

Основные физико-химические процессы, проходящие при сварке, в свою очередь определяют выбор способа создания неразъемного соединения. Два основных процесса приводят к соединению поверхностей деталей из полимеров: образование межатомных или межмолекулярных связей. В первом случае при сварке происходят химические, во втором — физические, в частности диффузионные, процессы.

В случае сварки с использованием диффузии термопласты соединяются переходным слоем полимера, который образуется в результате диффузии макромолекул полимера или их частей, когда полимер находится в вязкотекучем состоянии. Это реализуется при нагревании свариваемых поверхностей или при действии на них растворителя.

В связи с этим различают сварку диффузионную, тепловую и диффузионную в присутствии растворителя.

Прочное соединение пространственно-сшитых полимеров, в частности реактопластов, достигается с помощью химически активного сшивающего агента. Такой способ называется химической сваркой.

Сварка нагретым инструментом

- контактно-тепловая сварка
- термомпульсная сварка

Сварка нагретым газом

- сварка с применением присадочного материала
- сварка без присадочного материала

Сварка с применением инфракрасного (ИК) излучения

Высокочастотная (ВЧ) сварка

Ультразвуковая (УЗ) сварка

Сварка трением

- сварка вращением
- вибрационный способ

Лазерная сварка

Сварка с помощью растворителей

Химическая сварка

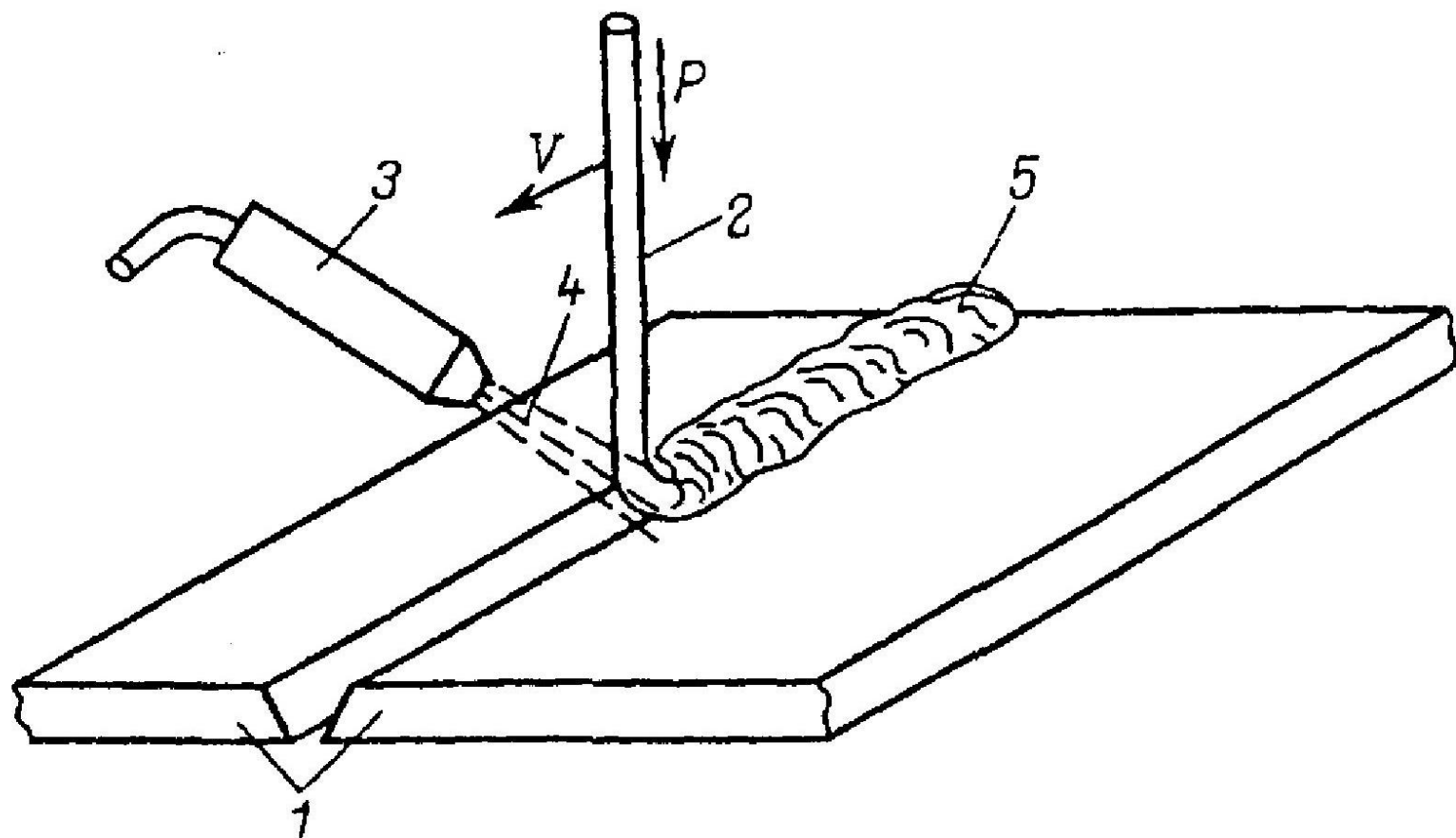
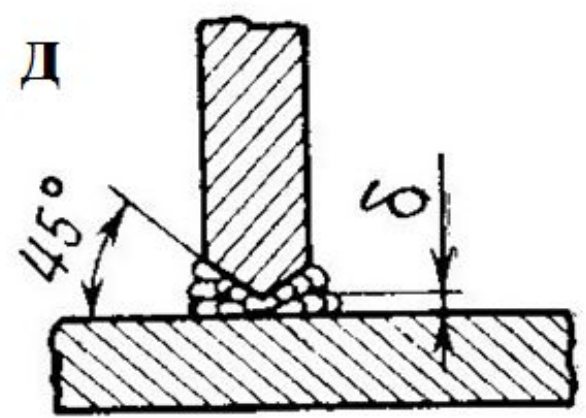
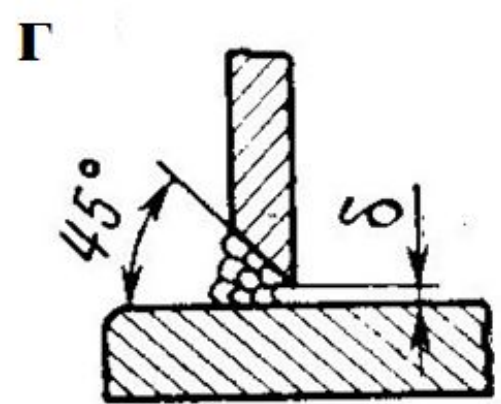
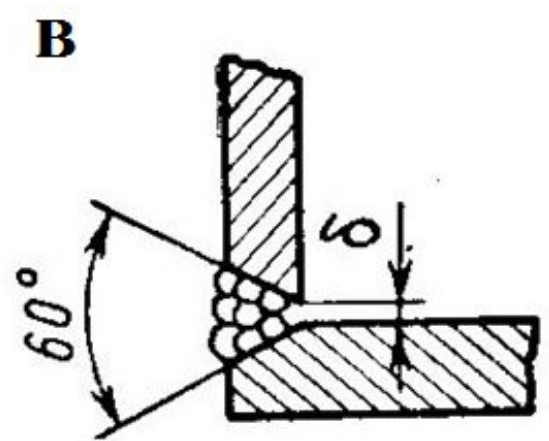
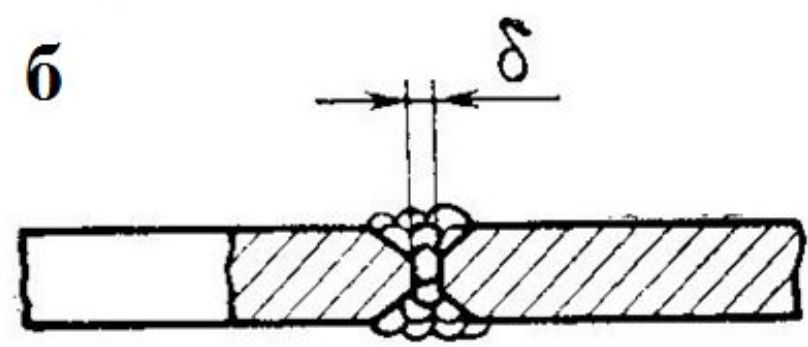
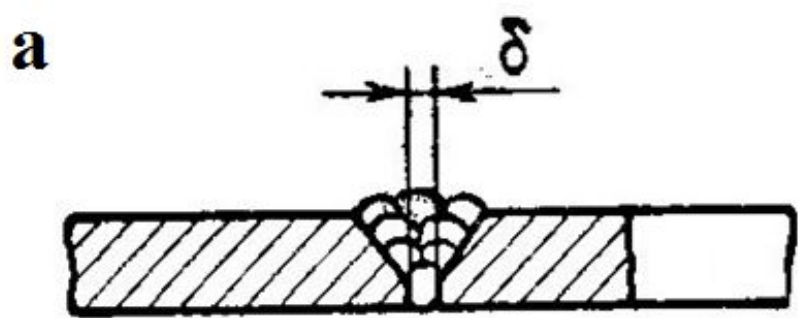
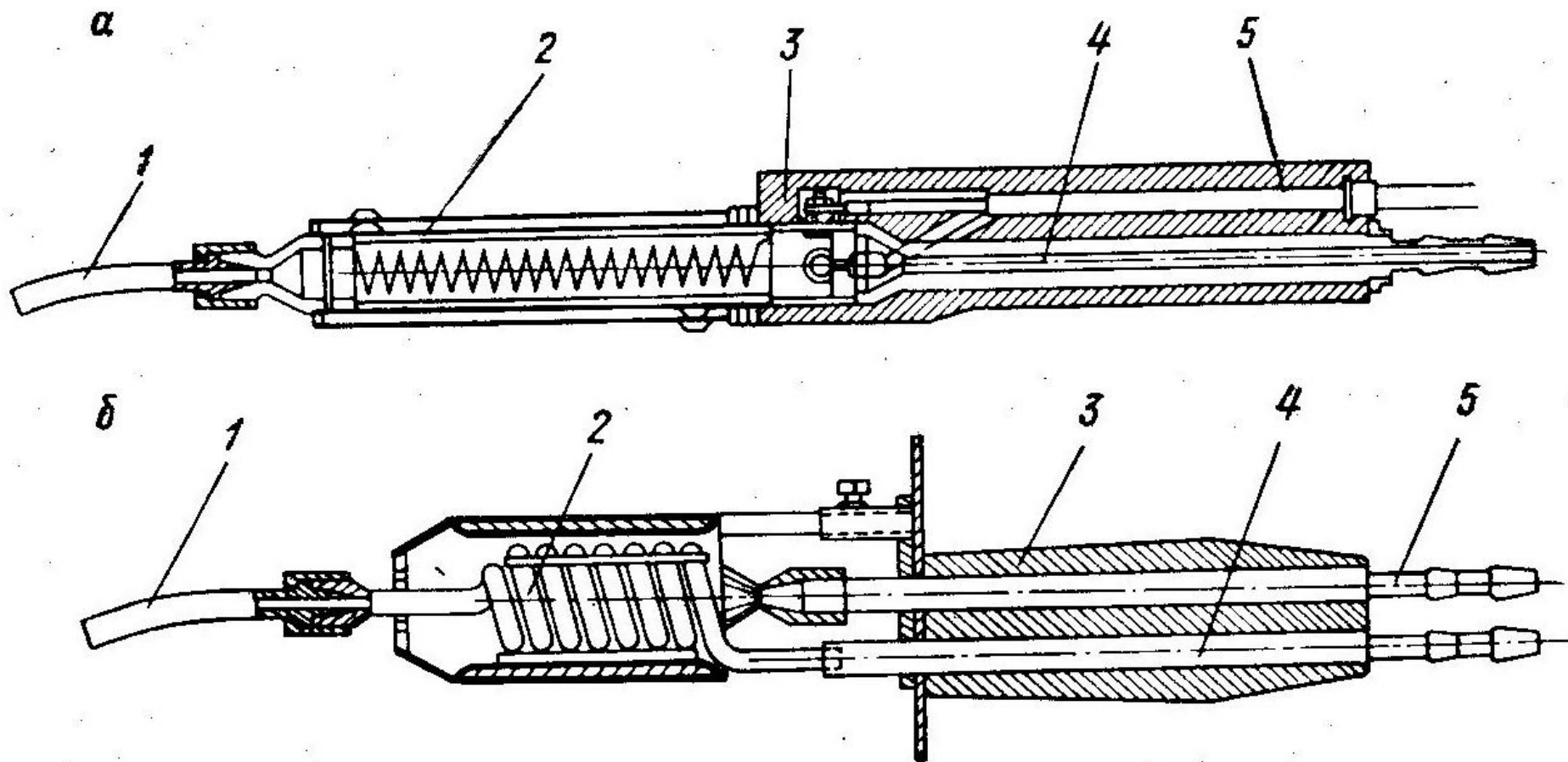


Схема сварки нагретым газом с применением присадочного материала:
1 — детали с подготовленной поверхностью сварки; 2 — пруток присадочного материала; 3 — сопло для подачи нагретого газа; 4 — поток горячего воздуха; 5 — сварной шов;
 P — давление на пруток; V — направление движения сварки

