Библиотека электромонтера

В. И. Бойченко
Б. Ф. Быков

Соединение алюминиевых проводников и присоединение их к выводам электрооборудования

Издательство «Энергия»

621.3х
Б 72

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 133

В. И. БОЙЧЕНКО, Б. Ф. БЫКОВ

1968

СОЕДИНЕНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ И ПРИСОЕДИНЕНИЕ ИХ К ВЫВОДАМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

12602

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Большам Я. М., Долгов А. Н., Ежков В. В., Васильев А. А.,
Мандрыкин С. А., Камиинский Е. А., Сиичугов Ф. И.,
Смирнов А. Д., Устиов П. И.

УДК 621.315.68 : 661.862
Б 72

В брошюре изложены природа и свойства контактного соединения, принципы рационального выполнения контактов, а также требования к конструкциям разъемных и неразъемных контактов и цельнометаллических соединений.

Приведены указания и рекомендации по выполнению различными методами разъемных и цельнометаллических контактных соединений алюминиевых проводников между собой, по присоединению их к выводам электрооборудования, консервации соединений и методике испытаний.

Бойченко Владимир Иванович, Быков Борис Федорович.
Соединение алюминиевых проводников и присоединение их к выводам электрооборудования,
Издательство „Энергия", 1964 г., 80 с. с черт. (Б-ка электромонтера, Вып. 133).
Тематический план 1964 г., № 187

Редактор *Г. Е. Хромченко* Техн. редактор *Т. Н. Царева*

Сдано в набор 9/IV 1964 г. Подписано к печати 11/VI 1964 г.
Т-04398 Бумага 84×108¹/₃₂ 4,1 п. л. Уч.-изд. л. 3, 96
Тираж 20 000 Цена 14 коп. Заказ 1177

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.
Шлюзовая наб., 10.

1. ВВЕДЕНИЕ

Контактные соединения в электрических цепях имеют существенно важное значение. При оценке контактного соединения в первую очередь учитывается его надежность. Аварии, вызванные ухудшением контакта, обычно приводят к перерыву электропитания и, следовательно, к недоотпуску электроэнергии потребителю. Каждый же недоданный киловатт-час электроэнергии, если учитывать недовыпуск продукции, ее брак, оплату простоя рабочим, порчу механизмов и др., оценивается в зависимости от характера производства в сумме от 0,3 до 2 руб.

С переходом повсеместно от медных к алюминиевым токопроводам проблема электрического контакта значительно усложняется. Основной причиной является повышенная по сравнению с медью текучесть и окисляемость алюминия с образованием токонепроводящих пленок.

Статистика показывает, что на электрических станциях и подстанциях, входящих в энергосистемы, аварийность из-за нарушения контактов присоединений алюминиевых проводников достигает 10% общей аварийности в электрической части. Естественно, что в промышленных установках с более загрязненной атмосферой аварийность контактов еще более высокая. В 1958 г. на 22 предприятиях было за год 40 аварий, вызванных опасным нагревом контактных присоединений. Эти аварии в большинстве случаев перешли в короткое замыкание с перекрытием фаз, вызвавшее тяжелое повреждение оборудования. Характерно, что наибольший процент аварий падает на одноболтовые контакты алюминий — медь.

Даже в условиях нормальной эксплуатации через некоторое время после сборки у большинства контактов с алюминием наблюдается рост переходного сопротивления, который приводит к повышенным нагреву и расходу электроэнергии на потери. Кроме того, необходимость систематического надзора за контактами, выполнения ревизии и ремонта требует еще дополнительных затрат, на величину которых существенное влияние оказывает конструкция контактного соединения.

При неблагоприятных условиях материальные убытки при эксплуатации алюминиевого контакта (одно присоединение) могут достигнуть 1 р. 20 коп. в год, из которых 70 коп. составляют производственные потери и 50 коп.—дополнительные затраты, связанные с расходованием материалов, электроэнергии и рабочей силы.

Если при алюминиевых токопроводах уделить особое внимание рациональному выполнению контактов, то могут быть достигнуты результаты, близкие к тем, которые имеются при медных токопроводах, т. е. стабильность переходного сопротивления и низкие потери электроэнергии. Поэтому очень важно в каждом отдельном случае принять наиболее правильные технические решения, позволяющие получить экономически целесообразные и надежные в эксплуатации соединения и присоединения алюминиевых токопроводов.

Освещение вопросов, связанных с выполнением этой задачи, и является целью настоящей брошюры.

2. ПРИРОДА КОНТАКТА

Понятие электрический контакт означает механическое соединение двух или более проводников, позволяющее проводить электрический ток. По теории Хольма, если контакты выполнены из идеально твердого материала, то соединение происходит не более чем в трех точках контактной поверхности. Однако реальные проводники при их сжимании подвержены деформации, поэтому контактные точки, сплющиваясь, превращаются в **контактные пятна** (рис. 1), при этом размер пятен тем больше, чем выше сжимающее усилие и чем ниже предел текучести материала проводников, т. е. чем мягче материал.

При сжатии, например, алюминиевых шин, имеющих контактную поверхность 60×60 *мм*^{2} с усилием 1 000 *кГ* площадь контактных пятен составляет около 1 *см*^{2}. Нетрудно поэтому себе представить, что при одном и том же сжимающем усилии контактные пятна у свинцовых шин будут бóльшими, чем у алюминиевых, а у алюминиевых бóльшими, чем у медных или стальных шин. Существенно, что только контактные пятна пропускают электрический ток, тогда как вся остальная часть контактной поверхности соединения (кажущейся) является пассивной.

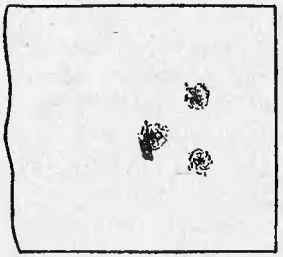


Рис. 1. Контактные пятна на шине.

Поверхность металлического контакта (пятна), будучи токопроводящей, в то же время является источником электрического сопротивления. Это происходит оттого, что линии тока при подходе к контактным пятнам, сужаясь, заметно удлиняются (рис. 2), вследствие чего электрическое сопротивление токопровода в этом месте возрастает. Чем меньше размер пятен, тем заметнее сужаются линии и тем, следовательно, выше электрическое сопротивление контакта.

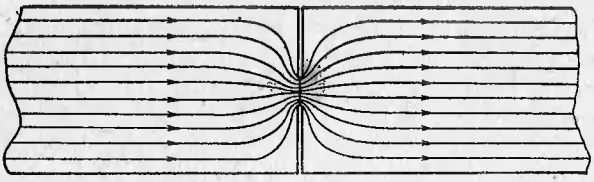


Рис. 2. Сужение линий тока в месте контакта.

Рост электрического сопротивления можно сравнить с ростом сопротивления движению жидкости при протекании ее по трубе со вставленной диафрагмой, имеющей уменьшенное по сравнению с трубой отверстие.

Возникающее в результате сужения пучка линий тока электрическое сопротивление называется **сопротивлением стягивания.**

Вторым источником роста сопротивления контакта являются **пленки потускнения** (окисные и сульфидные), которые возникают на поверхности металлов и, в частности, на контактной поверхности. Свойство этих пленок таково, что при их толщине, не превышающей 20 Å (ангстрем, обозначаемый обычно через Å, равен 10^{-8} *см*), они благодаря **туннельному эффекту** — токопроводящие. При большей толщине проводимость нарушается, туннельный эффект резко убывает, и пленки приобретают диэлектрические свойства, вызывающие рост контактного сопротивления. Туннельный эффект можно характеризовать как преодоление свободными электронами потенциального барьера в диэлектрике, препятствующего их прохождению. Примером туннельного эффекта является прохождение тока через жировую пленку в контактном соединении. Известно, что жиры являются хорошими изоляторами и поэтому находят широкое применение в трансформаторах и выключателях. Однако при тонком жировом слое, который, например, образуется при сжатии смазанных вазелином контактных поверхностей, диэлектрические свойства его утрачиваются и жировая пленка становится токопроводящей.

3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТАКТ

В контактных соединениях при сжимании проводников пленки потускнения разрушаются и образуются контактные пятна. При сравнительно низком сжимающем усилии, не вызывающем разрушения пленок, их влияние на сопротивление становится заметным. Например, в медном контакте при сжимающем усилии в 35 *Г* сопротивление стягивания составило $7 \cdot 10^{-4}$ *ом*, тогда как сопротивление пленки — $87 \cdot 10^{-4}$ *ом*, или в 13 раз больше сопротивления стягивания. Окисная пленка алюминия (Al_2O_3) толщиной в 1 *мк* (10^4 Å) выдерживает напряжение 25 *в* (без пробоя).

Все неблагородные металлы: медь, алюминий, цинк, свинец и др. на воздухе покрываются пленками потускнения, толщина которых достигает 100 Å. В отличие от них благородные металлы — платина, золото и серебро, а также нейтральные металлы — никель, олово, нержа-

веющая сталь и др. покрываются пленками толщиной менее 30 Å. Этим и объясняются высокие контактные свойства последних.

При комнатной температуре у неблагородных металлов в начальной стадии образуются пленки толщиной от 5 до 50 Å, далее рост их замедляется и по достижении 100 Å вовсе прекращается. Если же повышать температуру, то пленки будут продолжать расти. У алюминия рост окисной пленки отличается наибольшей скоростью, толщина в 20 Å достигается за несколько секунд.

У всех металлов, за исключением серебра, пленки потускнения обладают высокой механической прочностью, близкой к прочности стали. У серебра, наоборот, пленка AgS много слабее серебра, и поэтому она легко разрушается при ударе или сдавливании контактируемых проводников.

Медь при воздействии воздуха образует пленку окиси CuO, обладающую низкой электропроводностью. Однако в контактном соединении благодаря малому доступу воздуха и, следовательно, недостатку кислорода окись CuO постепенно переходит в закись меди Cu_2O, которая имеет сравнительно хорошую электропроводность. Этим и объясняется высокое качество медных контактов по сравнению с алюминиевыми или стальными.

Для предупреждения образования вредных по своим действиям пленок потускнения контактную поверхность проводников покрывают металлами: кадмием, никелем, оловом, серебром, или же смазывают слоем жира.

Тонкий слой жировой пленки толщиной до 20 Å пропускает электрический ток, в то же время он препятствует проникновению кислорода в контактное соединение, задерживая рост переходного сопротивления. Так, например, не смазанный жиром контакт алюминий — цинк за 12 мес. увеличил электрическое сопротивление в 23 раза, а такой же контакт, но смазанный вазелином, увеличил сопротивление лишь в 2 раза.

На контактное сопротивление существенное влияние оказывает давление. С ростом последнего происходит уменьшение сопротивления. Однако при достижении так называемого критического давления уменьшение сопро-

тивления практически прекращается и в дальнейшем, как бы ни росло давление, сопротивление почти остается неизменным. Для различных проводниковых материалов критическое давление различно. Например, для меди оно составляет 100, а для алюминия 150 *кГ/см²*.

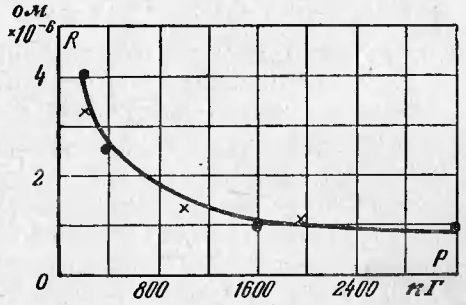


Рис. 3. Зависимость сопротивления медных контактов при различном значении контактной поверхности:

—— поверхность 20,0 *см²*.
××поверхность 10,0 *см²*;
●●● поверхность 6,45 *см²*;

Примечание. Кривая построена только для поверхности 6,45 *см²*. Для поверхностей 10 и 20 *см²* отмечены отдельные точки.

Сопротивление контакта, вопреки обычным представлениям, не зависит от размера контактной поверхности. Вытекает это из того, что собственно контакт проводников происходит исключительно через контактные пятна, площадь которых несравненно меньше контактной поверхности. В рассмотренном ранее примере площадь контактных пятен составила 1 *см²*, тогда как контактная поверхность равнялась 36 *см²*. Совершенно очевидно, что площадь пятен не изменится и в том случае, если контактную поверхность увеличить в два или в три раза при сохранении того же давления 1 000 *кГ*.

На рис. 3 приведена опытная кривая, выражающая зависимость контактного сопротивления от давления. Из нее видно, что сопротивления контактных соединений при различных поверхностях — 6,45, 10 и 20 *см²* являются близкими по своему значению при одном и том же давлении.

Контактное сопротивление R может быть определено из следующего выражения:

$$R=\frac{\varepsilon}{P^m}, \qquad (1)$$

где P — давление;

ε — коэффициент, зависящий от свойств проводника;

m — коэффициент, зависящий от числа стягивающих болтов.

Величина его находится в следующих пределах:

$$1>m>0{,}5.$$

Как видно, в уравнение (1) не входит величина поверхности контакта, что согласуется с кривой, приведенной на рис. 3. Из сказанного, однако, не следует то, что размер контактной поверхности вообще не влияет на работу контактного соединения. От размера контактной поверхности зависит охлаждение контакта. Чем больше поверхность, тем эффективнее охлаждение и тем, следовательно, контактное соединение надежнее в работе.

Применительно к медным шинным контактам с поверхностями, зачищенными наждачным полотном, уравнение (1) примет следующий вид:

$$R=\frac{2{,}4\cdot 10^{-4}}{P^{0{,}7}}. \qquad (2)$$

При давлении 800 *кГ*, нормально создаваемом болтом М10, сопротивление контактного соединения составит 2,2 *мком*.

Оценка контактов, выполненных из различных проводников, может производиться по относительному сопротивлению; при этом сопротивление свежеизготовленного контакта медь — медь принято за единицу. Относительные значения сопротивлений из разных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Медь—медь	Медь—алюминий	Алюминий—алюминий	Латунь—латунь	Медь—сталь	Сталь—сталь
Относительное сопротивление контактов	1,0	1,3÷1,8	1,5÷3,5	1,8÷2,5	7,0	35

Подсчитав по формуле (2) сопротивление медного контакта и используя данные табл. 1, можно определить значения сопротивления зажимного контакта и для других материалов.

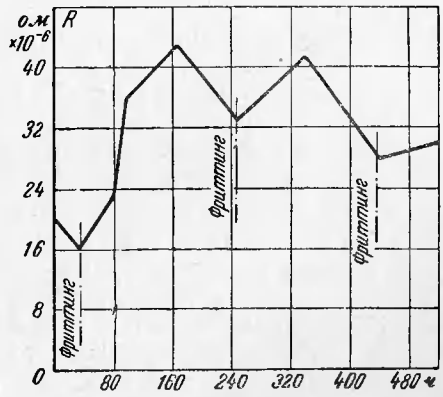


Рис. 4. Снижения (провалы) сопротивления контакта в результате фриттинга.

Проводимость контакта при наличии на его поверхностях пленок потускнения, как было указано ранее, создается вследствие туннельного эффекта или разрушения пленок при сдавливании контакта, а также в результате электрического пробоя пленки.

Пробой пленки напряжением называют **фриттингом.** При фриттинге происходит частичное расплавление металла, который образует контактный микромостик. Приводимые в табл. 2 параметры дают представление о фриттинге при различной толщине пленки окиси у медных контактов.

Таблица 2

Толщина пленки, 10^{-8} *см*	Напряжение фриттинга, *в*
60	0,2
300	1,8
1 480	4

На кривой (рис. 4) показано изменение сопротивления алюминиевого контакта, по которому проходит ток в процессе длительных испытаний. Характерные провалы являются результатом фриттинга с образованием контактного пятна. Место пробоя вслед-

ствие окисления со временем снова заволакивается пленкой. В реальных условиях происходит изменение электрического сопротивления контактов, носящее следующий характер. В процессе образования контакта под влиянием давления пленки частично повреждаются, способствуя возникновению контактных пятен. Однако из-за текучести материала проводников и сжимающих болтов давление постепенно спадает и контакты получают возможность «дышать», т. е. затягивать воздух, входящий в соприкосновение с контактными поверхностями. При этих условиях контактные пятна будут окисляться благодаря наличию в окислах пор, через которые проникает кислород воздуха. Развивающиеся окислы раздвигают контакты, вызывая образование новых воздушных туннелей.

«Дыхание» контакта становится более заметным при резких колебаниях температуры, вызываемых изменением нагрузки. Это имеет большое значение для алюминиевых проводников, обладающих низким пределом текучести. «Дыхание» контакта способствует росту сопротивления и, следовательно, созданию опасного нагрева. Характерными в этом отношении являются кривые, приведенные на рис. 5, показывающие изменение сопротивления контакта во времени при периодическом протекании тока через контакт. У алюминиевых контактов Al—Al по истечении 850 суток сопротивление увеличилось в 13 раз, достигнув 103 *мком* против начальных 8 *мком*, а у медно-алюминиевых Cu — Al сопротивление увеличилось в 38 раз. К концу третьего года испытаний сопротивления повысились в сотни раз[1]. Стабильное сопротивление наблюдается у медных контактов, имеющих, к тому же, более низкое начальное значение. Оно в 2,5 раза ниже, чем у алюминиевых Al — Al и в 2 раза ниже, чем у медно-алюминиевого контакта Cu — Al. Кроме того, на рис. 5 приведены кривые для контактных соединений стали со сталью Fe — Fe и меди со сталью Cu — Fe.

Опасный нагрев контакта наступает обычно при увеличении начального сопротивления в 3—5 раза. В экс-

[1] Результаты долговременных испытаний контактных соединений, проведенных Ленинградским проектно-экспериментальным отделением ГПИ Тяжпромэлектропроекта в 1956—1959 гг.

плуатации, как правило, производят ремонт контактов, у которых сопротивление достигло двукратного значения по сравнению с начальным.

