

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ  
по дисциплине

**«ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ»**

лекция №22

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., доцент кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

# СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ №22

## Тема 21. Сварочный контур

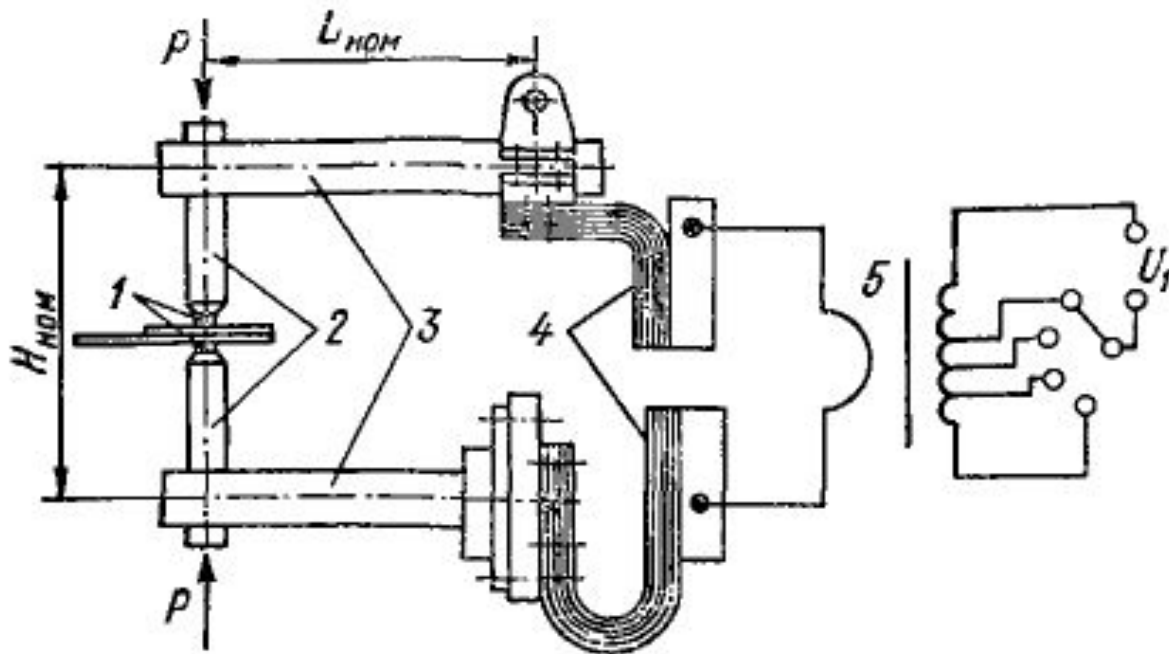
Сварочный контур машин для сварки давлением.

Конструкция сварочного контура контактных машин.

Электрический расчет вторичного контура.  
Схема расчета трансформаторов машин для контактной сварки.

В качестве примера на рис. 1 представлен сварочный контур контактной точечной машины. Основными его элементами являются электроды 1, непосредственно подводящие ток к свариваемым деталям и передающие необходимые усилия для их сжатия; электрододержатели 2, служащие для закрепления электродов; хоботы 3, соединенные с механизмами, обеспечивающими необходимые усилия сжатия свариваемых деталей; гибкие шины 4, соединяющие контактные плиты трансформатора с подвижными элементами контура; сварочный трансформатор 5.

Как правило, жесткие элементы изготавливаются из медного проката, отливаются из меди или бронзы. Гибкие элементы изготавливаются из медной фольги или гибких проводов, состоящих из большого числа тонких проволок типа жгута или плетенки. Размеры и конструкция вторичного контура определяются технологическими возможностями машины и ее энергетическими показателями. Полезный вылет  $L_{ном}$  и раствор  $H_{ном}$  выбираются в зависимости от габаритов свариваемых деталей.



Температура нагрева  $i$ -го элемента обуславливается плотностью тока  $J$ , соответствующей длительному, или расчетному, значению тока при ПВ=100 %. В табл. приведены рекомендуемые плотности тока в элементах вторичного контура в зависимости от материала элемента и условия его охлаждения.