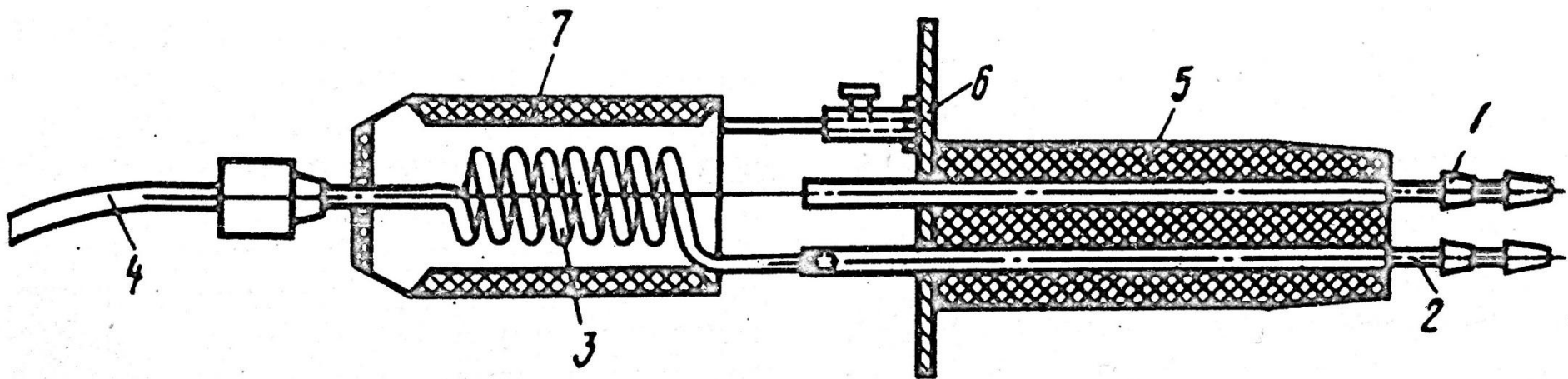


**Схемы сварочных швов для газовой сварки:
а-в - стыковые швы; г, д - валиковые швы**

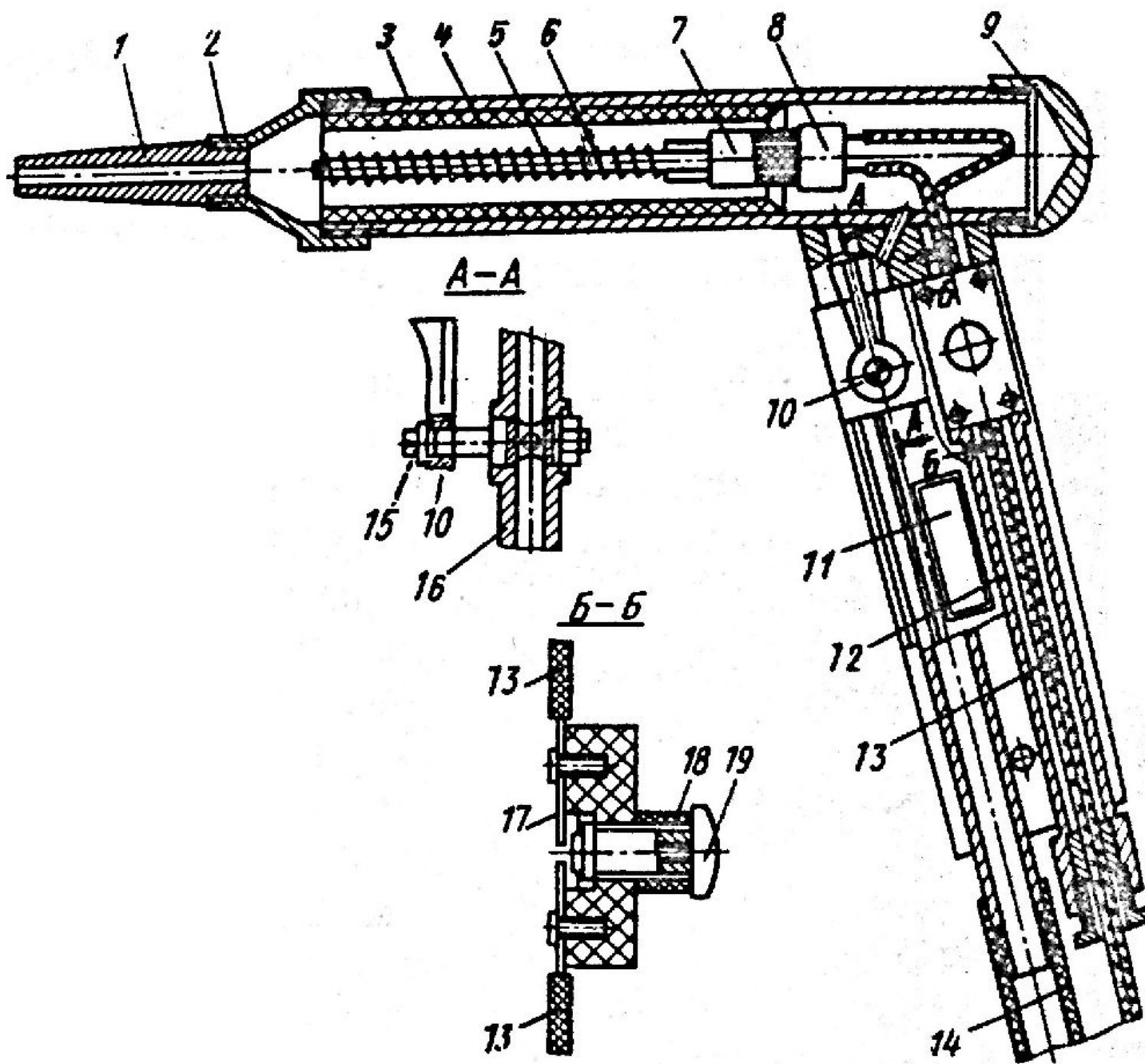


Схемы сварочных горелок:

а — электрического типа; б — газового типа;
 1 — наконечник; 2 — нагревательный элемент; 3 — корпус; 4 — каналы для подачи воздуха или газа; 5 — каналы.

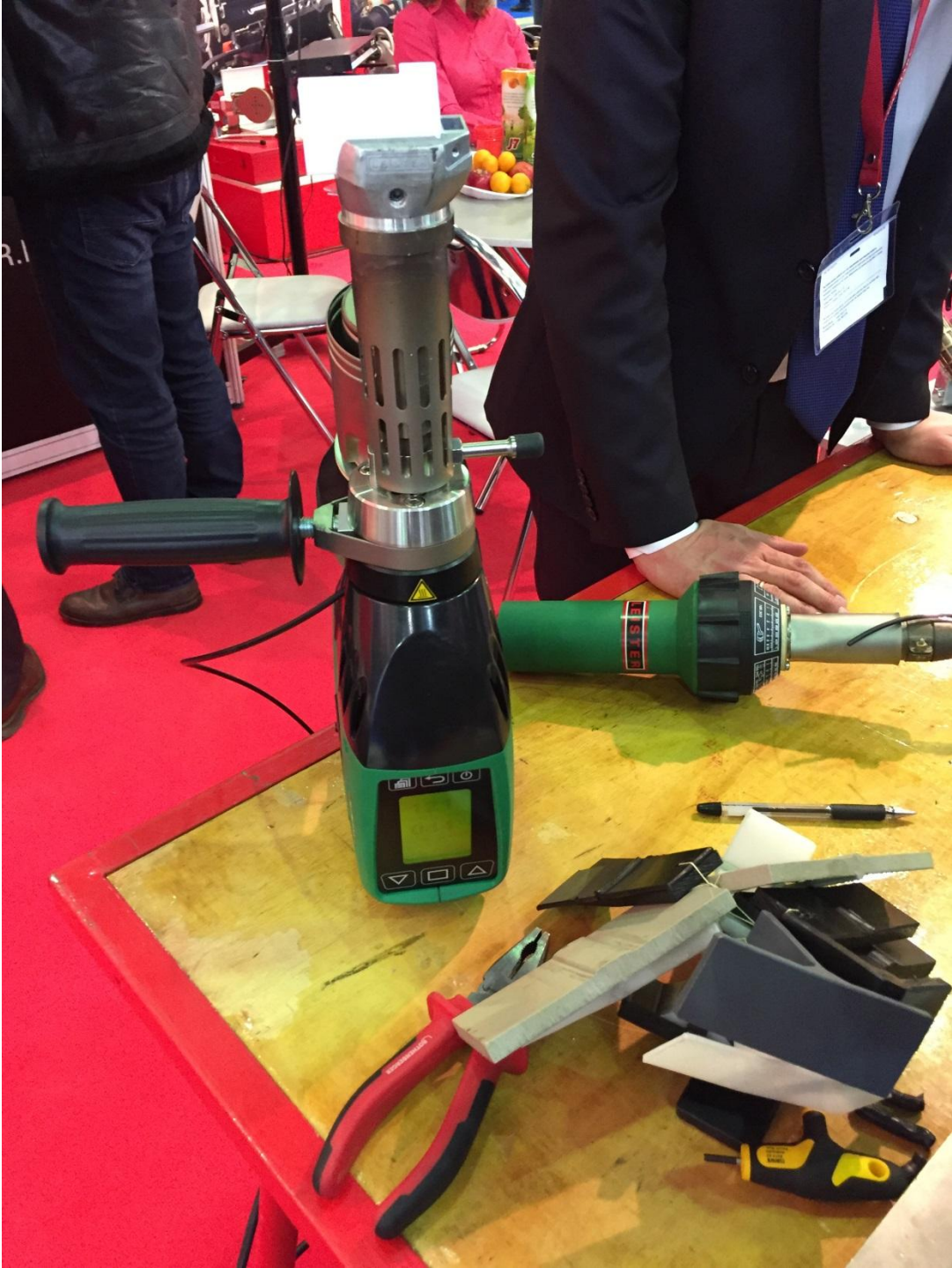


Аппарат косвенного действия с газопламенным нагревом газа-теплоносителя



Аппарат для сварки нагретым газом











WELDMAX

LEISTER

Control panel with a small LCD screen and several function buttons (power, home, left, right, stop).

LEISTER

WELDMAX



LEISTEN

WELDMAX

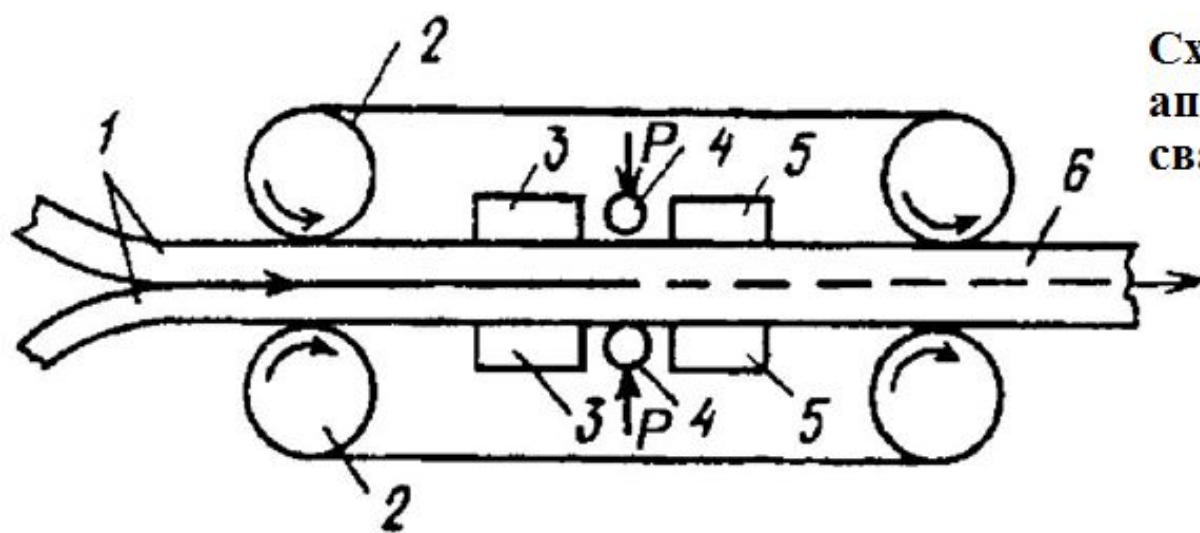


Схема ленточного сварочного аппарата для контактно-тепловой сварки нагретым инструментом

1 — пленки; 2 — металлические движущие ленты; 3 — нагреватели; 4 — прижимные ролики; 5 — охлаждающие губки; 6 — сварной шов;
 P — давление прижима

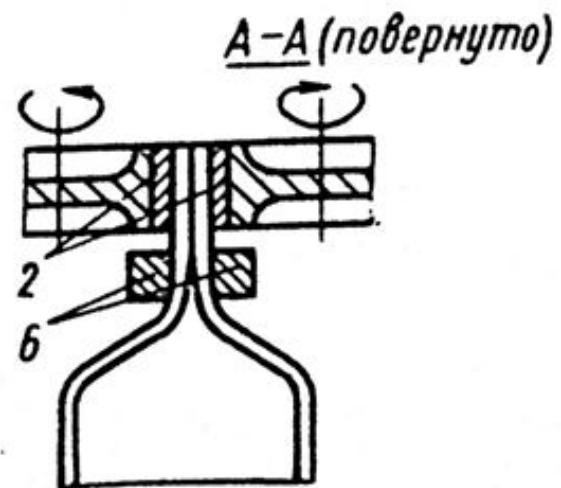
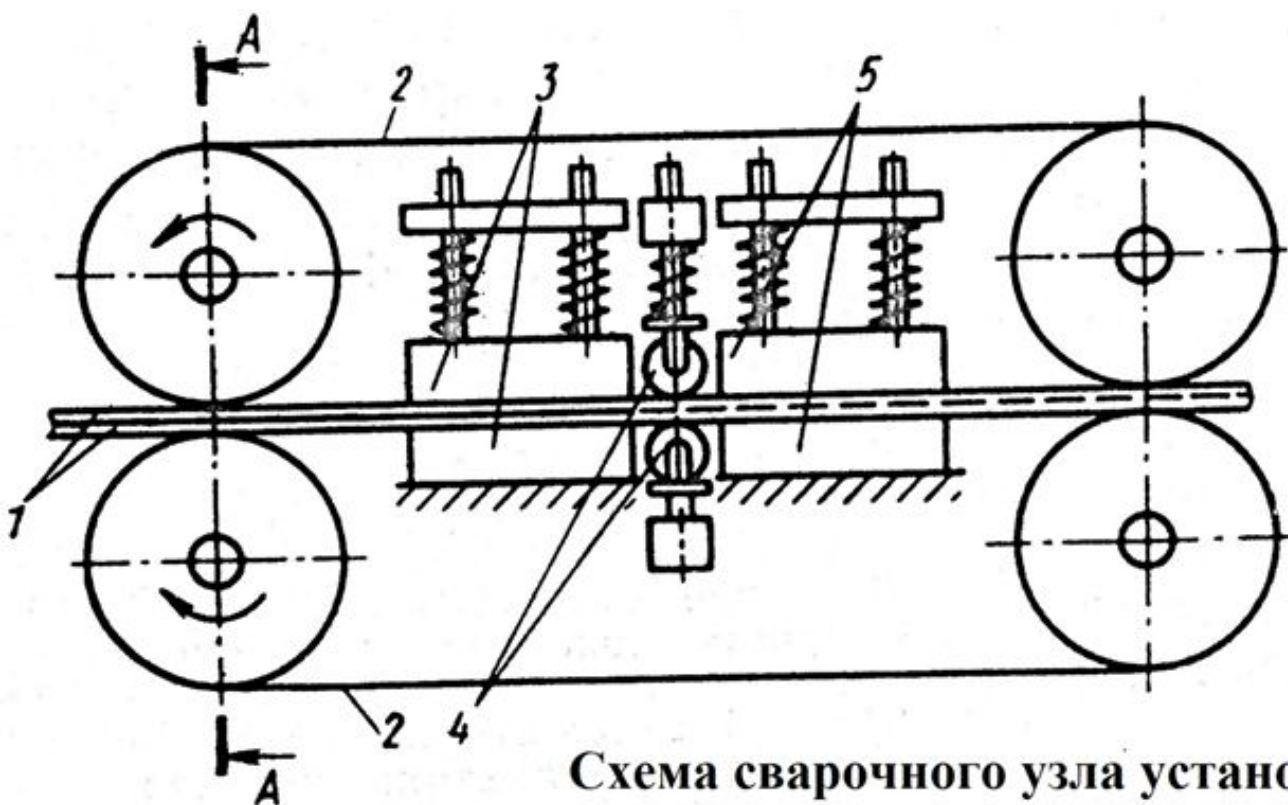
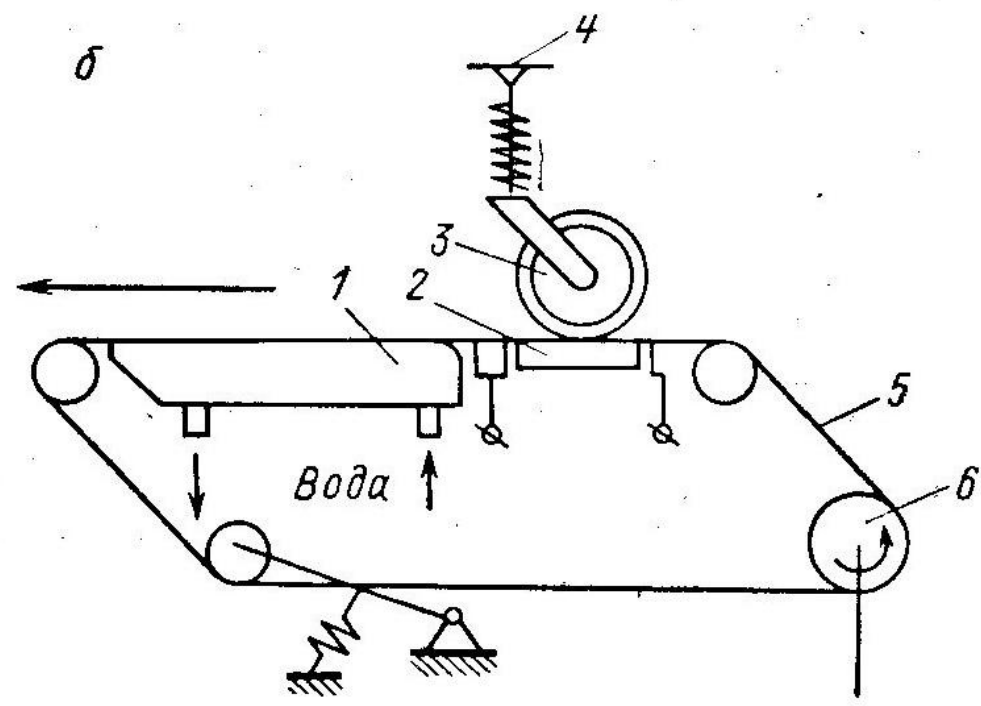
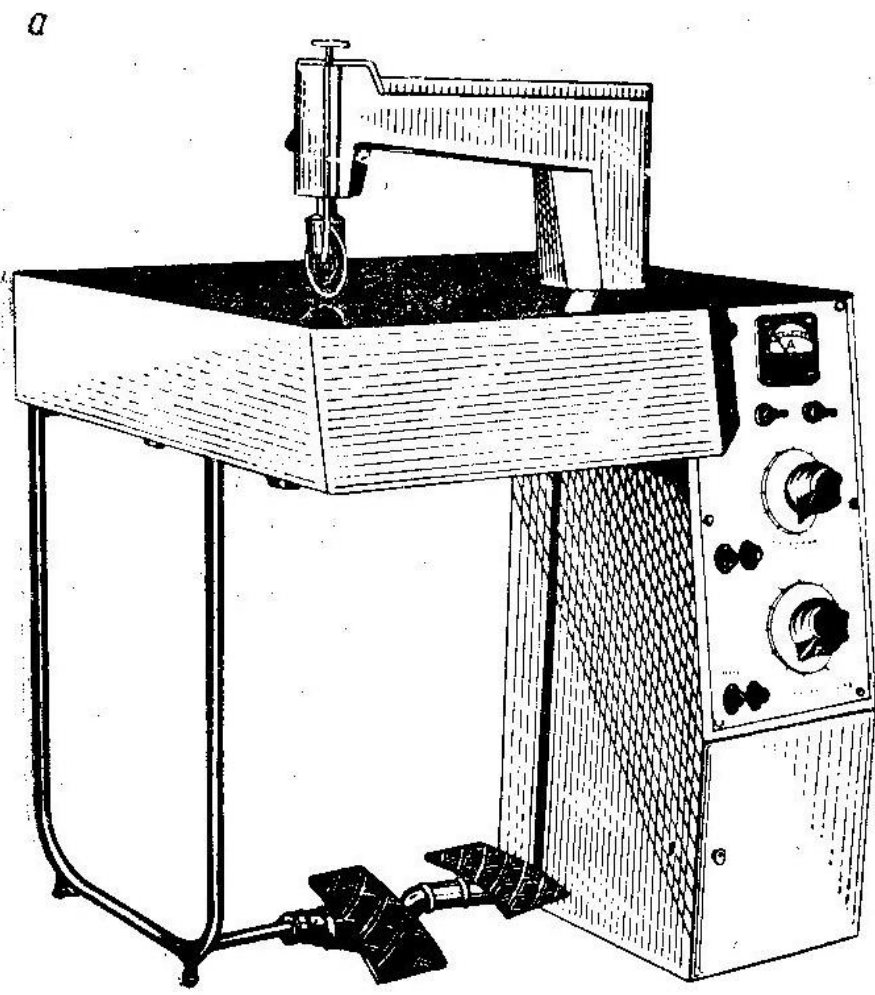