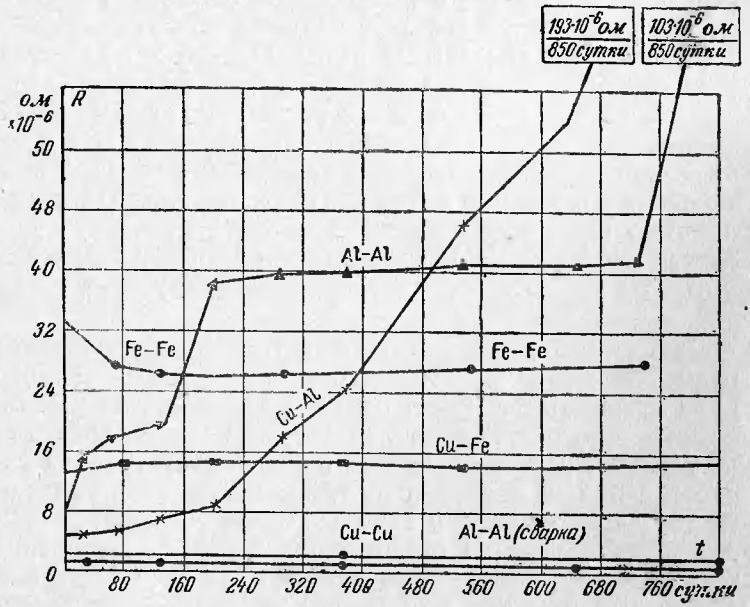


Рис. 5. Кривые сопротивлений болтовых контактов при долговременных испытаниях в среде с относительной влажностью 70—90%. Соединения шин сечением 50×5 *мм*², обработанных драчевым напильником под вазелином и стянутых двумя болтами М10 при первоначальном давлении 150 *кГ/см*².

Абсолютно надежными являются цельнометаллические соединения, выполненные сваркой или пайкой. Сопротивление их не зависит от времени и внешней среды; оно не превышает сопротивления целого проводника. Сварные соединения находят широкое применение при соединениях шин и жил проводов и кабелей; за последнее время они распространились также и на область присоединений алюминиевых шин и проводов к выводам электрооборудования, вытесняя менее надежные сжимные контакты.

С расширением выпуска промышленностью электрооборудования с алюминиевыми выводами вместо мед-

Таблица 3

Наименование	Серебро	Медь шинная	Алюминий шинный	Цинк технический	Кадмий технический	Олово техническое	Свинец технический	Никель технический	Сталь углеродистая	Латунь	Алюминиево-магниевый сплав АД.31
Удельное сопротивление *ом·мм²/м*	0,0162	0,0179	0,029	0,072	0,072	0,113	0,208	0,082	0,135	0,05	0,034
Температурный коэффициент электрического сопротивления, 1/°С	0,0036	0,0043	0,0042	0,00417	0,00417	0,0042	0,0042	0,0046	0,0057	0,002	—
Коэффициент линейного расширения в пределах 20—200° С 1/°С, 10^{-6}	19	16,5	23,8	39,5	29	27	29,5	13,4	11,8	18,4	24,8
Удельная теплопроводность *вт/см·град* . .	4,18	3,8	2,1	1,25	0,9	0,64	0,39	0,7	0,6	1,0	1,9
Электрохимический потенциал в 3% растворе хлористого натрия (конечный), *в* . .	+0,2	+0,05	—0,63	—0,83	—0,52	—0,25	—0,26	—0,02	—0,5	—	—
Коррозионная стойкость в атмосфере . . .	Высокая	Высокая	Высокая	Пониженная	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая	Средняя
Предел текучести, *кГ/мм²*	9,0	—	9	3	1,0	1,2	0,5	20	24	—	15
Контактные свойства	Высокие	Пониженные	Низкие	Пониженные	Высокие	Высокие	Низкие	Высокие	Низкие	Пониженные	Низкие

ных сварка станет основным способом присоединения к ним алюминиевых проводников.

На свойства электрического контакта существенное влияние также оказывают удельное сопротивление, температурный коэффициент линейного расширения, электрохимические потенциалы и др. Основные из этих величин приведены в табл. 3.

4. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Различают контактные и цельнометаллические соединения. Контактные соединения выполняются разъемными и неразъемными. К разъемным относятся болтовые, винтовые, клиновые соединения, а также соединения, выполненные сжимными накладками или плитами. Эти соединения допускают разборку в эксплуатации. К неразъемным относятся контактные соединения, выполненные опрессованием. К цельнометаллическим неразъемным соединениям относятся соединения, выполненные сваркой или пайкой. Такие соединения не имеют соприкасающихся поверхностей, образующих контакт. Примеры контактных и цельнометаллических соединений приведены на рис. 6. Конструкции контактных систем должны удовлетворять следующим требованиям:

1. При рабочих температурах от —60 до +200° С сохранять постоянное контактное давление в таких пределах, при которых отсутствует текучесть материала проводников и стягивающих болтов, а также обеспечивать низкое электрическое сопротивление.

2. Обеспечивать устойчивость к динамическим воздействиям и термическому влиянию при прохождении по контактному соединению токов короткого замыкания.

3. Сохранять коррозионную стойкость контактов при наличии повышенной влажности и активной химической среды.

Сохранение постоянного давления может быть достигнуто путем применения проводниковых материалов с повышенным пределом текучести $\sigma_т$, например алюминиевых сплавов, имеющих $\sigma_т = 15—20$ *кГ/мм²* против 6—9 *кГ/мм²* у алюминия. Достаточно эффективным средством повышения предела текучести алюминия

является его наклеп. Этот метод получил развитие в Чехословакии. Наклеп создается обжатием или ударом, при котором толщина проводника уменьшается на 20—30%. Срок жизни контактов с наклепанными проводниками повышается в 8—10 раз.

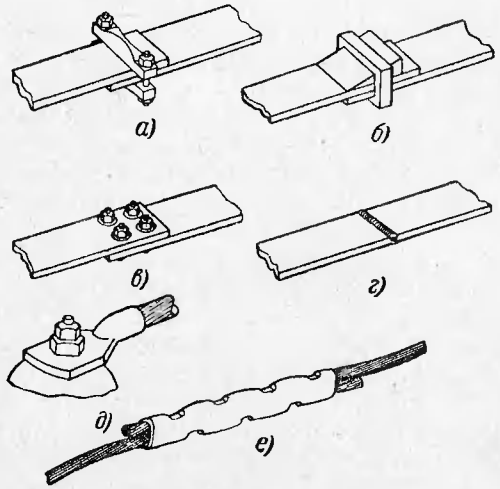


Рис. 6. Контактные и цельнометаллические соединения:
а — сжимное; *б* — клиновое; *в* и *д* — болтовое; *г* — сварное; *е* — прессованное.

После проведения 50 циклов при испытании контактов на нагрев до температуры +120°С падение напряжения при номинальном токе составило: при сжиме мягкого алюминиевого провода сечением 4 *мм*^{2} — 20 *мв*; то же, но наклепанного методом обжатия на 30%,— 4,2 *мв*; то же, но при сплющивании ударом,— 1,1 *мв*.

Постоянное контактное давление может быть также достигнуто, если стягивающие болты (винты) и контактирующие проводники будут иметь близкие коэффициенты линейного расширения. Из сравнения коэффициентов: для меди — $16{,}5 \cdot 10^{-6}$; латуни — $18{,}6 \cdot 10^{-6}$; алюминия — $23{,}8 \cdot 10^{-6}$; алюминиевого сплава — $24{,}3 \cdot 10^{-6}$; стали — $11{,}8 \cdot 10^{-6}$ — видно, что наилучшим материалом для болтов в контактных соединениях алюминий — алюминий и алюминий — медь является алюминиевый сплав.

При применении стальных болтов постоянство давления достигается путем применения утолщенных шайб, болтов с увеличенной, но низкой головкой, и пружинящих устройств. Последнее средство является наиболее эффективным. Для этой цели применяют тарельчатые пружины (шайбы Белливиля), обладающие достаточно высокой силой сжатия (500—2 000 *кГ*), соизмеримой с усилием затяга болтов. Применение пружин обеспечивает постоянное давление при «дыхании» контактов. Обычные разрезные шайбы (Гровера) для этой цели непригодны ввиду малой силы их сжатия, не превышающей 50 *кГ*, против 300—2 000 *кГ*, возникающих при затяге болтов.

При прохождении тока короткого замыкания через контактное соединение алюминиевых шин нагрев может достигнуть 210° для шин и 75° для болтов. Расчеты показывают, что вследствие различия коэффициентов линейного расширения болтов и шин напряжения в материале при нагреве достигают: при отсутствии тарельчатых пружин в болтах — 5 400 *кГ/см²* и в шинах (под головкой болта) — 420 *кГ/см²*; при наличии тарельчатых пружин 1 850 *кГ/см²* в шинах и 190 *кГ/см²* в болтах.

Так как при отсутствии тарельчатых пружин напряжение в болтах и шинах значительно превышает предел текучести (для болтов 2 300 *кГ/см²* и алюминиевых шин 200—300 *кГ/см²* при 200° С), то, следовательно, в болтах и шинах возникают остаточные деформации, что приводит к нарушению постоянства контактного давления.

Устойчивость к динамическому воздействию и термическому влиянию обеспечивается при правильном выборе сечения шин, длины нахлестки соединения, а также размера и количества болтов — у разъемных, длины опрессовки — у неразъемных контактов, и размера сварного шва — у цельнометаллических соединений.

Длину нахлестки контактного соединения для шин среднего сечения до 100×10 *мм* принимают в 8—10 раз больше толщины шины. В большинстве случаев это соответствует ширине шины. Согласно данным из зарубежных исследований (Донатти, Бут), при нахлесточном соединении ток переходит из одной шины в другую в основном на концах соединения, в то время как остальная часть контактной поверхности остается пассивной. При контактном соединении шин из материалов с различными проводимостями ток будет проходить

через контактную поверхность почти исключительно на конце проводника большей проводимости. Учитывая эти положения, можно сделать следующие выводы: соединения, выполненные двумя и четырьмя болтами, эффективнее одноболтового соединения. При установке пятого и шестого болта добавочный эффект незначителен; для уменьшения плотности тока в контактном соединении следует увеличить ширину контактной поверхности соединения; можно улучшить распределение тока контактной поверхности путем увеличения сопротивления на концах шин.

При выполнении болтового контактного соединения проводников при нормальном сжимающем усилии развивающееся в болтах напряжение не должно составлять более 80% предела текучести для стали, т. е. 1 800—2 000 *кГ/см*^{2}. Это условие будет соблюдаться, если развиваемые сжимающие усилия при затяге не будут превосходить значений, указанных в табл. 4 (эти значения соответствуют нормальному контактному давлению 150 *кГ/см*^{2}), и если одновременно будут приняты меры против их роста при нагреве соединения.

Таблица 4

Размер резьбы болта, *мм*	Нормальное сжимающее усилие шинного контакта, *кГ*	Крутящий момент, *кГ·см*
М8	300	50
М10	800	170
М12	1 000	270
М16	1 600	520
М20	2 000	800

Для получения крутящих моментов, указанных в табл. 4, при свинчивании контактного соединения необходимо применять специальные ключи с регулируемым моментом. При отсутствии таких ключей можно пользоваться обычными ключами, но при этом длину рычага l определяют из выражения

$$l = \frac{M}{P}, \text{ см}, \qquad (3)$$

где M — крутящий момент, *кГ · см*;

P — усилие руки, 16—20 *кГ*.

Условием достижения стойкости контактов против коррозии является применение проводников, имеющих одинаковые или близкие электрохимические потенциалы. Так, например, медь рационально соединять с никелем и серебром. В этом случае разность потенциалов составит не более 0,07 и 0,15 *в*. К алюминию близко стоят кадмий и цинк; разность потенциалов здесь не превышает 0,1—0,2 *в*. При любых других сочетаниях: медь — алюминий, медь — цинк, серебро — алюминий, никель — алюминий напряжение гальванической пары достигает 0,6—0,8 *в*, что при повышенной влажности неизбежно вызовет активный электрохимический процесс, приводящий к разрушению менее благородного металла контакта. Это приведет к росту электрического сопротивления, а следовательно, к опасному нагреву. Поэтому при контактном соединении проводников, далеко отстоящих друг от друга в электрохимическом ряду напряжений, следует прибегать к защитному металлопокрытию. Например, при соединении алюминия с медью можно алюминий и медь покрывать кадмием или цинко-оловянным сплавом. Кадмий является хорошим контактным материалом, оказывающим малое электрохимическое воздействие на алюминий и его сплавы; не вызывая подслойной коррозии, он устойчив к щелочам, кислотам и к органическим соединениям, содержащимся в пастах и смазках.

По данным зарубежных источников, применение в алюминиевых и алюминиево-медных контактах кадмиевого покрытия не приводило в эксплуатации к росту контактного сопротивления, если давление поддерживалось в пределах нормального. Отмечается двадцатилетний опыт эксплуатации таких контактов в условиях морского побережья и в атмосфере, загрязненной газами промышленных предприятий.

Несколько уступает кадмию покрытие оловом или цинко-оловянным сплавом. Однако за ними сохраняются технологические преимущества. Эти покрытия можно осуществлять как гальваническим способом, так и горячим лужением, тогда как кадмирование (покрытие кадмием) возможно только гальваническое.

Для защиты контактных соединений от воздействия кислорода, промышленных газов и влажной атмосферы в СССР находят применение смазки, выпускаемые промышленностью (табл. 5).

Таблица 5

Показатели	Вазелин технический (ГОСТ 782-59)	Смазка ЦИАТИМ-201 (ГОСТ 3005-51)	Смазка графитная (ГОСТ 3333-55)	Смазка АМС-1 (ГОСТ 2717-52)
Цвет и внешний вид	Однородная мазь от светло-до темно-коричневого цвета	Однородная мазь от светло-до темно-желтого цвета	Однородная мазь черного цвета	Однородная мазь темного цвета
Температура каплепадения	54	170	77	85
Кислотное число в *мг* КОН на 1 *г*	0,28	—	—	—
Свободной щелочи	—	0,1	—	—
Водорастворительных щелочей	Следы	—	—	—
Воды	Отсутствуют	Отсутствуют	3	Отсутствуют
Механические примеси, %	0,03	Отсутствуют	—	Отсутствуют
Испытания на коррозию металлов	Выдержал	Выдержал	Выдержал	Выдержал

Кроме указанных в таблице, используются также цинко- и кварцевазелиновые пасты, изготовляемые путем смешивания одинаковых по весу частей цинковой пыли или пылевидного кварцевого песка с вазелином. Эти пасты главным образом применяются при опрессовке соединений алюминиевых жил, проводов и кабелей.

Технический вазелин в основном применяется для защиты контактной поверхности шинных соединений.

Графитная смазка содержит 10% примеси графита, она предназначается для тяжело нагруженных тихоходных механизмов (лебедка, редукторы, тросы); имеется опыт применения ее в алюминиевых контактах. Наличие графита несколько влияет на неизменность контактного сопротивления. Графитная смазка влагостойка и может работать в контакте с водой.

Смазка АМС-1 отличается повышенной водоупорностью, длительно сохраняет свои свойства (не кристаллизуется). Смазка используется для защиты наружных

металлических поверхностей, она рекомендована для смазки нарезной части болтов в наружных установках.

Из приведенных в табл. 5 смазок ЦИАТИМ-201 выгодно отличается от остальных высокой тепло- и морозостойкостью. Смазка ЦИАТИМ-201 универсальная, тугоплавкая, морозоустойчивая, с примесью щелочи. Эта смазка может также применяться в условиях повышенной температуры и влажности. Она обладает повышенной химической устойчивостью и активна по отношению к окисной пленке алюминия.

Имеющийся положительный опыт указывает на целесообразность применения ее для алюминиевых и алюминиево-медных контактных соединений.

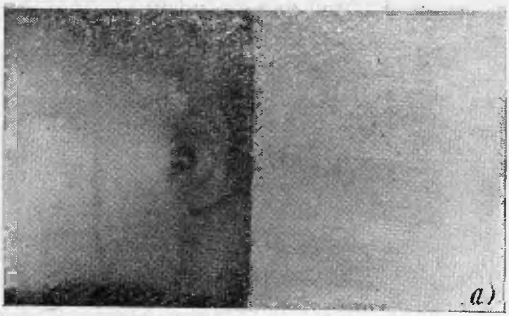
5. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ КОНТАКТОВ

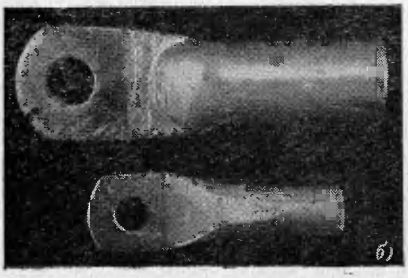
Контактные соединения из меди и алюминия должны обеспечивать продолжительную работу в номинальном режиме при температуре соединения в пределах от минус 60 до плюс 90° С в установках на напряжения до 660 *в* и от минус 60° до плюс 80° С в установках на напряжения свыше 660 *в*.

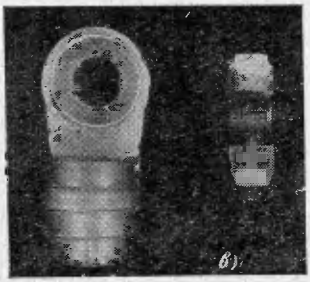
Контактное соединение должно выдерживать прохождение токов короткого замыкания, не нагреваясь при этом свыше 200° С.

При нахлесточном разъемном соединении алюминиевых проводников и величине тока более 200 *а* (при соединении или присоединении алюминиевых шин сечением более 15×3 *мм*^{2} или наконечников сечением свыше 70 *мм*^{2}) рекомендуется применять не менее двух стягивающих болтов. При двух болтах создается большее количество контактных пятен и лучшее токораспределение по сравнению с одноболтовым соединением.

В наружных установках, в сырых помещениях (относительная влажность более 80%) и в помещениях с агрессивной средой (газы, пары кислот и щелочи), действующей разрушающе на токоведущие части, соединение алюминиевых шин с медными или присоединение их к медным контактным выводам электрооборудования выполняется с применением медно-алюминиевых пластин (рис. 7,*а*). Оконцевание алюминиевых жил проводов и кабелей в указанных условиях производится наконечниками с медной контактной лапкой (рис. 7,*б*) или с алю-







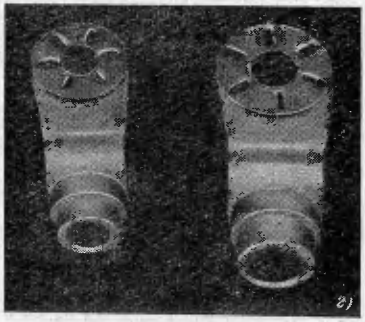


Рис. 7. Контактные переходы.

а — медно-алюминиевая пластина, выполненная контактно-стыковой сваркой; *б* — медно-алюминиевый наконечник, выполненный контактно-стыковой сваркой; *в* — алюминиевый наконечник, армированный медной втулкой, методом литья; *г* — алюминиевый наконечник, армированный медной пластиной методом холодной сварки.

миниевой лапкой, но армированной медью (рис. 7,*в* и 7,*г*).

