

Индукционная установка

для разогрева крайних ниппелей кронштейнов анододержателей

Для повышения производительности при ремонте анододержателей предлагается индукционная установка для разогрева крайних ниппелей кронштейнов анододержателей.

**Александр Белкин
Ильфат Исаков
Иван Таназлы
Александр Чапайкин
Александр Шуляк**

npp.kurai@mail.ru

Чистый алюминий получают электролизом окиси алюминия, растворенной в расплавленном криолите (AlF_3 , NaF). Установка электролиза для получения алюминия состоит из стальной ванны, выложенной внутри графитом или плитами из прессованного угля, которые являются катодом. Анодом служат несколько угольных контейнеров, в которые вставлены кронштейны анододержателей, соединенных общей шиной. Криолит необходим для понижения температуры плавления, так как окись алюминия тугоплавка. При включении тока криолит плавится и растворяет в себе окись алюминия, которая и подвергается электролизу. Процесс ведется при температуре около 1000°C , силе тока около 35000 A и среднем напряжении $4\text{--}5\text{ В}$. На катоде выделяется алюминий, а на аноде — кислород. Выделяющийся алюминий собирается на дне ванны, откуда его время от времени выпускают. По мере выделения алюминия в расплав добавляют новые порции окиси алюминия.

Одним из основных элементов установки электролиза алюминия является кронштейн анододержателя (рис. 1), имеющий вилкообразную форму и вес около 185 кг . Он состоит из тела 1 и ниппелей 2, 3, 4. Электродинамические усилия, возникающие при протекании тока через анододержатель, постепенно приводят к деформации крайних ниппелей, заключающейся в их загибе в сторону среднего на $10\text{--}20^\circ$ от первоначального положения. Чтобы восстановить параллельность деформированных ниппелей 2 и 4 (получить первоначальный размер по осям 830 мм , рис. 1), необходимо их нагреть по всему объему до температуры кристаллизации ($800\text{--}1000^\circ\text{C}$) и подвергнуть правке на прессе. В существующей ремонтной технологии нагрев ниппелей осуществляют с помощью газовых горелок, что требует большого времени и приводит к неравномерному нагреву ниппелей по сечению.

Для повышения производительности при ремонте анододержателей разработана индукционная установка для разогрева крайних ниппелей кронштейнов анододержателей, которая и рассматривается в данной статье.

Установка конструктивно состоит из тиристорного преобразователя частоты, силового нагреватель-

ного блока и дистанционного пульта управления, соединенных между собой силовыми и сигнальными кабелями, и имеет следующие технические данные:

1. Источник питания — тиристорный преобразователь частоты мощностью 320 кВт , частотой 2400 Гц , ППЧ-320-2,4.
2. Выходное напряжение преобразователя $400\text{--}800\text{ В}$.
3. Температура нагрева $800\text{--}1000^\circ\text{C}$.

