

Доцент, кандидат технических наук Д. А. Люкевич, доцент, кандидат технических наук В. Г. Кононенко, инженер С. И. Герман.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ БАНДАЖНЫХ ЛЕНТ ДИАФРАГМ ТУРБИН ИЗ СТАЛИ МАРКИ Ж-1

Диафрагмы паровых турбин являются одним из важнейших элементов, обеспечивающих гарантированный расход пара и в этом смысле в значительной степени определяют КПД турбин; поэтому производству диафрагм предъявляют весьма высокие требования.

Сварные диафрагмы, как известно, представляют конструкцию, в которой лопаточный аппарат при помощи сварки соединяется с телом и ободом диафрагмы. Промежуточным элементом для установки лопаток и последующей их приварки являются бандажные ленты. Таким образом, точность изготовления бандажных лент в значительной степени определяет точность установки лопаток.

Обычный способ изготовления бандажных лент состоит из раскроя материала на плоские секции, прошивки отверстий для установки лопаток методами холодной штамповки, гнба секций по радиусам диафрагм и распиловки окон для установки лопаток в тех случаях, когда последние имеют некоторый угол наклона.

Недостатками существующего способа являются:

- а) невозможность штамповки с большей точностью отверстий в бандажных лентах толщиной $9 \div 10$ мм;
- б) искажения бандажных лент, вызываемые штамповкой-вырезкой плоских заготовок и последующей гибкой;
- в) необходимость правки и последующей распиловки окон для установки лопаток.

Применение электроискровой прошивки устраняет указанные недостатки и обеспечивает получение бандажных лент большой толщины, что позволит не только значительно повысить качество и точность изготовления сварных диафрагм, но и значительно облегчит технологические трудности, связанные с приваркой тонких $5 \div 6$ мм бандажных лент к массивам тела и ободу диафрагм. Наряду с этим получение точных бандажных лент большой толщины позволит заменить ручную сварку автоматической, а в тех случаях, когда тела и ободья диафрагм изготавливаются из углеродистой стали, позволит экранировать лопаточный аппарат наплавкой защитного слоя на торцы лопаток, устанавливаемые в окна бандажных лент, и заменить сварку нагорячо с подогревом до $300 \div 400^\circ$ сваркой в обычных производственных условиях.

Применение электроискрового метода позволяет получить бандажные ленты сварных диафрагм заданной толщины при большой точности прошитых окон. При этом прошивка бандажных лент может производиться на заготовках, имеющих необходимую кривизну, и без последующей распиловки вручную окон для установки лопаток.