В условиях влажной и агрессивной среды возможно и непосредственное соединение плоских алюминиевых проводников с медными, но при этом они должны иметь защитное покрытие кадмием или сплавом, состоящим из 40% олова, 58,5% цинка и 1,5% меди с толщиной покрытия не менее 18 *мк*.

У контакта со стержневым выводом ток проходит от внешнего проводника через плоскости гаек и резьбовые соединения; условия прохождения тока в этом случае значительно хуже, чем при нахлесточных соединениях. Недостатком стержневых контактов, кроме того, является невозможность достичь постоянного давления между гайками и присоединенным проводником. Применение здесь пружинящих устройств нерационально, так как стальная пружина повышает переходное сопротивление контакта. С увеличением тока условия работы стержневого контакта ухудшаются, вызывая опасный нагрев соединения. Поэтому при стержневых выводах аппаратов из меди или из медных сплавов непосредственное присоединение алюминиевых шин и наконечников рекомендуется выполнять при токах не более 400 *а* и только в тех случаях, когда контактные соединения находятся в нормальной среде (при влажности не более 80% и отсутствии активной химической среды, действующей разрушающе на соединения). При токах свыше 400 *а* присоединения выполняются через медно-алюминиевые переходы.

В наружных установках, в сырых помещениях и в агрессивной среде присоединение алюминиевых проводников к медным стержневым выводам независимо от величины тока необходимо выполнять только через медно-алюминиевые переходы.

У разъемных контактных соединений необходимо обеспечивать нормальное давление в пределах 150 *кГ/см*^{2} для алюминиевых шин и наконечников и 100 *кГ/см*^{2} для алюминиевых шин и наконечников, армированных или плакированных медью.

Конструкции разъемных соединений шин приведены на рис. 8. Основным требованием к неразъемным прессуемым соединениям является степень обжатия при сплошной опрессовке и глубина вдавливания пуансона

при местной опрессовке. Такие соединения находят широкое распространение при оконцевании жил проводов и кабелей.

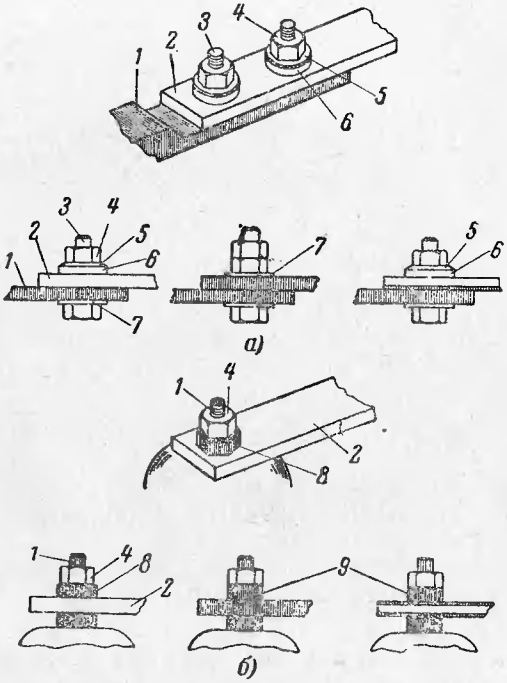


Рис. 8. Разъемные болтовые соединения.

а — нахлесточное; *б* — при стержневом выводе аппарата. *1* — шина, плоский или стержневой вывод (медные заштрихованы); *2* — шина, наконечник — медные, алюминиевые или алюминиевые, армированные медью; *3* — болт стальной; *4* — гайка стальная нормальная; *5* — пружина тарельчатая; *6* — шайба стальная специальная увеличенная; *7* — шайба стальная нормальная; *8* — гайка специальная увеличенная, из меди или ее сплавов; *9* — гайка нормальная, из меди или ее сплавов.

6. ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Надежным средством достижения постоянного сопротивления является создание цельнометаллического (глухого) соединения проводников сваркой или пайкой. Такое соединение механически прочно и не изменяет электрического сопротивления с течением времени.

Сварные соединения алюминиевых шин выдерживают кратковременное механическое напряжение свыше 2000 *кГ/см²*, возникающее при прохождении токов короткого замыкания. При загибе на 180° сварные соединения не разрушаются. Выносливость при вибрации таких соединений такая же, как у целых алюминиевых шин или проводов. Согласно действующим правилам допускается возможность применения цельнометаллических соединений алюминиевых проводников (шин и жил проводов и кабелей) между собой и присоединение их к электрооборудованию с выводами из алюминия или его сплавов.

а) Присоединение шин

В настоящее время с выводами из алюминия или его сплавов выпускаются: токоограничивающие реакторы типа РБА на токи до 5000 *а*, проходные изоляторы типа НПВ на 400—3000 *а* и типа ПНБ до 1500 *а*, проходные трансформаторы тока на 400—5000 *а*, разъединители типа РЛНД-35 на 600—1000 *а* и выключатели типа ВМП-10 на 400—600 *а*. Номенклатура оборудования с алюминиевыми выводами расширяется в связи с необходимостью максимальной экономии меди. Разработаны новые конструкции рубильников и предохранителей, имеющих выводы из алюминия.

Приварка алюминиевой шины 100×10 *мм* к выводу реактора, проходного изолятора или измерительного трансформатора тока производится в течение 5—7 *мин*, включая подготовительные работы. При необходимости отсоединение отрезка шины ручной ножовкой производится за 2—3 *мин*. Сварка не вызывает опасных температур для изоляции электрооборудования. Бетонная колонка токоограничивающего реактора, находящаяся в непосредственной близости с выводом, при сварке нагревается до температуры не более 50° С, а фарфор проходного изолятора — не более 60° С.

Профилактические ремонты и испытания изоляции действующего электрооборудования, как правило, ведутся без отсоединения шин. Поэтому осуществление глухих присоединений не создает каких-либо неудобств в эксплуатации. Более того, будут достигнуты существенные преимущества за счет повышения надежности

установок, уменьшения потерь энергии в контактах, сокращения расхода шин и метизов и затрат на обслуживание контактных соединений.

Глухие присоединения шин сваркой были применены при монтаже закрытых и открытых распределительных устройств Иркутского алюминиевого завода, а также открытых и закрытых подстанций в Москве и в Ленинграде и в других городах Советского Союза.

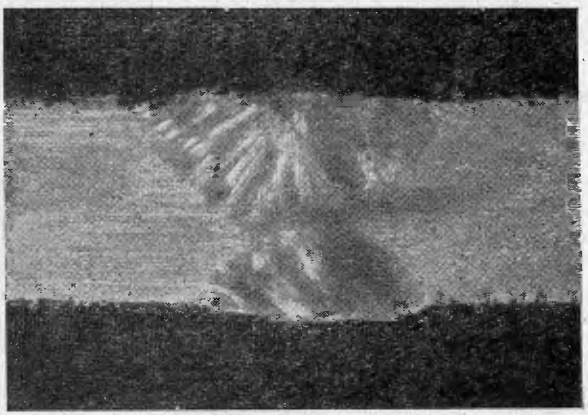


Рис. 9. Макроструктура сварного шва алюминиевой шины.

Опыт эксплуатации глухих присоединений подтвердил их надежность и экономичность. Выполненные присоединения сваркой не требовали надзора и обслуживания. Структура сварного шва алюминиевых шин приведена на рис. 9.

В ряде случаев при присоединении питающих магистралей к стальным крановым троллеям, при присоединении шин к стальным катодным стержням электролизеров алюминия, хлора и др. возникает необходимость соединения алюминия со сталью. Сжимные или болтовые контактные соединения в этом случае не обеспечивают надежности в эксплуатации вследствие того, что у таких соединений имеет место значительный рост переходного сопротивления. За последние годы разработана и успешно внедряется рациональная технология сварки стали с алюминием. Такая сварка производится

на переоборудованных контактно-стыковых машинах с ударной осадкой или дугой с предварительно алитированной поверхностью стали и сваркой трением.

На рис. 10 показан узел присоединения подпиточной алюминиевой шины к стальному троллею. Сварные соединения стали с алюминием удовлетворяют необходимым требованиям по прочности и электропроводности.

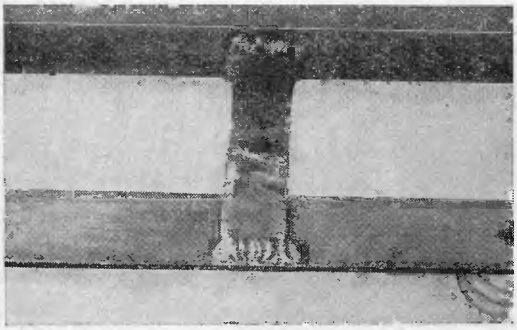


Рис. 10. Присоединение подпиточной алюминиевой шины к стальному троллею сваркой.

б) Соединение жил проводов и кабелей

Основным способом цельнометаллического соединения алюминиевых жил проводов и кабелей между собой является сварка — дуговая, контактная, термитная и газовая. Сварка применяется при соединениях алюминиевых жил с шинами и при оконцевании жил наконечниками. Значительно реже применяется пайка, которая хотя и дает стабильное соединение, но более трудоемка и менее экономична.

Примеры соединений алюминиевых жил сваркой приведены на рис. 11. При сооружении электрических установок следует во всех случаях стремиться к выполнению глухих соединений и присоединений алюминиевых проводников. Применение разъемных контактов может быть оправдано в особых случаях, когда по условиям эксплуатации необходимы более или менее частые отсоединения токопроводов (например, в передвижных установках).

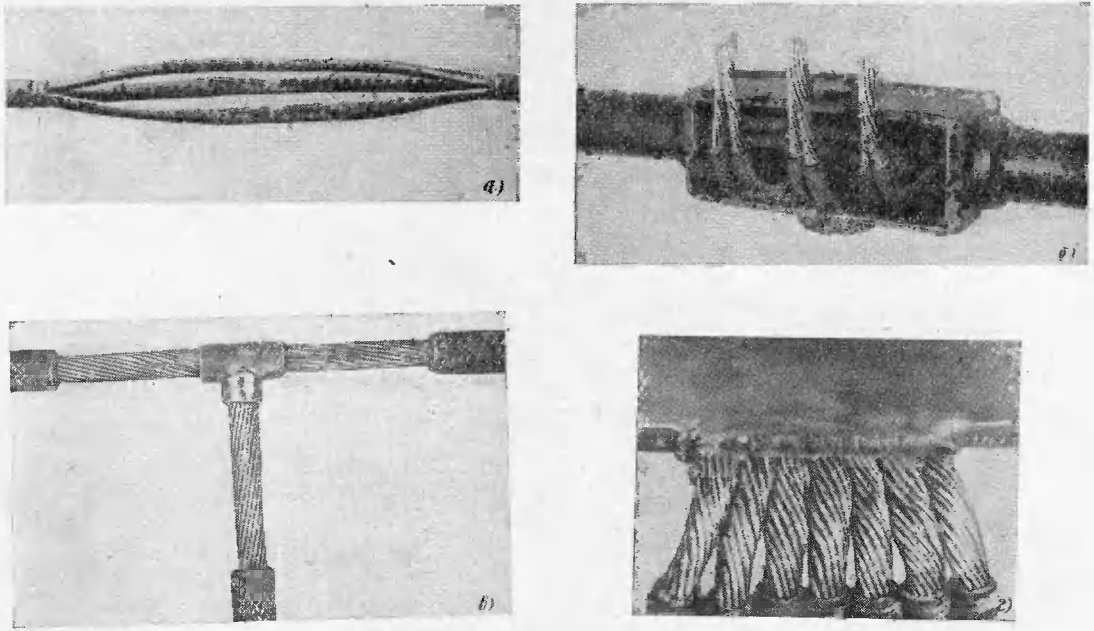


Рис. 11. Сварные соединения.

а — алюминиевых жил сечением 95 *мм*², свареннх пропано-воздушным пламенем; *б* — алюминиевых жил 25 *мм*², выполненных сваркой контактным разогревом; *в* — ответвление проводом 70 *мм*², выполненное термитной сваркой; *г* — ответвленне алюмнниевых проводов сечением 120 *мм*² от шиноймагистрали, выполиенное дуговой сваркой.

7. ВЫПОЛНЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Соединения алюминия с медью или со сталью в переходных деталях (пластины, наконечники и т. д.) выполняют цельнометаллическими на основе сварки (включая холодную), плакирования или пайки. Соединение не должно иметь трещин. Прочность соединения при растяжении, изгибе и вибрации должна быть не ниже прочности алюминия в зоне термического влияния. Соединения должны выдерживать изгиб на 90° без признаков разрушения. После нагрева соединения до 200° С и последующего охлаждения до температуры 25±10° С пластические свойства соединения не должны снижаться.

Применение дуговой сварки для непосредственного соединения алюминия с медью или со сталью недопустимо ввиду образования в зоне шва хрупкой составляющей, делающей соединение ломким. Такие соединения даже при слабых ударах легко разрушаются.

Для получения высокопрочных и стойких сварных соединений алюминия с медью и сталью необходимо во время сварки из зоны шва выдавить хрупкую составляющую сплава. Это достигается выполнением сварки на специальных переоборудованных для этой цели контактно-стыковых сварочных машинах.

Соединение меди с алюминием, кроме того, может быть выполнено холодной сваркой, армированием, плакированием, литьем в кокиль и пайкой.

Соединение алюминия со сталью может выполняться контактно-стыковой сваркой с осадкой, дуговой сваркой с предварительно алитированной поверхностью стали, сваркой трением, а также пайкой.

Описание наиболее рациональных методов соединения дается ниже.

а) Контактно-стыковая сварка

Контактно-стыковая сварка меди с алюминием и стали с алюминием может выполняться на изготовляемых промышленностью серийно сварочных машинах типов МСМ-150, МСМУ-150, МСЦ-200 и МСГА-500, дооборудованных специальным приводом ударной осадки (рис. 12).

Назначение привода осадки — выдавить из зоны шва хрупкую составляющую в момент окончания процесса

514—2

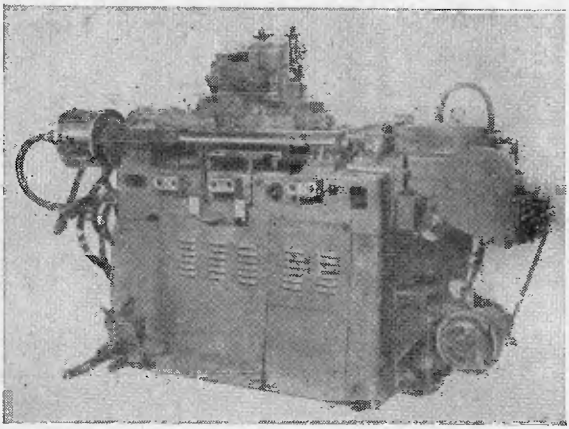


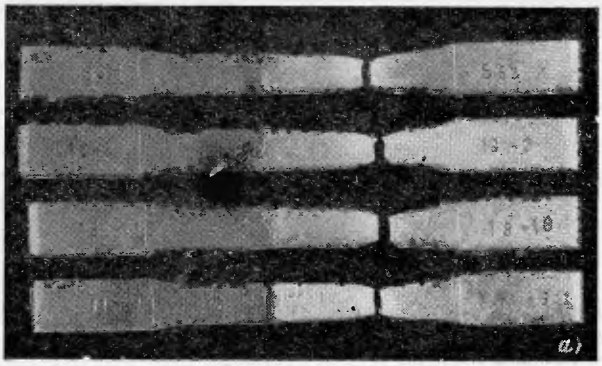
Рис. 12. Контактно-стыковая машина МСМ-150 с приводом осадки для сварки меди с алюминием.

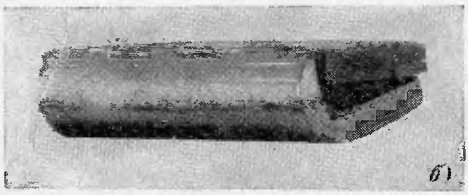
сварки и отключения сварочного тока. Сваренные таким образом пластины при испытании их на растяжение разрушаются по целому алюминию в зоне отжига (рис. 13).

Следует учитывать, что при нагреве стыка до температуры примерно 300° в месте раздела металлов (алюминия и меди) начинает расти хрупкая составляющая (медно-алюминиевая бронза), резко ухудшающая пластические свойства соединения. Это в равной мере относится и к соединениям меди с алюминием, выполненным холодной сваркой, а также плакированием и армированием. Микрофотография сварного соединения приведена на рис. 13.

Опасная температура может возникнуть при приварке алюминиевой части медно-алюминиевой пластины к алюминиевой шине (или медной части к медной шине), если эта сварка будет производиться на недопустимо близком расстоянии от сварного шва. Чтобы избежать опасных температур в зоне шва, размеры медных и алюминиевых пластин не должны быть меньше указанных в табл. 6.

Нагрев сварного стыка стали с алюминием ухудшает механические свойства соединения, но при приварке стальной пластины перехода к стальному изделию прак-





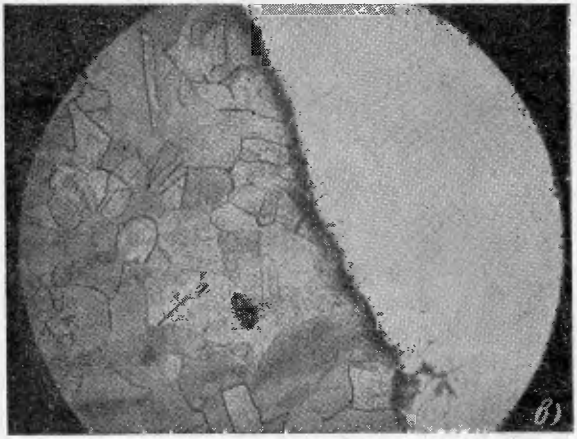


Рис. 13. Образцы сварки меди с алюминием, выполненные на контактной машине МСМ-150.

а — соединение после испытания на растяжение; *б* — соединение, изогнутое на 180°; *в* — микрофотография структуры сварного соединения.

Таблица 6

Размер пластины (переход), *мм*²	Длина, *мм*, не менее	
	алюминиевой части	медной части
40×4	40	60
50×6	50	60
60×8	60	80
80×8	80	100
100×10	100	100

тически исключена опасность перегрева благодаря низкой теплопроводности стали.

Толщина стальной части стале-алюминиевого перехода выбирается из соображений электропроводности, а длина ее — из конструктивных соображений. Режимы сварки переходов приводятся в соответствующих инструкциях.

