько образцов труб вашего производства с известными дефектами производителю лабораторного оборудования для контрольного тестирования. Необходимо произвести несколько циклов, при которых оборудование регулярно отбраковывает дефектные изделия и пропускает допустимые дефекты. Метод контроля вихревыми токами больше всего подходит для обнаружения поверхностных дефектов, однако, некоторые фирмы заявляют, что с успехом обнаруживают также и внутренние дефекты. Эти системы могут быть сконструированы для сигнализации и включения подачи краски на дефектные участки, так же как и УЗ установки. Метод контроля вихревыми токами работает лучше на высокой скорости, но может пропускать дефекты, расположенные вблизи концевой торца труб (как правило, в пределах одного диаметра).

### **Контроль качества и испытание с разрушением опытного образца**

Хотя усовершенствования в области неразрушающего контроля снизили число дефектов, отправляемых заказчику, он не способствует их предотвращению. Доверие неразрушающему контролю может привести к серьёзным потерям в производительности, когда контроль применяется вместо предотвращения.

Поскольку интерпретация неразрушающего контроля может привести к ошибкам, для подтверждения результатов контроля часто применяются другие методы. Разрушающий контроль также позволяет производственникам «быстро и грязно» сделать оценку качества. Хотя разрушающий контроль не даёт возможности контролировать качество всей трубы в целом, он может дать хорошее представление о состоянии трубопрокатного стана, качестве стали, сварке и нормализации.

Контроль поперечной площади сварного шва

Одним из лучших методов контроля процесса сварки – это оценка поперечной площади сварного шва.

Это простой и быстрый способ контроля и его можно произвести каждый раз при смене диаметра или сортамента труб или после настройки трубопрокатного стана. Для резки образного образца трубы используется газовый резак (рис. 11-1)

Сварной шов разрезается и исследуется окрашенная нагревом поперечная площадь стенки. Если участок тёмного цвета однороден от внутреннего до наружного диаметра и имеет квадратный срез (рис. 11-2а), кромки сходятся вместе ровно и параллельно, если узор нагрева наклонён или заострен (рис. 11-2b), кромки не сходятся вместе и ровно, то необходимо произвести регулировки агрегата. Если этого не сделать, то в результате при сварке могут образоваться дефекты.

### **Микроструктуры Зоны Сварки**

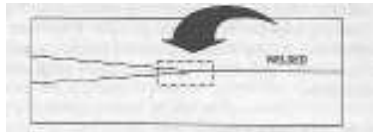
Беря достаточно крупный образец во избежание серьёзного термического повреждения от газового резака, можно дать оценку микроструктуры предполагаемого сварного шва (рис. 11-3а-d). Количество осадки, однородность сжатия, прямолинейность сжатия, углы потока можно увидеть на хорошо подготовленном образце при помощи металлографического микроскопа. Рис. 11-3а – качественно проваренная площадь, рис. 11-3b – завышенная площадь сварки, рис. 11-3с – неравномерное сжатие, рис. 11-3d – видны неравномерные углы потока.

Если вы используете в технологии нормализацию швов, необходимо регулярно брать образцы для контроля на центровку, оценки эффектов пенетрации и прогрева. " На рис 11-4а показана нормализованная зона качественного сварного шва. На рис 11-4b показана плохая центровка. На рис 11-4с показан неполный прогрев. На рис 11-4d показан рост зёрен из-за высокой температуры нормализации.

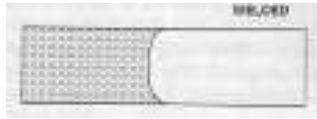
### **Проба на сплющивание и на раздачу**

Проба на сплющивание производится на нескольких или на всех трубах каждого рулона. Хотя этот контроль – плохая замена неразрушающего контроля сварки, он даёт хорошее представление о пластичности сварки. Проба на сплющивание может применяться для контроля как внутреннего, так и наружного диаметра, изменяя направление сварки с 10:00 часов (рис 11-5а внутренний диаметр в напряжении) до 3:00 часов (рис 11-5b наружный диаметр в напряжении). Необходимо обратить внимание на причину отрицательного теста: холодная сварка, плохая нормализация, дефекты линии сварки, круговая трещина, высокое содержание серы или даже трещины от контактного прожога на сторонах сварки?

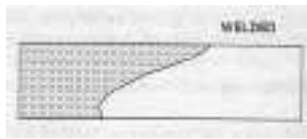
Одним из наименее дорогостоящих тестов является проба на раздачу (Рис. 11 -6а). Проблем с этим тестом много, но некоторые стоит рассмотреть. Мелкий дефект, расположенный у кромки, может привести к разрушению, хотя более крупный, расположенный дальше по ходу, может и не привести к разрушению. Глубокая зачистка кромок ослабит зону сварки и станет причиной преждевременного разрушения. С другой стороны, крупный оставшийся сварочный валик усилит шов и может скрыть плохую сварку. Если оставшийся валик ударится о сердечник раздачи, он может вызвать преждевременное разрушение. Если даже тест выполнен правильно, он чувствителен к пределу текучести и может провалиться на мягкой сварке, которая не имеет дефектов, и не провалиться на твёрдой сварке с дефектами. Пробы на отбортовку (рис. 11-6b) и тесты с опрессовочными пробками (Рис. 11-6с) имеют те же проблемы.



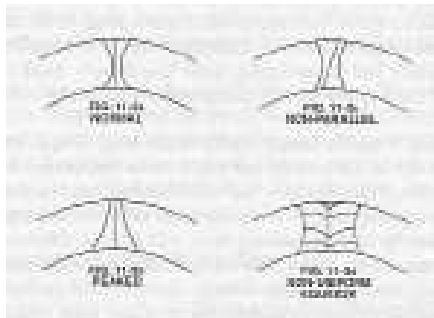
Образец поперечной зоны сварки  
Рис. 11-1



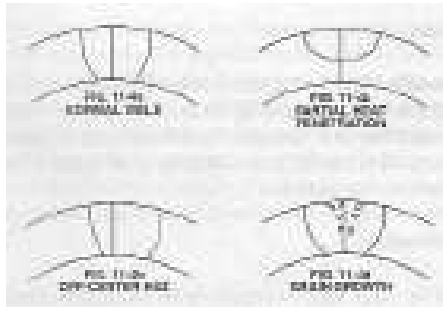
Образец с параллельными кромками  
Рис. 11-2а



Образец с завышенными кромками  
Рис. 11-2б

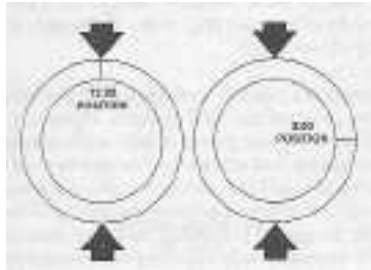


Зоны сварки  
Рис. 11-3 (а-d).



Микроструктура зоны сварки - Нормализованный

ШОВ  
Рис.11-4



Пробы на сплющивание Рис. 11-5 а, б

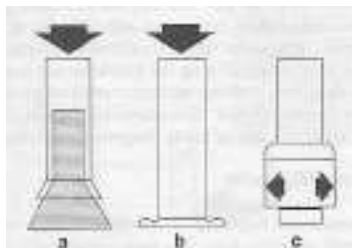


Рис.

Проба на раздачу и отбортовку пробками  
11-6а, б, с

## **Испытания на загиб**

Наиболее распространённым испытанием на загиб является знакопеременный изгиб. Короткий кусок трубы вырезается под углом 90 градусов по отношению к сварному шву (Рис. 11-7). Участок со швом выравнивается, укрепляется в тисках и загибается в обратную сторону, создавая напряжение на внутренней стенке шва. Он результативен в оценке качества сварки, но проба на сплющивание легче и быстрее.

## **Проверка на NDT (новая глубина)**

Дефекты, обнаруженные неразрушающим контролем, должны проверке разрушающими методами во избежание ложных интерпретаций, подаваемых сигналом неразрушающего контроля. Для вырезки «окна» с дефектом можно использовать газовый резак. Образец моно вырезать ножовкой, отполировать и рассмотреть под металлографическим микроскопом для выявления дефектов линии сцепления, в т.ч. включений, холодной сварки, и примесей. При тесте на разрыв шлица используется такое же «окно», но шлиц зарубывается или выжигается на сварочном шве с каждого конца. (Рис 11-8). Образец затем разрушается и проверяется зона сцепления.

Разрушающий контроль является ценным инструментом для поддержки превентивной программы и систем контроля JMDT. Рабочий персонал должен иметь на своих местах всё необходимое оборудование для проведения разрушающего контроля быстро и эффективно. Результаты контроля должны быть зарегистрированы с указанием номера плавки и рулона, чтобы можно было вести статистический учёт. Все усилия, направленные на повышение качества продукции, должны начинаться с целью предотвратить появления дефектов. Полагаться только на 100%-ный контроль значит увеличивать себестоимость и снижать производительность.

## **Проверка измерительных приборов**

Мы иногда забываем, что даже на самом лучшем оборудовании от постоянной эксплуатации может нарушиться калибровка. Это касается счётчиков, манометров, самописцев, микрометров, рулеток, штангенциркулей и т.д. При должной программе контроля за измерительными приборами вы сможете быстро установить причины проблем и их устранить. Нет управления без измерения, а хорошее управление означает точное измерение. Контроль за калибровкой приборов легко осуществлять на компьютере, используя любую из многих имеющихся программ.

## **Организация службы контроля качества**

Мы не рекомендуем создавать большие отделы по контролю качества. Справедливо, что наилучшее качество не нуждается в контроле. Наиболее развитые фирмы создали программы ответственности за качество, и каждый сотрудник отвечает за качество своей работы.

Группы обеспечения качества составляют спецификации, методики и контролируют каждого оператора на соблюдение ими требуемых технических условий. Это не новая идея; это называется мастерство. Не имеет значения, как это будет выполняться, но руководство контроля качества должно быть беспристрастным и независимым от руководства производством. Каждый руководитель должен готовить и передавать отчёт вышестоящему руководителю, который ответственен за работу фирмы в целом и который может принимать решения, оказывающие влияние на нижние звенья производства. Этот руководитель должен болеть за качество и мыслить как финансист.

изучение поверхности излома

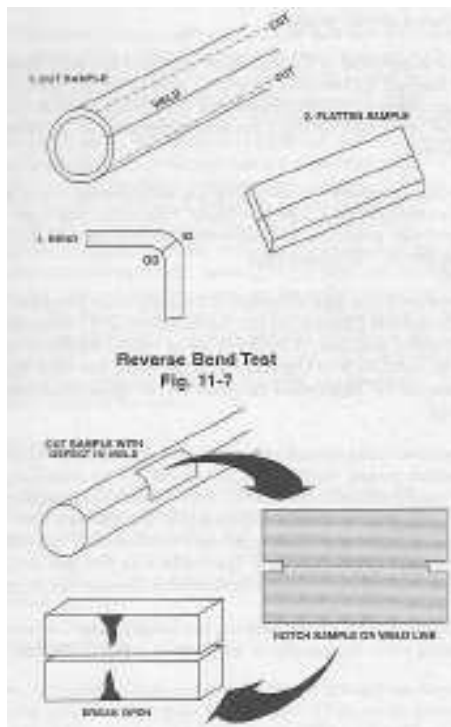


Рис.

Разрез сварного образца с двумя надрезами 11-8

## Техобслуживание и качество

Когда всё идёт гладко, то у нас никогда нет времени на техническое обслуживание, а когда возникают проблемы – мы никогда не можем найти денег! Совершенно очевидно, что нельзя ожидать, что какой-либо механизм может исправно работать в течение какого-то времени без соответствующего ремонта. При работающем прокатном стане незапланированная остановка может привести к задержке выпуска продукции, неисполнению поставок и снижению качества продукции. рубопрокатный стан с изношенными вальцами, неровными валами, изношенными или искривлёнными шестернями, загрязнённым хладоагентом, неисправными импидорами и т.д. не сможет производить качественную продукцию!

Каждый узел стана от входного контроля до участка отрезки заготовок должен быть составной частью программы планово-предупредительного ремонта (ППР). И здесь также не следует содержать огромную ремонтную службу. Многие можно сделать операторами стана под контролем квалифицированных ремонтников.

Перечень регулярных работ по обслуживанию и ремонту большой, но он выполним, если его своевременно обновлять. Планируйте время остановки стана, выполняйте качественно программу ППР, и тогда качество и производительность будут оставаться на высоком уровне.

Существует много прекрасных компьютеризованных программ ремонтных работ, которые можно легко изучить и фирма Thermatool приветствует их использование. Полный перечень ремонтных работ сварочного агрегата можно найти в Инструкции по работе операторов, а если вам потребуется квалифицированная специальная помощь, отдел обслуживания клиентов фирмы Thermatool всегда к вашим услугам.

Если вы действительно заинтересованы в повышении качества продукции, обращайтесь к Американской Организации по Контролю качества и запросите информацию по Статистическому Управлению Технологическим Процессом (SPO), Управлению по контролю качеством (TQM), или Спецификации Международной Организации по стандартам ((ISO 9000). Но будьте готовы к значительным затратам времени и денег для реализации этих методик. И прежде чем начать действовать, убедитесь, что в этом заинтересованы и вас поддерживает исполнительное высшее руководство вашим предприятием.

Помните, что правильный учёт является ценным инструментом для устранения неисправностей при нарушении технологического процесса или качества продукции.

## ГЛАВА 12

### ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Сварка труб из нержавеющей стали значительно отличается от сварки труб из высококачественной углеродистой стали, что будет изложено ниже.

#### НЕРЖАВСТАЛЬ

Одним из главных отличий между углеродистыми сталями и нержавеющей сталью является точка плавления образующихся окислов. Другое отличие состоит в диапазонах температур нагрева нержавеющей стали, при которых достигается качественная сварка, которые меньше, чем диапазон углеродистых сталей.

Образующиеся на поверхности окислы в углеродистой стали плавятся обычно до плавления стали. Поэтому углеродистую сталь можно варить, практически не расплавляя металл и получая сравнительно чистую сварку, хотя это редко делается. Нержавистая, аустенитная или ферритная, включает в себя значительное количество хрома в качестве легирующего элемента, который способствует окислению при сварке, образуя сложные оксиды хрома на прилегающих поверхностях сварки. Из-за высокой температуры плавления они могут препятствовать качественному шву сварки, поэтому требуются специальные операции по их удалению из плоскости соединения. Важно, чтобы для их удаления из плоскости сварки расплавлялось достаточное количество металла, и чтобы этот металл выдавливался при осадке. С другой стороны, при расплавлении слишком большого количества металла может произойти нестабильность в V-образном проходе сварки, что приведёт к некачественной сварке.

#### Состав материала

При возможности приобрести низкоуглеродистые стали, как например, 304L, желательно использовать их, а не высокоуглеродистые стали. Существует вероятность, что излишний не вступивший в реакцию алюминий или титан явится причиной неметаллических включений в плоскость сварочного соединения. Этот момент нужно обсудить с поставщиками материалов.

#### Чистота материала

Большое количество естественных неметаллических включений в нержавеющей стали (шлаковые включения) могут привести к дефектам, аналогичным кольцевым трещинам в трубах магистральных трубопроводов. Они могут присутствовать в зоне сварки и очень напоминать как дефекты сварки. Поэтому нужно принять меры, чтобы материал не содержал много крупных неметаллических включений.



### **Выпуклость и твёрдость рулона**

Чем ровнее и прямее рулон, тем лучше он будет обрабатываться на стане. В нормально отлаженном стане мягкая полоса проходит ровнее, чем более твёрдый материал из-за свойства стана исправлять любые неизбежные неровности. Нужно следить за тем, чтобы не прогибать полосу во время повторной намотки её после операции резки.

### **Состояние кромки полос**

Качественные кромки полос совершенно необходимы при сварке нержавеющей стали. Кромки должны быть ровными и содержать минимум заусениц. Особое внимание должно быть обращено как на состояние кромки, так и на настройку ножей резака. Кроме того, особенное внимание следует обращать при погрузке, транспортировке и разгрузке обрезанных рулонов между участком резки и трубопрокатным станом, так как любое повреждение кромок вероятнее всего приведёт к дефектам сварки.

Необходимо также следить за тем, чтобы кромки были чистыми, поскольку любые инородные частицы, попавшие в кромку, приведут к сварочным дефектам.

### **Ширина полосы**

Ширина должна рассчитываться опытным путём, исходя из конечного диаметра трубы, обжатия при проходке в прокате, необходимого для правильного сжатия сварного шва и окончательной проходки на обребнение в секции сортировки по размерам. Изготовитель ролика для накатки для трубопрокатного стана должен представить теоретическую ширину полосы, на основе конструкции своего оборудования. Тем не менее, это только начальная точка, от которой нужно отталкиваться при определении необходимой ширины полосы для конкретного материала и набора инструментов. Конструкции валков следует уделить особое внимание при сварке нержавеющей стали и цветных металлов.

### **Геометрические размеры сварного V-образного раствора**

Рекомендуемая геометрия сварного V-образного шва требует добавления угла в 5 градусов для нержавеющей стали. Это определяется замером расстояния от осевой линии сварочных обжимных валков до передней части рабочей катушки и шириной между кромками полосы и рабочей катушки. Затем определяется угол, исходя из условий, что кромки полосы должны быть ровными и что вершина V-образного прохода находится на осевой линии обжимных валков.

На некоторых станах применяется изолированный шовный направляющий между последним проходом оребрения и сварочными прижимными валками. Он не должен использоваться как расширитель шва для раскрытия больше его натуральной ширины, которая является шириной последнего ребра плюс величина упругости между кромками, так как это может привести к образованию расщепов.

### **Расщепы**

Расщепы – это мелкие длинные кусочки металла, которые могут образоваться от трения кромок полосы о металлические детали стана. Есть много мест, где это может произойти, но два наиболее вероятных участка это стойка опоры сердечника и кромки направляющей шва. Если допустить образование расщепов и они попадут в зону сварки, то не избежать проблем при сварке. В некоторых случаях они могут образовываться на индукционной катушке, вызывая проскок дуги либо от катушки на обрабатываемую деталь или между двумя оборотами катушки. Эта дуга моментально отбросит ток от сварочного шва и приведёт к временному падению температуры в точке сварки и к потенциальному дефекту сварки.

Расщеп может также попасть в V-образный сварной разрез и вызвать короткое замыкание в разрезе, прежде чем он успеет полностью завариться. Расщеп быстро испарится. Тем не менее, в течение этого периода времени ток, протекающий обычно от этой точки до вершины V моментально прервётся и опять-таки у нас появится потенциальная причина для возникновения дефекта сварки.

### **Обработка кромки полосы в вальцах прохода оребрения**

Если резка произведена нормально и формирование кромок выполнено правильно, большой обработки кромок при проходах через валки оребрения не потребуется. Если резка выполнена плохо и кромки получились грубыми есть возможность выровнять и выправить их при последнем проходе через валки оребрения и добиться качественной сварки. Однако возможно также, что это приведёт к образованию расщепов и, как было сказано выше, окажет отрицательное влияние на качество сварки.

Параллельность кромок, сходящихся в V-образном вырезе больше важна в нержавеющей стали, чем в углеродистой стали, так как нержавеющая сталь проявляет большую упругость, чем углеродистая сталь. Кромки стремятся закрыться сначала внутри трубы, а затем снаружи. Это в свою очередь приводит к перегреву внутреннего диаметра и недогреву наружного диаметра.

Перегрев внутреннего диаметра может привести к образованию расплавленного металла на импидоре и/или на сердечнике и недогрев наружного диаметра может явиться причиной дефектов сварки наружного диаметра.

### **Индукционная катушка**

Индукционная катушка может быть такой же общей конструкции, как и для углеродистой стали, длина катушки должна быть примерно равной её внутреннему диаметру, и расстояние от оси прижимных валков до переднего торца катушки должна также быть примерно такой же как диаметр катушки L??? (уточнить в оригинале, дефект сканирования). Если прижимные валки слишком велики, может не оказаться физически возможным приблизить настолько катушку. Однако длинный V-образный сварочный шов расширяет зону нагрева, что в свою очередь, может ограничить прижимное усилие в месте сварки. Это может усложнить или сделать не возможным достижение необходимого качества сварки.

### **Вода в V-образной зоне сварки**

Одним из важнейших требований для достижения высокого качества сварки на нержавеющей стали является устранение кислорода из зоны сварки. Вода диссоциирует при температуре сварки и выделяет большое кол-во кислорода, образуя неметаллические включения (уточнить: дефект сканирования!!!). Поэтому важно проводить сварку в сухих условиях. Это значит, что используемая для охлаждения прижимных валков вода не должна попадать в зону сварки и что хладагент прокатного стана, используемый для предотвращения истирания и прилипания металла на прокатных валках, не должен заполнять трубу и затем выливаться в зоне сварки.

### **Пенообразование**

Пеной обычно называют мелкие частицы металла, которые выбрасываются из зоны сварки во время ВЧ сварки в результате действия электромагнитных сил, создаваемых токами сварки. Пена, создаваемая нержавеющей сталью, обычно выглядит как смесь очень мелких сферических частиц металла и тугоплавких окислов. Если эта пена оседает на прижимных сварочных валках, она может накатываться на поверхность трубы, что нежелательно в любом случае, а особенно это нежелательно при сварке высококачественных орнаментальных труб из нержавеющей сталей. Эту металлосодержащую пену можно удалять с прижимных валков скребками. Они обычно изготавливаются из войлока или стальной ваты из нержавеющей стали и их можно промывать от грязи охлаждающей жидкостью. Однако чрезвычайно важно, чтобы жидкость направлялась точно на участок промывки во избежание окисления, как было сказано выше, и чтобы частицы пены не попали в зону сварки, что может привести к дефектам сварки.

## **Импидор**

Используемые импидоры для сварки нержавеющей стали в принципе такие же, как и при сварке углеродистых сталей, однако нужно внимательно следить за тем, чтобы охлаждающая вода импидора не выливалась на сварочный шов.

## **Зачистка внутренних валиков сварки**

Зачистка внутренних валиков сварки производится либо соответствующей промывочным инструментом для внутренней зачистки, либо закатывая их во внутреннюю полость трубы. Однако мы не рекомендуем закатку валиков сварки, если требуется высокое качество сварки, поскольку твёрдые тугоплавкие окислы в валиках сварки могут проковываться в стенки трубы, существенно снижая прочность трубы в термически ослабленной зоне сварки.

При использовании инструмента для внутренней промывки важно, чтобы сохранялся достаточный зазор вокруг головки инструмента для свободного прохода хладагента трубопрокатного стана. При недостаточном зазоре вода будет скапливаться в трубе и просачиваться в зону сварки, что, как раньше было сказано, не допустимо.

## **Мощность сварки**

Оптимальной мощностью сварки считается минимальная мощность, при которой достигается удовлетворительное качество сварки. Регулировка мощности сварки, как правило, осуществляется, наблюдая за пеной у вершины сварочного шва.