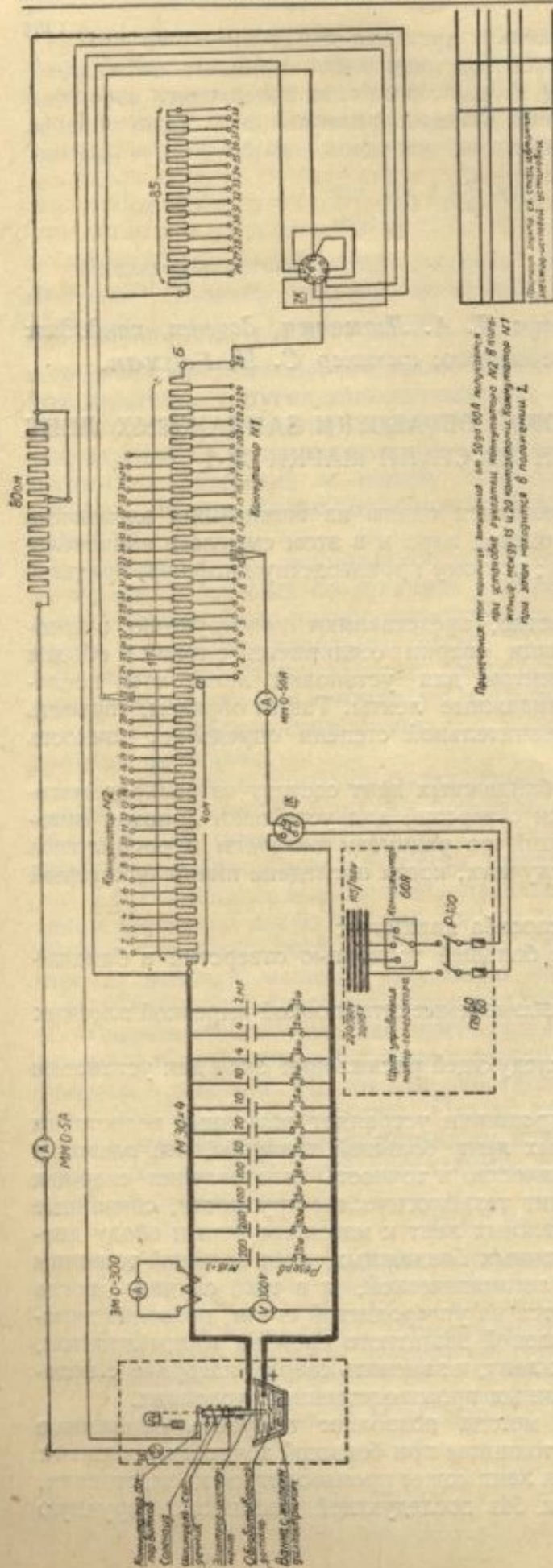


Рис. 1. Принципиальная схема электроискровой установки.

Ниже излагаются данные экспериментального изучения электроискровой обработки для прошивки бандажных лент сварных диафрагм из стали марки Ж-1¹⁾.

Экспериментальная установка и режимы обработки

В основу электроискрового (электроэрозионного) способа обработки металлов, предложенного Б. Р. Лазаренко, положено, как известно, явление направленного переноса материала электрода при возникновении между электродами электрического искрового разряда.

Принципиальная схема установки изображена на рис. 1.

На рис. 2 представлен общий вид опытно-производственной установки. Её основными частями являются:

- а) источник постоянного тока;
- б) пульт управления и
- в) электроискровой станок.

Источником постоянного тока служит мотор-генератор мощностью $N = 12 \text{ кв}$, напряжением $V = 220 \text{ в}$.

В качестве исходного оборудования для электроискрового станка принят горизонтально-фрезерный станок. С целью удобства, шпиндель снят, а на хобот станка установлен кронштейн, несущий на себе рабочую головку типа соленоидный плавающий шпиндель, то есть соленоид и шпиндель с держателем инструмента — катода, а также специальный стол для удержания и перемещения на шаг испытуемого образца или обрабатываемой ленты (стол для прошивки согнутых лент

¹⁾ Работа выполнена в порядке сотрудничества между ХАИ и ХТГЗ им. С. М. Кирова.

имеет принципиально такую же конструкцию). На столе фрезерного станка устанавливается ванна с диэлектриком (рабочей жидкостью).

Электрическая часть станка, обслуживающая работу рабочей головки, составляет пульт управления, состоящий из батареи конденсаторов, набора сопротивлений, измерительных приборов и прочего.

Выбор оптимального режима обработки стали Ж-1 производился путём изменения ёмкости конденсаторной батареи в пределах $140 \div 500$ мкф и силы тока короткого замыкания — $10 \div 40$ а. Было отмечено, что при меньших значениях ёмкости и силы тока короткого замыкания производительность процесса меньшая, в то время как качество обработки поверхности улучшается. Увеличение силы тока при малых значениях включённой ёмкости приводит к значительному износу катода при незначительном ускорении процесса прошивки.