б) Холодная сварка

Основным условием выполнения холодной сварки является тщательная зачистка поверхностей. Обычно зачистка выполняется с помощью вращающейся стальной щетки диаметром 200 *мм* с проволоками диаметром 0,25—0,30 *мм* при 1 500—3 000 *об/мин*.

Надежная холодная сварка может быть получена при условии отсутствия даже незначительного зажирения свариваемых поверхностей. Заготовки из алюминия и меди, прошедшие механическую зачистку, не должны покрываться жиром. Даже легкое прикасание к ним пальцев рук делает невозможной холодную сварку. После зачистки заготовки для сварки устанавливаются в штамп пресса, которым создается давление на свариваемые поверхности ~ 120 *кГ/мм*². Конструктивно штамп выполняется таким образом, чтобы металл свариваемых деталей при сдавливании мог свободно течь из зоны сварки. Это является основным условием получения внутриатомного сцепления.

После сварки производится отрубка облоя (приливов) в месте стыка. С помощью холодной сварки можно соединять детали прямоугольного круглого и трубчатого сечений. Способом холодной сварки могут быть изготовлены медно-алюминиевые пластины и наконечники.

Последние изготовляются из медных и алюминиевых трубок. Перед сваркой производится тщательная зачистка торцов трубок, которые затем устанавливаются в штамп пресса и свариваются между собой. После сварки срезается облой; медная трубка для образования контактной лапки сплющивается, после чего в ней вырубается отверстие для болта.

На методе холодной сварки основано и армирование алюминиевых шин медными накладками.

в) Армирование

Алюминиевые шины могут быть армированы с одной и с двух сторон медными накладками холодной сваркой. Для армирования накладки изготовляют из листовой холоднокатаной мягкой меди или из медной ленты марки M_1 или M_2. Для алюминиевой шины или алюминиевой детали толщиной не больше 3 *мм* берут накладки толщиной 1 *мм*, а для шины большей толщины медные накладки принимают толщиной 1,5 *мм*. При армировании происходит холодная сварка между алюминием шины и медью накладки на площади под пуансоном при его вдавливании. Число вдавливаний делают из расчета, чтобы одно вдавливание приходилось на площадь не более 4 $см^2$; меньше двух вдавливаний не делают.

Перед армированием производится тщательная зачистка поверхностей. Качество сварки, кроме того, зависит от правильного выбора высоты выступа пуансона. При армировании алюминиевых шин или лапок наконечников принимают высоту рабочего выступа пуансона по табл. 7.

Таблица 7

Толщина армируемых алюминиевых шин или лапок наконечников, *мм*	Толщина медных накладок, *мм*	Высота рабочего выступа пуансона, *мм*
3	1,0	2,0
3,5	1,5	2,6
4,0	1,5	2,8
4,5	1,5	3,8
5,0	1,5	3,2
5,5	1,5	3,4
6,0 и более	1,5	3,6

Рекомендуемая ширина рабочего выступа пуансона — 2,5 *мм*; при малой площади армирования ширину выступа можно уменьшать до 1,5 *мм*. Длина выступа пуансона принимается 6—10 *мм* в зависимости от величины армируемой площади, расположения и числа сварных точек, а также от количества отверстий для болтов. Рабочие выступы пуансонов делают трапецеидального сечения с углом наклона в 8°; это облегчает съем армированной шины с пуансонов. Края рабочих выступов слегка закругляют, для того чтобы они не прорезали медную накладку. Сверление отверстий или вырубка их производится только после армирования. Наименьшее расстояние от края сварной точки до края шины или лапки наконечника не должно быть менее 2,5 *мм*.

При армировании обеспечивается удельное давление на опорную площадь пуансонов 8—10 *кГ/мм*^{2}. При меньшем давлении получить холодную сварку нельзя. Как алюминиевые шины, так и лапки наконечников рекомендуется армировать с двух сторон.

Испытания армированных деталей во влажной атмосфере при нагреве до 100—110° С длительно, на циклический нагрев, нахождение в воде, а также на вибрацию подтвердили, что переходное сопротивление между медью и алюминием сохраняет постоянную величину, несмотря на частичное поражение коррозией.

г) Плакирование

Промышленность СССР изготовляет биметаллические прокатно-сварные листы из алюминия, плакированного медью, из которых затем вырезаются пластины нужного размера. Для изготовления медно-алюминиевых переходов может применяться алюминий марок $А_1$, АД-0, АД-1 и мягкая медь марки $М_1$ или $М_2$. Технологический процесс, принятый при изготовлении биметаллических листов, обеспечивает точечную (очаговую) сварку меди с алюминием. По заказу могут также изготовляться листы, имеющие только частично плакированную поверхность; например, при общей ширине листа в 400 *мм* можно иметь плакированную полосу посередине листа шириной 150 *мм*.

Плакированный алюминий, как правило, используется для изделий электропромышленности. В тех случаях,

когда он предназначается для медно-алюминиевых контактных переходов при оконцевании алюминиевых шин, присоединяемых к медным выводам аппаратов, пластины должны иметь размеры, указанные в табл. 8.

Таблица 8

Размер пластины (переход), *мм*²	Общая длина, *мм*	Длина плакированной части, *мм*	Толщина медной накладки, *мм*
40×4	140	40	0,4
50×6	150	50	0,5
60×8	160	60	0,6
80×8	180	80	0,6
100×10	200	100	0,6

Нагрев плакированного алюминия свыше 300° С приводит к снижению механической прочности соединения меди с алюминием вследствие роста хрупкой составляющей. Поэтому алюминиевая плакированная пластина берется такой длины, при которой во время приварки пластин к токопроводу не образуется хрупкая составляющая. Расстояние от шва до плакированной поверхности должно быть не менее 100 *мм*.

д) Литье в кокиль

Для получения медно-алюминиевых переходов на основе литья использовано свойство растворимости меди в расплаве алюминия. Изготовление таких переходов производится литьем в кокиль. Для этого в кокиль предварительно устанавливаются точеные или штампованные медные втулки с отверстием под болты. Форма медных втулок должна обеспечивать разгрузку от механических напряжений хрупкого слоя медно-алюминиевой бронзы, образующегося при сплавлении меди с алюминием. Втулки очищают от зажирений химическим или механическим путем (вращающейся проволочной щеткой). Поверхность втулок, соприкасающаяся при заливке с алюминием, покрывается тонким слоем флюса ВАМИ, разведенного в воде (20—30 *г* флюса на 100 *г* воды). Вместо покрытия флюсом соприкасающуюся поверхность с алюминием можно облудить оловянистым припоем. Для образования сплавления меди с алюминием

необходимо в процессе литья обеспечить соприкосновение чистых поверхностей меди и жидкого алюминия в течение 2—3 *сек*. Поэтому литье производят таким образом, чтобы кристаллизация (застывание) алюминия начиналась по истечении этого времени.

На внутреннюю поверхность кокиля предварительно наносится теплоизолирующая краска или производится оклейка листовым асбестом толщиной 0,5—1 *мм* на жидком стекле. Перед заливкой кокиль разогревают до температуры 200—250° С. За 2—5 *мин* до заливки кокиль раскрывают и в него на специально предусмотренные пальцы устанавливают медные контактные втулки; расплавленным и разогретым до температуры 780—850° С алюминием производят заливку в кокиль непрерывной, по возможности короткой струей со скоростью наполнения 0,08—0,12 *кг/сек*. Необходимо следить, чтобы выпоры кокиля полностью заливались расплавленным металлом.

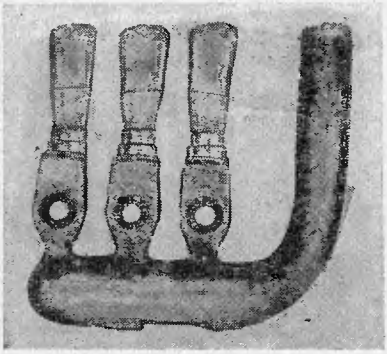


Рис. 14. Отливка алюминиевых наконечников с медной контактной втулкой.

После полного застывания и некоторого охлаждения металла кокиль раскрывают и из него вынимают отливку (рис. 14). Обработка отливки сводится к отрезанию на штампах приливов и зачистки мест среза и медных втулок. Готовый наконечник приведен на рис. 7,*в*. Качество изделия определяется технологическим режимом литья, при строгом соблюдении которого между медью и алюминием образуется сплав медно-алюминиевой бронзы толщиной от 0,5 до 1,5 *мм*.

Методом литья в кокиль могут быть изготовлены как наконечники, так и алюминиевые пластины с медными контактными втулками. Такие переходы рассчитаны на приварку их к алюминиевым проводникам. В процессе приварки следует стремиться к тому, чтобы время сварки не превышало 4 *мин*, так как в противном случае

в стыке меди с алюминием температура может превысить 300°, что приведет к росту хрупкой составляющей (медно-алюминиевой бронзы) и, следовательно, к снижению механической прочности соединения.

Рис. 15. Медно-алюминиевый стержень, выполненный сваркой трением.

Сравнивая между собой различные виды медно-алюминиевых переходов, нужно признать лучшими из них медно-алюминиевые пластины и наконечники, выполненные методами контактно-стыковой сварки, холодной сварки в стык, а также литьем в кокиль.

За последнее время проведены многочисленные разработки и исследования по сварке трением. Были получены высококачественные соединения медных стержней с алюминиевыми, а также алюминиевых со стальными диаметром до 50 *мм*. Образец соединения приведен на рис. 15. Сварка трением находит применение при изготовлении медно-алюминиевых и сталеалюминиевых переходов для электролизеров.

е) Сварка алюминия со сталью

Дуговая сварка алюминия со сталью возможна при условии предварительного алитирования стальной поверхности, она является более доступной по сравнению с другими методами сварки и применима как для монтажных, так и для ремонтных работ. При этой сварке отрезок стальной шины на длине 25—30 *мм* зачищается вращающейся щеткой до металлического блеска, неровности и острые края шины сглаживаются. На зачищенный отрезок шины наносится водный раствор флюса ВАМИ, после испарения влаги этот конец погружается в тигель с расплавленным алюминием, нагретым до температуры 750—800° С.

Для плавки алюминия можно использовать печь сопротивления типа Н-15. Возможно применение печи кустарного изготовления как с электрическим, так и газопламенным разогревом, обеспечивающими получение расплавленного и перегретого алюминия.

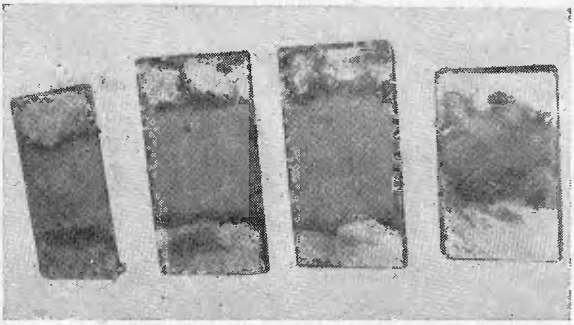


Рис. 16. Алитированные стальные пластины.

В продолжение 2—5 *мин* нахождения стальной шины в расплаве (время зависит от сечения стальной шины) она алитируется, т. е. покрывается слоем алюминия (рис. 16). Для лучшего покрытия погруженной в тигель шиной производят перемешивание расплава.

Дуговую сварку стальной алитированной пластины с алюминиевой выполняют вольфрамовым электродом в среде аргона на переменном токе, либо угольным электродом на постоянном токе. Сварка ведется таким образом, чтобы дуга концентрировалась на алюминиевой шине. Соединение со стальной алитированной поверхностью в этом случае происходит через сварочную ванну. Повышение механической прочности соединения достигается за счет усиления шва наплавкой.

Аргоно-дуговую сварку стали с алюминием выполняют в режимах, приведенных в табл. 9.

Для сварки шин толщиной свыше 5 *мм* аргоно-дуговую сварку не применяют, так как при этой сварке затрачивается длительное время на расплавление алюминия, что может явиться причиной получения ненадежного соединения. При дуговой сварке угольным электродом на постоянном токе руководствуются режимами, приведенными в табл. 10.

Таблица 9

Размер шин, *мм*	Зазор в стыке, *мм*	Диаметр, *мм*		Сварочный ток	Время сварки, *сек*
		вольфрамовых электродов	присадки		
30×3	без зазора	4	4	100	55
40×4	1—1,5	4	5	120	80
50×5	1—2,0	5	5	150	110

Сварка стали с алюминием выполняется также на контактно-стыковой сварочной машине МСГА-500, дооборудованной ударной осадкой, обеспечивающей выдавливание хрупкой составляющей из зоны шва в процессе сварки.

Таблица 10

Размер шин, *мм*	Зазор между кромками шин при сварке, *мм*	Минимальные размеры шва, *мм*		Угольный электрод		Диаметр присадочного прутка, *мм*	Ток при сварке, *а*		Время сварки, *сек*
		Ширина	Усиление с каждой стороны	Сечение, *мм²*	Длина, *мм*		С лицевой стороны	С обратной стороны	
30×3	Без зазора	15	1,5	15×10	120	5	150	—	20
40×4	Без зазора	20	2,0	15×10	120	5	200	—	25
50×5	Без зазора	25	2,5	20×10	120	5	200	—	30
60×6	2	30	3,0	20×10	120	8	250	—	45
80×8	2	35	4,0	15×15	130	10	300	250	80
100×10	3	40	5,0	20×15	150	12	350	250	130
100×12	3	40	5,0	20×15	150	12	350	250	180

Сталеалюминиевые переходы сечением по шву 4 000 *мм²* применяются при ошиновке электролизеров алюминия. Сталеалюминиевые переходы, изготовленные дуговой сваркой угольным электродом с предварительно алитированной стальной шиной, приведены на рис. 17,*а*, а контактно-стыковой сваркой — на рис. 17,*б*.

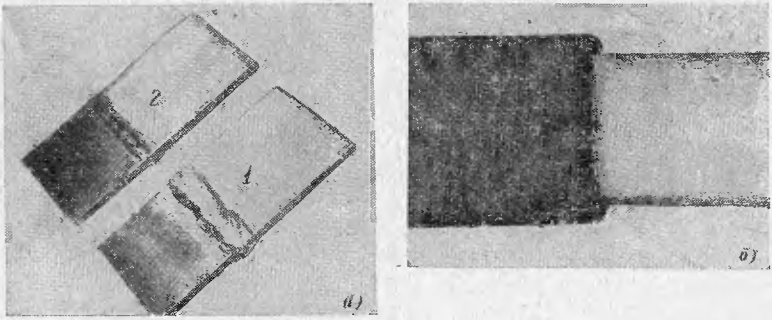


Рис. 17. Сталеалюминиевые переходы.
а — выполненные дуговой сваркой на основе алитирования; *б* — выполнение контактно-стыковой сваркой.

8. МОНТАЖ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

а) Соединения и присоединения алюминиевых шин и наконечников

Разъемные соединения и присоединения выполняются с помощью болтов, проходящих через отверстия в шинах, в кабельных наконечниках и в выводах электрооборудования, а также с помощью сжимных плит, стянутых болтами, а при стержневых нарезных выводах аппаратов путем зажатия шин или наконечников между латунными или медными гайками.

Соединение шин сжимными плитами является более рациональным по сравнению с соединениями, выполненными болтами, проходящими через отверстия в шинах, так как при этом уменьшается количество операций при заготовке шин и облегчается сборка при монтаже ошиновки.

Разъемные соединения с помощью болтов применяются также при соединениях и при присоединениях голых проводов к аппаратам при помощи плашечных, ответвительных и аппаратных зажимов.

Для соединения алюминиевых шин между собой и алюминиевых шин с медными, а также при присоединениях алюминиевых шин и наконечников к контактным зажимам оборудования применяют болты получистые диаметром до 10 *мм* с нормальной шестигранной головкой, а диаметром 12 *мм* и выше — получистые с увеличенной шестигранной головкой.

При соединении алюминиевых шин или наконечников с медными шинами или с медными плоскими контактными выводами оборудования под головками болтов подкладывают со стороны медной шины или медного контактного зажима оборудования стандартные чистые стальные шайбы (табл. 11); со стороны алюминиевой шины—специальные стальные шайбы (табл. 12), а для

Таблица 11

Диаметр болта, *мм*	Внутренний диаметр шайбы, *мм*	Наружный диаметр шайбы, *мм*	Толщина шайбы, *мм*
6	6,5	14	1,5
8	8,5	18	1,5
10	10,5	21	2
12	12,5	25	2
16	16,5	32	3
20	21	38	4

Таблица 12

Для болта с резьбой	Внутренний диаметр шайбы, *мм*	Наружный диаметр шайбы, *мм*	Толщина шайбы, *мм*
М8	8,5	18	3
М10	10,5	24*	4
М10		28	
М12	12,5	28*	
М12		32	
М16	16,5	40	6
М20	21	46	

* Для уменьшенных расстояний между отверстиями болтов.

сохранения постоянного давления, кроме того, специальные тарельчатые пружины. Диаметр этих пружин должен быть несколько меньший, чем диаметр специальной шайбы. Если одна тарельчатая пружина не обеспечивает необходимого давления на контакт, устанавливают две пружины вместо одной. Болты применяют преимущественно с размером резьбы М10, М12, М16 и М20.

Ширина шины в месте присоединения должна быть не меньше ширины контактного вывода аппарата или машины. Если вывод аппарата имеет ширину, меньшую

60% ширины присоединяемой алюминиевой шины, то присоединение производят через медно-алюминиевые пластины. Если к медному выводу аппарата, выполненному в виде одной пластины, необходимо присоединить три алюминиевые шины (например, присоединение шин к выводу масляного выключателя МГГ-10 на 3000 *а*), то присоединение выполняют с помощью двух переходных пластин.

Присоединение с одной стороны вывода одной шины, а с другой стороны — двух шин делать не рекомендуется, так как в этом случае крайняя шина будет нагружена значительно меньше, чем шина, непосредственно прилегающая к контактному выводу (из-за дополнительного сопротивления в контакте).

Все контактные выводы электрооборудования рассчитаны для определенного размера и количества болтов, поэтому рассверливание отверстий в выводах не допускается. Для присоединения алюминиевых шин и наконечников к медным нарезным выводам электрооборудования на ток до 400 *а* применяют гайки увеличенных размеров из меди или медных сплавов, согласно табл. 13.

Таблица 13

Диаметр резьбы, *мм*	Размер „под ключ"*, *мм*
6	14
8	17
10	27
12	32

* Размер головки болта или гайки между противоположными параллельными сторонами.

При токах до 30 *а* (за исключением вторичных цепей) вместо медных или латунных гаек иногда применяют стальные гайки с защитным металлопокрытием.