Пена, образующаяся в виде желтых или оранжевых капелек небольшого диаметра, обычно сбрасывается вниз от зоны сварки как внутрь трубы, так и наружу. Равномерное образование пены свидетельствует о достаточной мощности сварки и нормальных условиях прокатного стана. Неравномерное образование пены говорит о плохих условиях сварки и о её плохом качестве. Причиной этого могут быть отклонения от механических проблем прокатного стана, например, расцентровка вальцев или валов, излишняя мощность или и то, и другое.

## **Инертный газ**

При должном следовании изложенных в данном пособии указаний применение инертного газа не требуется. Если оператор изъявил желание применить инертный газ, например аргон, то следует отметить, что относительно сильная струя инертного газа, направленная в место сварки, принесёт только вред. Струя инертного газа захватит большое кол-во воздуха и в момент её соприкосновения с поверхностями зоны сварки внесёт туда большое кол-во кислорода.

При использовании инертного газа его поток должен быть чётко направлен и отрегулирован так, чтобы обеспечить необходимую очистку вокруг зоны сварки, не создавая высокой скорости потока, которая может вогнать воздух в сварной шов. Форсунка должна размещаться на достаточном расстоянии по ходу трубы, так чтобы газ проходил через V-образный разрез трубы в нижнюю часть и так, чтобы пена с вершины сварочного шва не попала в форсунку.

Для контроля потока газа во время настройки можно установить соленоид вблизи форсунки инертного газа. Форсунка должна быть изготовлена из пластика или керамики, поскольку любой металл вблизи индукционной катушки или сварного шва очень чувствителен к индукционному нагреву. Подача газа должна осуществляться через электромагнитный вентиль, который подаёт газ только при включённом сварочном агрегате.

Для расчёта и регулярной подачи газа после первоначальной регулировки необходимо установить простой расходомер. Подача воздуха в зоне сварки не желательна, так как поток воздуха может разорвать поток газа в сварном шве. Для этого также необходимо предусмотреть установку вентиляторов и хорошую воздушную тягу вокруг рабочего места оператора стана.

### **Оптимизация настройки стана**

В целом желательно установить параметры максимальной осадки, скорости сварки и угла сварного шва, минимальной длины V-образного разреза (расстояния от передней части катушки до осевой линии сварных прижимных валков). Вследствие различий между механической частью трубопрокатного стана и агрегатом для сварки невозможно задать абсолютных параметров, поэтому для определения оптимальных параметров для получения максимальной производительности нужны контрольные эксперименты.

### **Чистота**

Грязь в зоне сварки от прокатного стана может также приводить к появлению дефектов. Поэтому важно поддерживать чистоту прокатного стана, убирая стружку углеродистой стали, а также излишки смазочных веществ и т.д. Особое внимание должно быть уделено на любые части, соприкасающиеся с кромками полос, такие как боковина и верхние углы валков оребрения. Важна также чистота хладагента прокатного стана и поэтому нужно предусмотреть эффективную систему фильтрации.

### **Испытание сварного шва**

Система испытания сварного шва чрезвычайно важна, так как некачественно проведённое испытание может привести к отбраковке материала прокатного стана, который фактически находится в пределах спецификации или наоборот, принять продукцию, которая не соответствует спецификации, и в дальнейшем может быть либо забракована или привести к браку труб на выходе.

Наиболее распространёнными являются пробы на раздачу и на вальцевание. При использовании прочных материалов стенок часто используют пробы на сплющивание. Как правило, пробы должны быть выполнены так, чтобы подвергнуть трубы на удлинение аналогично с теми условиями, какие требуется для их изготовления. Поэтому если при окончательном процессе применялась раздача, то необходимо проводить пробу на раздачу. Если применялось развальцевание, то и пробы должны быть на развальцевание и т.д. Важно, чтобы инструменты и приборы для проведения проб и тестов были соответствующей конструкции и проходили необходимый технический осмотр для получения совместимых параметров тестирования. Методика тестирования должна быть правильно изложена и её необходимо строго придерживаться с тем, чтобы не происходило разночтений в результатах тестирования из-за человеческого фактора. При пробах на раздачу или на развальцевание материалов, на которых не удалены внутренние валики сварки, необходимо предусмотреть небольшие пазы для возможности свободного прохода внутренних сварных валиков. Если этого не сделать, то внутренние сварные валики могут проковываться во внутреннюю поверхность труб, создавая концентраторы напряжения, которые могут привести в дальнейшем к преждевременному разрушению труб. Металлографические срезы сварного шва покажут степень полученной осадки, а также ширину и равномерность зоны сцепления. В аустенитных нержавеющей металлах металл приобретает дендритовую структуру, вызванную сваркой. При отжиге структура металла перекристаллизуется. Однако перед отжигом исследование дендритовой структуры важно для оценки степени однородности сварки и выжима металла. Желательно иметь узкий равномерный слой. Волосообразные края дендритовой структуры представляют собой ликвацию границ зёрен, и его не следует смешивать с выделением вторичных фаз по границам зёрен, которое всегда является проблемой при сварке на очень малых скоростях. Это также устраняется при отжиге.

Степень осадки можно иногда увидеть при исследовании линий связи, видимых на слабовыраженной полосчатой структуре, которая имеет место у большинства нержавеющей сталей. Хотя и трудно измерить это в количественном отношении, но небольшая осадка важна для хорошего качества сварки. Это свидетельствует о высокой степени сжатия при сварке в результате правильной регулировке V-образного шовного пространства.

.Неразрушающий контроль во время работы стана является хорошим средством отслеживания точного момента нарушения технологического процесса. Однако нам не известны производимые в настоящее время приборы неразрушающего контроля, обладающие достаточной чувствительностью, которые бы с абсолютной степенью достоверности определяли бы качество сварки, и поэтому мы рекомендуем проводить такой контроль параллельно с механическими пробами и металлографическим контролем, но не заменяя неразрушающий контроль.

## **Контроль**

Поскольку последствия некачественной сварки стоят очень дорого, желательно и экономически возможно осуществлять постоянный контроль на трубопрокатном стане при сварке труб из нержавеющей стали. До начала и во время производства сварочных работ службой контроля должны быть проверены и исполнены по списку важные подготовительные процедуры, регулировку стана и т.д. Должна быть составлена технологическая карта на каждый вид продукции, включающая перечень необходимого инструмента, установочные размеры для каждой размоточной установки рулонов и такие пункты, как установка индукционной катушки и импидора. В эти перечни должны входить также спецификации входного материала, спецификации тестов и проб, и другая информация, относящаяся к конкретной продукции. Таким образом, достигнув необходимых параметров, можно повторить прежние параметры до начала работ по производству последующей партии одинаковой продукции. Хотя это не даст гарантии, что самый первый продукт следующей партии будет иметь аналогичное качество, что и самый последний продукт предыдущей партии из-за неизбежных колебаний там и здесь, которые не возможно задокументировать, тем не менее это обеспечит отправную базовую точку, которая по крайней мере, близка к предыдущей партии и сократит до минимума всевозможные настройки и число тестов для установления правильных рабочих параметров.

## **Патронная латунь**

Патронная латунь или латунь марки 70-30, обычно используется для водяных труб, особенно для автомобильных радиаторов и канализационного дренажа. Коррозия – это проблема и поэтому любая металлическая фаза в сварке, которая намного чувствительнее к коррозии, чем основной металл, представляет опасность. В латунях с 70% меди и ниже определён образование бета-фазы при быстром нагреве и плавлении с последующим быстрым охлаждением. Бета-фаза чувствительна к коррозии и поэтому обычно её не допускают. Несколько более высокий процент содержания меди или отжиг после сварки или более низкая скорость сварки и повышенная осадка могут устранить бета-фазу. Некоторые марки латуни 70-30 оказываются чувствительными к горячему надрыву, и мы полагаем, что это результат присутствия примесей в латуни.

Латунь марки 70-30 имеет другие свойства, которые могут создать проблемы. Трещины образовавшиеся от коррозии под напряжением являются следствием высокого остаточного напряжения, вызванного присутствием аммиака и влаги. В латуни с твёрдой сваркой и оставленной открытой в производственной окружающей атмосфере или даже вблизи любого источника аммиака и влаги могут образоваться трещины в зонах повышенного напряжения. Это не обязательно связано со сваркой.

Более обогащенные марки латуни, например, НО-20 и 85-15 легче поддаются сварке, чем марки 70-30. Видимо, марки 70-30 особенно чувствительны к мощности сварке, но ещё не совсем ясны причины этого.

Окислы, образующиеся на поверхности V-образных сварных швов, могут быть причиной дефектов. В некоторых случаях очень положительно влияли на качество сварки используемые флюсы. Неясно, действие ли это инертных газов, которые вносили флюсы или реальное свойство самих флюсов связывать окислы. Совершенно очевидно, что флюсы являются важным компонентом в процессе сварки, так как отмечено большее количество дефектов, когда флюсы случайно забывали добавлять.

### **Алюминиевые сплавы**

Чистый алюминий, марки 1100 и 3003, как правило, легко поддаётся сварке.

Алюминиевые сплавы с медью поддаются сварке без всяких проблем. Однако сплавы алюминия с магнием варить трудно. Основной проблемой является нестабильность сварки вероятно из-за высокой вязкости металла и поверхностного напряжения, создаваемого присутствием магния.

При сварке отожжённого алюминия страдает зона сварки, которая мягче стенки труб. Для достижения относительно нормальной прочности необходимо утолщать зону сварки. Большой угол V-образной прорези (5-7 градусов) более высокая скорость улучшают качество сварки.

### **Титан и цирконий**

Эти два материала часто рассматриваются вместе в технологии сварки, поскольку оба они высоко реакционные и при высоких температурах легко вступают в реакцию с кислородом, азотом, и водородом. Эти три элемента диффундируют в металл с образованием хрупких и чувствительных к коррозии составов. Сварной шов, в котором не обнаруживается неметаллических включений на линии сварки, не обязательно чистый шов, так как окислы могут поглощаться соседним металлом. Поэтому важно, чтобы зона сварки была чистой, сухой и инертной. Титан и цирконий, исключительно дорогие металлы с низкой стоимостью скрапа, должны использоваться только в исключительных случаях.

Цирконий применяется в основном для оболочки тепловыделяющего элемента в ядерных реакторах, где требуются очень высокое качество и надёжность. Поскольку в настоящее время требуется сравнительно небольшое количество этого материала, мало вероятности, что его будет коммерчески выгодно производить для ВЧ сварки.



С другой стороны, титан несколько легче варить и может найти применение для труб теплообменников в опреснительных установках и для этой цели потребуется большое количество. Не уверенности, что здесь потребуется высокая степень чистоты. Кстати, титан является сверхпластичным при высоких температурах, что усиливает сварку стальных конструкций. Кроме того, высокая ковкость титана, которая имеет место в ВЧ сварке, улучшает свойства материала настолько, что в некоторых случаях лучше применять сварку сопротивлением, чем сварку плавлением.

### **Медь**

Насколько нам известно, все нормальные марки меди легко поддаются ВЧ сварке. Эти марки включают пек с высоким электролитическим уровнем, свободный кислород с высокой проводимостью, высоко раскисленный фосфор и низко раскисленный фосфор. Вследствие своей высокой теплопроводности медь лучше сваривается при высокой температуре. Сварка меди должна рассматриваться в плане жёсткого соблюдения параметров процесса и стабильности переменных величин. Сварка меди производилась в промышленном масштабе с хорошими результатами, но при этом требуется обращать особое внимание на детали механической части прокатного стана и точности.

## **ГЛАВА 13**

### **Проблемы сварных швов. Дефекты в стальных трубах**

До сих пор мы рассматривали базовые вопросы, связанные с высокочастотной сваркой стальных труб. Нас также интересовали влияющие на сварку основные переменные, под которыми подразумеваются события, которые, как и в любом другом процессе, могут происходить периодически и беспорядочно. В данной главе мы попытаемся рассмотреть отдельно случаи, связанные с электрическими и механическими проблемами.

#### **Проблемы с подачей тока**

Мгновенные изменения в параметрах сварочного тока и соответственно колебания в нагреве V-образной впадины могут быть вызваны целым рядом причин. Это могут быть проблемы источника питания, генератора, системы контроля, дополнительного оборудования, самой трубы.

#### **Линейное напряжение**

В связи с тем, что к системе питания время от времени подключаются другие электроприборы, в сети могут возникать внезапные изменения линейного напряжения. Если колебания слишком велики, они окажут влияние на сварочный процесс.

#### **Пульсация напряжения и прерывистая сварка**

Вызванные работой выпрямителя периодические колебания напряжения могут негативно сказаться на качестве сварки. Если одно плечо трехфазного выпрямителя не работает, в сети возникают заметные колебания напряжения, и сварочный шов на трубах из низкоуглеродистой стали становится прерывистым. Обычный частотный цикл колебаний (360) на качестве сварки стальных труб не сказывается, поскольку он легко нивелируется стандартными фильтрами. Если же речь идет об алюминиевых и медных трубах, а также о трубах из нержавеющей стали, здесь требуется применение фильтров В+. При обработке тонких поверхностей, а также поверхностей из цветного металла и нержавеющей стали колебания в напряжении и соответственно перерывы в сварке становятся особенно заметны, когда мощность трансформатора недостаточна. Если не удастся получить 80-90% требуемой мощности, ситуацию может исправить более длинная катушка. Внести соответствующие изменения в конструкцию трансформатора вполне возможно, но предварительно об этом нужно сообщить компании Thermatool. Ее представители должны осмотреть вашу систему, прежде чем она будет модифицирована. Устранить проблему поможет удаление импидора, но в этом случае необходимо принять особые меры предосторожности, чтобы не произошел перегрев трубы.

### **Нагрев импидора**

Сокращение подачи охлажденной эмульсии на импидор может привести к тому, что он разогреется до температуры, превышающей точку Кюри, и тогда в значительной мере перестанет выполнять свои функции. Подаваемая мощность останется прежней, а температура места сварки резко снизится (оператор сразу же это заметит). Недостаточно хорошо продуманная конструкция или неисправность импидора так же как и подключенное к системе дополнительное оборудование (неисправные фильтры, насосы и т.п.) могут явиться причиной такого же эффекта. Трансформатор Thermatool Automatch transformer автоматически компенсирует последствия обычного износа импидора и соответственно сокращает количество сварочных дефектов.

### **Контакты**

Теоретически контакты проходят по заданному месту на каждой стороне V-образной впадины, и длина этой впадины постоянна. В действительности поверхность трубы имеет неровности. Когда контакты поднимаются на образовавшуюся выпуклость, V-образная впадина становится чуть длиннее, а когда спускаются в углубление, впадина укорачивается. В результате мы получаем колебания импеданса V-образной впадины и как следствие разницу в нагреве различных участков поверхности.

Когда под контакты забиваются твердые образования, или контакты соскакивают с высоких участков поверхности в углубления, в этот момент могут возникнуть скоротечные провалы в мощности подаваемого тока.

### **Преддуговые разряды**

Любой дуговой разряд, прошедший по электропроводке, контактам или V-образной впадине, на короткое время вбирает в себя часть или всю подаваемую на место сварки энергию. Такие разряды имеют вид голубой вспышки, и оператор легко может их различить. Был проведен ряд исследований, установивший зависимость возникновения подобных вспышек от наличия в материале неметаллических примесей. Таким образом, если вы работаете с качественным материалом, в котором нет неметаллических примесей, преддуговые разряды у вас появиться не могут.

### **Механические неполадки**

Трубопрокатный стан – это очень большой и сложный механизм с большим числом движущихся деталей. Обрабатываемые на нем заготовки не всегда в точности соответствуют требуемым параметрам. Каждый агрегат имеет свои особенности, и, конечно же, многое зависит от настройки оборудования. В силу этих причин время от времени в работе трубопрокатного стана происходят сбои.

### **Изменение длины V-образной впадины**

Рабочая длина сварочной впадины, так же как и осадка при стыковой сварке могут варьироваться по разным причинам. Поперечное сечение листа периодически меняется при нарезке заготовок или вследствие эксцентричной работы валков прокатного стана. Соответственно V-образная впадина ритмично открывается и закрывается. Такой эффект называют «дыханием». Одновременно с этим происходит удлинение или сокращение впадины. Когда лист становится уже, впадина удлиняется, и сила подаваемого тока уменьшается. Если же лист расширяется, впадина укорачивается, а ток усиливается.

Эксцентричность сварочных валков производит такой же эффект. Если оба сварочных валка эксцентричны, эффект «дыхания» проявляется с меньшей очевидностью, так как валки работают на разных скоростях.

Вкупе все эти три эффекта (изменения ширины листа, эксцентричность шовонаправляющих и сварочных валков) влияют на осадку и длину V-образной впадины совершенно непредсказуемо, и только когда присутствует какой-то один эффект, параметры впадины и осадки могут быть просчитаны.

### **Колебания V-образной впадины**

Периодические боковые колебания V-образной впадины происходят из-за неточностей в работе валков, неравномерного разогрева кромок, а также по некоторым другим причинам.

### **Искривление продольной кромки**

Искривление продольной кромки в листовой заготовке для сварных труб приводит к ряду осложнений. Заготовка может скрутиться, пробуксовать, или на одной из кромок появятся складки. Особенности искривления зависят от катушки, а иногда при использовании одной и той же катушки можно получить разный результат.

### **Складки на краях**

Вытягивание краев листовой заготовки и последующее появление складок – явление весьма распространенное. В этой связи были проведены интересные исследования. Они показывают, как на вытягивание заготовки влияют особенности конструкции профилировочных механизмов прокатного стана.

Когда край вытянут, он плохо поддается компрессионному сжатию. При проверке работы некоторых трубопрокатных станков было замечено, что складки на краях заготовок из жесткого материала образуются чаще, нежели на листах из более мягкого материала. Вероятно, бороться с образованием складок можно посредством рекомпрессии при условии, что края листовой заготовки четко удерживаются и направляются валками.

Переходя от валков к V-образной впадине, вытянутый край приподнимается. При чрезмерном растяжении он приобретает волнообразную форму, и тогда подъемы и углубления образовавшихся складок начинают оказывать влияние на контакты и геометрию V-образной впадины. Если деформация слишком велика, может произойти обрыв (перекос).

#### **Обломочный материал в V-образной впадине**

Присутствие значительного количества инородного материала между подогнанными и сваренными по шву поверхностями обычно означает, что работа выполнена некачественно. Для появления подобного «мусора» существуют разные причины. Он может явиться следствием сварочного процесса, при котором образуются неметаллические материалы. Иногда обломочный материал появляется из внешних источников. Об этом мы как раз и поговорим в следующих параграфах.

#### **Твердые образования**

На поверхности разогретой листовой заготовки имеются твердые образования. По своей структуре они довольно хрупки и поэтому легко удаляются с поверхности, когда лист оказывается в формообразующей секции прокатного стана. Отслоившиеся твердые образования подхватываются охлаждающей эмульсией и затем оседают на основании валков, за контактами и в других местах. Если твердые образования оказались в V-образной впадине, на сварочный процесс они оказывают такое же влияние, как образовавшиеся во время сварки окислы. Иногда такие образования отвлекают на себя значительное количество энергии и формируют преддуговой разряд. В этом случае в сварочном шве обязательно возникнет холодная зона. Если же этого не произошло, твердые образования отправляются на вершину V-образной впадины и остаются там, пока их не вытеснит осадочный материал.

Если вы хотите получить качественный сварочный шов, заранее удалите с поверхности заготовки обнаруженные твердые образования.

#### **Металлические частицы**

Существует несколько источников появления металлических частиц. Чаще всего они образуются в результате истирания краев заготовки о поверхность металлических инструментов и деталей прокатного стана. Такие частицы могут иметь самую разную форму.

Еще одним источником их появления являются образовавшиеся во время сварки расплавленные кусочки металла, которые затем попадают в V-образную впадину. Подхватываемые охлаждающей эмульсией металлические частицы нередко оказываются в V-образной впадине, и когда такое случается, практически однозначно можно предсказать возникновение преддугового разряда, который в свою очередь станет причиной образования в сварочном шве дефектной зоны.

### **Сварочные окислы**

Когда речь заходит о дефектах, причиной которых явились неметаллические материалы, мы в первую очередь имеем в виду образовавшиеся во время сварки окислы, которые не были до конца удалены с того места, где проводятся сварочные работы. Для того чтобы подобные дефекты не появлялись вновь, крайне важно знать, как эти окислы образуются.

### **Типы окислов**

Некоторые окислы тугоплавки, но их можно удалить вместе с верхней расплавленной пленкой металла. Другие, напротив, плавятся очень легко, и чтобы от них избавиться, нужно сдавить две твердые поверхности, и тогда эти окислы просто вытекут. Есть также окислы с вязкой структурой. Чтобы их расплавить, требуется высокое давление и температура. Такие окислы трудно удалить, поскольку металл под ними может расплавиться. Поэтому их нередко оставляют на сварочной поверхности.

За исключением низколегированных сплавов и углеродистой стали практически все металлы покрываются тугоплавкими окислами. На поверхности углеродистой стали образуется оксид, вязкость которого может значительно повыситься при добавлении некоторых элементов, например, марганца.

### **Блиппинг (появление пятен или отметин)**

Несомненно, все предыдущие комментарии по поводу организации сварочного процесса остаются в силе. Тем не менее, порой возникают обстоятельства, когда все правила и основы ведения сварочных работ подчиняются эффекту блиппинга. Такое название было дано явлению, под которым подразумевается нестабильное состояние жидкости (жидкого металла?) на вершине сварочного соединения. Данный феномен впервые наблюдался в 1966 году, и как потом выяснилось, он является периодически встречающимся дефектом сварочных швов труб из нержавеющей стали.

Это явление не имеет существенного значения для низкоуглеродистой стали, и, напротив, его обязательно нужно учитывать, если материал при сварке выделяет пенообразную субстанцию. К таким материалам относятся алюминий, латунь, нержавеющая сталь, медноникелевый сплав, титан и другие металлы.

#### **Механизм блиппинга**

В V-образной впадине на сопрягаемых при сварке поверхностях начинает скапливаться расплавленный материал, который затем направляется к широкому краю впадины. Поверхность расплавленной субстанции окисляется и превращается в оксидную пленку (рис. 13a). Обладая относительно более высоким натяжением поверхности, пленка затягивает жидкую субстанцию в мениск (рис 13b). Оказавшись в V-образной впадине, ток проходит по ближайшей к мениску поверхности (пунктирные линии на рисунке 13b) и на вершину впадины уже не попадает.

Когда ток проходит через мениск, порождаемые им электромагнитные силы создают существенное гидростатическое давление внутри мениска. Наконец, наступает момент, когда мениск достаточно увеличился в размере и созрел для того, чтобы находящаяся под пленкой жидкость вырвалась наружу. Как правило, расплавленный металл стекает в двух направлениях – внутрь трубы и наружу (рис 13-2). Скорость потока выбрасываемой жидкости довольно велика.

