

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование кафедры)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Технология и оборудование для пайки

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Состояние и проблемы применения пайки в АО «Тяжмаш»

Студент

И.В. Туманова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.Ю. Краснопевцев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., профессор Б.Н. Перевезенцев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«___» _____ 20__ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

д.т.н., доцент В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«___» _____ 20__ г.

Тольятти 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	3
1 Состояние вопроса	6
1.1 Способы получения неразъемных соединений в АО «Тяжмаш»	6
1.2 Особенности, преимущества и недостатки пайки	16
1.3 Задачи магистерской диссертации.	23
2 Анализ номенклатуры паяных изделий в АО «Тяжмаш».	24
2.1 Пайка инструмента.	25
2.2 Основы индукционного нагрева.	27
2.3 Оборудование для пайки инструмента на АО «Тяжмаш».	44
2.4 Пайка элементов в электрошкафах управления.	48
3 Родственные процессы пайки и сварки в АО « Тяжмаш»	58
4 Модернизация технологического процесса.	64
5 Расширение номенклатуры паяных изделий в АО « Тяжмаш».	76
Заключение.	92
Список использованных источников.	93

ВВЕДЕНИЕ

Становление и развитие Сызранского завода тяжёлого машиностроения АО «Тяжмаш» неразрывно связано с важнейшими вехами в истории нашей страны и Самарской области. Рождённый в первый год Великой отечественной войны, он наряду с другими флагманами советской промышленности, благодаря самоотверженному труду инженеров и рабочих, превратился в кузницу оружия победы. Коллектив «Тяжмаш» справляется с задачами любой сложности и в мирное время. Сумев выстоять на непростом этапе реформирования российской экономики, завод стал одним из ведущих современных предприятий по производству крупногабаритного оборудования для оборонно-промышленного комплекса, энергетики, чёрной и цветной металлургии, химической, нефтеперерабатывающей и космической отраслей промышленности. Сызранские гидротурбины работают в Заполярье, других регионах Российской Федерации, в Азербайджане, Узбекистане, Киргизии. Большинство тепловых электростанций республик и областей России, стран СНГ, а также ряда государств дальнего зарубежья оснащены оборудованием производства АО «Тяжмаш». Уникальные агрегаты и ленточные конвейеры тяжёлого типа, произведённые в Сызрани, используются на крупнейших металлургических заводах страны.

Непосредственное отношение АО «Тяжмаш» имеет к освоению и изучению космоса. Конец 50-х годов стал началом космической эры. На «ТЯЖМАШ» создаётся специальный отдел, работающий в данном направлении. Пусковые комплексы, оборудованные заводскими агрегатами, сегодня используются на космодромах Байконур, Плесецк и Восточный для запуска космических пилотируемых и грузовых кораблей, искусственных спутников Земли [1]. В рамках программы космического сотрудничества между Россией и Францией АО «Тяжмаш» изготовило оборудование стартового комплекса для монтажно-испытательного комплекса Гвианского космического центра «Куру».

Производство оснащено всем необходимым оборудованием, постоянно идёт его модернизация и внедрение современных технологических процессов, что позволяет в кратчайшие сроки осваивать выпуск новых видов изделий. Завод заслужил признание и наладил деловые связи практически на всех континентах. Безупречная репутация АО «Тяжмаш» объясняется, прежде всего, наличием высококвалифицированных специалистов и замечательных тружеников, высоким качеством продукции, надёжностью, долгим сроком эксплуатации и высокой ремонтпригодностью.

Постоянно поддерживать высокий уровень технических и технологических разработок в соответствии с мировыми стандартами предприятию удастся благодаря активному сотрудничеству с научно-исследовательскими институтами и высшими учебными заведениями страны, а также со специалистами зарубежных фирм [2].

Актуальность темы исследования.

В монографиях и справочниках по пайке, изданных до настоящего времени, содержится достаточно большой объём разнообразных сведений о припоях, флюсах, газовых средах для пайки, способах и технологиях пайки различных материалов, прочности паяных соединений и их конструировании [11]. «Несмотря на это, пайке и совершенствованию ее технологии уделялось крайне мало внимания, а зачастую ее считали устаревшим процессом, который в ближайшее время будет полностью заменен сваркой. Эти утверждения ошибочны и необоснованны, делаются они без анализа и объективной оценки повседневных потребностей производств, где пайка и сварка не могут противопоставляться, а призваны дополнять друг друга, непрерывно совершенствоваться и разумно применяться» [9, с. 3-4].

Как правило, предприятия тяжёлого машиностроения, применяют пайку для очень узкого круга изделий. Это обусловлено устаревшим оборудованием и технологией, отсутствием стандартизированных правил применения материалов и проведения процессов, отсутствием современной методической литературы, дефицитом специалистов, примитивизацией промышленного производства,

исчезновением и деградацией производств некоторых сплавов. Предприятие АО «Тяжмаш» не является исключением, при этом потребность в соединении деталей с помощью пайки на заводе не уменьшается и более того есть все условия для развития пайки и расширения номенклатуры паяных изделий. Для многих пайка — технология соединения материалов. Однако при правильном использовании пайка — это мощный инструмент ведения бизнеса, позволяющий снизить расходы, повысить производительность и качество продукции. Пайка является перспективным технологическим процессом, значение которого будет возрастать с расширением применения легированных сталей, специальных сплавов.

Роль пайки в тяжёлом машиностроении сложно приуменьшить. Этот прогресс будет идти как по линии разработки новых видов пайки, припоев, флюсов, газовых сред, способов нагрева, средств механизации и автоматизации, так и по линии раскрытия природы пайки и выявления не известных еще возможностей этого технологического процесса.

Целью магистерской диссертации является поиск возможностей расширения номенклатуры и повышение качества паяемых изделий.

1 Состояние вопроса

1.1 Способы получения неразъёмных соединений в АО «Тяжмаш»

Предприятие тяжёлого машиностроения АО «Тяжмаш» - это крупнейшее промышленное предприятие, требующее больших капиталовложений и трудозатрат, выпускаемая продукция сложна конструктивно и технологически. Ассортимент продукции предприятия постоянно совершенствуется и расширяется, что определяется современным темпом развития научно-технического прогресса и возрастающей силой конкуренции. В настоящее время АО «Тяжмаш» выпускает следующие виды продукции:

- оборудование для горнодобывающей, металлургической и строительной промышленности [4];
- цементная промышленность [4];
- конвейерное оборудование;
- оборудование для тепловых станций;
- оборудование для атомных электростанций [4];
- оборудование для гидроэлектростанций [4];
- специальное оборудование [4].

Продукция АО «Тяжмаш» характеризуется широкой номенклатурой и значительными, а подчас уникальными размерами и весом как отдельных деталей, так и собранных машин. Эти особенности определяют выбор способа получения неразъёмного соединения. К неразъёмным соединениям относятся такие, разъединение которых невозможно без разрушения соединённых элементов изделия. Из этой группы соединений применяют сварные, паяные, реже клееные и заклепочные, а также соединения, получаемые деформацией соединяемых деталей (обжимкой, кернением, развальцовкой). В ряде случаев размеры и масса отдельных деталей машин и элементов конструкций достигают десятков метров и тонн. Зачастую это делает невозможным их монолитное изготовление. Перед конструкторами и технологами поставлены сложные задачи

создания крупных деталей и конструкций при высоких требованиях к их прочности при статических, ударных и переменных нагрузках. В этом случае решением этой непростой задачи является разделение крупной сложной детали на более простые по форме заготовки гораздо меньшего веса с последующим соединением способом, отвечающим высоким требованиям, предъявляемым к прочности конструкции. Поэтому при выборе способа получения неразъёмного соединения необходимо учитывать условия, в которых будут работать изделия. К таким условиям относятся нагрузка, температура, среда и т.п. Так же при выборе способа соединения необходимо учитывать особенности технологий и их трудоемкость.

Рассмотрим наиболее применяемые в АО «Тяжмаш» неразъёмные соединения, получаемые за счёт межатомных сил сцепления, к которым относятся сварка и пайка. В процессе сварки соприкасающиеся поверхности свариваются в результате их плавления без участия какого-либо промежуточного металла. В процессе пайки между соединяемыми поверхностями вводится промежуточный материал, более мягкий и с более низкой температурой плавления, причем в процессе соединения плавления поверхностей соприкасающихся деталей не происходит. Паяное соединение образуется так же, как при сварке плавлением, но в качестве присадочного металла применяют припой [5].

На заводе применяются следующие виды сварки:

- ручная электродуговая сварка;
- полуавтоматическая сварка в среде защитных газов (автоматическая подача проволоки и ручное перемещение вдоль шва);
- автоматическая сварка под слоем флюса;
- автоматическая сварка в среде защитных газов;
- электрошлаковая сварка.

«При электродуговой сварке, как известно, нагрев и расплавление кромок свариваемого изделия и электродного металла осуществляется за счёт тепла, выделяющегося в электрической дуге. Жидкая металлическая ванна, которая образуется вблизи источника нагрева – электрической дуги, по мере продвиже-

ния последней вдоль кромок охлаждается до полного затвердевания, образуя при этом сварной шов.

Для получения швов высокого качества при ручной сварке применяют электроды, покрытые обмазками, при расплавлении которых образуются шлаки и газы, защищающие расплавленный металл от окисления и насыщения азотом и водородом. Кроме того, при расплавлении обмазок в сварочную ванну вводятся раскислители и легирующие элементы, придающие металлу шва требуемые механические свойства. Обмазки при расплавлении обеспечивают также устойчивое горение сварочной дуги и получение швов требуемой формы, без подрезов и других дефектов.

При сварке закрытой дугой аналогичные функции выполняются флюсом, который, расплавляясь под воздействием тепла дуги, образует шлак, плотно закрывающий сварочную ванну и шов.

Сварочные флюсы, применяемые для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, в расплавленном состоянии являются проводниками электрического тока. Этим же свойством обладают обычные металлургические шлаки. Электрическое сопротивление расплавленных флюсов-шлаков зависит от их химического состава и во много раз больше, чем сопротивление металла (например, стали)» [26, с.4-5].

Электродуговой нагрев обладает рядом преимуществ: он легко регулируется, позволяет получать весьма высокие температуры, не изменяет химического состава нагреваемого металла и в большинстве случаев является самым дешёвым» [6, с. 7]. Электродуговая сварка может гарантировать надёжность сварного соединения на уровне основного металла. Особенностью этого вида сварки является правильный выбор режима сварки и сварочных материалов, а также последующей термической обработки сварного соединения. Производительность работ зависит от скорости сварки и общего времени сварки.

Для достижения наибольшей производительности следует учитывать следующие факторы:

- свариваемость металла;

- тип защитного газа;
- характеристики конструкции: качество кромок стальной полосы, подаваемой на сварку;
- характеристики сварочной системы: стабильность электрической дуги, влияющая на качество сварного шва, и максимальное время сварки [31].

К плюсам подобной сварочной технологии можно отнести:

- возможность проведения сварочных работ в различных пространственных положениях, в зависимости от навыков работника;
- возможность соединения любых разновидностей стали;
- быстрое переключение с одного металла на другой в процессе сварки с целью образования электродами наплавов и стяжек;
- простота в обслуживании и использовании, высокие показатели эффективности.

К недостаткам методики относятся:

- прямая зависимость конечного результата от навыков сварщика;
- электромагнитное излучение на сварщика в процессе работы;
- низкие показатели коэффициента полезного действия в сравнении с автоматизированной сварочной методикой.

При проектировании и изготовлении толстомерных, крупногабаритных деталей и конструкций на производстве АО «Тяжмаш» используют принципиально новые конструктивные решения и технологические приёмы. Например, прогрессивный электрошлаковый способ сварки, разработанный в Институте электросварки имени Е.О. Патона. Сущность электрошлаковой сварки заключается в том, что «тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак, при этом способе сварки используется для расплавления кромок свариваемых деталей и электродного металла» [26, с.5]

Способ соединения электрошлаковой сваркой впервые позволил осуществить однократную сварку металла практически неограниченной толщины, что является её главным достоинством. «Эта особенность электрошлаковой

сварки позволила решить одну из сложнейших проблем современного тяжелого машиностроения - проблему изготовления крупногабаритных стальных изделий без привлечения уникального ковочного и литейного оборудования, при значительном удешевлении и упрощении производства. При электрошлаковой сварке кромки деталей не требуют специальной подготовки. Поэтому отпадают такие трудоемкие операции, как строжка кромок, вследствие чего объем подготовительных работ значительно уменьшается.

Электрошлаковая сварка производится в один проход. Это значит, что не требуется зачистка шлака после наложения каждого слоя, как при многослойной сварке в нижнем положении. Вследствие этого уменьшается трудоемкость сварочных работ, а также улучшается качество швов, так как при недостаточно тщательной зачистке шлака в многослойных швах часто встречаются дефекты в виде шлаковых включений.

В отличие от многослойной сварки под флюсом, при электрошлаковой сварке не требуется частая кантовка изделий, так как процесс сварки производится в вертикальном положении.

Электрошлаковая сварка обеспечивает равномерный провар кромок свариваемых деталей. При этом форма провара получается симметричной относительно плоскости, проходящей через середину толщины листов, и листы после электрошлаковой сварки не имеют угловых деформаций» [26, с.10-11].

Способ не лишен и некоторых недостатков:

- технология сварки должна предусмотреть вертикальную ориентацию шва;
- процесс недопустимо прерывать, чтобы избежать образования дефектов и повторного сваривания деталей;
- полученный шов имеет крупнозернистую структуру;
- для получения хороших прочностных характеристик изделие нужно подвергать термообработке.

В качестве примера на рисунке 1 показана крупногабаритная, толстомерная деталь, толщина которой составляет 100 мм в процессе сборки, масса детали 3362 кг, выполнена из шести частей сваренных электрошлаковой сваркой.



Рисунок 1 – Диск основной для мельницы – вентилятора

На заводе наиболее востребованным способом соединения металлов и их сплавов является сварка. Данный способ считается универсальным и широко используется в металлообработке в совокупности со штамповкой, литьем и прокатом заготовочных частей металлоизделия. Сваркой осуществляют соединение деталей и конструкций практически любых размеров и конфигураций, с обеспечением их достаточной надежности и долговечности в эксплуатации, что полностью отвечает требованиям выпускаемой продукции. Применение сварки позволяет использовать самые разнообразные профили металла. Эти преимущества являются определяющими для такой отрасли, как тяжёлое машиностроение. В ряде случаев возможности сварки ограничиваются условиями транспортирования и термической обработки.

Следующим неразъёмным соединением является способ соединения пайкой. «Пайка - это процесс соединения металлов в твёрдом состоянии путём введения в зазор припоя, взаимодействующего с основным металлом и образу-

ющего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного соединения» [7, с. 7]. Здесь важно отметить, что пайка на АО «Тяжмаш» используется в довольно малом количестве по сравнению со сваркой, но, тем не менее, находит своё применение, поскольку всегда есть детали, которые требуется соединить, или отремонтировать с помощью данного способа. Ограниченное использование пайки объясняется применением преимущественно швов внахлёстку, а это предполагает повышенный расход металла и применение довольно дорогих припоев. Поэтому пайка не находит такого широкого применения, как сварка [10]. Данный способ соединения имеет ряд достоинств и недостатков. К достоинствам паяных соединений относятся следующие показатели:

- возможность соединения разнородных материалов;
- возможность соединения тонкостенных металлов;
- возможность получения соединений в труднодоступных местах;
- коррозионная стойкость;
- малая концентрация напряжений вследствие пластичности припоя;
- герметичность паяного шва.

К недостаткам способа можно отнести:

- пониженная прочность шва в сравнении с основным металлом;
- сравнительно низкая прочность паяного соединения на сдвиг и очень низкая на отрыв;
- высокая трудоемкость изготовления деталей методами высокотемпературной пайки;
- требования высокой точности обработки поверхностей, сборки и фиксации деталей под пайку.

Несмотря на ряд недостатков неприемлемых для конструкций тяжёлого машиностроения пайка на заводе занимает прочную нишу в инструментальном производстве, где необходима для пайки твёрдосплавных пластин к токарным резцам, к резцам и ножам сборного инструмента, к свёрлам, зенкерам, развёрт-

кам. Помимо этого пайка применяется для восстановления мелких деталей, инструментов, устранения дефектов в сварных швах и в некоторых других случаях. В качестве примера паяного соединения на рисунке 2 показана режущая пластина, состоящая из корпуса инструмента и твёрдосплавной пластины.



Рисунок 2 – Пластина режущая для нарезки зубчатых колёс

Инструменты паяют способом индукционного нагрева током высокой частоты (ТВЧ). Методология пайки деталей при помощи ТВЧ была разработана одновременно с появлением способа индукционного нагрева металлов. В общем случае такой технологический процесс заключается в соединении двух или более деталей между собой с использованием специального припоя, у которого температура плавления ниже, чем у соединяемых деталей. Ограниченное применение пайки в АО “Тяжмаш” объясняется рядом объективных причин, обусловленных недостатками пайки, присутствие которых недопустимо в ответственных конструкциях. Пайка занимает второстепенные, но не менее значимые позиции. Поэтому учитывая высокие требования, предъявляемые к продукции АО “Тяжмаш” сварка используется, как основной способ соединения деталей и конструкций.

Помимо перечисленных неразъёмных соединений на заводе применяются клеевые соединения, которые носят вспомогательный характер и прибегают к ним в случаях, если необходимо создать герметичность соединения, либо ком-

пенсировать трение металлических деталей между собой путём приклеивания резиновой прокладки или шнура к металлической основе. «Путём склеивания создаётся неразъёмное соединение разнородных материалов или разных деталей из однородного материала. Прочность соединения определяется адгезией клея (адгезива) к склеиваемым материалам. Под адгезией понимают возникновение связи между приведёнными в контакт склеиваемыми поверхностями» [8, с. 6]. В качестве примера клеевого соединения можно привести люк, который находится на крышке шнекового питателя, предназначенного для порционной подачи угля в шаровую мельницу. В люке имеется уплотнительное кольцо, которое необходимо для поддержания герметичности, в том числе для защиты от попадания внутрь газообразной или жидкой среды. На рисунке 3 показана модель конструкции с использованием клеевого соединения.

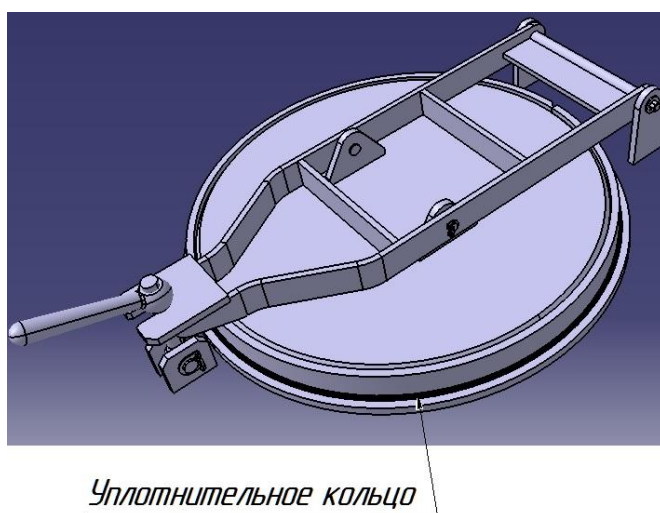


Рисунок 3 – Люк крышки шнекового питателя

Применение склеивания в машино- и приборостроении позволяет в ряде случаев повысить производительность труда, сэкономить дорогостоящие материалы и добиться повышения надёжности изделий. При изготовлении инструмента из твёрдых сплавов или синтетических сверхтвёрдых материалов применение склеивания модифицированными эпоксидными и фенольными

клеями вместо пайки и сварки на 30-40% снижает расход твердых сплавов и на 50-60% расход быстрорежущих сталей. Кроме того, склеивание повышает стойкость инструмента в 1,5-4 раза и улучшает качество обработанной поверхности [8].

