

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

(наименование института полностью)

Институт машиностроения

(Наименование учебного структурного подразделения)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Современные технологические процессы изготовления деталей в
машиностроении

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему: Технология и оборудование для пайки ножей короснимателей

Обучающийся

С.Б. Прокшиц

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

А.Н. Кирюшкина

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа включает в себя графическую и текстовую часть. Пояснительная записка состоит из 69 страниц, 11 таблиц, 10 рисунков, списка литературы из 40 источников.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех частей с пояснениями, заключения, списка используемой литературы и приложений, которые необходимы для понимания сути работы.

В работе рассмотрена технология изготовления изделия «Сменное лезвие короснимателя к окорочному станку Valone Kone 5000» с применением пайки при высоких температурах. В работе проанализированы преимущества применения оборудования с точки зрения экономической эффективности, повышения качества, повышения культуры обслуживания и снижения себестоимости изготавливаемой детали.

Целью настоящей работы является разработка эффективного технологического процесса высокотемпературной пайки для локализации производства. В ходе работы решены следующие задачи:

- проанализировать материалы изделия и их поведение при высокотемпературной пайке;
- обеспечить безопасность техпроцесса;
- дать технико-экономическое обоснование внедрения разрабатываемой технологии;
- разработать рекомендации по внедрению и дальнейшему развитию технологии.

Результатом выпускной квалификационной работы является обоснованный технологический процесс изготовления сменного лезвия.

Содержание

Введение.....	5
1 Исходные данные и анализ предметной области.....	7
1.1. Сведения о конструкции изделия.....	7
1.2. Данные о материале изделия.....	8
1.3. Технические условия на изготовление и эксплуатацию изделия....	12
1.4. Особенности базовой технологии изготовления изделия.....	14
1.5. Существующие подходы в области высокотемпературной пайки...	17
1.6. Анализ исходных данных.....	21
1.7. Задачи выпускной квалификационной работы.....	22
2. Технологический процесс изготовления сменных ножей короснимателей.....	25
2.1. Изготовление элементов конструкции: механическая обработка деталей.....	25
2.1.1. Характеристика производственного участка.....	25
2.1.2. Выбор заготовок и способы их получения.....	28
2.1.3. Анализ технологичности конструкции изделия.....	29
2.1.4. Разработка технологического маршрута изготовления детали...33	
2.2. Технология пайки деталей: формирование неразъемного соединения.....	41
2.2.1. Оптимальная технология высокотемпературной пайки.....	41
2.2.2. Подготовка к пайке.....	43
2.2.3. Проведение пайки: оптимальный режим и оборудование.....	46
2.2.4. Контроль качества паяных соединений.....	51
3. Внедрение технологии в производство.....	54
3.1. Безопасность и экологичность	54
3.2. Экономическая эффект от внедрения технологии.....	58
3.3. Рекомендации по внедрению технологии.....	62
Заключение.....	63

Список используемых источников.....	65
Приложение А Организационная структура ООО «Кимабел».....	70
Приложение Б Конструкторская документация на запасную часть «Сменное лезвие к короснимателю».....	72
Приложение В Спецификации на материалы изделия.....	76
Приложение Г Протокол исследования химического состава элементов в составе образца ножа для деревообрабатывающего станка.....	79
Приложение Д Спецификация вакуумной печи DM-200BF.....	87
Приложение Е Оснастка.....	93

Введение

Комбинирование различных по химическому составу материалов в конструкциях неразъемного типа представляет собой один из успешных методов, применяемых в современном машиностроении. Преимуществом данного подхода является возможность улучшения совокупности механических, физических и химических характеристик изделий, а также снижение затрат на дефицитные материалы и повышение экономической эффективности производственных процессов.

Одной из основных задач при высокотемпературной пайке является обеспечение стабильного уровня качества соединений в партиях изделий одного типа. Ключевой технической проблемой в данном процессе становится управление возмущениями, влияющими на пайку в цепочке источник тепла – расплавленный припой – соединяемые материалы – окончательное соединение.

Проведенные в настоящей работе исследования и расчеты производились на базе ООО «Кимабел» в технической службе, которая под руководством главного инженера отвечает за выполнение производственного плана и обеспечение высокого качества продукции, а также за внедрение новых технологий и автоматизацию процессов, структура которой отображена в Приложении А. Она организует своевременную наладку и ремонт оборудования, контролирует качество сырья и готовой продукции, а также поддерживает взаимодействие с другими подразделениями и поставщиками.

Актуальным для предприятия направлением является развитие механо - сборочного и токарно-фрезерного цеха, позволяющего производственным линиям по изготовлению пиломатериалов частично закрывать нужды по запасным частям. Предприятие непрерывно расширяет номенклатуру изготавливаемых запасных частей к оборудованию за счет внедрения новых технологий и оборудования. В данном ключе особое внимание уделяется пониманию процессов высокотемпературной пайки, потому как при помощи данной технологии изготавливаются некоторые позиции дорогостоящего

дереворежущего инструмента, без соответствующего качества которого немислимо успешное функционирование любого деревообрабатывающего предприятия.

Таким образом предприятие обладает некоторой производственной базой и актуальность данной работы обусловлена необходимостью перевода предприятия на самостоятельное изготовление изделия «Сменное лезвие короснимателя к окорочному станку Valone Kone 5000» с применением пайки при высоких температурах, которое ранее производилось исключительно под заказ внешними подрядчиками. Цель работы заключается в разработке эффективного технологического процесса высокотемпературной пайки для локализации производства, что позволит предприятию сократить издержки, повысить контроль над качеством продукции и ускорить сроки выполнения заказов. Реализация этой задачи требует комплексного анализа существующего изделия, изучения применяемых материалов, а также адаптации методик пайки к условиям предприятия.

Основными задачами работы являются: детальное исследование конструкции и функциональных особенностей изделия, определение ключевых параметров высокотемпературной пайки (температурные режимы, выбор припоя, флюсов, оборудования), а также разработка поэтапного технологического процесса, соответствующего стандартам предприятия. Особое внимание уделяется оценке совместимости материалов, минимизации деформаций соединений и обеспечению долговечности готового продукта. Кроме того, в рамках работы планируется провести экономический анализ целесообразности перехода на собственное производство, включая расчет затрат на оборудование, обучение персонала и оптимизацию ресурсов. Результатом станет не только готовая методика пайки, но и практические рекомендации по внедрению технологии, что позволит предприятию укрепить позиции на рынке за счет повышения технологической независимости.

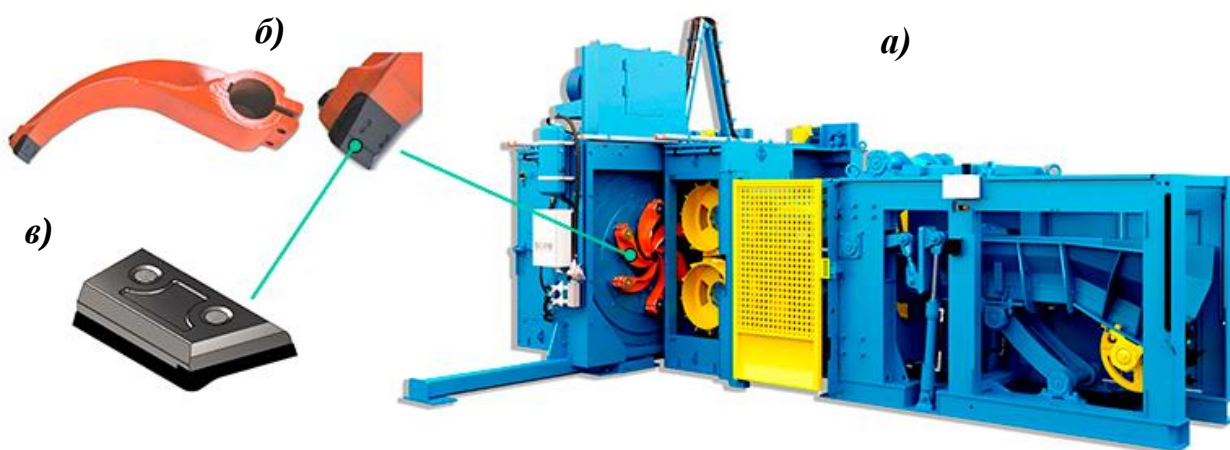
1 Исходные данные и анализ предметной области

1.1 Сведения о конструкции изделия

Все дереворежущие инструменты являются рабочими орудиями для разрушения связей между частицами обрабатываемой заготовки из древесины или древесного материала. Это разрушение должно происходить строго по заданной поверхности, так как целью процесса резания является получение изделия или полуфабриката требуемых размеров, форм и шероховатости поверхностей. Традиционные изделия всегда имеют лезвие и корпус.

Лезвие – это рабочая часть инструмента в виде твердого клинообразного элемента, непосредственно проникающего в материал заготовки и разрушающего связи между его частицами. Корпус служит для объединения лезвия и других элементов инструмента в единую конструкцию и обеспечивает закрепление инструмента на станке как указано в [11].

Настоящая работа посвящена технологическому процессу изготовления сменного лезвия короснимателя окорочного станка Valone Kone 5000 изображенного на рисунке 1.