Часть оксидной пленки разрушается в V-образной впадине, а другие ее фрагменты уносятся пеной. Затем образуется новый мениск и действие повторяется. В результате всего этого процесса вершина V-образной впадины попеременно нагревается и охлаждается. Пока мениск увеличивается в размере, продолжительность разогрева поверхности V-образной впадины сокращается, а когда пленка рвется, скорость разогрева очень быстро приходит в норму. Мениск начинает расти с толстого конца капли и затем распространяется на ее тонкий конец.

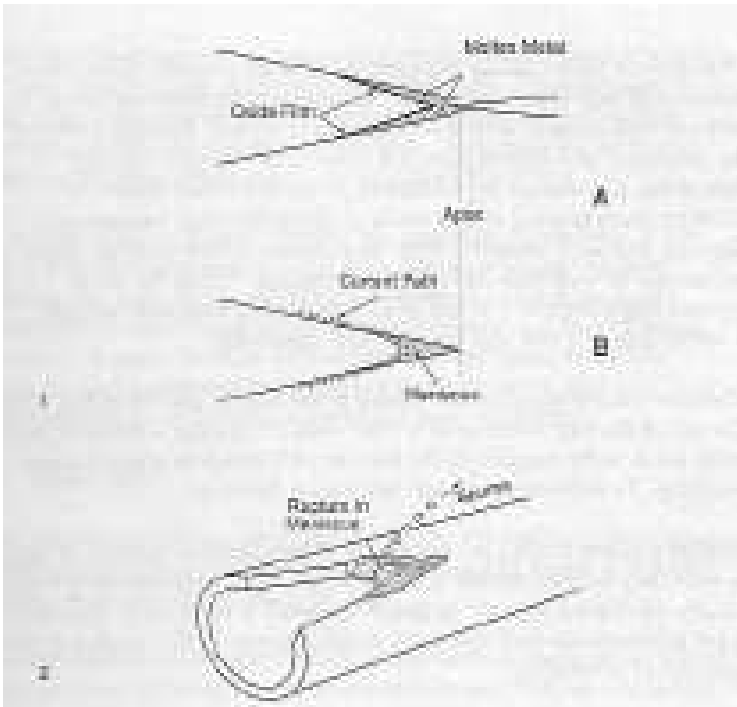


Fig. 13-1, 2

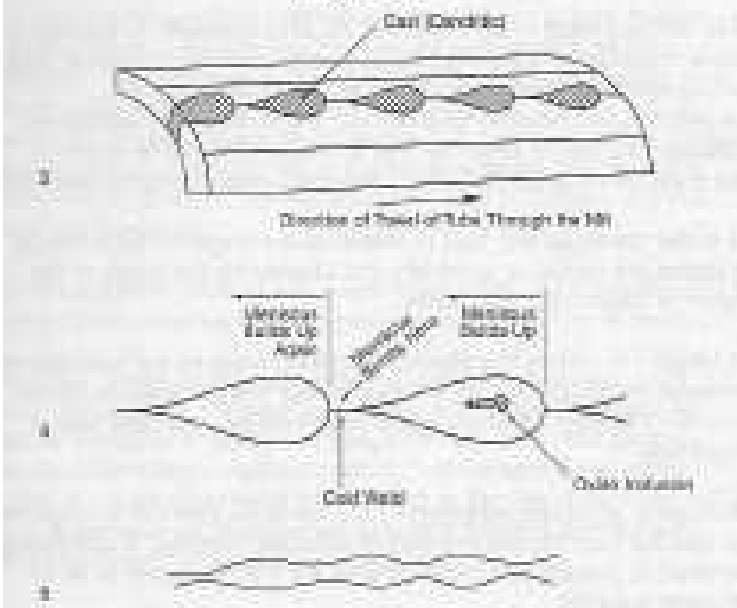


Fig. 13-3,4,5



Обычно вызванные блиппингом дефекты есть не что иное, как вкрапления неметаллических материалов. Производимый ими эффект ошибочно можно принять за стежковую сварку, которая в свою очередь вызвана колебаниями напряжения в сети. Частота блиппинга, тем не менее, не может быть равна 120 или 360 циклам. Необходимо помнить, что производить стежковую сварку на частоте равной 60 циклам практически невозможно, поскольку эффект разогрева поверхности происходит на вдвое большей частоте.

Явление блиппинга было выявлено в большом частотном диапазоне - от 03 до 500 циклов в секунду. Вызываемые им дефекты, как правило, появляются в двух местах (см. рис.13-4). Тонкий конец капли формируется на холодном участке сварочного шва, а окислы скапливаются в ее толстом конце.

При самых крайних проявлениях данного эффекта могут возникнуть точечные отверстия, но подобное происходит довольно редко. Блиппинг нередко проявляется в мягкой форме, и его в этом случае нелегко распознать. Многие материалы фактически не позволяют сделать сварочный шов совершенно ровным и единообразным из-за того, что расплавленный металл на вершине сварочного соединения находится в нестабильном состоянии.

### **Решение вопроса**

Чтобы удерживать эффект блиппинга под контролем, во-первых, можно использовать материалы без компонентов, вызывающих высокое поверхностное натяжение. К таким компонентам относятся алюминий, марганец, возможно также титан и молибден, входящие в состав легированных сталей. Проводились исследования зависимости особенностей блиппинга от температурного режима. Они показали, что химический состав металла в этом смысле существенного влияния не оказывает.

При более широком угле V-образной впадины длина мениска сокращается, но вместе с тем увеличивается его нестабильность. На более глубокую (длинную) впадину вариации с длиной мениска оказывают меньшее воздействие, а более высокая скорость сварки компенсирует увеличение времени разогрева.

Инертный газ затормозит процесс окисления поверхности и заметно снизит эффект блиппинга. Однако его использование затрудняет сварочный процесс, так что это далеко не самое привлекательное решение.

Мощность сварки также оказывает определенное влияние на блиппинг. Мы не раз замечали эффект блиппинга при высокой мощности сварки. Вероятно, его появление обусловлено большим количеством расплавленного материала, а также возникновением мениска. Вместе с тем, явление блиппинга наблюдается и при низкой мощности сварки.

Какую-то лепту в появление блиппинга вносят характеристики генератора, а также соотношение импеданса и длины V-образной впадины. Более продолговатая впадина оставляет больше времени для образования окислов. Когда впадина сокращается, ток увеличивается и соответственно происходит больший разогрев.

#### **Применение газа**

Применение инертного газа во время высокочастотной сварки может замедлить образование окислов в V-образной впадине. Обычно для этой цели используют аргон и реже более дорогой гелий.

Когда применяется подобный метод, впадина заполняется газом, и процесс окисления приостанавливается, однако нужно позаботиться еще и о том, чтобы во впадину не попали окисляющие продукты, такие как вода и воздух.

Не допустить проникновения воды в зону сварки – задача довольно сложная. Трубопрокатный стан работать без охлаждающих эмульсий не может, поскольку иначе тут же возникнут проблемы с трением. Контакты обычно также требуют внешнего охлаждения (в отличие от индукционных катушек). Если в системе задействован импидор, необходимо следить за тем, чтобы его охлаждающий агент не попадал в V-образную впадину. Можно также использовать импидор с возвратным стоком. Попадающая на верхнюю часть импидора пена будет там скапливаться, если не предпринять каких-то мер по ее удалению.

Когда внутри проводятся работы по удалению дефектов, в используемый при этих работах аппарат может забиться стружка, и тогда в V-образной впадине начнет скапливаться вода.

Кромки сварочных валков при контакте с зоной сварки нагреваются. Для их охлаждения нередко используется внешнее водяное охлаждение. Если применяется такой метод, валки нужно протирать тщательно и насухо. На некоторых прокатных станах в сварочных валках используется внутренняя система охлаждения. В этом случае в их конструкции должны применяться жаростойкие материалы. Во избежание перегрева краев, возможно, следует увеличить зазор между краями (кромками) сварочных валков.

Газ в район сварки следует подавать очень аккуратно, так как при высокой скорости подачи в эту зону может проникнуть воздух. Обычно для этой цели используется насадка, которая понижает скорость подачи газа и позволяет избавиться от турбулентности в газовом потоке. Снаружи или изнутри газ направляют на вершину V-образной впадины. При этом может использоваться «газовый башмак», который не позволяет воздуху проникнуть в зону сварки. Если газы хранятся в жидком виде, при подаче на место сварки они обычно сохраняют низкую температуру. В результате края (кромки) могут переохладиться, и соответственно снизится эффективность сварочного процесса.

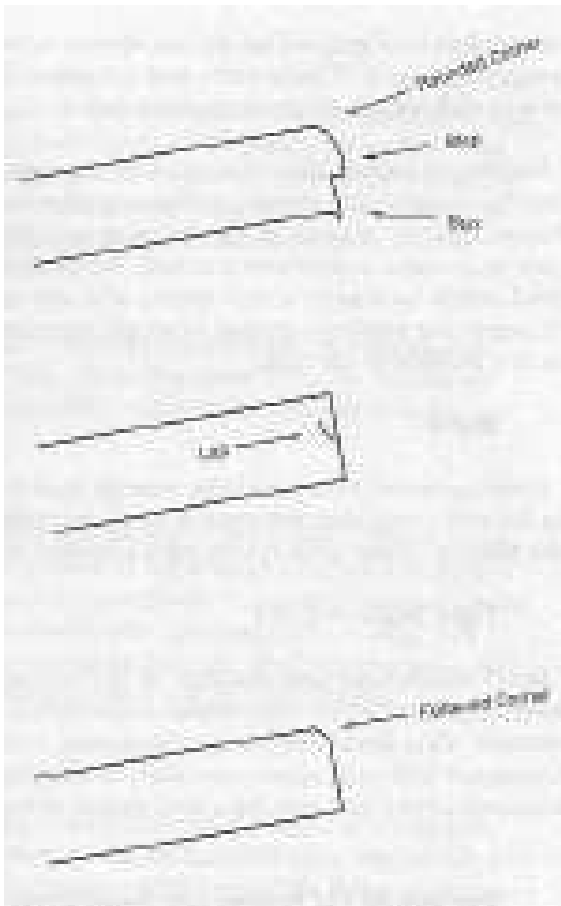
#### **Состояние кромок заготовки**

Состояние кромок заготовки оказывает существенное влияние на качество сварки. Плохо обрезанные края могут явиться причиной возникновения дефекта. Края заготовок обрабатываются непосредственно на прокатном стане или заранее. В случае с высокочастотной сваркой обработка краев на прокатном стане практикуется крайне редко. Если обрезание краев осуществляется до прокатного стана, нужно иметь в виду, что при неправильном обращении уже обработанные края могут быть повреждены, и тогда заготовка поступит на прокатный стан с дефектом. Впрочем, и на самом прокатном стане заготовка может получить повреждение. Так, например, дефект может возникнуть из-за скопившейся на кромках заготовки ржавчины, присутствие которой способно изменить вязкость расплавленного металла. Когда состояние краев заготовки вызывает вопросы, мы рекомендуем остановить прокатный стан и взять образец материала из района V-образной впадины. Сначала проводится общий осмотр образца под стереоскопическим микроскопом, и если требуется, осуществляется анализ его поперечного сечения (под большим увеличением).

#### **Закаты**

При обрезании кромок с одной стороны всегда образуется закругленный угол, а с другой заусенец (см. рис 13-6). Кроме того, появляется небольшой разрыв, из-за которого возникает эффект разрушения при растяжении. Как правило, заготовка кладется на прокатный стан заусенцами вверх, чтобы они имели минимальный контакт с валками. Шовонаправляющие валки сдавливают края заготовки и формируют ровную поверхность. Если края обрезаны правильно, и валки находятся в хорошем состоянии, такая операция проходит без осложнений.

Если обрезка выполнена некачественно, на краях могут появиться большие разрывы, а они в свою очередь являются причиной образования заката (см. рис.13-7). Закат появляется в тот момент, когда заготовка проходит через шовонаправляющие валки. Образуется он в продольном направлении и, следовательно, на него воздействует подаваемый на место сварки электрический ток. Стык между закатом и заготовкой действует как барьер на пути разогрева всей детали, и поэтому температура заката значительно выше температуры остальной заготовки. Как следствие материал, из которого образовался закат, может расплавиться и окислиться раньше, чем прилегающие к нему участки, и тогда на месте спайки возникнет дефект.



Резаная кромка полосы металла  
Рис. 13-6

Резаная кромка полосы металла  
Рис. 13-7

Край металлического листа после  
прохождения стана  
Рис. 13-8

Когда листовая заготовка попадает на прокатный стан, направляющие валки центрируют ее и ведут по прокатной линии. Нередки случаи, когда плохо отрегулированные валки скашивают углы заготовки (рис. 13-8). Такое, например, случается при входе листовой заготовки в формообразующую секцию, поскольку здесь очень высокая скорость, и лист сильно бьется углом о формовочные валки. Если подобный дефект возник по вине шовонаправляющих валков, и заготовка со скошенным углом попала в V-образную впадину, угол в этом случае останется холодным, и осадка на его месте не будет соответствовать установленным требованиям.

### **Засечки**

Если до попадания на прокатный стан заготовки проходили операцию по продольной нарезке, при контакте с погрузо-разгрузочными ремнями, цепями и другим оборудованием они могли получить повреждения в виде засечек, бороздок и т.п.

Речь идет об ощутимых повреждениях на краях заготовок из нержавеющей стали, которые, тем не менее, не могут считаться дефектами, поскольку на хорошо отлаженном прокатном стане они легко удаляются. Бывают, конечно, и очень серьезные повреждения, и тогда их относят к дефектам.

При сварке труб из алюминия высокого качества рекомендуется проводить тщательную обработку краев, поскольку даже незначительные повреждения кромок могут негативно повлиять на результат сварочных работ. Алюминий очень практичен с точки зрения его обработки на прокатном стане. Он легко режется даже на высокой скорости, и при этом износ инструмента крайне невелик. Обработку краев других материалов, например, нержавеющей стали, проводить на прокатном стане мы, напротив, не рекомендуем, так как при существующей скорости проката износ инструмента окажется неприемлемым. Таким образом, прежде чем обрабатывать тот или иной материал, необходимо учитывать его свойства.

### **Заусенцы**

Если заусенцы довольно длинные, они в результате трения о механизмы прокатного стана обламываются и в дальнейшем становятся основной причиной возникновения преддуговых разрядов.

### **Плотные образования и загрязнения**

Наилучшего качества сварки нам удалось добиться в том случае, когда края заготовок из алюминия и нержавеющей стали обрабатывались сразу при поступлении на прокатный стан. У нас только возникли некоторые осложнения, связанные с тем, что катушки долгое время лежали на улице или где-то в районе прокатного стана и с них пришлось удалить не один слой грязи.

### **Повреждения, нанесенные направляющими шва и шовонаправляющими валками**

Для того чтобы в сварочном шве не было дефектов, необходимо следить за состоянием направляющих шва и шовонаправляющими валками. Их нужно содержать в чистоте и, конечно же, большое значение имеет, как они настроены. С валков и направляющих нужно удалить металлические заусенцы, поскольку они являются основной причиной возникновения преддуговых разрядов. Изношенные шовонаправляющие валки могут повредить края заготовок. То же самое можно сказать и о направляющих шва.

### **Послесварочные повреждения**

До сих пор мы рассматривали процессы, которые происходят на прокатном стане до момента проведения сварочных работ. Вместе с тем, существует ряд процедур, которые выполняются уже после сварки, и которые также оказывают влияние на качество сварочного шва.

### **Растрескивание под воздействием высоких температур**

Если физические характеристики материала таковы, что в нем при высокой температуре появляются трещины или после сварки он испытывает эффект пружинения, сварочный шов в этом случае может частично или полностью разорваться.

Подобное межзеренное растрескивание выявляется только при помощи металлографического анализа. В материалах с такими характеристиками обычно содержится много серы или недостает марганца, а может быть и то, и другое.

### **Косые стыки**

Образование косых стыков может привести к ряду осложнений. Во-первых, появляются заглублина, и, как следствие, зона сварки истончается. Если материал недостаточно обрезан, может возникнуть выступ, по причине которого при последующих операциях в стенках трубы образуются трещины. Неровности в косых стыках затрудняют тестирование и мешают выявить дефекты. Затупленные инструменты по удалению поверхностных дефектов могут разорвать поверхность, и качество изделия окажется неприемлемым.

### **Горячая прокатка**

Когда вырубка (или огневая зачистка?) поверхностных дефектов внутри трубы нежелательна, а поверхность должна быть ровной, применяется метод горячей прокатки. Опасность этой процедуры заключается в том, что в районе сварочного шва образуется множество продольных трещин, которые обычно находятся под поверхностью. Если на шов не оказывается серьезное воздействие, и материал достаточно эластичный, такие трещины вполне допустимы. Тем не менее, мы как-то рассматривали случай, когда довольно прочный материал был сварен по шву и затем прошел горячую прокатку. В результате удар молотка с внешней стороны трубы привел сварочный шов в полную негодность.

### **Формовка и холодное растяжение**

Любая серьезная холодная обработка зоны сварочного шва может инициировать разрушительный процесс или, по крайней мере, усилит остаточное напряжение.

Гидравлическое растяжение трубопровода может явиться причиной таких разрывов, которые каким-то другим способом вызвать нельзя. Некоторые производители используют это свойство как способ контроля за качеством. После холодного растяжения мы рекомендуем провести тестирование трубопровода с использованием неразрушающих методов.

### **Испытание на сдавливание**

Тест выполняется следующим образом: короткий кусок трубы, а иногда просто кольцо кладется под пресс и затем частично или полностью сжимается. Если пресс имеет горизонтальные рабочие поверхности, тогда при установке сварочного шва в верхней или нижней точке (по 12-часовой или 6-часовой стрелке) с внешней стороны он будет испытывать сдавливание, а с внутренней натяжение. Если же шов разместить сбоку (по стрелке, направленной на 3 часа или 9 часов) с внешней его стороны будет наблюдаться натяжение, а с внутренней сдавливание. Обе эти позиции обычно упоминаются в технических условиях.

Уже на начальном этапе такого тестирования в зоне сварочного шва появляются растяжения, которые могут обходиться и без разрывов, если материал достаточно эластичен, и если в его структуре нет каких-то изъянов.

Каждому типу труб предъявляются свои требования по сдавливанию. Есть трубы, которые должны пройти тест сдавливания на  $2/3$  от их диаметра, и после этого в зоне сварочного шва у них не должно появиться видимых дефектов. Другие трубы сдавливаются на  $1/3$ , а некоторые - от стенки и до стенки.

Что считать дефектом, решается уже позже, когда зона вокруг шва рассматривается при сильном увеличении. Все зависит от тщательности осмотра, величины и формы трещин, а также критериев, по которым определяется пригодность изделия.

Ломкие швы, которые обычно встречаются у труб из высокоуглеродистой (более 25%) или легированной стали, можно подправить (нормализовать) путем выправления самого шва или корпуса трубы.

### **Нормализация**

Для того чтобы тест на сдавливание мог измерить физические свойства зоны сварочного шва, эта зона должна быть схожа по своим физическим свойствам со стенками трубы. Если толщина зоны шва и стенок трубы совпадает, но при этом зона шва имеет более низкий предел прочности, как, например, у прокатанной низкоуглеродистой стали или алюминия, в этом случае прогиб в зоне шва будет более ощутимым в сравнении с деформацией стенок трубы, и тогда сварочный шов может разорваться еще до окончания теста.

С другой стороны, если закаляемый материал, (например, лист для водопроводной трубы) уже был сварен по шву, а нормализация еще не выполнена, в этом случае зона сварочного шва может иметь более высокий предел прочности, нежели прилегающие стенки трубы, и тогда деформации подвергнутся именно стенки трубы. Это значит, что в зоне сварочного шва деформации не будет, и соответственно не будет дефектов. Нормализация шва позволяет избавиться от мартенсита, появляющегося в результате закаливания металла в районе сварочного шва. Измельчение зерен уменьшит опасность возникновения преждевременной коррозии шва и сделает шов менее ломким.

#### **Удаление поверхностных дефектов**

Удаление поверхностных дефектов в зоне сварочного шва может привести к тому, что шов станет слишком тонким, и появится чрезмерное напряжение. В результате шов может не пройти тестирование на сдавливание.

Если удаление поверхностных недостатков было проведено в минимальном объеме, район сварочного шва окажется негибким.

#### **Степень спаивания (сцепления)**

Какова должна быть степень спайки материала в зоне шва, чтобы труба могла пройти тест на сдавливание – вопрос спорный. Шов с низкой степенью спайки может пройти тест на сдавливание, если в районе шва сохраняются адекватные физические параметры. Иногда такие швы называются холодносварными соединениями. Если на соединительной поверхности появилась маленькая щель или трещина, она, в конечном счете, может привести к разрыву в том месте, где наблюдается наименьшая степень спаивания.

Если небольшие дефекты находятся под поверхностью, они во время теста на сдавливание могут быть не обнаружены. Дефекты в холодносварных соединениях часто остаются неразличимы при проведении ультразвуковой и электромагнитной дефектоскопии, и если их удалось выявить во время теста на сдавливание, остальные трубы следует также подвергнуть тщательной проверке.

#### **Дефекты, обнаруженные во время теста на сдавливание**

Информация о наименовании и природе дефектов, а также о том, как они могли появиться во время теста на сдавливание, будет изложена ниже.

#### **Морщины**

Небольшое неметаллическое соединение на внешней стенке трубы во время теста на сдавливание разрывается. Металлические кромки с обеих сторон остаются острыми. Появляется небольшая щель, похожая на рот (см. рис. 13-9). «Губы» завиваются в сторону, противоположную от места разрыва. Щель приобретает вид морщинистого рта, откуда, собственно и появилось наименование дефекта.



## Раскол

Стенка трубы может расколоться частично или полностью по всей длине изделия. Причиной этого может быть недостаточная спайка шва (такие швы называются еще холодносварными). Возможно также, что раскол произошел на поверхности, непосредственно прилегающей к зоне соединения. В этом случае причиной дефекта, скорее всего, является недостаточная поперечная эластичность материала. На месте разрыва холодносварного шва обычно образуется ровная поверхность, в то время как в районе с недостаточной поперечной эластичностью поверхность на разломе имеет шиферную структуру (см. рис 13-10). Если мы имеем дело с трубой из мелкозернистой стали, сказать, почему она раскололась, затруднительно. Для этого нужно провести металлографический анализ.

