

Министерство науки, высшей школы  
и технической подготовки Российской Федерации

Самарский орден Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Дорохова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СВАРЕИ ТРЕШЛЕВ  
НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ

Методические указания  
к лабораторной работе

Самара 1992

Составитель Д.А. Д у д а р ь

УДК 621.791.14

Исследование влияния параметров режима сварки трением на прочность соединения: Метод. указания к лаборатор. работе /Свар.алиец.ин-т; Сост. Д.А. Д у д а р ь. Самара, 1992. 32 с.

В работе изучаются физические явления процессов сварки трением и исследуются влияние параметров режима на прочность соединения.

Предназначены для студентов старших курсов дневного обучения специальностей 13.01, 13.06, 13.07. Подготовлены на кафедре производства летательных аппаратов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.Д. Каролева

**Ц е л ь р а б о т ы:** практическое ознакомление с оборудованием для сварки трением, с методикой выбора режима сварки.

**З а д а н и я:**

1. Рассчитать основные параметры режима сварки трением.
2. Провести исследование влияния параметров режима на прочность сварных соединений.
3. Составить отчет о выполненной работе (приложение).

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

**Физическая сущность сварки трением**

Современная теория трения, разработанная проф. И.В.Крагельским, полагает, что природа силового взаимодействия при трении твердых тел двойственна. С одной стороны, при контакте их поверхностей (рис.1) имеет место внедрение микровыступов 1 одного тела во впадины



**Р и с . 1.** Схема контакта неровных поверхностей при трении

нь другого. В тех случаях, когда эти тела обладают вязкой пластичностью, может быть еще и внедрение микровыступов 2 более твердого тела в

в микровыступы более мягкого тела  $A$ . При относительном тангенциальном сдвиге таких тел (стрелки на рис. 1) происходит деформирование микровыступов (в общем случае более мягкого тела). Деформирование происходит в пределах приповерхностного слоя некоторой толщины. Сопротивление такому деформированию, зависящее от прочности материала, называют деформационной составляющей силы трения.

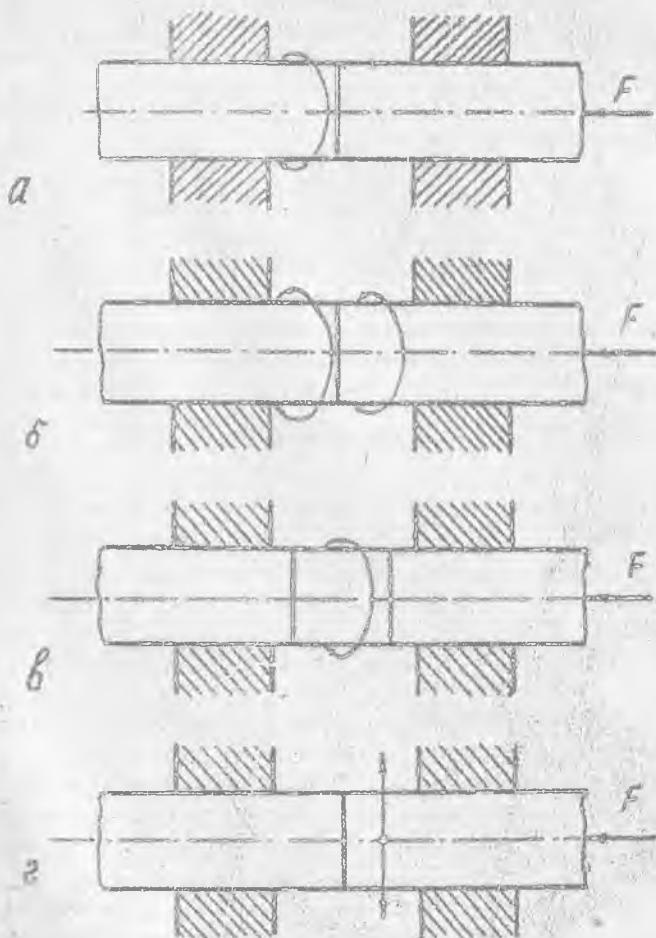
С другой стороны, молекулярные (металлические) связи, возникающие на фактической площадке контакта (на вершинах микровыступов  $3$ ), также являются силами сопротивления тангенциальному сдвигу поверхностей трения. Это сопротивление называют адгезионной составляющей силы трения.

Сварка трением - это способ сварки давлением в твердой фазе, при котором механическая энергия, подводимая к одной из свариваемых деталей, преобразуется в тепловую непосредственно в месте будущего соединения. Такое сосредоточенное тепловыделение обуславливает основные особенности сварки трением.

Возможен ряд схем процесса сварки трением. Некоторые из них позволяют рационально и экономно использовать тепло, введенное в изделие, так как при этом легко осуществимо местное, строго локализованное тепловыделение на поверхностях деталей, подлежащих соединению. Иными словами, при сварке трением представляется возможным вводить тепло лишь в те участки деталей, где это необходимо для целей сварки.

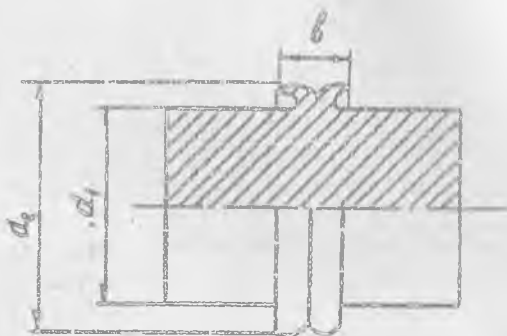
Одна из наиболее простых схем сварки трением - соединение встык двух кружков ограниченной длины стержней - представлено на рис. 2, а. Две детали, подлежащие сварке, расположены соосно; одна из них закреплена неподвижно, а другая приводится во вращение вокруг их общей оси. На сопряженных поверхностях деталей, прижатых одна к другой осевым усилием  $F$ , возникает сила (момент) трения. Работа, затрачиваемая на их преодоление, при относительном вращении свариваемых заготовок преобразуется в теплоту, которая выделяется на поверхностях трения и в приповерхностных слоях металла, нагревая их до температур, необходимых для образования сварного соединения (при сварке, например, черных металлов температура в стыке достигает 1273-1573 К).

По достижении этой температуры относительное движение поверхностей трения должно быть по возможности быстро (практически мгновенно) прекращено; тогда же прекратится и тепловыделение. Металлы, ставшие пластичными в процессе трения, выдавливаются из стыка в радиальных направлениях под действием осевого усилия. Происходит осадка - сближение деталей. Выдавленный металл (грат) имеет форму правильного угловатого



Р и с. 2. Схемы процесса сварки трением: а — простейшая; б — при вращении обеих свариваемых деталей в противоположные стороны; в — сварка двух не вращающихся деталей с помощью вращающейся зажатой между ними вставки; г — вибрационная

ного кольца, симметрично расположенного по обе стороны плоскости стыка (рис.3). Окисные пленки, покрывающие торцевые поверхности соединяемых деталей до начала сварки, разрушаются и частично удаляются



Р и с. 3. Форма выдавленного металла (грят)

с выдавленным металлом, а также исчезают из стыка вследствие диффузии. В этот момент в контакт оказываются вовлеченными чистые (квемальные) поверхности металла, доведенного до состояния повышенной пластичности. Для завершения процесса получения прочного соединения этот металл подвергается проковке, т.е. дополнительному обжатию осевым усилием, величина которого либо может оставаться такой же, как при нагреве, либо может быть увеличена.

Кроме указанной, в настоящее время известны также две другие схемы процесса сварки трением: вращение обеих свариваемых деталей в противоположные стороны (рис.2,б) и сварка двух вращающихся деталей с помощью вращения закатого между ними третьего (вспомогательного) тела (рис.2,в). Применение первой из этих двух схем целесообразно в случае необходимости получения больших относительных скоростей вращения; другая может быть использована при сварке длинных и громоздких деталей, вращение которых затруднительно или невозможно.

Предложена также схема процесса сварки трением двух деталей возвратно-поступательным движением их в плоскости трения (рис.2,г). Однако практического применения эта схема до настоящего времени не нашла.

## Температурный режим поверхности

В процессе трения температура сопряженных поверхностей не остается постоянной. Происходит это потому, что энергия, затрачиваемая на преодоление сил трения (молекулярно-механического взаимодействия поверхностей), выделяется в форме тепла в первую очередь на элементарных площадках физического контакта. В этих точках при трении могут появляться кратковременные температурные всплески, быстро повышающие температуру микровыступов. Их температура может так же быстро спасть благодаря интенсивному отводу тепла в глубину тела и в окружающую среду, но средняя температура поверхности трения в начальный период процесса трения будет в результате нарастать.