Элемент вторичного контура	Материал или марка сплава	Условия охлаждения	Допустимая плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	Удельное сопротивление, мкОм·м, при 20 °С	Температурный коэффициент сопротивления $\alpha$	
					$\alpha = f(t)$	при $t = 20$ °С
Электроды	Бронза БрХ	Водяное интенсивное (внутреннее или наружное)	20—30	0,021—0,035	0,95 $\alpha$ меди	—
Электрододержатели	Бронза БрХ		30—50			
	БрНБТ БрНК		10—20	0,032—0,058 0,0435		
Хоботы, консоли, плиты	Медь М1	Воздушное Водяное	1,8—2,2 2,4—3	0,0175	$\frac{1}{235 + t}$	0,00392
	Медь М3	Воздушное Водяное	1,4—2 2—3	0,03—0,05		
Шины жесткие	Медь М1	Воздушное Водяное	1,8—2 2,5—4	0,0175		
Шины гибкие	Лента МГМ (фольга)	Воздушное	2,5—3			
Неподвижные контактные поверхности	Медь, бронза	Воздушно-водяное (одна поверхность контакта — водоохлаждаемая)	0,5—1	В зависимости от материала контактирующих элементов		

Сечение  $i$ -го элемента рассчитывается по формуле

$$q_i = I_2 / J_i.$$

Здесь  $I_2$  — расчетный вторичный ток, соответствующий ПВ = 100 %. Значение тока  $I_2$  может быть или непосредственно задано или определено из соотношения

$$I_2 = I_{2\text{ном}} \sqrt{\text{ПВ}/100}.$$

Активное сопротивление элементов вторичного контура  $\gamma_B$  складывается из значений активных сопротивлений отдельных элементов  $n$  и сопротивлений переходных контактов между ними  $\gamma_K$ , т. е.  $\gamma_B = 2\gamma_r + 2\gamma_K$ .

**Для расчета этого сопротивления вторичный контур разбивается на отдельные участки, однородные по материалу и по конфигурации поперечных сечений.**

Активное сопротивление отдельного элемента при 20 °С определяется по формуле

$$r_i = K_d r_0 = K_d \rho_l \frac{l_i}{q_i},$$

где  $r_0$  — сопротивление постоянному току элемента, Ом;  $l_i$  — длина элемента (по направлению тока), м;  $q_i$  — его поперечное сечение, м<sup>2</sup>;  $\rho_l$  — удельное электрическое сопротивление материала рассматриваемого элемента, мкОм-м;  $K_d$  — коэффициент добавочных потерь, обусловленный неравномерным распределением тока в массивных элементах контура.

Активное сопротивление участка электрод — электрод гээ

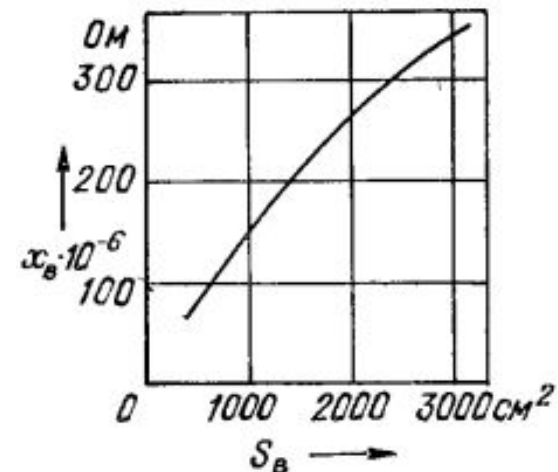
Материал	$r_{ээ} \cdot 10^{-6}$ , Ом (в конце процесса сварки)										
	Толщина металла, мм										
	Точечная сварка						Роликовая сварка герметичным швом				
	0,3	0,5	1	1,5	2	3	0,3	0,5	1	1,5	2
Низколегированная сталь 30ХГСА	165	145	125	110	100	90	145	130	105	50	65
Нержавеющая сталь X18H8T	215	185	150	130	120	110	188	162	130	115	105
Особо жаропрочный сплав ВЖ98	230	200	165	140	125	115	210	180	150	128	113
Титановый сплав OT51-1	240	210	165	145	133	120	224	195	154	135	124
Латунь Л62	76	48	30	24	20	18	46	29	18	15	12
Медные сплавы БрБ2	90	63	40	32	27	23	54	38	24	19	16
Алюминиевый сплав Б16АТ	18	16	13	11	10	8	—	14	11	10	8

Индуктивное сопротивление вторичного контура машины  $x_{\text{в}}$   
 Индуктивное сопротивление — это коэффициент пропорциональности между ЭДС самоиндукции и током, протекающим по элементам вторичного контура контактной машины. При протекании переменного тока по «прямому» и «обратному» токопроводу вокруг него создается магнитное поле, силовые линии которого пронизывают токопровод, в результате чего в нем будет индуцироваться переменная ЭДС самоиндукции (ЭДС взаимной индукции здесь отсутствует, так как по «прямому» и «обратному» токопроводу течет ток, одинаковый по значению), препятствующая прохождению тока по проводнику. Для расчета индуктивных сопротивлений вторичных контуров однофазных контактных машин частотой 50 Гц существует несколько методов, из которых здесь рассматриваются три: **по площади, по периметрам и метод отдельных участков.**

На основании опытных данных по замерам индуктивностей контуров машин контактной сварки, проведенным на заводе «Электрик», выведена следующая эмпирическая формула:

$$x_{\text{в}} = S_{\text{в}}^{0,73} \cdot 10^{-3},$$

где  $S_{\text{в}}$  — площадь, охватываемая контуром,  $\text{см}^2$  (берется по осям сечений сторон).