Выбор того или иного соединения напрямую зависит от нагрузок, которые выпадают на соединение, его функциональных особенностей, от материала и формы сопрягаемых деталей, условий эксплуатации конструкций и некоторых других условий. Каждый из способов соединения отличается определенными особенностями и имеет свою область применения. Все они дополняют друг друга и в совокупности обеспечивают выполнение самых разнообразных производственных задач, делают их незаменимыми процессами в производстве тяжёлого машиностроения.

1.2 Особенности, преимущества и недостатки пайки

«Пайкой называется процесс соединения металлических деталей в конструктивный узел путём нагрева и введения в зазор между ними расплавленного металла (припоя), имеющего более низкую температуру плавления, чем соединяемые металлы. Пайка является одним из наиболее древних технологических процессов, связанных с обработкой металлов. Ещё за много веков до нашей эры народы, населявшие Азию и Египет, применяли пайку при изготовлении золотых и серебряных украшений. В Государственном Эрмитаже можно видеть паяные серьги и ожерелья, возраст которых исчисляется четырьмя-пятью тысячами лет. Позже пайку начали широко использовать для соединения не только цветных, но и черных металлов при изготовлении военного снаряжения, украшений, посуды и других предметов домашнего обихода» [9, с.3].

Процесс пайки требует нагревания соединяемых деталей до «смачивающей» температуры, температуры, при которой припой будет расплавлен и достаточно подвижен для смачивания поверхности. Эта температура зависит от сплава припоя, который используется при пайке; если работать с «традиционными» сплавами, то температура нагрева составляет примерно 260 градусов Цельсия. В настоящее время нетипичные припои требуют значительно более высоких температур смачивания. В любом случае, если «смачивающая» температура не будет достигнута, припой между соединяемыми поверхностями будет расплавляться и растекаться между деталями, но не будет сплавляться с ними, тем самым вызывая «холодное паяное соединение». При использовании любого метода пайки оптимальный подогрев, нагрев, и цикл охлаждения, выбранный для конкретного метода, приводит к полному смачиванию всех паяных соединений и минимизации тепловых напряжений. Недостаточный нагрев и как следствие нехватка тепла не позволит припою расплавиться и растечься должным образом. При чрезмерном нагреве переизбыток тепла может вызвать окисление до того, как паяное соединение затвердеет, что и приведёт к «холодному паяному соединению». Холодные паяные соединения слабее и имеют более вы-

сокое сопротивление, чем нормальные соединения. Слишком быстрое охлаждение может привести к возникновению трещин в материале, поэтому охлаждение до комнатной температуры должно быть всегда постепенным.

Нагрев, необходимый для соединения пайкой, может быть обеспечен посредством паяльника, пламенем газовой горелки, индукционным нагревом. Другие методы существуют, но обычно используются только в автоматизированных процессах. Если паяное соединение является сплошным металлом - между частями соединения нет барьера или пространства, значит можно говорить о том, что соединение пайкой выполнено правильно. По существу, припой смешивается с частями соединяемых деталей, образуя так называемый «интерметаллидный сплав». Без образования интерметаллидного сплава невозможно создать настоящее (подлинное) соединение методом пайки; в противном случае соединение можно охарактеризовать, как прилипание двух поверхностей. Такой тип соединения является механически слабым и не обеспечит долговременную надежность и низкое электрическое сопротивление, обеспечиваемое настоящим паяным соединением.

При пайке должно выполняться следующее температурное условие: $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$, где:

- T_1 - температура, при которой паяное соединение работает;
- T_2 - температура плавления припоя;
- T_3 - температура нагрева при пайке;
- T_4 - температура плавления соединяемых деталей.

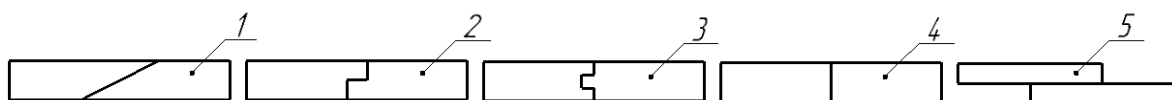
Паяное соединение по своему виду напоминает сварное, однако по своей сути пайка металлов радикально отличается от сварки. Основное отличие состоит в том, что основной металл не расплавляется, как при сварке, а лишь нагревается до определенной температуры, значение которой никогда не достигает температуры его плавления. Из этого основного различия вытекают все остальные [3]. Изготовление деталей с использованием метода пайки обладает неоспоримыми преимуществами, главными из которых являются:

- возможность изготовления сложных изделий и узлов из отдельных деталей, легких в изготовлении и простых по форме элементов;
- возможность соединения деталей, изготовленных из металлических сплавов, которые существенно отличаются по своим физико – механическим свойствам;
- возможность соединения деталей самых маленьких размеров за счёт отсутствия расплавления основного металла;
- нет деформации паяемых деталей, размеры и формы получаемого изделия выдерживаются за счёт того, что основной металл не расплавляется, его структура и механические свойства остаются неизменными [3];
- малая стоимость, невысокая трудоемкость и относительная несложность производственного процесса.

В настоящее время, метод паяния деталей занимает одно из лидирующих мест в ряду технологических способов изготовления и обработки металлических изделий. Такой метод применяется не только для спайки отдельных деталей, но и для создания целых комплексных узлов.

При всех своих достоинствах пайка все же уступает сварке по прочности и надежности соединения [3]. Недостатком пайки по сравнению со сваркой является сравнительно невысокая прочность, необходимость малых и равномерно распределенных зазоров между соединяемыми деталями, что требует их точной механической обработки и качественной сборки, а также предварительной обработки поверхностей перед пайкой. На рисунке 4 показаны способы паяных соединений.

Трудно себе представить современную IT-промышленность без этого компактного, чистого и прочного способа соединения элементов электронных схем. Использование пайки широко и многообразно. Ею соединяют медные трубы в теплообменниках, холодильных установках и всевозможных системах, транспортирующих жидкие и газообразные среды.



1 – косостыковое; 2 – ступенчатое; 3 – гребёнчатое; 4 – прямое; 5 – нахлё-
сточное

Рисунок 4 – Способы паяных соединений

При кузовных работах с ее помощью крепят тонкостенные детали к тонкому листу. В виде лужения используют для защиты некоторых конструкций от коррозии. Широко применяется пайка и в домашних условиях. Ею можно соединять между собой детали из различных металлов, уплотнять резьбовые соединения, устранять пористость поверхностей, обеспечивать плотную посадку втулки разболтавшегося подшипника. Повсюду, где использование сварки, болтов, заклепок или обычного клея по каким-либо причинам невозможно, затруднительно или нецелесообразно, пайка, сделанная даже своими руками, оказывается спасительным выходом из ситуации [3]. Классификация пайки носит довольно сложный характер из-за большого числа классифицируемых параметров. Согласно технологической классификации по ГОСТ 17349-79 пайка металлов подразделяется: по способу получения припоя, по характеру заполнения припоем зазора, по типу кристаллизации шва, по способу удаления оксидной пленки, по источнику нагрева, по наличию или отсутствию давления в стыке, по одновременности выполнения соединений [3].

Одной из основных является классификация пайки по температуре плавления используемого припоя. В зависимости от этого параметра пайку подразделяют на низкотемпературную (используются припои с температурой плавления до 450°C) и высокотемпературную (температура плавления припоев выше 450°C) [3].

Низкотемпературная пайка наиболее проста и экономична в исполнении, чем высокотемпературная. Ее преимуществом является возможность применения на миниатюрных деталях и тонких пленках. Хорошая тепло- и электропро-

водность припоев, лёгкость в исполнении процесса пайки, возможность соединения разнородных материалов обеспечивают низкотемпературной пайке ведущую роль при создании изделий в электронике и микроэлектронике [3]. Низкотемпературная пайка является незаменимой частью современной технологии. Это предпочтительное средство производства надежных электрических соединений. Такие соединения требуются в бытовой технике так же, как и в компьютерах или космических челноках.

К преимуществам высокотемпературной пайки относится возможность изготовления соединений, выдерживающих большую нагрузку, в том числе и ударную, а также получение вакуумно-плотных и герметичных соединений, работающих в условиях высоких давлений. Основными способами нагрева при высокотемпературной пайке, в единичном и мелкосерийном производстве, является нагрев газовыми горелками, индукционными токами средней и высокой частоты [3].

Классификация пайки по способу нагрева:

- пайка индукционными нагревателями, которая активно используется для припаивания твердосплавных резцов режущего инструмента. При индукционной пайке паяемые детали или их части нагреваются в катушке-индукторе, через которую пропускается ток. Преимуществом индукционной пайки является возможность быстрого нагрева толстостенных деталей;
- пайка в различных печах;
- пайка электросопротивлением, при которой детали нагреваются теплотой, выделяющейся вследствие прохождения электротока через паяемые изделия, являющиеся частью электрической цепи;
- пайка погружением, выполняющаяся в расплавленных припоях и солях;
- прочие виды пайки: дуговая, лучами, электролитная, экзотермическая, штампами и нагревательными матами.

В качестве припоев используются как чистые металлы, так и их сплавы. Чтобы припой мог хорошо исполнять свое предназначение, он должен обладать

целым рядом качеств. Одним из таких качеств является смачиваемость. Прежде всего, припой должен обладать хорошей смачиваемостью по отношению к соединяемым деталям. Без этого будет просто отсутствовать контакт между ним и паяемыми деталями. В физическом смысле смачивание подразумевает явление, при котором прочность связи между частицами твердого вещества и смачивающей его жидкости оказывается выше, чем между частицами самой жидкости. При наличии смачивания жидкость растекается по поверхности твердого вещества и проникает во все его неровности [3]. На рисунке 5 условно показано состояние припоя при смачивании.

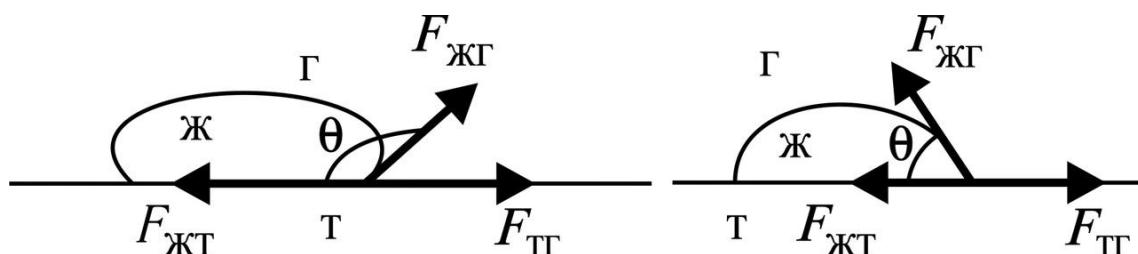


Рисунок 5 – Пример несмачивающей (слева) и смачивающей (справа) жидкостей

Если припой не смачивает основной металл, пайка невозможна. В качестве такого примера можно привести чистый свинец, который плохо смачивает медь и не может поэтому служить припоем для неё.

Следующим качеством, оказывающим влияние на состояние припоя, является температура плавления. Припой должен иметь температуру плавления ниже температуры плавления соединяемых деталей, но выше той, при которой соединение будет работать. Температура плавления характеризуется двумя точками - температурой солидуса (температура, при которой плавится самый легкоплавкий компонент) и температурой ликвидуса (наименьшим значением, при которой припой становится полностью жидким).

Разница между температурами ликвидуса и солидуса называется интервалом кристаллизации. Когда температура соединения находится в интервале

кристаллизации, даже незначительные механические воздействия приводят к нарушениям кристаллической структуры припоя, в результате чего может возникнуть его хрупкость и возрасти электрическое сопротивление. Поэтому необходимо соблюдать очень важное правило пайки - не подвергать соединение никакой нагрузке до полного окончания кристаллизации припоя. Кроме хорошей смачиваемости и необходимой температуры плавления, припой должен обладать еще рядом свойства:

- содержание токсичных металлов (свинца, кадмия) не должно превышать установленных значений для определенных изделий;
- должна отсутствовать несовместимость припоя с соединяемыми металлами, которая может привести к образованию хрупких интерметаллических соединений;
- припой должен обладать термостабильностью (сохранением прочности паяного соединения при изменении температуры), электростабильностью (неизменностью электрических характеристик при токовых, тепловых и механических нагрузках), коррозионной стойкостью;
- коэффициент теплового расширения (КТР) не должен сильно отличаться от КТР соединяемых металлов.

1.3 Задачи магистерской диссертации

Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие задачи.

1. Анализ номенклатуры паяемых изделий и технологических процессов пайки, применяемых в АО «Тяжмаш».
2. Модернизация технологии пайки с целью улучшения качества соединяемых деталей.
3. Поиск возможностей расширения номенклатуры паяных изделий.

2 Анализ номенклатуры паяных изделий в АО «Тяжмаш»

Пайка в АО «Тяжмаш» применяется для восстановления мелких деталей, инструментов, устранения дефектов в сварных швах, при сборке электрошкафов управления, а так же металлорежущего инструмента и в некоторых других случаях, таких как пайка сеток к корпусу очистительных фильтров для станции жидкой смазки, пайка наконечника к штуцеру. Штуцерное соединение это часть масловинтового насоса МВН-1,5, предназначен для перекачивания чистых неагрессивных жидкостей, не имеющих абразивных частей, вязкостью $0,2 \times 10^{-4}$. Масловинтовые насосы устанавливают в системы гидравлических турбин, где обеспечивают работу систем подъема ротора для паровых турбин. Штуцера соединительные предназначены для подкачки масла на трущиеся поверхности вала масловинтового насоса. Поскольку производство данной продукции относится к мелкосерийному, пайка в этих случаях применяется по мере необходимости и носит эпизодический характер. Поэтому основной номенклатурой изделий, в которых применяется пайка на постоянной основе, являются металлорежущие инструменты и электрошкафы управления для оборудования.

2.1 Пайка инструмента

«Если раньше пайка применялась главным образом в ювелирном деле и при изготовлении посуды, то в условиях современной научно-технической революции особенности пайки способствовали интенсивному ее развитию и использованию в различных отраслях машиностроения и приборостроения, в изделиях с принципиально новыми эксплуатационными характеристиками и конструкционными решениями на основе новых металлических и неметаллических материалов, изготовление которых во многих случаях невозможно другими методами получения неразъемных соединений» [11, с.9]. Применяется пайка и на заводе тяжёлого машиностроения АО «Тяжмаш», где занимает прочную нишу в инструментальном производстве, для нужд которого был создан цех № 10. На рисунке 6 показан инструментальный цех № 10.



Рисунок 6 – Инструментальный цех № 10

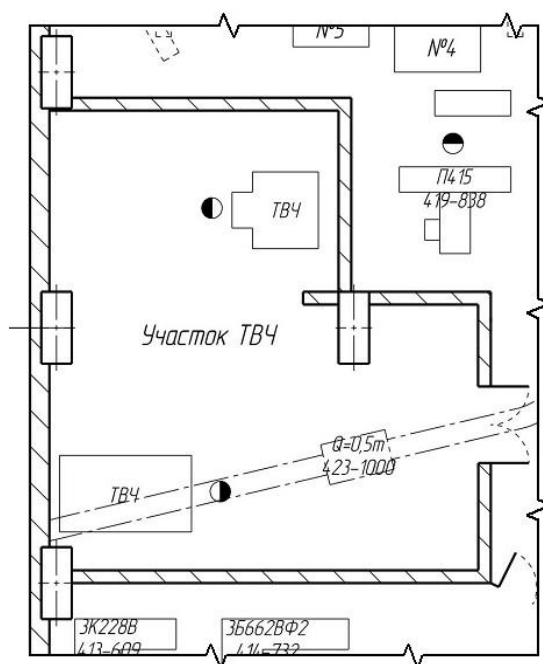
Цех относится к службе подготовки производства, предназначен для оснащения металлорежущими инструментами, оснасткой, различными приспособлениями. Номенклатура инструмента показана на рисунке 7. В цехе имеется специализированный участок по пайке твердосплавных пластин к токарным

резцам, к резцам и ножам сборного инструмента, к свёрлам, зенкерам, развёрткам, где инструменты паяют способом индукционного нагрева током высокой частоты. Схема участка для пайки инструмента представлена на рис. 8.



Рисунок 7 – Металлорежущие инструменты

Корпус инструмента, который предполагает напайку твердосплавных пластин, изготавливается по существующим заводским стандартам или специальным чертежам на инструмент.



2.2 Основы индукционного нагрева

«Широкое распространение высокочастотного нагрева в промышленности – одно из выдающихся достижений отечественной науки и техники. После того как в 1935 г. В.П. Вологдин предложил использовать индукционный нагрев для поверхностной закалки деталей, область применения токов высокой частоты в машиностроении далеко перешагнуло границы обычной термической обработки. В этой области появились фундаментальные исследования, было создано необходимое специализированное оборудование, успешно осуществлён на практике ряд новых технологических процессов» [29, с.5]. Индукционная пайка ТВЧ стала широко распространяться и применяется не только благодаря возможности качественного нагрева, но и потому что позволяет экономить производственные ресурсы и дает возможность увеличить количество производимой продукции. Установка индукционного нагрева позволяет нагревать изделие до температуры, подходящей для пайки за секунды, нагреваясь до 600-1200 градусов. Кроме того, индукционная пайка позволяет: нагревать только конкретную часть детали, контролировать технологический процесс пайки с помощью измерительных приборов. Индукционная пайка дает возможность соединять все материалы, способные проводить электрическую энергию.

Технологический процесс пайки с помощью индукционного нагревания деталей токами высокой частоты отличается от традиционных способов пайки тем, что обеспечивает:

- недоступную для других методов скорость нагрева деталей - до 250°C в секунду;
- автоматизацию либо механизацию процесса пайки, уменьшая тем самым влияние "человеческого фактора" на качество соединяемых деталей;
- надёжность, качество соединения деталей, высокую производительность в условиях промышленного производства.

При этом особенность индукционной пайки заключается в том, что тепловая энергия, с помощью которой осуществляется соединение деталей, не привносится извне, а образуется в деталях внутри вследствие действия ТВЧ. Токи высокой частоты, проходящие через индуктор, проникают в металл и преобразуются внутри него в тепловую энергию, осуществляя нагрев. «Поэтому принципиальным отличием индукционной пайки является возможность регулирования скорости и глубины нагрева путем подбора передаваемой в паяемой узел энергии и частоты тока, при этом может быть достигнута высокая степень автоматизации режимов нагрева и охлаждения. Кроме того, благодаря быстрому нагреву достаточной узкой зоны уменьшается коробление и окисление паяемого узла, повышается производительность процесса, улучшаются условия труда рабочих, в ряде случаев обеспечивается существенная экономия энергоносителей.