Тепловыделение при трении имеет место не только на поверхности точек физического контакта. Деформирование микровыступов, на которое затрачивается некоторая доля энергии при трении, также является причиной теплогенерирования. Поэтому следует говорить о тепловыделяющем поверхностном слое, имеющем некоторую толщину. В пределах этого слоя, а благодаря теплопроводности и в слоях, расположенных глубже, при трении образуется температурное поле.

В непосредственной близости к точкам физического контакта температурное поле имеет вид полусферических изотермических поверхностей, которые сливаются в одной поверхности на некоторой глубине тела (рис. 4, а), а распределение температур по глубине тела  $X$  (в направлении, перпендикулярном поверхности трения) определяется убывающей функцией (рис. 4, б) [1].

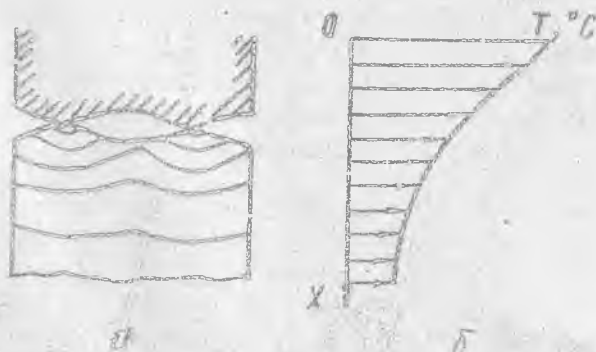


Рис. 4. Температурное поле в поверхностном слое металла: а — в микровыступах; б — распределение температуры по глубине  $X$ .

## Основные фазы процесса сварки трением

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

локализованное тепловыделение на поверхностях трения;

непрерывное образование металлических связей между этими поверхностями и комедленное разрушение этих связей вследствие продолжающегося относительного движения поверхностей;

почти мгновенный нагрев и столь же быстрое охлаждение малых объемов металла в условиях очень больших местных давлений;

упругоэластическая деформация в микросоветах шероховатых поверхностей и в приповерхностных слоях металла;

жидкой и рекристаллизация;

значительная диффузия, а также механическое внедрение частиц одной свариваемой детали в тело другой;

разрушение окисных пленок и удаление их из стыка вместе с пластифицированным металлом;

интенсивное перемещение дислокаций и активация поверхностей контакта;

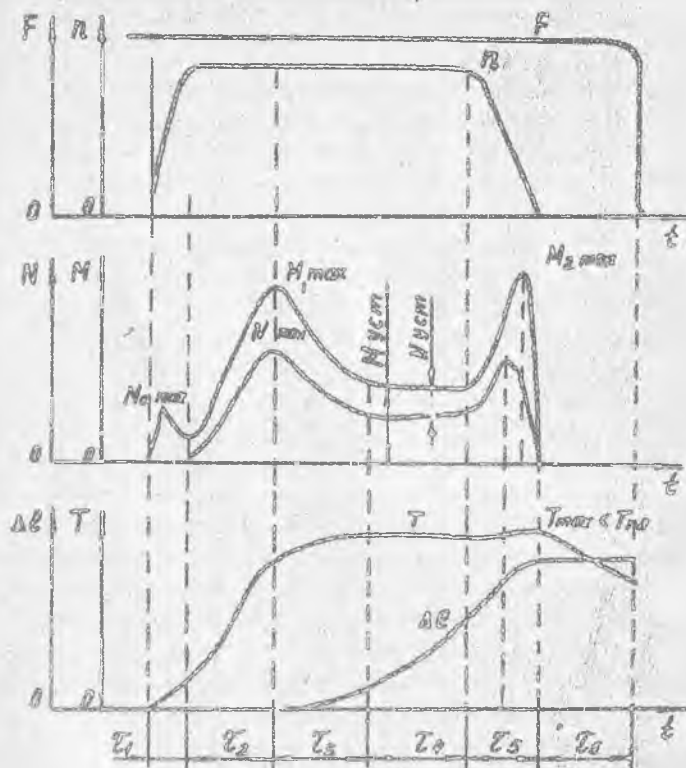
образование прочного соединения свариваемых заготовок сразу после прекращения их относительного движения.

Всякое течение металла в условиях одновременного сжатия и сдвига интенсифицирует активацию поверхностей трения [4].

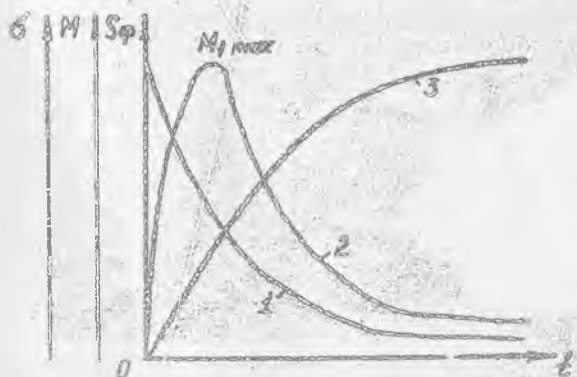
В результате взаимного наложения ряда названных выше явлений получается сложная картина течения процесса сварки трением (рис.5) [6]. Вверху показано изменение во времени основных параметров процесса — частоты вращения  $\Omega$  и осевого усилия  $F$ . Ниже показаны характерные кривые изменения во времени момента трения  $M(t)$ , потребляемой мощности  $N(t)$ , осадки (сближения свариваемых заготовок по мере вытеснения из стыка пластифицированного металла) —  $\Delta l(t)$ , а также температуры  $T(t)$ .

Весь процесс сварки трением удобно рассматривать состоящим из нескольких фаз. В первой фазе ( $T_1$ ) происходит начальная притирка поверхностей трения. По мере увеличения частоты вращения момент трения покоя  $M_{0max}$  уменьшается, протекает процесс граничного трения в присутствии быстроразрушающихся жировых пленок, в контакт вступают отдельные микровыступы, начинается их деформация и обнажение пластичных участков поверхности трения, появляются первые очаги сдвигания, граничное трение уступает место сухому.





Р и с. 5. Циклограмма процесса сварки трением



Р и с. 6. Механизм образования первого пика на кривой моментов

Вторая фаза ( $T_2$ ) - динамическое увеличение числа взаимодействующих микровыступов, увеличение фактической площади  $S_{ф}$  контакта (рис. 6, кривая 3) и быстрый рост температуры в стыке. С ростом температуры наблюдается быстрый спад предела текучести металла и его сопротивления деформации (кривая 1 на рис. 6). Момент трения (кривая 2) сначала быстро нарастает, затем замедляется и к концу второй фазы его значение достигает максимального ( $M_{max}$ ). Трение распространяется на всю поверхность контакта, появляется тонкий слой пластифицированного металла, выполняющего роль смазочного материала, трение из сухого становится как бы граничным.

Третья фаза ( $T_3$ ) отличается постепенным подъемом температуры металла (см. рис. 5) и, как следствие, спадом момента трения; начинается вытеснение из стыка пластифицированного металла (образование грат). К концу третьей фазы температура в стыке достигает максимального значения, а момент трения, мощность тепловыделения и скорость осадки стабилизируются, наступает состояние, близкое к квазистационарному.

Четвертая фаза ( $T_4$ ) - фаза квазистационарного процесса трения, которая характеризуется установившимся состоянием многих параметров процессов: момента трения, мощности тепловыделения, температуры в стыке, скорости осадки. К концу этой фазы вся контактная поверхность подготовлена к образованию сварного соединения: металл в стыке пластифицирован, поверхности трения активированы, обломки пленок окислов и вторичные включения удалены в грат.

Пятая фаза ( $T_5$ ) - торможение. В результате уменьшения частоты вращения быстро нарастают коэффициент и момент трения, немее интенсивно увеличивается мощность тепловыделения. Аппарат в самом конце пятой фазы, когда частота вращения приближается к нулю, мощность почти мгновенно падает, начинается уменьшение температуры в стыке, наступает момент полной остановки с немедленным образованием металлургических связей, осуществляющих неразъемное сварное соединение.