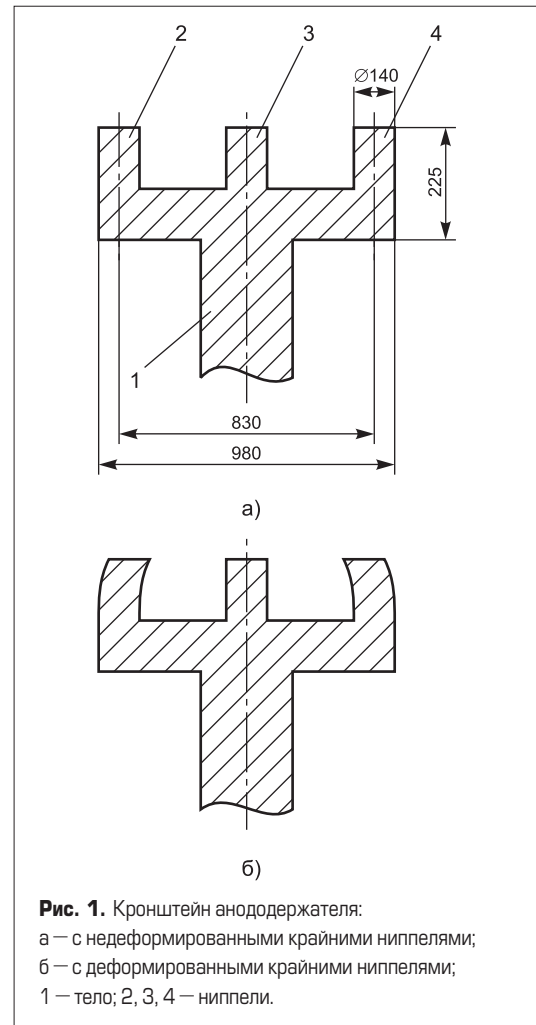
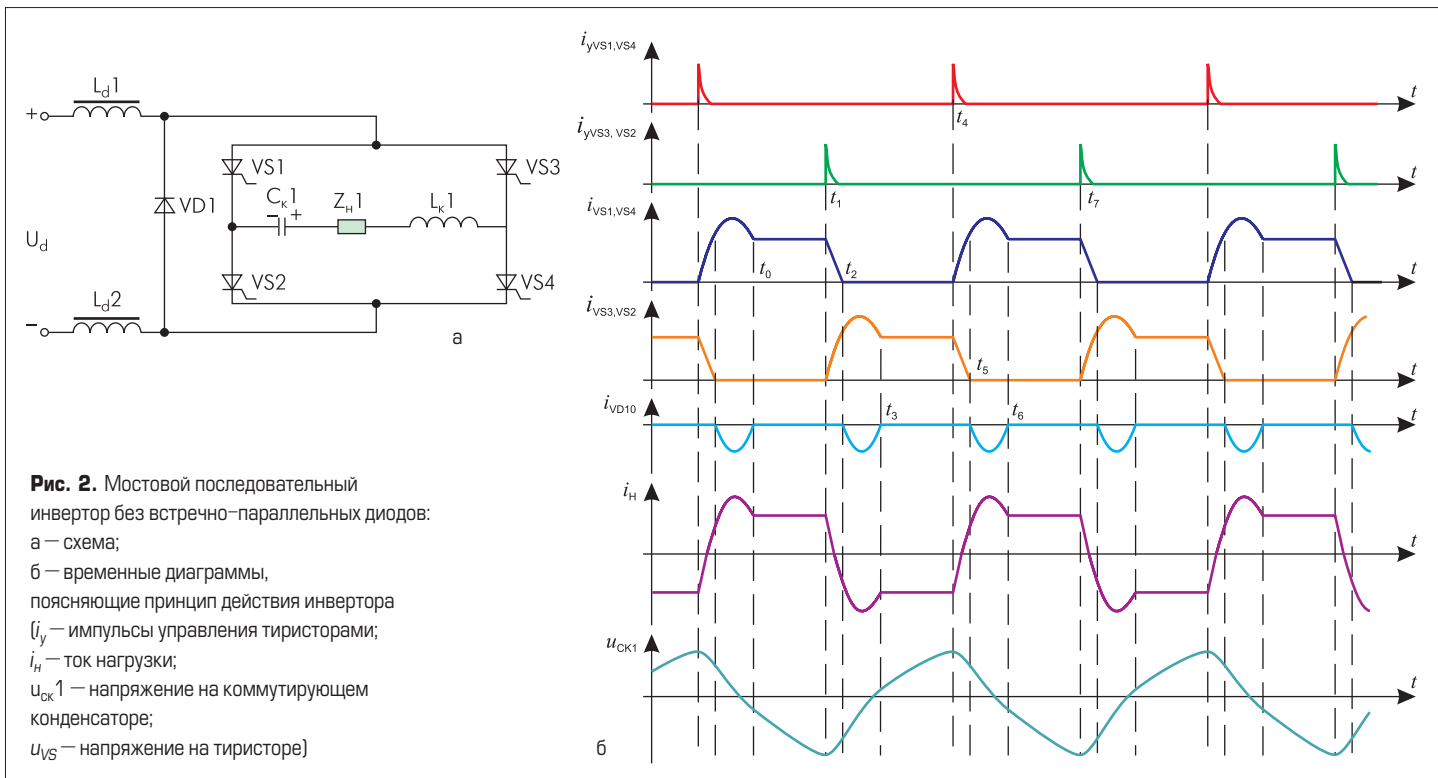


Рис. 1. Кронштейн анододержателя:
а — с недеформированными крайними ниппелями;
б — с деформированными крайними ниппелями;
1 — тело; 2, 3, 4 — ниппели.