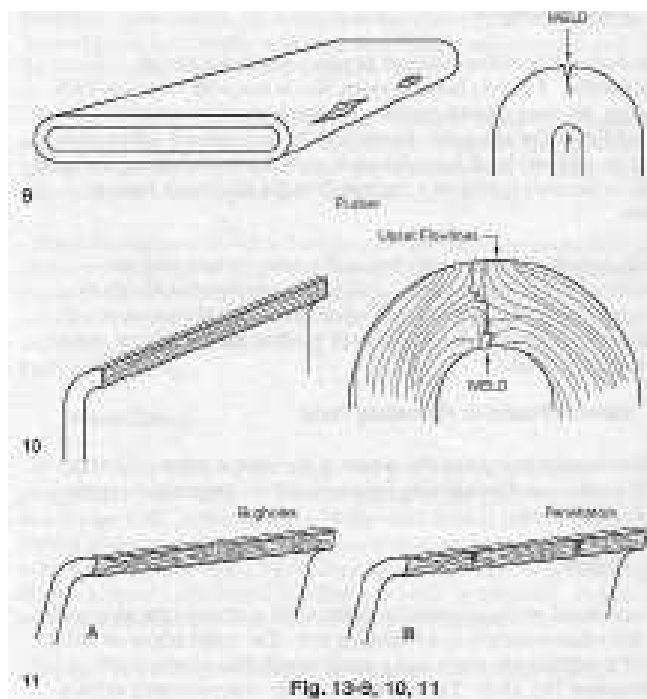


Рис. 13-9, 10, 11

### **Ломкий сварной шов**

Во время теста на сдавливание материал в районе шва разрывается иногда таким образом, что на разломе обнаруживается шероховатая или зазубренная поверхность. Разрыв с такими характеристиками происходит в районе с хрупкой межзёренной структурой и уже начавшимся образованием трещин. Возможно также, что после сварки шва начался процесс образования горячих трещин, или металл во время сварки шва так закалился, что последующие операции на прокатном стане (например, рихтовка или калибровка по размеру) инициировали процесс трещинообразования, который завершился во время теста на сдавливание.

### **Пустоты**

Речь идет о многочисленных неметаллических вкраплениях радиальной формы. Они образуются на месте спайки и находятся на небольшом расстоянии друг от друга (см. рис. 13-11). Если поверхность на месте спайки не разорвана полностью, очень сложно определить глубину этих дефектов, поскольку пустоты могут выглядеть как морщины. Если же стенка трубы разорвана полностью, дефект легко может быть идентифицирован. Тест на излом – лучшее средство для выявления подобных изъянов.

### **Темные пятна**

Это – широкие неметаллические вкрапления черного или синего цвета. Во время теста на сдавливание в таких местах происходят разрывы. Темные пятна обычно имеют форму треугольника, вершина которого направлена к центру трубы, а основание к внешней стороне. Впрочем, форма может быть любой (рис. 13-11b). Дефект этот вызван присутствием в сварочном шве большого количества неметаллического материала. Обычно такой материал попадает в шов из внешних источников – твердых образований или в результате преддугового разряда.

### **Плоские пятна**

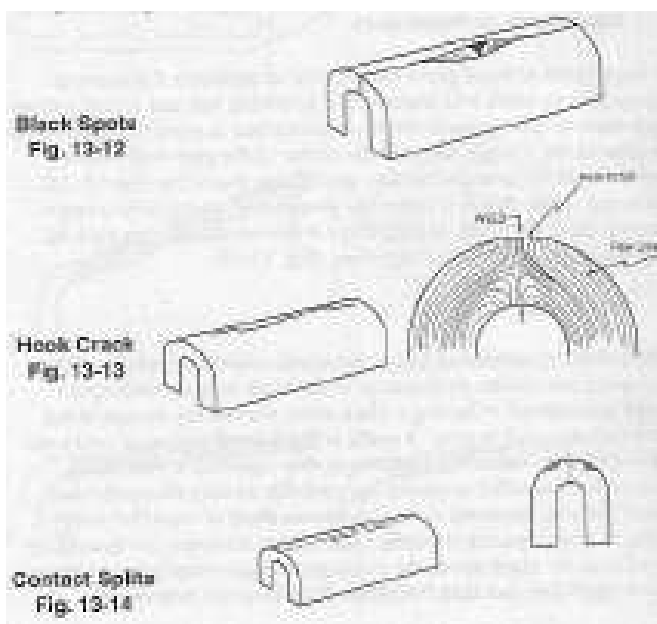
Дефекты подобного рода именуется по-разному: плоские пятна, белые или серые пятна. По своим характеристикам такие изъяны схожи с темными пятнами, но вместо черного цвета окисленной поверхности они имеют серый цвет. Эти дефекты очень похожи на небольшие участки холодосварного соединения. Возможно, они возникли из разбросанных по поверхности маленьких сгустков неметаллического материала и поэтому не образуют непрерывный покров, а скорее имеют форму кружева. Происхождение у этих дефектов такое же, как и у темных пятен, но на изделие они не оказывают столь пагубного воздействия. Вытянутые плоские пятна, вероятно, возникли вследствие перерыва в подаче питания.

### Крючкообразные расколы

В тесте на сдавливание такие разрывы обычно выглядят как длинные расколы на внешней поверхности. Иногда их также называют поверхностными расколами. В поперечном разрезе они принимают крючкообразную форму, повторяющую кривизну линии течения металла при осадке (см. рис. 13-13). Дефекты подобного рода появились благодаря присутствующим в заготовке неметаллическим образованиям. Они формируют слабую зону, которая обязательно разрушается во время сварки шва, калибровки, или когда проводятся тесты на растяжение и сдавливание.

### Разрывы в зоне контактов

Если обрабатываемый материал способен закаливаться, и в дополнение к этому зона сварки шва была нормализована, а район контактов данную процедуру не прошел, в этом случае на обеих сторонах сварочного шва могут образоваться поверхностные зоны с ломкой структурой. Когда поверхность сильно изгибается, например, во время теста на сдавливание, в этом районе может произойти разрыв (см. рис. 13-14). Такие разрывы находятся на самой поверхности и, скорее всего, в глубину не уйдут ни при каких обстоятельствах, поскольку зона прогрева под контактами невелика. Существует мнение, что такие разрывы являются источниками коррозии.



Темные пятна  
Рис. 13-12

Крючкообразные расколы  
Рис. 13-13

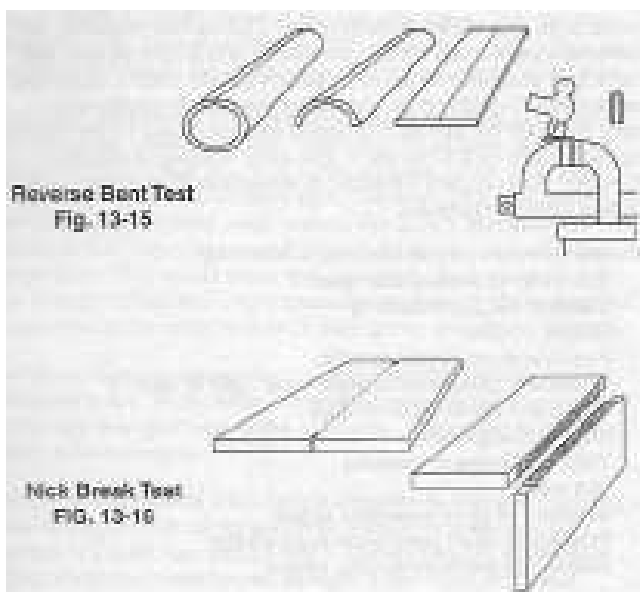
Разрывы в зоне контактов  
Рис. 13-14

### Испытание на изгиб с перегибом

Во время теста на стенке небольшого куска трубы в двух местах производится продольный надрез на стороне, противоположной сварному шву или расположенной под углом в 90 градусов. Затем труба сдавливается таким образом, чтобы сварной шов оказался посередине образовавшейся панели. Затем панель зажимается в тиски и загибается через их край. В этот момент натяжение внутри шва доходит до своего максимума (см. рис. 13-15).

Испытание на изгиб с перегибом сродни тяжелым режимам теста на сдавливание. Разница только в том, что здесь растягивается внутренняя часть шва. Испытание выявляет дефекты внутренней поверхности, которые не удастся обнаружить во время обычного теста на сдавливание в той его части, когда сварочный шов устанавливается под прессом в верхней или нижней точке (по 12-часовой или 6-часовой стрелке). Испытание на изгиб с перегибом проходят изделия, которые должны отвечать техническим условиям, установленным Американским обществом по испытанию материалов (ASTM).

Из-за того что подготовка образца к испытанию занимает много времени, данный тест часто не применяется вовсе. В отличие от него тест на сдавливание выполнить очень легко. Все дефекты, выявляемые при выполнении теста на сдавливание, обнаруживаются и во время испытания на изгиб с перегибом.



Испытание на изгиб с перегибом  
Рис. 13-15

Испытание на излом образца с  
надрезом  
Рис. 13-16

### **Испытание на излом образца с надрезом**

Небольшая панель со сварочным швом надрезается ножовкой с любого края места спайки и затем в тисках сгибается вдоль шва (см. рис. 13-16). По месту спайки вдоль шва или рядом с ним образуется разлом. Данный тест помогает обнаружить плоские пятна и пустоты. Он также выявляет зоны ломкого сварного шва и места и с холодносварным соединением.

### **Гидростатический тест и тест на расширение**

Гидростатические тесты выявляют только явную слабость в структуре поверхности, если они выполняются в легком режиме, не достигающем предела прочности материала. При давлении, не превышающем 50% процентов от предела прочности стенки трубы, можно обнаружить только очевидные дефекты в сварном шве, наличие которых свидетельствует о плохом контроле за качеством выпускаемой продукции. Если же во время теста давление равно или превышает предел прочности материала, в зоне шва будут найдены неявные слабые места.

### **Металлография**

Металлографический анализ сварных швов обычно проводится на поперечном сечении. По нашему мнению, исследование касательного сечения бывает также очень полезным. Обычно подготовка и исследование образца занимает от пятнадцати минут до часа. Большинство производителей качественных труб используют металлографический анализ перед запуском в серию нового изделия, а также для периодического контроля уже выпускаемой продукции. Во время тестов в изделиях выявляются дефекты, после чего их природа изучается методом металлографии.

Исследование поперечного сечения позволяет обнаружить много интересных вещей:

Симметричность разогрева и осадки

Ширину зоны плавления и термического влияния

Степень осадки

Наличие естественных неметаллических образований

Ширину и единообразие белого связующего слоя (white bond layer)

Глубину и центрирование операции по зачистке внешних дефектов (scarfing?)

Выравнивание стыкуемых кромок

Утолщение или утончение сварного шва

Образование горячих трещин

Наличие поперечных разрушений

Наличие на спайке неметаллических вкраплений

Наличие нежелательных легированных фаз

Исследование поперечного сечения позволяет выявить следующие явления:

Наличие неметаллических включений в виде пропластков (или строчечного включения?)

Единообразие блиппинга, зоны плавления и термического влияния

Наличие возможной периодичности неметаллических включений у внешней поверхности

Отсутствие давления осадки

Качество металлографического анализа имеет большое значение. Поэтому перед началом исследования нужно провести тщательную подготовку. Мы также советуем крепко удерживать край образца и использовать хороший микроскоп.

### **Испытание на ударную нагрузку**

В последние годы неоднократно выражалось беспокойство по поводу поломок газопроводов высокого давления. В этой связи были проведены исследования, которые показали, как происходит распространение разрывов. Выяснилось, что важным фактором является ударопрочность материала и его чувствительность к насечкам и надрезам. Кроме того, было установлено, что ударная прочность материала меняется при разных температурах. В частности, при температурах, превышающих переходную температуру, ударная прочность материалов имеет постоянное более высокое значение, и, наоборот, при температурах ниже переходной температуры ударная прочность имеет более низкое значение. Для углеродистых сталей переходный коридор варьируется в диапазоне от 90F до -60F. К счастью он ниже рабочей температуры трубопровода.

Исследования показали, что наиболее уязвимое место – это зона, прилегающая к белому связующему слою. Сам этот слой достаточно эластичен и прочен. Разрывы происходят только в том районе, где произошла сильная осадка материала. Наш опыт по измерению поперечной эластичности на коротком участке подтвердил свою эффективность и значимость. Он также показал, что трубы, прошедшие испытания на продольную эластичность и поперечную эластичность на длинном участке, могут разорваться в зоне, прилегающей к сварному шву из-за того, что они не обладают достаточной эластичностью на коротком участке.

Наш опыт подкрепляется многими фактическими данными, и мы неоднократно могли наблюдать, что некоторые трубы прекрасно переносят тесты на ударопрочность, другие же готовы разорваться при незначительных ударах.

Таким образом, если сам шов не имеет дефектов в виде неметаллических включений, крючкообразных растрескиваний или длинных ламинарных вставок, и он при этом не смог пройти испытание на ударную нагрузку, это практически наверняка означает, что сталь, из которой сделана труба, имеет слабую поперечную эластичность на коротком участке.

## **Дефекты. Обзор**

Очевидно, что очень многие явления могут быть отнесены к дефектам сварного шва. Причиной их появления может быть сам материал, его подготовка, формовка, сварочные работы, обработка изделия после сварки и т.д. В наименовании дефекта как, правило фигурирует место, где он появился, а не его суть или причина.

Ниже мы представляем сжатую и вместе с тем полезную информацию, которая упростит работы по поиску и устранению дефектов . Вместе с тем, всегда нужно иметь в виду, что короткие ответы не всегда бывают правильными, и только глубоко вникнув в проблему, вы сможете найти точное решение. Приведенные ниже комментарии по каждому дефекту не претендуют на то, что в них будут данные исчерпывающие сведения. Они лишь освещают основные моменты, о которых уже говорилось в этой главе. Наименования дефектов были отобраны с той точки зрения, чтобы они отражали характер изъяна, а не его внешние признаки. Здесь также рассматриваются наиболее частые случаи возникновения дефектов и способы их упразднения.

### **Список дефектов**

#### Дефекты на спайке (Bond plane defects)

Отсутствие плавления

Пористость

Отсутствие плавления на краях

Отсутствие плавления в центре

Слабый (хрупкий) шов

Периодически появляющиеся холодные и теплые точки

Нерегулярные короткие дефекты (short defects)

Пустоты

#### Дефекты в сварочном шве

Крючкообразное растрескивание

Малая эластичность зоны сварного шва

Разрушения (разломы) на месте контактов

Насечки на месте контактов (contact marking)

Истонченная зона сварного шва

Мягкая зона сварного шва

Трещины

Изношенный шов

<p>Наименование дефекта:  Другие наименования:  Описание: сопрягаемые при сварке поверхности голубого цвета, происходит легкое соединение (металлизация), отсутствие белого связующего слоя</p>	
<p>Причины:  Недостаточная температура   Недостаточный обжим</p>	<p>Меры по упразднению:  Обратить внимание на скорость и подачу питания  Увеличение ширины заготовки  Увеличение осадки</p>
<p>Наименование дефекта: пористость  Другие наименования: вытяжные отверстия  Описание: газовые карманы в зоне сварного шва, на разломе сферические разводы</p>	
<p>Причины:  Слишком высокая температура   Недостаточная осадка   Материал слишком грязный</p>	<p>Меры по упразднению:  Следить за скоростью и подачей электричества   Увеличение ширины заготовки  Увеличение осадки   Работайте с чистой сталью</p>
<p>Наименование дефекта: отсутствие плавления на краях  Другие наименования: расщепленный шарик (split bead)  Описание: один или два края сварного шва не имеют сцепления на довольно протяженном участке, иногда отсутствие на одной стороне белого связующего слоя</p>	
<p>Причины:  Края не ровные   Края не параллельные   Поврежден угол края (кромки)</p>	<p>Меры по упразднению:  Формовка края в шовонаправляющих валках   Правильная формовка  Правильная регулировка шовонаправляющих валков  Правильная регулировка сварных валков   Подправьте то место или агрегат, где это случилось</p>



<p>Наименование дефекта: отсутствие плавления в центре  Другие наименования: холодный центр  Описание: плоский серый разлом посередине сварного шва. Обычно толстый материал, отсутствие в центре белого связующего слоя</p>	
<p>Причины:  Недостаточно электрической мощности  Недостаточная осадка</p> <p>Недостаточное время разогрева</p>	<p>Меры по упразднению:  Увеличить подачу электроэнергии  Увеличение ширины заготовки  Увеличение осадки</p> <p>Удлинить V-образную впадину</p>
<p>Наименование дефекта: Слабый сварной шов  Другие наименования: Холодный сварной шов  Описание: разрыв в спайке, на месте разрыва гладкая ровная поверхность без видимых повреждений</p>	
<p>Причины:  Мелкие неметаллические частицы на месте спайки  Недостаточный обжим  Хрупкость на месте спайки</p> <p>Хрупкость в районе, прилегающем к месту спайки</p> <p>Низкая температура сварного шва</p>	<p>Меры по упразднению:  Увеличить скорость, увеличить подачу энергии,  Увеличить осадку (upset)  Использовать материал с меньшей способностью к закаливанию</p> <p>Удлинить V-образную впадину, замедлить ход прокатного стана</p> <p>Увеличить подачу электроэнергии</p>
<p>Наименование дефекта: периодически появляющиеся холодные и теплые точки  Другие наименования: эффект строчечной сварка, эффект блиппинга  Описание: появление дефектов через определенные промежутки</p>	
<p>Причины:  Неравномерность подачи электроэнергии (строчечной сварка)</p> <p>Эффект блиппинга</p> <p>Выгибание кромки</p> <p>Кромка повреждена валком или аппаратом продольной резки</p>	<p>Меры по упразднению:  Подача питания через фильтры, проверить состояние источника питания, проверить вольтаж по фазам</p> <p>См. параграф, посвященный этому эффекту</p> <p>Произвести формовку</p> <p>Проверить соответствующие агрегаты</p>

<p>Наименование дефекта: нерегулярные короткие дефекты в зоне спайки  Другие наименования: черные пятна, белые пятна, морщины и т.д.  Описание: периодически возникающие дефекты малой протяженности, вызывающие разрушение во время теста на сдавливание. На месте разрыва образуется ровная серая или бесцветная поверхность</p>	
Причины:	Меры по упразднению:
Грязь на прокатном стане	Очистить прокатный стан Профильтровать охлаждающую жидкость Добавить грязесъемники
Преддуговой разряд	Расширить угол V-образной впадины Очистить прокатный стан Удалить обломки
Контактное сопротивление	Снять с контактов налет (твердые образования) Обеспечить большее давление на контакт Подправить контакт
Грязный материал (очень маленькие дефекты)	Очистить материал Укоротить V-образную впадину Изменить химический состав материала
Неадекватные условия для сварки шва	Ускорить работу стана Откорректировать ширину листа Наладить подачу электроэнергии Расширить V-образную впадину Использовать инертный газ Произвести регулировку оборудования
Выгибание края (кромки)	Произвести правильную формовку Откорректировать изгиб листа
Изменение длины V-образной впадины	Откорректировать ширину листа
«Дыхание» V-образной впадины	Отрегулировать установки прокатного стана
Крен контактов	Выправить контакты

<p>Наименование дефекта: крючкообразные растрескивания  Другие наименования: вкрапление крючков  Описание: длинные разломы и трещины, образующиеся при расширении, во время испытания на сдавливание и неразрушающих тестов. Трещины могут не выходить на поверхность стенки трубы</p>	
<p>Причины:  Плохой материал  Наличие слоев с неметаллическими вкраплениями    Чрезмерно горячая осадка</p>	<p>Меры по упразднению:  Очистите лист,  Измените природу вкраплений. Для этого предпочтительнее использовать алюминий (а не кремний)  Купите чистую сталь  Уменьшите осадку (может вызвать дефекты на спайке)</p>
<p>Наименование дефекта: <b>Малая эластичность зоны сварного шва</b>  Другие наименования: малая эластичность, хрупкий сварочный шов, малая ударопрочность  Описание: сварной шов в месте спайки легко разрушается</p>	
<p>Причины:    <i>Шиферная структура</i>  Плохая поперечная гибкость на коротком отрезке    <i>Зернистое строение</i>  Материал имеет склонность к закаливанию    Горячие трещины</p>	<p>Меры по упразднению:    Работайте с металлом лучшего качества (с меньшим содержанием сульфидов)  Уменьшите осадку    Обратите внимание на химический состав материала  Очистите сварной шов  Удалите трещины (см. Трещины (crevices))    Обратите внимание на материал. Купите металл с низким содержанием серы</p>
<p>Наименование дефекта: Разрушения на месте контактов  Другие наименования:  Описание: Неглубокое растрескивание поверхности под контактами</p>	
<p>Причины:  Материал имеет склонность к закаливанию    Нагревание контакта во время работы</p>	<p>Меры по упразднению:  По возможности нивелируйте это свойство материала  Используйте индукционную катушку    Очистите поверхность контакта  Сожмите контакт  Передвиньте контакты ближе к рабочему краю</p>

<p>Наименование дефекта: Насечки на месте контактов (contact marking)  Другие наименования:  Описание: расплавленные следы (бороздки) на рабочей поверхности</p>	
<p>Причины:  Контактное сопротивление</p>	<p>Меры по упразднению:  Измените давление на контакт  Возможно, поврежден материал, из которого сделан контакт  Используйте индукционную катушку  Выполните абразивную полировку  Замените контакт</p>
<p>Наименование дефекта: Истонченная зона сварного шва  Другие наименования:  Описание: толщина стенки трубы в районе сварного шва меньше, чем в остальных местах. Шов разрушается раньше, чем стенки трубы</p>	
<p>Причины:  Производилась глубокая обработка  поверхностных дефектов</p> <p>Не выровнены стыкуемые кромки шва</p> <p>Трещины в сварном шве</p>	<p>Меры по упразднению:  Настройте отделочный инструмент</p> <p>Отрегулируйте установки прокатного стана  Используйте индукционную катушку  Выполните абразивную полировку</p> <p>См. раздел Трещины</p>
<p>Наименование дефекта: Мягкая зона сварного шва  Другие наименования:  Описание: сварной шов разрушается раньше, чем стенки трубы</p>	
<p>Причины:  Высокий нагрев из-за чрезмерного контактного сопротивления</p> <p>Чрезмерный нагрев после завершения сварки</p>	<p>Меры по упразднению:  Отрегулируйте давление на контакт  Используйте индукционную катушку  Выполните абразивную полировку</p> <p>Уменьшите температуру</p>

<p>Наименование дефекта: Трещины  Другие наименования:  Описание: рядом со швом обнаруживаются трещины, вызванные механическим воздействием</p>	
<p>Причины:  Насечки на валках  При удалении поверхностных дефектов появляются бисерообразные образования</p>	<p>Меры по упразднению:  Поменять инструмент</p>
<p>Наименование дефекта: Изношенный шов  Другие наименования: Отсутствие плавления  Описание: очень маленькая осадка, структура в форме литья</p>	
<p>Причины:  Очень низкая температура сварки    Узкая заготовка    Сварные валки слишком широко открыты</p>	<p>Меры по упразднению:  Отрегулировать параллельный резонансный контур    Откорректировать ширину    Закрыть валки</p>

## **СВАРНОЕ СОЕДИНЕНИЕ И ПОЛНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ТРУБ И ПАТРУБКОВ**

На многих установках, особенно на трубной обвязке строительных конструкций и трубопроводах для нефтяной и нефтехимической промышленности, сварные швы подлежат отпуску или нормализации.