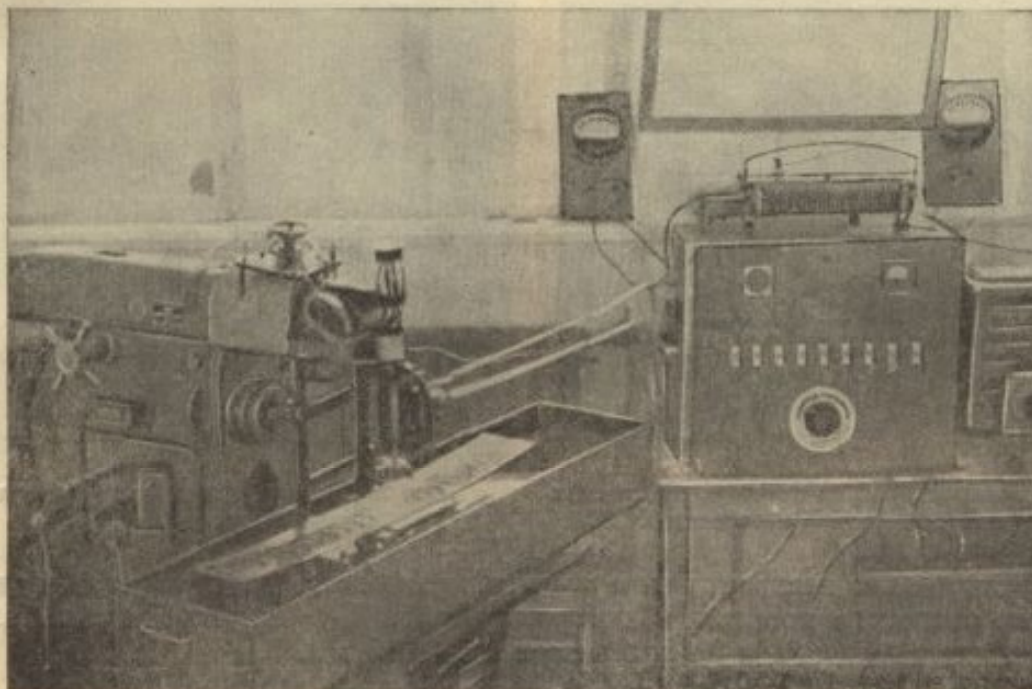


Рис. 2. Общий вид электрон스크овой установки.

Экспериментально было установлено, что оптимальным режимом, которому соответствует наибольшая производительность и наименьший износ катодов, является следующий: величина включения ёмкости — $450 \div 500$ мкф, сила тока короткого замыкания — $38 \div 40$ А, причём работа соленоида должна быть полностью отрегулирована, особенно к моменту, когда значительная часть катода изнашивается.

При этом режиме обработки время прошивки наибольших отверстий в бандажных лентах толщиной 6 мм составляет $7 \div 8$ минут, объём изношенной части катодов из меди марки М-3 составляет 35% от объёма выработанного металла ленты.

Кроме того, была произведена прошивка производственного комплекта бандажных лент турбины, принятого техническим контролем, подтвердившая правильность экспериментальных данных и доказавшая целесообразность применения данного метода в производстве.

Влияние электрон스크овой обработки на микроструктуру и твердость стали

С целью установления влияния электрон스크овой обработки на структуру нержавеющей стали было произведено исследование материала бандажных лент до и после прошивки отверстий.

Пользуясь методами металлографического анализа и замером микротвёрдости, произведено исследование структурных изменений и твердости обработанного на оптимальном режиме слоя.

На рис. 3 показана микроструктура образца; хорошо виден изменённый обработкой слой.

Измерение твёрдости отдельных горизонтов (см. рис. 4 и 5), выполненное на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 граммов, показывает увеличение твёрдости изменённого обработкой слоя.

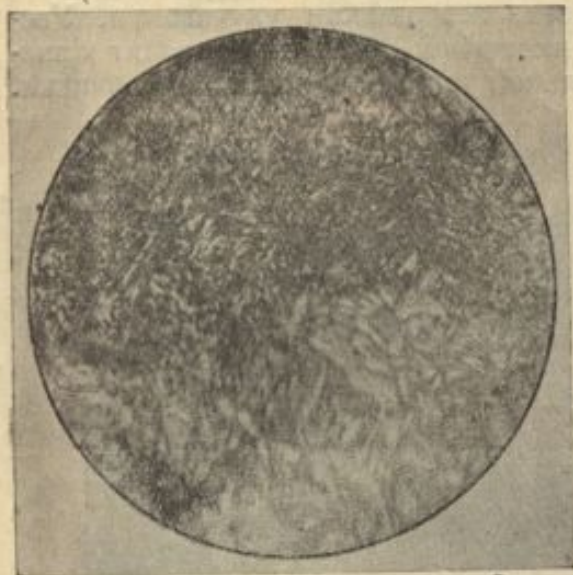


Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя после электроискровой обработки X 230.