Специфическое влияние токов высокой частоты на процесс пайки изучено недостаточно, но можно полагать, что быстрый нагрев металла и интенсивное движение расплавленного припоя под действием электродинамических сил активизируют флюс, улучшают смачиваемость поверхности и заставляют припой более энергично проникать в зазоры. Все это при правильной организации процесса благоприятно отражается на качестве пайки» [30, с. 5-6].

«Одной из особенностей процесса пайки, которая вызывает ряд трудностей при разработке нагревательных электромагнитных систем (индукторов) и построении процесса в целом, является то, что одновременно до одинаковой температуры необходимо нагреть несколько паяемых деталей – минимум две, порой из разнородных материалов, а также порцию припоя и флюса. Поэтому при конструировании паяемых узлов необходимо предусматривать возможность размещения индуктора такой конфигурации, которая обеспечила бы одновременный прогрев всех элементов, участвующих в процессе пайки.

Особенности подвода энергии для нагрева деталей при индукционной пайке накладывают свои требования как к выбору сборочных единиц, подвергаемых этому виду соединения, так и к технологической подготовке произво-

ства» [30 с. 6-7]. На рис. 9 показана пайка инструмента с пластинами твердого сплава в специально изготовленном индукторе, сквозь который проходит ток высокой частоты. Под его действием место пайки нагревается до заданной температуры. Для защиты металла от окисления в процессе производства работ применяют специальный защитный раствор – флюс, поскольку все обычные необработанные металлы и металлические сплавы (включая припой) подвергаются воздействию окружающей среды, при котором их голые поверхности покрываются тусклой неметаллической пленкой. Этот покровный слой состоит из оксидов, сульфидов, карбонатов или других продуктов коррозии и является эффективным изолирующим барьером, который предотвратит любой прямой контакт с чистой поверхностью металла, которая находится ниже. Когда металлические поверхности соединяются пайкой, возникает металлическая связь в результате взаимодействия между припоем и поверхностями двух металлов. Пока остается тусклая неметаллическая плёнка, процесс пайки с металлом невозможен, поскольку, не имея возможности прямого контакта, невозможно эффективно смачивать поверхность металла припоем.

Покрываются на поверхности, которые образуются на металле, обычно не растворяются и не могут быть удалены с помощью большинства обычных очищающих растворителей. Поэтому для того, чтобы их удалить должно быть химическое или механическое воздействие. Необходимая химическая реакция чаще всего достигается за счет использования паяных флюсов, которые препятствуют возникновению реакции при взаимодействии с кислородом, а значит поддерживают чистую металлическую поверхность во время процесса пайки.

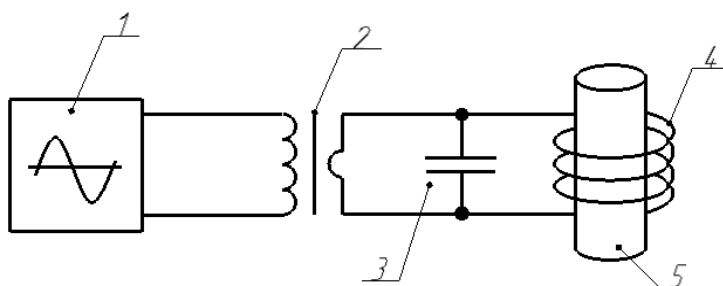
При оценке всех требований, необходимых для соединения, которые рассматриваются в качестве флюса, важно учитывать различные способы, методы и процессы пайки, а также широкий диапазон материалов и температур, которые могут потребоваться. Определенный флюс может хорошо работать на определенной поверхности с использованием одного метода пайки и, тем не менее, совсем не подходит для этой же поверхности с использованием другого

метода пайки. Поэтому всегда нужно учитывать эту особенность при выборе флюса, читая рекомендации производителя.



Рисунок 9 – Пайка инструмента в индукторе

Индукционный нагреватель состоит из источника высокой частоты и колебательного контура, включающего в себя индуктор. Общая схема индукционного нагревателя показана на рисунке 10. В переменное магнитное поле индуктора помещается нагреваемая заготовка. В зависимости от материала заготовки, её объёма и глубины нагрева, применяется широкий диапазон рабочих частот, от 50 Гц до десятков МГц. При низких частотах порядка 100...10000 Гц в промышленности применяются электромашинные преобразователи и тиристорные инверторы. При частотах порядка МГц могут применяться электронные лампы.



1 – генератор; 2 – согласующий трансформатор; 3 – батарея конденсаторов; 4 – индуктор; 5 – заготовка

Рисунок 10 – Общая схема индукционного нагревателя

Согласно закону электромагнитной индукции, если проводник находится в изменяющемся (переменном) магнитном поле, в нём индуцируется (наводится) электродвижущая (ЭДС) сила. При этом амплитуда ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока, в котором находится проводник. Если заготовку из проводящего материала рассматривать как множество короткозамкнутых контуров, то при помещении её в индуктор, под действием переменного магнитного поля в контурах будут индуцироваться вихревые токи. Величина вихревых токов зависит от удельного сопротивления материала. А согласно закону Джоуля - Ленца - ток вызывает нагрев материала, обладающего сопротивлением. На рисунке 11 условно показан принцип работы в условиях нагрева током высокой частоты.

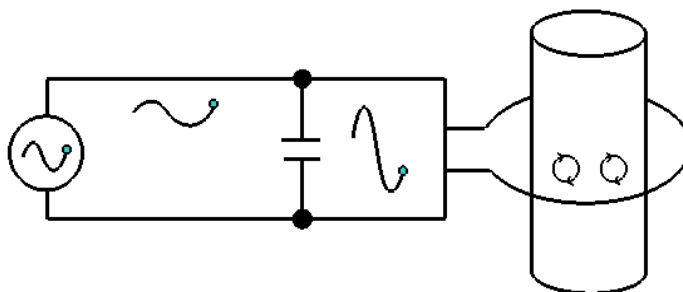
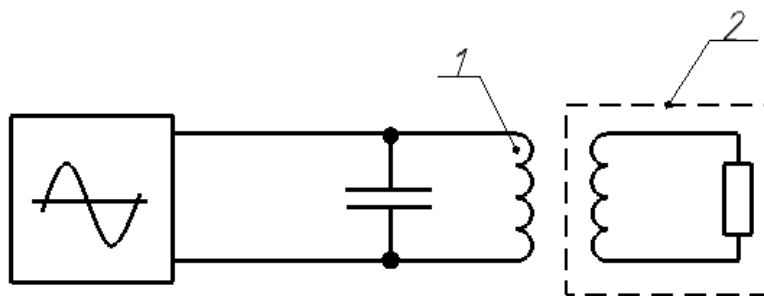


Рисунок 11 – Принцип работы в условиях нагрева током высокой частоты.

Индуктор вместе с нагрузкой из проводящего материала подобны трансформатору без магнитопровода, как показано на рисунке 12. Первичной обмоткой этого трансформатора является индуктор, вторичной - индуктивность заготовки, которая нагружена на активное сопротивление материала. Как при прохождении по металлическим проводникам переменного тока, так и при нагреве

токами высокой частоты металлов, наблюдается поверхностный эффект (скин-эффект). Связано это с тем, что вихревые токи в толще проводника вытесняют основной ток на поверхность. Индукционный нагрев металла интенсивнее у поверхности, чем в центре. Чем меньше частота тока индуктора, тем на большую глубину в заготовку проникает индуктированный в ней ток.



1 – индуктор; 2 – нагрузка

Рисунок 12 – Эквивалентная схема

Глубина скин - слоя зависит от частоты тока, удельного сопротивления и магнитной проницаемости нагреваемого материала. При применении индукционного нагрева в различных технологических операциях необходимо учитывать это свойство. Использование индукционной пайки обеспечивает соединение любых токопроводящих материалов - любых металлов и сплавов, а также керамику с металлическим напылением.

Для напайки твердосплавного инструмента в АО «Тяжмаш» имеется технологическая инструкция, в которой изложены все необходимые условия для получения инструмента высокого качества. Для изготовления корпуса инструмента используются стали: 45, 50, (УЖСН 1050), 40Х (ГОСТ 4543), ХГВ (ГОСТ 2590). Опорная поверхность и стенки паза в корпусе инструмента должны быть прямолинейными, без завалов и порожков; отклонение от плоскостности не должно превышать $\pm 0,05$ мм. Шероховатость обработки поверхности паза должна соответствовать Rz40...Rz20 согласно ГОСТ 2789. Соотношение толщин пластины твёрдого сплава и стальной державки должно быть не менее 1:3.

В пазу недопустимы отпечатки масла, эмульсии, коррозии и иных загрязнений. Прежде чем приступить к пайке инструмента его подготавливают к пайке. Подготовка твёрдосплавных пластин к пайке включает в себя следующие этапы:

- пластины твёрдого сплава должны соответствовать требованиям ГОСТ 2209. Все поступающие на завод пластины твёрдого сплава подвергаются проверке на предмет наличия микротрещин. При обнаружении микротрещин пластины бракуются;
- перед пайкой пластины очищаются от окалины окисной плёнки механическими способами;
- повышенное коробление устраняют шлифованием (допуск плоскостности согласно ГОСТ 2209).

После подготовки к пайке твёрдосплавные пластины хранятся в сухом и чистом помещении не более 5-10 суток. Очистка паза производится пескоструйной обработкой, промывкой органическими растворителями (Уайт-спирит, четырёххлористый водород и др.) с последующей просушкой на воздухе. Хранятся подготовленные корпуса инструмента также как и пластины в сухом и чистом помещении не более 5-10 суток.

Подготовка припоя и флюса к пайке: Припой Пр АНМц 0,6-4-2 или Пр МНМц 68-4-2 изготавливают по технологии отдела главного металлурга с последующим превращением слитков в мелкую стружку фрезеровкой без охлаждения. Размер стружки 1:3, толщина – 0,1 мм. На поверхности стружки не должно быть следов побежалости. В стружке недопустимы посторонние примеси (иностранная стружка, грязь и др.)

Каждая партия припоя сопровождается сертификатом или протоколом центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ), в котором указывается марка припоя, результаты химического анализа, номер плавки. В качестве флюса используются обезвоженная бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ или флюс марки Ф100 ТУ 48-4-346. Хранятся флюсы в сухом месте в закрытых ёмкостях, предохраняющих от влаги. Разрешается применять флюс Ф100 в комбинации с обезвоженной бурой в соотношении 1:1.

При пайке инструмента простой конфигурации (резцы) сборку производит паяльщик непосредственно перед пайкой в следующей последовательности: в гнездо корпуса насыпается порция флюса с припоем (бура с медью в соотношении 1:3), устанавливается пластина твёрдого сплава в гнездо и по краям насыпается флюс. Для пайки основного инструмента (зенкера, развёртки, фрезы и т.д.) в качестве припоя используется латунь в виде фольги. Нагрев инструмента производится на высокочастотных установках типа ЛЗ2-67М. С целью нагрева разных групп инструмента (небольшие инструменты, средние, крупные) подготавливаются индукторы, изготовленные по чертежам под размер и конфигурацию инструмента. На рисунке 13 представлен набор индукторов для разных групп инструментов, применяемых в АО «Тяжмаш».



Рисунок – 13 Индукторы для пайки инструмента

Пайку однолезвийного инструмента допускается производить в многоместных индукторах. Форма индуктора должна соответствовать форме паяемого инструмента. Индуктор устанавливать так, чтобы нагрев проходил от корпуса инструмента к твёрдосплавной пластине. Зазор между индуктором и инструментом для равномерного прогрева инструмента должен быть 8...10 мм. Нагрев инструмента начинать с корпуса. После прогрева корпуса до температуры пайки, продвинуть корпус с твёрдосплавной пластиной в более интенсивную зону нагрева [12]. Скорость нагрева пластины твёрдого сплава при пайке не должна

превышать указанную в таблице 1. Время нагрева для пайки определяется по формуле 1:

$$T_H = 1,5 Q/W, \text{ где}$$

Q – температура плавления припоя, °С;

W – допустимая скорость нагрева, °/сек

Регулировать время нагрева следует периодическим включением – выключением на 2-3 сек. Ориентировочное время нагрева приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Время нагрева пайки твердосплавного инструмента

Толщина пластины, мм	Допустимая скорость и ориентировочное время нагрева					
	Сплав Т30К4		Сплав Т15К6		Сплав Т5К10	
	°/сек	t нагрева, сек	°/сек	t нагрева, сек	°/сек	t нагрева, сек
До 4,5	32	42	42	36	60	25
5 до 7	20	75	26	58	40	37
7 до 12	10	150	13	115	20	75

Время выдержки в индукторе определяется температурой расплавления припоя. Время пребывания инструмента в индукторе, с момента расплавления припоя, не должно превышать 10...15 сек. После расплавления припоя и заполнения зазоров между пластиной твёрдого сплава и стенками корпуса пластина поправляется, вынимается инструмент из индуктора и поджигается пруток для фиксации твёрдосплавной пластины к корпусу инструмента до затвердевания припоя [12]. Охлаждение паяных инструментов проводится в песке подогретом до температуры 200...250 °С, погружая пластину твёрдого сплава полностью в песок. После промежуточного охлаждения инструмента, для снятия остаточных напряжений в спае и твёрдом сплаве, провести релаксационный отпуск при температуре 200...240 °С с выдержкой 4...8 часов, согласно таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика паяемости твёрдых сплавов.

Марка твёрдого сплава	Склонность к трещинообразованию	Условия охлаждения	Паяемость	Растекаемость припоя
T15K6 T5K10	Средней трещиностойчивости	Релаксационный отпуск 220-240 °С 4-6 часов	Удовлетворительная	Пониженная. Для улучшения самачиваемости 50% флюса Ф100 во флюс, содержащий буру, борную кислоту и фтористый кальций
T30K4	Низкой трещиностойчивости	Релаксационный отпуск 220...240 °С 6...8 часов	Ограниченная	Ограниченная. Для улучшения смачиваемости применять флюс Ф100 (ТУ 48-4-346)

Не допускается сбрасывание инструмента после пайки во избежание скалывания или растрескивания твёрдосплавных пластин [12]. После релаксационного отпуска инструмента его необходимо очистить механическим и химическим методами для последующего контроля твёрдосплавной пластины на трещины. Весь инструмент после пайки подвергается контролю внешним осмотром на трещины и непропаи твёрдосплавной пластины. Непропай по периметру не должен превышать 5-10% от общего периметра паяного шва и не допускается под режущей кромкой инструмента. Толщина паяного шва по периметру

должна быть не менее 0,5 мм. Инструмент с трещинами в пластинах твёрдого сплава отбраковывать и к работе не допускать [12]. При работе с флюсом Ф100 пайку инструмента производится

с использованием местной вентиляции, расположенной вблизи индуктора высокочастотной нагревательной установки. Персонал, работающий с высокочастотными установками должен пройти курс подготовки по их эксплуатации, правилам пожарной безопасности, пользоваться ИТБ №133. Пол рабочего места около установки должен быть покрыт резиновым ковриком.

Пайка ленточных пил. В АО "Тяжмаш" пайка электросопротивлением применяется для пайки ленточных пил.



Рисунок 14 – Ленточные пилы

Всего на заводе применяют несколько наименований ленточных пил, параметры ленточных пил показаны в таблице 3. Данные пилы используются для резки деталей из древесины и металла, но чаще всего приходится паять пилы по дереву - пайка ленточных пил в кольцо.

Толщина полотна, мм	Ширина полотна, мм	Шаг зуба, мм
0,8-0,9	32	19

0,9	27	22
-----	----	----

Таблица 3 – Параметры ленточных пил

Продолжение таблицы 3

0,7	34	22
1,1	38	22

Ленточные пилы изготавливают из высокоуглеродистой стали с характеристиками указанными в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика высокоуглеродистой стали

Материал полотна	Высокоуглеродистая сталь
Твердость зуба пилы	63-65 HRC
Твердость тела пилы	53-55 HRC
Тип полотна	Hard Back
Серия	Red Streak

Высокое качество, надежность, износостойкость - это все те качества, которые должны обеспечивать ленточные пилы. Требование по пайке - паяный шов должен обеспечиваться на весь срок службы пилы.

Контактный электрический метод пайки позволяет очень быстро и надежно производить пайку изделий типа ленточных пил, патефонных пружин и т. д. Аппарат для контактной пайки пил состоит из однофазного трансформатора, электроконтактов из красной меди (которые соединены с вторичной обмоткой трансформатора), зажимов, пресса для плотного сжатия места пайки и кнопок управления.

Для пайки ленточных пил используются доработанный агрегат для пайки ленточных пил АСЛП-18.

Состоит дополнительно из следующих приспособлений:

- ножницы для обрезки ленточных пил в размер;
- приспособление для зачистки готового шва.

Агрегат для пайки ленточных пил показан на рисунке 15.