4. Время нагрева 5–6 мин.
5. Охлаждение водяное.
6. Расход охлаждающей воды 3,0 м³/ч.

Тиристорный преобразователь частоты. Эксплуатируемые в промышленности преобразователи, выполненные на базе мостовых схем инверторов со встречно-параллельными диодами [1, 2], имеют выходное напряжение 250–300 В. Серийно же выпускаемые индукторы и конденсаторы компенсирующей батареи имеют номинальные напряжения 500, 800 или 1000 В. Поэтому при разработке тиристорного преобразователя частоты для данной индукционной установки в качестве базовой схемы инвертора была выбрана мостовая схема последовательного инвертора без встречно-параллельных диодов [3] с выходным напряжением 400–800 В.

Мостовой последовательный инвертор без встречно-параллельных диодов (рис. 2а) относится к числу однофазных резонансных инверторов тока и предназначен для преобразования постоянного тока в переменный повышенной частоты.

Плечи инверторного моста образованы тиристорами VS1 – VS4, параллельно которым подключены защитные RC-цепочки (на рис. 2а RC-цепочки не показаны). Они предназначены для снижения коммутационных перенапряжений, вызываемых обрывом тока обратного диода. Обратный диод VD1 включен параллельно мосту.

Коммутирующая диагональ инверторного моста представляет собой последовательную цепочку, состоящую из: коммутирующего конденсатора C_{K1} , нагрузки Z_{H1} и коммутирующего дросселя L_{K1} . Инверторный мост с параллельно включенным ему обратным диодом VD1 подключен через входные дроссели L_{d1} , L_{d2} к источнику постоянного напряжения (выпрямителю) U_d .

Основным достоинством данной схемы инвертора, в отличие от инверторов со встреч-

но-параллельными диодами, является увеличенное в 2–3 раза выходное регулируемое напряжение. Если у классических схем инверторов с встречно-параллельными диодами оно составляет 250–300 В, то у данного инвертора оно равно 400–800 В и сохраняет при этом высокую коммутационную устойчивость тиристоров.

На рис. 2б приведены временные диаграммы, поясняющие принцип действия инвертора.

Мостовой последовательный инвертор в квазиустановившемся режиме работает следующим образом.

Пусть к моменту времени t_0 (см. рис. 2б) коммутирующий конденсатор C_{K1} был заряжен до напряжения U_{C0} с полярностью, указанной на рис. 2а.

Параметры инвертора рассчитаны так, что процесс в нем носит колебательный характер.

При подаче импульсов управления $i_{yVS1,VS4}$ на тиристоры VS1, VS4 они включаются, и начинается перезаряд коммутирующего конденсатора C_{K1} по цепи $C_{K1} - Z_{H1} - L_{K1} - VS4 - VD1 - VS1 - C_{K1}$, формируя положительную полуволну тока нагрузки i_H .

К моменту времени t_2 коммутирующий конденсатор C_{K1} перезарядается, диод VD1 закрывается, а конденсатор C_{K1} продолжает заряжаться до напряжения U_{max} за счет протекания через тиристоры VS1, VS4 входного тока инвертора (выходного тока выпрямителя) I_d до момента времени t_3 .

В момент времени t_3 подаются импульсы управления $i_{yVS3,VS2}$ на тиристоры VS3, VS2. С включением тиристоров VS3, VS2 начинается второй такт работы инвертора, во время которого формируется обратная полуволна тока нагрузки i_H по цепи $C_{K1} - VS2 - VD1 - VS3 - L_{K1} - Z_{H1} - C_{K1}$.

К моменту времени t_6 заканчивается полный цикл работы инвертора.

Далее подаются импульсы управления $i_{yVS1,VS4}$ (момент времени t_6) на включение ти-

ристоров VS1, VS4, и в инверторе начинают протекать аналогичные процессы.

В течение промежутка времени $t_3 - t_5$, когда ток проводил диод VD1, к тиристорам VS1, VS4 было приложено небольшое отрицательное напряжение, равное прямому падению напряжения на диоде VD1, и тиристоры VS1, VS4 восстанавливают свои управляющие свойства.

В течение промежутка времени $t_6 - t_7$ восстанавливают свои управляющие свойства тиристоры VS3, VS2.

Таким образом, в течение одного цикла работы всех тиристоров и диода в нагрузке получаем один период выходного тока.