Приближенный расчет  $x_e$  можно производить по упрощенной эмпирической формуле, выведенной также в результате практического исследования разнообразных контуров. По этой формуле при  $f=50$  Гц

$$x_B = \Sigma l_B C \cdot 10^{-6},$$

где  $\Sigma l_B$  — суммарная выпрямленная длина всех элементов контура при максимальных значениях раствора и вылета, см;  $C$  — эмпирический коэффициент, значение которого лежит в пределах 0,976—1,35. В большинстве случаев  $C=1,26$ .

Эти два метода являются очень приближенными и в основном используются только для ориентировочных расчетов контуров простых конфигураций.



При более точном расчете  $L_B$  или  $x_B$  применяется метод отдельных участков. При этом любой сложный контур разбивается на отдельные участки, каждый из которых отличается от других или размерами и формой поперечного сечения элементов токопровода, или расстоянием между их осями. ,

Расчет  $L_B$  и  $x_B$ , соответствующих частоте 50 Гц, по отдельным участкам производится по эмпирическим формулам, приведенным в таблице ниже. По ним определяются удельные значения  $L_{vi}$  и  $x_{vi}$ , приходящиеся на 1 см длины пары элементов рассчитываемого участка токопровода, конструктивно расположенных друг против друга («прямого» и «обратного»):

$$L_B = \sum L_{vi} l_i \quad \text{и} \quad x_B = \sum x_{vi} l_i.$$

Для упрощения расчетов приведены зависимости  $x_{vi}$  от коэффициента  $K$ , значения которого для различных сечений и геометрических размеров токопровода.

Сечения «прямого» и «обратного» токопровода	Независимые переменные, см	Удельная индуктивность, Гн·см	Удельное индуктивное сопротивление, Ом·см	Коэффициент по рис. 1.14	Номер формулы	Примечание
			при частоте 50 Гц			
Круглые	Рис. 1.18, а	$0,436 \left( \frac{b-r}{r} \right)^{0,38} \cdot 10^{-8}$	$1,37 \left( \frac{b-r}{r} \right)^{0,38} \cdot 10^{-6}$	$\frac{b-r}{r}$	(1.34)	$r = \sqrt{r_1 r_2}$
Прямоугольные	Рис. 1.18, б	$0,121 \left( \frac{b-\delta}{\delta} \times \frac{\beta}{\delta} \right)^{0,45} \cdot 10^{-8}$	$0,38 \left( \frac{b-\delta}{\delta} \frac{\beta}{\delta} \right)^{0,45} \times 10^{-6}$	$\frac{b-\delta}{\delta} \frac{\beta}{\delta}$	(1.35)	$\delta = \sqrt{\delta_1 \delta_2}$ $\beta = \sqrt{\beta_1 \beta_2}$
Круглое — прямоугольное	Рис. 1.18, в	$0,31 \left( \frac{b-r}{r} \frac{b-\delta}{\delta} \times \frac{\beta}{\delta} \right)^{0,17} \cdot 10^{-8}$	$0,97 \left( \frac{b-r}{r} \frac{b-\delta}{\delta} \times \frac{\beta}{\delta} \right)^{0,17} \cdot 10^{-6}$	$\frac{b-r}{r} \frac{b-\delta}{\delta} \times \frac{\beta}{\delta}$	(1.36)	—
Электроды	Рис. 1.18, г	$0,3e^{0,05 \left( \frac{b-r}{r} \right)} \cdot 10^{-8}$	$0,95e^{0,05 \left( \frac{b-r}{r} \right)} \cdot 10^{-6}$	$\frac{b-r}{r}$	(1.37)	$e$ — основание натуральных логарифмов: $e = 2,73$