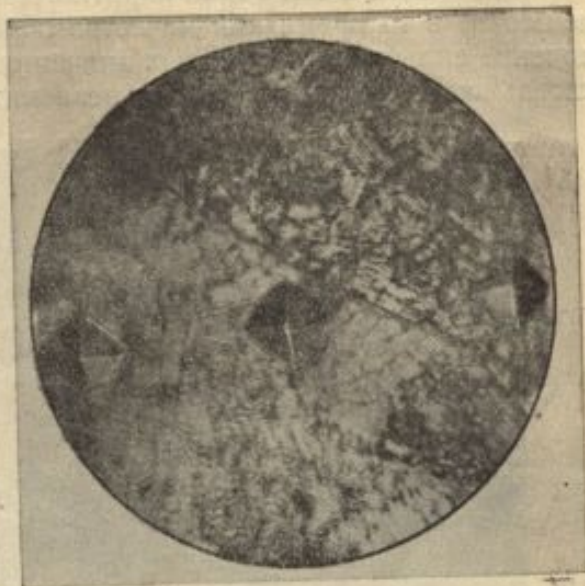


Рис. 5. Сечение поверхности замера микротвёрдости X 450.

Сравнительно незначительное изменение твёрдости происходит благодаря высоким скоростям процесса и химсоставу стали Ж-1; при этом глубина изменённого слоя невелика и не превышает 0,1—0,15 мм.

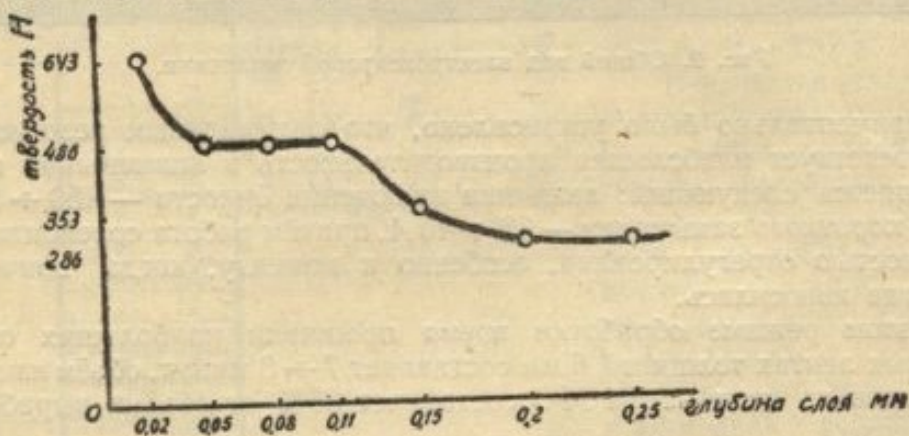


Рис. 4. Изменение микротвёрдости поверхностного слоя после электроискровой обработки.

Указанные изменения структуры и твёрдости не требуют термической обработки бандажных лент после прошивки и не могут затруднить слесарную обработку и сварку.

Произведенное с помощью двойного микроскопа Линника изучение характера профиля мест электроискровой обработки (см. рис. 6) показало, что наибольшее абсолютное значение высоты неровностей достигает 70 микрон,

что соответствует « $\nabla 2$ » и техническим условиям на детали, поступающие на сборку-сварку.

Рассмотрев под микроскопом «стружки» (см. рис. 7), выпадающие в диэлектрик, заметили, что некоторая часть их представляет собой шароподобные образования с блестящей поверхностью и следами оплавления, другая — мелкие иглоподобные с неровными краями осколки.