Присоединяемая к стержневому выводу шина имеет ширину не менее двойного диаметра выводного стержня; такой же ширины применяют и медно-алюминиевый переход, только в этом случае обеспечивается надежное контактное соединение.

При соединении и присоединении алюминиевых шин особое внимание уделяют подготовке контактных поверхностей шин. Контактная поверхность должна быть плоской и ровной, она не должна иметь вмятин и раковин. Полировка и шлифовка поверхностей не делаются, так как такая обработка не улучшает контакта. Для обработки поверхности применяют станок со стальными щетками или диск с кардолентой. При незначительном объеме работ обработку производят вручную при помощи драчевого напильника, щетки из кардоленты или плоского бруска с наклеенной на него наждачной или стеклянной бумагой. Зачистка алюминиевых шин пескоструйным аппаратом и шлифовальными кругами не допускается, так как в обрабатываемую поверхность могут вкрапливаться крупинки песка или корунда. Напильники и стальные щетки для одновременной обработки шин из различных материалов не применяют, так как в этом случае возможно загрязнение контактной поверхности опилками иного материала.

При наличии на контактной поверхности шин вмятин, раковин или неровностей производят правку и обработку поверхности на шинофрезерном станке под линейку. Перед окончанием обработки на контактную поверхность наносят слой технического нейтрального (не содержащего кислот и щелочей) вазелина, под защитой которого и производят окончательную доводку. После окончания обработки загрязненный вазелин удаляют чистой тряпкой и вместо него наносят слой свежего вазелина.

После выполнения зачистки контактных поверхностей шин и вывода аппарата производят сборку контактных соединений. Надежная работа соединения обеспечивается постоянным давлением на контактную поверхность. После подкладки под головки болтов специальных шайб и тарельчатых пружин приступают к затягу болтов. Наиболее правильно производить затяг, применяя ключ с регулируемым крутящим моментом, который дает возможность наиболее простым способом обеспечить необходимое давление на шины (табл. 4). Если приходится пользоваться простыми гаечными или разводными ключами, тогда затяг производят до полного сжатия тарельчатой пружины. Затем ослабляют давление поворотом гайки в обратную сторону на угол 45° ($^1/_8$ оборота), чем

достигается нормальное давление на контактную поверхность.

Если сборка контактного соединения производится без применения тарельчатых пружин, а затяг делается простыми гаечными или разводными ключами, то сначала определяют по формуле (3) необходимую длину рычага, после чего с помощью рычага такой длины производят затяг. При диаметре болтов свыше 10 *мм* постепенно, без рывков, силу нажатия на рычаг предварительно доводят до 40 *кГ* (полное усилие руки человека). Затем давление снижают, после чего производят вторичный затяг с нормальным усилием 16—20 *кГ*. Болты диаметром 10 *мм* и менее сразу затягивают с нормальным усилием. Предварительным повышенным сжатием соединения болтами диаметром свыше 10 *мм* увеличивается площадь контактных пятен, снижающих переходное сопротивление контакта. При болтах меньшего диаметра предварительное сжатие не делают из опасения срыва резьбы.

Примеры выполнения присоединений алюминиевых шин и наконечников к выводам электрооборудования приведены на рис. 8.

б) Присоединение голых алюминиевых проводов к выводам аппаратов в наружных установках

Присоединения алюминиевых или сталеалюминиевых голых проводов к плоским, а также стержневым выводам электрооборудования наружных установок производится с помощью болтовых аппаратных зажимов А1А, А2А, А4А и ответвительного типа ОА. Соединение провода с зажимом осуществляется опрессовкой. Аппаратные зажимы изготовляются из сплава алюминия и поставляются трестом «Электросеть и изоляция». Зажимы рассчитаны на присоединение к медным выводам аппаратов, и поэтому они имеют припаянные к контактной поверхности медные пластины.

Выводы аппаратов для наружных установок стандартизированы и выпускаются: плоские — с одним, двумя и четырьмя отверстиями и стержневые медные с резьбой М12, М16, М20, 1М16, 1М20, 1М22, 2М27, 2М30. Соответственно выводам аппаратов выпус-

каются и аппаратные зажимы, имеющие одно, два или четыре отверстия.

В ряде случаев голые провода присоединяют через медно-алюминиевые пластины. В этом случае провода

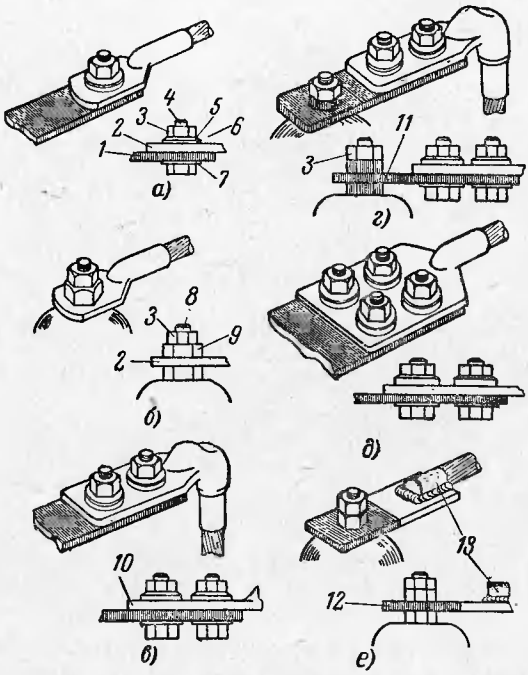


Рис. 18. Присоединения голых алюминиевых проводов к выводам аппаратов наружных установок. *а, в, д* — к плоскому выводу; *б, г, е* — к стержневому выводу.

1 — медный плоский вывод; *2* — алюминиевая шина, наконечник; *3* — гайка стальная; *4* — болт стальной; *5* — пружина тарельчатая; *6* — шайба стальная специальная; *7* — шайба стальная нормальная; *8* — стержень из меди или медных сплавов; *9* — гайка из меди или медных сплавов увеличенная; *10* — аппаратный (ответвительный) зажим; *11* — медная планка; *12* — медно-алюминиевая пластина; *13* — голый провод, приваренный к пластине.

приваривают к алюминиевой части пластины, а медную часть присоединяют на болтах к выводу аппарата. Рекомендуемые способы присоединения приведены на рис. 18,

в) Присоединение алюминиевых жил проводов и кабелей сечением до 6 *мм*²

Разъемные присоединения алюминиевых однопроволочных жил проводов и кабелей к зажимам приборов, аппаратов, двигателей, пускателей, а также к набор-

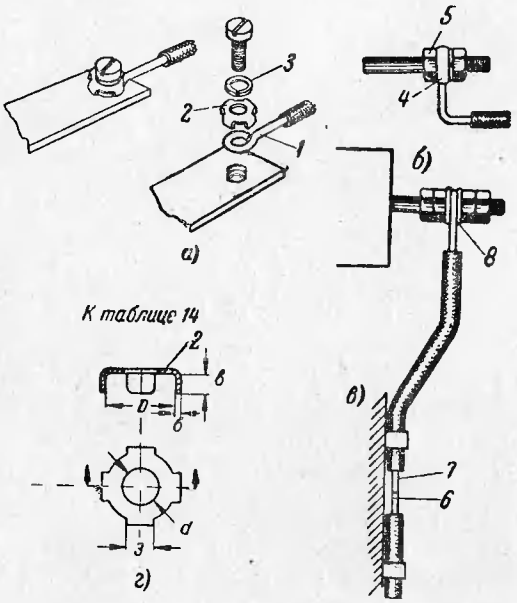


Рис. 19. Разъемные присоединения алюминиевых жил сечением до 6 *мм*².

а — к плоскому выводу; *б*, *в* — к стержневому выводу; *г* — шайба-звездочка.
1 — алюминиевый провод; *2* — шайба-звездочка; *3* — разрезная пружинная шайба; *4* — провод в пистоне; *5* — медная (латунная) гайка; *6* — алюминиевая жила; *7* — медная жила; *8* — медная (латунная) шайба.

ным зажимам выполняют с помощью болтов или винтов одним из следующих способов.

При плоском контактном выводе дополнительной установкой поверх кольца жилы (предварительно зачищенной и смазанной цинковазелиновой или кварцевазелиновой пастой) специальной ограничивающей шайбы-звездочки и пружинящей шайбы (рис. 19,*а*). Шайбы-звездочки препятствуют выдавливанию провода

при зажатии, а пружинящие шайбы создают постоянное давление, прижимая жилу провода или кабеля к плоскому контактному выводу.

Размеры применяемых шайб-звездочек (рис. 19,*г*) приведены в табл. 14.

Таблица 14

Сечение жилы, *мм*²	Винт	Размеры, *мм*			
		D	*d*	*b*	*c*
2,5	М4 М5	8,5 9,5	4,2 5,2	1,3	0,5
4	М4 М5	8,5 9,5	4,2 5,2	1,3	0,5
6	М4 М5 М6	9,5 11 12	4,2 5,2 6,3	1,8	0,8

При стержневом выводе присоединение осуществляют путем зажатия гайками и пружинящей шайбой жилы, предварительно зачищенной и смазанной пастой (рис. 19,*б*) и опрессованной в медном или латунном пистоне.

При плоском и стержневом выводах присоединение может быть выполнено путем оконцевания холодной сваркой алюминиевой жилы медной жилой (рис. 19,*в*). В этом случае ввод медной жилы в плоский или стержневой вывод осуществляется при помощи медных или латунных шайбы и гайки.

При оконцевании алюминиевой жилы медной рекомендуется медную и алюминиевую жилы проводов жестко закрепить у места стыка. Это защитит соединение от поломок при последующих отсоединениях проводов от зажимов приборов или аппаратов. Присоединение однопроволочных алюминиевых проводов и кабелей, оконцованных медными жилами, значительно повышает надежность контактного соединения. Однако этот способ требует применения специального инструмента и дополнительных трудовых затрат и пока не нашел широкого распространения.

В контактных соединениях силовых цепей, цепей защиты, измерения, управления и сигнализации необхо-

димо применять винты и нарезные стержни (шпильки) диаметром не менее 5 *мм*, обеспечивающие без срыва резьбы нормальный затяг. Затяг, при котором достигается необходимое контактное давление, соответствует следующим значениям крутящего момента для винтов: М4 — 12 *кГ·см*; М5 — 20 *кГ·см*; М6 — 25 *кГ·см*.

Винты М4 применяются преимущественно в осветительной арматуре и в установочных изделиях. Лучше всего пользоваться для возможности контроля величины крутящего момента специальной «моментной» отверткой. В случае отсутствия такой отвертки можно применять и обычные отвертки шириной лезвия 7 *мм* с толщиной заточки 0,7—0,9 *мм*. При протекании по контактному соединению длительно допустимого тока для данного сечения проводника падение напряжения в контактном соединении после его сборки не должно превышать 7 *мв*. Этот показатель является основным при оценке состояния контактов во время сдачи-приемки смонтированного оборудования.

г) Соединение и оконцевание жил опрессовкой

В основу метода опрессовки жил сечением 16—240 *мм*^{2} положен принцип обжатия алюминиевой жилы, введенной в трубчатую часть наконечника или соединительную гильзу. Удовлетворительное соединение этим методом может быть получено только при тщательном соблюдении технологии, правильном выборе матриц, пуансонов, наконечников или соединительных гильз, а также при доведении обжатия их до необходимых (конечных) размеров. При опрессовке применяют цинковазелиновую или кварцевазелиновую пасты. Твердые частицы пасты способствуют разрушению окиси алюминия в процессе опрессовки. Опрессовка выполняется следующим образом. Выбирают гильзу или наконечник нужного размера, снимают изоляцию на участке жилы, равном длине трубчатой части наконечника или половине длины соединительной гильзы плюс 2 *мм* для провода и плюс 10 *мм* — для кабеля, оголенную жилу покрывают слоем вазелина или пасты и производят зачистку ее металлической щеткой, снимают тряпкой грязную смазку и покрывают чистой. Смазанный конец жилы заводят в очищенную и запол-

ненную кварцевазелиновой или цинковазелиновой пастой трубку наконечника или соединительную гильзу таким образом, чтобы жила входила в наконечник до упора, а в соединительную гильзу на половину ее длины, после чего производят опрессовку.

Опрессовку выполняют методом местного вдавливания или сплошного обжатия. Местное вдавливание для жил сечением 16—50 *мм*^{2} производят клещами ПК-1, а жил сечением 16—240 *мм*^{2} — гидропрессом РГП-7М. Этим же способом выполняют опрессовку для всех сечений жил методом сплошного обжатия. Прессом РГП-7М развивают усилие до 7 *т* против 2 *т*, развиваемых при помощи клещей ПК-1.

При опрессовке наконечников в условиях завода или монтажно-изготовительного участка находят применение стационарные эксцентриковые прессы, дающие значительно более высокую производительность. Кроме того, в целях повышения производительности труда предложен ряд пиротехнических инструментов, основанных на использовании давления газов в момент сгорания пороха во взрывной камере. К таким приспособлениям относятся насадки к строительно-монтажным пистолетам СМП-1 и т. п.

9. МОНТАЖ ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Наиболее рациональным способом цельнометаллического соединения алюминиевых шин и жил является сварка. Находят применение электродуговая, контактная разогревом, термитная, газовая и холодная сварки. Пайка применяется значительно реже и только при оконцевании и соединении многопроволочных жил проводов и кабелей.

Для соединения шин повсеместно применяется электродуговая сварка. При соединениях жил проводов и кабелей и оконцевании их применяется термитная, газовая и холодная сварка, а также электросварка контактным разогревом.

а) Соединение шин сваркой

Электродуговая сварка шин может выполняться: а) угольным электродом на постоянном и переменном токе; б) металлическим электродом на постоянном токе;

в) в среде защитного газа (аргона) неплавящимся вольфрамовым электродом на переменном токе или плавящимся электродом на полуавтомате на постоянном токе.

Наиболее доступной является получившая широкое применение дуговая сварка угольным электродом на постоянном или переменном токе.

Для химического растворения пленки окиси применяется флюс, при котором во время сварки образуется легкоплавкий шлак, всплывающий на поверхность сварочной ванны. Чаще всего пользуются флюсом ВАМИ следующего состава: хлористый калий — 50, хлористый натрий — 30 и криолит — 20 частей по весу. Флюс способствует повышению качества и ускоряет процесс сварки. Однако при недостаточной очистке места сварки от шлака и остатков флюса может возникнуть коррозия сварного соединения.

Дуговая сварка алюминиевых шин угольным электродом преимущественно выполняется в нижнем положении шва в приспособлениях, формирующих шов. Эти приспособления, изготовляемые чаще всего из угольных или графитовых брусков, служат для удержания жидкой алюминиевой ванны.

Дуговая сварка угольным электродом на постоянном токе вертикальным швом шин толщиной до 12 *мм* производится с применением толстообмазанной присадки. Для обмазки присадки применяется флюс следующего состава: хлористый калий — 30, хлористый натрий — 18, криолит — 52 части по весу. Сварка этим способом ведется без формирующих приспособлений, однако этот способ требует большего навыка сварщика, чем при сварке в нижнем положении шва.

Соединения шин с выводами аппаратов сваркой имеют специфические особенности. Сварка здесь чаще ведется при горизонтальном (рис. 20,*а*) и реже при нижнем положении шва (рис. 20,*б*). Дуговая сварка угольным электродом в горизонтальном положении, как это показано на рис. 20,*а*, выполняется в специальном приспособлении. Возможны такие случаи приварки вертикальным швом, которая может быть выполнена с применением толстообмазанной присадки. Во всех случаях следует рекомендовать приварку в среде аргона как плавящимся, так и неплавящимся электродом. При приварке шин к выводам аппаратов изоляторы и аппарату-

ру защищают от брызг металла руберойдом или картоном.

При выполнении сварки на постоянном токе применяют сварочные преобразователи, которые в зависимости от мощности могут обеспечить получение сварочного тока от 300 до 2 000 *а*. Сварка на переменном токе ве-

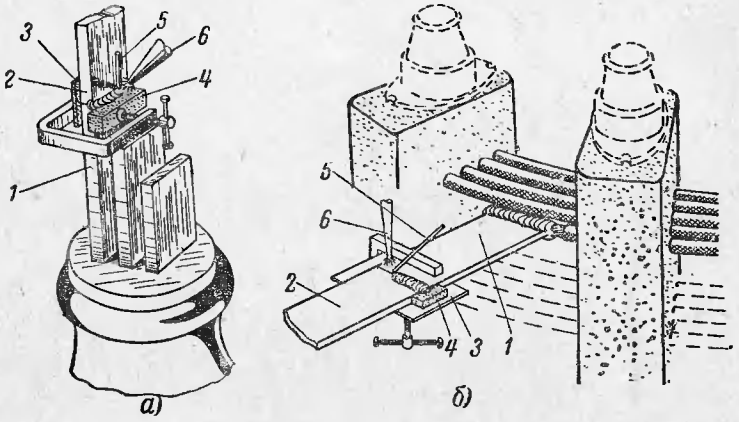


Рис. 20. Приварка алюминиевых шин к выводам аппаратов.
а — горизонтальным швом; *б* — в нижнем положении шва (к выводу реактора).
1 — алюминиевый вывод аппарата; *2* — присоединяемая алюминиевая шина; *3* — формующая стальная подкладка; *4* — формующий графитовый брусок; *5* — алюминиевая присадка; *6* — угольный электрод.

дется от сварочных трансформаторов. Выбор того или иного типа преобразователя или сварочного трансформатора производится в зависимости от назначения выполняемых работ и размеров свариваемых шин. При аргоно-дуговой сварке применяют установки типа Удар-300 при сварочных токах от 50 до 300 *а*, и типа Удар-500 при токах до 500 *а*. Аргоно-дуговую сварку также выполняют с помощью установки, скомплектованной из сварочного трансформатора типа СТЗ-34У с дросселем, осциллятора ОМ ОС-1 и балластного реостата РБ-200.

При выполнении дуговой сварки шин соблюдают режимы, приведенные: для сварки угольным электродом на постоянном или переменном токе в нижнем положении шва в табл. 15.

Таблица 15

Размеры шины, *мм*	Угольный электрод, *мм*		Сварочный ток, *а*		Ориентировочное время сварки, *сек*
	Диаметр	Длина	постоянный	переменный	
30×3	12	120	150	150	18
40×4	12	120	200	200	20
50×5	15	120	200	250	25
60×6	15	120	250	300	30
80×8	18	130	300	350	35
100×10	20	150	350	400	40
100×12	20	150	400	450	60
250×29	25	200	800	—	150
310×35	25	200	900	—	240
360×50	300	250	1 300—1 700	—	300
500×50	300	250	1 500—2 000	—	360

Примечание. Сварка шин размером 250×29 *мм* и выше на переменном токе не производится.