Шестая фаза ( $T_6$ ) - стадия проковки; образовавшееся соединение подвергается деформации сжатия осевым усилием, которое в этой фазе либо остается на прежнем (как в стадии нагрева) уровне, либо может быть увеличено. Эту стадию можно рассматривать как своеобразную высокотемпературную обработку сварного соединения, способствующую повышению прочности и вязкости металла. Обычно стадия проковки длится несколько секунд, после чего свариваемая деталь освобождается от захватов машин и далее соединение продолжает охлаждаться в естественных условиях.

Зависимость коэффициента трения, момента и мощности тепловыделения от основных параметров процесса

Известно, что в четвертой (квазистационарной) фазе процесса сварки [3], когда температура стабилизировалась, коэффициент трения практически не зависит от давления при изменениях последнего в пределах 0-100 МПа, т.е. в области, обычной для сварки трением большинства материалов. В этой фазе процесса зависимость коэффициента трения от скорости относительного движения удовлетворительно аппроксимируется выражением

$$f_p = A' / (v_p)^k = A / v_p^k, \quad (1)$$

где  $f_p$  - коэффициент трения в точке, отстоящей от оси вращения на расстоянии  $p$ ;  $\omega$  - частота вращения;  $v_p$  - линейная скорость в точке с радиусом вращения  $p$ , м/с;  $A$ ,  $A'$ ,  $k$  - постоянные.

Для периферийных точек поверхности трения (при  $p = R$ ) справедливо выражение

$$f_R = A' / (\omega R)^k = A / v_R^k, \quad (2)$$

где  $f(R)$  - коэффициент трения;  $R$  - радиус поверхности трения (цилиндрической поверхности свариваемой заготовки), м;  $v_R$  - линейная скорость на цилиндрической поверхности заготовки.

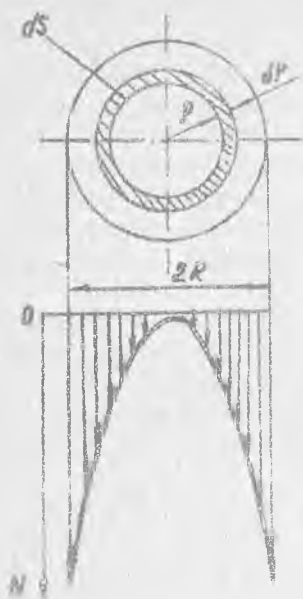
Для низкоуглеродистых сталей  $A = 0,16$ ;  $A' = 0,025$ ;  $k = 1,7$ .

При приведенных значениях  $A$ ,  $A'$  и  $k$  и для линейной скорости  $v_R$ , лежащей в пределах 0,6-2,5 м/с, расчетные данные по формулам (1) и (2) отличаются от опытных не более, чем на 7,5%.

Момент трения  $M_T$  на элементарной кольцевой площадке (рис. 7) может быть выражен [3] в виде

$$dM_T = 2\pi f_p p n p^2 d p, \quad (3)$$

После подстановки выражения (1) в (3) и интегрирования полный момент трения определяется по уравнению



$$M_T = (2\pi \cdot 10^6 / 3 - K) P_H R^2 (A/v_R^k) =$$

$$= (2 \cdot 10^6 / 3 - K) P_H S R^2 f_R, \quad (4)$$

где  $M_T$  - полный момент трения, Н·м;  
 $P_H$  - давление сварки, МПа;  $v_R$  -  
 линейная скорость на периферии поверх-  
 ности трения;  $R$  - радиус свариваемой  
 заготовки;  $S$  - площадь сечения за-  
 готовки (поверхности трения), м<sup>2</sup>.

Возрастание момента не может быть  
 обособленным, чем и объясняется появле-  
 ние второго максимума  $M_{2max}$  на зави-  
 симости  $M = f(t)$  (см. рис. 5). При  
 сварке черных металлов этому максимуму  
 момента трения отвечает скорость  $v_R =$   
 $= 0,3-0,4$  м/с.

Мощность тепловыделения может быть  
 определена по формуле  $N = 2\pi n M$ ,  
 после подстановки в которую выражения  
 (4) могут быть получены [2] следующие  
 уравнения: для полной мощности, потреб-

Рис. 7. Схема определения  
 момента трения, зная мощность  
 тепловыделения при сварке  
*История и развитие*  
 заемой в процессе сварки, кВт

$$N = (2,04\pi \cdot 10^3 / 3 - K) P_H R^2 (A/v_R^{k-1}) \approx$$

$$\approx (2 \cdot 10^3 - K) P_H v_R S f_R \quad (5)$$

для средней удельной мощности, кВт·м<sup>2</sup>

$$N_{уд} = (2/3 - K) P_H (A/v_R^{k-1}) =$$

$$= (2/3 - K) P_H v_R f_R \quad (6)$$

Следует иметь в виду, что приведенные формулы относятся к чет-  
 вертой (квазистационарной) стадии процесса сварки при  $0,5 < v < 2,5$  м/с.  
 Установлено [2], что если время сварки выбрано без запаса, то отноше-

ние средней мощности привода  $N_{ср}$  к мощности  $N$ , определяемой по формуле (5), несколько меньше или равно 2. Под  $N_{ср}$  понимается мощность, установленная на интервале  $t_1 - t_2$  (см. рис. 5).

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕЩИМ

Для проведения исследований используется полуавтомат модели ЧЗБ2 для сварки заготовок режущего инструмента пруткового холодно-тянутого или калиброванного профиля диаметром от 10 до 22 мм из быстрорежущих сталей с углеродистыми. После сварки в автомате предусматривается удаление графа [5].

Общий вид полуавтомата представлен на рис. 8.

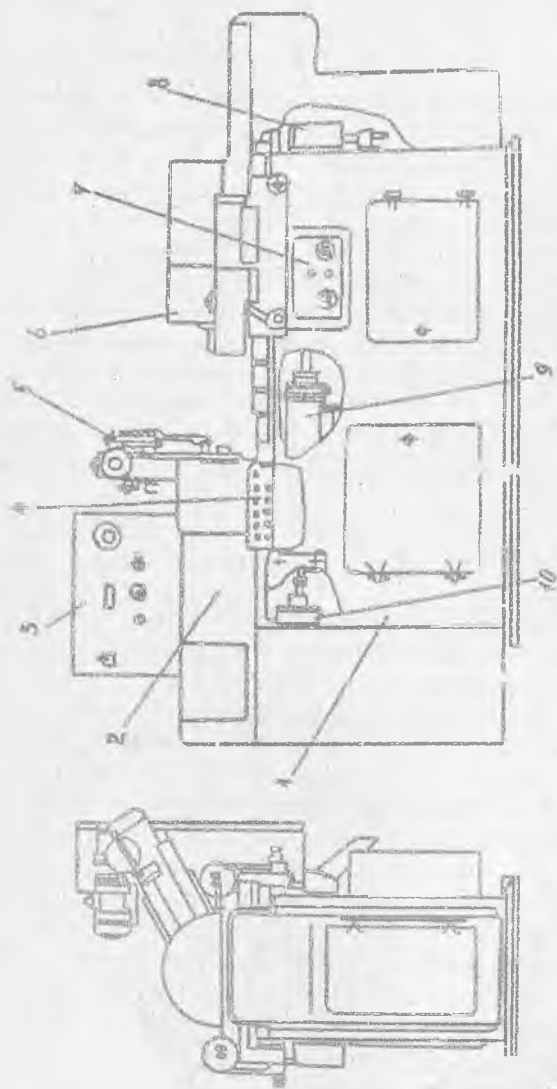
Станина представляет собой отливку коробчатой формы, внутри которой слева на проушинах устанавливается подмоторная плита с электродвигателем. На внутренней плоскости устанавливается пневмоцилиндр толкателя. Слева и сзади в оконных проемах на специальных пластинах устанавливаются промежуточные плиты воздухораспределителей.

На верхнем основании устанавливается шпиндельная бабка и призматические направляющие. На правой боковой плоскости закрепляется цилиндр стопорного устройства.