а) окорочный станок Valone Kone 5000; б) коросниматель; в) сменное лезвие

Рисунок 1 – Схема расположения сменного лезвия короснимателя

Коросниматели предназначены для работы на роторных окорочных станках, применяемых для окорки круглых лесоматериалов хвойных и лиственных пород. Окорочный станок Valone Kone 5000 используется фрикционный способ окашивания, для чего он оснащен роторно-скребковым механизмом. В оборудовании применяются кованные коросниматели со сменными твердосплавными лезвиями, которые были в свое время внедрены в целях обеспечения стойкости и снижения трудозатрат. На рисунке 2 представлено сменное лезвие короснимателя. К корпусу 1 припаяны твердосплавные пластины, образующие скребковую 2 и режущую кромку 3. В Приложении Б приведены рабочие чертежи на данное изделие.



1) корпус; 2) скребок; 3) режущая кромка.

Рисунок 2 – Сменное лезвие короснимателя

На корпусе расположены два отверстия с резьбой М12 и шагом резьбы 1,75 мм. Как корпус, так и резцы имеют достаточно сложную геометрическую форму. Вес изделия составляет 0,4 кг. В целях избежания затруднений при монтаже, а также для предотвращения избыточного давления после установки и затяжки креплений на посадочной поверхности произведено углубление в 1,5 мм.

1.2 Данные о материале изделия

В инструкции [13] указано, что в оригинальном сменном лезвии к короснимателю материал корпуса сменного лезвия – Hardox 400, содержание С

= ~ 0,2 %, нормализована до 360-440 НВ (твёрдость по шкале Роквелла составляет 37...43 HRC). Hardox 400 – износостойкая сталь обладающая высокой ударной вязкостью, отлично поддается вальцовке, гибке и механической обработке, обладает отличной свариваемостью, а также известную на практике по устойчивости к абразивному и кавитационному износу.

Hardox 400 выпускается в виде труб, круга и листового проката производится шведской компанией SSAB с 1974 года. Информацию о свойствах и областях применения можно почерпнуть в Приложении В, а также на сайте данного предприятия [11].

В то же время существует необходимость использования отечественных марок сталей. В государствах СНГ, прежде всего из-за экономических факторов, наиболее разумным и перспективным является использование стальных изделий, произведенных на месте. Закупка местного сырья и материалов может быть дешевле, чем импорт, что снижает общие затраты на производство.

Корообдирочные ножи и корпуса сменных лезвий к короснимателям окорочных станков на пространстве СНГ изготавливаются согласно [35] из высококачественных видов стали 6ХС, 9ХС, 6ХВ2С – необходимая при этом твердость составляет 50-58 HRC.

Как показано в Приложении Г в результате рентгенофлуоресцентного электронно-зондового анализа поверхности элементов сменного лезвия выяснилось, что основным элементом в составе корпуса лезвия являются железо (97,66 масс. %), а в качестве легирующих элементов использованы Cr (1,22 масс. %) и Si (1,12 масс.%) (без учета углерода, так как оборудование лаборатории имеет погрешность в определении содержания углерода в 0,3%, что не приемлемо и дает лишь информацию о том, что доля углерода составляет до 1%), что в целом не вполне информативно, но позволяет предположить, что химический состав сплава близок к стали 9ХС. Наряду с тем, механические свойства 9ХС не сопоставимы с свойствами Hardox 400. Исходя из этого, а также справочных данных [23], [32], [37], [38] был определен отечественный аналог для стали Hardox 400 – сталь марки 40ХН согласно [7], которая имеет схожие

механические характеристики и химический состав в соответствии с таблицей 1 и 2.

Таблица 1 – Механические свойства сталей Hardox 400 и 40XH

Марка стали	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Твердость после термообработки, HRC	Работа удара КСЧ, Дж/см ²	Относительное удлинение δ , %
HARDOX® 400	1000	1250	37...43	45	10
40XH	590-980	615-1180	40...60	39-69	12-17

Таблица 2 – Химический состав сталей Hardox 400 и 40XH

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	B
40XH	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,035	0,035	0,45-0,75	1-1,4	0,3	-	-
Hardox 400	0,32	0,7	1,6	0,01	0,025	2,5	1,5	-	0,6	0,004

Также анализ образца показывает, что основными элементами в составе скребка являются вольфрам (W - 92,41 масс. %) и кобальт (Co – 7,59 масс. %), а состав режущей кромки содержит (W - 91,14 масс. %) и кобальт (Co – 8,86 масс. %). Соответственно скребок и режущая кромка изготовлены из карбида вольфрама на кобальтовой связке. Химический состав скребка и режущей кромки наиболее близко соответствует сплаву K30 по ISO 513:2012, что отображено в Приложении В.

Таким образом для скребка и режущей кромки сменного лезвия компанией Valone Копе использован сплав K30. K30 представляет собой твердый сплав с субстратом из карбида вольфрама с покрытием методом парового осаждения из титановых смесей (Ti,Al) толщиной от 1 до 3 мкм. Более низкая температура покрытия гарантирует равномерность нанесения покрытия и препятствует формированию хрупкого вредоносного слоя позволяя сохранить изначальную форму и размеры. Базовое покрытие из Ti (C,N,O) превосходит TiN по показателям стойкости, тогда как базовое покрытие из (Ti,Al)N имеет более высокую устойчивость к окислению.

Согласно [31] твердость сплава K30 составляет около 91HRA ($\approx 73...75$ HRC). Это делает его очень твердым материалом, что делает его подходящим для применения в дереворежущих инструментах.

Отличная прочность субстрата и покрытия позволяют использовать эти марки для прерывистой обработки. Острые грани этих марок позволяют их использование при обработке трудно режущихся материалов с нагартовкой. «PremiumTec» обрабатывается химическим паровым напылением, а также паровым осаждением как показано на рисунке 3. Благодаря этим факторам уменьшается адгезия и повышается устойчивость к износу и крошению.



Рисунок 3 –Схема строения сплава K30

В качестве материала для скребка и режущей кромки определен вольфрамо-кобальтовый сплав ВК-8, который в соответствии с [6] имеет схожий с импортным сплавом K30 химический состав и механические свойства.

Сталь 40ХН обладает высокой прочностью и стойкостью к термическим воздействиям, в то время как сплав ВК8, содержащий карбиды, требует особого подхода из-за своих свойств, таких как низкая пластичность и высокая прочность при высоких температурах.

Электронно-зондовый анализ припоя показал, что основными элементами в его составе являются: Zn (33,88 масс.%), Ag (33,11 масс.%), Cu (23,95 масс.%), а в качестве примесей: Si (3,35 масс.%), Mn (2,33 масс.%), Ni (2,26 масс.%) и Fe (1,12 масс.%). Данные анализа, а также оценка термических характеристик материалов, в частности температуры критических точек стали 40ХН и сплава ВК8, составили основу для выбора подходящего припоя, способного обеспечить

прочное и надежное соединение. Учитывая это был произведен выбор среди доступных отечественных припоев. Припой ПСр-40 согласно [4], имеющий высокое содержание серебра, оказался наиболее подходящим для этой задачи, так как он способен выдерживать высокие термические нагрузки и обеспечивает устойчивость соединения к механическим воздействиям.

1.3 Технические условия на изготовление и эксплуатация изделия

На рисунке 4 схематично отображен процесс окаривания ствола сосны. Короснимающий механизм состоит из ротора с короснимателями 1, прижимающихся к поверхности окариваемого ствола 2 и вращающегося вокруг него. Коросниматели сидят на осях, закрепленных на роторе. Окариваемый ствол 2, не вращаясь, проходит сквозь ротор. Коросниматели прижимаются к поверхности кряжа при помощи гидроцилиндров.

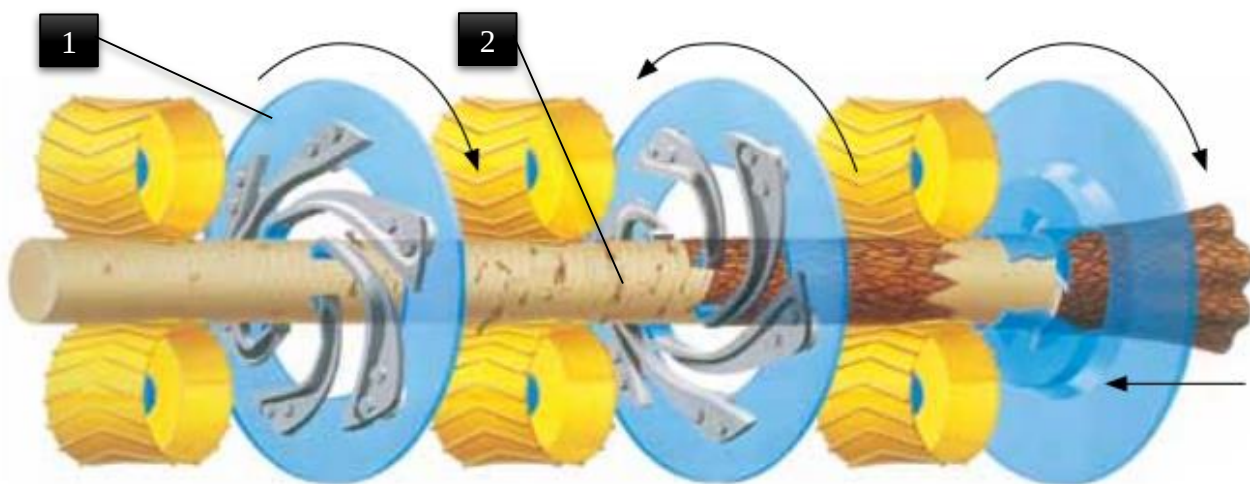


Рисунок 4 – Схема окаривания роторных окорочных станков

Развод короснимателей и выход их на поверхность очередного ствола происходит автоматически, причем каждый коросниматель разводится индивидуально, независимо от остальных. В исходном положении коросниматели сомкнуты и вращаются вместе с ротором. При нажатии торцом ствола на коросниматели их разводные кромки, врезаясь в кромку торца,

обеспечивают поворот короснимателей вокруг оси подвеса и вывод их на поверхность ствола.