Схема сварочного узла установки для ленточной контактно-тепловой сварки мешков



Машина для термоконтактной сварки пленок:

a — общий вид; б — схема;
 1 — устройство для охлаждения ленты; 2 — устройство для нагревания ленты; 3 — прессующий ролик; 4 — рукоятка для регулирования давления; 5 — транспортер; 6 — приводной ролик.

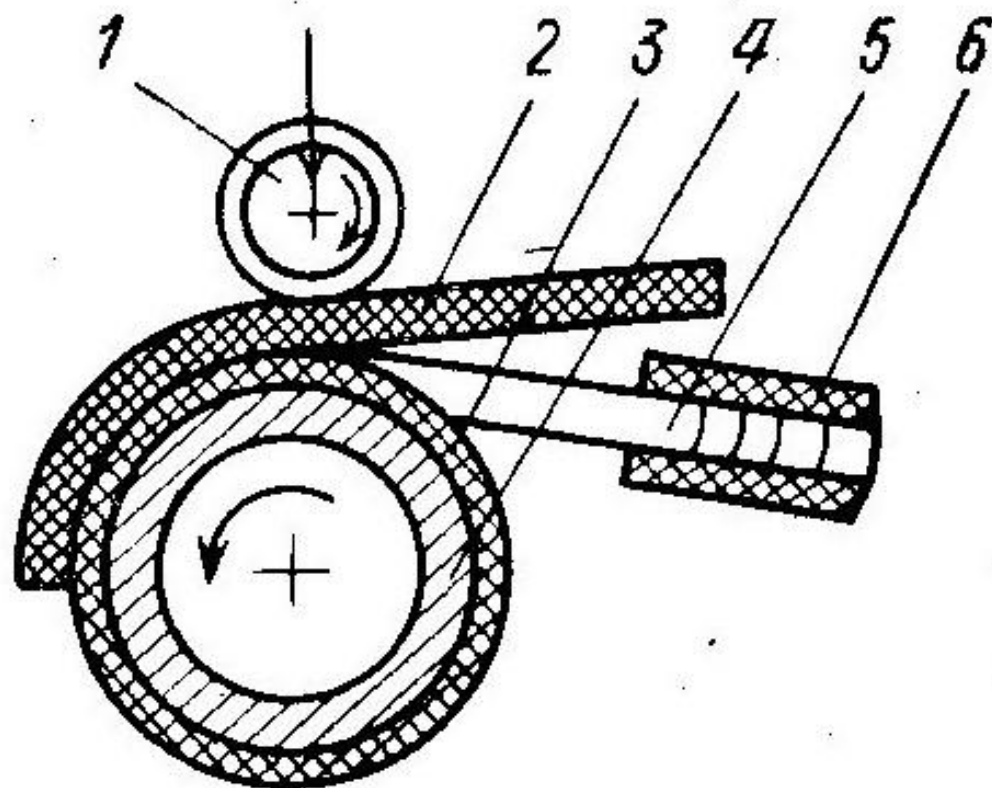
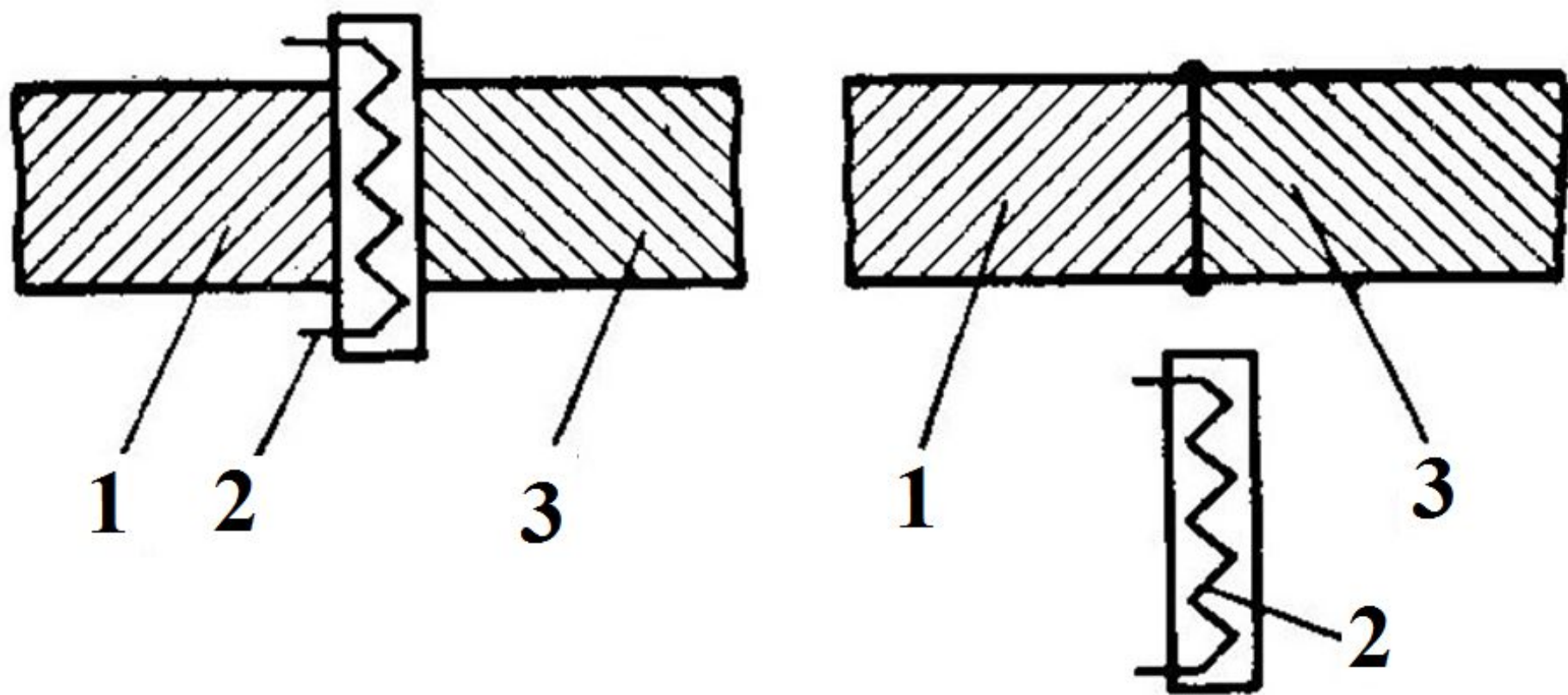


Схема машины

для термоконтактной сварки армированных пленок:

1 — ролик; 2 — армирующий материал; 3 — шланг; 4 — оправка; 5 — наконечник; 6 — нагреватель.



**Схема устройства для термоконтактной сварки
нагревом контактирующих поверхностей:**

1, 3 - свариваемые изделия;

2 - устройство для нагрева свариваемых поверхностей

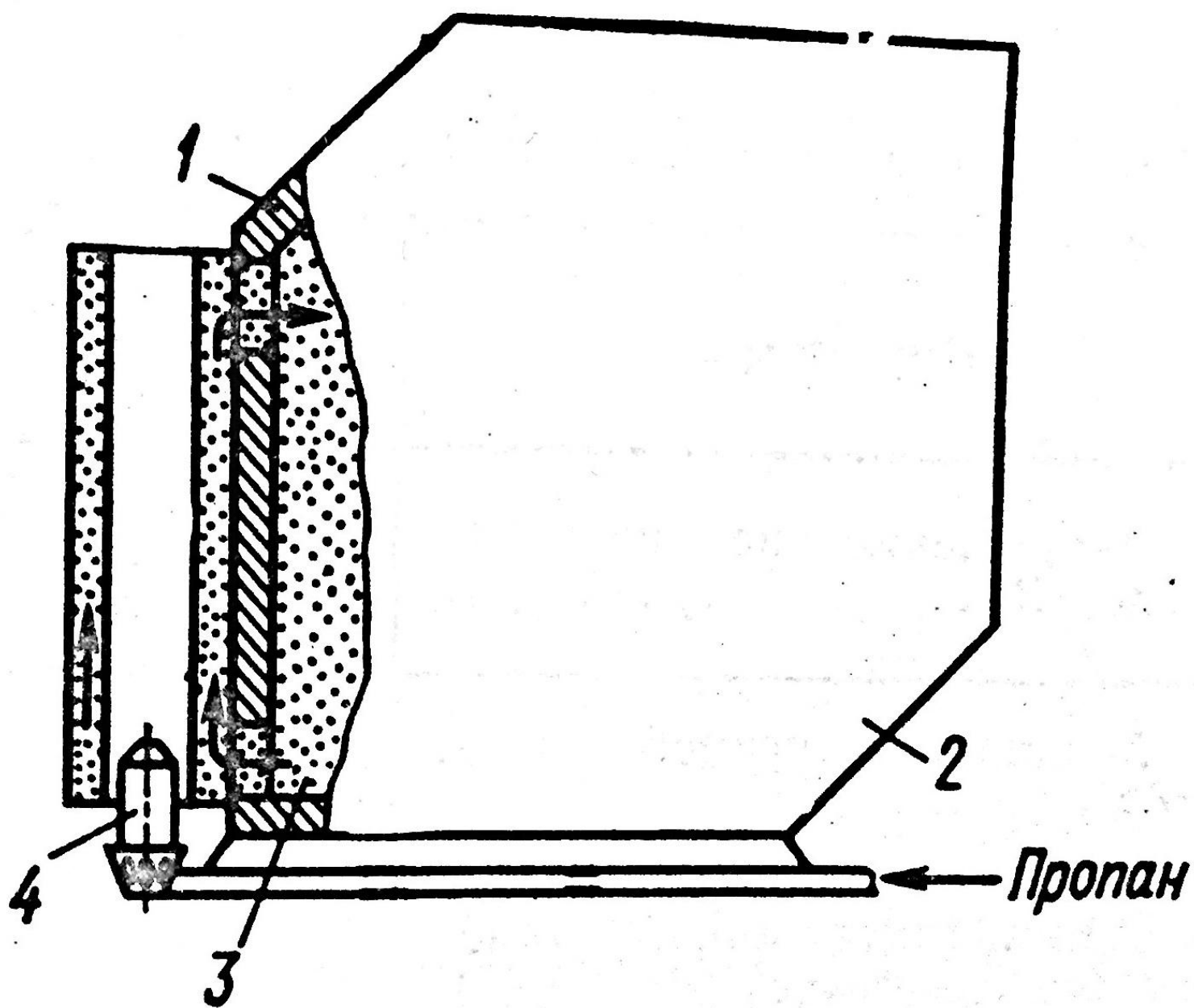
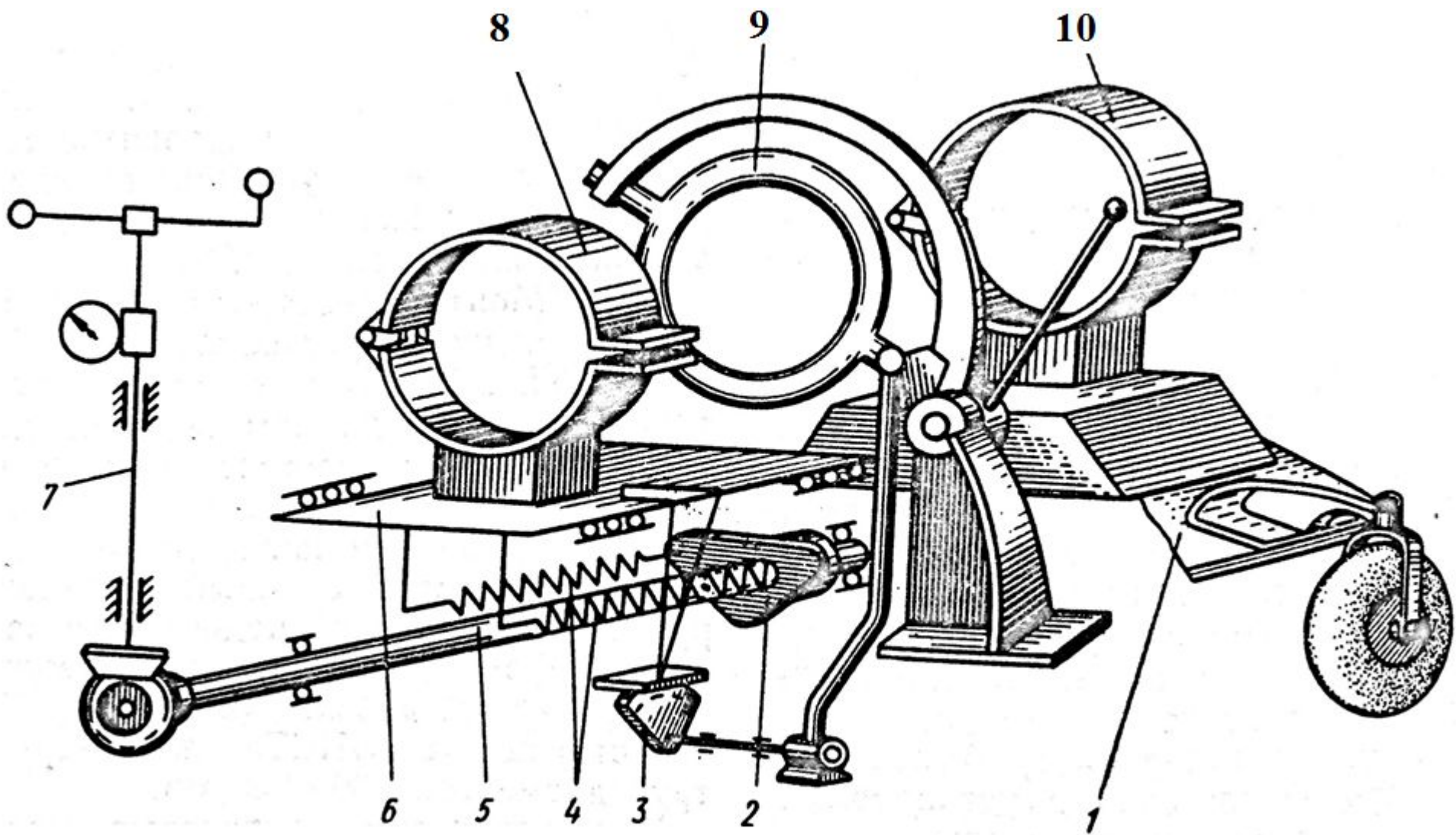
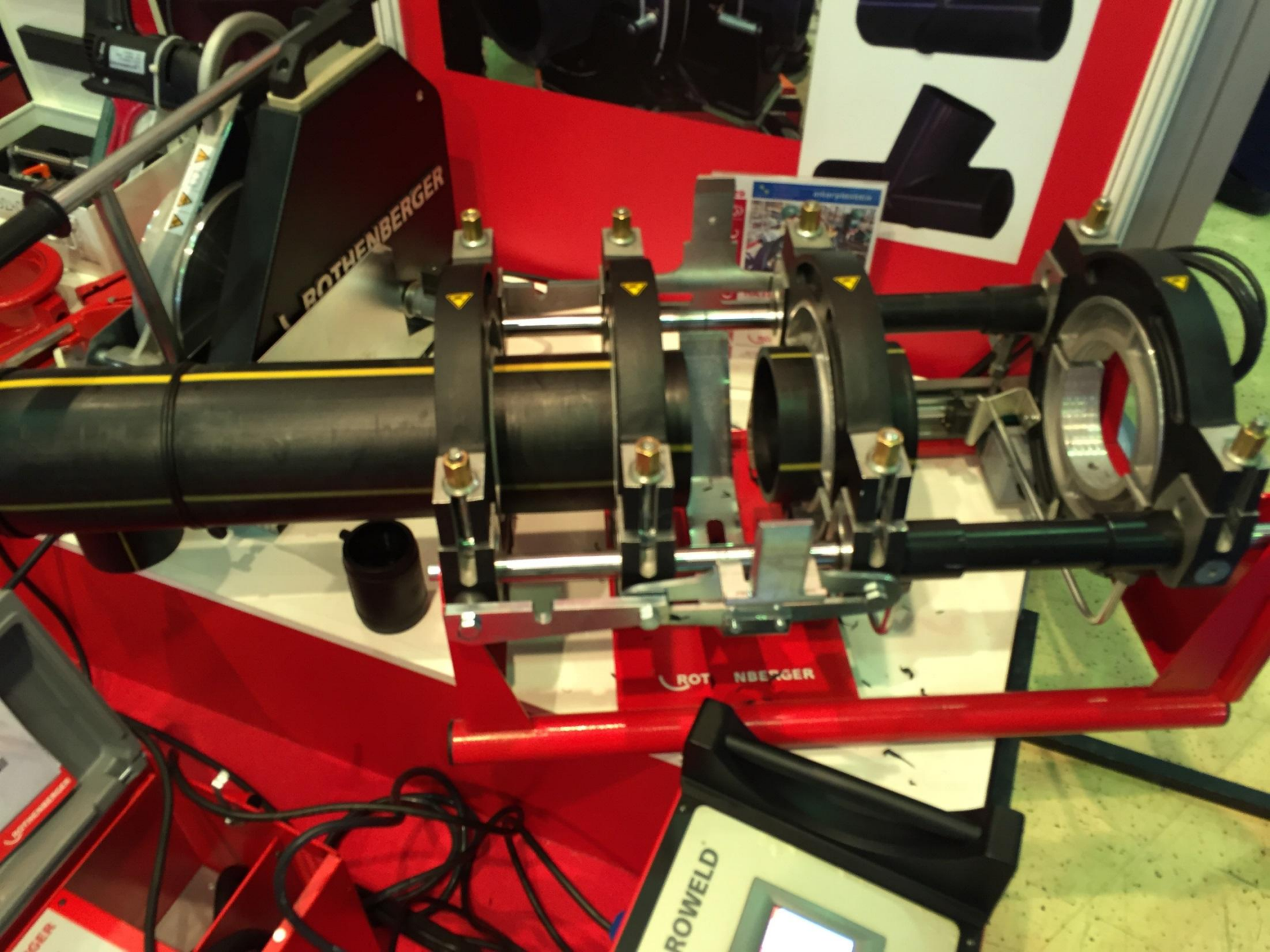