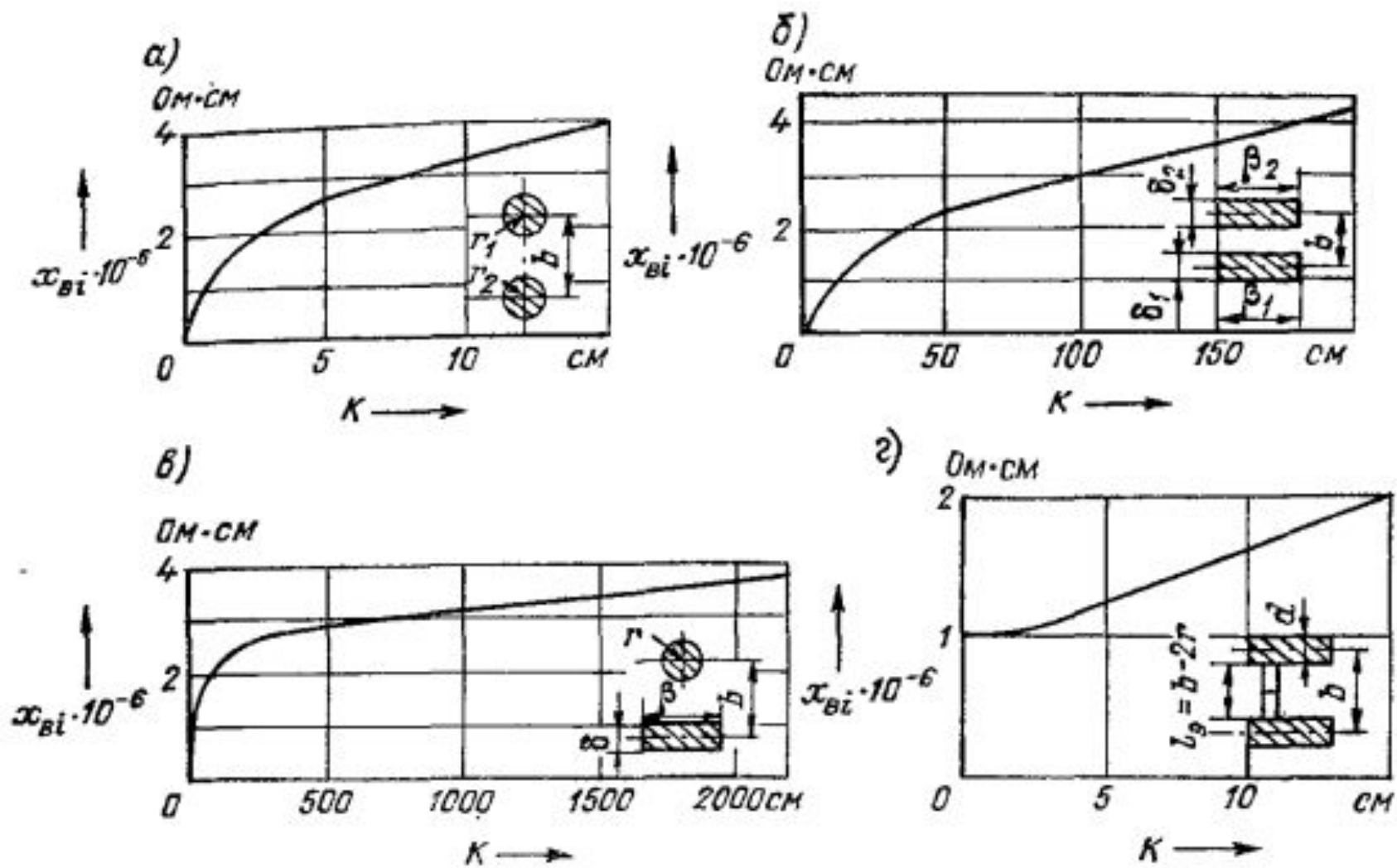


Рис. 1.18. Зависимость удельного индуктивного сопротивления токопровода от коэффициента  $K$

Проектирование сварочного трансформатора осуществляется в следующем порядке.

1. Из технических условий на машину берется сетевое напряжение  $U_c$  в вольтах.
2. Для свариваемых деталей, принятых за номинальные, рассчитываются (или подбираются) параметры режима сварки. Из их числа используются номинальный сварочный вторичный ток  $I_{св}$  в амперах и время сварки  $\tau_{св}$  в секундах.
3. В зависимости от заданной кратковременной производительности машины определяется длительная часовая, по которой рассчитывается номинальное значение продолжительности включения (ПВ) в процента.
4. В зависимости от того, к какой группе по нормируемым техническим требованиям относится машина, определяются:
  - а) тип используемой аппаратуры управления и первичное напряжение трансформатора  $U_1$  в вольтах
  - б) требуемая глубина регулирования вторичного напряжения трансформатора, шаг нарастания напряжения по ступеням и ориентировочное число ступеней  $n$
5. Рассчитываются сечения токоведущих частей силового контура машины (сварочный контур).
6. По конструктивным размерам контура рассчитываются его электрические параметры, активное  $r_{в}$  и индуктивное  $x_{в}$  сопротивления в микроомах.
7. Для номинальных деталей определяется активное сопротивление участка электрод — электрод в микроомах.
8. Предварительно задаются активное  $r_{т}$  и индуктивное  $x_{т}$  сопротивления обмоток сварочного трансформатора.
9. Определяется требуемое вторичное напряжение трансформатора на номинальной ступени.
10. Аналогичным образом рассчитываются  $U_{20max}$  и  $U_{20min}$  в зависимости от диапазона свариваемых деталей и регулирования вылета и раствора машины.

## УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДОВ И ЭЛЕКТРОДНЫЕ СПЛАВЫ

Электроды в процессе точечной и шовной сварки выполняют следующие основные функции: сжимают детали, подводят ток, отводят теплоту, выделяющуюся в деталях при сварке, и перемещают детали (при шовной сварке). Форма и размеры рабочей поверхности, контактирующей с деталями, и вся конструкция электродов в целом значительно влияют на качество сварных соединений и производительность процесса. При точечной и шовной сварке электроды нагреваются до высоких температур за счет теплоты, выделяющейся непосредственно в них при протекании тока, и за счет передачи теплоты от свариваемых деталей. В контакте электрод — деталь на рабочей поверхности электродов могут развиваться температуры при точечной сварке сталей до  $750^{\circ}\text{C}$  и при сварке легких сплавов до  $400^{\circ}\text{C}$ . Характерной особенностью условий работы электродов является циклический характер действия температур и давления. При точечной сварке на относительно жестких режимах с малой производительностью (25—30 точек в минуту) за время паузы электрод обычно охлаждается до исходной температуры. При сварке с большой производительностью (100—150 точек в минуту), а также при использовании мягких режимов температура на рабочей поверхности электродов за время пауз лишь снижается до некоторого значения. Следует отметить, что трещины в электродах, как правило образуются после увеличения диаметра контактной поверхности электрода при сварке более чем на 20%, т.е. после сварки 1,5—2 тыс. точек.

Таблица ступеней

Ступень	Положение ножей переключателя			$w_1$	$U_{20}, В$	$I_1, А$
	1	2	3			
1	2	2	2	56	6,8	26,4
2	1	2		52	7,32	30,8
3	2	1		48	7,93	35,8
4	1	1		44	8,65	43
5	2	2		40	9,5	51,8
6	1	2		36	10,56	72
7	2	1		32	11,9	81
8	1	1		28	13,6	

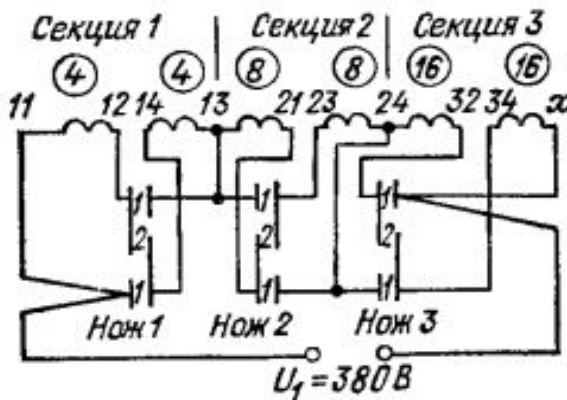


Рис. 4.1. К расчету сечений проводов отдельных секций и участков первичной обмотки

Электрический расчет трансформаторов производится в такой последовательности:

1. Задается число витков вторичной обмотки  $w_2$ , выбирается соответствующая схема секционирования первичной обмотки;
2. определяются числа витков первичной обмотки на первой, последней и номинальной ступенях
3. требуемые витки разбиваются по секциям (на электрической схеме обмотки) и по ступеням (в таблице ступеней).

Секция 1

Секция 2

Секция 3

$$w_{1(1)} = 4 + 4 = 8$$

$$I_{1(1)} = 81 А$$

$$w_{1(2)} = 8 + 8 = 16$$

$$I_{1(2)} = 72 А$$

$$w_{1(3)} = 16 + 16 = 32$$

$$I_{1(3)} = 43 А$$

Предварительно при  $J = 3,2 А/мм^2$

$$q_{1(1)} = 81/3,2 = 25,4 мм^2$$

$$\Sigma q_{1(1)} w_{1(1)} q_{1(1)} = 8 \cdot 25,4 = 203 мм^2$$

$$q_{1(2)} = 72/3,2 = 22,5 мм^2$$

$$\Sigma q_{1(2)} = 16 \cdot 22,5 = 360 мм^2$$

$$q_{1(3)} = 43/3,2 = 13,4 мм^2$$

$$\Sigma q_{1(3)} = 32 \cdot 13,4 = 429 мм^2$$

Расчетные токи первичной обмотки и выбор сечения проводов. Номинальный ток, протекающий по первичной обмотке трансформатора на номинальной ступени, будет

$$I_{1\text{НОМ}} = K_1 \frac{I_{2\text{НОМ}}}{K},$$

где  $K_1$  — коэффициент, учитывающий влияние тока холостого хода на номинальный первичный ток;  $K$  — коэффициент трансформации. По опытным данным

$$K_1 = 1 + 0,005i_0 \sqrt{\text{ПВ}/100}.$$

Для длительного первичного тока численные значения  $i_0$  следует выбирать не более оговоренных ГОСТ 297—80