Требования к изготовлению сменных лезвий короснимателей определяются условиями функционирования детали. Сменное лезвие, как и сам коросниматель являются наиболее нагруженными деталями станка. Уменьшение точности этих поверхностей приведёт к ухудшению позиционирования детали в узле, что, в свою очередь, негативно скажется на надёжности всего узла.

Коросниматели со сменными лезвиями должны поддерживаться в состоянии, позволяющем ему резать кору не разрывая ее. Крепежные поверхности пластин и корпусов ножей должны быть неповрежденными и чистыми.

Режущая кромка пластины должна совпасть с восходящей кромкой короснимателя. Радиус скругления скребка с $r_1 = 0,1-2,0\text{мм}$ в зависимости от температуры и состояния бревна. Радиус скругления кромки скребка r_2 всегда скругляется не менее 5мм как показано на рисунке 5.

Компания Valone Kone рекомендует использовать для свежей древесины скругление скребка 1 - 1,75мм; для сухой древесины 1 - 1,5мм; для замороженной древесины 1 - 1,75мм как указано в [13].

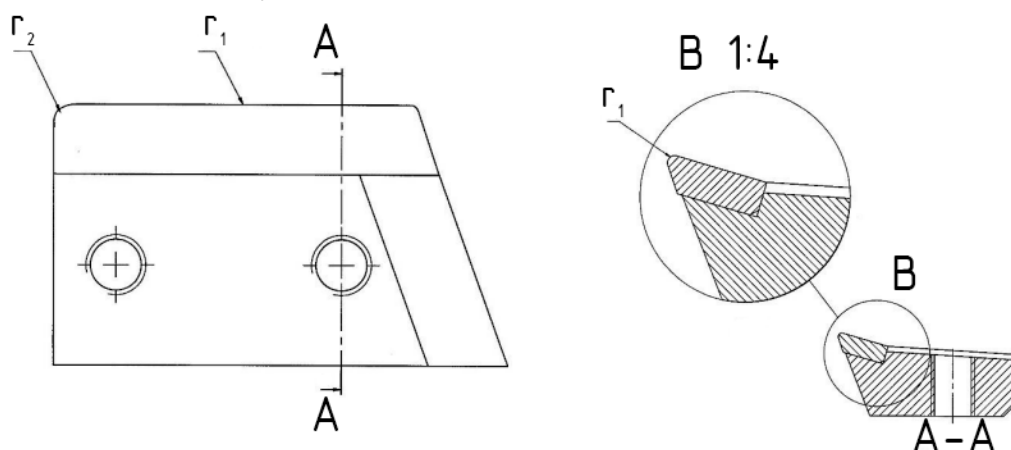


Рисунок 5 – Скругления скребка и кромки скребка сменного лезвия

При эксплуатации окорочных станков сменные лезвия, взаимодействуя с поверхностью лесоматериала, деформируются, а режущие кромки их изнашиваются. Поэтому инструменты периодически подлежат контролю и

подготовке к работе. Подготовка инструмента заключается в выверке, правке тела инструмента, в восстановлении и заточке режущих кромок. Твердосплавные материалы затачивают алмазными кругами и брусками.

1.4 Особенности базовой технологии изготовления изделия

Компания Valone Kone, производитель оригинальных сменных лезвий не предоставляет технологическую документацию и не делится своим производственным ноу-хау, что делает проблематичным непосредственное воспроизведение исходной технологии. Таким образом, разработка технологии высокотемпературной пайки для производства сменных лезвий короснимателей столкнулась с принципиальной сложностью - отсутствием доступа к исходной технологической документации производителя. Это является распространенной практикой в промышленности, когда уникальные методы и процессы сохраняются в качестве коммерческой тайны для поддержания конкурентных преимуществ на рынке. В связи с этим, для достижения требуемого качества и функциональности детали, в ООО «Кимабел» необходимо было разработать собственную технологию изготовления, основываясь на существующем образце. Такой подход способствует созданию нового опыта и знаний в области технологий производства.

Эта ситуация характерна для многих промышленных предприятий, сталкивающихся с необходимостью локализации производства ранее закупаемых комплектующих.

В условиях отсутствия информации о базовой технологии принятие решений о параметрах пайки потребовало комплексного аналитического подхода. Основой для разработки новой технологии послужили три ключевых источника информации. Во-первых, это результаты химического анализа материалов изделия, проведенного методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии показанные в Приложении Г. Во-вторых, данные из научно-технической литературы по высокотемпературной пайке аналогичных

материалов. В-третьих, практический опыт предприятия в области обработки металлов и твердых сплавов.

Химический анализ показал, что корпус лезвия изготовлен из стали, близкой по составу к 40ХН, а режущие элементы - из вольфрамо-кобальтового сплава ВК-8. Эти данные стали отправной точкой для подбора режимов термообработки и выбора припоя. Особое внимание было уделено анализу состава паяного шва, который показал наличие серебряно-медного припоя с добавками цинка, что в целом соответствует марке ПСр40. Однако следует отметить, что точное определение всех компонентов припоя затруднено из-за возможного испарения легкоплавких элементов в процессе пайки.

При разработке новых технологических параметров учитывались несколько критически важных факторов. Во-первых, значительная разница в коэффициентах термического расширения стали и твердого сплава, что требовало особого подхода к выбору температурного режима и скорости охлаждения. Во-вторых, необходимость обеспечения прочного соединения при минимальном термическом воздействии на структуру материалов. В-третьих, требования к точности геометрии изделия после пайки, так как даже незначительные деформации могут повлиять на работоспособность инструмента.

Предложенная технология отличается от возможного исходного варианта. Решения, принятые относительно вакуумной среды для производства высокотемпературной пайки; температурного профиля с поэтапным нагревом и охлаждением с учетом особенностей материалов, а также разработкой специальной оснастки для точного позиционирования деталей в процессе пайки основываются на анализе современных исследований в области пайки разнородных материалов и адаптированы к условиям конкретного производства.

Важно подчеркнуть, что разработанная технология не является прямой копией исходного процесса, а представляет собой новое решение, созданное на основе анализа имеющегося образца и современных научных данных.

В настоящей работе рассматривается процесс производства детали, которая состоит из трех спаянных между собой частей. Эта деталь была изготовлена по имеющемуся образцу, что позволило детально изучить ее конструктивные особенности и методы сборки. Анализ образца способствовал выявлению необходимых геометрических параметров и механических свойств материалов.

В процессе разработки технологии изготовления акцент был сделан на тщательном выборе методов высокотемпературной пайки, позволяющих обеспечить надежные соединения между частями детали.

В результате были определены ключевые элементы оптимальной технологии изготовления детали, основанной на анализе образца и отработке наиболее эффективных методов обработки и пайки. Полученные результаты не только позволяют воспроизвести конкретный продукт, но и служат основой для дальнейших исследований в области технологий высокотемпературной пайки и производственных процессов, связанных с созданием сложных конструкций из нескольких компонентов.

Как показано на рисунке 2 базовая технология изготовления сменного лезвия к короснимателю предусматривает изготовление корпуса 1, скребка 2 и режущей кромки 3 путем механической обработки, включая фрезеровку для придания необходимой формы с использованием широкоуниверсального консольно-фрезерного станка; сверление двух отверстий в корпусе 1 на вертикально-сверлильном станке, а также нарезку резьбы с помощью токарно-винторезного станка.

После чего осуществляется высокотемпературная пайка корпуса, скребка и режущей кромки.

Финальную обработку осуществляют на фрезерном, точильном и плоскошлифовальном станке для повышения качества поверхности, а контроль размеров и параметров выполняется с использованием измерительных инструментов.

1.5 Анализ существующих подходов в области высокотемпературной пайки

При выборе технологии пайки, особенно в контексте высоких температур, критически важным аспектом становится тщательная настройка и управление температурой. Эффективность всего процесса пайки во многом зависит от того, насколько точно будут соблюдены заданные температурные параметры во избежание недостаточного расплавления припоя или же наоборот перегрева.

Подходы к высокотемпературной пайке основаны на комбинировании различных источников тепла и обеспечении сред, предотвращающих окислительные и нежелательные химические реакции. Выбор способа нагрева и флюса оказывает непосредственное влияние на характер кривой термического профиля пайки.

Понимание общих подходов и характеристик используемых методов позволяет создать надежные и устойчивые паяные соединения, что является основой для дальнейшего изучения и применения высокотемпературной пайки в производстве.

При высокотемпературной пайке используется тепло, генерируемое в электропечах, что позволяет эффективно соединять различные металлы, в том числе и твердые сплавы. В зависимости от типа атмосферы, в которой происходит процесс пайки, этот метод подразделяется на несколько категорий, одной из которых является пайка в печах с обычной атмосферой с использованием твердых флюсов.

Пайка в условиях обычной атмосферы и с твердыми флюсами применяется достаточно редко и практически не используется для жаропрочных сплавов на никелевой основе. Это связано с тем, что боро-содержащие компоненты флюсов могут взаимодействовать с никелем, образуя легкоплавкую и хрупкую эвтектику Ni-B, а также бориды, что негативно сказывается на качестве соединений. Однако такой метод может оказаться подходящим в ситуациях, когда окалина легко удаляется или, когда изделия имеют значительные припуски на обработку.