Рисунок 15 – Агрегат для пайки ленточных пил АСЛП-18

Таблица 5 – Характеристика агрегата АСЛП-18

Название	Значение
Ширина паяных пил, мм	20-50
Толщина паяных пил, мм	0,8-1,6
Время пайки, сек	8
Время отпуска, сек	20-120
Диаметр шлифовального круга, мм	100
Число ступеней регулирования аппарата	8
Напряжение, В	380
Частота тока, Гц	50
Габаритные размеры, мм:	
длина	700
ширина	450
высота	670
Масса станка без приспособлений, кг	185

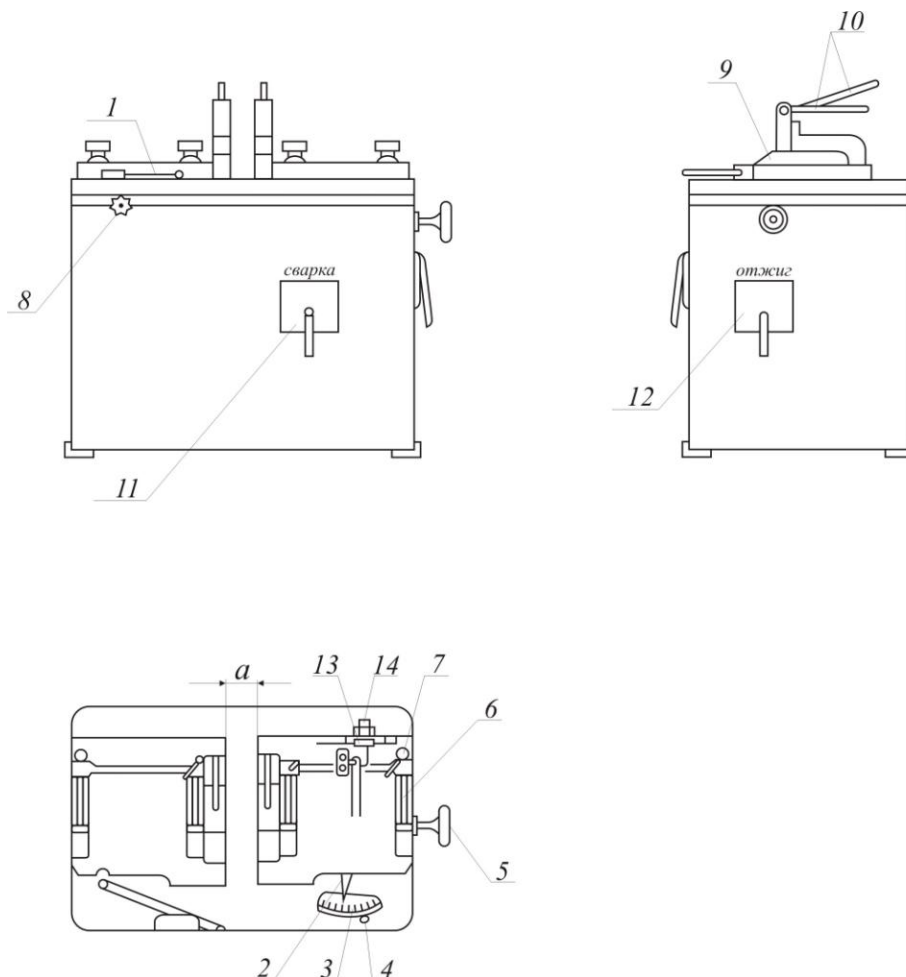
Для пайки ленточных пил установить расстояние «а» между прижимами согласно таблице 5. При установке расстояния между прижимами 10 мм открепить гайку 14, как показано на рисунке 16. главной пусковой рукояткой 1 поставить подвижный прижим на расстояние «а» от неподвижного, переместить упор 13 так, чтобы стрелка 2 указывала положение 0 на шкале 3. Закрепить гайку 14. Установленный на шкале винт 4 с накатанной головкой фиксирует шкалу на установленной величине. Установить ход осадки выбранный по таблице 3. Установка отжига и хода осадки указываются одной стрелкой на общей шкале 3 градуированной в мм. Установить усилие осадки рукояткой 5. Рукоятка должна легко перемещаться на требуемое деление от 1 до 12 [13]. После того, как пила подготовлена и вставлена в зажимы, перестановкой рукоятки 1 влево, в положение «1» начинается процесс пайки. Выключение происходит автоматически. Тормоз 8 уменьшает обратный удар пусковой рукоятки 1 при сильном нажатии осадки [13]. На передней стороне станины находится ступенчатый переключатель 11 для регулировки сварочного тока трансформатора, который имеет нулевое положение и 7 ступеней включения, посредством которых осуществляется настройка на различные значения ширины и толщины ленты [13].

Зажать конец ленточной пилы прижимом 9 так, чтобы он выступал из прижима, а середина ленточной пилы была точно под серединой прижима. Переместить упор 6 плотно к спинке ленточной пилы и закрепить винтом 7. Выверку упоров производить с помощью ЛМП- 400 ГОСТ 17435 [13].

Для пайки в паз устанавливают пилу, и державку зажимают между контактами. Плотное прилегание электродов к изделию является основным условием доброкачественной пайки, поэтому место контактов зачищают шкуркой или напильником; этим обеспечивается равномерность нагрева.

После установки на пилу кладется кусочек припоя, который обильно посыпается бурой или смесью ее с опилками припоя; затем периодическим включением и выключением аппарата для контактной пайки производят разогрев

изделия. В момент начала расплавления припоя ток выключают, а пластинку прижимают, чтобы она плотно села в свое гнездо на державке; после затвердевания припоя, снимают инструмент из приспособления и очищают его от остатков флюса железной щеткой.



1 – главная пусковая рукоятка; 2 – стрелка; 3 – шкала; 4 – винт; 5 – рукоятка усилия осадки; 6 – упор; 7 – винт; 8 – тормоз; 9 – прижим; 10 – рычаг; 11 – ступенчатый переключатель; 12 – переключатель отжига; 13 – упор; 14 – гайка

Рисунок 16 – Общий вид агрегата АСПП-18

Очищенные пилы помещают для медленного охлаждения в теплоизолирующую среду или печь с температурой 200...250° С. При пайке пил, во избежание пережога, следует обратить внимание на правильный режим нагрева и

достаточное контактное давление. Преждевременное прекращение нагрева или преждевременное прижатие пластинки вызывает непропай, что ведет к отскакиванию пластинки от корпуса после пайки; непропай может получиться у носика режущей кромки, если торцовый контакт слишком близко расположен к пластинке. Трансформатор питается от сети напряжением 380 в; вторичная обмотка имеет два витка; напряжение вторичной обмотки 16 в. Для пайки концы оборванных ленточных пил затачиваются на наждачном камне на ус, между ними кладется бронзовая фольга и все это зажимается зажимами и посыпается бурой. Пайка производится включением кнопки; при этом контакты замыкаются и по стыку проходит ток. После расплавления припоя контакты отключаются и в действие приводят пресс, которым обжимается место пайки, а излишки расплавленного припоя выдавливаются наружу.

Снятие внутренних напряжений, возникших в процессе пайки, производится высоким отпускком концов полотен включением контактов, т. е. включением всех витков первичной обмотки трансформатора. При этом место пайки разогревается до 400...500° С, а затем медленно охлаждается на воздухе.

Критерии качества выполнения процесса.

Используемое оборудование, оснастка, средства измерения должны быть аттестованы на технологическую точность с записью в карточке или паспорте и установкой на них ярлыка свидетельствующего о годности.

Паяный шов зачистить заподлицо с основным материалом полотна. Место пайки подлежит визуальному осмотру. Шов должен быть ровным, без непроваров и трещин [13].

Технические условия по ГОСТ 6532-77 (ИСО 3295-95) Пилы ленточные для распиловки древесины и ГОСТ 17435-72 Линейки чертежные.

Для пайки сопротивлением можно использовать обычное промышленное оборудование. Машины для точечной сварки всех размеров можно легко переделать для выполнения на них пайки сопротивлением. При таком способе пайки надо прикладывать меньшее давление и устанавливать большее время прохождения тока через деталь, чем при точечной сварке. При пайке электросо-

противлением на контактных сварочных машинах передаваемые давления обеспечивают электрический контакт и выдавливание расплавленного припоя и продуктов флюсования из зоны шва. Благодаря такой особенности процесса образуются соединения с узкой зоной кристаллизации, сравнительно большой плотностью металла шва и, что особенно важно, с получением прочного соединения.

Недостатком пайки электросопротивлением является невозможность использовать для нагрева детали сопротивление самой паяемой детали - это обычно кончается неудачно, так как для этого нужно пропускать ток большой силы, чтобы обеспечить растекание припоя. Такой ток равен сварочному и вызывает перегрев детали. Данное обстоятельство, а так же трудность в контроле процесса пайки приводит к тому, что данным способом все реже пользуются и переходят от пайки к сварке пил.

В связи с этим применение пайки электросопротивлением пил в настоящее время ограничено и применяется только на старом.

2.3 Оборудование для пайки инструмента на АО «Тяжмаш»

С учетом постоянно растущих требований к качеству изготовления продукции производственные мощности завода постоянно обновляются. С целью сокращения производственного цикла, исключения влияния человеческого фактора на производственный процесс, улучшения качества изготавливаемой продукции и обеспечения экологической безопасности, парк оборудования непрерывно проходит модернизацию [14]. Физически и морально устаревшие единицы выводятся из эксплуатации, а им на смену приобретается и успешно внедряется в производство оборудование лидирующих станкостроительных компаний. Активная замена оборудования на заводе коснулась не всех отраслей производства, например, для пайки инструментов используются физически и морально устаревшие установки ТВЧ, 1962 и 1972 годов выпуска. Две установки токов высокой частоты (ТВЧ) расположены в инструментальном цехе № 10 на специальном участке для пайки. Данные установки представлены на рисунке 17 и рисунке 18.



Рис. 17 Установка высокочастотная тип ЛПЗ-67



Рис. 18 Установка высокочастотная тип ЛЗ-67

Техническая характеристика установок ТВЧ.

Установки высокочастотные с ламповым генератором выпускаются мощностью 30 кВт типа ЛПЗ-37, ЛЗ-37, ЛП-3

мощностью 60 кВт типа ЛПЗ-67, ЛЗ-67, ЛП-67

мощностью 100 кВт типа ЛЗ-107

Обозначение типа высокочастотных установок расшифровывается следующим образом:

Л-ламповый

П-плавильный

З-закалочный

Первые цифры это мощность в десятках киловатт, последняя цифра – средняя рабочая частота в десятках килогерц.

Высокочастотные плавно-закалочные установки типа ЛПЗ-37 и ЛПЗ-67 предназначены для плавки металлов и термообработки стальных изделий.

Высокочастотные закалочные установки типа ЛЗ-37, ЛЗ-67 и ЛЗ-107 предназначены только для термообработки.

Высокочастотные плавильные установки типа ЛП-37 и ЛП-67 предназначены только для плавки цветных и чёрных металлов.

Питание установок производится от силовой сети 3-х фазного переменного тока напряжением 220 или 380 В. Рабочее напряжение установки оговариваются при заказе. Установки работают в диапазоне частот 60...74 кГц и не требуют дополнительных устройств по подавлению радиопомех.

Выпрямитель установок типа ЛПЗ и ЛЗ снабжён устройством для автоматической стабилизации напряжения, которое обеспечивает повтор режимов при изменении напряжения. Технические данные высокочастотных установок представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические данные высокочастотных установок

Наименование	Ед. изм.	Тип установок						
		ЛПЗ 37	ЛЗ 37	ЛП 37	ЛПЗ 67	ЛЗ 67	ЛП 67	ЛЗ 107
Сеть		3-х фазный 220 или 3-х фазный 380						
Установленная мощность	кВа	55			105			185
Колебательная мощность генератора	кВт	30			60			100
Анодное напряжение	кВ	10			10,5			11
Анодный ток	а	4,4			8			13
Максимально допустимый анодный ток	а	5,5			10			15
Допустимые пределы сетчатого тока	а	0,35+0,8			0,4+2			0,8+3
Напряжение на контуре	кВ	до 7			до 7			до 7
Расход охлаждающей воды: на генераторную лампу.	л/ч	3000			3000			7000

На регулятор мощности	л/ч	60			100			150
На высокочастотный трансформатор	л/ч	200	200	–	400	400	–	600
На нагревательный индуктор	л/ч	100	100	–	200	200	–	300
На плавильный индуктор	л/ч	180	–	180	240	–	240	–

Продолжение таблицы 6

Вес/чистый		т	3,1	2,8	2,9	3,4	3,1	3,2	3,5
Габаритные размеры	Ширина	м	3,5	2,2	2,85	3,5	2,2	2,85	2,2
	Длина	м	4,04						
	Высота	м	2,25						
Напряжение указывается в заказе									

2.4 Пайка элементов в электрошкафах управления

В современных условиях практически все процессы производства автоматизированы. С целью управления оборудованием используются шкафы управления и автоматизации. Сборка электрошкафов управления на АО «Тяжмаш» производится в цехе № 6 из закупленных у поставщика необходимых запчастей и комплектующих по чертежам, разработанными специалистами АО «Тяжмаш». Основными из широкого круга такого рода изделий можно выделить шкафы управления конвейерно-ленточным оборудованием, мельницами для размола руды, шкафы управления военной техникой. Конечно, это лишь очень малая часть всех возможных вариантов собираемых шкафов автоматизации. Но каждый из подобных изделий собирается, как правило, под конкретные нужды заказчика. На рисунке 19 показаны шкафы управления промышленным оборудованием.



Рисунок 19 – Электрошкафы управления.

Сборка электронного модуля в электрошкафах состоит из механического соединения деталей и электронных компонентов в последовательности, обеспечивающей их требуемое расположение и взаимодействие для обеспечения установленных технических требований. В состав электронного модуля входят печатная плата и размещенные на ней электронные компоненты (резисторы, транзисторы, конденсаторы) и детали конструкции. Печатная плата является деталью конструкции модуля. Она выполняет функции носителя компонентов и крепления электрических проводников. В настоящее время наиболее частым применением пайки является сборка электронных компонентов на печатных платах, поскольку пайка является основным способом формирования неразъемного соединения элементов с проводниками платы, обеспечивается механическое соединение компонентов модуля с платой и электрический контакт компонентов с проводящим рисунком [15]. «Все известные в настоящее время методы мягкой пайки при монтаже компонентов на печатные платы (ПП) можно разделить по технологии выполнения на индивидуальные и групповые.

К индивидуальным методам относятся: пайка ручным паяльником; механизированная или автоматизированная пайка горячим стержнем различного профиля и формы (конусообразным, расщепленным); пайка горячим призматическим паяльником (или так называемым «групповым паяльником»), одновре-

менно прижимаемым к планарным выводам микросхемы с одной или двух сторон); точечная электродуговая пайка; пайка сопротивлением; пайка микропламенем; пайка световым лучом; пайка электронным лучом; пайка лазерным лучом.

К групповым методам относятся различные виды пайки погружением, ее разновидность – пайка в ванне с подвижным зеркалом (например, пайка волной припоя). Особую подгруппу составляют так называемые методы оплавления предварительно нанесённой припойной пасты – инфракрасная пайка и конденсационная (парофазная) пайка.

Важнейшими критериями выбора метода пайки компонентов на ПП являются:

- вид контактируемых материалов;
- конструктивные параметры ПП (шаг координатной сетки, размеры и форма контактных площадок, зазоры между ними, толщина материала площадки и др.);
- элементная база и способ установки на ПП (материал корпуса, форма и размеры выводов, монтаж в отверстия, планарно или безвыводной монтаж);
- условия эксплуатации аппаратуры;
- термическая устойчивость ПП и компонентов;
- механическая устойчивость ПП и компонентов;
- экономические факторы;
- постоянство характеристик метода с позиции надежности контактирования» [25, с.3-4]. На рисунке 20 показана пайка печатной платы.

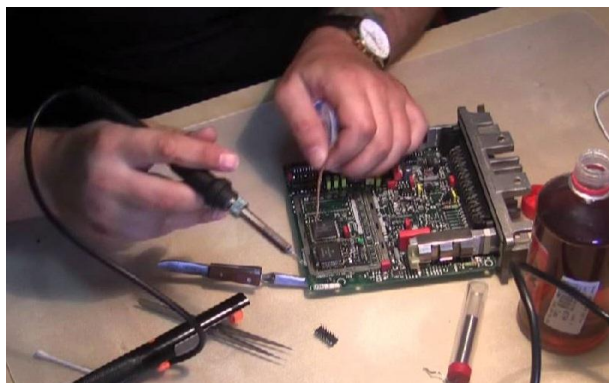


Рисунок 20 – Пайка печатной платы

Перед пайкой необходимо убедиться, что печатная плата чистая и свободная от обломков, химических остатков или жидкостей. Недопустимо, чтобы инородные включения, отличные от того, что содержатся в припое, участвовали в процессе пайки, поскольку оставляют след, который нельзя удалить без потенциального повреждения платы. Также наличие этих остатков может привести в дальнейшем к неправильной работе.

Существует несколько типов дефектов, которые наблюдаются во время сборки печатных плат. Все они возникают при образовании холодных паяных соединений, что является следствием плохого смачивания припоем. Некоторые из этих дефектов можно переделать достаточно просто, однако если шаг компонентов печатной платы очень плотный, то исправить дефекты становится намного сложнее. Иногда исправления приводят к повреждению элементов на плате. Применение азота улучшит смачивание припоем и предотвратит окисление поверхности, а уменьшение количества дефектов сократит затраты на материалы.

Во время пайки соединяемые поверхности защищают от воздействия кислорода спирто-канифольным флюсом, который образует защитную пленку над областью пайки. «Флюс является неметаллическим материалом, который создаёт условия для прочной связи на месте пайки. Механизм взаимодействия

флюса и поверхностей, предназначенных для выполнения паяного соединения, описывается следующим образом:

- быстрое и эффективное смачивание металлической поверхности благодаря влиянию сил поверхностного натяжения;
- удаление окисных слоев на контактируемых металлах, а также растворение и удаление продуктов реакции при температуре ниже температуры плавления припоя;
- защита очищенных металлических поверхностей от нового окисления.

Остатки флюса должны легко удаляться или быть нейтральными, т.е. не должны изменять электрические параметры исходного материала и не вызывать коррозии» [25, с.5].

Исходя из условий, необходимых для нормального протекания процесса пайки, флюс должен удовлетворять следующим общим требованиям [16]:

- быть жидким при температуре пайки, обладать минимальной вязкостью и высокой текучестью, хорошо смачивать припой и паяемый металл, легко растекаться по поверхности основного металла и припоя с образованием сплошной пленки [16];
- сохранять свойства на протяжении всего процесса пайки и не изменять состав при нагреве в интервале рабочих температур [16];
- не образовывать химически стойких соединений с основным металлом и припоем и поглощаться ими, в противном случае снижается механическая прочность и коррозионная стойкость соединения.

Для монтажа радиоэлементов на платах нужны бескислотные флюсы созданные на основе легколетучих компонентов. Состав флюса обусловлен необходимостью адсорбирования припоем и основным веществом флюса поверхностно-активного кислорода, а также частичным выделением его, благодаря чему изменяется поверхностное натяжение и способность смачивания. Флюс должен легко удаляться после завершения монтажа, так как остатки флюса мо-



**ФЛЮКС ПАЯЛЬНЫЙ
СПИРТО-КАНИФОЛЬНЫЙ
ФКСп**

№ 73027 ГОСТ 40 033 201

Применение: пайка элементов радиоаппаратуры
Нормы выпуска: 1 кг, 5 кг, 10 кг, 20 кг, 50 кг, 100 кг

Содержит канцерогенные вещества, вызывает раздражение
кожи, АТ. н.

Срок службы 2010-4 Мех. до 6 мес.
Водост. до 2010-4

Recycling symbols and a person icon are visible at the bottom of the label.

Рисунок 21 – Флюс спирто-канифольный

Припои различных марок обладают различными свойствами в зависимости от комбинации олова, свинца, висмута, меди, цинка, кадмия, серебра. Припои имеют составляющие, образующие сплавы с соединяемыми металлами. Только некоторые из марок припоя предназначены для сборки электронных модулей [17]. «Припои должны содержать компоненты, которые могут образовывать сплавы с соединяемыми металлами. Относительно невысокая термическая стойкость почти всех элементов монтажа и плат ограничивает температуру пайки до 300°C. Поэтому применяются только припои с низкой температурой плавления» [25, с.6]. В настоящее время на АО «Тяжмаш» применяются традиционные припои – оловянно-свинцовые сплавы или близкие к ним, спайка медных проводников проводится припоем ПОС-61. Эта марка показывает, что сплав состоит из олова со свинцом. Припой ПОС-61 показан на рисунке 22. В данном случае 61% олова, 38–39% свинца и может содержать допустимый процент примесей в виде сурьмы, никеля, железа серы и висмута. Наиболее удобным материалом является чистое олово, однако оно имеет весьма высокую стоимость. Припой выпускается в виде литых чушек, прутков, проволоки или тонкой трубки, содержащей для облегчения пайки наполнитель аналогичный флюсу. В расплавленном состоянии припой обеспечивает хорошее смачивание соединяемых поверхностей и тягучесть, достаточно прочное механическое соединение деталей после остывания пайки [15].