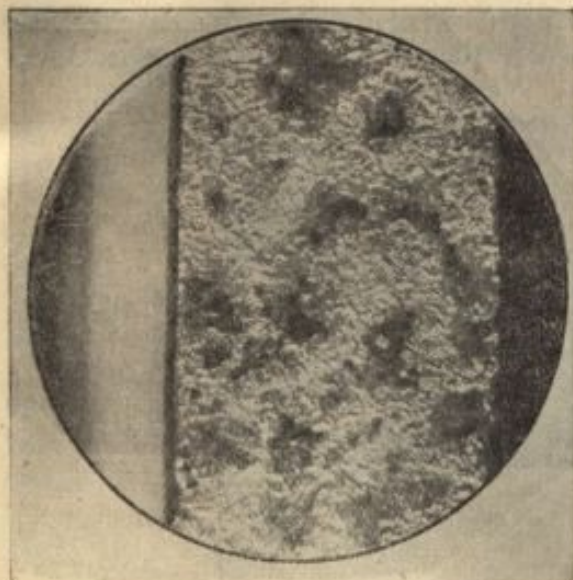


Рис. 6. Макрофотография поверхностного слоя после электроискровой обработки.



Рис. 7.

Наличие «стружек» в рабочей жидкости является причиной снижения электрической прочности диэлектрика и производительности процесса. Поэтому требуется смена диэлектрика.

Конструкция и материал катодов

Сложность контура отверстий под лопатки обуславливает трудность изготовления катодов. Как более простая в производстве, принята составная трубчатая конструкция катодов (см. рис. 8). Соединение частей катодов необходимо производить материалом того же или близкого состава. Так, катоды из медной композиции с графитом или латунные надо паять латунию.

Если производить пайку, например, оловом, износ катода получается неравномерным.

Толщина стенки катодов определена экспериментально из условий износа их и производительности.

Было замечено, что при малой толщине стенки износ катодов по высоте велик. Значительная толщина стенки (а тем более сплошное сечение катодов) приводит к снижению плотности тока, а следовательно, и к падению производительности процесса.

Оптимальным значением толщины стенки катода при работе на оптимальном режиме обработки принято значение, равное $1,4 \pm 0,2$ мм.

Поскольку в полости катода из-за нагрева собираются пары диэлектрика, необходимо обеспечить им свободный выход, в противном случае катод, находясь под давлением паров, отходит от изделия, и процесс затягивается. Поэтому необходимо при креплении инструмента к шпинделю рабочей головки оставить открытым верхний край катода либо иметь несколько отверстий вдоль образующей. Но лучше всего применять принудительный отсос паров

и диэлектрика со «стружкой». Это ускоряет процесс электронской обработки, примерно, на 7—8%.

Наружный контур катода изготавливается точно по шаблону; чистота поверхности его должна соответствовать $\nabla\nabla 4$; внутренняя поверхность дополнительно не обрабатывается.

Критерием выбора материала для катодов является производительность процесса и возможно меньший их износ.

При оптимальном режиме обработки были испытаны катоды из следующих материалов: малоуглеродистой стали (ст. 10 и ст. 20), медь марки М-3,

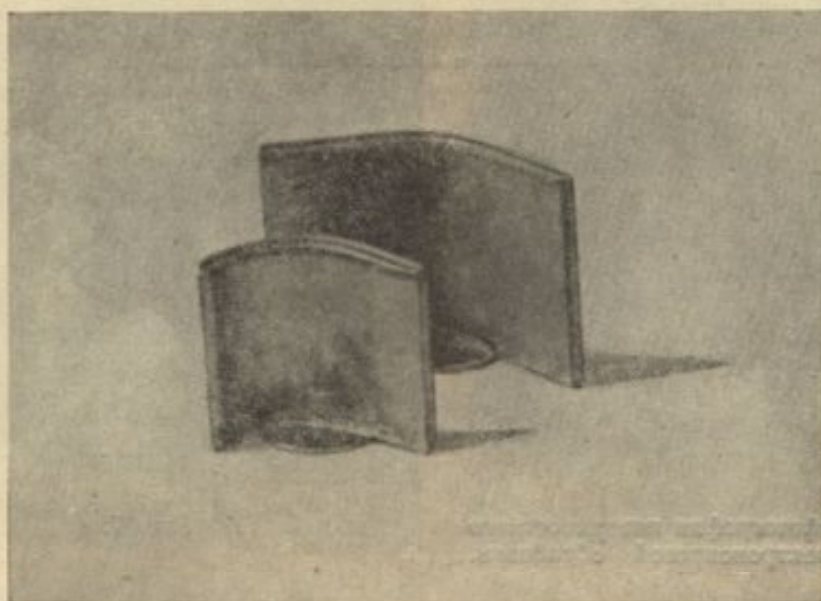


Рис. 8. Общий вид катодов для прошивки отверстий в бандажных лентах.