Эквивалентные величины будем дальнейшем называют расчетными и для номинальной ступени вычисляют из соотношения

$$I_1 = I_{1\text{НОМ}} \sqrt{\text{ПВ}/100}.$$

расчетные значения токов по ступеням, необходимые для выбора сечений отдельных секций обмотки, определяются по формуле

$$I_{1x} = I_1 \left[ \frac{(\omega_1)_{\text{НОМ}}}{(\omega_1)_x} \right]^2.$$

Задавшись определенным значением плотности тока, находим требуемые сечения витков в квадратных миллиметрах отдельных секций или участков первичной обмотки по формуле

$$q_{1x} = I_1 / J_1.$$

Конструкция и охлаждение обмоток					Допустимая плотность тока, А/мм <sup>2</sup>		
Номер исполнения	Первичная	Вторичная	Технологический процесс	Представитель	Первичная обмотка		Вторичная обмотка
					Провод	Вывод	
1	Дисковые катушки, плотно прижатые к дискам вторичного витка	Виток сварен из медных дисков. Трубки для водяного охлаждения напаяны по наружному периметру	Заливка	Рис. 2.6, а	4—6	3	5—6
2			Пропитка	Рис. 2.6, б	3,5—3,8		4—5
3		Виток полый из сплюсненной медной трубы с водяным охлаждением	Заливка	Рис. 2.7	5—7		7—8
4	Цилиндрическая многослойная	Виток сварной (или литой) цилиндрический с трубкой для водяного охлаждения	Пропитка или заливка	Рис. 2.10	5—6	4	5—7
5		С воздушным охлаждением. Виток из медной шины или из провода ПГВ	Пропитка	Рис. 2.9	1,8—2,0	2	2

Для предварительного расчета сечения витков лучше всего брать среднее значение плотности тока для того, чтобы при выборе размеров обмоточного провода по нормали иметь запас по сечению в ту или другую сторону. Например, для дисковых катушек из медного провода с изоляцией класса В, с охлаждаемыми дисками вторичного витка надо принимать плотность тока около 4 А/мм<sup>2</sup>



После предварительного определения сечения провода частей секций первичной обмотки находим предварительное суммарное сечение обмоточного провода, необходимое для определения площади окна магнитопровода трансформатора:

$$q_1 = w_{1(1)}q_{1(1)} + w_{1(2)}q_{1(2)} + w_{1(3)}q_{1(3)}, \quad (4.11)$$

где  $w_{1(1)}$ ,  $w_{1(2)}$  и  $w_{1(3)}$  — числа витков отдельных секций;  $q_{1(1)}$ ,  $q_{1(2)}$  и  $q_{1(3)}$  — сечения витков отдельных секций, мм<sup>2</sup>.

#### 4.5.3. Расчетный ток вторичной обмотки и выбор ее сечения.

Определив суммарное количество обмоточного провода первичной обмотки, находим суммарное сечение вторичной обмотки. Конструкция вторичной обмотки почти всегда выбрана заранее.

Расчет обмотки производится по расчетному значению вторичного тока, соответствующего номинальной ступени. Значение этого тока определяется по формуле (1.10):