При нагревании кромок для сварки сталь претерпевает изменение кристаллической структуры. При быстром охлаждении места сварки, например, охладителем на прокатном стане, нагретый участок может превратиться в очень твердую кристаллическую структуру, которая называется мартенсит. Оставленный без обработки мартенсит может привести к внезапным отказам в определенных условиях эксплуатации.

Конечная твердость мартенсита определяется содержанием углерода в свариваемой стали. Чем выше содержание углерода, тем тверже и хрупче мартенсит. Многие производители труб полагают, что сварка низкоуглеродистой стали (0.05-0.15% C) исключает образование твердого мартенсита. Однако они не учитывают скопление углерода ближе к центру трубных заготовок. Здесь содержание углерода может быть от двух до трех раз больше номинального. Углеродистая сталь с содержанием 0.06 может иметь выделенные зоны с содержанием до 0.20% углерода, которое в сочетании с марганцем может привести к твердости, свыше 40 по шкале Роквелла С. Такая твердость может вызвать образование трещин и дефектов при вводе в эксплуатацию.

Так как невозможно предотвратить образование мартенсита, необходимо предпринять усилия для его смягчения или полного удаления.

### **Комплект оборудования для нормализации швов**

Оборудование, необходимое для индукционной нормализации швов, состоит из источника среднечастотной энергии, индукционной катушки или индуктора и сопутствующего вспомогательного оборудования для охлаждения и механической поддержки индуктора(-ов). Несмотря на успешное применение вращающегося оборудования (электродвигателя-генератора) в качестве источника питания, ему на смену быстро пришли более эффективные и не требующие обслуживания твердотельные преобразователи с более высоким уровнем полезной мощности, обеспечивающим более высокие рабочие скорости современных прокатных станов.

### **Требуемая мощность**

Требуемая мощность является функцией производительности, выраженной в фунтах/час и заданной конечной температуры, необходимой для нормализации. При наличии рабочих параметров можно при помощи простых расчетов достаточно точно определить мощность, необходимую для нормализации.

Например, мощность, требуемая для нормализации шва трубы, диаметром 4.5" x 0.250" толщиной стенки при 150фт/мин и шириной околошовной зоны 0.75", равна:

$$\text{Вес/фут трубы} = 11.35 \text{ фунт/фут}$$

$$\text{Вес/фут околошовной зоны} = 0.25 \times 0.75 \times 12 \times 0.2778 \text{ фунт/дюйм}^3 = 0.625$$

$$\text{Нагрев фунт/час} = 0.625 \times 150 \times 60 = 5625$$

$$\text{Требуемая БТЕ/час} = \text{фунт/час} \times C \times \Delta T$$

C = средняя теплоемкость = 0.16 для стали от 100°Ф до 1800°Ф.

$\Delta T$  = увеличение температуры

$$= \frac{1.62 \times 10^6 \text{ БТЕ/час}}{3415 \text{ БТЕ/кВт/час}} = 474 \text{ кВт}$$

$$\text{Питание, кВт} = \frac{474}{0.71} = 668 \text{ кВт}$$

где КПД = 71%

## Выбор частоты

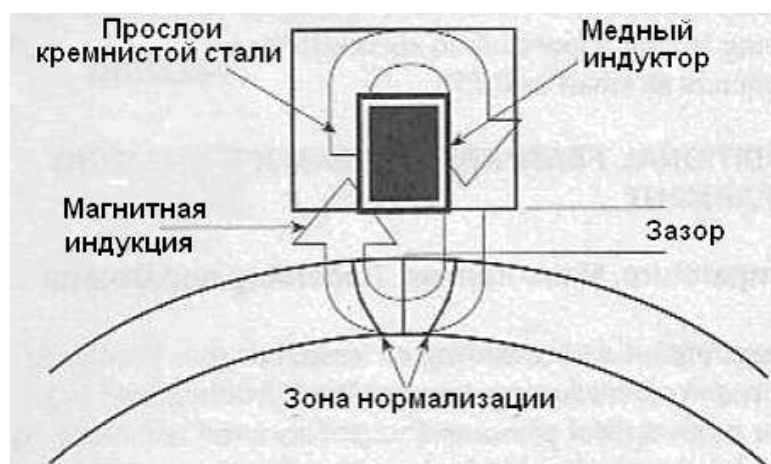
В любой установке индукционного нагрева рабочая частота источника питания в основном определяется глубиной теплопроницаемости, необходимой для нагреваемого материала. С увеличением частоты глубина проницаемости уменьшается.

Например, в индукционной сварке используется частота приблизительно 400кГц, так как необходимая глубина проницаемости очень мала (примерно 0,040 дюймов), тогда как для нормализации необходим прогрев всей толщины стенки, поэтому используется частота порядка от 1 до 3 кГц. Хотя, в идеале по расчетам, правильной может быть частота в 1кГц, существует современная тенденция использовать 3кГц. Выбор такой частоты является компромиссом между шумом и другими факторами, но при правильном выборе длины индуктора, правильного зазора между трубой или индуктором и ширины индуктора данные компромиссы минимальны. Также важно отметить, что глубина проницаемости значительно увеличивается при температуре стали выше температуры кюри (около 1400°Ф), а так как большинство температур нормализации превышают этот уровень, этот эффект используется с выгодой. Однако это достигается не без жертв, так как требуется больше мощности свыше точки кюри для поддержания той же скорости нагрева, и расчеты нагрева принимают это во внимание.

## Конструкция индуктора

Индукторы, используемые для нормализации швов, обычно называют разъемными обратными индукторами, и так как от них требуется перемещение больших объемов тока и размещение вблизи высоких температур, их конструкция должна быть особо прочной.

Рабочей частью индуктора является медная трубка квадратного или прямоугольного полого сечения, предусматривающего водяное охлаждение (рис. 14-1). Ширина определяется необходимой шириной зоны нормализации и длиной на кВт/кв.дюйм емкости медного индуктора (приемлемая нагрузка для такого типа индуктора составляет 100кВт/кв.дюйм фронтального сечения редуктора).



**Разъемный обратный индуктор**  
**Рис. 14-1**

Допустим, требуемая ширина зоны нагрева составляет 0.75", в этом случае будет использоваться индуктор шириной 1.0", а при использовании индуктора длиной 48" (48" x 1.0") фронтальное сечение составит 48кв.дюймов. При емкости 10кВт/кв.дюйм это будет означать, что приемлемая нагрузка на единицу мощности для данного редуктора составит 480кВт. Если для нормализации требуется большая мощность, то можно использовать более длинный индуктор или большее количество индукторов для поддержания нужной нагрузки, а в некоторых случаях для достижения лучшего температурного профиля.

Когда на индуктор подается среднечастотная мощность, то мощность или конфигурация линий индукции равномерно распределяется в индукторе и вокруг него. Для максимального повышения КПД индуктора и концентрации индукции в требуемой точке (трубы или патрубка) вокруг индуктора укладываются слои кремнистой стали для усиления индукции фронтального сечения. Этот принцип применяется и для других целей, например, закалки зубчатой шестерни, для достижения такого же эффекта концентрации необходимой мощности.

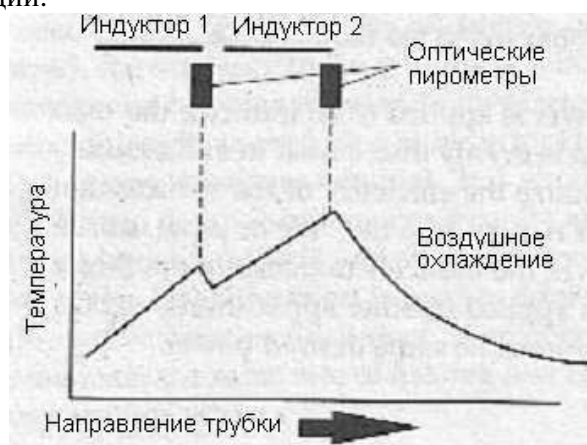


Подобным же образом, ширина индуктора не менее важна, чем его длина в отношении концентрации мощности и нагрузки. Углеродистая сталь ниже 1400Ф (760С) является магнитной и способна притягивать силы, образованные индукционными полями в индукторах со средней несущей частотой. В результате воздействия этих сил тонкостенная трубка малого диаметра, обладающая минимальной жесткостью, будет сильно притягиваться к индуктору для нормализации швов к той части его длины, где температура ниже точки Кюри, до тех пор, пока не превратится в немагнитную и притяжение уже не будет браться в расчет. Поэтому для этих изделий необходимо разработать индукторы, которые не только снизят силу притяжения, но и предотвратят контакт с индуктором при помощи цельных изолирующих роликов, сохраняющих необходимый зазор между трубкой и индуктором. С учетом доступности современных материалов, обеспечивающих электротепловые и механические потребности, необходимые в индукторах для нормализации швов, в настоящее время возможна успешная нормализация швов патрубков с таким малым диаметром, как 0,75".

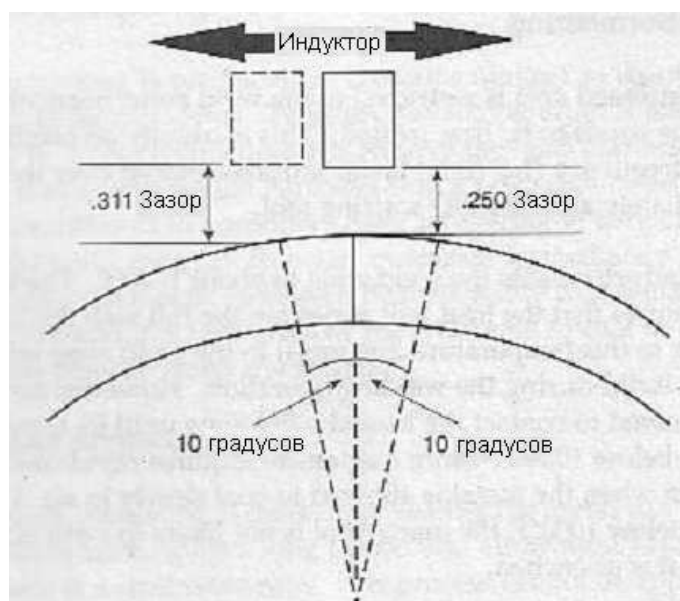
## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НОРМАЛИЗАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### Температура – измерение, регистрация и регулирование

Измерение и регистрация температуры становится стандартным требованием для большинства продуктов нормализации и достигается путем установки оптического пирометра и сопутствующего записывающего оборудования сразу после конечного индуктора, хотя на установках с параллельными индукторами чаще всего пирометры и указатели температуры установлены между индукторами (рис. 14-2). Это крайне эффективно для определения температурного профиля и способствует установлению равномерной удельной нагрузки каждой нормализационной установки. При использовании в сочетании с регулируемыми записывающими устройствами пирометры могут подавать обратный сигнал к каждому источнику питания (инвертору) пропорционально температуре и эффективно управлять и регулировать полезную мощность, чтобы поддерживать постоянную температуру нормализации.



**Нагрев и охлаждение при нормализации шва**  
**Рис. 14-2**



**Эффект смещения шва**

**Рис. 14-3**

### **Отслеживание шва**

Несмотря на качество современных систем измерения и регулирования температуры, они эффективны только при правильном расположении сварного шва относительно индуктора. На быстроходных прокатных станах с длинными воздухоохладительными секциями и параллельными нормализующими установками сварной шов имеет тенденцию к смещению от вертикального расположения, требуя повторной регулировки индуктора или самой трубы. На малых диаметрах возможно при помощи постоянно вращающихся туркоголовых валиков, установленных перед калибровочной секцией прокатного стана, выполнять вращение трубы для сохранения вертикальности шва. На больших диаметрах эта процедура затруднительна, если не невозможна, и приходится прибегать к смещению индуктора. Одним из способов является оптическое сканирование линии, нанесенной краской у сварочной станции под углом 90 градусов ко шву. При смещении сварного шва сканирующее устройство распознает равное смещение в нарисованной линии и передаст сигнал в механизированную каретку индуктора. Индуктор совершит боковое смещение на плоскости 90° к сварному шву и, пройдя через замкнутый контур, встанет отвесно над швом. Так как индуктор совершает движение в горизонтальной плоскости, потребности в мощности будут варьироваться, чем дальше шов вращается от индуктора (рис. 14-3), делая регулирование мощности нагрева важной составляющей системы. Практические ограничения данного процесса ограничивают отклонение сварного шва от вертикали до +10° (в зависимости от диаметра трубы), но обычно считается, что именно отклонение больше 10°, особенно в данной точке удержания трубы на стане, создает возможность других крупных проблем на прокатном станке (например, искривление полосы) и должно быть исправлено.

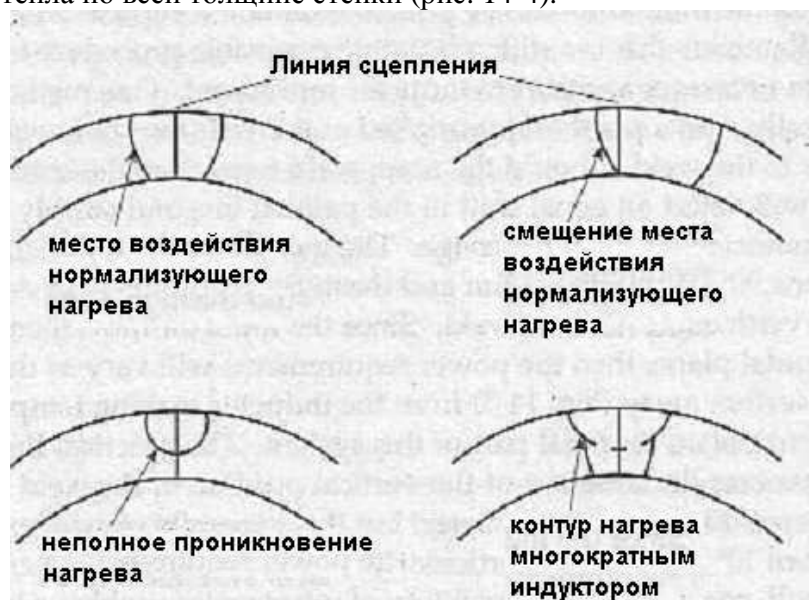
## Нормализация шва

Так как площадь отвердевания ограничена зоной сварки, обычно только место сварки нуждается в тепловой обработке. Обычно это выполняется при помощи низкочастотного (1-3кГц) линейного индуктора, устанавливаемого над швом сразу за устройством зачистки внешнего диаметра.

Линейный индуктор нагревает место сварки примерно до 1700°Ф. Низкая частота обеспечивает проникновение тепла по всей толщине стенки. После нагрева до этой температуры металл в месте сварки преобразовывается таким же образом, как и во время сварки. Однако не допускается контакта нагретого места сварки с жидким охладителем до тех пор, пока температура не опустится ниже 1000°Ф. Так как мартенсит требует быстрого охлаждения, он не образуется, если дать металлу медленно остыть на воздухе. После того, как металл остыл до температуры ниже 1000°Ф, мартенсит не сможет образоваться, не смотря на быстроту охлаждения.

Следует соблюдать осторожность и не допускать слишком быстрого или неравномерного охлаждения места сварки, так как труба может искривиться в результате резкого перепада температур. Дайте месту сварки остыть на воздухе как можно дольше перед тем, как охлаждать ее водой для последующей калибровки. Обратите внимание на фактическую температуру места сварки во время нормализации, так как нагрев до температуры ниже 1800°Ф зачастую инициирует рост зерен в кристаллах. Присутствие зерен металла в месте сварки, которые значительно больше основного металла, могут привести к отказу во время испытания на плоскостное сжатие и коррозии сварного шва.

Необходимо частое металлографическое исследование нормализованного места сварки для того, чтобы обеспечить центровку линейного индуктора над швом и фактическое проникновение тепла по всей толщине стенки (рис. 14-4).



Контур нагрева нормализации швов

Рис. 14-4

## **Отпуск швов**

Отпуск швов выполняется таким же образом, как и нормализация, но при более низких температурах. Обычно температура составляет от 1000°F до 1300°F. Эта процедура не удаляет твердый мартенсит, но отпускает его до такой низкой твердости, что он перестает представлять угрозу для пригодности изделия. После отпуска при температурах ниже 1300°F место сварки можно сразу же охладить водой, не вызывая повторного затвердевания металла. Однако опасность искривления в результате термического удара остается и лучше позволить месту сварки остыть на воздухе как можно дольше перед охлаждением водой.

## **Отжиг швов**

Технически отжиг определяется как нагрев металла до заданной температуры при долгой выдержке и его остывание в печи с регулируемой скоростью. Эта процедура не может применяться только ко шву, здесь мы имеем дело с неправильным употреблением термина. Все виды тепловых обработок сварных швов, при которых место сварки нагревается до температуры выше примерно 1600°F и остывает на воздухе, фактически является процедурой нормализации. Исключение составляет отжиг нержавеющей стали марки 300, требующей недолгой выдержки и охлаждения, чтобы предотвратить сенсбилизацию металла. Более подробно этот вопрос рассматривается в разделе "Полная тепловая обработка".

## **Полная тепловая обработка**

Вышеуказанные термические процедуры могут применяться ко всему телу трубы или патрубка. Оборудование может использоваться совместно с прокатным станом или отдельно. Большинство поточного оборудования является индукционным, но некоторые компании применяют длинные газовые печи. В большинстве случаев полная термическая обработка производится отдельно.

Индукция имеет множественные преимущества: не требуется времени на предварительный разогрев, она включается и выключается совместно с прокатным станом, она более экономична, производит гораздо меньше окалины, занимает меньше времени для достижения необходимого результата, чище, не требует большого обслуживания и более управляема. Однако оборудование может быть более дорогостоящим, чем газовая печь. К счастью период окупаемости лишних затрат очень небольшой благодаря множественным преимуществам индукционного нагревания.

## **Полная нормализация**

Полная нормализация производится путем прогона трубы или патрубка через многовитковую катушку с полным обхватом. Катушка может быть обернута жаростойким материалом или открыта для воздействия окружающей среды. Эта катушка с водяным охлаждением обычно изготавливается из меди как и катушка индукционной сварки.

При условии достаточной мощности и длины катушки нормализация трубы может происходить при скоростях, сравнимых со скоростями сварки. Необходимо предпринимать такие же меры для медленного охлаждения трубы, прошедшей полную термообработку, так же как в случае с термообработкой швов.

### **Полный отпуск**

Трубы и патрубки могут целиком подвергаться отпуску путем нагревания до более низких температур, как в случае отпуска швов. Обычно это выполняется только совместно с процедурами нагревания и охлаждения, которые предназначены для преобразования всей стенки трубы в мартенсит. Контролируя время и температуру процедуры отпуска можно достичь разных уровней прочности и твердости в зависимости от химического состава прокатной заготовки. Эта процедура применяется для производства высокопрочных трубных изделий для специализированных областей применения.

### **Полный отжиг нержавеющей стали**

Индукционный нагрев широко используется при отжиге аустенитной нержавеющей стали, которые применяются в выхлопных системах автомобилей и на нефтехимических заводах. Так как необходимо использование высоких температур (обычно 1950°Ф – 2150°Ф), а время нагрева должно быть коротким, чтобы предотвратить шелушение поверхности, индукция считается лучшим методом. Устройство системы отжига почти такое же, как у системы нормализации, за исключением того, что труба охлаждается водой сразу после нагрева. Если нержавеющей стали марки 300 позволить медленно остыть после температуры отжига, хром, содержащийся в стали, осядет на границе зерен. Это называется сенсбилизацией и приводит к ухудшению срока годности.

При любом типе полного индукционного нагревания необходимо помнить несколько важных правил:

1. Хорошая обработка внутреннего и внешнего диаметров способствует сохранению прямоты и округлости трубы во время термообработки.
2. Равномерный нагрев и охлаждение сократят искривление и изгибание трубы.
3. При охлаждении и отпуске сварных трубных изделий нормализация швов перед охлаждением и отпуском может предотвратить изгибание.
4. Выполняйте все виды термообработки при как можно низкой температуре, обеспечивающей удовлетворительные результаты. Это не относится к отпуску, где более высокие температуры и более сжатые сроки способствуют получению лучшей жесткости и ковкости для данного уровня прочности.
5. Реакция стали на термообработку зависит от химического состава, размера гранул и термической предыстории. Различные виды нагрева одного и того же номинального химического состава могут проявляться неодинаково. Прогон труб через одинаковые процессы нагрева может сэкономить значительный объем повторной обработки.

6. У поставщика стали, используемой для изготовления труб, обычно есть свой технический персонал, который может оказать большую помощь, если вы столкнетесь с трудностями при термообработке.
7. Обеспечьте регулярную калибровку указательных и регулирующих температурных приборов квалифицированным персоналом. Очищайте линзы оптических пирометров не реже, чем раз в смену. Термокарандаш обеспечивает быструю и эффективную проверку ваших контрольно-измерительных приборов.

## ГЛАВА 15

### ТЕХНОЛОГИЯ ОДИНАРНОЙ И ДВОЙНОЙ ЛЕТУЧЕЙ РЕЗКИ

Машины для летучей резки обычно всегда использовались для обрезки труб, выходящих из прокатного стана при постоянной скорости. Эти скорости варьируются от 50 футов в минуту (ф/мин) до 1000ф/мин. Типовая машина состоит из станины пресса, толкателя, маховика с двигателем, системы тормоз/сцепление, блока штампов и акселератора блока штампов (рис. 15-1).

#### Процедура летучей резки

При использовании пресса в непрерывном режиме машина выполняет серию процедур:

1. Блок штампов разгоняется до скорости трубы.
2. Захваты обжимают трубу.
3. Толкатель срабатывает и приводит в действие обрезку трубы блоком штампов.
4. Захваты ослабляются.
5. Блок штампов снижает скорость до останова и начинает движение в обратном направлении.
6. Блок штампов возвращается в исходное положение, ожидая следующей обрезки.

Наиболее сложные машины могут выполнять все серию процедур до 120 раз в минуту, сохраняя допуск длины отрезки  $\pm 1/32$  дюйма. Некоторые машины могут выполнять отрезку без впадин, задействуя двойные блоки штампов, тогда как другие используют простые одинарные штампы там, где качество обрезки кромок не критично.

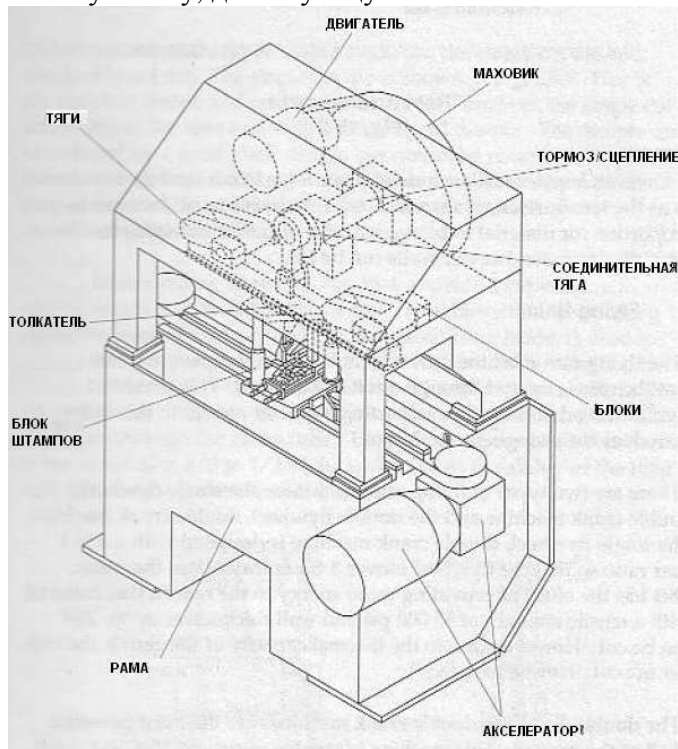
#### Типы устройств

Существуют три типа летучих ножниц, широко используемых при высокоскоростной непрерывной обрезке труб: летучий толкатель, поворотный толкатель и двойной маховик.