для сварки угольным электродом в вертикальном положении с толстообмазанной присадкой — в табл. 16;

для сварки с металлическим электродом — в табл. 17;

для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом в нижнем положении — в табл. 18;

для такой же сварки, но в вертикальном положении шва — в табл. 19;

для полуавтоматической аргоно-дуговой сварки плавящимся электродом в нижнем положении шва — в табл. 20;

для такой же сварки, но при вертикальном положении шва, — в табл. 21;

для сварки при выполнении глухих присоединений шин к оборудованию — в табл. 22.

Таблица 16

Толщина шины, *мм*	Диаметр, *мм*		Сварочный ток, *а*
	электрода	присадки	
8	16	6	200—250
10	18	8	230—280
12	18	8	280—230

Таблица 17

Размер шины, *мм*	Диаметр электрода, *мм*	Сварочный ток, *а*	Время, *сек*	
			подогрева	сварки
30×3	4	110—120	—	25
40×4	5	120—140	—	35
60×6	6	160—180	—	40
80×8	6	200—220	50	30
110×10	8	250—270	150	50
120×10	8	270—290	180	60

Таблица 18

Размер шины, *мм*	Диаметр, *мм*		Сварочный ток, *а*	Время, *сек*		Расход аргона, *л/мин*
	электрода	присадки		подогрева	сварки	
40×4	3	3	160	—	25	10
50×5	3	3	180	—	30	10
60×6	4	3	200	—	35	12
80×8	5	4	225	30	60	12—15
100×10	5	5	250	40	80	12—15
120×10	5	5	250	50	100	12—15

При присоединении шин сложного профиля приварку их рекомендуется производить через плоские переходные пластины.

Сварку шин между собой и приварку их к выводам аппаратов выполняют в следующей последовательности:

Таблица 19

Размер шины, *мм*	Диаметр, *мм*		Сварочный ток, *а*	Время, *сек*		Расход аргона, *л/мин*
	электрода	присадки		подогрева	сварки	
40×4	3	3	140	—	25	10
50×5	3	3	160	—	30	10
60×6	4	3	180	—	35	12
80×8	5	4	200/160	30	40/35	12—15
100×10	5	5	200/180	40	60/50	12—15
120×10	5	5	220/180	50	70/60	12—15

Примечание. В графах „Сварочный ток" и „Время сварки" дробью указано: в числителе — ток при первом, а в знаменателе при втором проходе дуги.

Таблица 20

Толщина шины, *мм*	Диаметр электродной проволоки, *мм*	Сварочный ток, *а*	Расход аргона, *л/мин*
4	1,2—1,5	180	5
5	1,5—1,6	200	6,5
6	1,5—1,6	220	7
8	1,5—1,8	240	8
10	1,5—1,8	250	9
12	1,5—2,0	260	10

Таблица 21

Толщина шины, *мм*	Диаметр электродной проволоки, *мм*	Сварочный ток, *а*	Расход материала на 100 *мм* шва	
			проволоки, *г*	аргона, *л*
3—5	1,2—1,5	150—180	15—20	10—12
6—8	1,2—1,5	160—220	20—30	12—15
0—20	2,0	200—260	40—60	15—20

Таблица 22

Конструкция вывода аппарата	Присоединяемые шины	Параметры сварки			
		угольным электродом		вольфрамовым электродом	
		ток, *а*	время, *мин*	ток, *а*	время, *мин*
Двухполосный, шириной 60—100 *мм*, толщиной 8—10 *мм*	Две шины толщиной 8—10 *мм*	200—300	1,2—3	200—250	2—3,2
Двухполосный, шириной 60—100 *мм*, толщиной 8—10 *мм*	Две шины толщиной 8—10 *мм*	200—350	1,2—3	200—250	2—3,2
Трехполосный, шириной 100—120 *мм*, толщиной 10 *мм*	Три шины толщиной 10 *мм*	200—350	1,2—4	200—350	3—5

подготовка концов шин под сварку и установка приспособлений, при необходимости — формовка шва; сварка; снятие приспособлений, зачистка и промывка шва бензином или ацетоном.

б) Соединение и оконцевание жил проводов и кабелей сваркой контактным разогревом

Сварку контактным разогревом производят угольным электродом на переменном токе без образования дуги при питании от трансформаторов 220/12 — 9 — 6 *в* мощностью 0,5—1,5 *ква*. При отсутствии таких трансформаторов применяют любой сварочный трансформатор с отпайкой от вторичной обмотки для получения напряжения 6—12 *в*. Перед сваркой с концов жил снимают изоляцию — для жил сечением до 50 *мм*^{2} — на 60 *мм*; для жил сечением 70 и 95 *мм*^{2} — на 65 *мм* и для жил свыше 95 *мм*^{2} — на 70 *мм*.

На кабелях с бумажной изоляцией ослабляют пассатижами скрутку проволочных жил и удаляют кабельную массу тряпкой, смоченной в бензине, после чего снова скручивают жилы. Секторным жилам кабеля придают круглую форму. Соединение выполняют как с предварительным сплавлением их в монолит, так и без сплавления. Подготовленные концы жил укладывают горизонтально в открытую желобчатую стальную формочку (рис. 21,*а*), которую прикрепляют к жилам проволочными бандажами. Для уплотнения выхода жилы из формочки ее обматывают шнуровым асбестом. Это предохраняет от вытекания из формы жидкого металла во время сварки. Для предохранения от поджогов изоляции на оголенные участки жил устанавливают охладители, к которым при помощи гибкого провода присоединяют один из зажимов сварочного трансформатора. Второй конец от зажима трансформатора подается на угольный электрод. На сплавляемую часть жил кисточкой наносят водный раствор флюса ВАМИ.

Процесс сварки (рис. 21,*б*) заключается в прикосновении с нажимом угольного электрода к стыку жил. После расплавления жил и образования сварочной (жидкой) ванны подачей присадки постепенно заполняют форму расплавом, непрерывно перемешивая его концом электрода. Сварка прекращается по заполнении формочки жидким алюминием. Через некоторое время,

когда соединение остынет, снимают охладители и формочку, место сварки зачищают стальной щеткой от остатков флюса и промывают бензином, а неровность шва запиливают напильником.

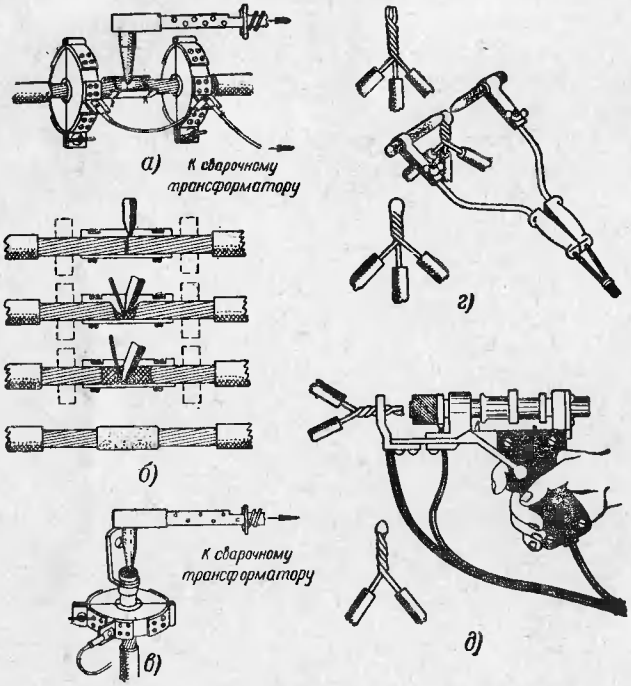


Рис. 21. Сварка алюминиевых жил контактным разогревом.

а — многопроволочных жил в стык; *б* — последовательность выполнения сварки; *в* — приварка наконечника; *г* — однопроволочных жил паяльными клещами; *д* — одиопроволочных жил пистолетом ВКЗ-1.

Для приварки литых алюминиевых наконечников жилы оголяют: на 50 *мм* для сечений 16—25 *мм*², на 55 *мм* для сечений 35—95 *мм*², на 70 *мм* для сечений 120—185 *мм*², на 75 *мм* для сечений 240 *мм*². Жиле придают вертикальное положение; на нее (рис. 21,*в*) надевают наконечник так, чтобы жила выступала на 2—3 *мм* над венчиком наконечника. На оголенную часть жилы устанавливают охладитель, который соединяют со сварочным трансформатором; второй конец провода соединяют с электродом.

При сварке угольным электродом расплавляют конец жилы, смазанный флюсом, затем при круговых движениях угольного электрода вводят присадку до заполнения алюминием верхней части гильзы наконечника. Сварку заканчивают после расплавления верхнего венчика и образования сверху сферического наплыва (капли).

После остывания соединения снимают охладители, очищают место сварки от шлака и остатков флюса стальной щеткой и промывают бензином. Соединение и оконцевание алюминиевых жил сечением 300 *мм*^{2} и выше выполняют угольной дугой или аргоно-дуговой сваркой.

Сварка однопроволочных алюминиевых жил сечением до 6 *мм*^{2} производят путем сплавления предварительно зачищенных и скрученных концов. Сплавление производят при нагреве их паяльными клещами (рис. 21,*г*), присоединенными ко вторичной обмотке трансформатора 220/9-12,*в*, либо специальным сварочным пистолетом ВКЗ-1 (рис. 21,*д*). Сварку пистолетом ВКЗ-1 производят без применения флюса.

в) Соединение и оконцевание жил газопламенной сваркой

Для газопламенной сварки применяют ацетилено-кислородное, пропано-кислородное и бензино-кислородное пламя. С выпуском газовоздушных горелок повышенных тепловых параметров с дежурным пламенем[1] стала возможна также и пропано-воздушная сварка. Такая сварка не требует применения сжатого кислорода, что имеет большое значение при выполнении сварки в полевых условиях. Бутан-пропановая смесь имеет сравнительно низкую стоимость (8 коп. за 1 *кг*) при высокой теплотворной способности (20 800 *ккал/нм*^{3}). Потребителям отпускают сжиженный газ в баллонах емкостью 40—60 *л*. Разлив его в расходные малообъемные баллоны емкостью 1—5 *л* производят на газоразливочных пунктах. Сжиженные газы поставляются двух

---

[1] Пропано-воздушные горелки разработаны Ленинградским проектно-экспериментальным отделением ГПИ «Тяжпромэлектропроект» и выпускаются Московским опытным заводом электромонтажной техники Главэлектромонтажа Госмонтажспецстроя СССР.

марок: «зимний» — для применения зимой при пониженных температурах и «летний» — для применения в летнее время или в отапливаемых помещениях. Пропано-воздушные горелки выпускаются производительностью 0,1 *нм³/ч* с температурой пламени в 1 000° С; они применяются главным образом для пайки производительностью 0,5 *нм³/ч* с температурой пламени 1 300° С для сварки жил проводов и кабелей сечением до 150 *мм²* и производительностью 1,0 *нм³/ч* для сварки проводов сечением 185 и 240 *мм²*.

Горелка производительностью 0,1 *нм³/ч* может работать от баллонов емкостью 0,8—1 *л*, горелка 0,5 *нм³/ч* — от баллонов 4—5 *л*. Горелка 1,0 *нм³/ч* рассчитана для работы от баллона емкостью 55 *л* при обязательном применении газового редуктора.

Соединение кабельных жил пропано-воздушной сваркой выполняют только для сечений не более 150 *мм²*. Сварка жил кабелей 185 и 240 *мм²* требует большего времени (свыше 6 *мин*), что приводит к опасному нагреву фазовой изоляции. При монтаже соединительных муфт с применением пропано-воздушной сварки фазную изоляцию жил снимают на длине 70 *мм*; производят обезжиривание предварительно распушенных концов, после чего пассатижами обжимают жилы, придавая им круглую форму. Вначале под сварку подготавливают нижнюю жилу кабеля (рис. 22). Торцы жил смазывают водным раствором флюса и устанавливают на них стальные разъемные формочки так, чтобы между свариваемыми жилами был зазор 2—3 *мм*, формочки закрепляют наложением проволочных бандажей с обеих сторон, чтобы не допустить расплавленного металла во время сварки, жилы при выходе из формочки обматывают шнуровым асбестом, после чего на оголенные участки жил устанавливают охладители: малые для жил сечением 16—95 *мм²* и большие для сечений 120—150 *мм²*, которые закрепляют на соединительной пленке опорной стойки. Чтобы языки пламени не распространялись за пределы охладителей, устанавливают тепловой экран. Щели между экраном и оголенными участками жил забивают асбестом, после чего приступают к сварке.

Сварку пропано-воздушным пламенем производят два электромонтера в следующей последовательности:

зажженную горелку располагают наклонно под углом 40—50° (рис. 29,*б*) и факел пламени направляют в центр литника сварочной формочки. Нагрев концов жил про-

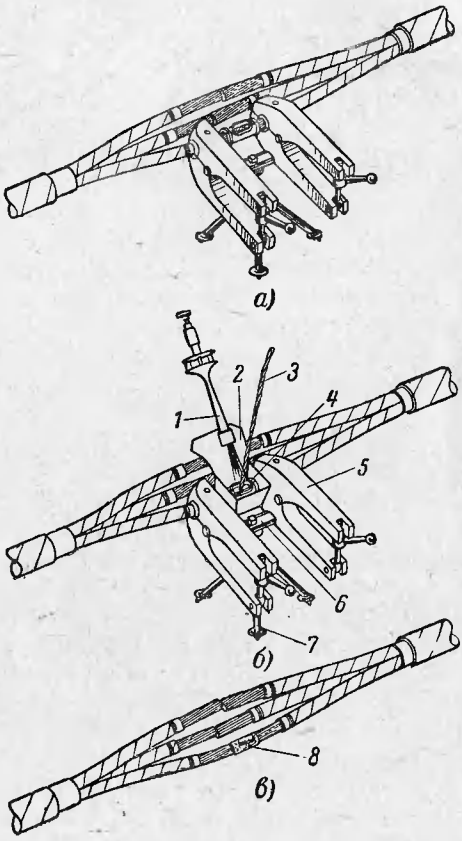


Рис. 22. Сварка алюминиевых жил кабеля пропано-воздушным пламенем.

а — соединение жил, подготовленное под сварку; *б* — сварка; *в* — сваренные жилы одной из фаз.

1 — газовоздушная горелка для бутан-пропановой смеси; *2* — тепловой экран для защиты изоляции жил и концентрирования тепла на стыке жил; *3* — алюминиевая присадка; *4* — закрытая стальная форма с литником; *5* — охладительные клещи; *6* — опорная стойка; *7* — ножки опорной стойки; *8* — готовое соединение с приливом.

изводят вершиной голубого конуса, имеющего наивысшую температуру. По истечении 0,5—1,5 *мин* стальным крючком-мешалкой контролируют расплавление жил.

С образованием жидкой фазы подают сперва малую порцию присадки и производят размешивание для образования в нижней части соединения жидкой ванны. После расплавления всей жилы возобновляют подачу присадки до заполнения литника формочки, все время перемешивая ванну с целью удаления газов и шлаков. На этом сварку заканчивают. После застывания металла в литнике снимают тепловой экран, охладители и формочки. С помощью клещей со специальными губками или ручной ножовкой удаляют прибыли, заглаживают напильником неровности, зачищают соединение стальной карчеткой (проволочной щеткой) и промывают бензином. Для предупреждения поджога изоляции необходимо стремиться к максимальному сокращению времени сварки. Оно не должно превышать 6 *мин* при сварке жил сечением 150 *мм*^{2}. Газопламенная приварка наконечников может производиться только с применением сжатого кислорода. Газовоздушное пламя для этого непригодно из-за увеличенного факела.

Для защиты контактной части наконечника от опасного воздействия пламени, а также для предотвращения растекания алюминия на венчик наконечника предварительно надевают стальную форму-экран. В остальном приварка наконечника не отличается от описанной выше сварки соединения жил контактным разогревом.

г) Соединение и оконцевание жил холодной сваркой

Наряду с опрессовкой жил сечением 16—240 *мм*^{2}, в которую положен принцип обжатия алюминиевой жилы, введенной в трубчатую часть наконечника или гильзу, может также производиться холодная сварка жилы с наконечником, при которой достигается цельнометаллическое соединение.

Этим методом могут быть приварены наконечники как к однопроволочным, так и к многопроволочным жилам. Холодная сварка происходит в нескольких точках, достаточных для обеспечения надежного и устойчивого соединения. Основным условием получения холодной сварки является чистота свариваемых поверхностей, свободных от окиси и жировых пленок, выбор рациональной конструкции пуансонов и матриц, а также приложение соответствующего давления, обеспечивающего течение ме-

талла под пуансоном. Холодная сварка может выполняться ручными клещами, а также с помощью гидравлических, пиротехнических и эксцентриковых прессов.

Завод «Электрик» оконцовывает алюминиевые обмоточные провода медными «флажками» методом двустороннего вдавливания. Он рекомендует для «флажка» применять медь толщиной 1,5 *мм*. Высота рабочих выступов пуансонов при приварке «флажка» принимается из условия деформирования металла на 80—85% (исходя из суммарной толщины алюминиевого провода и двойной медной полосы, из которой сделан «флажок»). Например, если толщина провода 8 *мм* и к нему приваривается флажок толщиною 1,5 *мм*, то высота выступа пуансона должна быть:

$$\frac{8+2\cdot1,5}{2}\cdot 0,8=4,4 \ мм.$$

Соединение между собой одножильных алюминиевых проводов, а также алюминиевых проводов с медными может быть также выполнено холодной сваркой с помощью специальных клещей, например типа КС-6, разработанных Институтом электротехники Академии Наук СССР, позволяющими сваривать алюминиевые провода сечением от 2,5 до 10 *мм*^{2}. Применяя приспособление ПС-7 НИИ кабельной промышленности с зажимными губками специальной конструкции, можно обеспечить сварку алюминиевых проводов сечением от 1 до 6,0 *мм*^{2} и алюминиевых проводов с медными сечением от 1 до 4,0 *мм*^{2}.

В настоящее время промышленность выпускает стационарные установки для стыковой холодной сварки однопроволочных проводов, разработанные ВНИИ сварочного оборудования: машина ВМСХС-5 для сварки между собой алюминиевых и медных проводов, а также алюминиевых с медными проводами сечением от 2 до 20 *мм*^{2}; машина МСХС-35 для стыковой сварки алюминиевых жил сечением до 300 *мм*^{2}, медных жил сечением до 150 *мм*^{2} и медных жил с алюминиевыми сечением до 220 *мм*^{2}.