$$I_2 = I_{2ном} \sqrt{ПВ/100}.$$

Общее сечение вторичного витка

$$q_2 = I_2/J_2, \quad (4.12)$$

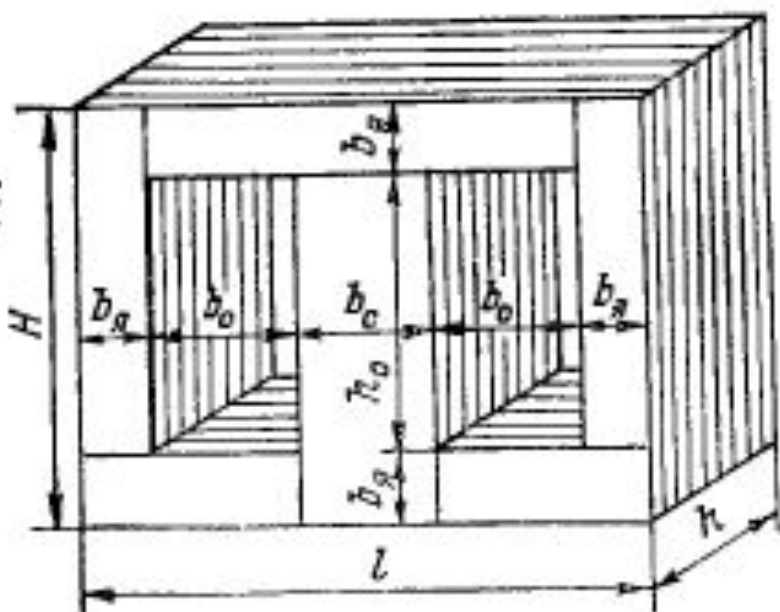
где  $J_2$  — допустимая плотность тока, зависящая от материала и от конструктивного исполнения вторичной обмотки, А/мм<sup>2</sup>. Значения плотности тока для наиболее часто применяемых конструкций вторичной обмотки приведены в табл. 4.1. Суммарное сечение провода обмоток трансформатора

$$q = q_1 + q_2. \quad (4.13)$$

Активное сечение стали магнитопровода  $S$  определяется по формуле

$$S = \frac{E_1}{4,44f\omega_1 B}, \quad (4.14)$$

где  $E_1$  — ЭДС самоиндукции первичной обмотки;  $\omega_1$  — число витков первичной обмотки, соответствующее расчетной ступени;  $B$  — индукция по табл. 4.2, Тл.



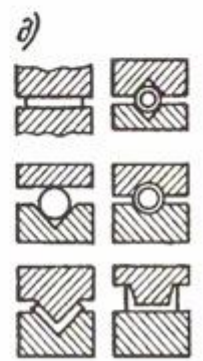
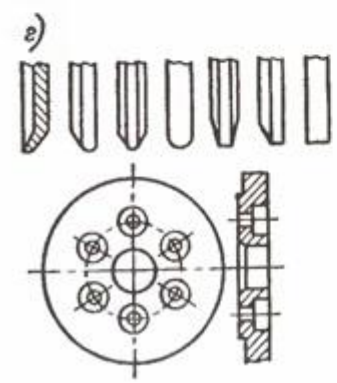
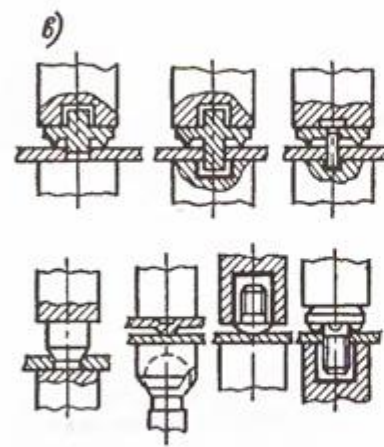
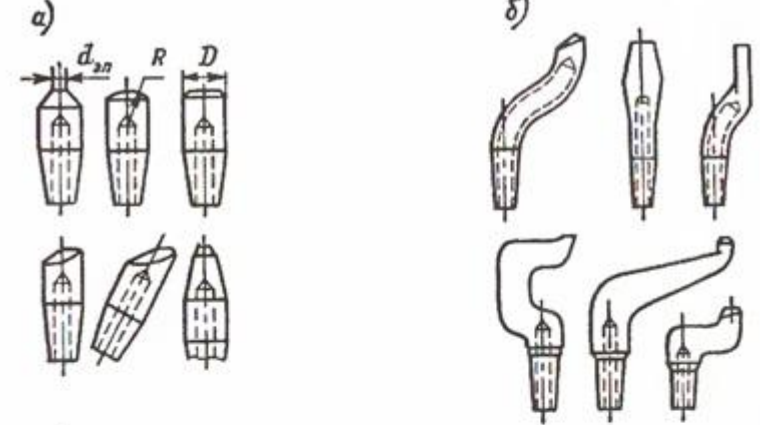
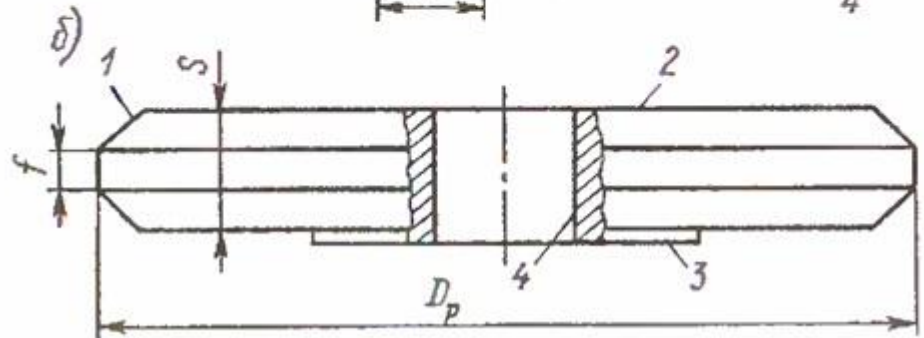
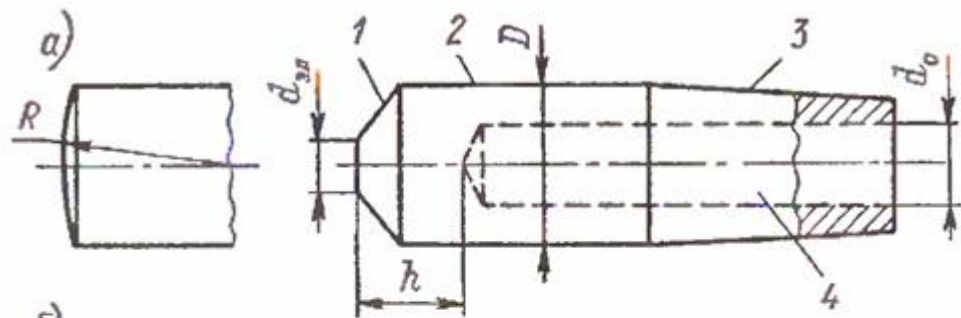
Исполнение обмоток по табл. 4.1	Примерная площадь обмоток $q$ , мм <sup>2</sup>	Отношение сторон окна $h_o/b_o$	Число <sup>1</sup> катушечных групп	Коэффициент заполнения окна $K_{з.о}$	Площадь окна $S$ , мм <sup>2</sup>
1, 2, 3 (дисковые, могут быть залиты в два отдельных блока)	1 000—2 000	1—1,5	1—2	0,32—0,35	3 200—5 700
	2 000—3 500	1—1,5	1—2	0,35—0,38	5 700—9 200
	3 500—5 000	1—1,5—2	2—3	0,38—0,40	9 200—12 500
	5 000—7 000	1—2—2,5	2—3	0,40—0,42	12 500—16 700
	7 000—10 000	2—2,5—3	3—4	0,40—0,42	17 500—24 000
	10 000—14 000	2,5—3—3,5	4—5	0,39—0,41	25 400—34 000
	14 000—20 000	3—3,5—4	5—6	0,39—0,41	36 000—49 000
Свыше 20 000	4—4,5	6—7—8	0,39—1,41	Свыше 49 000	
4, 5 (цилиндрические)	До 1000	1—2	Один вторичный виток	0,45—0,48	До 2200
	1000—3500	1—2—2,5		0,48—0,50	2000—7000
	3500—5000	2—2,5		0,55—0,6	6400—8300