#### Поворотный толкатель

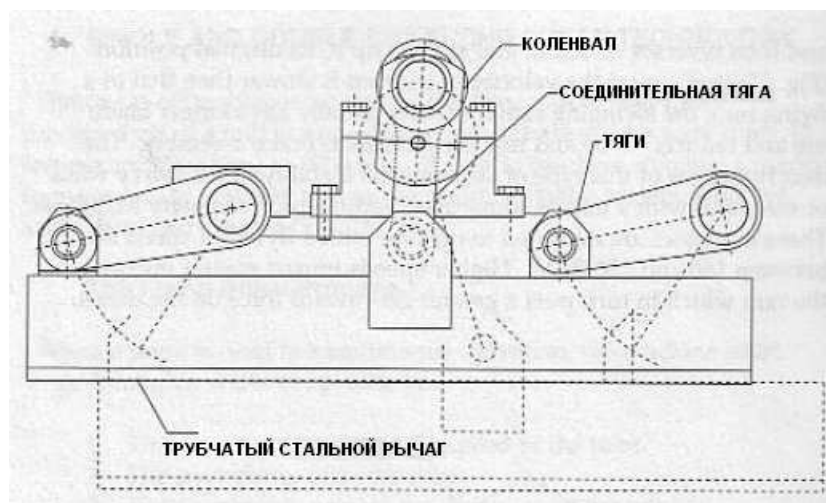
Машины с качающимися толкателями предназначены для труб диаметром 3.5" с толщиной стенок 0.160" или менее. Толкатель поддерживается двумя малоинерционными рычагами, установленными на опорах подшипника (рис. 15-1). Питание подается на толкатель при помощи коленвала и соединительных тяг. Инерция маховика передается на толкатель, когда система тормоз/сцепление приводится в действие и захватывает вал маховика. Коленвал вращается, приводит в движение тягу эксцентрикового кулачка, который двигает толкатель вниз, а затем вверх. Движение качения обеспечивается посредством коленно-рычажного соединения. Данная конструкция снижает начальные затраты и сокращает потребность в техобслуживании. Поворотный толкатель не совершает полного вращения в 360 градусов. Он откидывается вниз до полного выдвижения толкателя из рамы, а затем в обратном направлении и возвращается в исходное положение (рис. 15-2).

Так как скорость толкателя ниже скорости летучего толкателя, машины с поворотным толкателем обычно обладают более долгим сроком службы лезвий и пониженным износом механизма тормоз/сцепления. Недостатком данного типа системы является ее неспособность резать толстостенные трубы или материалы с прочностью на разрыв, превышающей около 55,000psi. Эти машины рассчитаны на работу маховика со скоростью от 180 до 250 оборотов в минуту. Более высокие скорости передают большую энергию на толкатель, который, в свою очередь накладывает большую силу, действующую вниз на блок штампов.



**Двойные летучие ножницы**  
**Рис. 15-1**





**Устройство толкателя**  
**Рис. 15-2**

Однако более толстые стенки требуют большей силы для резки, чем тонкие, то есть для успешной резки материала с увеличением прочности на разрыв толщина стенок должна пропорционально уменьшаться. И наоборот, с понижением прочности на разрыв возможна резка более толстых стенок.

### **Летучий толкатель**

Машина с летучим толкателем отличается от машины с поворотным толкателем в том, что толкатель совершает полный оборот на все 360 градусов. Это дает выигрыш в силе, так как большая энергия передается на блок штампов по сравнению с конструкцией поворотного толкателя.

Существует два типа машин с летучим толкателем: машины с одинарным маховиком и двойным коленвалом и машины с двойным маховиком и двойным коленвалом. Машина с одинарным маховиком и двойным коленвалом рассчитана на передаточное число от 3 до 1, то есть, маховик движется в три раза быстрее коленвала. Результатом этого является передача большей энергии на толкатель, делая возможным резку материала с прочностью на разрыв 55,000 psi и толщиной стенки до 0.250 дюймов. Однако из-за теплоемкости сцепления число разрезов в минуту необходимо сократить.

Машины с двойным маховиком и двойным коленвалом являются самыми мощными из всех прессов. Такая машина способна разрезать трубу диаметром 5 дюймов с толщиной стенки 0.312 дюймов и прочностью на разрыв до 66,000 psi. Наличие двух маховиков обеспечивает намного большее количество энергии для передвижения толкателя к блоку штампов. Поскольку имеется по два сцепления, тормоза и маховика, этот вид машин является самым дорогостоящим.

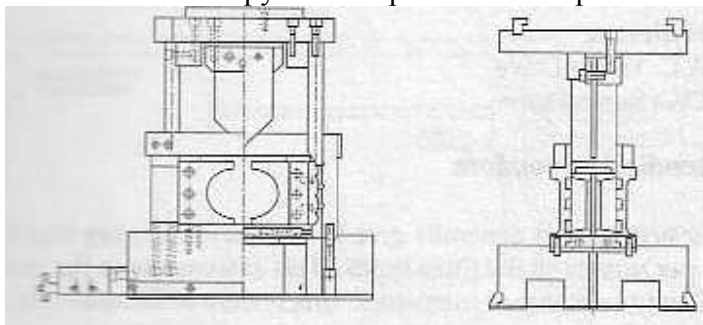
Все машины можно устанавливать под углом. Такое расположение позволяет фасонную вырезку под углом и позволяет выполнять двойную срезку на удалении от места сварки. Это очень важно при резке высокопрочных сталей. Однако способ размещения штампов более сложный и трудный по сравнению с прямой машиной, так как штампы необходимо регулировать для каждого диаметра трубы.

### Набор штампов

Набор штампов состоит из режущего лезвия или лезвий и конструкций, поддерживающих их режущее действие. Штамп монтируется на рельсы, которые поддерживаются рамой машины. Верхний башмак или нажимной диск штампа крепится к штампу при помощи скоб.

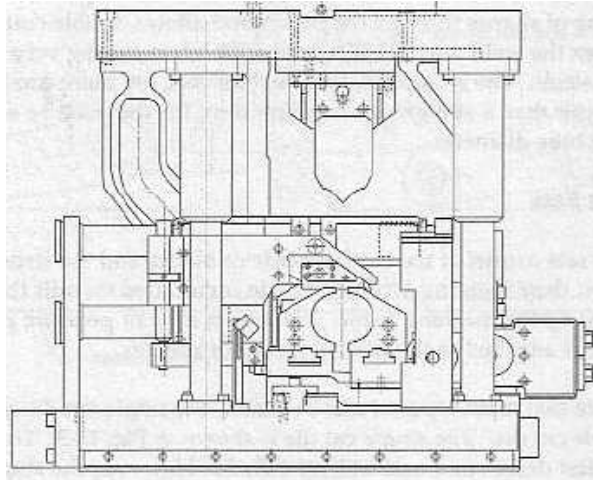
Существует два основных типа штампов – штампы одиночного разреза и двойного разреза. Одинарные штампы показаны на рис. 15-3. Это простейшая конструкция с использованием только одного лезвия. Однако действие одиночного разреза оставляет отчетливую вмятину на кромке трубы. Грамотная конструкция лезвия может уменьшить вмятину, но не удалить ее полностью. При резке фасонной трубы штампы одиночного разреза действуют очень хорошо, так как обычно фасон может вырезаться без вмятин и без зачистной резки, присущих штампам двойного разреза.

Штампы с двойной резкой, показанные на рис.15-4, обеспечивают высококачественную срезку кромки, которая в основном не содержит вмятин. Для достижения этого используются два режущих лезвия. Первое лезвие, называемое зачистным лезвием, используется для резки по верху трубы, делая неглубокий надрез. Надрез составляет около  $1/3$  до  $1/2$  толщины стенки. Другое лезвие, называемое вертикальное лезвие, разрезает трубу, проходя через надрез и по всей длине трубы. Образование впадин предотвращается удалением от  $1/3$  до  $1/2$  стенки, которое снижает способность стенки трубы к сопротивлению проникновению лезвия.



**Штампы для одиночного разреза**

**Рис. 15-3**



**Штампы для двойного разреза**  
**Рис. 15-4**

### **Системы акселератора**

Акселератор имеет двойную цель; во-первых он должен разгонять штамп точно до скорости трубы, а затем поддерживать постоянную скорость во время выполнения действия среза. Невыполнение какой-либо из этих функций может привести к низкому качеству резки и даже к катастрофическим разрушениям. Темп ускорения и скорость толкателя определяют количество резок, которые машина способна выполнять в данный период времени, и таким образом устанавливают ограничения для минимальной длины возможного разреза трубы.

Существуют три основных типа повсеместно принятых акселераторов:

1. Гидравлические
2. С векторным приводом переменного тока
3. Привод с усилителем постоянного тока.

### **Гидравлические акселераторы**

Гидравлические акселераторы обычно обеспечивают самое быстрое прохождение цикла и таким образом, обеспечивают наибольшее число резок в минуту из трех типов. Эта система также наиболее дорогостоящая и требует интенсивного ухода. Данная система показана на рис. 15-5.

## Акселераторы с векторным приводом переменного тока

Привод переменного тока, рис. 15-6, - это типовой короткозамкнутый индукционный двигатель с модулятором для приведения в движение блока штампов. Двигатель соединяется с типовым редуктором. К выходу редуктора крепится зубчатый ремень привода, соединенный с блоком штампов. Данная система недорогая, проста в обслуживании и может развивать линейные скорости до 550ф/мин.

## Привод с усилителем постоянного тока

Системы приводов с усилителем постоянного тока, рис. 15-7 – это двигатели постоянного тока, соединенные с блоком штампов при помощи речно-поршневой системы. Двигатель двигает ведущую шестерню вдоль рейки и обеспечивает очень быстрое и точное движение блока штампов. Приводы с усилителем постоянного тока могут развивать большие линейные скорости по сравнению с двумя другими приводами, но они также являются более дорогими, а обслуживание таких приводов требует больше навыков и внимания по сравнению с другими приводами.

## Системы управления

Управление машины осуществляется компьютером, установленным в корпусе электрического пульта. Для настройки регулирования длины делается обрезка в начале прогона, когда труба закладывается в машину. Таким образом для компьютера задается начальное положение. Импульсы передаются на компьютер сопроводительным колесом, сообщаям компьютеру точную линейную скорость движения трубы. Последующие разрезы выполняются после расчета компьютером расстояния на основе линейной скорости, равного необходимой длине разреза. Ускорение, выдержка и замедления рассчитываются и обрабатываются в течение микросекунд.

## Гидравлический акселератор

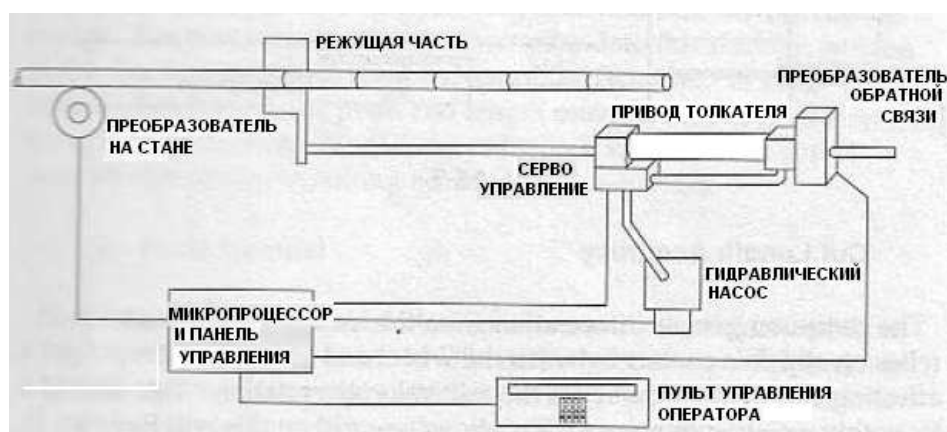


Рис. 15-5

## Акселератор с векторным приводом переменного тока

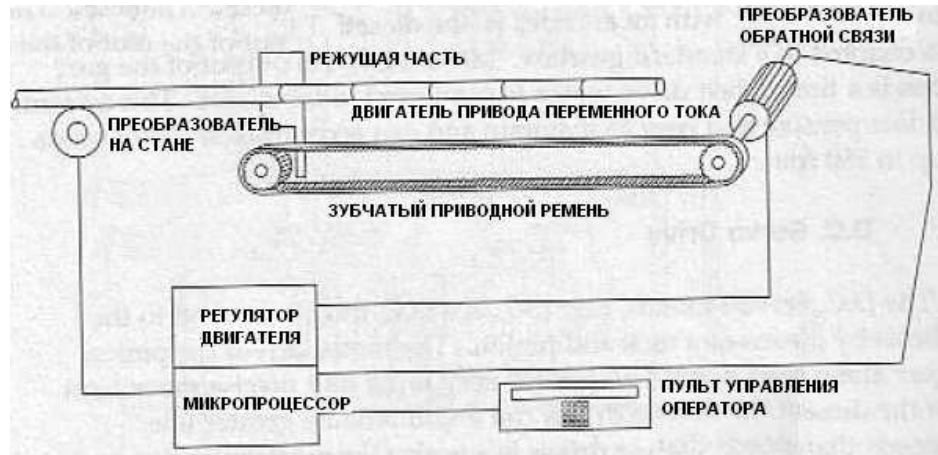


Рис. 15-6

## Акселератор с приводом постоянного тока



Рис. 15-7

### Точность длины разреза

Компьютер получает информацию с сопроводительного колеса и полагается на контакт без проскальзывания между колесом и трубкой. Также на точность длины разреза влияет модуляция скорости стана. Она должна составлять не более  $\pm 2\%$  в секунду. Большая модуляция значительно скажется на точности длины разреза.

## **Качество разреза и срок службы лезвия**

Качество разреза и срок службы лезвия связаны таким образом, что увеличения качества разреза обычно снижает срок службы лезвия, в то время как все остальные факторы находятся в согласии. Обычно толщина вертикального лезвия должна составлять 1.5 стенки трубы с прочностью на разрыв менее 65,000 psi. При прочности свыше 65,000 psi лезвие должно быть в два раза толще стенки трубы. Плоскость вертикального лезвия должна быть в пределах 0.004 дюйма. Лезвия с более высоким допуском не должны использоваться, но производитель может выполнить их выпрямление. Правильная регулировка лезвий имеет критическое значение, и спецификации производителя механизма требуют точного исполнения.

## **Заточка лезвий и захватов**

Для обеспечения оптимальной производительности необходимо следить за остротой лезвий и захватов. Затупленные захваты и лезвия производят неровный разрез с увеличенным количеством задигов и впадин. Частота заточки зависит от материала изготовления захватов и лезвий и материала для резки. Специальная информация по обслуживанию захватов и лезвий Alpha предоставляется Thermatool по требованию.

## **Резка нержавеющей и высокопрочной углеродистой стали**

При резке нержавеющей и высокопрочной углеродистой стали обычные способы могут не подействовать. В процесс резки этих изделий было внесено множество усовершенствований. Ниже приведены шесть наиболее важных факторов:

### **1. Скорость резки**

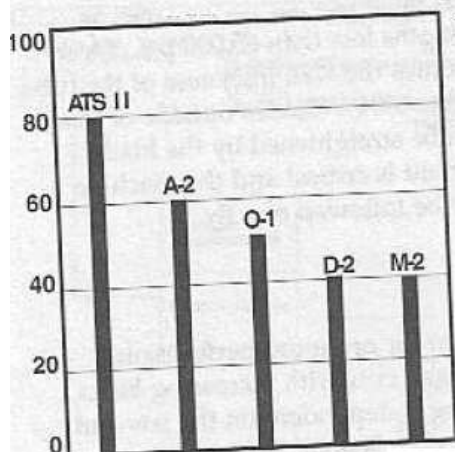
При резке нержавеющей и высокопрочной стали снизьте скорость толкателя до 80 оборотов/мин (чем ниже, тем лучше), и до 304 и 160 об/мин для марки 400. Снижение скорости приводит к снижению скорости маховика и уменьшению силы среза. Для достижения этого необходимо создать силу нажима при помощи зацепления или увеличения веса маховика. Для поддержания линейной скорости необходимо увеличить длину опоры пресса из-за времени срабатывания толкателя. Машины могут быть изготовлены с толкателями с переменной скоростью для достижения оптимальной скорости резки.

### **2. Материал лезвия**

Как вертикальные, так и горизонтальные лезвия обычно изготавливаются из быстрорежущих сталей, например, марки M2 или D2. Хотя этот материал и полезен до какой-то степени при резке нержавеющей стали, он обычно производит небольшое количество разрезов перед заточкой или выходом из строя. Сейчас существуют более новые материалы, которые обеспечивают более оптимальный срок службы (см. рис. 15-8).

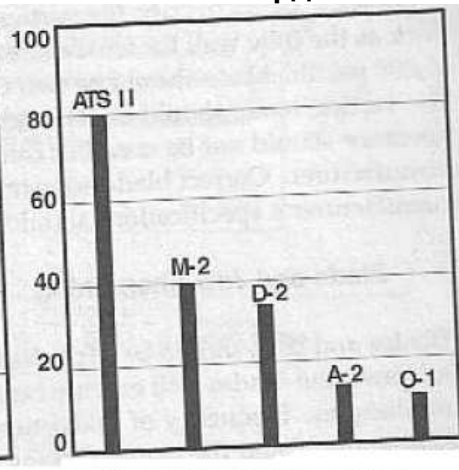
## ПОЛУ-БЫСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ

**ЖЕСТКОСТЬ**  
Твердость 60Рк



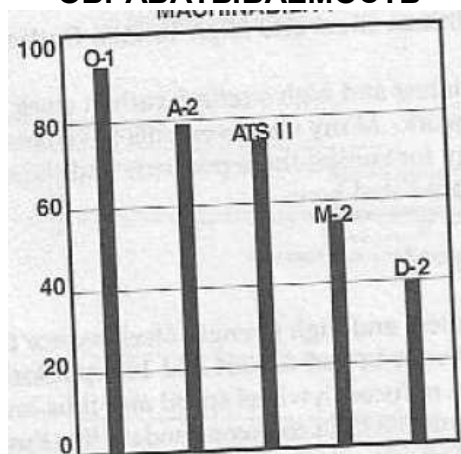
Высокое значение означает  
высокую твердость

**ИЗНОС**  
Твердость 60Рк



Высокое значение означает  
высокую твердость

## ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ



	Износостойкость	Твердость по шкале Роквелла С	Жесткость
AISI M-2	35	64/65	60
AISI D-2	30	60/62	60
ATS II	65	61/62	70

Сравнение разных материалов изготовления лезвий  
Рис. 15-8

### 3. Конфигурация режущей кромки

Профиль лезвия и конечная вырубка, которую оно производит, имеет огромное значение. Многие конфигурации приводят к преждевременному выходу из строя из-за высоких стрессовых нагрузок на режущую кромку. Горизонтальные лезвия с одинарной кромкой (рис. 15-9) обеспечивают закручивание стружек и их удаление с лезвия. Двойные и тройные зубчатые лезвия не допускают закручивания стружки. Самая оптимальная конфигурация для вертикального лезвия для резки тонкостенных (0.080") труб из н/ж стали марки 300 показана на рис. 15-10. Для резки более толстых стенок рекомендуется конструкция, показанная на рис. 15-11.

### 4. Смазка лезвий

Смазка лезвия не предназначена для охлаждения. Она осуществляет смазывание для сокращения трения. Большая часть тепла, образованная при резке н/ж стали, передается на лезвие, а не на вырубку, как при резке углеродистой стали. Это передаваемое тепло приводит к большому нагреву лезвий, что может привести к их растрескиванию в случае термического шока от контакта со смазочным материалом. Более современные синтетические смазки имеют некоторые преимущества над традиционными смазочно-охлаждающими жидкостями:

- а) они более безопасны для окружающей среды
- б) они распыляются, а не разбрызгиваются по лезвию
- в) малый расход – 1 пинта на смену.
- г) по возможности увеличивают срок службы лезвия до трех раз

Синтетическая смазка более дорогая в расчете на единицу по сравнению с другими смазками, но более экономичная.

### 5. Покрытие лезвия

Нанесение покрытия на лезвие в сочетании со всеми вышеупомянутыми факторами также способствует увеличению срока службы. Покрытие из нитрида титана (TiN) и твердого хрома показали свою эффективность. Другие покрытия тоже могут быть эффективными, но менее экономичными.

### 6. Конструкция машины

Конструкция машин для резки н/ж и высокопрочных сталей должна быть рассчитана на эти материалы. Конструкция рамы должна быть более прочной, и толкатель должен быть рассчитан на пониженные скорости. Это означает, что станина должна быть более длинной для сохранения скорости передачи по линии. Блок штампов также должен быть более прочным, с большим числом опор для резки по сравнению с традиционными штампами. Быстрая смена инструментов является преимуществом, так как лезвия требуют более частой замены.





Горизонтальные лезвия

Рис. 15-9

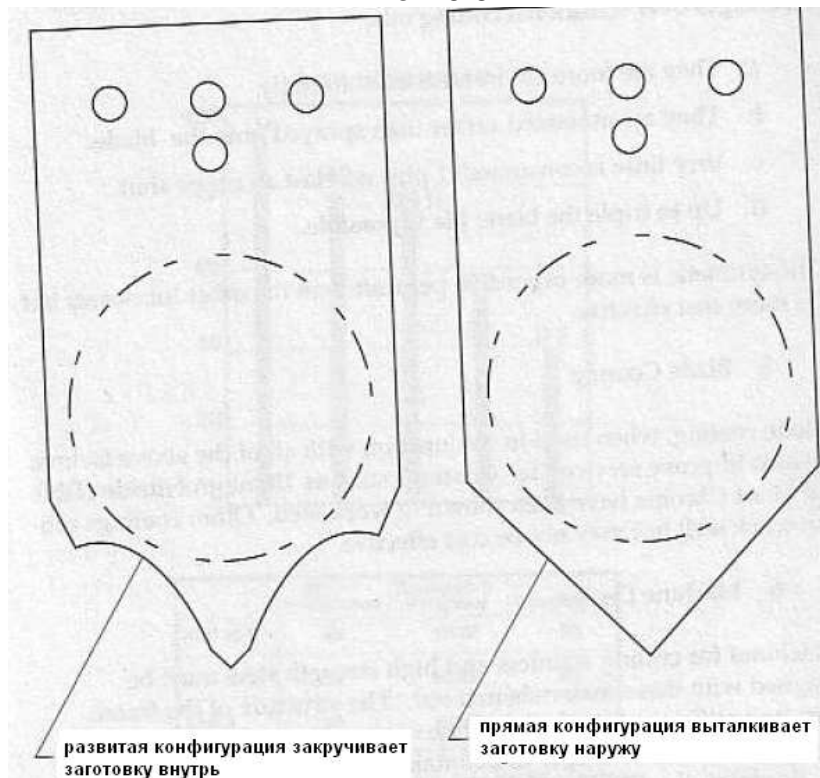


Рис. 15-10 Вертикальные лезвия

Рис. 15-11

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ЗНАЧЕНИЕ ОБОЗНАЧЕНИЙ

В данном руководстве используются некоторые буквенные обозначения. Это делается для упрощения и сокращения количества слов. Каждое обозначение имеет определенное специфическое значение. Значения используемых обозначений сгруппированы здесь для удобства.