Схема обогреваемого пламенем инструмента ZIS593 для сварки встык



Кинематическая схема установки УСПТ-400 для сварки труб встык



ROTHENBERGER

ROTHENBERGER

ROWELD

КС
ШИ

ИЕ
ДЯ

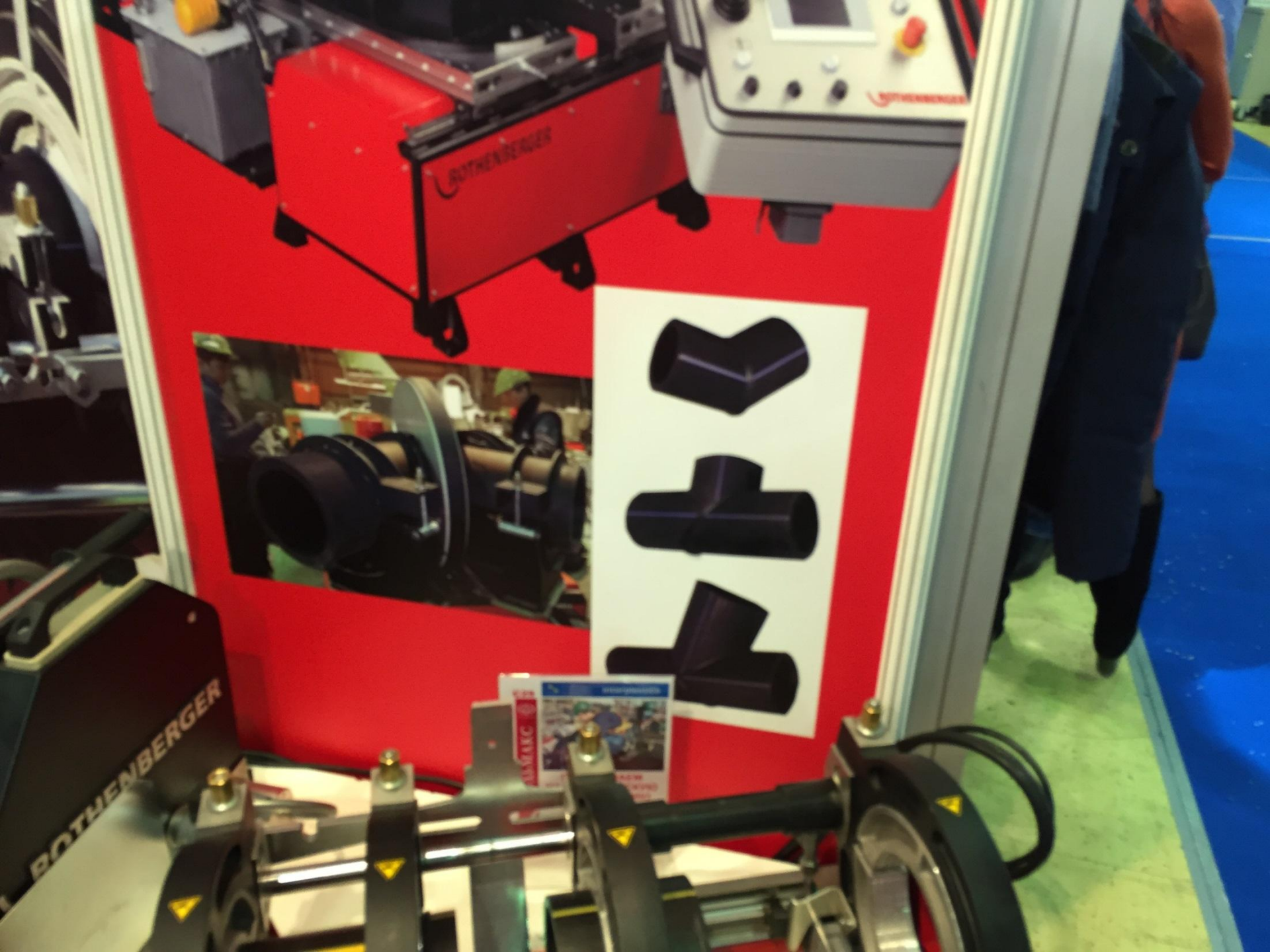
АРЫ
ЦИИ

ПОЛИМЕР
ТРУБ
riexinger.ru



ROTHENBERG
pipeto
rothenbe





ROTHENBERGER



ROTHENBERGER

KATAC
KAW

Для термоимпульсной сварки в качестве нагревателя используют металлические ленты или проволоку, обладающие малой тепловой инерцией и высоким омическим сопротивлением и нагреваемые под действием импульсов тока большой силы. Термоимпульсную сварку применяют для соединения пленок термопластов толщиной до 500 мкм.

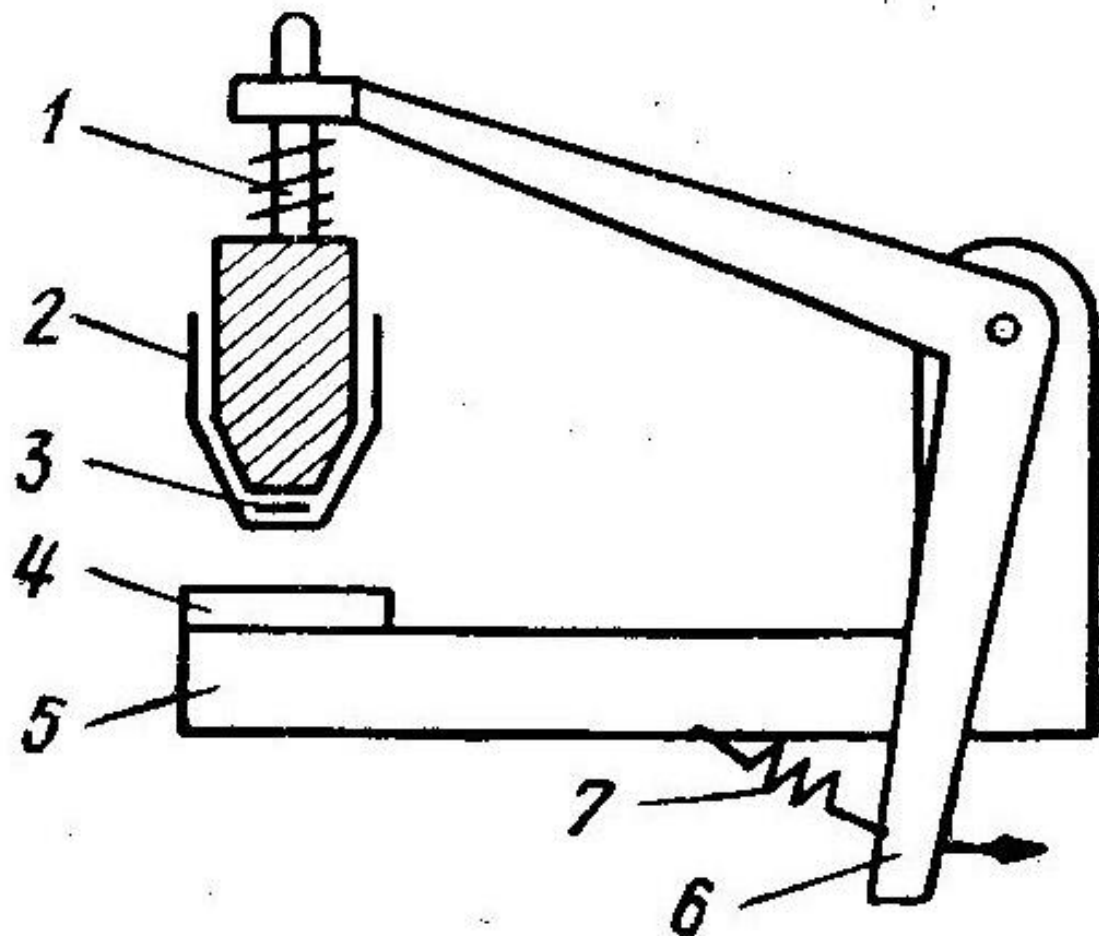


Схема машины для термоимпульсной сварки:

1 — пружина; 2 — прокладка; 3 — электрод; 4 — свариваемый материал; 5 — стол; 6 — рычаг; 7 — пружина.