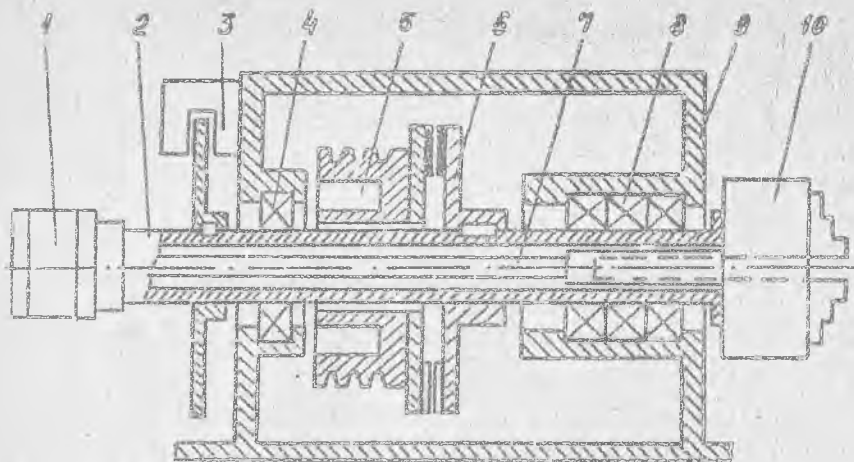
Внутри станины справа на нижней плоскости устанавливается сваренный ресивер. В задней стенке станины имеется окно для установки лотка, отводящего стружку.

Шпиндельная бабка (рис. 9) представляет собой пустотелый корпус со шпинделем, в правой полости которого установлен кулачковый патрон. Шпиндель имеет две подшипниковые опоры. С правой стороны шпиндель опирается на два радиально-упорных подшипника, воспринимающих всю осевую нагрузку при работе. С левой стороны шпиндель опирается на два радиально-упорных подшипника, через которые производится предварительный натяг на правые радиально-упорные подшипники. Корпус подшипниковых опор имеет каналы охлаждения для отвода тепла во время работы. На шпинделе установлен шкив, постоянно вращающийся на радиально-упорных подшипниках. Между шкивом и левым корпусом подшипниковой опоры шпинделя по шлицам перемещается конусная двухсторонняя функционально-тормозная муфта, соединенная через рычаг с пневмоцилиндром.

На верхних направляющих плоскостях левого корпуса подшипниковой опоры перемещается механизм зажима кулачкового патрона. Механизм зажима через рычаг соединен с пневмоцилиндром.



Р и с. 8. Однкий вид полувисмава МФ 552: 1-отавина; 2-шпидель; 3-приборний електромосток (рис. 10); 4-пулт управління (рис. 11); 5-рульот; 6-каретка; 7-релемосток (рис. 12); 8 - пневмоцилиндр отогора; 9-пневмоцилиндр коретки; 10-пневмоцилиндр муфта



Р и с. 9. Передняя бабка машины для сварки трением: 1-цилиндр управления зажимом 10; 2-шпиндель; 3-тормоз; 4-подшипник; 5-приводная шкива ременной передачи; 6-муфта сцепления; 7-тяги зажима 10; 8-передние подшипники; 9-корпус; 10-зажим вращающейся заготовки

Привод вращателя шпинделя осуществляется электродвигателем мощностью 10 кВт через двухстороннюю конусную фрикционно-тормозную муфту, перемещающуюся по шлицам на цилиндре.

Каретка состоит из двухполостного пневмоцилиндра, закрепленного на основании, в котором установлены верхние прижимы. В левой полости штока каретки установлена самозажимная цапга с упором. На боковых плечиках установлены пневмоцилиндры механизма прижима, служащие для прижима каретки. Каретка перемещается по роликовым направляющим. Перемещение производится толкателем. На заднем верхнем основании каретки через гребенку закреплена упорная вилка стопорного механизма.

Толкатель представляет собой пневмоцилиндр двухстороннего действия, служит для подвода и отвода каретки в исходное положение. Толкатель установлен на внутренней плоскости станины. Шток толкателя через пружинку и проушину соединен с кареткой.

Стопорное устройство представляет собой пневмоцилиндр двухстороннего действия. На верхнем конце штока установлен шарнирный клин, который запирает каретку в момент соприкосновения и последующего сжатия двух заготовок. В нижний конец опирается ролик путевого выключателя. Стопорное устройство установлено на правой боковой плоскости станины.

Механизм прижима представляет собой два пневмоцилиндра двустороннего действия, установленных на боковых планках каретки, служащих для прижима каретки во время сварки. Стоки цилиндров через рычаги передают вращение на два эксцентричных валика с вращающимися роликами. За счет смещения осей происходит прижим каретки во время сварки к нижним прижимам надрезанных.

Суппорт состоит из корпуса с прямоугольными пазами, на котором перемещается основание раздвигателя с закрепленным на нем резцом. Перемещение основания производится за счет поворота эксцентричного кулачка, приводимого во вращение электродвигателем через червячную пару. Суппорт установлен вертикально к горизонтальной плоскости на торцовом прижиме корпуса шпиндельной бабки.

### Перечень органов управления

№ позн-цик	Органы управления, их назначение и размещение
	Приборный электрощиток (рис. 10)
1	Рукоятка переключения с наладочного режима на автоматический
2	Сигнал о напряжении на полуавтомате
3	Рукоятка вводного выключателя и отключения
4	Рукоятка включения сети
5	Счетчик сваренных деталей
6	Измеритель нагрева
	Пульт управления (рис. 11)
1	Кнопка включения в работу
2	Кнопка аварийная - общий "Стоп"
3	Кнопка - разогрел
4	Рукоятка управления включением "Каретка вперед-назад"
5	Кнопка управления включением "Прокатка"
6	Кнопка управления включением "Стопор"
7	Кнопка управления включением "Муфта"
8	Кнопка выключения захвата цанги
9	Кнопка "Стоп" электродвигателя главного привода
10	Сигнал о выключении электродвигателя главного привода
11	Кнопка "Пуск" электродвигателя главного привода



№ позиции	Органы управления, их назначение и размещение
	Пневмоциток (рис. 12)
1	Рукоятка давления "Проковка"
2	Воздушный редуктор
3	Рукоятка "Разогрев"

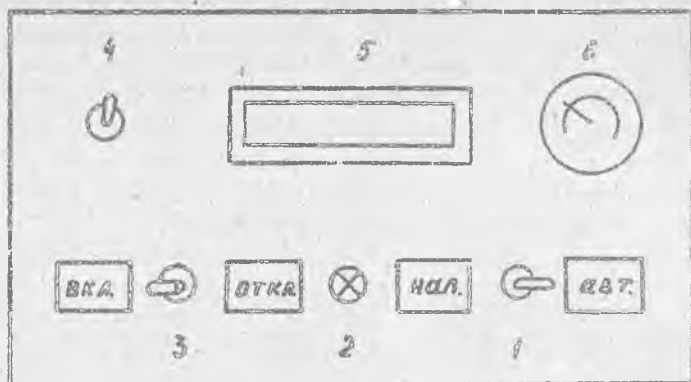
### Пневмооборудование

На полуавтомате применен пневмопривод, работающий от центральной разводки пневмосети. Управление пневмоприводом осуществляется воздухо-распределителями с электромагнитным управлением (рис. 13). В состав пневмооборудования и пневмопривода входят нормализованная распределительная и контрольно-регулирующая аппаратура.

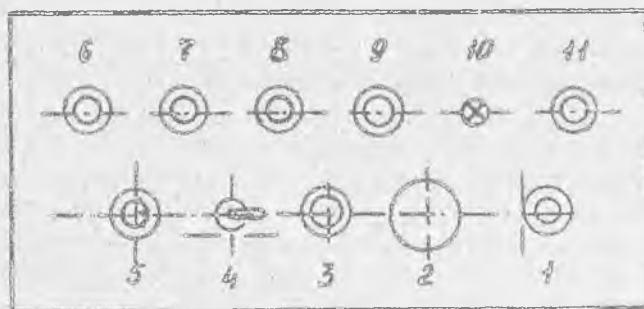
Коммуникации на полуавтомате выполнены с помощью медных труб и гибких резиноканавных плантов. Аппаратура подготовки воздуха и блокирующая аппаратура смонтированы в одном блоке и установлены с правой стороны станины перед вводом трубопровода пневмосети. Контрольно-регулирующая аппаратура смонтирована на одной панели и установлена в специальной нише на лицевой стороне станины под жареткой. Воздухораспределительная аппаратура смонтирована на двух панелях и установлена в оконных проемах станины.