После завершения пайки остатки флюса и окалины удаляются с помощью опескоструивания или химического травления в кислотных смесях.

Температура процесса пайки в данном методе контролируется с использованием хромель-алюмелевых термопар для диапазонов до 1300°C. В высокотемпературных печах используются нагреватели, изготовленные из молибдена или вольфрама, которые могут функционировать при температурах до 1700°C и 2500°C соответственно.

Пайка в печах сопротивления в обычной атмосфере также может осуществляться в контейнерах, помещаемых в электропечи. Эти контейнеры изготовлены из жаропрочных листовых материалов и имеют различные конструкции и методы герметизации. Для пайки жаропрочных сплавов часто используют сварные контейнеры с механическим креплением крышек. Их герметичность достигается благодаря укладке асбестового шнура, слюды или резиновых прокладок между фланцем контейнера и крышкой. В процессе пайки трубка для подачи охлаждающей воды охлаждает замок и крышку контейнера.

Конструкция контейнера должна учитывать геометрию паяемых изделий и, при необходимости визуального контроля за процессом пайки должна предусматривать смотровое окно. После герметизации контейнера в нем обеспечивается защитная среда в соответствии с требованиями техпроцесса.

Индукционная пайка является популярным методом в ряде отраслей машиностроения. Использование индукционного нагрева проводников переменным электромагнитным полем давно стало стандартом в промышленности. Благодаря воздействию энергии высокочастотных электромагнитных колебаний, достигается высокоэффективный бесконтактный нагрев, который находит применение в таких процессах, как термообработка, плавка, упрочнение, сварка, пайка и выращивание кристаллов. Этот эффект обусловлен возникновением вихревых токов в проводящих материалах.

При индукционной пайке быстрый нагрев детали до температуры пайки обеспечивается использованием энергии высокой концентрации. Для предохранения индуктора от перегрева и расплавления применяют водяное

охлаждение. Для защиты поверхности деталей от окисления и окалины применяют твердые флюсы [40].

В случае использования при пайке и сварке нагрева индукционными установками представляют интерес данные об электропроводимости паяемых материалов [36].

В работах [1], [12], [17], [33] раскрываются аспекты термодинамики процессов высокотемпературной пайки с точки зрения использования комбинаций индукционного нагрева с другими технологиями для достижения оптимальных результатов. Комбинация индукционного нагрева с другими методами и способами, такими как использование защитных атмосфер, позволяет расширить область применения данной технологии.

В последние годы пайка в печах с газообразными флюсами, нейтральными газами, восстановительными газами и в вакууме стала весьма популярной. Безокислительный процесс нагрева для сталей и сплавов требует отсутствия влаги и кислорода. Камерные и конвейерные печи, применяющие диссоциированный аммиак или другие восстановительные среды для пайки углеродистой и низколегированной стали, не могут использоваться, поскольку пары воды, кислорода и углекислого газа могут проникать в камеру пайки из-за подсоса воздуха или выделения абсорбированных газов, которые находятся в футеровке, нагревательных элементах и поддонах.

Камера пайки должна быть герметичной и изолирована от стенок печи. Наиболее эффективными являются шахтные и туннельные печи с муфелем, сделанным из жаропрочных металлов, которые не впитывают воздух и влагу, обеспечивая необходимую герметичность. Температура контролируется с помощью термопары, установленной в печи и внутри муфеля в местах, где находятся паяемые изделия. Для измерения температур в контейнере или камере пайки до 1300°C может использоваться платина-платинородиевая термопара, расположенная внутри газоотводящей трубки. При использовании водорода или газов на его основе термопара помещается в контейнер через трубку с заваренным концом, которая вваривается в крышку муфеля в шахтных печах или

в заднюю стенку в туннельных. В статье [39] дано описание конструкции и технологии применения вакуумных печей сопротивления торговой марки «ОТТОМ» для вакуумной пайки.

Пайка в вакуумной среде открывает возможность соединять детали, которые невозможно соединить другими способами, например, изделия с глухими отверстиями или полостями, недоступными для струй защитного газа, а также соединения с большими паяемыми площадями. Однако при пайке в вакууме рекомендуется воздерживаться от использования сплавов, содержащих цинк, кадмий и другие летучие компоненты, поскольку они могут загрязнять вакуумные насосы и иногда приводить к пористым швам.

При этом также необходимо учитывать то обстоятельство, что запуск процесса пайки в вакуумной среде представляет собой сложный процесс, который используется лишь для специфических задач, когда альтернативные методы не приносят желаемых результатов.

Интерес также представляет такая технология пайки как пайка с погружением в расплавленный флюс. В роли флюса в данной технологии выступают расплавленные соли, которые в то же время плавят припой и активируют спаиваемые поверхности. По завершении процесса пайки, детали удаляются из ванны и подвергаются естественному охлаждению, что позволяет создать надежные швы и обеспечить устойчивость полученного соединения к воздействию внешних факторов.

В исследовании [36] подробно описан процесс контактно-реактивной пайки-закалки стали P5M2Ф10СЛ с использованием борированных никелевых пластин в хлорбариевой соляной ванне при температуре нагрева 1220 С° с соответствующей выдержкой.

Каждая из технологий высокотемпературной пайки имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе для пайки сменного лезвия короснимателя из стали 40ХН и сплава ВК-8.

Область высокотемпературной пайки претерпевает значительные изменения благодаря внедрению автоматизации как указано в [22], [24].

Производственные процессы становятся более эффективными за счет использования роботизированных систем и автоматизированных линий пайки.

1.6 Анализ исходных данных

Оценка исходных данных позволяет обобщить и классифицировать имеющуюся информацию о изготовлении сменных лезвий короснимателей, что делает возможным осмысленно и взвешено подойти к формулировке целей и задач, стоящих перед настоящей работой.

Так, была собрана и проанализирована информация о конструкции сменного лезвия короснимателя, а также материалов, из которых оно изготовлено. Были проанализированы условия, при которых эксплуатируется сменное лезвие. Собранные данные были сопоставлены с имеющимися на предприятии производственными мощностями с целью установить возможность изготовления данного изделия силами предприятия. Были проанализированы режимы работы имеющегося оборудования с целью установить в какой мере располагаемый парк оборудования примет участие в проектируемом производственном процессе.

Основная сложность заключалась в отсутствии какой-либо информации о базовом процессе изготовления сменного лезвия. Также у предприятия отсутствовал практический опыт в сфере высокотемпературной пайки. Это в целом определило основной уклон в исследованиях – акцент был сделан на изучении материалов изделия и ознакомления посредством научно-технической литературы и публицистики с существующими тенденциями в области высокотемпературной пайки.

Сделаны предварительные экономические оценки техпроцесса, которые позволили выявить возможные затраты и оптимизировать выбор дополнительного оборудования и материалов.

Предварительный анализ исходных данных создает условия для формирования качественного, эффективного и экономически обоснованного

техпроцесса, в котором высокотемпературная пайка занимает центральное место благодаря своим уникальным свойствам и возможностям для обеспечения надежности соединений в условиях, максимально приближенных к реальным эксплуатационным.

1.7 Задачи выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа направлена на решение комплекса взаимосвязанных задач, обеспечивающих разработку, внедрение и оптимизацию технологии высокотемпературной пайки сменных лезвий короснимателей для окорочного станка Valone Kone 5000. Актуальность исследования обусловлена необходимостью перевода предприятия на самостоятельное производство ранее закупаемых компонентов, что позволит снизить затраты, повысить контроль качества и сократить сроки выполнения заказов.

Первой ключевой задачей является детальное исследование поведения материалов изделия при высоких температурах, включая риски деформаций и фазовых превращений. В ходе работы предстоит проанализировать характеристики стали 40XH и твердого сплава ВК-8, включая их термические и механические свойства, а также совместимость с припоем ПСр-40. На основании этих данных потребуется разработать оптимальные параметры пайки: температурный режим, время выдержки, давление в вакуумной печи и скорость охлаждения. Также в ходе решения данной задачи предстоит разработать технологический процесс изготовления элементов спаиваемой конструкции – корпуса, скребка и режущей кромки. Данный процесс по своей сути и содержанию можно охарактеризовать как подготовительный этап перед высокотемпературной пайкой потому как качество и точность изготовления данных элементов оказывает огромное влияние на процесс сборки и качество пайки и, как следствие, на качество изделия в целом.

Второй важной задачей выступает обеспечение безопасности технологического процесса и его экологической устойчивости. Необходимо

провести идентификацию опасных факторов в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015, уделив особое внимание рискам, связанным с выделением токсичных паров кадмия, никеля и хрома. На основании проведенного анализа потребуется разработать комплекс организационных и технических мер защиты, включая модернизацию системы вентиляции, подбор средств индивидуальной защиты и организацию регулярного мониторинга состояния рабочей зоны. Отдельное внимание будет уделено вопросам экологичности производства, включая оценку возможности перехода на менее токсичные припои и разработку системы утилизации отходов.

Третья задача связана с технико-экономическим обоснованием внедрения разрабатываемой технологии. В рамках ее решения предстоит провести сравнительный анализ затрат на закупку готовых изделий и их производство на предприятии. Особое внимание будет уделено расчету экономического эффекта от внедрения, включая оценку снижения себестоимости продукции и сроков окупаемости проекта. Дополнительно потребуется проанализировать косвенные выгоды в виде повышения технологической независимости предприятия.