<sup>1</sup> Число катушечных групп равно числу дисков вторичной обмотки.

Одним из основных требований, предъявляемых к электродным сплавам, является их высокая прочность при повышенных температурах. Поэтому от металла, используемого для электродов и роликов, требуется также высокая электропроводность (особенно при сварке легких сплавов). Для изготовления электродов, роликов и губок используются специальные медные сплавы.

Группа сплава	Наименование сплава	Легирующие элементы, %	Твердость, МПа, не менее	Электропроводность по отношению к электропроводности отожженной меди, %, не менее	Основное назначение сплава
1	Кадмиевая бронза	0,9—1,2Cd	1000	80	Для электродов и роликов при сварке легких и медных сплавов
	Серебряная бронза	0,07—0,12Ag	950	90	
	Хромоникелевая бронза	0,15—0,35Cr 0,07—0,15Zr	1100	80	
2	Хромовая бронза	0,4—1,0Cr	1200	75	Для электродов и роликов при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей
	Хромоникелевая бронза	0,4—1,0Cr 0,03—0,08Zr	1250		
3	Никель-бериллиевая бронза	1,4—1,6Ni 0,2—0,4Be	1800	45	Для электродов, губок и роликов при сварке низкоуглеродистых и коррозионно-стойких сталей, жаропрочных сплавов
Кобальт-кремниевая бронза	0,05—0,15Ti				
	0,4—0,8Cr 1,3—1,8Co 0,3—0,6Si				

Применение чистой меди М1 для электродов, роликов и губок не рекомендуется из-за низкой стойкости. В отдельных случаях рабочая часть электродов изготавливается из вольфрама и молибдена (в виде вставок и наконечников).



Элементы конструкции электродов и роликов

- 1- рабочая поверхность;
- 2- средняя часть
- 3- посадочная поверхность
- 4- внутренняя поверхность

Электроды машин контактной сварки: а, б – точечной; в – рельефной; г – шовной; д – стыковой.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

**КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?**