Температура плавления ПОС-61 составляет 183 °C, что является начальной точкой. Полное расплавление достигается при температуре около 190 °C, что позволяет работать с ним при помощи любого бытового паяльника или профессиональной паяльной станции. Температура пайки равна 240 °C. Это самый низкоплавкий припой из всей группы оловянно-свинцовых припоев, поэтому данный присадочный материал относится к категории мягких.



Рисунок 22 – Припой ПОС-61

Детали в области пайки разогревают паяльным оборудованием до температуры, выше температуры плавления припоя. Припой растекается по поверхности и вытесняет флюс. Происходит смачивание соединяемых поверхностей. Образуется сплавная зона при диффузии припоя и поверхностей соединяемых деталей. В сборку модуля также входят следующие операции: отмывка платы от остатков флюса и покрытие защитным лаком “Цапон” [15].

Сочетание различных составляющих припоя даёт возможность получить высококачественную пайку, которая выдерживает широкий диапазон температур при эксплуатации электронного модуля [15]. В таблице 7 указаны припои используемые на заводе АО «Тяжмаш».

Таблица 7 – Припои для сборки электронных модулей [17]

Марка	Состав	Температура полного расплавления припоя, °С
ПОССу 61-0,5	олово 61 %, сурьма 0,5 %, свинец 38,5 %	189
ПОС 61	олово 61 %, свинец 39 %	190
ПОС 61М	олово 61 %, свинец 37 %, медь 2 %	192

В будущем бессвинцовые припои должны заменить свинцово-содержащие. Европейская комиссия по законодательству запретила использование свинца в производстве электроники с 2006 года. Бессвинцовые сплавы обладают более высокой прочностью по сравнению со сплавами олова и свинца, устойчивостью к перепадам температур и рекомендуются для пайки компонентов с разными тепловыми коэффициентами расширения [15]. Стоимость бессвинцовых припоев выше из-за содержания серебра.

Среди многих способов соединения электропроводов пайка является наиболее надёжным методом. На АО «Тяжмаш» пайка проводов, силовых кабелей для электрошкафов производится теми же материалами, что и пайка печатных плат – это спирто-канифольный флюс с припоем ПОС-61. Пайка жил кабелей с хвостовиками контактов штепсельных разъемов должна обеспечивать надежность и необходимую прочность электрического контакта. Пайка жилы длится не более 5...7 секунд во избежание перегрева и повреждения проводника и изолятора разъема. Температура разогрева места пайки должна быть на 30...50° выше температуры плавления припоя и флюса. При более низкой температуре происходит так называемая холодная пайка, обладающая малой механической прочностью и создающая ненадежный электрический контакт [18]. В процессе пайки припой заполняет пространство между электропроводами. Плавление самого припоя при этом происходит при температуре намного ниже, чем металлических проводов. Качество электрического контакта напрямую зависит от чистоты соединяемых элементов и их хорошего обволакивания припо-

ем, поэтому жилы кабелей перед пайкой очищают от окислительной плёнки и жиров, затем облуживают для чего конец зачищенной жилы покрывают флюсом. Флюс повышает качество растекания расплавленной массы, защищает поверхность соединения от окисления, а также снижает поверхностное натяжение и погружают в ванночку с расплавленным припоем, выдерживают так в течение 5...7 секунд, затем вынимают и дают остыть. Это необходимо выполнить перед соединением между собой. На рисунке 23 показан, как выглядит облуженный кабель.



Рисунок – 23 Лужёный кабель

Во избежание повреждения изоляции участков, жилы длиной 2...3 мм от среза изоляции не облуживают. Перед распайкой жил в разъем, хвостовики его контактов заполняют припоем. При пайке хвостовик контакта нагревают паяльником до расплавления в нем припоя и вставляют в его гнездо конец облуженной жилы, так чтобы срез изоляции на жиле не доходил до хвостовика на 1...2 мм (во избежание повреждения изоляции жилы). Пайку жил выполняют по рядам, начиная с наиболее удаленного от монтажника, слева направо, при этом разъемы устанавливают так, чтобы срезы контактов (отверстия) были обращены в сторону монтажника [18]. На рисунке 24 показано рабочее место паяльщика.



Рисунок 24 – Рабочее место паяльника

Для производства лужения и пайки применяют электропаяльники мощностью 42 В. Напряжение питания электропаяльников 220 Вт переменного тока. Он состоит из ручки, нагревательного устройства и рабочего наконечника. Электропаяльник подключается к электросети и через некоторое время температура его жала достигает порядка 300 градусов. Этого вполне достаточно для плавления припоя и соединения элементов.

По мере продвижения технологий использование пайки для электронных товаров уменьшается. Тем не менее, пайка, вероятно, будет по-прежнему использоваться в различных производственных процессах, потому что она недорогая и простая в использовании. Кроме того, это ценный метод изготовления прототипов и экспериментальных устройств, поскольку припой можно легко удалить. Вероятно, могут быть разработаны более простые и экономичные способы пайки.

3 Родственные процессы пайки и сварки в АО «Тяжмаш»

Повышенная производительность технического оборудования и машин предъявляет высокие требования к частям и сегментам, подверженных большой нагрузке. Одним из наиболее эффективных технологических путей повышения надёжности работы деталей машин и механизмов является нанесение на рабочую поверхность изделий различных покрытий. Покрытие представляет собой поверхностный слой детали, целенаправленно создаваемый для защиты от воздействия окружающей среды на поверхность материала и характеризующийся конечной толщиной, а так же химическим составом и структурно-фазовым состоянием, качественно отличающимися от аналогичных характеристик материала основы [19].

В октябре 2010 года специалистами сварочной лаборатории АО «Тяжмаш» было произведено внедрение оборудования и технологии нанесения специального покрытия на детали гидротурбинного оборудования методом газопламенного напыления. Сущность процесса заключается в расплавлении проволоки при её непрерывной подачи в поток продуктов сгорания горючей смеси и в распылении расплавленного металла газовым потоком. Металлические частицы, попадая на покрываемую поверхность, сцепляются с ней и образуют сплошное покрытие. Перед металлизацией с поверхности удаляется грязь, окисная плёнка и предаётся ей необходимая шероховатость дробеструйной обработкой. Для нанесения покрытия используют металлизатор газовый МГИ-4. В качестве материала для напыления применяют проволоку Zn/Al15, диаметром 2,5 мм, наносится для защиты металла от каррозии. Толщина наносимого покрытия должна быть не менее 0,2 мм. Материал основной – сталь углеродистая. Потребляемые энергоресурсы: ацетилен и кислород в баллонах, сжатый воздух $P=4-6 \text{ кгс/см}^2$.

Данным способом можно наносить покрытия из иных материалов – меди, стали и других материалов. Толщина слоя покрытия не должна превышать 0,35...0,5 мм. Метод газопламенного напыления позволяет получать защитный слой с заданной твёрдостью, износостойкостью, жаропрочностью, антифрикционностью, коррозионной стойкостью. Большим достоинством метода является

возможность изменять в процессе напыления состав материала и его структуру от обычной до мелкозернистой и аморфной, что позволяет регулировать в широких пределах свойства получаемого покрытия. Применять газопламенное напыление целесообразно как при больших так и при малых масштабах производства, от индивидуального и малосерийного до высокопроизводительного автоматизированного.

В последние несколько лет термическое напыление приобретает все большее значение - как для производства новых машин, так и для их ремонта. При пламенном распылении технология нанесения покрытий имеет ряд преимуществ:

- способность многих материалов, из которых изготовлены детали машин, хорошо сцепляться с защитным покрытием;
- недостаток основного материала и связанные с ним повышенные цены заставляют промышленность использовать ценные вещества только в целях нанесения на поверхности, требующих дополнительных прочностных характеристик;
- гибкость термического напыления дает множество возможностей для ремонта ценных изношенных деталей;
- низкие затраты на ремонт и относительно короткое время простоя являются большими преимуществами при других методах капитального ремонта.

Потери металла вследствие абразивного износа деталей машин ежегодно составляют несколько сотен тысяч тонн [29]. «Высокая интенсивность разрушения трущихся частей деталей машин обуславливается многократным воздействием на металл абразивных частиц. Специфика разрушения металла при абразивном износе вызывает необходимость создания и применения новых эффективных методов повышения долговечности машин, работающих в абразивной среде» [29, с.3]. Таким методом является наплавка – ещё один родственный сварке процесс, который применяется на заводе. «Наплавкой называют процесс нанесения слоя присадочного металла на поверхность основного металла.

Наплавку можно выполнять из металла того же состава, что у основного или другого металла, значительно отличающегося от основного своими свойствами и химическим составом. С помощью наплавки восстанавливают первоначальные размеры изношенных деталей, придают рабочим поверхностям антифрикционные свойства, повышают их твердость и стойкость к абразивному изнашиванию» [20, с.133].

Наносить наплавочные материалы на изделия следует тонкими слоями. Толщина наплавленного слоя должна быть, как правило, не больше 2 мм; при большей толщине повышается склонность наплавки к образованию трещин [21].

«Для получения требуемой глубины проплавления при наплавке необходимо регулировать степень нагрева основного и присадочного металлов. Для этого целесообразно применять газовую наплавку. Пламя эффективно защищает наплавляемый металл от окисления кислородом окружающей среды и от испарения элементов, входящих в состав наплавляемого металла и придающих ему заданные свойства (антифрикционность, износостойкость и др.) Недостатком газовой наплавки является пониженная производительность этого процесса по сравнению с электрическими способами наплавки и более значительное термическое воздействие на основной металл» [25, с.134].

В основе технологии наплавки лежат те же процессы, что и в технологии сварки. «Главным условием обеспечения прочной связи наплавленного металла с основным является хороший контакт между жидким (наплавляемым) и основным металлами. Качество этого контакта зависит от характера смачивания на границе их соприкосновения. Наиболее важную роль в обеспечении смачивания играет флюс, который раскисляет поверхность контактирующих металлов (основного и присадочного) и защищает их от окисления во время нагрева. Смачивание улучшается с повышением температуры нагрева основного металла до определённого предела. Если нагрев недостаточен или металл перегрет, то наплавляемый металл собирается в виде капель» [25, с.134].

Нанесённое металлическое покрытие после остывания прочно связывается с основным металлом, образуя верхний слой. При этом из разных способов сварки, имеющих промышленное применение, для наплавки используются методы, обеспечивающие следующие условия:

- неглубокое и равномерное проплавление основного металла;
- образование ровного валика с хорошим внешним видом;
- отсутствие склонности к возникновению дефектов;
- высокая технологичность процесса;
- высокая скорость процесса.

Основная цель наплавки – получение рабочей поверхности деталей машин и инструментов с повышенными свойствами, такими как износостойкость, коррозионностойкость и др. В настоящее время на заводе производят ручную наплавку деталей, подвергающихся интенсивному износу и предназначенных для размол бурых углей, торфа, руды. АО “Тяжмаш” занимается производством молотковых мельниц, мельниц-вентиляторов. Мельницы применяются для размол до пылевидного состояния в системах пылеприготовления тепловых электростанций. В молотковых мельницах размол производится за счёт многократных ударов материала билами о броню корпуса, а также путём истирания материала при движении в зазоре между бронёй корпуса и вращающимся ротором мельницы. На рисунке 25 показан било с наплавленной поверхностью. Била закреплены в билодержателях ротора, который, вращаясь внутри мельницы, размалывает угольную руду в пыль. Билодержатель показан на рисунке 26. Для ударной способности било наплавляют порошковой проволокой ПП-Нп-80Х20РЗТ ГОСТ 26101-84, обладает особыми свойствами, состоит из металлической оболочки и порошка наполнителя. В состав порошка входит углерод 0,5-1,2%; хром 18-23%; марганец не более 1%; кремний не более 1%; титан 0,1-0,8%.

«Такая наплавка повышает твёрдость и износоустойчивость деталей, увеличивая срок их эксплуатации, а также снижает расход дорогостоящих легированных сталей.

Для получения ровного, плотного наплавленного слоя без пор, трещин и отслоений необходимо, чтобы наплавляемый сплав имел более низкую температуру плавления, чем основной металл, а его коэффициент линейного расширения был приблизительно таким же, как у основного металла» [25, с.137].



Рисунок 25 – Било с наплавленным слоем

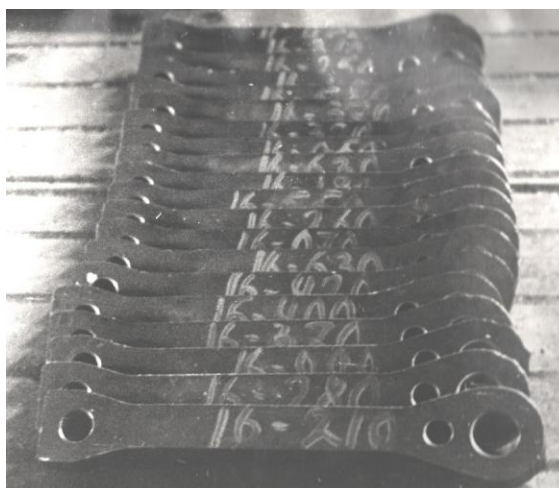


Рисунок 26 – Билодержатели ротора

В мельницах-вентиляторах размол производится мелющими лопатками, которые расположены в роторе между основным и покрывающим дисками. Наплавка так же производится порошковой проволокой ПП-Нп-80Х20РЗТ

ГОСТ 26101-84. На рисунке 27 показаны мелющие лопадки мельницы-вентилятора.

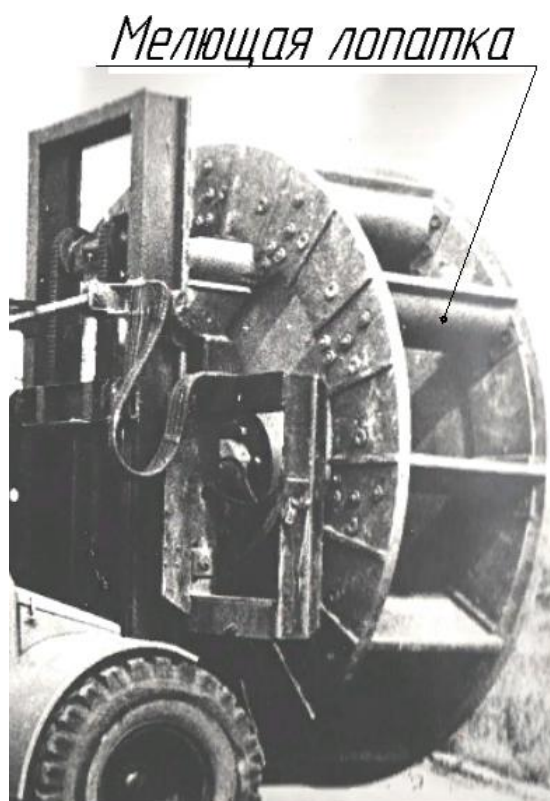


Рисунок 27 – Мелющие лопадки мельницы-вентилятора

Общий недостаток всех машин требующих защитного покрытия определяется тем, что части машины должны быть изготовлены из доступных материалов, но, как правило, на практике такие материалы не соответствуют предъявляемым к ним требованиям. Поэтому поверхности, подверженные риску, защищены, а в некоторых случаях изменены путем термического напыления, что позволяет выдерживать высокую нагрузку. Для достижения желаемой прочности поверхности деталей машин необходимо правильно подбирать состав покрытия.

4 Модернизация технологического процесса

Высокочастотная пайка инструментов имеет все условия для получения высокого качества паяного инструмента с пластинками твердых сплавов, что и является основным ее достоинством. К этому следует добавить, что по удобству ведения процесса пайки, стоимости и производительности ни один способ пайки инструмента не может с ней конкурировать. Несмотря на достоинства пайка имеет ряд недостатков, которые требуют внимания со стороны специалистов и, как следствие, усовершенствования способов пайки. В настоящее время напайной твердосплавный инструмент составляет 60-70% от общего количества инструмента, применяемого при обработке металлов резанием, поэтому повышение качества напайного инструмента является весьма актуальной задачей. Каждый режущий инструмент работает в более тяжёлых условиях, чем любая деталь машины, поэтому к материалу инструмента предъявляют особые требования. Анализ эксплуатации напайного инструмента показывает, что 20% его, а на некоторых предприятиях и более, выходят из строя в результате выпадения пластин твёрдого сплава и поломок из-за наличия трещин. Одной из основных причин низкого качества напайного твёрдосплавного инструмента является нарушение технологии его изготовления, в частности технологии пайки. В этом разделе будет произведён анализ нарушения технологии пайки на примере производства АО «Тяжмаш» и поиск решений для их устранения.

Имея своё инструментальное производство по изготовлению специализированных инструментов и оснастки, специалисты АО «Тяжмаш» довольно часто сталкиваются с проблемой износа инструментов, поэтому возникает необходимость в их надёжном ремонте. Когда во время работы ломается резец с пластинкой твердого сплава, пластинка скалывается и отлетает, чаще всего причиной поломки является плохая пайка. В качестве примера рассмотрим режущую пластину для нарезки зубчатых колёс, представленную на рисунке 28.



Рисунок 28 – Инструмент для нарезки зубчатых колёс

Режущий инструмент состоит из корпуса, сталь ХВГ и режущей пластины твёрдого сплава ВК10-ОМ. Сталь ХВГ относится к числу наиболее распространенных марок конструкционной стали. Это легированная инструментальная сталь, обладающая высокими механическими характеристиками прочности, твердости и износоустойчивости. Эксплуатационные свойства материала обеспечивают возможность его применения для изготовления наиболее ответственных конструктивных элементов, работающих в сложных условиях. При этом применение стали ХВГ позволяет обеспечивать высокую долговечность и надежность таких элементов. В качестве основных легирующих элементов сталь ХВГ использует хром, вольфрам и марганец. Эти вещества включаются в состав сплава с содержанием не более 1,5 процентов. Кроме этого, данная марка стали отличается повышенным содержанием углерода, уровень которого в составе сплава достигает порядка 1 процента. Благодаря такому составу металл и получает повышенные механические характеристики. При этом состав сплава определяет его слабую склонность к обработке свариванием и малую склонность к отпускной способности. Свойства стали ХВГ обуславливают особенности области применения данного материала. Инструментальная легированная сталь используется для создания ответственных деталей. Сталь ХВГ выпускается ведущими предприятиями отечественной металлургии. В процессе производства должно быть обеспечено строгое соблюдение технологии, что обуславливает высокий уровень требований по отношению к производителю.

Сплавы вольфрамовой группы изготавливают на основе карбидов вольфрама и кобальта. Они носят название вольфрамокобальтовых. Это сплавы группы ВК. Производство металлокерамических твердых сплавов относится к области порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта. Из этой смеси прессуют изделия требуемой формы и затем подвергают спеканию при температуре, близкой к температуре плавления кобальта. Так изготавливают пластинки твердого сплава различных размеров и форм, которыми оснащаются резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки и др [27]. ВК10-ОМ состоит из 10% кобальта; 2% карбида тантала; 88% карбида вольфрама; ОМ - сплавы, изготовленные из особо мелких порошков карбида вольфрама. В таблице 8 дана характеристика твердого сплава ВК10-ОМ.