На базе данного инвертора разработан тиристорный преобразователь частоты (рис. 3) для индукционной установки разогрева крайних ниппелей кронштейнов анододержателей, который состоит из следующих основных частей:
 а) силовой части;
 б) пускового устройства;
 в) блока управления и защиты.

Преобразователь имеет защиту от перегрузок по току, от срывов инвертирования, от короткого замыкания выпрямителя, от перенапряжений на элементах силовой схемы, от превышения допустимой температуры силовых элементов и прекращения подачи воды.

Для генерирования управляющих импульсов и распределения их в заданной последовательности по тиристорам, а также для снятия этих импульсов в аварийных ситуациях используется блок управления и защиты. В него входит также устройство, позволяющее вручную или автоматически производить регулирование выходных параметров преобразователя, обеспечивая необходимый режим заданного технологического процесса.

Конструктивно тиристорные преобразователи мощностью 160, 250 и 320 кВт собираются в металлических шкафах с габаритными размерами 800×800×2000 мм на базе унифицированных полупроводниковых блоков, ти-

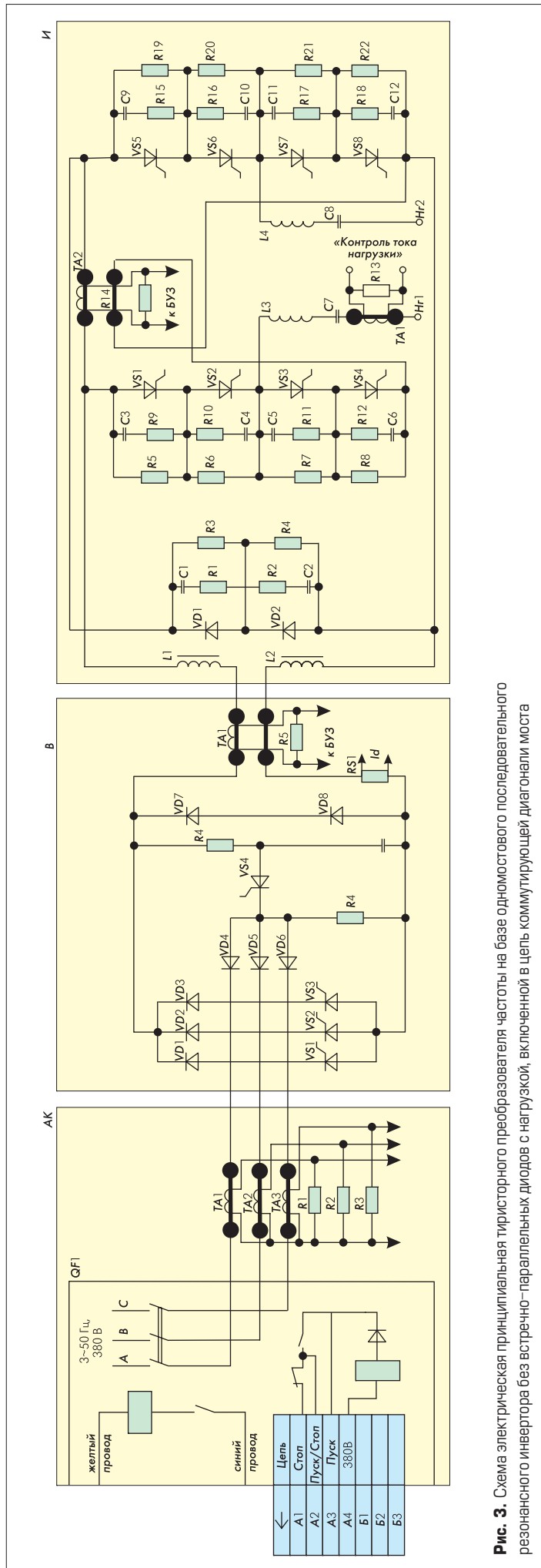


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная тиристорного преобразователя частоты на базе однофазного последовательного резонансного инвертора без встречно-параллельных диодов с нагрузкой, включенной в цепь коммутационной диагонали моста

Таблица. Полупроводниковые приборы в преобразователях на базе мостового инвертора без встречно-параллельных диодов