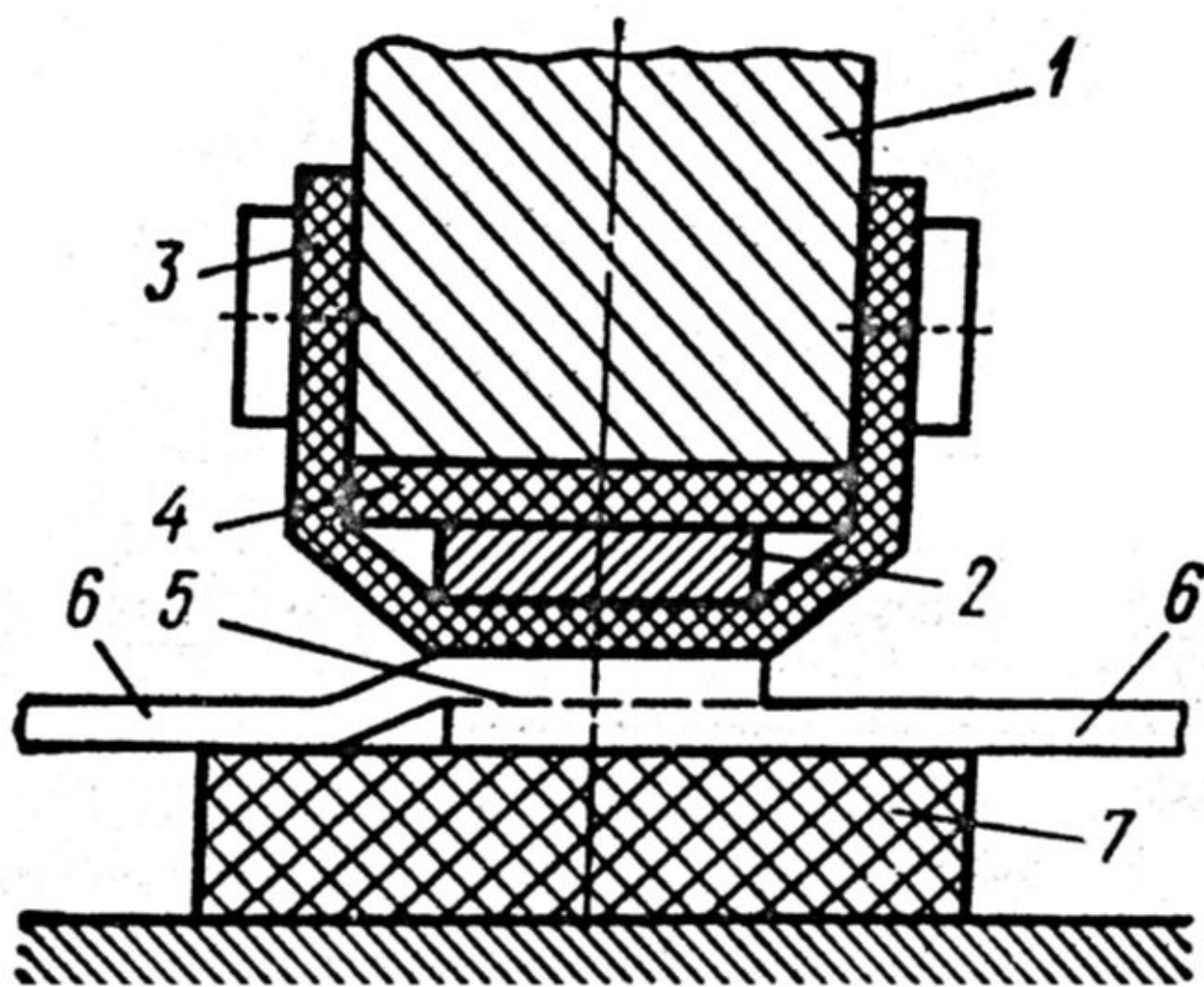
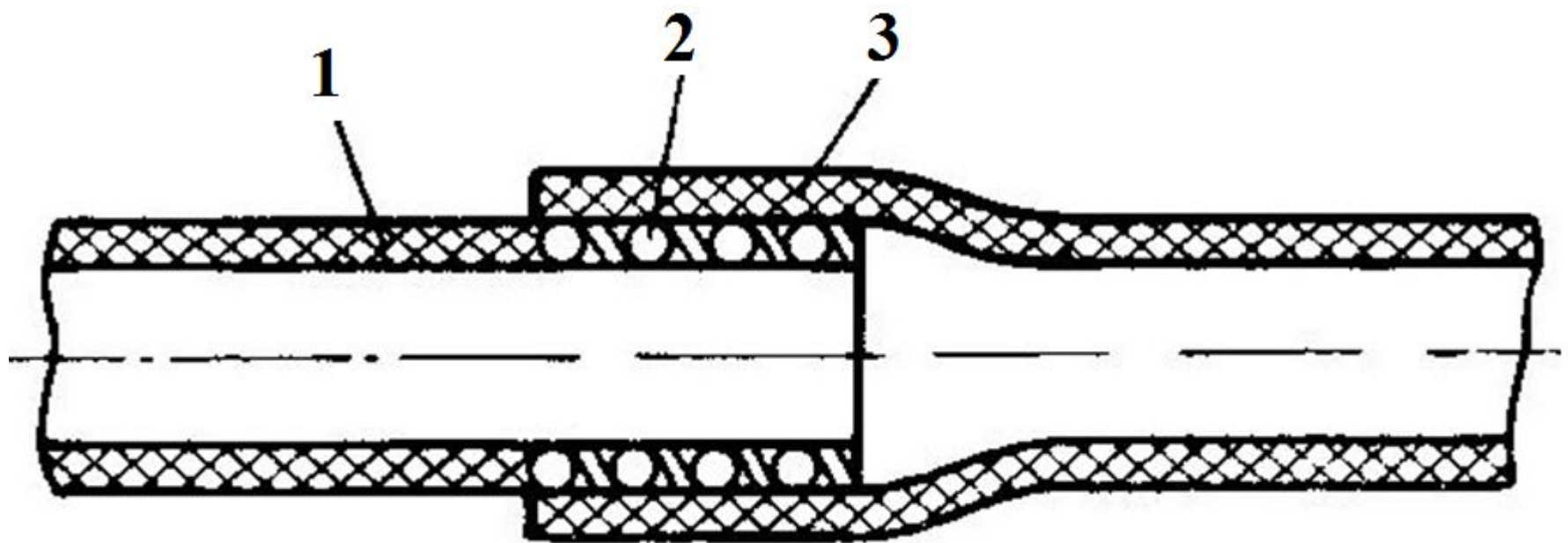
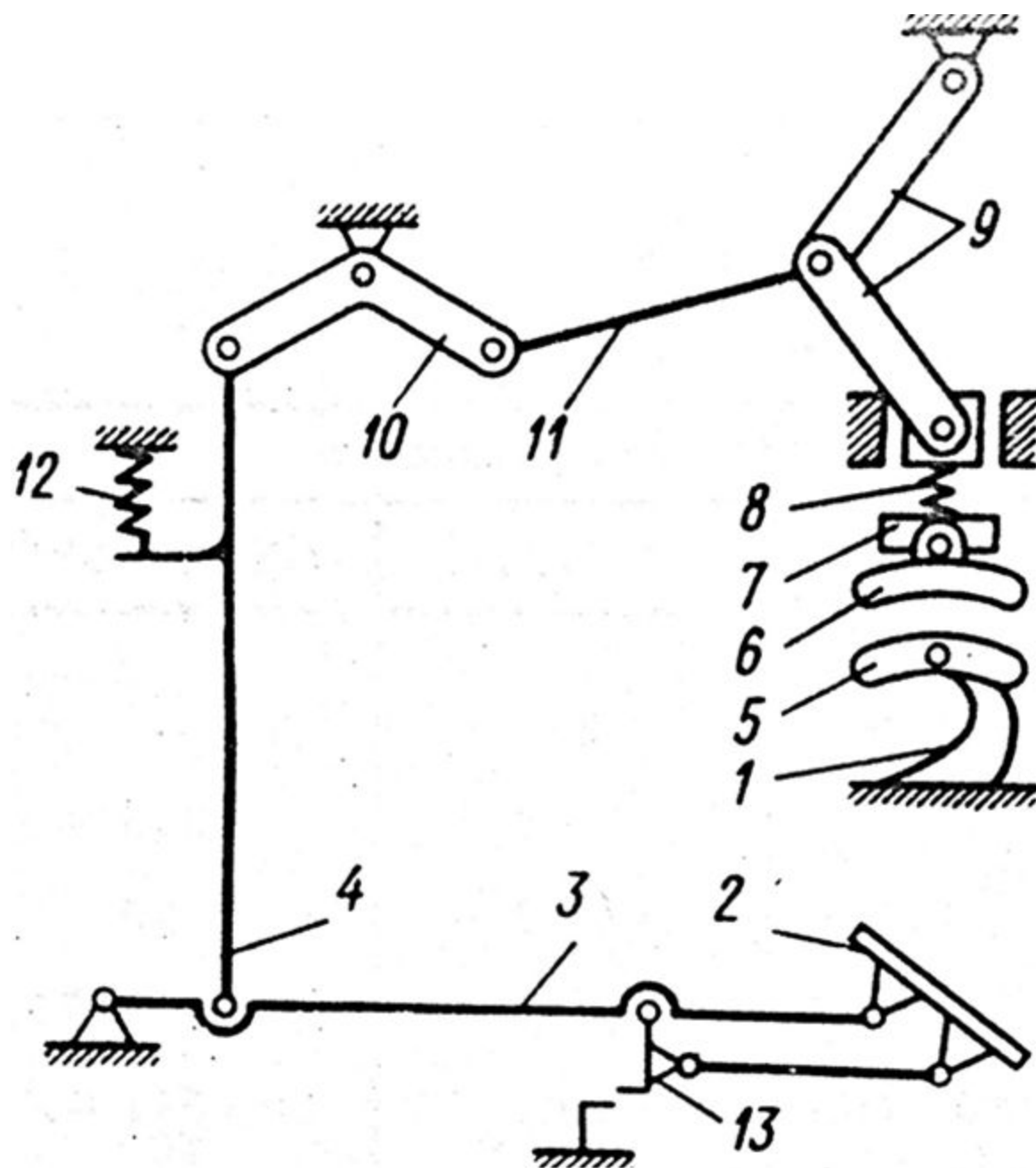


Схема сварочного узла аппарата для односторонней термоимпульсной сварки пленок

1 - ручка для прижима аппарата; 2 - металлическая лента (нагреватель) с малой тепловой инерцией, растягиваемая пружиной; 3 - антиадгезионная прокладка (пленка из фторопласта-4); 4 - тепло и электроизоляционная прокладка; 5 - сварной шов; 6 - свариваемые пленки; 7 - эластичная подложка



**Схема термоимпульсной сварки труб внахлестку:
1, 3 - соединяемые трубы; 2 - нагревательный элемент**



Установка для термоимпульсной сварки замкнутых профилей (МСП-21)

- 1 - нижняя опора (консоль);
- 5,6 - смежные электроды;
- 7 - вертикально перемещаемый суппорт;
- 8 - регулируемая пружина;
- 13 - фиксатор положения рычага 3 и педали 2

Высокочастотная (ВЧ) сварка. ВЧ-сварке подвергают материалы, имеющие коэффициент диэлектрических потерь $\epsilon'' > 0,01$. К ним относятся ПВХ и его сополимеры, ПА, сополимеры фторпроизводных, полиакрилаты, ПУ и т. д.

Основан способ на известном физическом явлении взаимодействия токов высокой частоты (ТВЧ) с диполями молекул. Дипольная молекула в переменном электрическом поле ориентируется по направлению поля. Энергия поля диссипируется в полимере за счет внутреннего трения колеблющихся диполей.

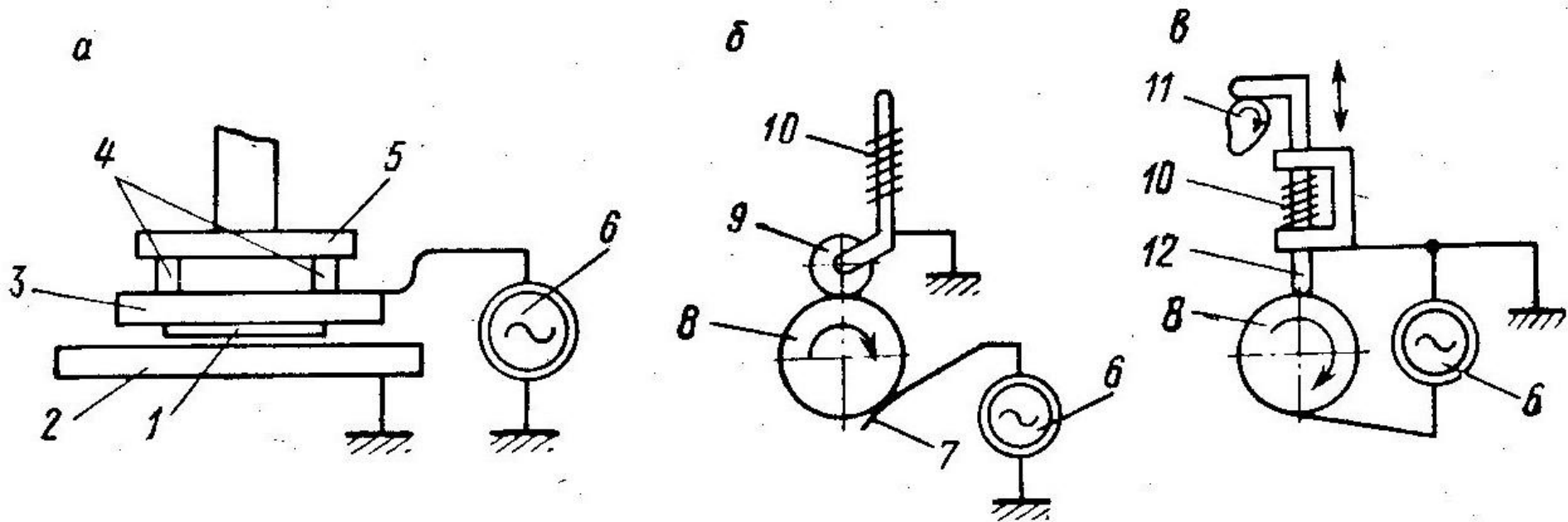
Основным оборудованием являются высокочастотный генератор, сварочное устройство и контур управления. В генераторе постоянный ток высокого напряжения преобразуется в переменный с частотой 20—40 МГц. Этот ток подается на обкладки конденсатора, одновременно являющиеся электродами для сварки пластмассы. Электроды не только подводят энергию к зоне шва, но и передают давление на материал.

В особых случаях, когда требуется ВЧ-сварка материалов с $\epsilon'' < 0,01$ (ПО, ПЭТФ, фторопласт-4), необходимо применять более высокие частоты (80—150 МГц) или сверхвысокие — 300 МГц и выше.

Преимущества способа: высокая скорость и равномерность нагрева, хорошее качество сварного шва. Кроме того, ВЧ-сварка может успешно осуществляться при более низких температурах по сравнению с контактной.

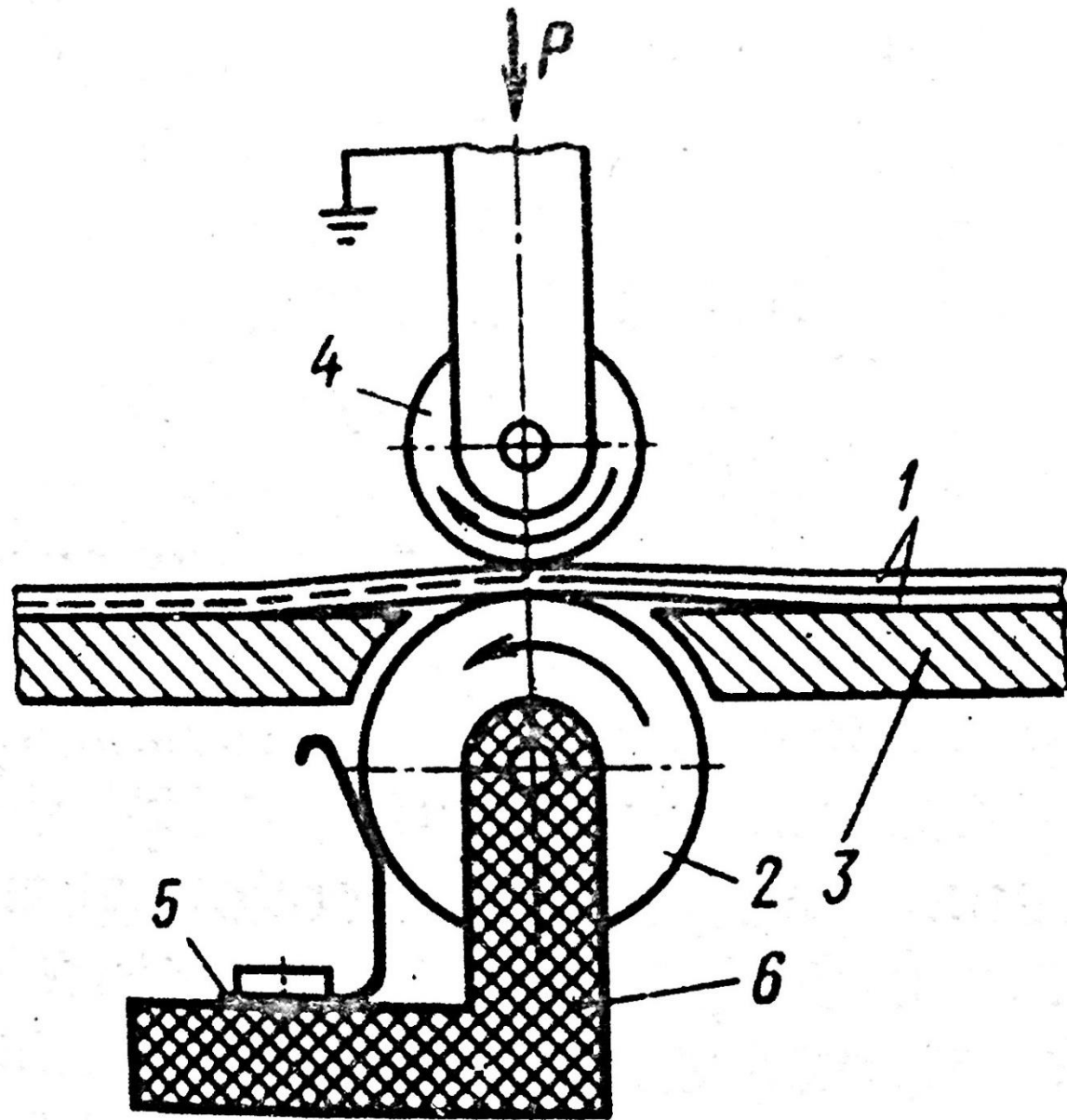
Высокочастотное сварочное оборудование состоит из источника электрической энергии высокой частоты и собственно сварочной установки — технологического устройства, к которому подводится высокочастотная энергия при помощи шины, кабеля или коаксиального фидера с воздушной изоляцией.

Технологическое устройство в качестве обязательных элементов включает рабочий конденсатор со сварочными электродами, механизм привода электродов и устройство для устранения радиопомех. Кроме них, в конструкцию установок автоматического и полуавтоматического типов могут входить устройства для загрузки материалов и съема изделий, фиксации изделия во время сварки, перемещения электродов в горизонтальной плоскости и т. п.