Таблица 8 – Основные свойства и область применения твердого сплава [27]

Марка сплава	ВК10-ОМ
Предел прочности на изгиб, МПа не менее	1470
Плотность, г/см ³	14,3-14,6
HRA, не менее	88,5
Вольфрамовая группа сплавов	
Область применения	Для черновой и получерновой обработки твердых, легированных и отбеленных чугунов, некоторых марок нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена. Применяется для изготовления некоторых видов монолитного инструмента. Отличается очень высокой износостойкостью.

После пайки данного инструмента на поверхности пластины образуются трещины, как видимые, так и микротрещины, выявление которых возможно методом магнитной дефектоскопии. На рисунке 29 показаны трещины в пластине твердого сплава.



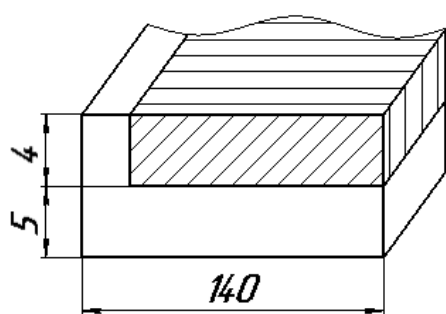
Рисунок 29 – Трещины на твердосплавной пластине

Наличие трещин для такого инструмента неприемлемо, поскольку нарезка зубчатого колеса предполагает непрерывный процесс работы и при повторной установке режущего инструмента в профиль зубьев возможно нарушение целостности нарезаемого профиля, что приводит к браку всего зубчатого колеса. Поэтому к данному инструменту предъявляют высокие требования: режущая часть резца должна иметь повышенную жёсткость и прочность, износостойкость и долговечность. Пайка должна обеспечить достаточно прочное соединение пластинки твёрдого сплава с корпусом и цельность пластинки твёрдого сплава в процессе изготовления и эксплуатации инструмента [27]. Поперечные трещины в пластинах твердого сплава — результат значительных изгибающих напряжений, возникающих при резком нагреве или охлаждении паяного соединения, недостаточной толщины опорной части корпуса инструмента и его деформацией при нагреве. Кроме того, причинами появления трещин могут служить качество твердосплавных пластин и условия их подготовки к пайке. Трещины вдоль шва — следствие высоких касательных напряжений по длине паяного соединения и наблюдаются в пластинах средней и большой длины [28].

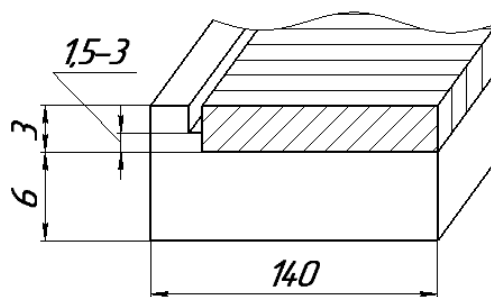
Проведя собственный анализ процесса пайки данного инструмента, есть основания полагать, что наличие трещин объясняется неудовлетворительной пайкой вследствие некоторых причин, основные из них:

- неудачная конструкция корпуса инструмента;
- неподходящий температурный режим нагрева инструмента;
- наличие больших внутренних напряжений из-за разницы линейного расширения материалов инструмента;
- неправильный режим охлаждения инструмента.

Рассмотрим подробнее каждую из причин. В нашем случае пайка твердосплавной пластины производится в открытый паз по двум плоскостям, в то время как индукционная пайка твердосплавных пластин в открытый паз должна производиться по одной плоскости, так как индукционная пайка по двум плоскостям вызывает дополнительные остаточные паяльные напряжения. При индукционной пайке твердосплавной пластины по одной плоскости возможно её смещение, поэтому при пайке в открытый паз следует оставлять уступ высотой 1,5-3 мм для фиксации пластины твёрдого сплава. На рисунке 30 (вариант б) показана конструкция режущего инструмента с минимальной высотой второй паяемой плоскости.



а) базовый проект



б) рабочий проект

Рисунок 30 – Резец с пластиной твёрдого сплава

Данная конструкция позволит снизить остаточные напряжения за счёт уменьшения одной из двух паяемых плоскостей. Уровень остаточных паяльных напряжений как в твёрдом сплаве, так и в паяном шве тесно связан с конструкцией и размерами инструмента [22]. Исходя из этого стоит обратить внимание на соотношение толщин корпуса инструмента и пластины твердого сплава. Рекомендовано соотношение толщин из расчёта 1:3, т.е. толщина пластины должна быть в три раза тоньше толщины корпуса. На рисунке 30 (вариант а) видно, что толщины корпуса и пластины равны. Поэтому в целях исключения этого момента, как одной из причин возникновения трещин в пластине, стоит пересмотреть конструкцию инструмента, руководствуясь рекомендацией по соотношению толщин из расчёта 1:3, как показано на рисунке 30 (вариант б).

Нагрев зоны пайки следует вести за счет теплопередачи от корпуса инструмента к пластине. Скорость нагрева пластин твердого сплава группы ВК не должна превышать 50...100 °С/сек. Такая скорость нагрева обычно обеспечивается при зазоре 8...15 мм между индуктором и нагреваемым инструментом. Уменьшение величины зазора ведет к интенсификации процесса и опасности перегрева пластины [28]. При нагреве необходимо следить за равномерным повышением температуры, не допуская перегрева пластинок твердого сплава, что достигается периодическим включением и выключением тока. Быстрый нагрев пластин из твердых сплавов вызывает неравномерное распределение температур в объёме изделия. Участки твердосплавной пластины, нагретые до более высоких температур, стремятся расшириться, а участки изделия, имеющие меньшую температуру, препятствуют этому, что приводит к трещинам корпуса и непропаиванию внутри паза. Кроме того, неравномерный нагрев корпуса инструмента и непостоянство режимов нагрева вызывают различное изменение размеров отдельных его участков при охлаждении инструмента. Нестабильный режим деформирования паяного соединения, особенно если операция пайки совмещена с операцией термообработки, приводит к непостоянству схем напряженного состояния твердого сплава и в конечном счете к нестабильности качества инструмента [22]. Медленный прогрев увеличивает опасность окис-

ления пластинки и пережога державки. «Неравномерный нагрев инструмента под пайку может не только вызвать в твердом сплаве остаточные напряжения, но и создать предпосылки получения паяного шва неудовлетворительного качества. Здесь могут быть два одинаково неблагоприятных случая. Либо расплавленный припой затекает в паяльный паз, у которого температура поверхности ниже ликвидуса припоя; последний, не успевая взаимодействовать с ней, затвердевает. При этом образуются непропаи, а прочность паяного получается пониженной.

Если некоторые участки поверхностей, подлежащих пайке, имеют температуру, значительно превышающую температуру ликвидуса припоя, то при использовании в качестве припоев латуней происходит их обеднение цинком и нестабильность свойств паяного шва.

Кроме того, неравномерный нагрев корпуса инструмента и непостоянство режимов нагрева вызывают различное изменение размеров отдельных его участков при охлаждении инструмента. Нестабильный режим деформирования паяного соединения, особенно если операция пайки совмещена с операцией термообработки, приводит к непостоянству схем напряжённого состояния твердого сплава и в конечном счете к нестабильности качества инструмента» [22, с.161-162]. Поэтому необходимо тщательно соблюдать правильный режим нагрева при пайке инструмента.

После расплавления припоя выключают ток, дают припою затечь в зазор под пластинку, поправляют пластинку, после чего напаянный инструмент помещают в подогретый песок для медленного остывания. Для предупреждения трещин на пластинках напаянный инструмент лучше охлаждать в печи, нагретую до 200...250 °С, выдержать 6...8 часов, затем медленно охладить вместе с печью до 80...100°С, чем достигается более равномерное остывание напаянного инструмента.

Известно, что чем тоньше слой припоя в спаиваемом шве, тем прочнее шов. Однако при пайке твердосплавных резцов, корпуса которых закаливаются после пайки пластинок, можно наблюдать, что большее количество трещин

возникает на тех экземплярах, у которых шов спая тоньше и пайка которых, казалось бы, должна быть прочнее. В чем же причина возникновения трещин? Оказывается, причина возникновения трещин в этом случае кроется не в перегреве, не в плохом качестве материала пластинки и не в плохой пайке, а в том, что возникшие вследствие резкого охлаждения внутренние напряжения настолько велики, что материал пластинки не выдерживает и растрескивается. Внутренние напряжения возникают вследствие того, что материал корпуса инструмента и материал пластинки имеют сильно отличающиеся друг от друга коэффициенты линейного расширения. Иногда коэффициент линейного расширения материала пластинки в несколько раз меньше, чем материала корпуса. Решением проблемы в данном случае является наличие между твердосплавной пластинкой и корпусом инструмента компенсационной прокладки из пластичного материала. Компенсационная прокладка значительно уменьшает внутренние напряжения. Материалом прокладки может служить пермаллой, а также никель и малоуглеродистое железо в виде фольги или мелкой сетки. Толщина компенсационных прокладок для мелких резцов составляет 0,2...0,3 мм, для крупных 0,8...1,5 мм. Прокладки перед пайкой подлежат очистке и обезжириванию. Компенсационные прокладки следует прокладывать по всем плоскостям прилегания твердосплавной пластинки к корпусу. В случае применения компенсационных прокладок между пластинками твердого сплава и корпусом инструмента, размер паза должен быть увеличен соответственно размерам компенсационных прокладок. Так же одним из мероприятий, снижающих внутренние напряжения в инструменте, может быть переход на пайку более легкоплавкими припоями.

От того насколько правильно подобран припой, зависит качество пайки, он должен хорошо смачивать соединяемые поверхности и затекать в зазор между ними, должен обладать достаточной прочностью и жаропрочностью для снижения внутренних напряжений при охлаждении. Применение высокопрочных припоев с пониженной пластичностью приводит к образованию трещин на

пластинке твёрдого сплава. Наиболее распространёнными припоями являются медь и её сплавы.

Помимо затронутых проблем на качество пайки может влиять подгонка пластинок к корпусу инструмента перед пайкой, а так же правильно подобранная форма индуктора, которая зависит от формы и размера напайваемого инструмента. Лучше применять петлевые индукторы, так как направление тока в изделии должно быть параллельно плоскости пайки. Твердосплавные пластинки перед пайкой должны проверяться на наличие трещин, сколов, вмятин и коробление. Для обеспечения качественной пайки коробление пластинок по опорной плоскости не должно превышать 0,05 мм, при пайке пластинок в закрытом пазу коробление допускается в пределах 0,1 мм на каждой стороне опорной пластинки. Устранение поверхностных дефектов на опорных плоскостях пластинок может производиться абразивным или электроискровым шлифованием.

Для пайки твердых сплавов различных марок на заводе используют одну и ту же высокочастотную ТВЧ установку индукционного нагрева, поэтому есть необходимость обратить внимание на наиболее неблагоприятные условия [22]. Большие температурные градиенты отрицательно влияют на эксплуатационную прочность твёрдого сплава [23]. Таким образом, как с точки зрения сохранения исходной прочности твёрдого сплава, так и для сквозного прогрева стали целесообразно использовать высокочастотные ТВЧ установки индукционного нагрева, имеющие минимальную частоту. С точки зрения получения инструмента высокого качества нагрев под пайку следовало бы вести на высокочастотных ТВЧ установках индукционного нагрева, имеющих частоту тока 2,5...8,5 кГц. Такие высокочастотные ТВЧ установки индукционного нагрева дают более равномерный нагрев, чем установки, имеющие частоту тока более 60 кГц [22]. Следует заметить, что на заводе применяются две установки ТВЧ работающие в диапазоне частот 60...74 кГц, что нежелательно исходя из данных рекомендаций. Нужно иметь в виду, что при пайке мелкого инструмента, поперечное сечение которого меньше 40 мм, на установках с низкой частотой

электромагнитное поле может сбрасывать пластину твёрдого сплава (особенно при частоте

2,5 кГц). Поэтому целесообразно использовать высокочастотные ТВЧ установки индукционного нагрева с более высокой, чем 2,5 кГц, частотой. Либо в процессе индукционной пайки пластины твёрдого сплава следует удерживать во избежание их смещения, что при использовании многоместных индукторов может вызвать затруднения [22].

Несмотря на озвученные проблемы и рассуждения на тему неподходящего режима для моего изделия - представителя, старые установки зарекомендовали себя надёжной и бесперебойной работой, давно отлаженным и настроенным процессом, поэтому нет острой необходимости в полной замене установок ТВЧ на современное оборудование. В нашем случае можно рекомендовать не заменять имеющееся оборудование, а докупить новое, которое бы отвечало требованиям по соблюдению режима нагрева для пайки твердосплавных пластин, при создании которых образуются трещины. Это позволит понять новое оборудование и со временем, утвердившись в его надёжности и рентабельности, полностью перейти на новое, предварительно оценив все достоинства и недостатки в сравнении с имеющимися установками ТВЧ. В качестве примера нового оборудования можно рассмотреть установку индукционного нагрева “ПЕТРА-0501”, представленную на рисунке 31. Производства ООО “НКВП” «ПЕТРА» находится в России, Республика Башкортостан, г. Уфа. Предприятие с двадцатилетней историей, профиль-преобразователи. Привязка оборудования ПЕТРА к технологии и производственным условиям заказчика начинается задолго до поставки и происходит в тесном контакте инженеров ПЕТРА и служб заказчика.

Установка индукционная нагревательная ПЕТРА-0501 эффективно заменяет собой ламповые ТВЧ-установки. По сравнению с ламповыми установками ПЕТРА-0501 имеет высокий КПД, малые габариты и не требует дополнительного времени перед началом и по окончании работы на разогрев и остывание лампы. Отличительная особенность индукционной установки ПЕТРА-0501 —

высокая допустимая полная мощность индуктора и возможность обеспечения нагрева в индукторах с малым cosφ.

Таблица 9 – Параметры рекомендуемых установок ТВЧ

Рпот, кВт	Полная мощность в индукторе, кВА	Фин, кГц	Сквозной нагрев, Т>750°С		Поверхностная закалка		
			Ømin, мм	Ønorm, мм	Ømin, мм	Ømax, мм	Глубина, мм
100,16, 250,320	500,800,3200	8,0	15...20	45...60	18...20	200,250, 300,500	2,75...5,5
100,16, 250,320	800, 3200	2,4	25,0	60...80	35	200,250, 300,500	5,0...10,0



Рисунок 31 – Установка индукционная нагревательная ПЕТРА-0501

На рисунке 32 показаны габаритные размеры установки индукционного нагрева “ПЕТРА-0501”.

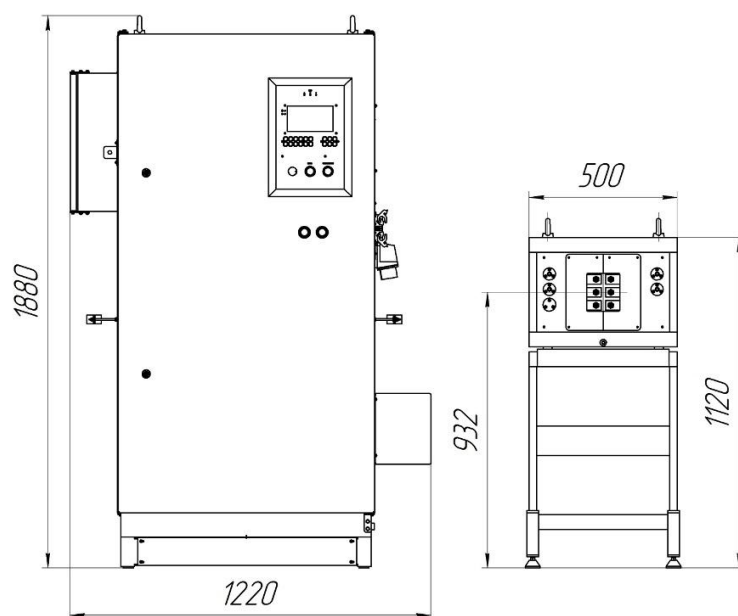


Рисунок 32 – Габаритный чертёж. Установка индукционная нагревательная ПЕТРА-0501

Высокие требования, предъявляемые к режущему инструменту, заставляют много работать над технологией пайки, так как невозможно иметь надёжный инструмент без прочного паяного шва. Какого бы качества не была пластинка твердого сплава, если нет уверенности, что она надёжно припаяна, нельзя рассчитывать, что инструмент будет хорошо работать. На мой взгляд устранение трещин в пластине твёрдого сплава возможно путём отработки технологического процесса как с учётом одного или нескольких из предложенных вариантов решения проблемы, так и с учётом всех рассмотренных предложений, что позволит добиться достойного качества режущего инструмента, сократить расход материалов и улучшить качество выпускаемой продукции, обеспечить бесперебойную работу всего производства, всё это невозможно без высококачественных инструментов.

5 Расширение номенклатуры паяных изделий в АО «Тяжмаш»

АО «ТЯЖМАШ» является в настоящее время одним из ведущих предприятий тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения [27]. Производство АО «Тяжмаш» сопряжено с изготовлением машин больших габаритов, имеющих достаточно большой вес и сечения деталей. Вследствие чего получение заготовок требуемого размера и формы с помощьюковки или литья вызывает большие трудности. Преодоление этих трудностей обеспечивается разделением крупной сложной детали на более простые по форме элементы меньшего веса с последующим соединением сваркой. При этом технологичность составной детали во многом определяется выбором расположения и конструктивного оформления стыков между отдельными элементами. Поэтому вопросы деления крупной детали необходимо решать с учетом как методов получения заготовок отдельных элементов, так и способов их соединения. Для АО «Тяжмаш» наиболее характерными деталями, имеющих большое сечение, являются фланцы, конуса, стенки, применяемые в дробильно-размольном оборудовании. На примере одной из деталей произведём анализ возможностей применения вакуумной пайки в АО «Тяжмаш». На рисунке 33 показан диск основной для мельницы-вентилятора.



а) внешняя сторона диска



б) обратная сторона диска

Рисунок 33 – Диск основной для мельницы-вентилятора

Диск состоит из шести частей, сваренных электрошлаковой сваркой. Внешний диаметр 3850 мм, внутренний диаметр 2412 мм, вес 3362 кг, сталь 08ГДНФ. Мельницы-вентиляторы устанавливаются в системах пылеприготовления тепловых электростанций и предназначены для размола бурых углей, лигнитов, торфа. На рисунке 35 показана мельница-вентилятор МВ-2700/650/590. Типоразмер мельницы-вентилятора выбирается по нормативным материалам. Основными узлами являются ротор, корпус-улитка, блок подшипников и соединительная муфта, шибер отсечной, патрубок, рама блока подшипников, приёмный патрубок, примыкающий к корпусу. Электродвигатель устанавливается на отдельной раме. Ротор консольно крепится на валу и состоит из основного и покрывающего дисков, между которыми устанавливаются основные и мелющие лопатки для размола руды. Ротор мельницы-вентилятора (без мелющих лопаток и с лопатками) проходит на заводе статическую балансировку и обкатку на подшипниках. На рисунке 34 показан автопогрузчик с ротором для мельницы-вентилятора.