Тип преобразователя	Узел	Тип полупроводниковых приборов
ППЧ-160-2,4	Выпрямитель	T133-320-12
	Диод инвертора	ДЧ143-320-20
	Тиристор защитный	ТБ161-160-12-433
	Инвертор	ТБИ143-400-12-543
ППЧ-250-2,4	Выпрямитель	T143-500-12
	Диод инвертора	ДЧ143-400-20
	Тиристор защитный	ТБ161-160-12-433
	Инвертор	ТБИ443-630-12-543
ППЧ-320-2,4	Выпрямитель	T143-500-12
	Диод инвертора	ДЧ143-630-20
	Тиристор защитный	ТБ161-160-12-433
	Инвертор	ТБИ443-630-12-543
ППЧ-320-1,0	Выпрямитель	T143-500-12
	Диод инвертора	ДЧ143-630-20
	Тиристор защитный	ТБ161-160-12-433
	Инвертор	ТБИ443-400-12-543

пы используемых полупроводниковых приборов в которых приведены в таблице.

Силовой нагревательный блок представляет собой компактный металлический шкаф с индуктором. Внутри шкафа расположены трансформатор типа ТЗ4-800, компенсирующие конденсаторы типа ЭЭВК-0,8-2,4 и водоохлаждаемые шинопроводы.

Управление установкой производится с панели управления тиристорного преобразователя частоты либо с дистанционного пульта управления в режиме ручного задания мощности или с использованием внешнего регулятора температуры, для подключения которого имеется стандартный вход.

Установка снабжена системой автоподстройки частоты и стабилизации напряжения (тока) нагрузочного контура при изменении параметров нагрузки и питающей сети, а также быстродействующей системой защиты и диагностики основных узлов установки.

Нагрузочный колебательный контур. Нагрузочный колебательный контур Н1 состоит из индуктора $L_{н1}$, выходного согласующего трансформатора Т1 и компенсирующей батареи конденсаторов $C_{н1}$.

Индуктор (рис. 4) $L_{н1}$ состоит из двух катушек индуктивности (рис. 5), которые соединены между собой параллельно с помощью двух водоохлаждаемых шин 6, подключаемых к выводам вторичной обмотки выходного согласующего трансформатора.

Каждая катушка 1 (рис. 5) изготавливается из медной трубки 2 диаметром 16×1,5 мм и изолируется в два слоя. Первый слой изоляции формируется микалентой ЛФК-ТТ толщиной 0,21 мм, а второй слой — липкой электроизоляционной лентой на базе компаунда ЛПСППЛ толщиной 0,19 мм.

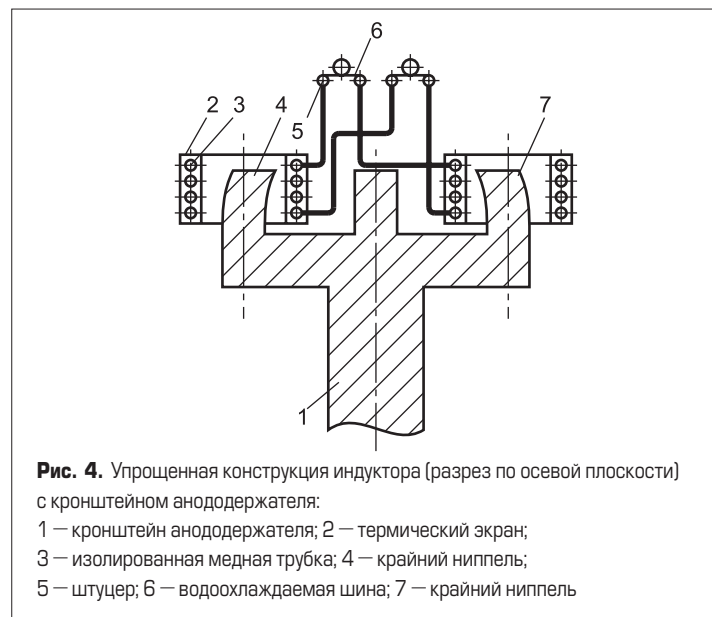
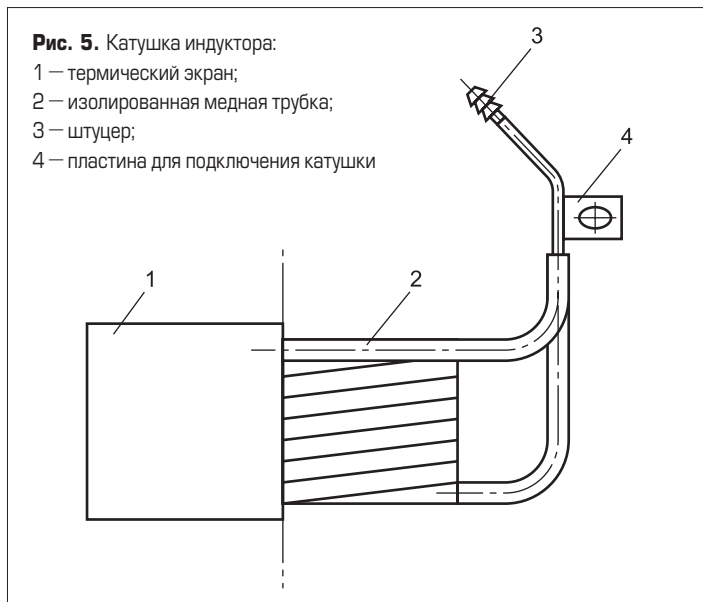