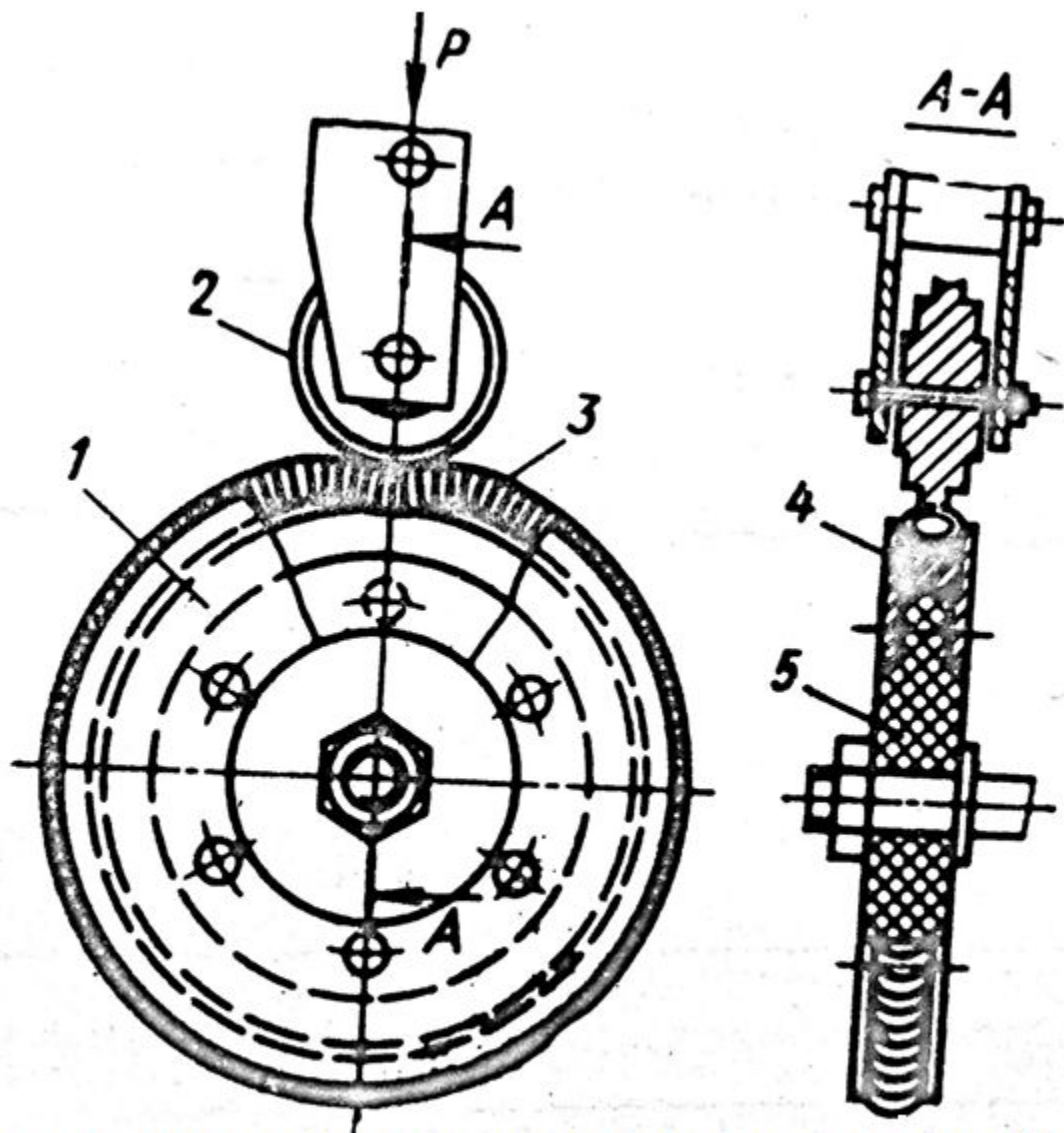


Схемы машин для высокочастотной сварки:

a — сварка по плоскости; *б* — роликовая сварка; *в* — точечная сварка;
 1 — пуансоны; 2 — нижний стол; 3 — электродержатели; 4 — изоляторы;
 5 — верхний стол; 6 — генератор; 7 — щетки; 8, 9 — ролики; 10 — пружина;
 11 — кулачок; 12 — наконечник.



**Принципиальная схема роликовой
высокочастотной сварочной установки**



**Схема сварочного узла роликовой
высокочастотной сварочной установки**

Ультразвуковая (УЗ) сварка основана на преобразовании энергии механических высокочастотных колебаний (15—50 кГц) в тепловую энергию. Размягченные полимеры при приложении нагрузки свариваются.

Отличительной особенностью УЗ-метода является то, что выделение тепла происходит не во всей массе шва, а концентрируется в зоне контакта свариваемых поверхностей.

В связи с быстротой нагрева в зоне образования шва происходят минимальные изменения структуры полимера. Благодаря этому при УЗ-сварке двухосно-ориентированных пленок из ПЭТФ, ПП и др. удастся сохранить ориентацию материала в шве.

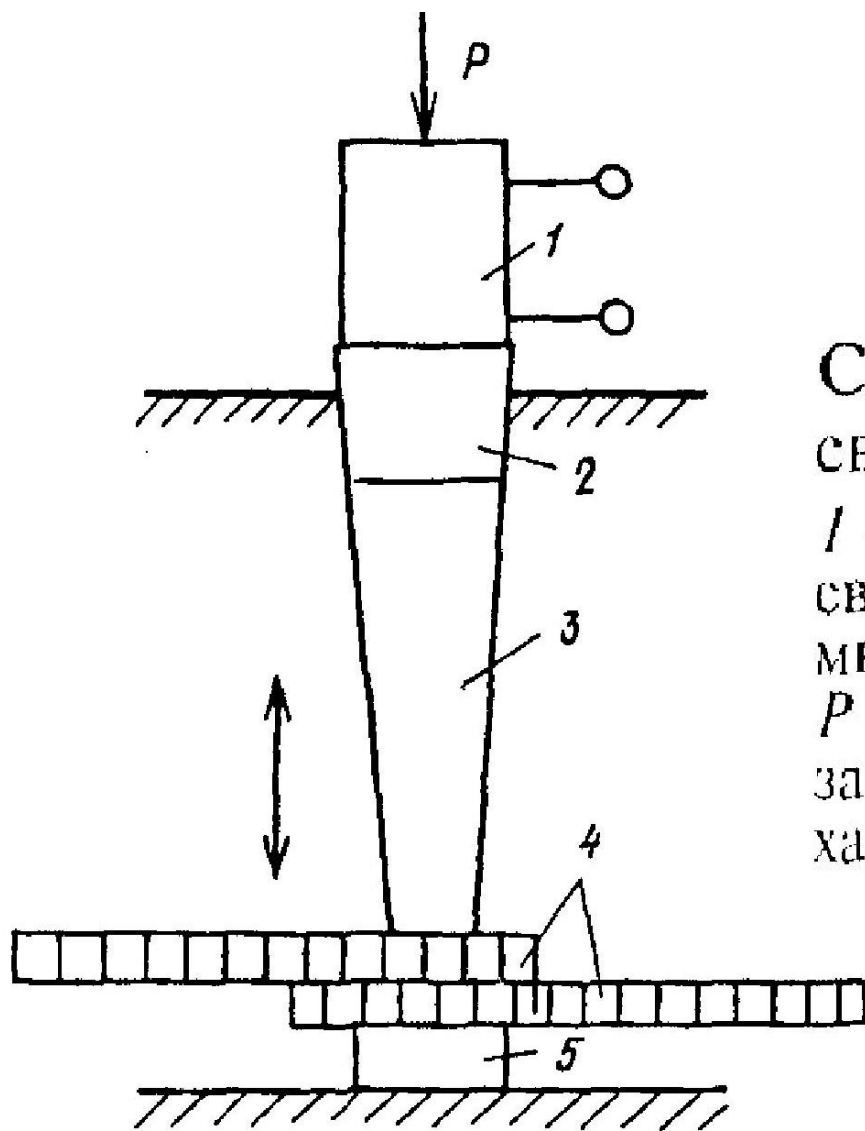


Схема ультразвуковой сварки пластмасс:

1 — излучатель УЗ; 2 — волновод; 3 — сварочный инструмент; 4 — свариваемые материалы; 5 — отражатель;
 P — давление сварки; стрелками показано направление высокочастотных механических колебаний

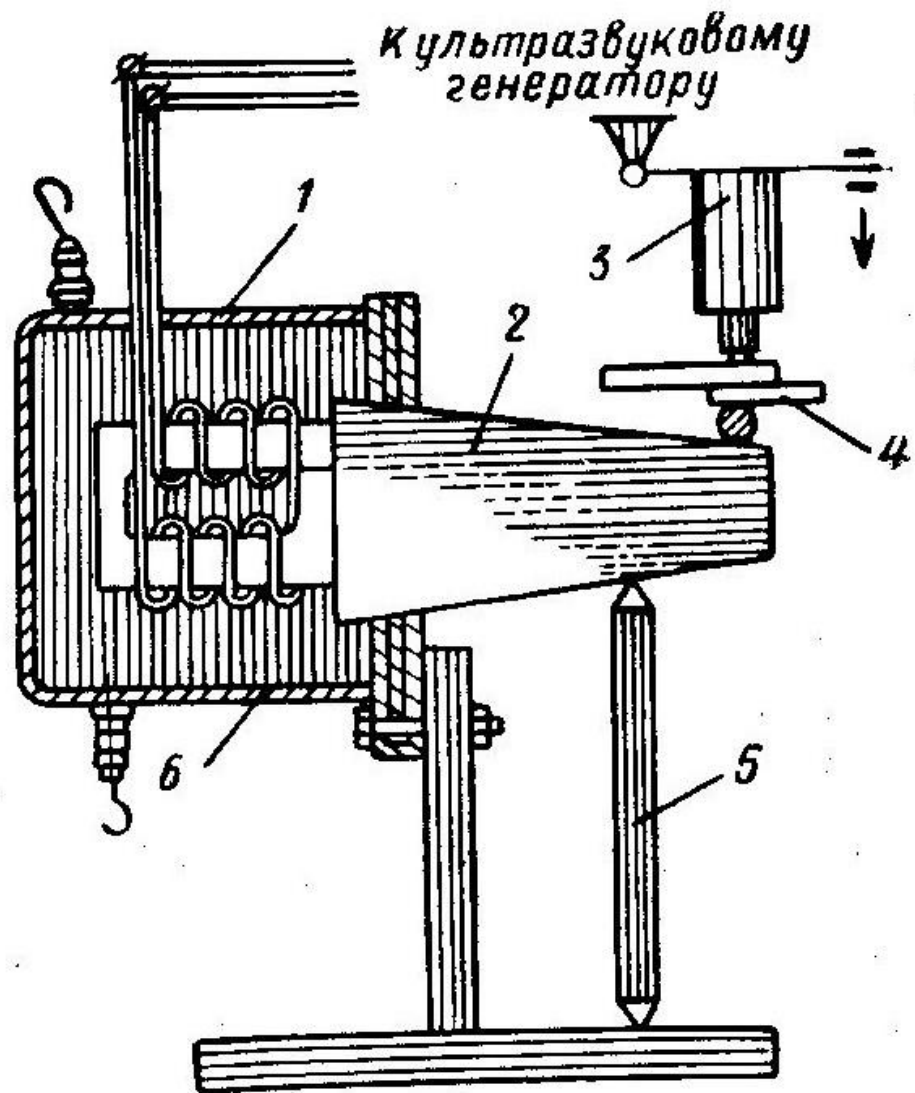


Схема машины для
ультразвуковой сварки пластмасс:

1 — преобразователь; 2 — волновод;
3 — прижим; 4 — свариваемая деталь;
5 — отражатель; 6 — корпус.

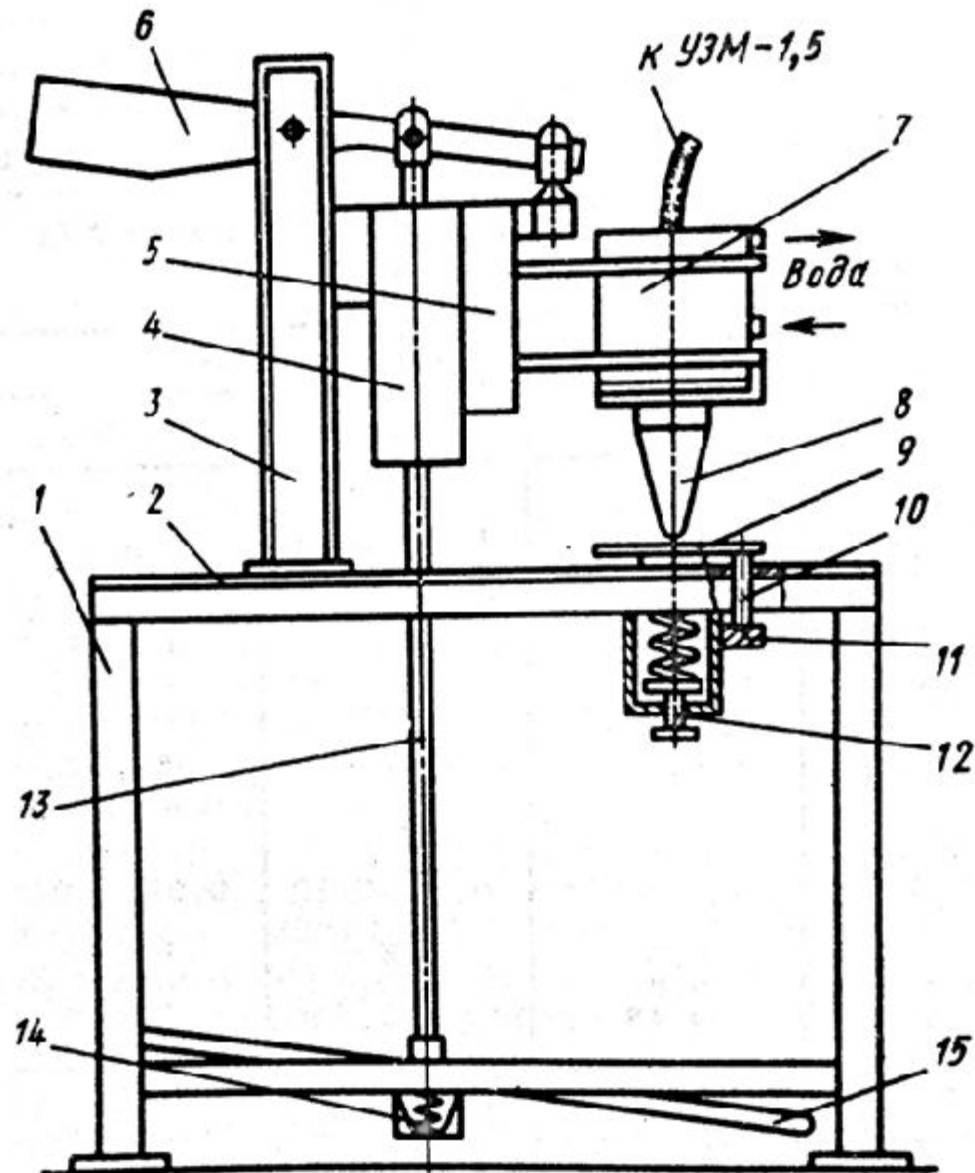
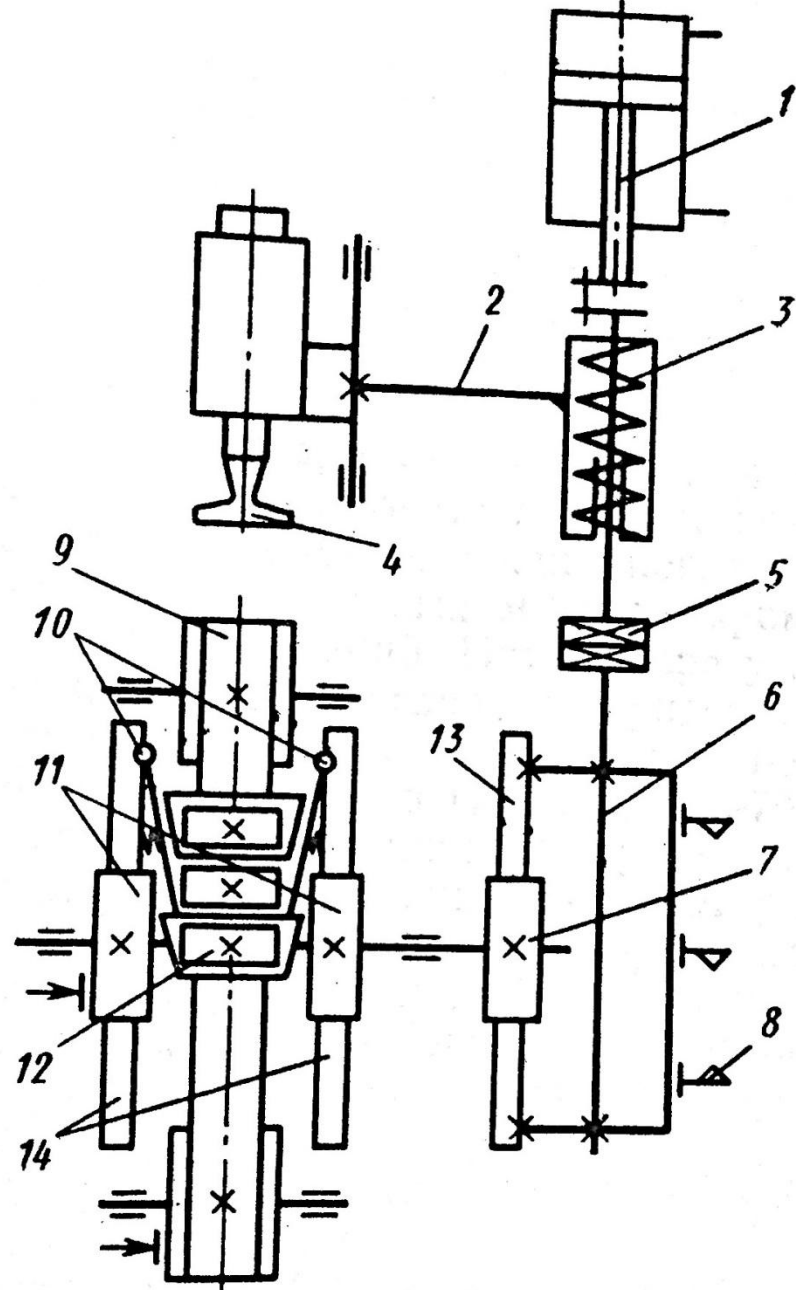


Схема ультразвуковой сварочной установки УП-20

7 - магнитострикционный преобразователь;

10, 11 - механизм сопутствующего контроля, снимающий сигнал
УЗ колебаний, прошедших через свариваемый материал в опору 9



Кинематическая схема полу-автомата для ультразвуковой сварки катафотов

Сварка трением основана на нагреве контактирующих поверхностей термопластов в результате превращения механической энергии трения в тепловую. Низкая теплопроводность пластмасс локализует и сохраняет тепло в зоне трущихся поверхностей, где и образуется сварной шов. При этом способе механически снимается окисленный поверхностный слой полимера, вытесняются воздушные включения и другие примеси из зоны шва.