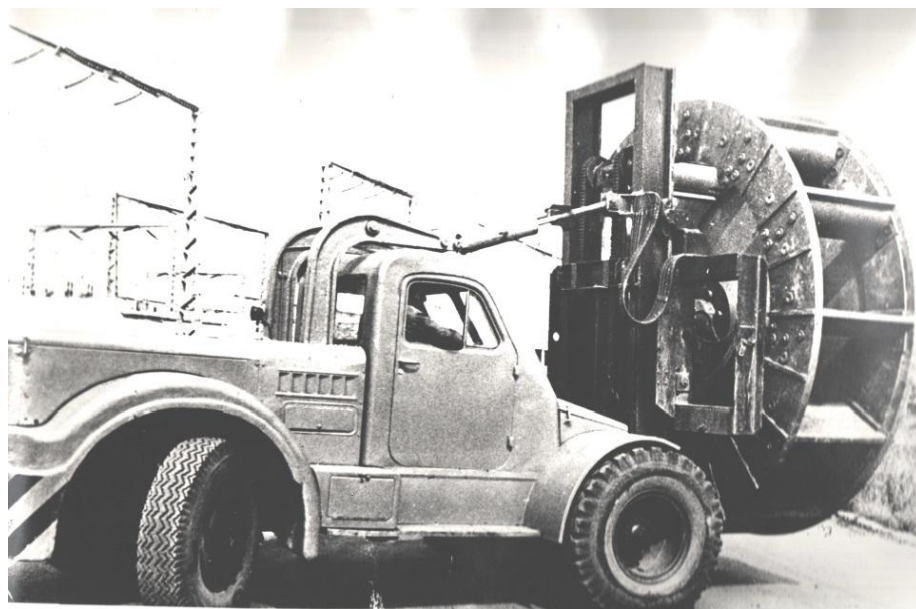


Рисунок 34 – Автопогрузчик с ротором для мельницы-вентилятора

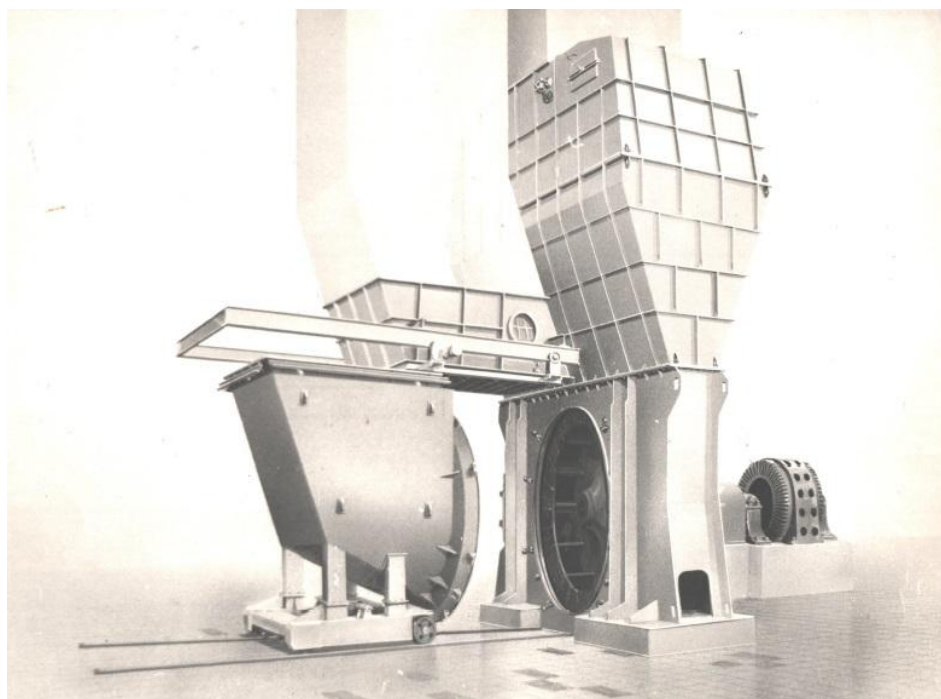


Рисунок 35 – Мельница-вентилятор МВ-2700/650/590

Типоразмер мельницы-вентилятора (МВ) обозначается тремя числами:

- первое число-диаметр ротора, мм;
- второе – рабочая ширина мелющих лопаток, мм;
- третье – частота вращения ротора, об/мин.

Учитывая толщину диска 80 мм в сборе, заготовки частей режутся из листа толщиной 100 мм с припуском 20 мм по толщине и на каждую сторону внешнего и внутреннего диаметров для последующей механической обработки. Сварные швы в детали выполнены электрошлаковой сваркой в специальном приспособлении, используя которое можно сваривать диски больших толщин и диаметров, фиксируя части зажимами. Приспособление, представленное на рисунке 37, может принимать любое удобное для сварки положение. На рисунке 36 показан рабочий чертёж для сборки основного диска мельницы-вентилятора.

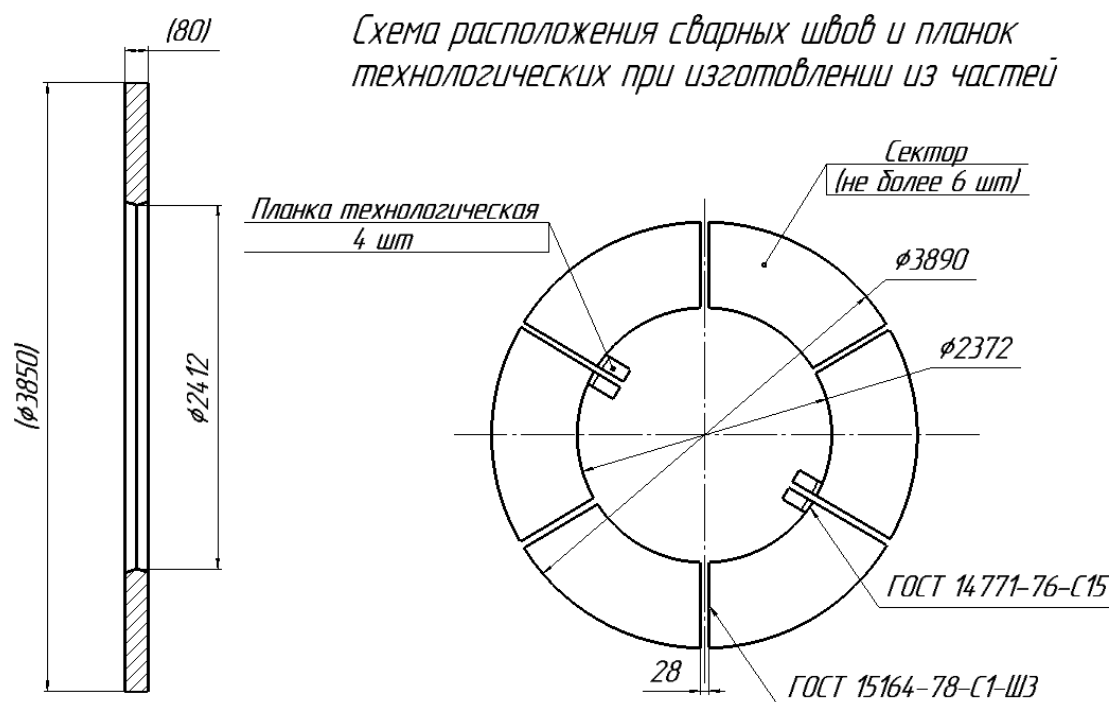


Рисунок 36 – Рабочий чертёж для сборки основного диска мельницы-вентилятора, швы сварные



Рисунок 37 – Приспособление для сварки дисков

В качестве альтернативы электрошлаковой сварке предлагаю использовать это приспособление для сборки диска под пайку частей. Процесс пайки будет проходить в вакууме, который образуется внутри шва, а не создаётся во внешней среде. При вакуумной пайке не происходит окисления деталей, минимизируются деформации соединяемых изделий, отсутствует пористость, отпадает необходимость в применении флюса. Условия создания вакуума внутри шва достигаются за счёт местной герметизации паяного шва путём сварки тщательно промытых и обезжиренных частей кольцевым швом, предварительно заложив внутрь шва необходимый припой с более низкой температурой плавления. Сварка частей поверхностная и нужна для того, чтобы перекрыть доступ кислороду внутрь шва. На рисунке 38 показан нестандартный шов для сварки частей в целях создания местной герметизации паяного шва.

Нестандартный шов

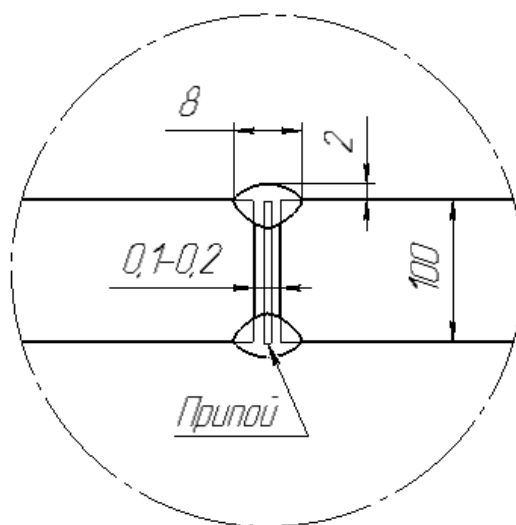


Рисунок 38 – Кольцевой шов для сварки частей в целях создания местной герметизации паяного шва

С помощью вакуумного насоса 2НВР-5Д, показанного на рисунке 39, через специально вваренный штуцер откачивают воздух, таким образом, внутри шва образуется вакуум.



Рисунок 39 – Вакуумный насос 2HBP-5Д

Для получения вакуумноплотного паяного соединения соединяемые детали должны быть плотно пригнаны так, чтобы оставался только необходимый зазор, величина которого определяется применяемым припоем и конфигурацией соединения. На рисунке 40 показано условное исполнение вакуумноплотного паяного соединения.

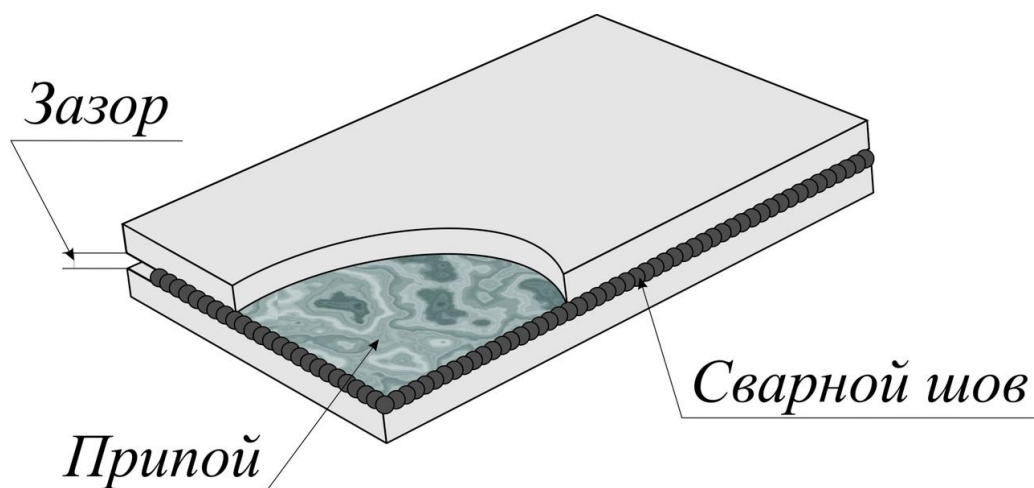


Рисунок 40 – Условное исполнение вакуумноплотного паяного соединения

По характеру затекания припоя в зазор различают капиллярную (ширина зазора $< 0,5$ мм) и некапиллярную (ширина зазора $> 0,5$ мм) пайку. Величина за-

зора между частями определяется толщиной припоя, в нашем случае толщина припоя – латуневой фольги не будет превышать 0,1...0,2 мм. При капиллярной пайке припой заполняет зазор самопроизвольно под действием капиллярных сил и требует ровных соединяемых поверхностей. Одной из особенностей реза толстомерных деталей является отклонение поверхности реза от перпендикулярности и чем толще материал, тем больше расхождение, которое может достигать до 2,5 мм. На рисунке 41 наглядно показана неперпендикулярность реза в толстомерных деталях, в результате разной ширины реза наверху и внизу детали.

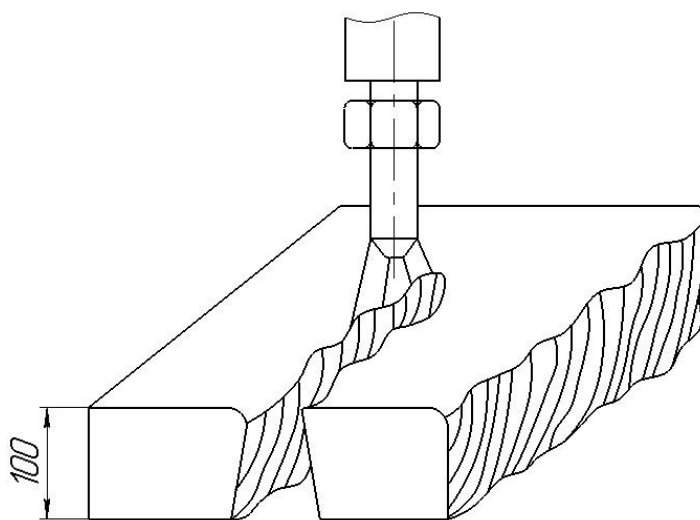


Рисунок 41 – Внешний вид реза толстомерной детали

При некапиллярной пайке жидкий припой поднимается под действием гравитации, отрицательного давления в некапиллярном зазоре (при откачке воздуха из зазора), магнитных и электромагнитных и других внешне приложенных сил. Сборка толстомерных деталей с равномерными капиллярными зазорами трудна в исполнении из-за наличия криволинейных поверхностей между деталями с большой площадью пайки, что приводит к развитию непропаев, снижению высоты поднятия припоя в зазорах (вертикальных и наклонных) и др. Учитывая эту особенность, соединяемые поверхности должны быть подго-

товлены путём механической обработки, при выполнении которой припуски на торцах частей срезаются и зачищаются шлифмашинкой до значения шероховатости Ra10 для создания наилучших условий при растекании припоя. Непосредственно перед пайкой детали должны быть тщательно очищены и обезжирены. На рисунке 42 показана заготовка сектора диска.

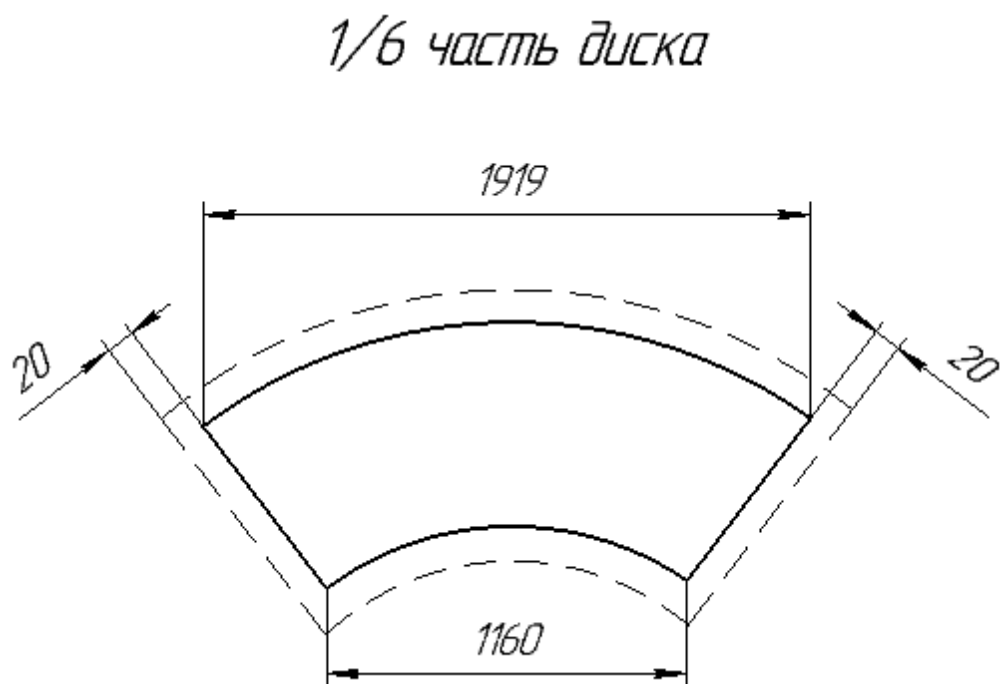


Рисунок 42 – Заготовка сектора диска

В целях улучшения прочностных характеристик паяного шва можно применить композиционный припой. Для этого необходимо добавить к латунной фольге стальной порошок желательного того же состава, что и соединяемая деталь. При пайке таким припоем сцепление частиц наполнителя в шве и шва с паяемым металлом возникает в результате взаимодействия последнего с жидкой частью припоя и ее кристаллизации, а также в результате спекания частиц наполнителя между собой и с паяемым металлом. Такой припой условно назван металлокерамическим, а пайка - металлокерамической, так как при ней имеют место процессы спекания, аналогичные процессам в порошковой металлургии. Этот вид пайки достаточно экономичен и совершенно безопасен.

После сборки частей диск снимается с приспособления и помещается в газовую термопечь. Схема строповки диска показана на рисунке 44. При транспортировке собранного диска велика вероятность его деформации, поэтому части диска необходимо закрепить между собой технологическими планками. Параметры планок подобраны из расчёта грузоподъёмности одной планки на 2 тонны. На рисунке 43 показаны размеры планки и способ соединения с частями диска.

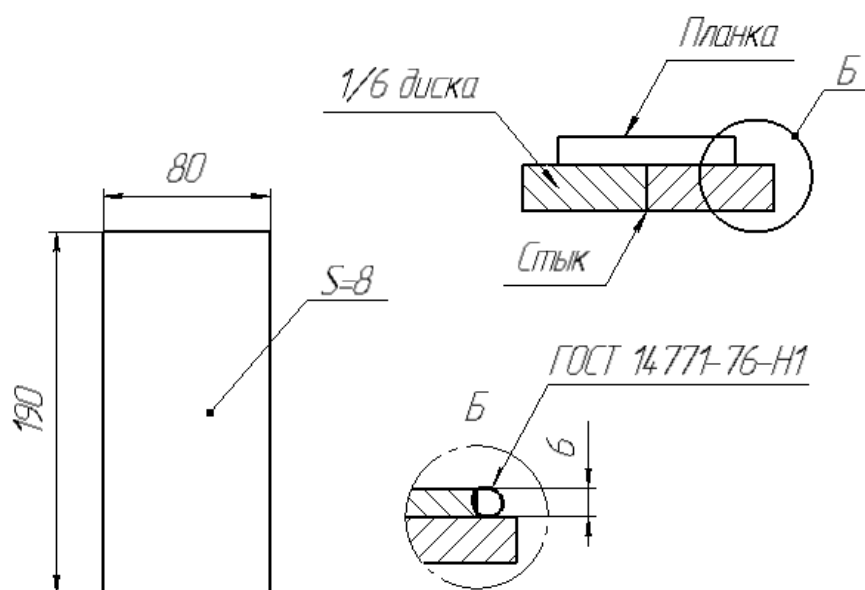


Рисунок 43 – Технологическая планка грузоподъёмностью 2 тонны, для сварки частей

Затем происходит нагрев печи до 970 °С, с ростом температуры в которой расплавленный припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями, заваренный контур соединяемых деталей не позволяет выйти припою за их пределы. После отверждения расплава образуется плотное, герметичное соединение. Таким образом вакуумная пайка создаёт безокислительный нагрев, что обеспечивает высокое качество паяного соединения, при этом отпадает необходимость в применении флюсов, защитной газовой среды. При пайке в печах появляется возможность совмещать получение прочного паяного соединения и

термообработку металлоконструкции с целью уменьшения твёрдости, снятия внутренних напряжений, обеспечивается равномерный прогрев конструкции без деформации. Совмещение этих двух процессов позволяет сэкономить время, а значит уменьшить ресурсы, как факторы, влияющие на стоимость работ, из которых впоследствии складывается себестоимость продукции.