Все меры длины приведены в дюймах. Знак (") опускается, за исключением случаев, когда это необходимо для ясности.

a	= sizing allowance	= допуск на размер
$\infty$	= fin angle	= конечный угол
D	= finished tube OD	= внешний диаметр обработанной трубы
DHR	= head roll diameter	= диаметр головного вала
DSR	= side roll diameter	= диаметр бокового вала
DW	= equivalent diameter at the weld point	= эквивалентный диаметр в месте сварки
G	= girth of finished tube	= обхват обработанной трубы
GF	= girth of last fin pass	= обхват последнего конечного прохода
GW	= girth of tube as welded	= обхват свариваемой трубы
HC	= head roll heel clearance	= задний угол головного вала
n	= a number	= число
RF	= fin pass grinding radius	= радиус шлифовки последнего захода
RH	= head roll grinding radius	= радиус шлифовки головного вала
RL	= lower roll grinding radius	= радиус шлифовки нижнего вала
RW	= weld roll grinding radius	= радиус шлифовки сварочного вала
S	= squeezeout allowance	= допуск на вытеснение
TF	= fin thickness	= конечная толщина
THR	= head roll thickness	= толщина головного вала
TS	= strip thickness	= толщина полосы
WGC	= width between grinding centers	= ширина между центрами шлифовки
WS	= strip width	= ширина полосы
Xm	= mill factor	= коэффициент прокатки
y	= roll flange clearance	= зазор фланца вала

## Пояснение некоторых обозначений

а) обхват ( $G$ ,  $GW$ ,  $GF$ ) здесь – внешняя окружность патрубка или трубы в месте, обозначенным нижним индексом. Обхват в этом значении не обязательно равен ширине полосы или заготовки, подающихся на стан.

б)  $DW$  называется эквивалентным диаметром в точке сварки, так как форма может быть не идеально круглой.

$DW$  равен  $GW - n$

в)  $a$ , называемое допуском на размер, является разницей между  $D$  и  $DW$ , по какой бы причине разница не возникла. Когда за сваркой следует калибровочная секция,  $DW$  больше, чем  $D$ , и  $a$  – это обычно 1% доля от  $D$ . Однако при наличии последующей процедуры расширения  $DW$  меньше, чем  $D$ , и  $a$  имеет отрицательное значение порядка от 1 до 2%.

г)  $s$ , называемое допуском на вытеснение – это разница между  $GF$  и  $GW$ . Отметьте, что это значит, что  $s$  зависит от обхвата или окружности, а не от диаметра.

## **ПОЛЕЗНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

	<b>Страница</b>
<b>ПЕРЕВОД В МЕТРИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ</b>	<b>A-D</b>
<b>ТВЕРДОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ</b>	<b>E-F</b>
<b>ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ДЛЯ АЛЮМИНИЯ</b>	<b>G</b>
<b>ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ДЛЯ БРОНЗЫ</b>	<b>H-L</b>
<b>ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ДЛЯ СТАЛИ</b>	<b>M-O</b>
<b>СООТНОШЕНИЕ КАЛИБРОВ</b>	<b>P-R</b>
<b>ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР</b>	<b>S-U</b>
<b>РАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ</b>	<b>V-W</b>

**НЕСМОТря НА ВСЕ ПРЕДПРИНЯТЫЕ УСИЛИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ СОДЕРЖАЩЕЙСЯ ЗДЕСЬ ИНФОРМАЦИИ THERMATOOL НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ТИПОГРАФСКИЕ ОШИБКИ, А ТАКЖЕ ЗА ПРИГОДНОСТЬ ПЕРЕСЧЕТОВ И ФОРМУЛ.**

## МЕТРИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА

Для перевода	В	Умножить на	Для перевода	В	Умножить на
<b>Угол</b>			<b>Масса на единицу длины</b>		
градусы	рад	1.745 329 E - 02	фунт/фут	кг/м	1.488 164 E + 00
<b>Площадь</b>			фунт/дюйм	кг/м	1.785 797 E + 01
кв. дюйм	кв. мм	6.451 600 E + 02	<b>Масса на единицу времени</b>		
кв. дюйм	кв. см	6.451 600 E + 00	фунт/час	кг/сек	1.259 979 E - 04
кв. дюйм	кв. м	6.451 600 E - 04	фунт/мин	кг/сек	7.559 873 E - 03
кв. фут	кв. м	9.290 304 E - 02	фунт/сек	кг/сек	4.535 924 E - 01
<b>Изгибающий или крутящий момент</b>			<b>Масса на единицу объема (включая плотность)</b>		
фунт сила - дюйм	Н - м	1.129 848 E - 01	г/куб. см	кг/куб. м	1.000 000 E + 03
фунт сила - фут	Н - м	1.355 818 E + 00	фунт/куб. фут	г/куб. см	1.601 846 E - 02
кг сила - м	Н - м	9.806 650 E + 00	фунт/куб. фут	кг/куб. м	1.601 846 E + 01
унц сила - дюйм	Н - м	7.061 552 E - 03	фунт/куб. дюйм	г/куб. см	2.767 990 E + 01
<b>Изгибающий или крутящий момент на единицу длины</b>			фунт/куб. дюйм	кг/куб. м	2.767 990 E + 04
фунт сила - дюйм/дюйм	Н - м/м	4.448 222 E + 00	<b>Мощность</b>		
фунт сила - фут/дюйм	Н - м/м	5.337 866 E + 01	БТЕ/сек	кВт	1.055 056 E + 00
<b>Скорость коррозии</b>			БТЕ/мин	кВт	1.758 426 E - 02
мил/год	мм/год	2.540 000 E - 02	БТЕ/час	Вт	2.928 751 E - 01
мил/год	ед/год	2.540 000 E + 01	эрг/сек	Вт	1.000 000 E - 07
<b>Плотность тока</b>			фут - фунт сила/сек	Вт	1.355 818 E + 00
А/кв. дюйм	А/кв. см	1.550 003 E - 01	фут - фунт сила/мин	Вт	2.259 697 E - 02
А/кв. дюйм	А/кв. мм	1.550 003 E - 03	фут - фунт сила/ч	Вт	3.766 161 E - 04
А/кв. фут	А/кв. м	1.076 400 E + 01	лс(550фут-фунт-сила/сек	кВт	7.456 999 E - 01
<b>Электричество и магнитное поле</b>			лс(электр.)	кВт	7.460 000 E - 01
гаусс	ТОм	1.000 000 E - 04			

## МЕТРИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА

Для перевода	В	Умножить на	Для перевода	В	Умножить на
<b>Сила на ед. длины</b>			<b>Теплопроводность</b>		
фунт сила/фут	Н/м	1.459 390 E + 01	БТЕ-дюйм/сек-фт <sup>2</sup> -Ф	Вт/м - К	5.192 204 E + 02
фунт сила/дюйм	Н/м	1.751 268 E + 02	БТЕ/фт- час-Ф	Вт/м - К	1.730 735 E + 00
<b>Изломостойкость</b>			БТЕ-дюйм/час-фт <sup>2</sup> -Ф	Вт/м - К	1.442 279 E - 01
ksi vin.	МПа vтп	1.098 800 E + 00	кал/см-сек-Ц	Вт/м - К	4.184 000 E + 02
<b>Теплоемкость</b>			<b>Термическое расширение</b>		
БТЕ/фунт	кДж/кг	2.326 000 E + 00	дюйм/дюйм-Ц	м/м - К	1.000 000 E + 00
кал/г	кДж/кг	4.186 800 E + 00	дюйм/дюйм-Ф	м/м - К	1.800 000 E + 00
<b>Погонная энергия</b>			<b>Скорость</b>		
Дж/дюйм	Дж/м	3.937 008 E + 01	фут/час	м/сек	8.466 667 E - 05
кДж/дюйм	кДж/м	3.937 008 E + 01	фут/мин	м/сек	5.080 000 E - 03
<b>Длина</b>			фт/сек	м/сек	3.048 000 E - 01
А	Нм	1.000 000 E - 01	дюйм/сек	м/сек	2.540 000 E - 02
микродюйм	микрометр	2.540 000 E - 02	км/час	м/сек	2.777 778 E - 01
мил	микрометр	2.540 000 E + 01	миль/час	км/час	1.609 344 E + 00
дюйм	мм	2.540 000 E + 01	<b>Скорость вращения</b>		
дюйм	см	2.540 000 E + 00	оборот/мин	рад/сек	1.047 164 E - 01
фут	м	3.048 000 E - 01	оборот/сек	рад/сек	6.283 185 E + 00
ярд	м	9.144 000 E - 01	<b>Вязкость</b>		
миля	км	1.609 300 E + 00	пуаз	Па - сек	1.000 000 E - 01
<b>Масса</b>			стокс	м <sup>2</sup> /сек	1.000 000 E - 04
унция	кг	2.834 952 E - 02	фт <sup>2</sup> /сек	м <sup>2</sup> /сек	9.290 304 E - 02
фунт	кг	4.535 924 E - 01	дюйм <sup>2</sup> /сек	мм <sup>2</sup> /сек	6.451 600 E + 02

## МЕТРИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА

Для перевода	В	Умножить на	Для перевода	В	Умножить на
<b>Электричество и магнитное поле (продолж)</b>			<b>Удельная мощность</b>		
максвелл	ед/Вб	1.000 000 E - 02	Вт/дюйм2	Вт/м2	1.550 003 E + 03
мегом	S	1.000 000 E + 00	<b>Давление (жидкости)</b>		
Эрстед	A/м	7.957 700 E + 01	атм(стандар)	Па	1.013 250 E + 05
H - см	H - м	1.000 000 E - 02	бар	Па	1.000 000 E + 05
H круг- мил.т/фт	микроH - м	1.662 426 E - 03	дюйм рт.ст (32Ф)	Па	3.386 380 E + 03
<b>Энергия (внеш.воздейст.)</b>			дюйм рт.ст (60Ф)	Па	3.376 850 E + 03
фут-фунт сила	Дж	1.355 818 E + 00	фунт/дюйм2 (psi)	Па	6.894 757 E + 03
БТЕ (термохимическая)	Дж	1.054 350 E + 03	тор (мм.рт.ст 0 Ц)	Па	1.333 220 E + 02
кал(термохимическая)	Дж	4.184 000 E + 00	<b>Удельное теплота</b>		
кВт - час	Дж	3.600 000 E + 06	БТЕ/фунт - Ф	Дж/кг - К	4.186 800 E + 03
Вт-час	Дж	3.600 000 E + 03	кал/г - С	Дж/кг - К	4.186 800 E + 03
Расход			<b>Сила (сила на ед. площади)</b>		
фт3/ч	л/мин	4.719 475 E - 01	тон Ф/дюйм2 (tsi)	МПа	1.378 951 E + 01
фт3/мин	л/мин	2.831 000 E + 01	кгф/мм2	МПа	9.806 650 E + 00
гал/ч	л/мин	6.309 020 E - 02	ksi	МПа	6.894 757 E + 00
гал/мин	л/мин	3.785 412 E + 00	фунт сила/дюйм2 (psi)	Мпа	6.894 757 E - 03
<b>Сила</b>			МН/м2	МПа	1.000 000 E + 00
фунт-сила	H	4.448 222 E + 00	<b>Температура</b>		
кип (1000фунт-сил)	H	4.448 222 E + 03	F	C	5/9 (F - 32)
тонн-ф	кН	8.896 443 E + 00	R	K	5/9
к г-ф	H	9.806 650 E + 00	<b>Температурный интервал</b>		
			F	C	5/9

Перевод из	В	Умножить на	Перевод из	В	Умножить на
<b>Масса (продолжение)</b>			<b>Объем</b>		
тонна(корот. 2000фунт)	кг	9.071 847 E + 02	дюйм3	м3	1.638 706 E - 05
тонна(корот. 2000фунт)	кг x 10 <sup>3</sup>	9.071 847 E - 01	фут3	м3	2.831 685 E - 02
тонна (метр. 2240фунт)	кг	1.016 047 E + 03	жид.унция	м3	2.957 353 E - 05
кг x 103 = 1 метрич.	тонна		гал (жид.США)	м3	3.785 412 E - 03
<b>Масса на ед.площади</b>			<b>Объем на ед. времени</b>		
унция/дюйм2	кг/м2	4.395 000 E + 01	фут3/мин	м3/сек	4.719 474 E - 04
унция/фут2	кг/м2	3.051 517 E - 01	фут3/с	м3/сек	2.831 685 E - 02
унция/ярд2	кг/м2	3.390 575 E - 02	дюйм3/мин	м3/сек	2.731 177 E - 02
b/фут2	кг/м2	4.882 428 E + 00	<b>Длина волны</b>		
			A	нм	1.000 000 E - 01

**ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ПРОЧНОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОЛОСОВЫЕ И ЛИСТОВЫЕ ЗАГОТОВКИ – НЕСФОРМИРОВАННЫЕ**

Сплав и отпуск	Типовая прочность			Сплав и отпуск	Типовая прочность		
	Бриннель	Конечн.	Текущая		Бриннель	Конечн.	Текущая
1100-0	23	13 000	5 000	2024-T81	121		
1100-H12	28	16 000	15 000	3003-F	42		
1100-H14	32	18 000	17 000	3003-0	28	16 000	6 000
1100-H16	38	21 000	20 000	3003-H12	35	19 000	18 000
1100-H18	44	24 000	22 000	3003-H14	40	22 000	21 000
2011-T3	95	55 000	43 000	3003-H16	47	26 000	25 000
2011-T8	100	59 000	45 000	3003-H18	55	29 000	27 000
2014-0	45	27 000	14 000	3004-0	45	26 000	10 000
2014-T4	105	62 000	42 000	3004-H32	52	31 000	25 000
2014-T6	135	70 000	60 000	3004-H34	63	35 000	29 000
2017-0	45	26 000	10 000	3004-H36	70	38 000	33 000
2017-T4	105	62 000	40 000	3004-H38	77	41 000	36 000
2018-T61	120	61 000	46 000	4032-T6	115	55 000	46 000
2024-0	47	27 000	11 000	5005-0	28	18 000	6 000
2024-T3	120	70 000	50 000	5005-H12	33	20 000	19 000
2024-T4	120	68 000	47 000	5005-H32	36	20 000	17 000
2024-T4A	120			5005-H34	41	23 000	20 000
2024-T6	121			5005-H36	46	26 000	24 000
2024-T36	130	72 000	57 000	5005-H38	51	29 000	27 000
2024-T42	118			5050-0	36	21 000	8 000
				5050-T32	46	25 000	21 000

**ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ КОВКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Бриннель HV 500-kgf	Викерс HV 15-kgf	Роквелла <sup>a</sup>			Роквелл поверхност. <sup>b</sup>		
		HRB	HRE	HRH	HR15-T	HR30-T	HR15-T
160	189	91	-	-	89	77	95
155	183	90	-	-	89	76	95
150	177	89	-	-	89	75	94
145	171	87	-	-	88	74	94
140	165	86	-	-	88	73	94
135	159	84	-	-	87	71	93
130	153	81	-	-	87	70	93
125	147	79	-	-	86	68	92
120	141	76	101	-	86	67	92
115	135	72	100	-	86	65	91
110	129	69	99	-	85	63	91
105	123	65	98	-	84	61	91
100	117	60	-	-	83	59	90
95	111	56	96	-	82	57	90
90	105	51	94	108	81	54	89
85	98	46	91	107	80	52	89
80	92	40	88	106	78	50	88
75	86	34	84	104	76	47	87
70	80	28	80	102	74	44	86
65	74	-	75	100	72	-	85
60	68	-	70	97	70	-	83
55	62	-	65	94	67	-	82
50	56	-	59	91	64	-	80
45	50	-	53	87	62	-	79
40	44	-	46	83	59	-	77

## ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ПРОЧНОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОЛОСОВЫЕ И ЛИСТОВЫЕ ЗАГОТОВКИ – НЕСФОРМИРОВАННЫЕ

Сплав и отпуск	Бриннель	Типовая прочность		Сплав и отпуск	Бриннель	Типовая прочность	
		Конечн.	Текучесть			Конечн.	Текучесть
5050-H34	53	28 000	24 000	6061-0	30	18 000	8 000
5050-H36	58	30 000	26 000	6061-T4	65	35 000	21 000
5050-H38	63	32 000	29 000	6061-T6	95	45 000	40 000
5052-0	47	28 000	13 000	6062-0	28	17 000	6 500
5052-H32	60	33 000	28 000	6062-T4	65	35 000	21 000
5052-H34	68	38 000	31 000	6062-T6	95	45 000	40 000
5052-H36	73	40 000	35 000	6063-T4	65	30 000	25 000
5052-H38	85	42 000	37 000	6063-T6	73	35 000	30 000
5052-F	66			6063-T42	42	22 000	13 000
5056-0	65	42 000	22 000	6063-T83	82	38 000	36 000
5056-H18	105	63 000	59 000	6063-T831	70	30 000	29 000
5056-H38	105	60 000	50 000	6063-T832	95	45 000	40 000
5357-0	32	19 000	7 000	7075-0	60	33 000	15 000
5357-H32	40	22 000	19 000				
5357-H34	45	25 000	22 000				
5357-H36	51	28 000	26 000				
5357-H38	55	32 000	30 000				
6053-T6	80	37 000	32 000				

ПРИМЕЧАНИЕ: полную информацию смотрите в ежегодном выпуске книги стандартов ASTM том 02.02.

## ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПАТРОННОЙ ЛАТУНИ (СПЛАВ – 70% МЕДИ 30% ЦИНКА)

Число твердости Викерса	Число твердости Роквелла	Число поверхностной твердости Роквелла			Число твердости Бриннеля	500 кгф нагрузка 10-мм шар
	шкала В 100-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала F 60-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 15-T 15-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 30-T 30-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	шкала 45-T 45-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	
76	32.5	76.0	70.5	38.0	4.5	68
78	35.0	77.4	71.5	39.5	7.5	70
80	37.5	78.6	72.0	41.0	10.0	72
82	40.0	80.0	73.0	43.0	12.5	74
84	42.0	81.2	73.5	44.0	14.5	76
86	44.0	82.3	74.5	45.5	17.0	77
88	46.0	83.5	75.0	47.0	19.0	79
90	47.5	84.4	75.5	48.0	21.0	80
92	49.5	85.4	76.5	49.0	23.0	82
94	51.0	86.3	77.0	50.5	24.5	83
96	53.0	87.2	77.5	51.5	26.5	85
98	54.0	88.0	78.0	52.5	28.0	86
100	56.0	89.0	78.5	53.5	29.5	88
102	57.0	89.8	79.0	54.5	30.5	90
104	58.0	90.5	79.5	55.0	32.0	92
106	59.5	91.2	80.0	56.0	33.0	94
108	61.0	92.0	—	57.0	34.5	95



**ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПАТРОННОЙ ЛАТУНИ (СПЛАВ – 70% МЕДИ 30% ЦИНКА)**

Число твердости Вickers	Число твердости Роквелла	Число поверхностной твердости Роквелла			Число твердости Бриннеля	500 кгф нагрузка 10-мм шар
	шкала В 100-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала F 60-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 15-T 15-кгд нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 30-T 30-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	шкала 45-T 45-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	
45	—	40.0	—	—	—	42
46	—	43.0	—	—	—	43
47	—	45.0	—	—	—	44
48	—	47.0	53.5	—	—	45
49	—	49.0	54.5	—	—	46
50	—	50.5	55.5	—	—	47
52	—	53.5	57.0	—	—	48
54	—	56.5	58.5	12.0	—	50
56	—	58.8	60.0	15.0	—	52
58	—	61.0	61.0	18.0	—	53
60	10.0	63.0	62.5	20.5	—	55
62	12.5	65.0	63.5	23.0	—	57
64	15.5	66.8	65.0	25.5	—	59
66	18.5	68.5	66.0	28.0	—	61
68	21.5	70.0	67.0	30.0	—	62
70	24.5	71.8	68.0	32.0	—	63
72	27.5	73.2	69.0	34.0	—	64
74	30.0	74.8	70.0	36.0	1.0	66

**ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПАТРОННОЙ ЛАТУНИ (СПЛАВ – 70% МЕДИ 30% ЦИНКА)**

Число твердости Вickers	Число твердости Роквелла	Число поверхностной твердости Роквелла			Число твердости Бриннеля	500 кгф нагрузка 10-мм шар
	шкала В 100-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала F 60-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 15-T 15-кгд нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 30-T 30-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	шкала 45-T 45-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	
144	77.5	101.5	86.0	68.0	51.5	126
146	78.0	102.0	—	68.5	52.5	128
148	79.0	102.5	—	69.0	53.0	129
150	80.0	—	86.5	69.5	53.5	131
152	80.5	103.0	—	—	54.0	133
154	81.5	103.5	—	70.0	54.5	135
156	82.0	104.0	87.0	70.5	55.5	136
158	83.0	104.5	—	71.0	56.0	138
160	83.5	—	—	71.5	56.5	139
162	84.0	105.0	87.5	—	57.5	141
164	85.0	105.5	—	72.0	58.0	142
166	85.5	—	—	72.5	58.5	144
168	86.0	106.0	88.0	73.0	59.0	146

**ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПАТРОННОЙ ЛАТУНИ (СПЛАВ – 70% МЕДИ 30% ЦИНКА)**

Число твердости Вickers	Число твердости Роквелла	Число поверхностной твердости Роквелла			Число твердости Бриннеля	500 кгф нагрузка 10-мм шар
	шкала В 100-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала F 60-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 15-T 15-кгд нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 30-T 30-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	шкала 45-T 45-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	
110	62.0	92.6	80.5	58.0	35.5	97
112	63.0	93.0	81.0	58.5	37.0	99
114	64.0	94.0	81.5	59.5	38.0	101
116	65.0	94.5	82.0	60.0	39.0	103
118	66.0	95.0	82.5	60.5	40.0	105
120	67.0	95.5	—	61.0	41.0	106
122	68.0	96.0	83.0	62.0	42.0	108
124	69.0	96.5	—	62.5	43.0	110
126	70.0	97.0	83.5	63.0	44.0	112
128	71.0	97.5	—	63.5	45.0	113
130	72.0	98.0	84.0	64.5	45.5	114
132	73.0	98.5	84.5	65.0	46.5	116
134	73.5	99.0	—	65.5	47.5	118
136	74.5	99.5	85.0	66.0	48.0	120
138	75.0	100.0	—	66.5	49.0	121
140	76.0	100.5	85.5	67.0	50.0	122
142	77.0	101.0	—	67.5	51.0	124

**ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПАТРОННОЙ ЛАТУНИ (СПЛАВ – 70% МЕДИ 30% ЦИНКА)**

Число твердости Вickers	Число твердости Роквелла	Число поверхностной твердости Роквелла			Число твердости Бриннеля	500 кгф нагрузка 10-мм шар
	шкала В 100-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала F 60-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 15-T 15-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588мм) шар	шкала 30-T 30-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	шкала 45-T 45-кгф нагрузка 1/16дюйм (1.588-мм) шар	
170	87.0	—	—	—	59.5	147
172	87.5	106.5	—	73.5	60.0	149
174	88.0	—	88.5	74.0	60.5	150
176	88.5	107.0	—	—	61.0	152
178	89.0	—	—	74.5	61.5	154
180	90.0	107.5	—	75.0	62.0	156
182	90.5	108.0	89.0	—	62.5	157
184	91.0	—	—	75.5	63.0	159
186	91.5	108.5	—	76.0	63.5	161
188	92.0	—	89.5	—	64.0	162
190	92.5	109.0	—	76.5	64.5	164
192	93.0	—	—	77.0	65.0	166
194	—	109.5	—	—	65.5	167
196	93.5	110.0	90.0	77.5	66.0	169

**СООТНОШЕНИЕ КАЛИБРОВ**

Наименование калибра	КАЛИБР ВЕСА			КАЛИБР ТОЛЩИНЫ		
	Основное использование	Стандартный Калибр Соединенный Штатов U.S.S.G. Листовая и прокат. углеродистая сталь без покрытия	Стандартный калибр производителя для прокатной стали Калибр стал.проволоки	Стальной прокат без покрытия	Калибр стал.проволоки Washburn & Moen или W. & M. проволоч.калибр Калибр стал.проволоки США Бирмингем.сортамент Стальная проволока кроме струнной	Калибр стал.проволоки Стаба W.W.G. Калибр Лист, прокат и проволока
№ калибра	фунт на кв.дюйм	Эквивалентная толщина, дюйм	Эквивалентная толщина, дюйм	толщина, дюйм	толщина, дюйм	№ калибра
7/0's	20.0000	.4902		0.4900		7/0's
6/0's	18.7500	.4596		.4615		6/0's
5/0's	17.5000	.4289		.4305	.0500	5/0's
4/0's	16.2500	.3983		.3938	.454	4/0's
3/0's	15.0000	.3676		.3625	.425	3/0's
2/0's	13.7500	.3370		.3310	.380	2/0's
0	12.5000	.3064		.3065	.340	0
1	11.2500	.2757		.2830	.300	1
2	10.6250	.2604		.2625	.284	2
3	10.0000	.2451	0.2391	.2437	.259	3
4	9.3750	.2298	.2242	.2253	.238	4
5	8.7500	.2145	.2092	.2070*	.220	5
6	8.1250	.1991	.1943	.1920*	.203	6
7	7.5000	.1838	.1793	.1770*	.180	7
8	6.8750	.1685	.1644	.1620*	.165	8
9	6.2500	.1532	.1495	.1483*	.148	9
10	5.6250	.1379	.1345	.1350*	.134	10
11	5.0000	.1225	.1196	.1205*	.120	11

		<u>КАЛИБР ВЕСА</u>		<u>КАЛИБР ТОЛЩИНЫ</u>		
Наименование калибра		Стандартный Калибр Соединенный Штатов U.S.S.G.	Стандартный калибр производителя для прокатной стали Калибр стал.проволоки	Калибр стал.проволоки Washburn & Moen или W. & M. проволоч.калибр Калибр стал.проволоки США Бирмингем.сортамент	Калибр стал.проволоки Стаба W.W.G. Калибр	Наименование калибра
Основное использование		Листовая и прокат. углеродистая сталь без покрытия	Стальной прокат без покрытия	Стальная проволока кроме струнной	Лист, прокат и проволока	Основное использовани
№ калибра	фунт на кв.дюйм	Эквивалентная толщина, дюйм	Эквивалентная толщина, дюйм	толщина, дюйм	толщина, дюйм	№ калибра
29	.5625	.0138	.0135	.0150	.013	29
30	.5000	.0123	.0120	.0140	.012	30
31	.4375	.0107	.0105	.0132	.010	31
32	.4062	.0100	.0097	.0128	.009	32
33	.3750	.0092	.0090	.0118	.008	33
34	.3437	.0084	.0082	.0104	.007	34
35	.3125	.0077	.0075	.0095	.005	35
36	.2812	.0069	.0067	.0090	.004	36
37	.2656	.0065	.0064	.0085		37
38	.2500	.0061	.0060	.0080		38
39	.2344	.0057		.0075		39
40	.2187	.0054		.0070		40
41	.2109	.0052		.0066		41
42	.2031	.0050		.0062		42
43	.1953	.0048		.0060		43
44	.1875	.0046		.0058		44

		<u>КАЛИБР ВЕСА</u>		<u>КАЛИБР ТОЛЩИНЫ</u>		
Наименование калибра		Стандартный Калибр Соединенный Штатов U.S.S.G.	Стандартный калибр производителя для прокатной стали Калибр стал.проволоки	Калибр стал.проволоки Washburn & Moen или W. & M. проволоч.калибр Калибр стал.проволоки США Бирмингем.сортамент	Калибр стал.проволоки Стаба W.W.G. Калибр	Наименование калибра
Основное использование		Листовая и прокат. углеродистая сталь без покрытия	Стальной прокат без покрытия	Стальная проволока кроме струнной	Лист, прокат и проволока	Основное использовани
№ калибра	фунт на кв.дюйм	Эквивалентная толщина, дюйм	Эквивалентная толщина, дюйм	толщина, дюйм	толщина, дюйм	№ калибра
12	4.3750	.1072	.1046	.1055*	.109	12
13	3.7500	.0919	.0897	.0915*	.095	13
14	3.1250	.0766	.0747	.0800*	.083	14
15	2.8125	.0689	.0673	.0720*	.072	15
16	2.5000	.0613	.0598	.0625*	.065	16
17	2.2500	.0551	.0538	.0540*	.058	17
18	2.0000	.0490	.0478	.0475*	.049	18
19	1.7500	.0429	.0418	.0410*	.042	19
20	1.5000	.0368	.0359	.0348	.035	20
21	1.3750	.0337	.0329	.0317	.032	21
22	1.2500	.0306	.0299	.0286	.028	22
23	1.1250	.0276	.0269	.0258	.025	23
24	1.0000	.0245	.0239	.0230	.022	24
25	.8750	.0214	.0209	.0204	.020	25
26	.7500	.0184	.0179	.0181	.018	26
27	.6875	.0169	.0164	.0173	.016	27
28	.6250	.0153	.0149	.0162	.014	28

### ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЙ ТВЕРДОСТИ (Приблизительная)

Бриннель, 100-мм карбидный шарик 3000- кг груз		Алмазная пирамида (по Викерсу)	По Роквеллу	Шкала В 100 кг	Прочность на растяжение	
Прочность, диаметр	Число вдавливания, мм	Число твердости	шкала С Алмаз.конус 150 кг	1/14" шарик	Порог *	1000 psi
3.15	375	396	40.5	-	55	184
3.20	363	383	39	-	53	177
3.25	352	372	38	(110)	52	171
3.30	341	360	36.5	(109)	50	164
3.35	331	350	35.5	(108.5)	48	159
3.40	321	339	34.5	(108)	47	154
3.45	311	328	33	(107.5)	46	149
3.50	302	319	32	(107)	45	146
3.55	293	309	31	(106)	44	141
3.60	285	301	30	(105.5)	43	138
3.65	277	292	29	(104.5)	42	134
3.70	269	284	27.5	(104)	41	130
3.75	262	276	26.5	(103)	40	127
3.80	255	269	25.5	(102)	39	123
3.85	248	261	24	(101)	38	120
3.90	241	253	23	100	37	116
3.95	235	247	21.5	99	36	114
4.00	229	241	20.5	98	35	111

(Значения в скобках выходят за пределы обычного диапазона и даны только для справки).  
\* Данные от Института Производителей Проката, ОК, Йорк, Metall Progress, 83, Апрель 19636 P.106

### ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЙ ТВЕРДОСТИ (Приблизительная)

Бриннель, 100-мм карбидный шарик 3000- кг груз		Алмазная пирамида (по Викерсу)	По Роквеллу	Шкала В 100 кг	Прочность на растяжение	
Прочность, диаметр	Число вдавливания, мм	Число твердости	шкала С Алмаз.конус 150 кг	1/14" шарик	Порог *	1000 psi
-	-	940	68	-	94	-
-	767	880	66.5	-	92	-
-	745	840	65.5	-	91	-
2.25	712	-	-	-	-	-
2.30	682	737	61.5	-	85	-
2.40	653	697	60	-	83	-
2.45	627	667	58.5	-	81	-
2.50	601	640	57.5	-	79	-
2.55	578	615	56	-	78	-
2.60	555	591	54.5	-	76	298
2.65	534	469	53.5	-	74	288
2.70	514	547	52	-	72	274
2.75	495	528	51	-	71	264
2.80	477	508	49.5	-	68	252
2.85	461	491	48.5	-	66	242
2.90	444	472	47	-	64	230
2.95	429	455	45.5	-	62	219
3.00	415	440	44.5	-	60	212
3.05	401	425	43	-	58	202
3.10	388	410	42	-	56	193

(Значения в скобках выходят за пределы обычного диапазона и даны только для справки).  
\* Данные от Института Производителей Проката, ОК, Йорк, Metall Progress, 83, Апрель 19636 P.106



## ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР

-459.4 до 0			0 до 100			100 до 1000								
C	F/C	F	C	F/C	F	C	F/C	F						
-273	-469.4		-17.8	0	32	10.0	50	122.0	38	100	212	260	500	932
-268	-450		-17.2	1	33.8	10.6	51	123.8	43	110	230	266	510	950
-262	-440		-16.7	2	35.6	11.1	52	125.6	49	120	248	271	520	968
-257	-430		-16.1	3	37.4	11.7	53	127.4	54	130	266	277	530	986
-251	-420		-15.6	4	39.2	12.2	54	129.2	60	140	284	282	540	1004
-246	-410		-15.0	5	41.0	12.8	55	131.0	66	150	302	288	550	1022
-240	-400		-14.4	6	42.8	13.3	56	132.8	71	160	320	293	560	1040
-234	-390		-13.9	7	44.6	13.9	57	134.6	77	170	338	299	570	1058
-229	-380		-13.3	8	46.4	14.4	58	136.4	82	180	356	304	580	1076
-223	-370		-12.8	9	48.2	15.0	59	138.2	88	190	374	310	590	1094
-218	-360		-12.2	10	50.0	15.6	60	140.0	93	200	392	316	600	1112
-212	-350		-11.7	11	51.8	16.1	61	141.8	99	210	410	321	610	1130
-207	-340		-11.1	12	53.6	16.7	62	143.6	100	212	414	327	620	1148
-201	-330		-10.6	13	55.4	17.2	63	145.4	104	220	428	332	630	1166
-196	-320		-10.0	14	57.2	17.8	64	147.2	110	230	446	338	640	1184
-190	-310		-9.4	15	59.0	18.3	65	149.0	116	240	464	343	650	1202
-184	-300		-8.9	16	60.8	18.9	66	150.8	121	250	482	349	660	1220
-179	-290		-8.3	17	62.6	19.4	67	152.6	127	260	500	354	670	1238
-173	-280		-7.8	18	64.4	20.0	68	154.4	132	270	518	360	680	1256
-169	-273	-459.4	-7.2	19	66.2	20.6	69	156.2	138	280	536	366	690	1274
-168	-270	-454	-6.7	20	68.0	21.1	70	158.0	143	290	554	371	700	1292
-162	-260	-436	-6.1	21	69.8	21.7	71	159.8	149	300	572	377	710	1310
-157	-250	-418	-5.6	22	71.6	22.2	72	161.6	154	310	590	382	720	1328
-151	-240	-400	-5.0	23	73.4	22.8	73	163.4	160	320	608	388	730	1346
-146	-230	-382	-4.4	24	75.2	23.3	74	165.2	166	330	626	393	740	1364

Смотрите переводимую температуру в средней колонке. если в градусах Цельсия, см. эквивалент по Фрегейту в правой колонке; если в градусах Фаренгейта, см. эквивалент по Цельсия в левой колонке.

## ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЙ ТВЕРДОСТИ (Приблизительная)

Бриннель, 100-мм карбидный шарик 3000- кг груз		Алмазная пирамида (по Викерсу)	По Роквеллу		Прочность на растяжение	
Прочность, диаметр вдавливания, мм	Число твердости	число твердости	шкала С	Шкала В	Порог*	1000 psi
			Алмаз.конус 150 кг	100 кг 1/14" шарик		
4.05	223	234	(19)	97.5	-	-
4.10	217	228	(17.5)	96.5	-	105
4.20	207	218	(15)	94.5	-	100
4.30	197	207	(12.5)	93	-	95
4.40	187	196	(10)	90.5	-	90
4.50	179	188	(8)	89	-	87
4.60	170	178	(5)	87	-	83
4.70	163	171	(3)	85	-	79
4.80	156	163	(1)	83	-	76
5.00	143	150	-	78.5	-	71
5.20	131	137	-	74	-	65
5.40	121	127	-	70	-	60
5.60	111	117	-	65.5	-	56

(Значения в скобках выходят за пределы обычного диапазона и даны только для справки)  
\* Данные от Института Производителей Проката, ОК, Йорк, Metall Progress, 83, Апрель 19636 P.106

## ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР

1000 до 2000						2000 до 3000					
C	F/C	F	C	F/C	F	C	F/C	F	C	F/C	F
530	1000	1832	816	1500	2732	1093	2000	3632	1371	2500	4532
543	1010	1850	821	1510	2750	1099	2010	3650	1377	2510	4550
549	1020	1868	827	1520	2768	1104	2020	3668	1382	2520	4568
554	1030	1886	832	1530	2786	1110	2030	3686	1388	2530	4586
560	1040	1904	838	1540	2804	1116	2040	3704	1393	2540	4604
566	1050	1922	843	1550	2822	1121	2050	3722	1399	2550	4622
571	1060	1940	849	1560	2840	1127	2060	3740	1404	2560	4640
577	1070	1958	854	1570	2858	1132	2070	3758	1410	2570	4658
582	1080	1976	860	1580	2876	1138	2080	3776	1416	2580	4676
588	1090	1994	866	1590	2894	1143	2090	3794	1421	2590	4694
593	1100	2012	871	1600	2912	1149	2100	3812	1427	2600	4712
599	1110	2030	877	1610	2930	1154	2110	3830	1432	2610	4730
604	1120	2048	882	1620	2940	1160	2120	3848	1438	212	414
610	1130	2066	888	1630	2966	1166	2130	3866	1404	220	428
616	1140	2084	893	1640	2984	1171	2140	3884	110	230	446
621	1150	2102	899	1650	3002	18.3	65	149.0	116	240	464
627	1160	2120	904	1660	3020	18.9	66	150.8	121	250	482
632	1170	2138	910	1670	3038	19.4	67	152.6	127	260	500
638	1180	2156	916	1680	3056	20.0	68	154.4	132	270	518
643	1190	2174	921	1690	3074						
649	-270	-454	-6.7	20	68.0	21.1	70	158.0	143	290	554
654	-260	-436	-6.1	21	69.8	21.7	71	159.8	149	300	572
660	-250	-418	-5.6	22	71.6	22.2	72	161.6	154	310	590
671	-240	-400	-5.0	23	73.4	22.8	73	163.4	160	320	608
-146	-230	-382	-4.4	24	75.2	23.3	74	165.2	166	330	626

Смотрите переводимую температуру в средней колонке. если в градусах Цельсия, см. эквивалент по Фаренгейту в правой колонке; если в градусах Фаренгейта, см. эквивалент по Цельсия в левой колонке.

## ТАБЛИЦА СООТНОШЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР

-459.4 до 0			0 до 100			100 до 1000					
C	F/C	F	C	F/C	F	C	F/C	F	C	F/C	F
-140	-220	-364	-3.9	25	77.0	23.9	75	167.0	171	340	644
-134	-210	-346	-3.3	26	78.8	24.4	76	168.8	177	350	662
-129	-200	-328	-2.8	27	80.6	25.0	77	170.6	182	360	680
-123	-190	-310	-2.2	28	82.4	25.6	78	172.4	188	370	698
-118	-180	-292	-1.7	29	84.2	26.1	79	174.2	193	380	716
-112	-170	-272	-1.1	30	86.0	26.7	80	176.0	199	390	734
-107	-160	-256	-0.6	31	87.8	27.2	81	177.8	204	400	752
-101	-150	-238	0	32	89.6	27.8	82	179.6	210	410	770
-96	-140	-220	0.6	33	91.4	28.3	83	181.4	216	420	788
-90	-130	-202	1.1	34	93.2	28.9	84	183.2	221	430	806
-84	-120	-184	1.7	35	95.0	29.4	85	185.0	227	440	824
-79	-110	-166	2.2	36	96.8	30.0	86	186.8	232	450	842
-73	-100	-148	2.8	37	98.6	30.6	87	188.6	238	460	860
-68	-90	-130	3.3	38	100.4	31.1	88	190.4	243	470	878
-62	-80	-112	3.9	39	102.2	31.7	89	192.2	249	480	896
-57	-70	-94	4.4	40	104.0	32.2	90	194.0	254	490	914
-51	-60	-76	5.0	41	105.8	32.8	91	195.0			
-46	-50	-58	5.6	42	107.6	33.3	92	197.0			
-40	-40	-40	6.1	43	109.4	33.9	93	199.4			
-34	-30	-22	6.7	44	111.2	34.4	94	201.2			
-29	-20	-4	7.2	45	113.0	35.0	95	203.0			
-23	-10	14	7.8	46	114.8	35.6	96	204.8			
-17.8	0	32	8.3	47	116.6	36.1	97	206.6			
			8.9	48	118.4	36.7	98	208.4			
			9.4	49	120.2	37.2	99	210.2			
						37.8	100	212.0			
									538	1000	1832

Смотрите переводимую температуру в средней колонке. если в градусах Цельсия, см. эквивалент по Фаренгейту в правой колонке; если в градусах Фаренгейта, см. эквивалент по Цельсия в левой колонке.

## РАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ

### Мощность – цепь постоянно тока

Ватт = Вольт x Ампер

Ампер =  $\frac{\text{Ватт}}{\text{Вольт}}$

Лошадиная сила =  $\frac{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times \text{КПД}}{746}$

### Прикладные формулы для двигателя

Крутящий момент (фунт-фут) =  $\frac{\text{лошадиная сила} \times 5250}{\text{Оборот/мин}}$

Лошадиная сила =  $\frac{\text{Крутящий момент (фунт-фут)} \times \text{Оборот/мин}}{5250}$

### Время, необходимое двигателю для того, чтобы развить рабочую скорость

Секунды =  $\frac{\text{Работа}^2 \times \text{изменение скоростей}}{308 \times \text{сред. Ускоряющий момент}}$

Работа<sup>2</sup> = инерция ротора = инерция нагрузки (фунт-фут)<sup>2</sup>

Средний ускоряющий момент =  $\frac{(\text{КМПН} + \text{ПКМ}) + \text{ПКМ} + \text{МНР}}{2}$   
3

КМПН = крутящий момент полной нагрузки, ПКМ = Пусковой крутящий момент, МНР = момент на неподвижном роторе

Нагрузка WK<sup>2</sup> (на валу двигателя) =  $\frac{\text{WK}^2 (\text{нагрузка}) \times \text{нагрузка об/мин}^2}{\text{Обороты двигателя}^2}$

Усилие на валу (фунт на кв.дюйм) =  $\frac{\text{ЛС} \times 321.000}{\text{Обороты} \times \text{диам. вала}^3}$

### Для насосов:

Лошадиная сила =  $\frac{\text{галл/мин} \times \text{напор в футах} \times \text{уд.вес}}{3960 \times \text{КПД насоса}}$

для вентиляторов и воздуходувок:

Лошадиная сила =  $\frac{\text{CDFM} \times \text{давление (фунт/кв.фут)}}{33000 \times \text{КПД}}$

Скорость:

Синхронные обороты =  $\frac{\text{частота (Гц)} \times 120}{\text{Поль}}$

Пробуксовка в процентах =  $\frac{\text{Синхронные обороты} - \text{обороты полной нагрузки} \times 100}{\text{Синхронные обороты}}$



**Закон Ома:**

Ом = Вольт/Ампер

Ампер = Вольт / Ом

Вольт = Ампер x Ом

**Мощность – цепь переменного тока**

$$\text{КПД} = \frac{746 \times \text{выход.мощность (в ЛС)}}{\text{Ватт на входе}}$$

$$\text{КВт – на три фазы} = \frac{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times \text{коэффициент мощности} \times 1.732}{1000}$$

$$\text{Вольт – ампер на три фазы} = \text{Вольт} \times \text{Ампер} \times 1.732$$

$$\text{Ампер – на три фазы} = \frac{\text{Ватт}}{1.732 \times \text{Вольт} \times \text{КПД} \times \text{коэф.мощ-ти}}$$

$$\text{КПД – на три фазы} = \frac{\text{Ватт}}{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times \text{коэф.мощ-ти} \times 1.732}$$

$$\text{Коэф. мощности – на три фазы} = \frac{\text{Ватт на входе}}{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times 1.732}$$

$$\text{КВт- одна фаза} = \frac{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times \text{коэффициент мощности}}{1000}$$

$$\text{Ампер – одна фаза} = \frac{\text{Ватт}}{\text{Вольт} \times \text{КПД} \times \text{коэф.мощ-ти}}$$

$$\text{КПД – одна фаза} = \frac{746 \times \text{лошад.сила}}{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times \text{коэф.мощ-ти}}$$

$$\text{Коэф. Мощности – одна фаза} = \frac{\text{Ватт на входе}}{\text{Вольт} \times \text{Ампер}}$$

$$\text{Лошадиная сила (3 фазы)} = \frac{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times \text{коэффициент мощности} \times 1.732 \times \text{КПД}}{746}$$

$$\text{Лошадиная сила (1 фаза)} = \frac{\text{Вольт} \times \text{Ампер} \times \text{коэффициент мощности} \times \text{КПД}}{746}$$