### Работа пневматической схемы

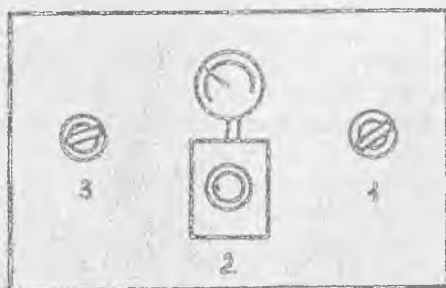
Сжатый воздух поступает из пневмосети через запорный кран 26 во влагоотделитель 1, где очищается от примесей и влаги и переходит в маслораспределитель 2. Воздух, насыщенный масляной пылью, из маслораспределителя переходит в ресивер 3, откуда по трубопроводам подводится по двум промежуточным панелям воздухораспределителей. Из ресивера воздух подводится к регуляторам давления "Разогрев" 24, "Проковка" 23, к воздухораспределителю 13. От регулятора давления "Проковка" 23 через запорный кран 22 и ред. давления 25, воздух подводится к ресиверу 21 и к воздухораспределителю 18.



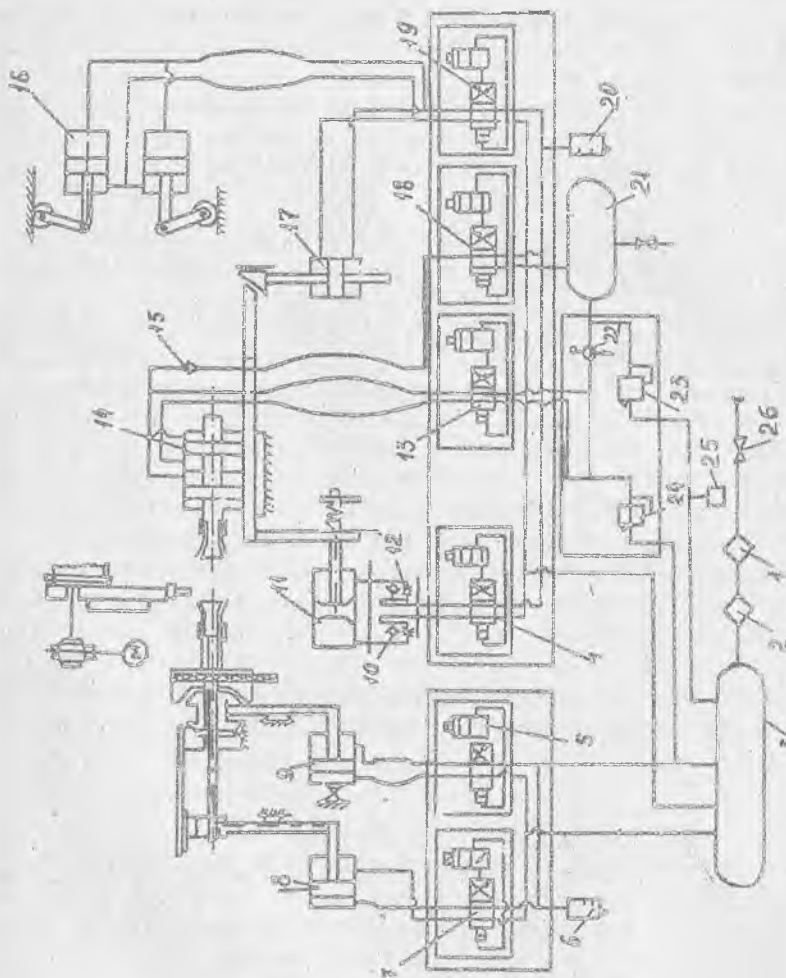
Р и с. 10. Приборный электроник



Р и с. 11. Панель управления



Р и с. 12. Индикатор



Р и с. 13. Схема управления пневмосприводом

Пневмоцилиндр вакуума патрона 8 управляется воздухораспределителем 7. При срабатывании электромагнита золотник распределителя соединит магистраль, произойдет захват кулачкового патрона и воздух сбросится через глушитель 6 в атмосферу.

После снятия напряжения с электромагнита золотник займет исходное положение, возвратит сток назад и разожмет клапанный патрон пилондельной бабки.

Пневмоцилиндр 9 муфты управляется воздухораспределителем 5. При срабатывании электромагнита золотник распределителя, переместившись влево, включит вращение шпинделя за счет перемещения двухсторонней фрикционной муфты, которая своим конусом соединится с конусным гнездом постоянно вращающегося механизма. После снятия напряжения с электромагнита золотник займет исходное положение, воздух возвратит сток вперед (влево) и затормозит муфтой вращение шпинделя.

Толкатель (подвод чехол каретки). Пневмоцилиндр толкателя 11 управляется воздухораспределителем 4. При срабатывании электромагнита золотник распределителя, переместившись влево, соединит магистраль через обратный клапан тормозного золотника 12 со штоковой полостью цилиндра толкателя. Произойдет быстрый подвод каретки влево, до соприкосновения заготовок. При этом воздух из бесштоковой полости сбросится через глушитель 20 в атмосферу. При подходе каретки в соприкосновение заготовок специальный копирный упор на каретке нажмет на рычаг тормозного золотника 10 и задрасселирует вход отработавшего воздуха. Скорость перемещения каретки резко уменьшится и прекратит удар заготовок. После снятия напряжения с электромагнита золотник распределителя займет исходное положение и воздух поступит в бесштоковую полость цилиндра толкателя. Воздух из штоковой полости через глушитель 20 сбросится в атмосферу. Произойдет торможение каретки в конце хода назад.

Пневмоцилиндр каретки (разогрев). Двухполостной пневмоцилиндр каретки на режиме "Разогрев" управляется воздухораспределителем 13. При срабатывании электромагнита золотник распределителя, переместившись влево, соединит магистраль с двумя правыми полостями цилиндра 14. Происходит перемещение штока влево с усилием, настроенным регулятором 14 "Разогрев". После снятия напряжения с электромагнита золотник займет исходное положение и воздух отведет сток цилиндра в исходное положение.

Пневмоцилиндр каретки (проковка). Двухполостной пневмоцилиндр каретки на режиме "Проковка" управляется воздухораспределителем 18. По окончании времени "Разогрев" команда поступит на электромагниты "Проковка", золотник распределителя переместится влево, соединит магистрали через обратный клапан 15 с двумя правыми полостями цилиндра, возникает добавочное давление на поток, установленное регулятором 23 "Проковка". После снятия напряжения с электромагнита золотник займет исходное положение и давление сбросится через глушитель 20.

Пневмоцилиндр стопорного механизма и механизма прижима. Пневмоцилиндр стопорного и прижимного механизмов управляется воздухораспределителем 19. При срабатывании электромагнита золотник распределителя, переместившись влево, произведет закиривание стопорным механизмом 17 каретки от перенекания назад и одновременно пневмоцилиндры 16 поворотом эксцентричных валиков с роликами прижмут каретку с нижними направляющими. После снятия напряжения с электромагнита золотник займет исходное положение, стопор вернется вниз, а шток цилиндра прижима повернут оси, отжав каретку от приза.

#### Электрооборудование

На полуавтомате установлено следующее оборудование:

- а) М1 - асинхронный электродвигатель главного привода;
- б) М2 - асинхронный электродвигатель судпорта;
- в) УА1...УА6 - электромагниты управления пневматическими золотниками.

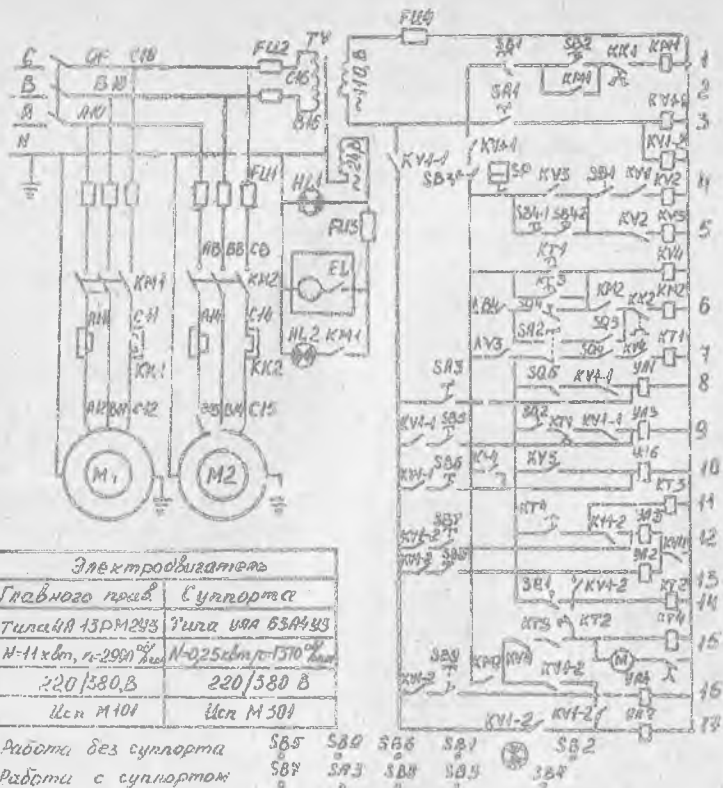
Пусковая и управляющая электроаппаратура смонтирована в электрошкафе. Управление автоматом осуществляется с пульта, установленного на станке. Напряжение силовой цепи  $\sim 380$  В; цепи управления  $\sim 110$  В; цепи сигнализации и освещения  $\sim 24$  В.