латунь (ЛС-59-1 и Л-62), алюминия и его сплавов (А-99, АМЦ, Д1, Д16), специальных сталей (30ХГСА, Я1Т, ЭИ-100) и меднографитовой композиции, используемой для щёток электрических машин.

Установлено, что при прошивке стали марки Ж-1 толщиной до 8 мм наибольший износ имеют катоды из спецсталей, наименьший — из меднографитовой массы и меди. Несколько большим износом характеризуются медные сплавы, алюминий и его сплавы, далее — малоуглеродистые стали. Так, износ меднографитовой массы и меди составляет, примерно, 34% объёма, снятого обработкой металла; алюминия и его сплавов — 70—80%; металлоуглеродистых сталей — 105%, а спецсталей (особенно катодов из стали 30ХГСА) — 250—300%.

Наибольшей производительностью обладают катоды из меднографитовой массы и меди — 325 мм³/мин, латуни ЛС-59-1 и Л-62 — 300 и 240 мм³/мин.

Необходимо заметить, что катоды из меднографитовой композиции, указанные выше, обладают хрупкостью в процессе обработки.

Поэтому в качестве материала для катодов при электронной обработке стали марки Ж-1 можно рекомендовать медь, латунь ЛС-59-1 и неразрушающуюся меднографитовую композицию [1], [2], применение которой хорошо ещё и потому, что изготовление катодов из неё с помощью прессформ представляет простую нетрудоёмкую операцию, которую можно рекомендовать для использования в промышленных условиях.

Выбор рабочей жидкости (диэлектрика)

Для исследования были приняты в качестве диэлектриков трансформаторное масло, керосин и дистиллированная вода.

Экспериментом установлено, что вне зависимости от толщины прошиваемых лент (стали Ж-1) время обработки в трансформаторном масле и в керосине одинаковое.

Произведенный замер величины полученных отверстий показал, что в случае использования в качестве диэлектрика трансформаторного масла «разбивка» отверстий больше, нежели в керосине, примерно, на 20% и достигает 0,25 мм. Заметим, что «разбивка» отверстий зависит от режима обработки, материала диэлектрика, рода материалов катода и анода (изделия) и почти не зависит от абсолютных размеров отверстий.

Применение дистиллированной воды целесообразно в случае прошивки тонких листов (до 4 мм), причём время и качество обработки такие же, как и в случае применения керосина.

Однако следует иметь в виду, что обработка в воде способствует коррозии поверхностей изделия. Поэтому воду можно применять для материалов, не боящихся коррозии в присутствии влаги.

Прошивка листов большей толщины требует частой смены воды, что делает её практически неприменимой для обработки.

Таким образом, для получения отверстий в бандажных лентах следует применять керосин, тем более, что обработка в трансформаторном масле сопровождается вредными пароиспарениями. Использование керосина требует соблюдения правил противопожарной безопасности.

В ы в о д ы

Полученные данные исследования электрон스크ровой обработки бандажных лент из стали марки Ж-1 показывают возможность и целесообразность промышленного применения электрон스크ровой прошивки бандажных лент для диафрагм турбин.

Л и т е р а т у р а

1. Б. Р. Лазаренко, И. И. Лазаренко. Электронскровая обработка металлов.
2. Э. А. Куцин. Электронскровой способ обработки металлов.
3. Е. М. Левинсон, Е. И. Владимиров. Электронскровые установки.
4. Проектные материалы Гипроавиапрома.
5. Отчёт о выполненной работе.