Строповка и транспортирование фланцев

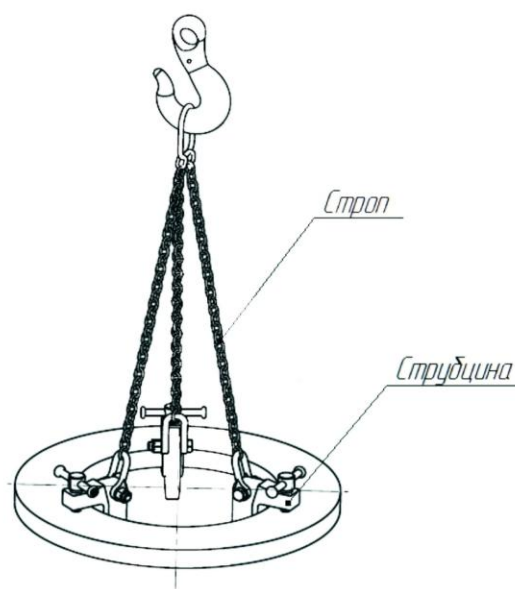


Рисунок 44 – Схема строповки диска основного

Сталь марки 08ГДНФ, из которой выполнен диск основной для мельницы-вентилятора является конструкционной легированной дисперсионно-упрочняемой, относится к сталям перлитного класса. В таблице 10 показан химический состав стали 08ГДНФ. В таблице 11 представлены свойства стали марки 08ГДНФ. Она не обладает флокеночувствительностью, не склонна к отпускной хрупкости. Сваривается без ограничений. Способ сварки – ручная дуговая (РДС). При значительном объеме сварки рекомендуется последующий отпуск. Применение: лито-сварные и комбинированные конструкции, ответственные детали, к которым предъявляются требования высокой вязкости и до-

статочной прочности, работающие при температурах от —60 до 350 °С [24].
Температура плавления стали колеблется в пределах 1450 °С.

На рисунке 45 показан проектный чертёж для сборки диска под пайку.

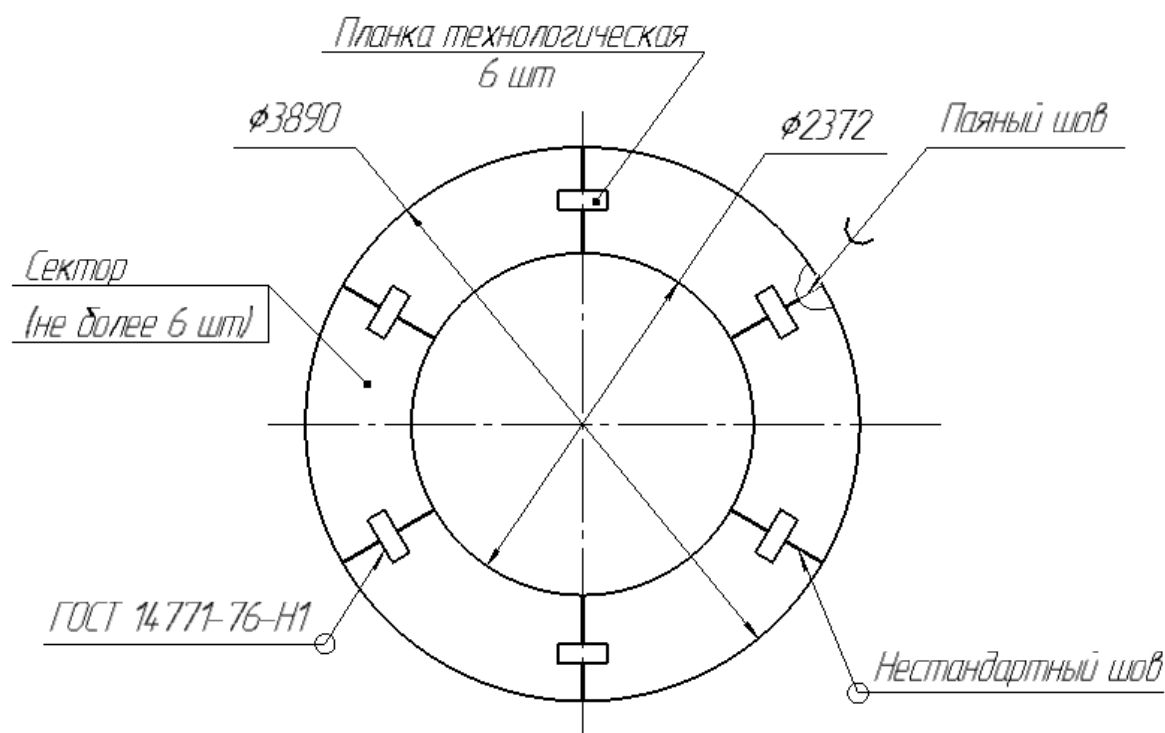


Рисунок 45 – Проектный чертёж для сборки диска мельницы-вентилятора, швы паянные.

Таблица 10 – Химический состав стали 08ГДНФ

Химический элемент	Содержание, %
Углерод, С	до 0,1
Кремний, Si	0,15-0,4
Марганец, Mn	0,6-1
Никель, Ni	1,15-1,55
Сера, S	0,035, не более
Фосфор, P	0,035, не более
Хром, Cr	0,3, не более

Продолжение таблицы 10

Ванадий, V	0,06-0,15
Медь, Cu	0,8-1,2

Таблица 11 – Свойства стали марки 08ГДНФ [27]

Удельный вес.	7850 кг/м³
Термообработка.	Нормализация 930–970 °С, Отпуск 590 – 650 °С.
Твердость материала.	НВ 10 -1 = 126–178 МПа
Температура критических точек	Ac1 = 690 , Ac3(Acm) = 873 , Ar3(Arcm) = 730 , Ar1 = 585
Свариваемость материала	Без ограничений. Способ сварки РДС. При значительном объёме сварки рекомендуется последую- щий отпуск.
Флокеночувствительность	не чувствительна
Склонность к отпускной хрупкости	не склонна.
Температура начала затвердевания	1515 °С.
Показатель трещиностойчивости	0,8 Кт.у.
Склонность к образованию усадоч- ной раковины	1,0 Кур.
Жидкотекучесть	1,8 Кж.т.
Линейная усадка	2,1 %

Материал припоя следует выбирать таким образом, чтобы его качества подходили к функциональности основного материала. В случае с диском основным из стали 08ГДНФ в качестве припоя можно использовать латунный припой Л-63 в виде фольги, показанной на рисунке 46. Толщина фольги составляет от 0,1 до 0,2 мм. Латунная фольга Л63 изготавливается путем прокатки латуни марки Л63, позволяет получать пластичные, прочные и качественные соединения. Латунные припои характеризуются тем, что получаемая прочность

соединений сопоставима с прочностью соединений, получаемых при сварке, помимо этого обладают высокой сопротивляемостью к агрессивным средам. В сплаве содержится медь в количестве 63 %, цинк в количестве 37 %. Предназначен для пайки деталей из латуни, различных сталей, эксплуатирующихся в напряженных условиях, позволяет получить прочное, герметичное соединение металлических деталей.



Рисунок 46 – Фольга латунная

Толщина латунной фольги может колебаться от 0,015 до 1 мм. В особых случаях, по требованиям заказчика, возможно получение фольги толщиной от 0,004 мм. Ширина рулонов может быть от 10 до 480 мм. Данный сплав хорошо поддается деформации давлением, хорошо полируется, хорошо поддается свариванию и пайке. Обладает повышенными механическими показателями, имеет температуру плавления 850-910°C, высокие технологические свойства, характеризуется хорошей растворимостью цинка в меди, узким интервалом кристаллизации, высокой плотностью, пластичность и надежностью шва. Стоит обратить внимание на особенность цинка в составе латунного припоя, а именно на его способность выгорать во время высокотемпературной пайки, что негативно сказывается на полученном соединении. Во избежание этого ненужного явления в качестве присадки можно добавить незначительное количество кремния.

Он будет способствовать тому, чтобы цинк не испарялся и не окислялся. Добиться более низкой температуры плавления можно посредством введения в состав определенного количества олова.

В АО «ТЯЖМАШ» насчитывается порядка 53-х печей различных габаритных размеров и температурных режимов. По роду топлива имеются мазутные, газовые и электропечи. Термопечь типа РР-КР43/1200 была выбрана с учётом температуры плавления латунового припоя и довольно больших размеров паяемой детали. Данная термопечь полностью отвечает всем условиям для осуществления в ней пайки толстомерной и крупногабаритной детали. Характеристика термопечи представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристика газовой термопечи

Наименование печи	Газовая термопечь
Тип печи	РР-КР43/1200
Единица измерения	м ²
Рабочие размеры печи, м	
длина	6
ширина	4
высота	1,8
Габаритные размеры печи, м	
длина	11,3
ширина	5
высота	9,6
Макс. температура, °С	1200
Вес садки, тн	45
Расход топлива, м ³ /час	400
Вид топлива	природный газ
Год ввода в эксплуатацию	2012
Завод-изготовитель	Славения

Если рассматривать предложенный способ вакуумного соединения посредством местной герметизации шва с точки зрения других возможностей использования вакуумной пайки, таких как пайка в вакуумных печах, то предложенный способ оправдан нецелесообразностью приобретения таких печей. Причиной этому является единичное, мелкосерийное производство деталей имеющих большое сечение и вес, поскольку не превышает 1000 штук в год, что делает приобретение вакуумных печей нерентабельным, процесс пригоден, в основном, для пайки малогабаритных деталей цилиндрической формы в массовом производстве. Годовой выпуск изделий представлен в таблице 13.

В заключении анализа возможностей расширения номенклатуры паяных изделий можно добавить, что высокотемпературная пайка в печах – это наиболее производительный процесс из всех известных способов пайки по нагреву и пригодна как для простых, так и сложных изделий и при малой разнице в толщине стенок паяемых деталей предотвращает в изделии заметные тепловые деформации. Пайкой в печах можно одновременно соединять до нескольких десятков деталей без короблений и деформаций собранной конструкции, если габаритные размеры деталей позволяют одновременное их размещение в печи. Используя припой можно соединять металлы, значительно отличающиеся температурой плавления. Припой должен растворять основной металл и обладать смачивающей способностью, большинство припоев это сплавы цветных металлов сложного состава. Считаю, что способ пайки в условиях вакуума, созданного местной герметизацией шва, может быть успешно применён в АО “Тяжмаш” при сборе конструкций достаточно больших размеров с большим сечением соединяемых деталей. Значительная прочность паяных соединений, высокая производительность труда при осуществлении пайки и дешевизна производственного процесса позволяют рекомендовать широкое внедрение изделий, паянных в печах, во все области машиностроения.

Таблица 13 – Характеристика заданной программы годового выпуска продукции для определения типа производства [36]

Масса сварного изделия (кг)	Годовой выпуск продукции Nпр по типам производства							
	Единичное и мелкосерийное		Серийное (среднесерийное)		Крупносерийное		Массовое	
	Тыс. тонн	Тыс. штук	Тыс. тонн	Тыс. штук	Тыс. тонн	Тыс. штук	Тыс. тонн	Тыс. штук
до 25	до 0,125	до 5	0,125–5	5–200	5–10	200–800	Св.10	Св.800
25 – 100	0,2	2–8	0,2–10	8–100	10–20	100–400	Св.20	Св.400
100 – 500	0,25	0,5–25	0,25–15	25–150	15–35	150–350	Св.35	Св.350
500 – 1000	0,3	0,3–2,6	0,3 – 5	2,6–10	5,0–50	10–100	Св.50	Св.100
1000 – 5000	1,0	0,2–1,0	1,0–10	1,0–17	10–70	17–70	Св.70	Св. 70
5000 – 25000	2,5	0,1–0,5	2,5–15	0,5–10	15 –100	10–25	Св.100	Св.25
25000 – 100000	5,0	0,05–0,2	5,0 – 100	0,2 – 4	100 –250	4,0–10	Св.250	Св.10
50000 – 100000	1,0	До 0,01	1,0	Св.0,01	–	–	–	–

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были подробно рассмотрены основные способы неразъемных соединений металлоконструкций на заводе тяжелого машиностроения АО «Тяжмаш», озвучены проблемы пайки твердосплавного инструмента, даны рекомендации для улучшения технологического процесса пайки с целью повысить качество режущего инструмента и уменьшить количество брака, что существенно сократит расходы материалов и в целом улучшит качество выпускаемой продукции, обеспечит постоянную работу всего производства. Говоря о прочности и герметичности паяных соединений, следует отметить, что при правильном конструировании элементов соединяемых деталей паяные швы не уступают, а иногда и превосходят сварные, при этом пайка является незаменимым и экономически более выгодным процессом сборки деталей в узлы [9]. Именно поэтому и была рассмотрена возможность увеличить номенклатуру паяных изделий на примере крупногабаритной и толстомерной детали, изготавливаемой в АО «Тяжмаш». Обычно для определения оптимальных условий создания надежной и качественной продукции требуется проведение экспериментов в целях отработки технологического процесса для дальнейшего производства, поэтому говоря о целесообразности пайки в рамках предложенного метода, прежде всего, необходимо удостовериться в его надёжности, поскольку метод требует разумно контролируемых условий. Нужно отметить, что новизна метода может показаться несостоятельной в силу сложившихся убеждений о способе соединения пайкой, как о методе неспособном отвечать требованиям, предъявляемым к конструкциям тяжёлого машиностроения. Поэтому чем больше мы будем пробовать и экспериментировать, тем лучше и быстрее получится достигнуть желаемых результатов, озвученных в моей работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новости атомной энергетики, нормативная база Ростехнадзора при сооружении и эксплуатации АЭС [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.seogan.ru/tyajmash.html> (дата обращения: 10.06.2018)
2. «Тяжмаш» — предприятие тяжелого машиностроения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tyazhmash.com/company-group/> (дата обращения: 10.06.2018)
3. TOOL-LAND.RU [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://tool-land.ru/payka-metallov.php> (дата обращения: 10.06.2018)
4. Трифонов А.Ф. Годовой отчёт за 2014 год открытого акционерного общества АО «Тяжмаш» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tyazhmash.com/r/831F974C-7785-421C-9A02-3DDC2348B0E5/tyazhmash-annual-report-2014.pdf>
5. Информпедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infopedia.su/10x86f0.html> (дата обращения: 10.06.2018)
6. Справочник по сварке / Под ред. Е.В.Соколова. Т.1. М.: Машиностроение, 1960. – С. 7.
7. Петрунин И.Е., Маркова И.Ю., Екатова А.С. Металловедение пайки. М.: Металлургия, 1976. – С. 7.
8. Тризно М.С., Москалев Е.В. Клеи и склеивание. Л.: Химия, 1980. – С. 5-6.
9. Пайка металлов в приборостроении / Под ред. П.И. Петрова. — Л.: Центральное бюро технической информации, 1959. – 116 с.
10. Кортес А.Р. Сварка, резка, пайка металлов. М.: ООО «Арфа СВ», 1999. – С. 155.
11. Проектирование технологии пайки металлических изделий: Справочник / Лашко С.В., Лашко Н.Ф., Нагапетян И.Г., и др. М.: Металлургия, 1983. – С. 6-10.
12. ЕАС [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://elisit.ru/materiali/?pid=73> (дата обращения: 11.06.2018)

13. Портал нормативных документов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.opengost.ru/iso/2623-tipovaya-instrukciya.-svarka-lentochnyh-pil-na-agregate-modeli-aslp-18.html> (дата обращения: 11.06.2018)
14. «Тяжмаш» — предприятие тяжелого машиностроения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tyazhmash.com/production/reequipment/> (дата обращения: 11.06.2018)
15. Платы РФ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://платы.рф/?pcb-mounting%2C15> (дата обращения: 11.06.2018)
16. Единое окно [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/260/45260/22038?p_page=22 (дата обращения: 11.06.2018)
17. Файловый архив студентов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/4167063/page:2/> (дата обращения: 11.06.2018)
18. Информационный портал [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.infocctv.ru/stati/stat_7_8.htm (дата обращения: 11.06.2018)
19. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 518 с., ил.
20. Полевой Г.В., Сухинин Г.К. Газопламенная обработка металлов. Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.
21. Технология металлов и сварка/ Под ред. Полухина П.И. – М.: «Высшая школа», 1977. – С. 344.
22. Ключко Н.А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента. М.: «Металлургия», 1981. – С. 160-178.
23. Ключко Н.А., Мойнова Н.В. Пайка твердосплавного инструмента. М.: «Цветметинформация», 1975. – 31 с. с ил.
24. ЛАСМЕТ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.lasmet.ru/steel/mark.php?s=255> (дата обращения: 11.06.2018)

25. Ларин В.П. Методы исследования процессов пайки и паяных соединений: Учеб. Пособие/СПбГУАП. СПб., 2002. 42с.: ил.
26. Стеренбоген А.Ю. Электрошлаковая сварка. М.: Машгиз, 1959. – С. 5-11
27. РОССИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ БИБЛИОТЕКА [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://dlib.rsl.ru> (дата обращения: 14.06.2018).
28. Волгоградская Областная Универсальная Научная Библиотека [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.booksite.ru> (дата обращения: 14.06.2018).
29. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М. и др. Индукционная наплавка твердых сплавов. М.: «Машиностроение», 1970. – 183 с.
30. Вологдин В. В., Куш Э. В., Асамов В. В. Индукционная пайка. 5-е изд. перераб. и дополн. Л.:Машиностроение. 1989. – 72 с.: ил.
31. By Bernard Mannion. Arc welding on a stainless steel tube mill / By Bernard Mannion // Tube & Pipe journal. - March 2000
32. Armelle Vardelle., Christian Moreau., Nickolas J. Themelis., Christophe Chazelas. A Perspective on Plasma Spray Technology, November 2014.
33. Humpston, Giles. Principles of Soldering. Materials Park, OH: ASM International, 2004.
34. Lieberman, Eli. Modern Soldering and Brazing Techniques. Troy, MI: Business News, 1988.
35. Pecht, Michael G. Soldering Processes and Equipment. New York: John Wiley & Sons, 1993
36. Библиоклуб.ру [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru> (дата обращения: 26.06.2018).