Для выполнения соединений холодной сваркой обрезают провода строго под прямым углом, закрепляют их

в зажимах клещей приспособления или машины и производят сдавливание. Холодную сварку применяют для оконцевания алюминиевых однопроволочных проводов медными.

д) Термитная сварка алюминиевых жил

Термитная сварка алюминиевых проводов на линиях передачи, а также изолированных жил проводов и кабелей в настоящее время находит широкое применение. Термитная сварка не требует высокой квалификации исполнителя, она обеспечивает надежные соединения и является удобной в полевых условиях, где отсутствует электроэнергия. Соединение жил проводов и кабелей термитной сваркой выполняют с осадкой расплавленных жил термитом или путем добавки в литник термитного патрона алюминиевой присадки. Термитные патроны для того или иного метода сварки имеют различную конструкцию.

Термитную сварку с осадкой применяют при монтаже линий электропередачи для соединения проводов в шлейфах и в пролетах. Она выполняется совместно с опрессовкой в гильзах, которая обеспечивает механическую прочность соединения.

Для сварки с осадкой концы свариваемых проводов очищают от грязи, обезжиривают протиркой тряпкой, смоченной в бензине, и зачищают карчеткой. Вправив провод, на него накладывают бандажи, оторцовывают ножовкой и снимают заусенцы, после чего вставляют соосно концы проводов в термитный патрон до упора во вкладыш и закрепляют их в клещах так, чтобы термитный патрон находился между зажимными скобами. Термитный патрон (рис. 23,*а*) устанавливают разрезом кокиля кверху. Проведя установку патрона, освобождают спусковой крючок клещей, после чего свариваемые концы находятся под воздействием пружин, стремящихся их свести (рис. 23,*б*); торцы кокиля уплотняют шнуровым асбестом и термитной спичкой поджигают вкладыш патрона обязательно со стороны, обозначенной краской. При сгорании термитной массы плавится вкладыш, и под давлением пружин провода свариваются. Для получения доброкачественной сварки необходимо дать дополнительную подачу ручной осадкой. После полного сгорания термитной массы шлаку дают остыть,

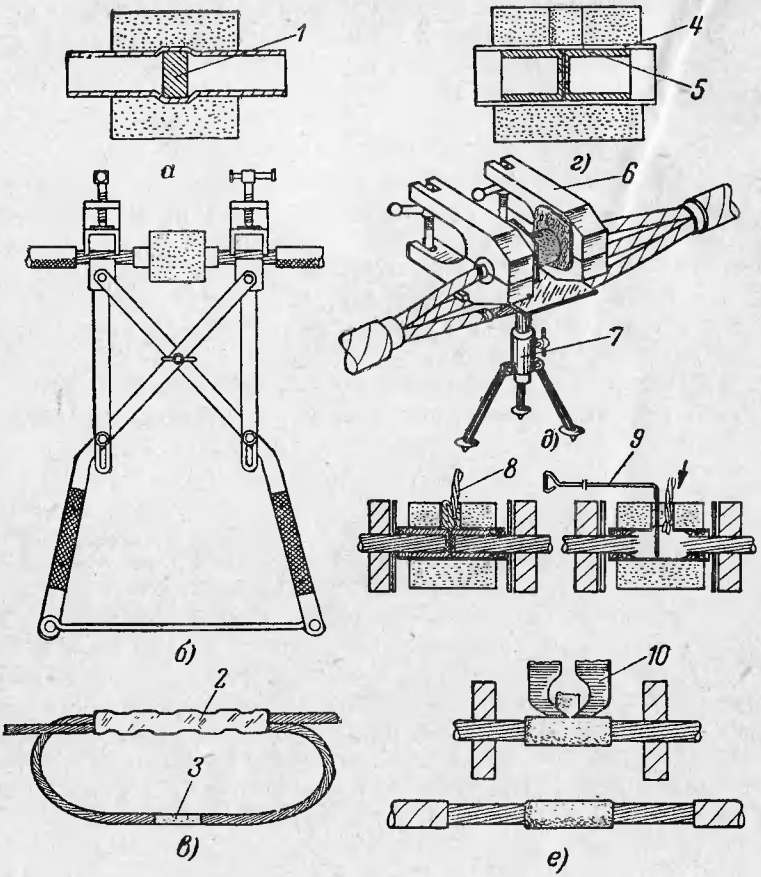


Рис. 23. Термическая сварка алюминиевых жил.

а — термитный патрон для сварки с осадкой; *б* — сварные клещи; *в* — готовое соединение провода в петле; *г* — термитный патрон для сварки с присадкой; *д* — установка охладительных клещей и термитного патрона на жилы; *е* — последовательность выполнения сварки.

1 — алюминиевый вкладыш; *2* — опрессованное соединение в петле; *3* — сварное соединение в петле; *4* — кокиль; *5* — колпачок; *6* — охладитель; *7* — стойка; *8* — присадка; *9* — мешалка; *10* — губки клещей для скусывания литника.

затем его разбивают и при помощи кусачек снимают кокиль. Готовое соединение голого провода в петле приведено на рис. 23,*в*.

Для соединения алюминиевых жил проводов и кабелей применяют метод термитной сварки с присадкой.

При этом осадка свариваемых жил не производится, и надежная сварка обеспечивается добавкой в сварочную ванну присадки алюминия. Термитная сварка жил проводов и кабелей выполняется следующим образом: после разделки концов жил снимают фазовую изо-

Сечение жилы, *мм*²	Длина оголенного участка жилы, *мм*
16—25	50
35—50	55
70	60
95—120	65
150—185	70
240	75

ляцию; затем подбирают термитные патроны и колпачки (рис. 23,*г*) в зависимости от сечения свариваемых жил, закрепляют на соединительной планке приспособления для фиксации патрона. Для облегчения снятия кокиля после сварки покрывают внутреннюю поверхность стальных кокилей кокильной краской или мелом, разведенным водой до густоты пасты. Присадочные прутки изготовляют свиванием двух алюминиевых проволок диаметром 2 *мм*, очищенных от окиси щеткой из кардоленты.

Применение присадки из алюминиевых проволок обеспечивает быстрое их расплавление в процессе сварки. Разводят водой флюс до густой пасты, которой смазывают жилы и присадку, надевают термитный патрон так, чтобы литниковые отверстия были против стыка жил (рис. 23,*д*), уплотняют глиной или подмоткой шнуровым асбестом щели между жилами и стенками кокиля и устанавливают охладители на оголенные участки жил. Необходимо, чтобы охладители плотно зажимали жилы и между выступающими концами кокиля и охладителями был зазор не менее 5—8 *мм*. В эти зазоры устанавливают экраны из асбеста толщиной 4—5 *мм*.

Для защиты от искр при сварке на жилы за охладителями надевают полихлорвиниловые или другие трубки. Изоляцию жил, на которых не производится сварка, защищают асбестом или картоном. Производят поджигание патрона термитной спичкой, при этом одновременно вводят присадку (рис. 23,*е*). Сначала скручивают две алюминиевые проволоки, образуя присадочный пруток. Затем окончание прутка перегибают и складывают

несколько раз, чтобы обеспечить быстрое расплавление присадки в сварочной ванне. По окончании горения термитного муфеля мешалкой контролируют момент расплавления жил; одновременно перемешивая сварочную ванну, обеспечивают выход газов и шлаков. После застывания металла в литниковой трубке скалывают муфель и удаляют кокиль. При помощи клещей со специальными губками или ножовкой удаляют литниковую прибыль, заглаживают напильником неровности от сварки и места литниковой прибыли, очищают все соединение и прилегающие к нему участки жил щеткой из кардоленты и протирают их тряпкой, смоченной в бензине. Дальнейшие операции по монтажу соединительных муфт и изолированию проводов производят обычными способами.

Перевозка и хранение термитных патронов и спичек производятся по инструкциям, составленным заводами-изготовителями. Небольшие партии термитных патронов (общим весом не более 25 *кг*) и спичек (общим количеством не более 300 шт.) могут храниться на монтажных участках в заводской упаковке (в железных коробках), в общих складах и кладовых. Патроны и спички хранят отдельно в железных запирающихся шкафах.

е) Соединение и оконцевание жил пайкой

При подготовке многопроволочных жил проводов и кабелей к соединению пайкой с концов жил удаляют изоляцию: для сечений от 16 до 35 *мм*^{2} — на 50 *мм*, для сечений 50÷95 *мм*^{2} — на 60 *мм*, для сечений свыше 120 *мм*^{2} — на 70 *мм*. На оголенные концы непосредственно у края изоляции накладывают бандаж из мягкой проволоки диаметром 0,5 *мм* и производят зачистку жил. С этой целью разводят отдельные проволоки и очищают их от пропиточной массы тряпкой, смоченной в бензине, и снова скручивают; секторообразным жилам придают круглую форму. После этого снимают ступенями повивы проволок жил: для сечений до 35 *мм*^{2} делают одну ступень, для сечений от 50 до 95 *мм*^{2} — две ступени, для сечений от 120 *мм*^{2} и выше — три ступени. Первую ступень выполняют на расстоянии 40 *мм* от края изоляции, каждую последующую — через 10 *мм*. Для защиты изоляции от поджога во время пайки ее обматывают несколькими витками асбестового шнура.

До начала пайки облуживают жилы. Для облуживания и пайки применяют припой «А», состоящий из 58—58,5% цинка, 40% олова и 1,5—2% меди, имеющего температуру плавления около 400—425° С. При облу-

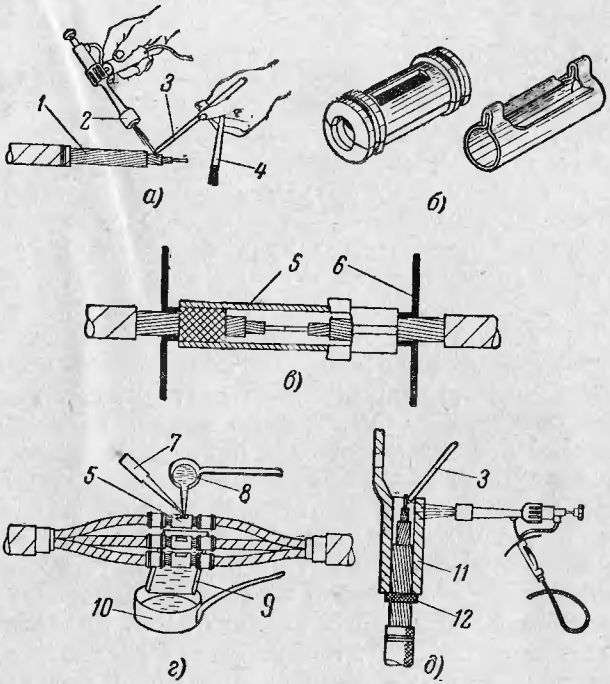


Рис. 24. Соединение и оконцевание жил пайкой.

а — облуживание жилы алюминиевого провода; *б* — разъемные формы для пайки; *в* — подготовка соединения жил для пайки; *г* — пайка методом полива; *д* — припайка наконечника.

1 — алюминиевая жила; *2* — пропано-воздушная горелка; *3* — припой; *4* — металлическая кисточка; *5* — форма; *6* — защитный экран; *7* — крючок-мешалка; *8* — чумичка; *9* — лоток; *10* — ковш; *11* — наконечник; *12* — уплотнение.

живании пламенем пропано-воздушной горелки или паяльной лампы (рис. 24,*а*) предварительно прогревают жилу до температуры, близкой к температуре плавления, затем палочкой припоя с нажимом натирают ступенчатую поверхность повивов проволок. Для лучшего покрытия одновременно стальной щеткой или кисточкой с жилы счищают пленку окиси.

Соединение и ответвления жил пайки производят в специальных разъемных формах (рис. 24,*б*) или в формах, изготовленных из кровельной стали с литниковым отверстием. Жилы устанавливают в форме впритык (рис. 24,*в*), у концов форм на жилы наматывают асбестовый шнур для уплотнения, препятствующего вытеканию припоя. Форму закрепляют на жиле специальным замком или проволокой. Для предохранения от поджога изоляции надевают защитные экраны, а при сечениях жил свыше 150 *мм*² и охладители.

Приступая к пайке, прогревают форму с введенными в нее жилами до температуры, близкой к температуре плавления припоя. Затем в пламя горелки или лампы вводят припой, который, расплавляясь, заполняет через литниковое отверстие форму. Расплавленный припой перемешивают специальным стальным крючком с деревянной рукояткой, одновременно удаляя шлак. После заполнения всей формы нагрев прекращают и легким постукиванием по форме производят усадку металла.

При соединениях многопроволочных жил кабелей сечений 120 *мм*² и выше иногда пайку выполняют методом полива (рис. 24,*г*). В этом случае применяют припой, состоящий из 85% цинка и 15% алюминия, имеющий температуру плавления 450—500° С, или припой «Б» из 80% цинка, 8% меди и 12% алюминия с температурой плавления 410—425° С. Припой предварительно расплавляют в ковше нагревом до 600° С. Вначале производят разогрев формы путем полива на нее расплавленного припоя, при этом расплав сливается по лотку в ковш. Во время полива крючком проверяют размягчение торцов жил, после расплавления которых полив прекращается. Форма во время пайки должна занимать горизонтальное положение. С остывшего соединения снимают экраны, форму, опиливают шероховатости и место пайки протирают тряпкой, смоченной бензином. Если выполняется пайка жил кабелей с бумажной изоляцией, место соединения и прилегающие к нему участки изоляции прошпаривают. При соединении проводов место пайки покрывают быстросохнущим лаком и обматывают изоляционной лентой, которую также покрывают лаком.

Методом пайки могут быть соединены наконечники с жилами провода или кабеля (рис. 24,*д*). При пайке

применяют наконечники размером на одну ступень выше сечения жилы. Это необходимо для получения зазора между жилой и гильзой наконечника для лучшего заполнения малотекучего расплава припоя. Применяют исключительно медные наконечники. Последние обеспечивают более устойчивый контакт с зажимом аппарата. Гильзу медного наконечника до пропитки предварительно облуживают припоем ПОС-60. На зачищенную и облуженную жилу провода или кабеля надевают наконечник так, чтобы центральная проволока жилы несколько выступала за венчик. У нижней части наконечника (для уплотнения) на жилу подматывают асбестовый шнур и закрепляют экран. При выполнении пайки пламя направляют на верхнюю часть наконечника и выступающую центральную проволоку жилы, нагревая их до температуры, близкой к температуре плавления припоя. Затем в пламя вводят палочку припоя «А» и, расплавляя ее, заполняют пространство между телом наконечника и жилой.

После остывания наконечника снимают экран и асбестовую подмотку накладывают на соединение изоляцию и защитное лаковое покрытие.

ж) Присоединение алюминиевых проводов к шинным магистралям сваркой

В цехах металлургических заводов и др. принята система распределения электроэнергии шинными магистралями из алюминиевых и стальных шин с ответвлением от них изолированными проводами. Обычно магистральные шинопроводы располагаются вдоль цеха на высоте (по фермам или под ними), ответвления от них спускаются вниз к щитам или другим приемникам.

Вместо оконцевания проводов наконечниками с последующим присоединением их болтами к шинам применяют глухие присоединения ответвлений, приваривая алюминиевые провода непосредственно к алюминиевой магистрали или через сталеалюминиевые переходы к стальной магистрали. Если присоединение выполняют к шинам, расположенным на плоскости, многопроволочную жилу предварительно сплавляют в монолит на длине, приблизительно равной диаметру жилы

(рис. 25,а). В случае расположения шины на ребро сплавления жилы в монолит не производят.

Присоединения выполняются в следующей последовательности: с концов проводов на длине 60 *мм* удаляют изоляцию, обезжиривают оголенные жилы тряпкой, смоченной в бензине, и стальной карчеткой зачищают шину в месте сварки.

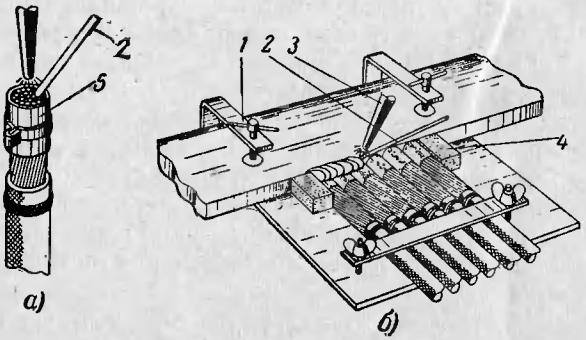


Рис. 25. Приварка ответвлений жил проводов к шинной магистрали.

а — сплавление жилы в монолит; *б* — приварка к магистрали. *1* — приспособление, укрепляемое на шине; *2* — присадка; *3* — угольный электрод; *4* — формирующие графитовые бруски; *5* — разъемная стальная форма для оплавления жил в монолит.

На магистральную шину устанавливают приспособление для сварки (рис. 25,*б*), в которое заводят концы проводов, закрепляют их и устанавливают угольные формующие бруски. Место сварки смазывают разведенным на воде флюсом ВАМИ и производят сварку угольной дугой. По окончании сварки и застывании шва снимают приспособление и стальной карчеткой тщательно очищают место сварки от шлака и остатков флюса и смазывают соединение техническим вазелином.

При присоединениях алюминиевых жил проводов к стальным магистралям провода предварительно приваривают к алюминиевой части сталеалюминиевого перехода, после чего стальную часть приваривают к стальной магистрали.

10. КОНСЕРВАЦИЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В химически агрессивных средах, в наружных установках и в сырых помещениях при болтовом контакте разнородных металлов возникает электрохимическая коррозия, которая способствует росту переходного сопротивления контакта. Коррозия может привести к разрушению соединения.

У медно-алюминиевых и сталеалюминиевых пластин электрическая коррозия развивается главным образом по поверхности стыка разнородных металлов. В сварном соединении алюминиевых проводников коррозия возникает в тех случаях, когда из зоны шва неполностью удалены остатки флюса и шлака. Наличие коррозии в алюминиевом сварном соединении характеризуется белым губчатым налетом, иногда с каплями влаги.

При болтовых соединениях, сразу после затяга болтов, наружные поверхности контактных соединений и линии швов очищают чистой тряпкой от выдавленного вазелина, затем поверхность стыка обезжиривают, протирая тряпкой, смоченной бензином или ацетоном. При сварных соединениях сварной шов и прилегающие к нему участки тщательно очищают карчеткой от остатков флюса и шлака, после чего их обезжиривают бензином или ацетоном так же, как при болтовых соединениях. Если контактные или сварные соединения будут находиться в химически агрессивной среде, в наружных установках или в сырых помещениях, то применяют защитное покрытие, предохраняющее от коррозии.