#### Работа принципиальной электросхемы

Электрическая схема (рис. 14) предусматривает два режима работ: 1 - автоматический, 2 - наладочный.

Автоматический режим. Для работы в автоматическом режиме необходимо осуществить следующие операции:

- а) установить рукоятку "автомата - звезда" в положение "Вкл.":



Р и с. 14. Принципиальная схема электрооборудования

б) установить рукоятку переключателя режимов *SA1* в положение "Автомат";

в) нажать кнопку *SB2*, при этом включается электродвигатель главного привода полуавтомата через силовые контакты пускатели *KM1*. В исходном положении нажаты конечные выключатели *SA1*, *SA4*, *SA5*.

г) После того как в цепь вставлены заготовки, необходимо одновременно обеими руками нажать на кнопки *SB4-1* и *SB4-2*, включается реле *KT3*, которое своими контактами производит следующие команды:

а) становится на самопитание и подготавливает цепь включения реле  $KV2$ ;

б) подготавливает цепь для автоматической работы,

в) включает электромагнит  $JA6$  - зажим заготовки. При зажиме заготовки цапгой шпинделя освобождается конечный выключатель  $SQ5$ , который включает электромагнит  $JA1$  - перемещение каретки. Каретка начинает движение вперед. После соединения заготовок своими торцами на штоке цилиндра толкателя сжимается пружина, которая через специальный упор нажимает на конечный выключатель  $SQ2$ . Последний выключает электромагнит  $JA3$  стопорного и зажимного механизмов.

Как только каретка застопорится, освобождается конечный выключатель  $SQ1$ , который производит следующие команды:

а) включает цепь питания электромагнита  $JA2$  - разогрев и включает реле времени  $KT2$ ;

б) разрывает цепь питания реле  $KV2$ .

По истечении определенного ( $t \sim 0,5$  с) времени, необходимого для окончательного прижима каретки к направляющим, срабатывает реле  $KT2$ , которое своим контактом одновременно включает реле  $KT4$  - реле нагрева и электромагнит  $JA4$  - муфту.

Шпиндель с захватой головкой получает вращение; происходит разогрев торцов заготовок.

Время разогрева регулируется с помощью реле времени  $KT4$ . По истечении заданного времени реле времени  $KT4$  срабатывает, замыкая свой Н.О. контакт и одновременно включая электромагнит  $JA5$  (проковка) и реле времени  $KT3$  (реле проковки), которое своими контактами производит следующие команды:

1) отключает электромагнит  $JA4$  - происходит торможение вращения шпинделя, а проковка еще продолжается. Время проковки регулируется с помощью Н.О. контакта  $KT3$  с выдержкой на замыкание;

2) по истечении времени ( $t = 2$  с) выключает реле  $KV4$ , с помощью которого:

а) отключается электромагнит  $JA2$  (разогрев) и  $JA5$  (проковка);

б) разрывается цепь питания электромагнита  $JA4$ ;

в) включается ред. времени  $KT1$ ;

г) блокируется цепь электромагнита  $JA6$  (зажим);

д) подготавливаются цепи включения  $KM2$  и  $KV2$

По истечении определенного времени, необходимого для сброса стартового воздуха из рабочих полостей пневмоцилиндра каретки, срабатывает реле  $KT1$ , которое своими контактами с выдержкой производит следующие команды:

- а) отключает электромагнит УА3 - стопор,
- б) блокирует контакт КТЗ.

Шток стопорного механизма возвращается в исходное положение и своим нижним концом нажимает на конечный выключатель *SQ1*, который:

- а) включает реле *KV2*,
- б) отключает реле *Т4* и затем реле *КТЗ*,
- в) *KV2* своими Н.З. контактами разрывает цепь питания реле, отключает электромагнит УА1 - каретка начинает движение назад.

Во время движения каретки назад после освобождения заготовки из цапги каретки нажимается конечный выключатель *SQ3*, замыкает цепь включения пускателя *KM2*, который своими Н.О. контактом ставится на самопитание, а главными контактами включает электродвигатель суппорта.

Суппорт начинает движение вперед. При этом освобождается конечный выключатель *SQ4*, который своими Н.З. контактом блокирует контакт *SQ3*, блокирует цепь питания реле *KM2* и *KV4* Н.О. контактом отключает реле времени *KT1*.

После снятия грата суппорт возвращается в исходное положение и нажимает конечный выключатель *SQ4*, который отключает *KM2*. Реле *KV4* своим Н.О. контактом отключает электромагнит УА6 (зажим). Происходит разжим патрона шпинделя, а все электроаппараты возвращаются в исходное положение.

Для повторного цикла необходимо снова одновременно нажать на кнопки *SB4-1* и *SB4-2*.

Для отсчета количества сваренных заготовок применяется электроимпульсный счетчик РС, получающий и регистрирующий импульсы от реле *КТ1*.

Работа без суппорта. Электросхемой полуавтомата предусмотрена сварка заготовок без снятия грата. Для этого необходимо *SA2* установить в положение "Откл."

Работа электросхемы аналогична работе в автоматическом режиме со снятием грата с той разницей, что контакт переключателя *SA2* размыкает цепь питания пускателя *KM2*.

При отключении реле *KV3* оно своим Н.О. контактом отключит реле *КТ1*, а последнее отключит реле *KV4*. Все электроаппараты возвращаются в исходное положение.

Малочасный режим. Для работы полуавтомата в малочасном режиме переключатель режимов *SA1* установить в положение "малочасный". При этом включается реле малочас *KV1 - KV2*, которое своими контактами



ми обеспечивает управление электромагнитами элестриков от наладочных кнопок.

Кнопками *SB5*, *SB9* осуществляется включение электромагнитов *JA2-JA6*. Включателем *SA1* обеспечивается отвод и подвод каретки.

Блокировка. Электросхемой предусмотрена следующая блокировка:

1. Невозможность включения электросхемы без подачи воздуха (*SP*).
2. Невозможность включения движения каретки вперед при разжатом цапговом патроне.

Сигнализация. Электросхемой предусмотрена следующая сигнализация:

1. *HL1* - наличие напряжения в цепи питания управления.
2. *HL2* - наличие напряжения на двигателе главного привода.

Защита. Защита электрооборудования от токов короткого замыкания осуществляется автоматом *QF* и предохранителями *FU1*, *FU2*, *FU3*, *FU4*.

Защита электродвигателей от перегрузок осуществляется тепловыми реле *KK1* и *KK2*. Нулевая защита обеспечивается магнитными пускателями *KM1* и *KM2*.

Справа от электросхемы (см. рис. 14) номерами обозначены наименования операций, обеспечиваемых работой соответствующего уровня аппаратуры: 1 - отчет заготовок, 2 - главный привод, 3 - реле наладки, 4 - возврат каретки назад, 5 - работа, 6 - суппорт, 7 - сброс осевого давления, 8 - каретка, 9 - стопор, 10 - зажим. II - реле проковки; I2 - проковка, I3 - разогрев, I4 - реле задержки вращения, I5 - реле разогрева, I6 - муфта, I7 - блокировочное выключение пневмосистемы.

#### Указания по обслуживанию электрооборудования

Перед пуском полуавтомата необходимо рукоятку переключателя *SA3* поставить в положение "Каретка назад" (  $\leftarrow$  ), а переключатель режимов *SA1* - в положение "Автомат".

Не рекомендуется отключать работающий автомат вводным выключателем *QF* - отключение производить кнопкой *SB3*. При осмотре и ремонте электрооборудования полуавтомат необходимо отключать от питающей сети вводным выключателем *QF*. Все электрооборудование должно быть надежно заземлено согласно действующим правилам и нормам.