Четвертая задача предполагает разработку практических рекомендаций по внедрению технологии в производственные процессы ООО «Кимабел». В рамках ее решения необходимо разработать план модернизации оборудования, включая адаптацию вакуумной печи для высокотемпературной пайки сменных лезвий короснимателей. Отдельное внимание будет уделено вопросам подготовки персонала: разработке программ обучения операторов и внедрению системы контроля качества готовой продукции. Также предстоит разработать техническую документацию, регламентирующую этапы технологического процесса.

Пятой, перспективной задачей является исследование возможностей дальнейшего развития технологии. В частности, планируется изучить пути снижения экологической нагрузки и повышения безопасности производства. Дополнительно будет рассмотрен вопрос автоматизации процесса.

Решение перечисленных задач позволит не только разработать эффективную технологию высокотемпературной пайки, но и создать комплексную систему ее внедрения и эксплуатации на предприятии. Результаты работы будут способствовать повышению технологической независимости ООО «Кимабел», снижению производственных затрат и улучшению качества выпускаемой продукции.

Важным аспектом работы станет также разработка методики контроля качества паяных соединений. В рамках этой задачи предстоит определить перечень контрольных операций, включая визуальный осмотр, измерение геометрических параметров и неразрушающие методы контроля. Особое внимание будет уделено организации взаимодействия со специализированными лабораториями для проведения сложных видов испытаний.

Отдельным направлением работы станет анализ возможных рисков и разработка мер по их минимизации. В частности, потребуется оценить вероятность возникновения технологических дефектов при пайке и разработать методы их предотвращения. Дополнительно будет проведен анализ надежности оборудования и разработаны рекомендации по его техническому обслуживанию, что позволит обеспечить стабильность производственного процесса в долгосрочной перспективе.

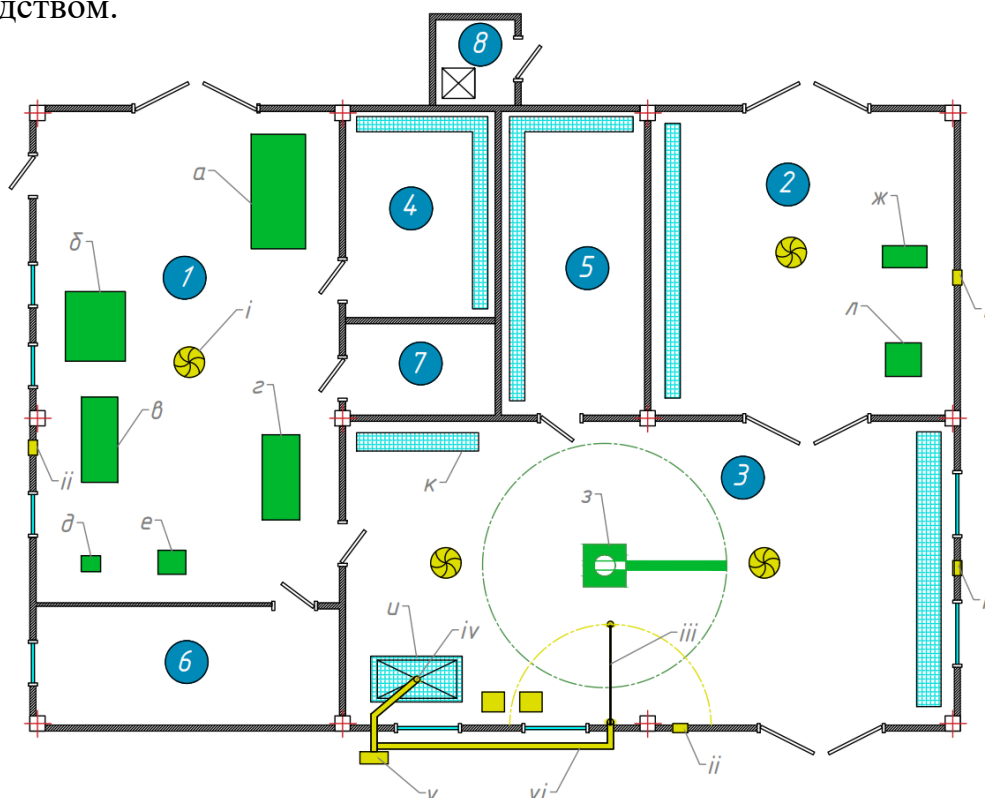
Таким образом, выпускная квалификационная работа охватывает широкий круг вопросов - от фундаментального исследования свойств материалов до практических аспектов внедрения технологии в производство. Комплексный подход к решению поставленных задач позволит не только разработать эффективную технологию пайки, но и создать условия для ее успешной реализации на предприятии, что в конечном итоге будет способствовать повышению его конкурентоспособности на рынке деревообрабатывающего оборудования.

2 Технологический процесс изготовления сменных ножей короснимателей

2.1 Изготовление элементов конструкции: механическая обработка деталей

2.1.1. Характеристика производственного участка

На рисунке 6 представлена планировка производственного участка. На предприятии функционируют токарно-фрезерный и сборочный цеха, которые играют ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы автоматических линий производства пиломатериалов, которое является основным производством.



а) станок токарно-винторезный 1М63; б) широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок 6Р82Ш; в) токарно-винторезный станок 16К20; г) станок поперечно-строгальный модели 7307ТД; д) точильный станок Витязь ТС-125-200; е) станок вертикально-сверлильный универсальный одношпиндельный 2Н125; ж) ленточнопильном станке CORMAK BS 260G; з) консольный кран стационарный на свободностоящей колонне с электрической талью; и) сварочный стол 3000мм*1500мм; к) стеллажи; л) малогабаритный плоскошлифовальный станок ЛШ322М.

Рисунок 6 – План производственного участка

В таблице 3 указаны площади помещений.

Таблица 3 – Площади производственного участка

Номер помещения	Наименование помещения	Площадь, м ²
1	Токарно-фрезерный цех	159
2	Подготовительный цех	100
3	Механосборочный цех	199
4	Кладовая для оснастки	34
5	Кладовая для инструмента	47
6	Комната отдыха с раздевалкой	39
7	Санузел с душевой	14
8	Котельная	9

Общая площадь: 601

Эти цеха специализируются на изготовлении, ремонте и обслуживании оборудования, необходимого для обеспечения бесперебойной работы основного производственного процесса:

а) на токарно - фрезерном участке №1 производственного помещения производится механическая обработка металлических изделий, где расположено следующие станки:

- 1) сверлильные,
- 2) токарные,
- 3) фрезерные,
- 4) расточные,
- 5) заточные,
- 6) точильные,
- 7) строгальные.

Здесь также для охлаждения станков *а, б, в, е* применяется смазочно-охлаждающая жидкость «Эльга-Г». Работа оборудования сопровождается выделением в помещение пыли, теплоты, а также паров смазочно-охлаждающей жидкости;

б) на участке №2 производится нарезка в размер в соответствии с конструкторской документацией сортового, фасонного и листового

проката. Резка производится на ленточнопильном станке, а также при помощи плазмореza и шлифовальных машинок;

в) на участке №3 производственного помещения выполняются операции по сборке и сварке плоских и объемных металлических конструкций из предварительно заготовленных деталей. Сборку и сварку деталей производят в основном на полу или на временных конструкциях с учетом их габаритов и технологии изготовления, поэтому сварочные посты не являются стационарными;

г) помещение №4 – кладовая для оснастки и инструментов. Также здесь хранится концентрат смазочно-охлаждающей жидкости и здесь же происходит ее приготовление: разведение водой 1кг концентрата к 19кг воды;

д) помещение №5 используется как кладовая для слесарного инструмента, сварочного и режущего оборудования;

е) помещение №6 является комнатой отдыха с раздевалкой;

ж) №7 – это санузел с душевой;

з) №8 – котельная.

На рисунке 6 желтым цветом изображена схема вентиляции помещений производственного здания. Естественная вентиляция состоит из аэрации - проветривание через фрамуги, окна и двери, а также канально-гравитационной вентиляции – при выключенном состоянии элементов вентиляции массы воздуха перемещаются через шахты вытяжных крышных вентиляторов i и отверстия осевых реверсивных вентиляторов ii оборудованных в стенах. Основным условием обмена воздуха на основе гравитационной системы является разница давлений, возникающая между воздухом, находящимся внутри, и воздухом снаружи. В зависимости от соотношения давлений, в вентиляционных каналах возникает естественная воздушная тяга, вызывающая проветривание помещений.

Механическая вентиляция не зависит от внешних атмосферных условий (температуры, давления, ветра и влажности) и представлена системой из

элементов, работающих в автоматическом режиме с заданными настройками, либо в ручном режиме могут быть задействованы определенные элементы этой системы как показано на рисунке 6:

- *i* - вытяжные крышные вентиляторы предназначены для эксплуатации без воздуховодных магистралей, но при необходимости могут подключаться и к воздуховодам канальной системы вентиляции;
- *ii* - осевые реверсивные вентиляторы, оборудованные в стенах, служат для перемещения воздуха в прямом и обратном направлениях;
- *iii* – вмонтированный в стену опорный поворотный механизм с закрепленной на нем вытяжной трубой состоящей из металлических колен и гофрированных переходов;
- *vi* – локальная вытяжка над сварочным столом;
- *v* – радиальный пылевой вентилятор, предназначенный для работы с запыленными воздушными и газовоздушными средами;
- *vi* – воздуховод, обеспечивающий забор воздуха с вытяжек над сварочным столом и находящейся на кронштейне поворотного механизма *iii*;
- *vii* - передвижной механический самоочищающийся фильтр.