Широкое применение (в наружных установках) получила окраска мест выхода голых проводов из зажимов, а также окраска линий швов между зажимами и шинами или контактными выводами свинцовым суриком на натуральной олифе.

Для обеспечения более стойкого покрытия применяют глифталевую эмаль либо эпоксидный компаунд. В первом случае применяют эмаль ФСХ-26 термостойкую при 150° С с предварительным покрытием поверхности грунтом ВЛ-08 *. Грунт наносят после очистки и обезжиривания поверхности мягкой кистью или пульверизатором. При температуре 18—23° С грунт высыхает

---

* Допускается также покрытие глифталевой эмалью без предварительной грунтовки.

в течение 15 *мин*, после чего производят 2 раза покрытие эмалью. Время естественной сушки покрытой эмалью поверхности 24 *ч*.

Если покрытие наносят при температуре ниже +5° С, то места, подлежащие окраске, предварительно прогревают пламенем пропано-воздушной горелки или паяльной лампы до температуры 40—60° С. При подогреве поверхностей открытым пламенем соблюдают осторожность, так как грунт ВЛ-08 и эмаль ФСХ-26 пожароопасны.

Для покрытия эпоксидным компаундом применяют шпатлевку Э-4021. Шпатлевку тщательно перемешивают в течение 5—10 *мин*, после чего отвешивают количество, которое можно израсходовать на покрытие в течение 2—3 *ч*. Шпатлевку разбавляют ацетоном: для нанесения первого слоя до вязкости 17 *сек*, а для нанесения второго слоя — до вязкости 70—120 *сек*. Вязкость определяется вискозиметром типа ВЗ-4Х, который представляет собой пластмассовый цилиндрический сосуд емкостью 100±0,5 *мл*. Цилиндрическая часть сосуда переходит в конус, заканчивающийся соплом из нержавеющей стали диаметром 4±0,2 *мм* и высотой 4±0,2 *мм*. Контролируемый состав тщательно перемешивают при температуре около 20° С и дают ему отстояться в течение 5—10 *мин* для выхода пузырьков воздуха. Отверстие сопла закрывают шариковым клапаном, после чего сосуд заполняют вровень с краями шпатлевкой, разведенной ацетоном. Одновременно с открытием шарикового клапана пускают секундомер. По прекращении истечения непрерывной струей секундомер останавливают. Время истечения шпатлевки из вискозиметра служит мерой условной вязкости состава. Измерение производят не менее двух раз.

После приготовления шпатлевки необходимой вязкости в нее добавляют пластификатор в количестве 12% и отвердитель в количестве 7% веса неразведенной шпатлевки. После введения каждого компонента смесь тщательно перемешивают. В качестве пластификатора применяют дибутилфталат. Отвердителем служит полиэтиленполиамин, но может применяться и отвердитель № 1 (50%-ный раствор гексаметилендиамина в спирте). В последнем случае количество отвердителя составляет 8,5% веса неразведенной шпатлевки.

Покрытие наносят кистью или пульверизатором равномерным слоем по всей покрываемой поверхности. Первый слой толщиной 0,2—0,3 *мм*, время сушки 6—8 *ч*; второй слой толщиной 0,3—0,4 *мм*, время сушки 24 *ч*. Время полного затвердения покрытия составляет 5—7 суток. Температура окружающей среды при покрытии и сушке должна быть не ниже +10° С.

Следует иметь в виду, что в состав эпоксидного покрытия входят вещества, являющиеся токсичными, поэтому помещение, где производят приготовление состава, должно проветриваться. Работающим следует остерегаться попадания состава на кожные покровы рук и лица. Работа должна выполняться в резиновых перчатках и защитных очках.

11. ИСПЫТАНИЕ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Испытания контактов бывают приемо-сдаточные и типовые. При приемо-сдаточных испытаниях контактов обычно ограничиваются измерением электрического сопротивления или падения напряжения при прохождении по соединению тока, близкого к номинальному. В отдельных случаях по требованию приемщика производят также измерение температуры нагрева или же превышения ее над температурой окружающей среды при номинальной нагрузке контактного соединения. Пригодными для эксплуатации контактами признаются такие, у которых электрическое сопротивление не превышает сопротивления целого (приключенного) проводника длиной, равной длине контактного соединения. Для алюминиевых жил сечением до 6 *мм*^{2} при присоединении их к выводам электрооборудования в качестве нормы принимают величину падения напряжения, которая не должна быть более 7 *мв* при протекании по контактному соединению длительно допустимого тока проводника.

Нагрев контактного соединения считается допустимым, если измеренная температура при длительном протекании номинального тока составит: не более 90° С — в установках напряжением ниже 660 *в* и не более 80° С — в установках напряжением выше 660 *в*, при температуре окружающего воздуха 35° С (для жил проводов и кабелей окружающая температура принимается 25° С). В контактных соединениях алюминиевых жил

сечением до 6 *мм*² температура нагрева не должна быть выше 65° С при прохождении тока на 25% выше номинального. При несоответствии этим требованиям контактное соединение не может быть принято и подлежит перемонтажу.

При типовых испытаниях производят всестороннюю проверку новых конструкций контактных устройств или деталей к ним. Эти испытания обычно проводят при разработке контактов и освоении их производства. Типовые испытания содержат:

а) испытания на нагрев в продолжительном режиме при номинальной нагрузке, на старение при кратковременном нагреве и на термическую устойчивость при протекании токов короткого замыкания;

б) механические испытания на растяжение, на динамические воздействия и на вибростойкость (для сварных соединений, кроме того, делаются испытания на загиб);

в) испытания на коррозионную стойкость при воздействии внешней среды;

г) исследование макроструктуры.

Испытание на нагрев в продолжительном режиме при номинальной нагрузке сводится к определению максимальной температуры контактного соединения. Это испытание производят при температуре окружающей среды (воздуха) в пределах от +10 до +35° С. За температуру окружающей среды принимают среднюю из показаний 2—3 термометров, расположенных на расстоянии 1—2 *м* от испытуемого образца. Термометры должны быть погружены в стеклянные сосуды емкостью около 200 *см*³, наполненные трансформаторным маслом.

В случае наличия значительных переменных магнитных полей вблизи места измерения применяют только спиртовые термометры, так как при ртутных термометрах возможна ошибка измерений.

Измерение температуры контактного соединения производят ртутными термометрами, термометрами сопротивления и термопарами. Последние измеряют превышение температуры над температурой окружающей среды. Метод измерения с помощью термопар находит наибольшее применение. Термопару плотно прижимают к контактному соединению или же припаивают к нему. Во избежании образования контуров, в которых могут

индуктироваться электродвижущие силы, провода термопары скручивают между собой.

При испытании на нагрев контактное соединение устанавливают в нормальное рабочее положение и защищают от посторонних воздушных течений и солнечных или других тепловых излучений. Соединительные провода или шины для подвода тока применяют того же сечения, что и основной проводник. При сечениях проводников, рассчитанных на номинальные токи до 600 *а*, возникает опасность повышенного нагрева контактных соединений при протекании токов короткого замыкания. Поэтому такие контакты, кроме того, испытывают на термическую устойчивость.

При больших значениях номинальных токов благодаря массивности контактов опасный нагрев маловероятен, и испытания таких контактов на термическую устойчивость не делают.

Основным показателем оценки при испытании контактов на термическую устойчивость является температура нагрева. В табл. 23 приведены данные для выбора величины испытательного тока и продолжительность его протекания.

Таблица 23

Номинальный ток аппарата, токопровода, *а*	Ток термической устойчивости, *ка*	
	односекундный	пятисекундный
100	4	1,8
250	8	3,6
400	12	5,4
600	16	7,2

Контактные соединения при прохождении токов короткого замыкания не должны нагреваться свыше 200° С (превышение температуры над температурой окружающего воздуха 35° С составляет не более 165° С).

Испытание на старение контакта дает возможность установить рост электрического сопротивления. Оно ведется в режиме кратковременного циклического нагрева и охлаждения. Количество непрерывных циклов

с нагревом до 200° С и последующим охлаждением до 15—25° С принимается равным 30 для сжимных и прессуемых контактов и 50 для цельнометаллических соединений. Для достижения нагрева соединения до 200° С в сравнительно короткое время (в пределах 30 *мин*) испытание на циклический нагрев ведется при увеличенном против номинального значения токе. Допускается также производить нагрев в электро- или газовых печах. После каждых 5—10 циклов производят измерение электрического сопротивления охлажденного контактного соединения.

Многопроволочные жилы в местах присоединения к ним измерителей сопротивления или падения напряжения (мостики, милливольтметры) должны представлять собой монолит. Это достигается опрессовкой жилы в муфте или свариванием отдельных проволок в одно целое. Несоблюдение этого требования приводит к ошибке измерения электрического сопротивления контактного соединения.

Испытание контакта на термическую устойчивость ведется с предварительным подогревом номинальным током. Проведение испытаний на термическую устойчивость (а также и на динамическую устойчивость) требует достаточно мощного электрического источника и специального оборудования. Обычно такие испытания выполняют специализированные лаборатории.

Механические испытания на растяжение производятся на стандартных разрывных машинах со специальными клиновыми зажимами. При испытании жил проводов и кабелей необходимо применять роликовые зажимные устройства, обеспечивающие равномерное распределение тяжения на все проволоки. Прочность контактных и цельнометаллических соединений должна составлять не менее 70% прочности целого проводника независимо от способа соединения.

Испытания на загиб производят обычно только для сварных соединений шин или однопроволочных проводов с помощью пресса и оправки (радиус закругления оправки равняется двойной толщине испытуемого проводника). Эти испытания, как правило, ведутся при снятом усилении шва. В этом случае при загибе на 90° не должно обнаруживаться признаков разрушения соединения (трещин, разрывов).

Динамическую устойчивость контактного соединения проверяют одновременно с испытанием его на термическую устойчивость. Амплитудные значения токов при испытании на динамическую устойчивость приведены в табл. 24.

Таблица 24

Номинальный ток аппарата, токопровода, *а*	Ток динамической устойчивости (амплитудное значение), *ка*
100	10
250	20
400	30
600	40

Вибростойкость контактных соединений проверяют в продолжение 10 *ч* при частоте 2 000—3 000 колебаний в минуту с амплитудой колебания 1,5 *мм*. По окончании испытаний контролируют величину давления (затяг) с помощью индикаторных ключа и отвертки и определяют изменение электрического сопротивления соединения.

Испытания на коррозионную стойкость обычно производят в тумане 3%-ного раствора хлористого натрия NaCl при температуре 15—35° С в течение не менее 100 *ч*. Для специфически тяжелых условий работы в химически активной среде испытания проводят по техническим условиям по согласованной программе. После этого испытания производят наружный осмотр соединения, в результате которого оценивают степень поражения (разрушения) металла, а также определяют изменение электрического сопротивления.

В результате испытаний на циклический нагрев, вибростойкость и коррозионную стойкость сопротивление контактного соединения не должно увеличиваться более чем в 1,5 раза от своего первоначального значения, измеренного сразу после сборки.

После проведения аналогичных испытаний цельнометаллических соединений (выполненных сваркой или пайкой) сопротивление их должно оставаться неизменным.

Для выявления внутренних дефектов: пор, трещин, непроваров, раковин и других пороков производят ис-

следования макроструктуры соединений. Из сварных и прессуемых соединений обычно готовятся макрошлифы, представляющие собой разрезы соединения с полированной поверхностью, протравленной концентрированной соляной кислотой для алюминия и 5—10%-ным раствором азотной кислоты для меди. Протравленные шлифы промывают водой, после чего просматривают с помощью оптических увеличителей (линз) с трех- и пятикратным увеличением. На основании макроисследований с учетом прочности на растяжение дают оценку соединению.

Образцы соединений, прошедшие типовые испытания, не должны повреждаться (за исключением образцов, испытанных на растяжение) и должны быть пригодными для дальнейшей эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хромченко Г. Е., Соединение и оконцевание медных и алюмнниевых проводов и кабелей, Госэнергоиздат, 1962.

2. Хомяков М. В. и Якобсон И. Я., Термитная сварка многопроволочных проводов, Госэнергоиздат, 1960.

3. Хольм Р., Электрические контакты, Издательство иностранной литературы, 1961.

4. Займовский А. С. и Усов В. В., Металлы и сплавы в электротехнике, Госэнергоиздат, 1949.

5. Буйлов А. Я., Основы электроаппаратостроения, Госэнергоиздат, 1946.

6. Третьяк Т. и Лысов Н., Основы тепловых расчетов электрической аппаратуры, Госэнергоиздат, 1935.

7. Кузнецов В. А. и Оберштейн А. А., Сварные контакты в электрометаллургии алюминия, Металлургиздат, 1952.

8. Баранов И. Б., Холодная сварка пластичных металлов, Машгиз, 1962.

9. Голубева В. П., Болтовые контактные соединения медь—алюминий. «Электрические станции», 1958, № 12.

10. Паржес, Соединения алюминиевых проводов «Электротехник», 1958 (Чехословакия).

11. $\frac{\text{ВСН-3-57}}{\text{МС.РСФСР}}$ Инструкция по монтажу болтовых соединений шин и присоединений их к контактным выводам аппаратов, Госэнергоиздат, 1960.

12. $\frac{\text{МСН-11-63}}{\text{ГМСС СССР}}$ Инструкция по электродуговой сварке алюминиевых и медных шин, Издательство «Энергия», 1964.

13. $\frac{\text{ВСН-71-62}}{\text{МС.РСФСР}}$ Инструкция по соединению и оконцеванию изолированных проводов и кабелей с алюминиевыми жилами, Госэнергоиздат, 1963.

14. ГОСТ 10434-63, Зажимы контактные выводов электротехнического оборудования и их соединения с алюминиевыми проводниками. Технические требования.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение 3
2. Природа контакта 4
3. Факторы, влияющие на электрический контакт . . . 6
4. Принципы выполнения рациональных контактных соединений 14
5. Требования к конструкции контактов 20
6. Цельнометаллические соединения 23
7. Выполнение переходных деталей 28
8. Монтаж контактных соединений 39
9. Монтаж цельнометаллических соединений 48
10. Консервация контактных соединений 69
11. Испытание контактных соединений 71
Литература 77

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ

Ашкенази Г. И. и др. Электрооборудование театрально-зрелищных зданий. Госэнергоиздат, 1961 г. 35 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 57).

Демчев В. И. и Царьков В. М., Прожекторное освещение, Госэнергоиздат, 1962 г. 60 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 61). 11 к.

Дормакович П. А. и др. Изготовление и обслуживание газосветных установок. Госэнергоиздат, 1962 г. 50 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 72), 12 к.

Иевлев В. И. и Рябцев Ю. И., Монтаж трансформаторов напряжением 500 *кв*. Госэнергоиздат, 1961 г. 39 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 52), 8 к.

Каетанович М. М. Как работают провода, изоляторы и арматура линий электропередачи. Госэнергоиздат, 1962 г. 63 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 63), 13 к.

Камнев В. С. Подшипники качения в электрических машинах, Госэнергоиздат, 1960 г. 62 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 20), 15 к.

Колузаев А. М. Ремонт и обслуживание быстродействующих выключателей типа ВАБ-2. Госэнергоиздат, 1962 г. 47 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 75), 9 к.

Мусаэлян Э. С. Проверки и испытания при монтаже турбогенераторов, Госэнергоиздат, 1962 г. 79 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 66), 15 к.

Плетнев Л. Ф. Реле прямого действия, их наладка и проверка. Госэнергоиздат, 1961 г. 46 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 48).

Харитонов М. Г. Опыт обслуживания и ремонта КРУ Запорожского завода. Госэнергоиздат, 1960 г. (Б-ка электромонтера. Вып. 17), 9 к.

Чернев К. К. Обслуживание распределительных устройств высокого напряжения. Госэнергоиздат, 1961 г. 55 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 47).

Перечисленные выше книги требуйте в магазинах Книготорга. В случае их отсутствия в местных магазинах, заказ можно направить по адресу: Москва К-50, ул. Медведева 1, отдел «Книга — почтой» магазина № 8 «Техническая книга». Заказ будет выполнен наложенным платежом.

Издательство заказов на книги не принимает и книг не высылает.

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Вышли из печати

Коваленский И. В., Релейная защита электродвигателей высокого напряжения (Вып. 120)

Плетнев Л. Ф. Устройства автоматики в городских электросетях (Вып. 121).

Рябикин Б. П. Скрытые электропроводки, изд. 2 (Вып. 122)

Карпов Ф. Ф., Как проверить возможность подключения к электрической сети двигателей с короткозамкнутым ротором (Вып. 123)

Устинов П. И., Обслуживание стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов (Вып. 124)

Звенигородский И. С. и Фролов Ю. А., Стальные провода и шины в электрических сетях до 1 000 *в* (Вып. 125)

Славенчинский И. С. и Хромченко Г. Е., Пробивка отверстий и борозд в бетоне (Вып. 126)

Ключев В. И., Выбор электродвигателей для производственных механизмов (Вып. 127)

Клюев С. А., Как рассчитать электрическое освещение производственного помещения (Вып. 128)

Живов М. С., Как организовать электромонтажные работы (Вып. 129)

Богданова З. Н. и Доманский Ю. И., Ручные оправки для забивки дюбелей при монтаже электропроводов и электроизделий (Вып. 130)

Анастасиев П. И. и Фролов Ю. А., Сооружение и монтаж линий 3—10 *кв* (Вып. 131)

Каетанович М. М. и Якобсон И. А., Соединение проводов воздушных линий электропередачи (Вып. 132)

Готовятся к печати

Аберсон М. Л., Источники оперативного тока на подстанциях

Бариев Н. В., Электропривод одноковшовых экскаваторов типов ЭКГ-4 и ЭКГ-4,6

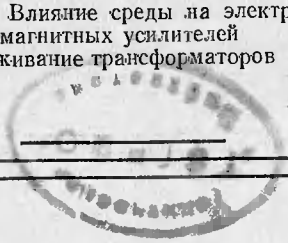
Беляева Е. Н., Как рассчитать ток короткого замыкания

Гуревич Г. И., Как паять

Карвовский Г. А., Влияние среды на электрооборудование

Урин В. Д., Наладка магнитных усилителей

Чернев К. К., Обслуживание трансформаторов



Цена 14 коп.