Одновременно с оплавлением поверхности свариваемых деталей не исключается механодеструкция полимера. В начальный период сварки процесс механодеструкции преобладает над процессом диффузии макромолекул, так как температура в зоне трения еще недостаточно высока. С увеличением продолжительности трения теплота накапливается, материал переходит в текучее состояние, и механодеструкция макромолекул прекращается. Продукты механодеструкции полимера входят в состав сварного шва и приводят к его естественному ослаблению по сравнению с материалом деталей.

Существуют три схемы сварки трением: вращением, вибротрением и промежуточная вращательно-вибрационная.

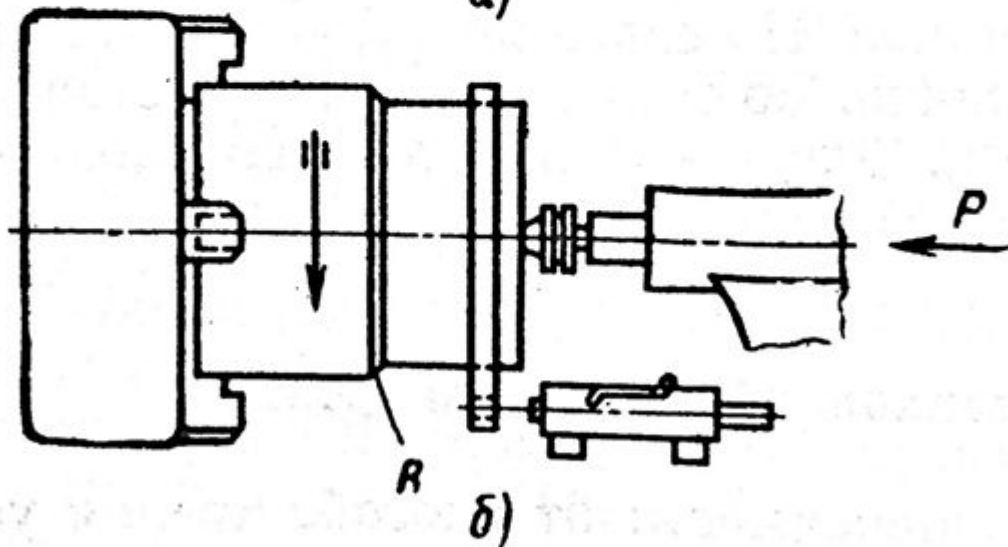
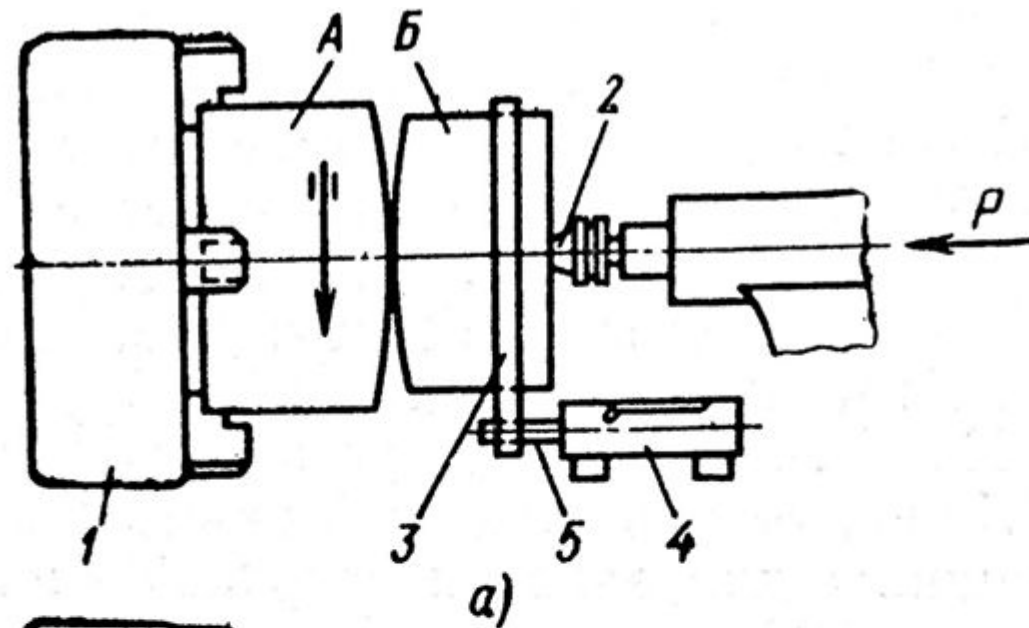


Схема сварки вращением на токарном станке:
a — начало сварки; *б* — конец сварки

Сущность вибрационного способа состоит в том, что прижатым поверхностям деталей сообщается возвратно-поступательное движение одной относительно другой. Сварка поверхностей происходит при частоте возвратно-поступательного движения 50—400 Гц, амплитуде 3—6 мм, давлении $P = 2 \div 15$ МПа, продолжительности — несколько секунд. Для данного способа сварки габаритные размеры детали и толщина стенки не играют роли.

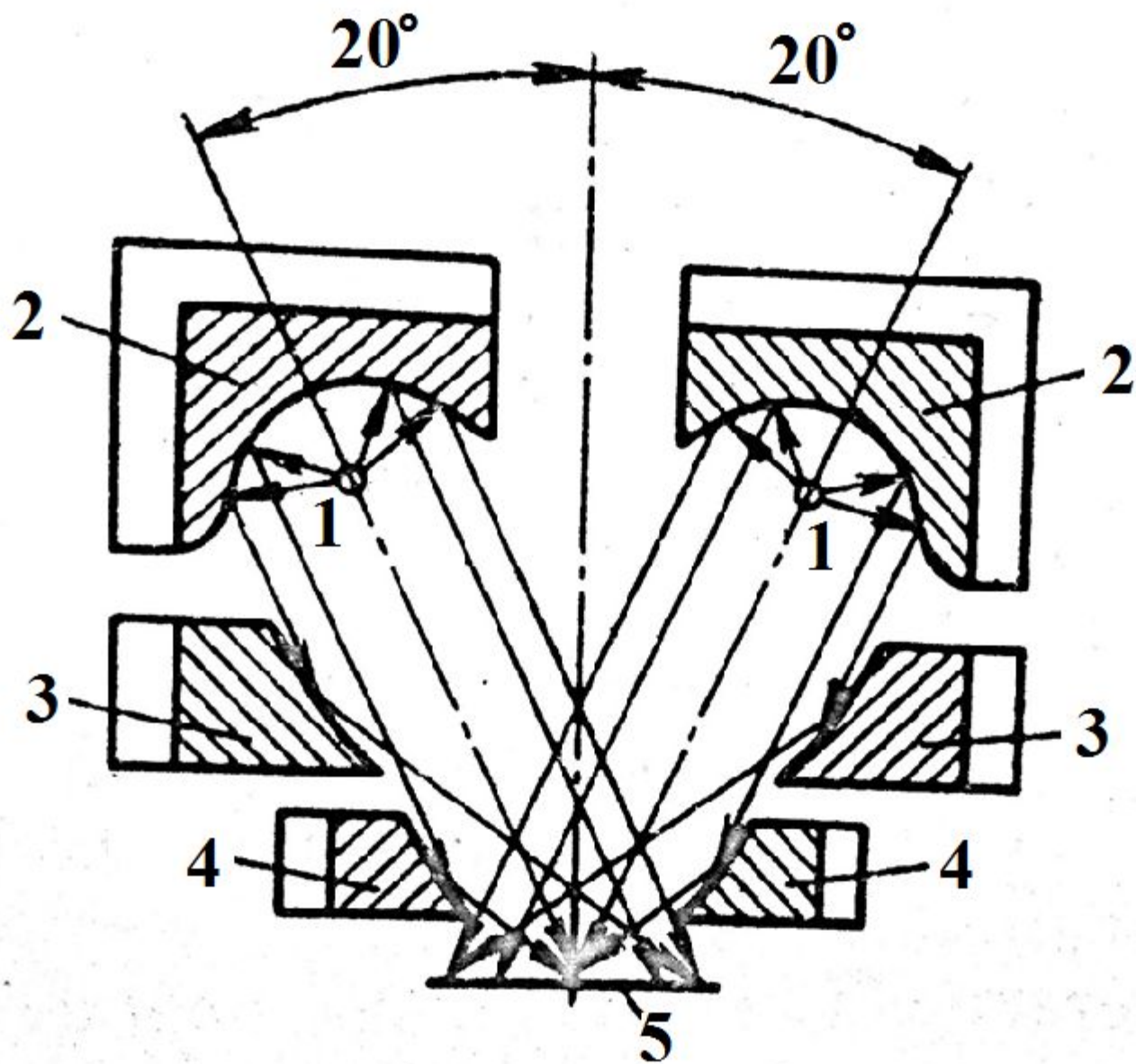


Схема оптической системы аппарата "Пилад-220" для нагрева свариваемых элементов инфракрасным излучением

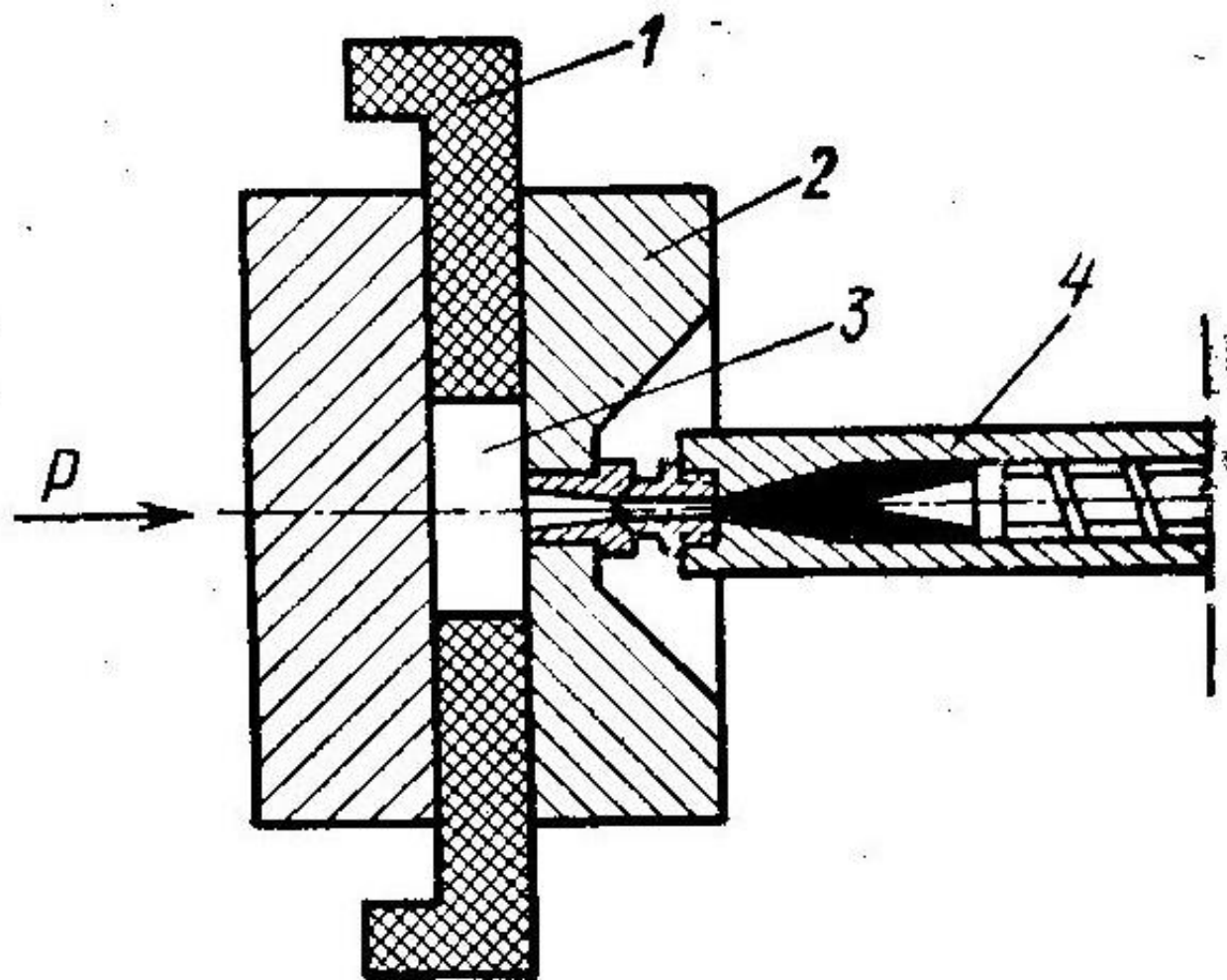
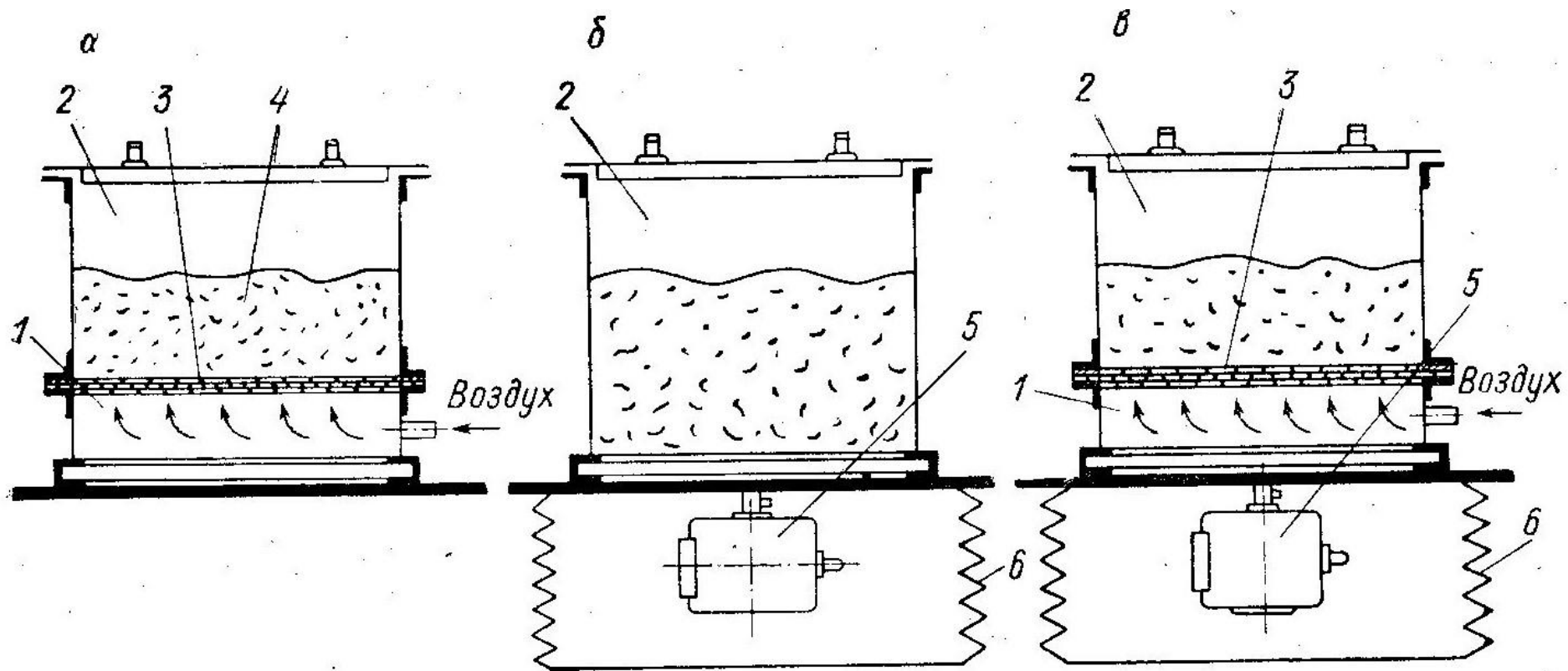


Схема метода сварки
расплавом полимера:

1 — заготовки; 2 — литейная форма;
3 — полость формы; 4 — цилиндр
литейной машины.