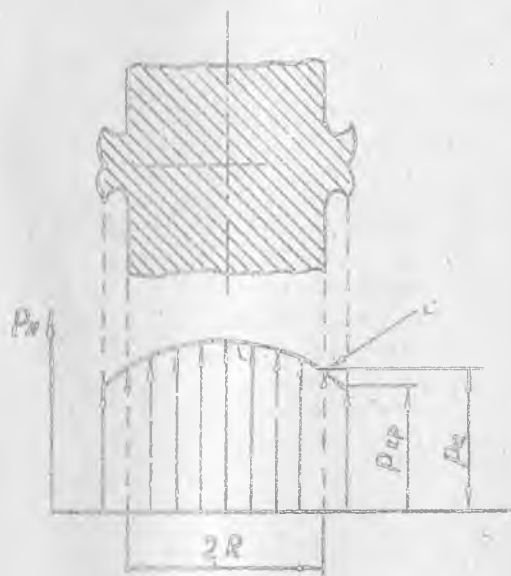
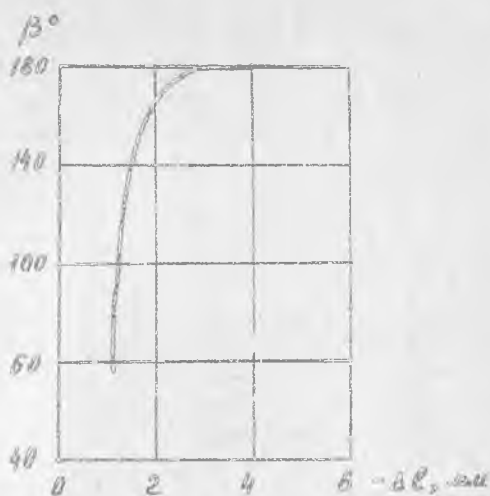
### 3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА СВАРКИ ТРЕНИЕМ

Механизм образования сварного соединения в твердой фазе в настоящее время можно считать установленным. Деформирование играет в этом процессе важнейшую роль. Большое значение имеет деформация поверхностных слоев металла в макромасштабах, измеряемых десятками долями миллиметров. При сварке трением подводимая извне и необходимая для сварки энергия преобразуется в тепло в процессе и в результате деформирования и разрушения приповерхностных слоев металла. Таким образом, их деформация, являющаяся в значительной мере функцией температуры и тепловыделения, в то же время является причиной тепловыделения. При сварке трением, следовательно, существует не только прямая связь: теплота - температура - деформации, но и обратная связь: деформация - теплота - температура. Следовательно, в энергетическом балансе тепловыделения при сварке трением доминирующую роль играет деформация кручения (срезы микровыступов, разрыва атомных связей в плоскости трения, более или менее глубинного вырыва частиц металла с поверхности одной детали при относительном перемещении другой). Но независимо от того, каков характер деформаций (смятия или среза) и в каких (макро- или микро-) масштабах они происходят, роль деформирования металла в процессе сварки трением чрезвычайно важна и многообразна; без необходимой степени деформации получить доброкачественное соединение невозможно из-за дефекта в соединении, называемой обычно "кольцевой непровар".

При заданном режиме трения (скорости вращения и удельном давлении) осадка не должна быть менее определенной величины; в приведенном на рис. 15 примере угол загиба на  $180^\circ$  при испытаниях сваренных образцов обеспечивается при осадке не менее 3 мм [1].

Кольцевой непровар обычно отсутствует в соединениях, отличающихся наличием относительно больших размеров "воротника" (грата), т.е. таких, процесс деформации которых прошел достаточно полно. Это объясняется тем, что по мере образования грата поверхность трения увеличивается в размерах и зона низких нормальных давлений на периферии смещается за пределы исходного сечения детали в воротник (рис. 16), и тому же металл воротника сравнительно быстро охлаждается, становится менее пластичным, его сопротивление ползучести возрастает, а вместе с ним увеличивается значение  $P_{кр}$ . Таким образом, образование грата при сварке трением способствует выравниванию энергии нормальных давлений в стыке и улучшению качества сварного соединения.

Р и с. 15. Зависимость угла загиба (при испытании сварного соединения) от осадки  $\sim 1\%$ . Малоуглеродистая сталь  $\phi 30$  мм  $\sigma_{\text{пр}} = 12$  кг/мм;  $n = 1000$  об/мин



Р и с. 16. Схема распределения давления по сечению дуговых образцов с учетом грата

Двумя другими основными параметрами процесса являются скорость вращения и величина давления (удельного) при нагреве.

Выбор скорости вращения. От скорости относительного вращения зависит и размер (толщина) теплогенерирующего слоя, а следовательно, и температурное поле в свариваемых деталях. В.Д.Воинов в работе [2] показал, что это вызвано зависимостью характера износа поверхностей трения от скорости их относительного движения: в диапазоне сравнительно малых скоростей имеет место глубинное вырывание частиц металла, в то время как при больших скоростях движения наблюдается эффект полирования (износ лишь тончайших приповерхностных слоев металла). Показано, что в связи с этим могут изменяться и свойства сварных соединений. Так, при сварке трением образцов из малоуглеродистой стали обнаружено, что при увеличении скорости вращения ударная вязкость металла стыка повышается.

Рекомендуемые линейные скорости вращения лежат в пределах 0,6-3,0 м/с; произведение  $n$  скорости вращения ( $n$ , об/мин) на наружный диаметр свариваемой детали ( $D_H$ , мм) лежит в пределах

$$n D_H \approx (1,2 \dots 6,0) 10^4.$$

Для большинства черных металлов рекомендуется  $n D_H \approx 3 \cdot 10^4$  (линейная скорость вращения - 1 м/с).

Как исключение, для некоторых пар металлов рекомендуется значительно более высокие скорости:

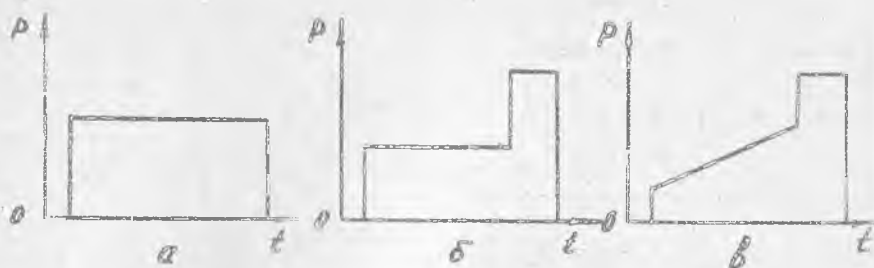
для сварки красной меди  $n D_H = (4 \dots 4,5) 10^4$ ;

для сварки титана  $n D_H = (8 \dots 10) 10^4$ .

Выбор величины удельного давления. Удельное давление, как выше отмечалось, играет большую роль при нагреве деталей и в особенности в последней - четвертой - фазе процесса сварки, когда необходимое усилие прикладывается к свариваемым деталям для максимального сближения их поверхностей. По аналогии с кузнечной сваркой четвертая фаза процесса сварки трением получила название проковки. От того, насколько сильно будет сжат (прокован) металл, после того как в стадии нагрева он был доведен до состояния повышенной пластичности, в большей мере зависит качество будущего сварного соединения.

В общем случае изменение при нагреве и давлении проковки могут не быть ориентированными и тогда цикл давления (рис. 17) приобретает ступенчатый характер.

Момент увеличения удельного давления при ступенчатом цикле должен совпадать с прекращением тепловыделения (вращения).



Р и с. 17. Типичны формы кривых изменения давления во времени: а - цикл с постоянным давлением; б - цикл с повышением давления при проковке; в - цикл с постоянным нарастанием давления при проковке

Обычно отношение давления проковки  $P_{пр}$  к давлению при нагреве  $P_H$  выбирается из выражения

$$\frac{P_{пр}}{P_H} \approx 2.$$

Однако известны случаи, когда удовлетворительное качество сварки соединения получалось, например, только при  $\frac{P_{пр}}{P_H} = 3,5 \dots 4,0$ .