Рис. 4. Упрощенная конструкция индуктора (разрез по осевой плоскости) с кронштейном анододержателя:

- 1 — кронштейн анододержателя; 2 — термический экран;
- 3 — изолированная медная трубка; 4 — крайний ниппель;
- 5 — штуцер; 6 — водоохлаждаемая шина; 7 — крайний ниппель



Ленту накладывают в один слой с перекрытием $1/2$ ширины ленты. Катушка индуктивности однослойная и имеет 6 витков. Витки стянуты между собой лентой ЛСППЛ-ТУ16-503.135-79.

Для электрического подключения катушки к ее выводам припаиваются пластины 4, а для подвода и отвода охлаждающей воды напаяются штуцеры 3.

Кроме того, для защиты от высоких температурных полей нагреваемых ниппелей каждая катушка индуктора имеет термический экран, состоящий из двух слоев: первый слой — асбестовый картон толщиной 5 мм, а второй слой — суперсил М2 толщиной 20 мм.

Катушки L_1 и L_2 электрически соединяются между собой параллельно с помощью водоохлаждаемых шин 6 (рис. 4), образуя индуктор. Конструкцией предусмотрена регулировка положений катушек индуктора для обеспечения его соосности с нагреваемыми ниппелями.

Конденсаторы подключаются к шинам с помощью гибких перемычек из медных пластин. С одной стороны к шинам подключается тиристорный преобразователь частоты, а с другой — первичная обмотка выходного согласующего трансформатора.

Выходной согласующий трансформатор. Для согласования параметров тиристорного преобразователя частоты с параметрами нагрузочного контура и обеспечения гальванической развязки индуктора от преобразователя в установке использован выходной согласующий трансформатор типа ТЗ4-800, который серийно выпускается промышленностью.

Индукционная установка работает следующим образом.

Деформированные крайние ниппели 4, 7 кронштейна анододержателя 1 помещают в катушки индуктора 2 (рис. 4) и включают преобразователь. Через 4–5 мин, после того как крайние ниппели под действием электромагнитного поля индуктора разогреются до требуемой температуры, преобразователь выключают. Кронштейн анододержателя с нагретыми деформированными ниппелями подают на пресс с помощью специального приспособления, выравнивая их до первоначального положения (до получения заданного межосевого расстояния). На этом технологический цикл правки изделия завершается, и начинается подготовка к установке в индуктор следующего анододержателя.

В настоящее время данная установка успешно эксплуатируется на одном из металлургических предприятий России.

Литература

1. Кацнельсон С. М. Анализ электромагнитных процессов в мостовом тиристорном инверторе со встречно-параллельными диодами и удвоением частоты: Тиристорные преобразователи частоты для индукционного нагрева металлов. Уфа: Изд-во УАИ. 1971. Вып. 1.
2. Белкин А. К., Горбатков С. А., Гусев Ю. М. и др. Разработка и проектирование тиристорных источников питания. М.: Энергоатомиздат. 1994.
3. Белкин А. К., Костюкова Т. П., Рогинская Л. Э., Шуляк А. А. Тиристорные преобразователи частоты. М.: Энергоатомиздат. 2000.