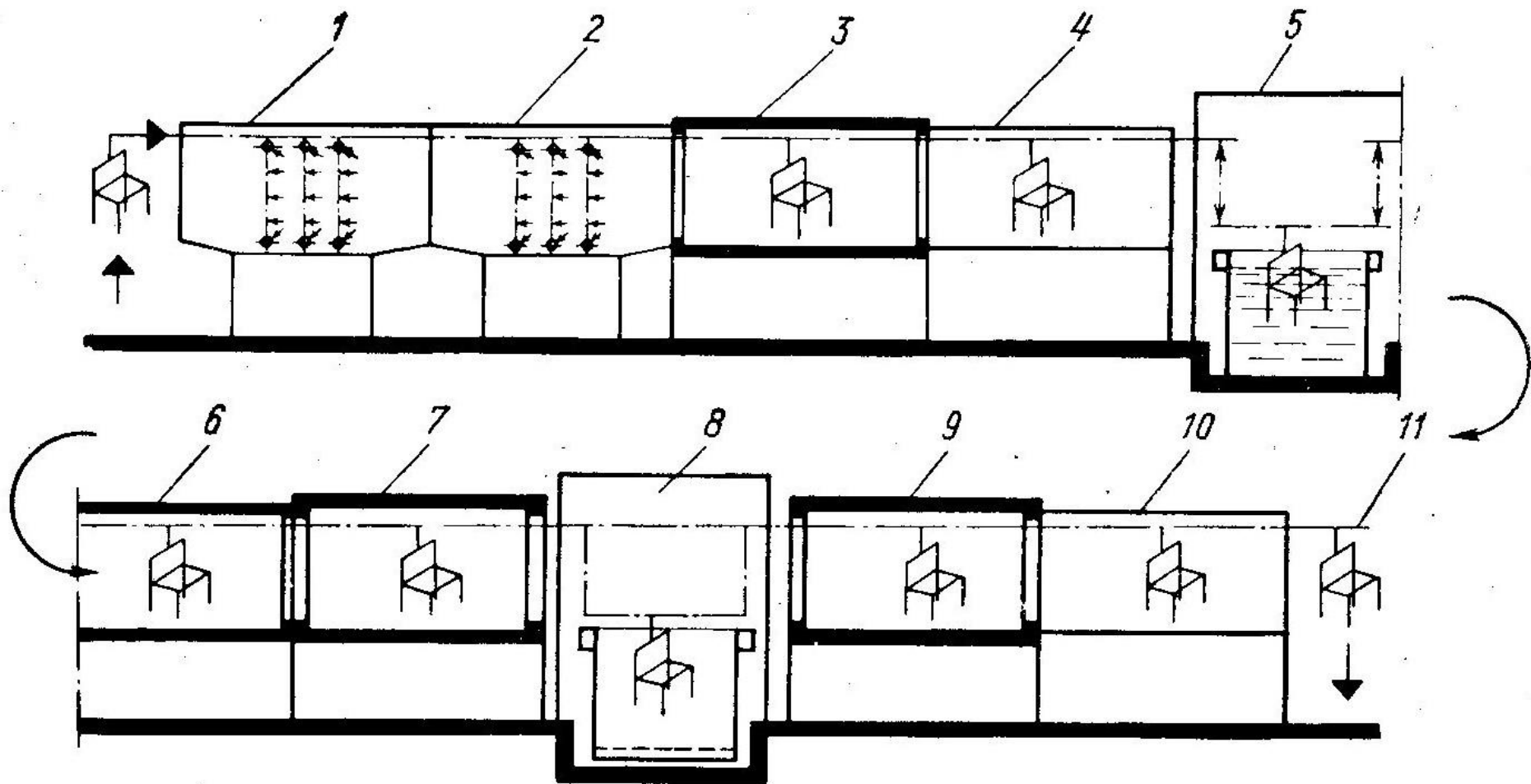
Напыление в псевдоожигенном слое порошка. Для этого в емкость, в которой порошок находится в псевдоожигенном состоянии, помещают на несколько секунд деталь, предварительно нагретую на 50—150 °С выше температуры плавления термопласта или температуры отверждения реактопласта. При этом порошок, соприкасаясь с горячей поверхностью, прилипает к ней, сплавляется. Окончательное сплавление происходит отдельно в печи.

Способ довольно прост, не требует дорогостоящего оборудования, качество покрытия хорошее. Недостаток способа заключается в трудности получения покрытий равномерной толщины, особенно на деталях сложной конфигурации. Для улучшения равномерности толщины слоя применяется комбинированный способ: псевдоожигение порошка происходит с одновременным сообщением заряда частицам.



Схемы пневматического (*а*), вибрационного (*б*) и пневмовибрационного (*в*) аппаратов для вихревого напыления пластмасс:

1 — поддон; 2 — резервуар; 3 — днище; 4 — материал; 5 — вибратор; 6 — пружины.



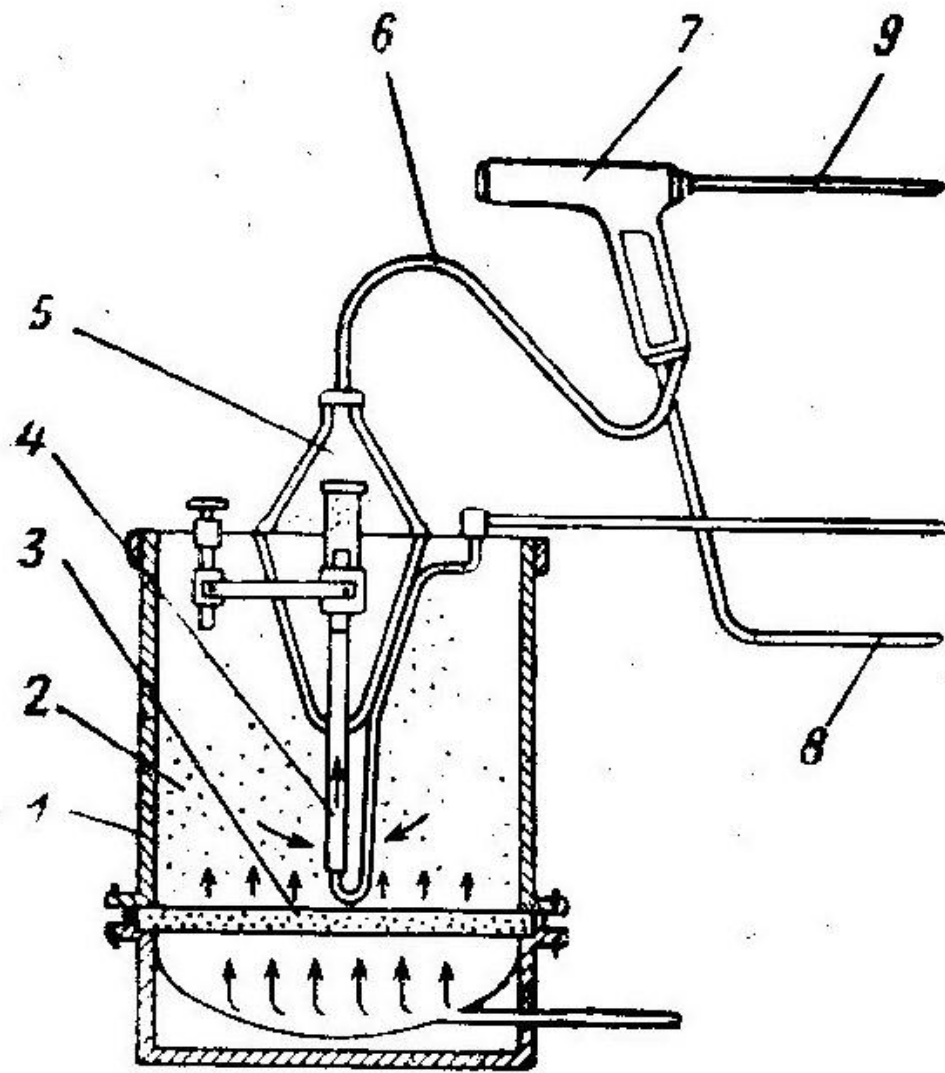
Полуавтоматическая линия для нанесения покрытий вихревым методом:
 1, 2 — камеры для промывки деталей; 3, 6 — сушильные камеры; 4, 10 — охлаждающие камеры; 5 — ванна для нанесения грунтовки; 7 — печь; 8 — камера для нанесения покрытий; 9 — камера для термофиксации; 11 — устройство для съема готовых изделий с конвейера.

Напыление в электрическом поле состоит в том, что частицам порошка сообщают, как правило, отрицательный заряд, а форме — положительный. Распыляемые частицы плотно прилегают к поверхности детали, накапливается нужной толщины слой и далее частицы сплавляются в печи.

Для придания заряда частицам применяются специальные распылительные головки с электродами, обеспечивающими коронный разряд, создающий поток ионов (ионный способ). Заряд частицам может быть сообщен и контактным способом: частица заряжается в результате контакта с металлическим электродом, соединенным с источником высокого напряжения. Источником высокого напряжения служат генераторы с параметрами: 50—120 кВ, 100—250 мкА, 10—20 кГц. Напыление заряженных частиц полимера обеспечивает толщину покрытия 10 мкм — 1 мм.

Газопламенный способ напыления состоит в том, что струя порошка, выходящая из специального пистолета, проходит через пламя газовой (ацетиленовой) горелки. При этом частицы порошка, окисляясь, попадают на поверхность детали, где и спекаются. Окончательное сплавление происходит в печи. Таким способом получают покрытия толщиной 0,1—0,3 мм.

Порошок нагревается пламенем (1500 °С) не более чем доли секунды, что позволяет избежать значительной термоокислительной деструкции. Для улучшения качества покрытия, его адгезии рекомендуется предварительно прогревать (той же горелкой) поверхность детали. Несмотря на это способ малопроизводителен; покрытие имеет большую разнотолщинность; существенно коробление покрываемых тонкостенных изделий (листов). Способ применяется при ремонте поврежденных покрытий (заделка трещин, раковин и т. п.).



**Аппарат для газопла-
менного напыления пластмасс:**

1 — камера; *2* — порошок; *3* — пори-
стое днище; *4, 6, 8, 9* — шланги; *5* —
жиклер; *7* — распылительный пистолет.

Струйное напыление заключается в нанесении с помощью пневматических распылителей порошка на предварительно нагретую поверхность. Изменяя режим последующего охлаждения покрытия, можно влиять на его свойства. Так, медленное охлаждение покрытия ведет к снижению уровня остаточных напряжений в полимере, повышает адгезию к поверхности изделия. Такой режим можно рекомендовать для аморфных полимеров.

В случае высококристаллических полимеров необходимо как можно быстрее охлаждать сплавленное покрытие. В этом случае получается структура полимера с меньшей кристалличностью, что улучшает свойства покрытия.

При нанесении на изделия полимера в виде лакокрасочной композиции толщина покрытия может колебаться в пределах 50—100 мкм (реже — до 300 мкм). В зависимости от состава композиции покрытие наносится, как правило, несколькими слоями. Это связано с тем, что растворитель предыдущего слоя должен испариться перед нанесением последующего.

Технологическая схема включает в себя те же операции, но вместо сплавления полимера применяется сушка покрытия.

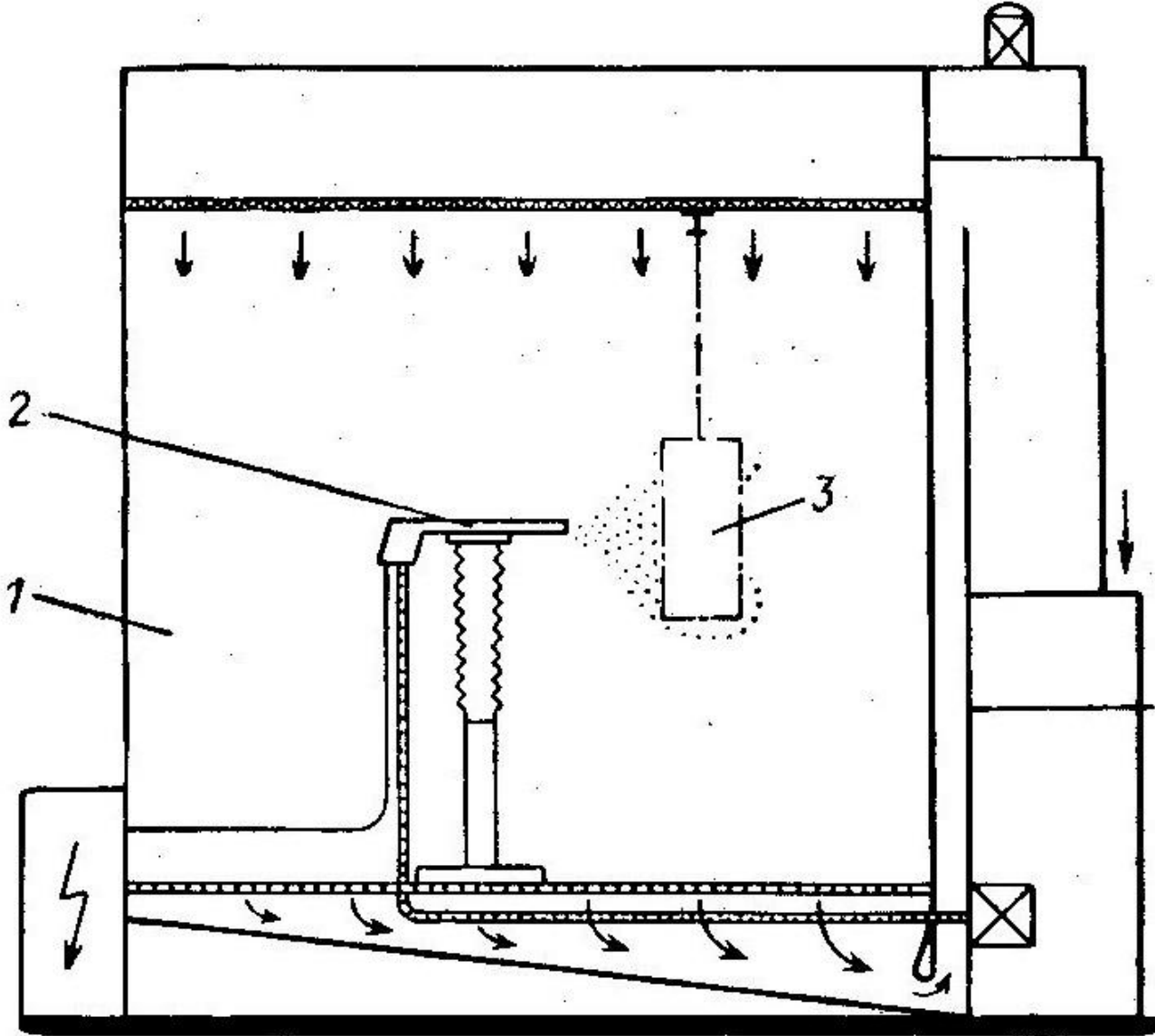


Схема аппарата для покрытия
деталей струйным методом:

1 — камера; 2 — аппарат для напыления; 3 —
покрываемая деталь.