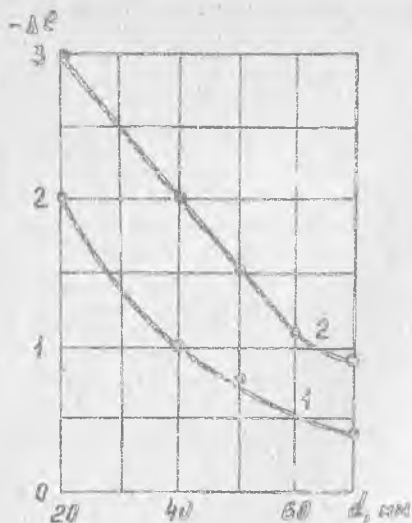
Численные значения удельных давлений нагрева обычно колеблются от 10 до 80 Н (в зависимости от свойств свариваемых материалов); в редких случаях давление нагрева доводят до 100 Н. Давление проковки из названного выше условия при этом варьируется от 20 до 150 Н, в очень редких случаях достигая 250 Н.

Выбор величины осадки нагрева. Механические свойства соединения в значительной мере зависят от осадки нагрева, которая имела место при его сварке.

На рис. 15 показано, в качестве примера, влияние величины осадки нагрева на угол загиба сварных соединений, прочностные и пластические свойства которых хорошо выявляются при этом виде испытаний.

На рис. 18 показана зависимость величины осадки от диаметра для нескольких марок сталей.

Для определения технологических параметров процесса сварки быстрорежущих сталей с конструктивными в инструментальном производстве рекомендуются расчетно-экспериментальные формулы, связывающие значения основных параметров процесса с площадью сечения свариваемых заготовок [5]:



Р и с. 16. Зависимость осадки  $-\Delta \epsilon$  при нагреве от диаметра свариваемой детали: 1-минимальная; 2-рекомендуемая

( машина МСТ - 5Г ;  $\mu = 8,3 \cdot 10^{-1}$  ;  $F_{доп} = 400 \text{ кН}$  ).

$$P_H = cA^{-0,13}$$

$$P_{пр} = BcA^{-0,13}$$

$$t_H = aA^b$$

$$\Delta \epsilon \pm 0,5 = m - kA$$

где  $P_H, P_{пр}$  - давление нагрева и давление проковки, МПа;

$t_H$  - время нагрева, с ;

$\Delta \epsilon$  - суммарная осадка, мм;

$A$  - площадь свариваемого сечения, мм<sup>2</sup>.

Коэффициенты в экспериментальных формулах режима сварки быстрорежущих сталей с конструктивными представлениями в таблице

Марка стали	$c \cdot 10^{-1}$	$B$	$a$	$b$	$k \cdot 10^2$	$m$	$n^*$	
Р6М5	2,53	2,10	1,5	0,10	0,76	1,13	7,7	0,40
Р18, Р9	3,14	2,00	1,8	0,12	0,70	0,75	6,5	0,35
Р12	3,14	2,10	1,8	0,12	0,71	0,71	6,2	0,38
Р9К5	3,14	2,00	1,8	0,12	0,70	0,63	6,0	0,34

\* Отношение осадки заготовки из быстрорежущей стали к суммарной осадке соединения.

Подготовка деталей к сварке. На выбор основных параметров процессов сварки трением может оказывать влияние начальное состояние поверхности трения: степень их загрязненности, шероховатость (чистота обработки), форма.

Указанные факторы мало влияют на ход процесса и его результат (качество образовавшегося сварного соединения) при сварке деталей из одноименных материалов; наоборот, они могут оказать значительное влияние и на ход процесса и на качество соединения при сварке деталей из материалов с различающимися физико-химическими свойствами.

Подготовка торцовых поверхностей под сварку трением может быть выполнена различными способами: надрезка на токарном станке, рубка на ножницах под прессом, разрезка пилой или наждачным кругом и другими. В этом отношении процесс сварки трением одноименных материалов весьма непритязателен.

Для получения достаточно прочных соединений между реальными металлическими поверхностями необходимо обеспечение значительной пластической деформации приповерхностных слоев металла.

Для всех разновидностей сварки давлением природа образцов для сварного соединения одина. Также соединение образуется в результате деформационного воздействия на металл в зоне контакта, при сварке трением условия деформирования значительно облегчаются, а необходимое внешнее усилие снижается путем искусственного увеличения пластичности (снижения предела текучести) металла в результате его нагрева. Такое воздействие на металл при сварке называют термодформационным.

Пример совместного влияния температуры и величины деформационного усилия на прочность образующегося соединения представлено на рис. 19.

#### Библиографический список

1. В и л и е в В. К. Сварки трением. Д. Машиностроение, 1970. 176 с.
2. В о и н о в В. А. О выборе параметров режима сварки трением низкоуглеродистых сталей // Сварочное производство, 1964, № 11, С. 15-17.
3. Л о с о д е в В. К., В и л и е в В. И., Ч е р н о в а К. И. о. Расчеты энергетических па-

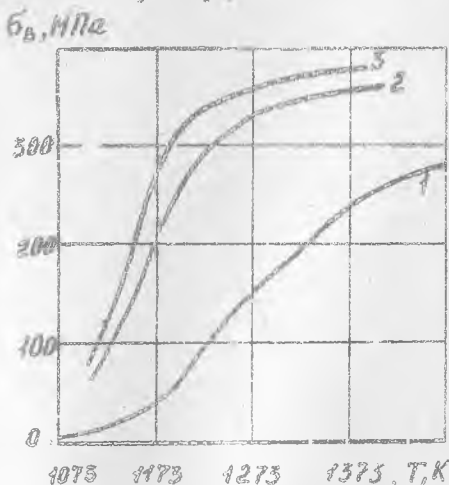


Рис. 19. Зависимость прочности сварного соединения от температуры и давления при сварке: 1 —  $p=10$  МПа; 2 —  $p=20$  МПа; 3 —  $p=35$  МПа

раметров процесса сварки металлов трением / Автоматическая сварка, 1981, № 3. С. 2-4.

4. П о б о ж и й Ю. Давление плюс сдвиг. М.: Наука и жизнь, 1982, № 8. С. 17-22.

5. П о ц о в В.Б., Ч е р н я к Н.А. Сварка трением штанг автомобиля // Сварочное производство, 1978, № 19. С. 16-18.

6. Сварка трением. Справочник / Под общ. ред. В.К. Л е б е д е в а, И.А. Ч е р н е н к о, В.И. В и л л ь. Д.: Машиностроение, 1987. 236 с.



ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №

Кафедра производства летательных аппаратов	Исследование параметров режима сварки трением на прочность соединения	Лаборатория сварки	
Дата выполнения работы	Группа	Фамилия студента	Подпись студента

Принципиальная схема установки

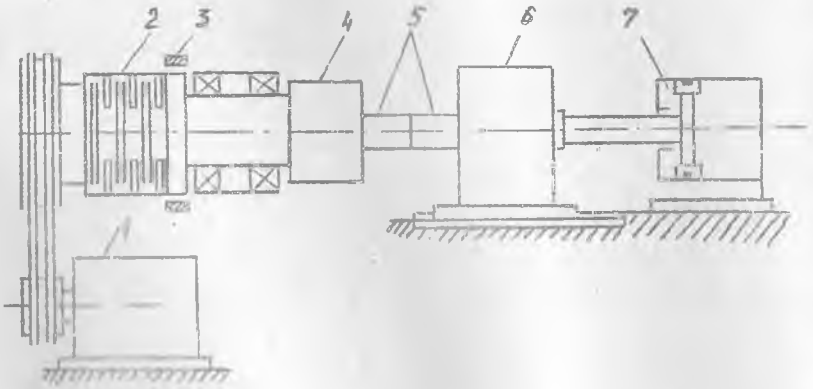


Схема машины сварки трением: 1 - двигатель; 2 - муфта  
сварочная; 3 - тормоз; 4 - шпиндель; 5 - свариваемые заготовки;  
6 - задняя бабка; 7 - привод усилия

Эскиз сварного образца

Циклограмма процесса сварки



ИССЛЕДОВАНИЕ НАМИНИИ  
ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СВАРИ ТРЕНИЕМ  
НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ

Составитель Д у д е р ь Леонид Арсеньевич

Редактор И.Д.Ч и и м к о в а  
Техн. редактор Г.А.У с а ч е в а  
Корректор Н. С. А т п р я ж н о в а

Подписано в печать 20.07.92. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бузага обработана. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86.  
Загл. пр. - отч. 2,0 Уч.-изд. л. 1,8. Тираж 200 экз.  
Заказ 374 Бесплатно.

Самарский филиал Трудового Красного Знамени  
авиационного института имени академика С.Д.Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Участок оперативной полиграфии Самарского  
авиационного института. 443001 Самара,  
ул. Ульянинская, 10.