2.1.2 Выбор заготовок и способы их получения

Заготовки подбираются таким образом, чтобы их форма как можно ближе соответствовала форме конечного изделия, что существенно упрощает последующую обработку.

Фактически профиль корпуса сменного лезвия короснимателя оптимально вписывается в сечение профиля сортового проката, а именно: квадрат стальной горячекатаный сечением 105мм*105мм в соответствии с [5], [6]. Данное сечение позволит изготовить пару корпусов из одного среза как показано на рисунке 7. Применение данной конфигурации позволит максимально

задействовать объем заготовки и, тем самым повлечет на расход используемых материалов.

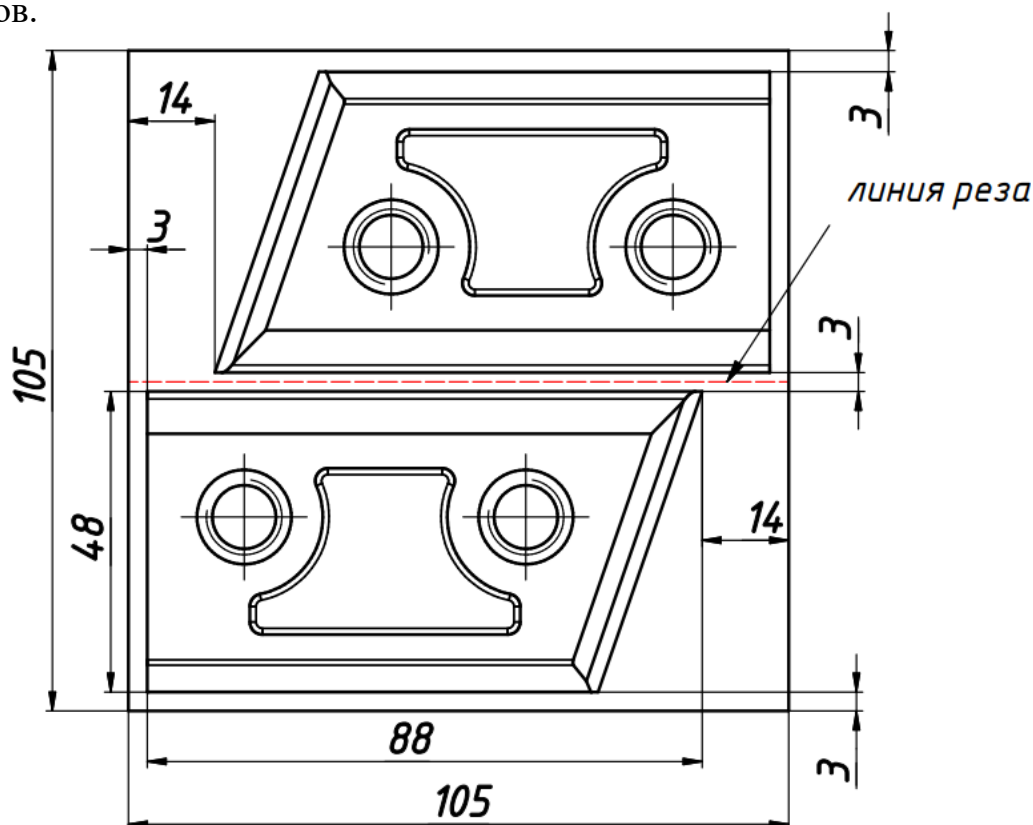


Рисунок 7 – Сечение профиля квадрата 105мм*105мм

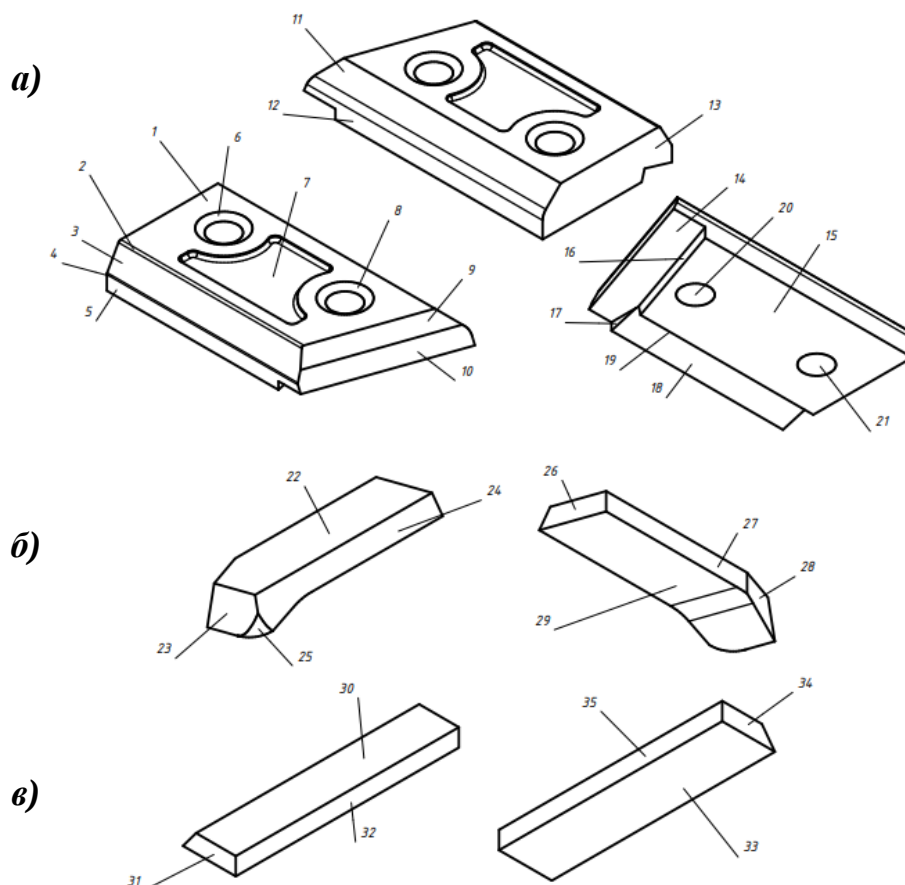
Для скребка и режущей кромки сменного лезвия короснимателя использованы заготовки из ВК-8 согласно [8] следующих габаритов:

- для скребка – 70мм*12мм*16мм;
- для режущей кромки - 60мм*12мм*16мм.

После нарезки заготовок сменного лезвия короснимателя на ленточнопильном станке CORMAK BS 260G с них удаляются заусенцы, неровности поверхностей и т.д.

2.1.3 Анализ технологичности конструкции изделия

Анализ технологичности производят с целью обеспечения оптимальных затрат в процессе подготовки производства, изготовления и эксплуатации изделия. Производится классификация поверхностей с целью упрощения построения технологического процесса как показано на рисунке 8.



а) корпус; б) режущая кромка; в) скребок.

Рисунок 8 - Классификация поверхностей

В первую очередь, поверхности могут быть разделены на базы, которые используются для обеспечения стабильного положения деталей во время обработки и сборки: основные и вспомогательные конструкторские базы.

Исполнительными называются те поверхности, которые выполняют функциональное назначение детали. Таковыми являются поверхности 23, 24, 35, которые выполняют непосредственно снятие коры с бревна.

Основными конструкторскими базами называются поверхности, при помощи которых осуществляется строгое ориентирование детали в узле. Таковыми являются резьбовые отверстия 20, 21 и поверхность 15, которая прилегает к короснимателю при креплении.

Вспомогательными конструкторскими базами называются поверхности, которые осуществляют ориентирование остальных деталей относительно рассматриваемой. В детали такими поверхностями являются поверхности 14, 16, 17, 18, 19, 27, 28, 31, которые являются поверхностями спайки и участвуют в

установлении положения деталей относительно друг друга. Оставшиеся поверхности являются свободными.

Анализ технологичности сменного лезвия к короснимателю по качественным показателям оформим в соответствии с [3] в виде таблицы 4.

Таблица 4 – Оценка технологичности детали

Критерий технологичности	Корпус	Скребок	Режущая кромка
Простота конструкции	Геометрическая форма средней сложности	Простая геометрическая форма	Геометрическая форма средней сложности
Методы получения заготовки	Сортовой прокат	Готовый полуфабрикат	Готовый полуфабрикат
Требования к точности размеров и форм	Обосновано	Обосновано	Обосновано
Базирование	Технологично	Технологично	Технологично
Доступность поверхностей для обработки и измерения	Поверхности доступны для обработки и измерения	Поверхности доступны для обработки и измерения	Поверхности доступны для обработки и измерения
Обрабатываемость материала резанием	Технологично. Имеет высокий $K_{V\text{ тв.сп.}} = 1$ и $K_{V\text{ бр}} = 0.9$	Нетехнологично, т. к. сталь ВК-8 это твердый сплав	Нетехнологично, т. к. сталь ВК-8 это твердый сплав
Обоснованная точность и шероховатость	Обосновано	Обосновано	Обосновано
Отсутствие плоскостей и отверстий, расположенных не под прямым углом	Присутствуют поверхности, расположенные не под прямым углом	Присутствуют поверхности, расположенные не под прямым углом	Присутствуют поверхности, расположенные не под прямым углом
Возможность применения универсальных измерительных средств	Все размеры могут быть измерены универсальными измерительными средствами: штангенциркуле и микрометром	Все размеры могут быть измерены универсальными измерительными средствами: штангенциркуле и микрометром	Все размеры могут быть измерены универсальными измерительными средствами: штангенциркуле и микрометром
Специфические требования	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что все три элемента имеют обоснованные требования к точности и доступны для обработки и измерения. Корпус отличается средней сложностью конструкции и изготавливается из сортового проката, что делает его технологичным. Скребок и режущая кромка имеют более простую форму и создаются из готовых полуфабрикатов, но их изготовление осложняется использованием твердого сплава ВК-8, что негативно сказывается на обрабатываемости. Следует также отметить, что во всех трех случаях отсутствуют специфические требования, что облегчает процесс обработки. В общем, корпус является наиболее технологичным элементом, в то время как скребок и режущая кромка имеют ограничения из-за используемого сплава ВК-8.

Для количественной оценки технологичности используется коэффициент металлоёмкости:

$$K_M = \frac{Q_d}{Q_{заг}} = \frac{402}{1048} = 0,38; \quad (1)$$

где K_M – коэффициент металлоёмкости, г;

Q_d – вес детали, г;

$Q_{заг}$ – вес заготовки, г;

$$Q_d = Q_k + Q_c + Q_{рк} = 342 + 33 + 27 = 402\text{г}; \quad (2)$$

где Q_k – вес корпуса, г;

Q_c – вес скребка, г;

$Q_{рк}$ – вес режущей кромки, г;

$$Q_{заг} = Q_{кз} + Q_{сз} + Q_{ркз} = 852 + 106 + 90 = 1048\text{г}; \quad (3)$$

где $Q_{кз}$ – вес заготовки корпуса, г;

$Q_{сз}$ – вес заготовки скребка, г;

$Q_{ркз}$ – вес заготовки режущей кромки, г;

Значения весов изделий и заготовок производились в студенческой версии САПР «Компас 3Д – v 22». Все поверхности имеют обоснованную шероховатость в пределах 1,6–3,2 мкм и степень точности обработки, что соответствует требованиям для высокотемпературной пайки. Таким образом,

значения коэффициентов шероховатости и точности принимается равными единице, в то время как коэффициент материалоемкости составляет 0,38, что указывает на высокий расход материала.

Рабочий чертеж детали, представленный в Приложение Б, предоставляет полное описание о её конструкции. На чертеже представлены все необходимые проекции элементов, а также информация, позволяющая понять конфигурацию изделия и возможные методы его изготовления. Включены требования к качеству поверхностей (шероховатости) и допустимые отклонения для всех обрабатываемых размеров.

2.1.4 Разработка технологического маршрута изготовления детали

Процесс проектирования технологической обработки детали начинается с определения последовательности обработки каждой поверхности. Знание этой последовательности необходимо для последующих расчетов промежуточных размеров заготовки в ходе различных технологических этапов. При формировании маршрута обработки важно учитывать, что каждый новый метод должен обеспечивать большую точность, чем предыдущий.

Технологические допуски на промежуточные размеры и качество поверхности, достигнутые на этапе обработки, должны оставаться в пределах, при которых можно использовать намечаемый последующий метод обработки. Основная цель разработки маршрута заключается в создании общего плана обработки детали, наметке содержания операций и выборе соответствующего оборудования. Эта задача сложна и подразумевает множество возможных решений.

Качество поверхности, которое включает в себя точность, определяемую квалитетом и шероховатостью, зависит от используемого метода обработки. При планировании обработки следует минимизировать разнообразие используемого оборудования, приспособлений и инструментов.

Методы обработки поверхностей представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Методы обработки поверхностей

Поверхность	Квалитет	Шероховатость	Обработка	Поверхность	Квалитет	Шероховатость	Обработка
1	10	Rz50	черновое фрезерование	18	10	Ra1,6	черновое фрезерование чистовое фрезерование
2	10	Rz50	черновое фрезерование	19	10	Ra1,6	черновое фрезерование чистовое фрезерование
3	10	Rz50	черновое фрезерование	20	10	Ra1,6	сверление нарезание резьбы шлифование резьбы
4	10	Rz50	черновое фрезерование	21	10	Ra1,6	сверление нарезание резьбы шлифование резьбы
5	10	Rz50	черновое фрезерование	22	10	Ra1,6	чистовое шлифование
6	10	Rz50	зенкование	23	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
7	10	Rz50	черновое фрезерование	24	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
8	10	Rz50	зенкование	25	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
9	10	Rz50	черновое фрезерование	26	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
10	10	Rz50	черновое фрезерование	27	10	Ra1,6	чистовое шлифование
11	10	Rz50	черновое фрезерование	28	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
12	10	Rz50	черновое фрезерование	29	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
13	10	Rz50	черновое фрезерование	30	10	Ra1,6	чистовое шлифование
14	10	Rz50	черновое фрезерование	31	10	Ra1,6	чистовое шлифование
15	10	Ra1,6	черновое и чистовое фрезерование	32	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
16	10	Ra1,6	черновое и чистовое фрезерование	33	10	Ra1,6	черновое шлифование чистовое шлифование
17	10	Ra1,6	черновое и чистовое фрезерование				

Финишная обработка основывается на данных, указанных в рабочих чертежах. Исходя из выбора первых и последних этапов устанавливаются промежуточные операции.

В таблице 6 отображен техпроцесс механической обработки деталей корпус, скребок и режущая кромка – составляющие изделия сменное лезвие короснимателя.

Таблица 6 - Техпроцесс механической обработки поверхностей

Код операции согласно [19]	Наименование операции	Краткое содержание операции	Оборудование	Оснастка из Приложения Е	Номера обрабатываемы х поверхностей
1	2	3	4	5	6
4282	Отрезная	Вырезать заготовку из квадрата 40ХН	ленточнопильный станок CORMAK BS 260G	-	-
4273	Черновое фрезерование	Фрезеровать корпус согласно чертежа до Rz50	широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок 6P82III	Рисунок Е.1, Е.2	1-19
4273	Чистовое фрезерование	Фрезеровать корпус согласно чертежа до Ra1,6	широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок 6P82III	Рисунок Е.1, Е.2	15-19
4222	Зенковка	Осуществить зенковку отверстий	станок вертикально-сверлильный универсальный одношпиндельный 2Н127	Рисунок Е.3	6,8
4214	Вертикальное сверление	Просверлить отверстие Ø10,2мм с полем допуска Н6 (+0,27)	станок вертикально-сверлильный универсальный одношпиндельный 2Н125	Рисунок Е.4	20,21
4107	Резьбонарезная	Нарезать резьбу М12 шаг 1,75	станок вертикально-сверлильный универсальный одношпиндельный 2Н126	Рисунок Е.5	20,21
4135	Резьбошлифовальная	Осуществить шлифование отверстий	Шлифмашина прямая «Bosch» GGS 28 С	Рисунок Е.6	20,21

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
4272	Черновое шлифование	Шлифовать алмазным кругом 20 (размер зерна 200-250мкм)	широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок 6Р82Ш	Рисунок Е.7	23-26,28,29, 31,35
4272	Чистовое шлифование	Шлифовать алмазным кругом М50 (размер зерна 40-50мкм)	широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок 6Р82Ш	Рисунок Е.8	23-26,28,29, 31,35

Все необходимые этапы, связанные с обработкой базовых, исполнительных и связующих поверхностей выполняются в последовательности, обеспечивающей получение требуемых параметров точности и качества детали в условиях единичного типа производства.

Для каждой операции определены припуски опытно-статистическим методом, что позволило достичь оптимального соотношения между качеством обработки и расходом материала. Этот подход базируется на справочных данных о материалах заготовок и консультаций с квалифицированными токарями-специалистами, которые поделились своими знаниями и практическим опытом. Как показано в таблице 7 благодаря их мнению удалось учесть нюансы, которые порой не отражаются в теоретических материалах.

Таблица 7 - Межоперационные припуски на механическую обработку поверхностей

Код операции согласно [19]	Наименование операции	Рекомендуемый припуск, мкм	Примечания
1	2	3	4
4282	Отрезная	1000-2000	На этом этапе важно оставить некоторый припуск, чтобы можно было точно обработать детали на следующих операциях.
4273	Черновое фрезерование	1100-1200	Операция требует большего припуска, чтобы учесть возможные отклонения и оставить запас для последующей чистовой обработки.
4273	Чистовое фрезерование	160-250	Небольшой припуск позволяет достигнуть высокой точности геометрии изделия.

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
4222	Зенковка	200-500	Важно подготовить место под закрепляющие элементы, но сохранять деталь в пределах допуска
4214	Вертикальное сверление	300-500	Припуск необходим для учёта возможного отклонения оси сверления и обеспечения надежной подгонки
4107	Резьбонарезная	400-600	Припуск необходим для компенсации износа инструмента при нарезании резьбы.
4135	Резьбошлифовальная	50-100	Важна чистота и точность получаемой резьбы
4272	Черновое шлифование	160-250	Данный этап обеспечивает снятие лишнего материала перед чистовым
4272	Чистовое шлифование	30-50	Завершающая операция требует минимального припуска для получения идеальной поверхности

Такой метод определения припусков особенно актуален для единичного производства, поскольку в таких условиях важно быстро адаптироваться к изменяющимся требованиям основного производства, которое является основным потребителем продукции токарно-фрезерного цеха. Выбор оптимальных припусков, основанный на реальных примерах и опыте практиков, позволяет сократить время на обработку, минимизируя ошибки и обеспечивая высокое качество конечного продукта. Таким образом, применение опытно-статистического подхода в данной ситуации способствует более эффективной организации производственного процесса.

Установленные припуски учитывают дальнейшее соединение деталей между собой с использованием высокотемпературной пайки, что требует особого внимания к точности обработки и геометрии изделий. После завершения процесса пайки крайне важно провести сверку геометрии с чертежом, чтобы удостовериться, что все элементы соответствуют заявленным техническим требованиям. Также необходимо произвести дополнительную механическую

обработку - финишное шлифование, что позволит достигнуть заданной точности и обеспечить качественное соединение деталей.

При назначении режимов резания для твердосплавного инструмента руководствуются общим правилом: чем более точная обработка будет производиться, тем меньше будет величина подачи и глубина резания и больше скорость резания.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина s_z – подача на один зуб. По таблице 5.59 источника [10] подбирается значения данного параметра для чернового фрезерования фрезой №1 из Приложения Е: $s_z = 0,05$ мм/зуб для поверхностей 1, 15; $s_z = 0,08$ мм/зуб для поверхностей 2-5, 7, 9-13; $s_z = 0,12$ мм/зуб для поверхностей 14, 16-19. По таблице 5.62 источника [10] подбирается s_z для чистовой обработки $s_z = 0,08$ мм/зуб.

Используя данные таблиц 5.57-5.64 источника [10] рассчитывается скорость резания v и окружную силу резания при фрезеровании P_z для фрезы №1 из Приложения Е для поверхностей 2-5, 7, 9-13:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s_z^{y_v} \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v = \frac{22,5 \cdot 20^{0,35}}{80^{0,27} \cdot 0,5^{0,21} \cdot 0,08^{0,48} \cdot 20^{0,03} \cdot 30^{0,1}} \cdot 0,64 = 21 \text{ м/мин}, \quad (4)$$

где T — стойкость инструмента, мин;

D — диаметр режущей кромки, мм;

t — глубина резания, мм; s_z — подача, мм/зуб;

B — ширина фрезерования, мм;

z — число зубьев фрезы;

C_v — коэффициент, учитывающий материал заготовки и условия обработки;

m, q_v, x_v, y_v, u, p — показатели степени к величинам T, D, t, s_z, B и z в формуле;

K_v — поправочный коэффициент на измененные условия обработки:

$$K_v = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 0,85 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,65 = 0,64.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^{x_p} \cdot s_z^{y_p} \cdot B^{u \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_p = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 0,5^{0,85} \cdot 0,08^{0,75} \cdot 20^1 \cdot 3}{20^{0,73} \cdot 333,9^{-0,13}} \cdot 0,85 = 127,1 \text{ Н}, \quad (5)$$

где D — диаметр режущей кромки, мм;

t — глубина резания, мм; s_z — подача, мм/зуб;

B — ширина фрезерования, мм;

z — число зубьев фрезы;

n — частота вращения инструмента, об/мин;

C_p — коэффициент, учитывающий материал заготовки и условия обработки;

x_p, y_p, u, q, w — показатели степени к величинам t, s_z, B, D и n в формуле;

K_p — поправочный коэффициент на измененные условия обработки: $K_p = K_1 \cdot K_2 = 0,85 \cdot 1 = 0,85$.

$$n = (1000 \cdot v) / (\pi \cdot D) = 333,9 \text{ об/мин}, \quad (6)$$

где v — скорость резания;

D — диаметр режущей кромки.

Определяется крутящий момент $M_{кр}$ на шпинделе:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{157,8 \cdot 20}{2 \cdot 100} = 12,71 \text{ Н/м}, \quad (7)$$

где P_z — окружная сила резания при фрезеровании;

D — диаметр режущей кромки.

Определяется эффективная мощность резания $N_э$ на шпинделе:

$$N_э = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{157,8 \cdot 37,65}{1020 \cdot 60} = 0,04 \text{ кВт}, \quad (8)$$

где P_z — окружная сила резания при фрезеровании, Н;

v — скорость резания, м/мин.

Аналогично рассчитываются данные параметры для остальных операций фрезерования. Результаты приведены в виде таблицы 8.

Таблица 8 - Параметры резания для операций фрезерования

Оснастка согласно Приложения Е	Операция	s_z	v , м/мин	P_z , Н	$M_{кр.}$, Н/м	N_3 , кВт	n , об/мин	Поверхности
№1	Черновое фрезерование	0,05	22,80	90,30	9,00	0,03	363,00	1,15
	Черновое фрезерование	0,08	21,00	127,10	12,71	0,04	333,90	2-5, 7, 9-13
	Черновое фрезерование	0,12	19,50	170,70	17,10	0,05	310,00	14, 16-19
	Чистовое фрезерование	0,08	21,00	127,10	12,71	0,04	333,90	1-5,9-19
№2	Черновое фрезерование	0,02	12,00	56,40	0,56	0,01	1900,00	7

Используя паспортные данные станка, подбирается значение n . По выбранной частоты вращения $n = 600$ об/мин определяется действительная скорость резания v_d , с которой будет производиться сверление:

$$v_d = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10,2 \cdot 600}{1000} = 19,2 \text{ м/мин} \quad (9)$$

где D — диаметр сверла, мм, n — частота вращения сверла, об/мин.

По таблице 5.48 источника [10] определяется подача при сверлении $s = 0,3$ мм/об.

Определяется скорость резания v м/мин при зенковании, используя таблицы 5.55 и 5.56 источника [10]:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s^{y_v}} \cdot K_v = \frac{16,3 \cdot 10,2^{0,3}}{30^{0,3} \cdot 0,5^{0,2} \cdot 0,5^{0,5}} \cdot 0,42 = 19,5 \text{ м/мин} \quad (10)$$

где T — стойкость инструмента, мин;

s — подача, мм/об;

C_v — коэффициент, учитывающий материал заготовки и условия обработки;

D — диаметр инструмента, мм;

m , q_v , x_v , y_v — показатели степени к величинам T , D , t и s в формуле;

K_v — поправочный коэффициент на измененные условия обработки $K_v = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,85 = 0,42$.

Для обработки заготовок из твердого сплава ВК-8 выбрана двухэтапная схема шлифования, предусматривающая черновое и чистовое шлифование с использованием алмазных чашек различной зернистости как показано в таблице 9.

Таблица 9 - Параметры резания для операций шлифования заготовок из ВК-8

Оснастка согласно Приложения Е	Операция	s, мм/об	v, м/с	t, мм
№7	Черновое шлифование	1,90	20,00	0,2-0,5
№8	Чистовое шлифование	3,18	25,00	0,05-0,1

Оптимальные режимы шлифования определены в ходе консультаций со специалистами и основаны на анализе существующих исследований в области обработки твердых сплавов [2], [9], [16], [34]. На первом этапе используется алмазная чашка для чернового шлифования что позволит эффективно удалять основной объем материала. Второй этап чистового шлифования предусматривает применение чашки с более мелкой зернистостью.

2.2 Технология пайки деталей: формирование неразъемного соединения

2.2.1 Оптимальная технология высокотемпературной пайки

Для достижения наиболее качественного паяного соединения между сталью 40ХН и сплавом ВК-8 наибольшую эффективность демонстрирует пайка в печах с защитными газами и вакууме. Эта технология обеспечивает стабильные условия процесса за счет изоляции от кислорода, что исключает возможность окислительных реакций на поверхности паяных соединений, которые могут существенно ухудшить механические свойства. За счет использования защитных газов или вакуума можно поддерживать необходимый температурный режим, критически важный для полного расплавления припоя и равномерного прогрева соединяемых материалов.

Выбор технологии пайки в вакуумной печи можно обосновать несколькими ключевыми факторами. Во-первых, вакуумная пайка обеспечивает высокое качество соединений благодаря отсутствию кислорода и других загрязняющих факторов в свободном пространстве печи. Это предотвращает окисление и улучшает механические свойства соединений, что критично для надежности и долговечности сменного лезвия, изготовленного из сплавов ВК-8 и 40ХН, требующих особых условий нагрева и защиты от окисления.

Преимущества вакуумной пайки заключаются в том, что в процессе нагрева в бескислородной среде металл не окисляется, что исключает необходимость в использовании флюса для достижения качественного соединения. Детали, охлажденные в вакууме, имеют блестящую поверхность, как будто они только что прошли полировку. При соблюдении оптимальных условий нагрева и строго установленного времени выдержки можно гарантировать, что качество пайки будет одинаковым для всех деталей в партии.

Перед проведением пайки в вакууме детали должны быть тщательно очищены от загрязнений, масел и признаков коррозии. Сборка компонентов для пайки осуществляется в специальном устройстве, куда заранее укладывается припой. Если использование приспособления не предусмотрено, для предотвращения прилипания изделия к контейнеру применяются прокладки из слюды или графита.

После размещения деталей в печи начинается процесс нагрева с одновременной откачкой воздуха. Для достижения температур пайки печь нужно разогревать как можно быстрее, чтобы предотвратить диффузию припоя с основным металлом и обеспечить качественное заполнение зазоров в паяных соединениях.

Несмотря на множество достоинств технологии высокотемпературной пайки в вакууме, её сфера применения по-прежнему остается достаточно узкой. Данный процесс в основном рассчитан на пайку мелких компонентов и требует продолжительного охлаждения изделий в условиях вакуума.

В области высокотемпературной пайки в работах [18], [20], [25], [26], [27], [28], [29], рассмотрены пайка в вакууме в печах сопротивления и пайка в вакууме с дуговым нагревом. Первый метод использует электрическое сопротивление материала для достижения необходимых температур, обеспечивая равномерный и контролируемый нагрев за счет умеренного перераспределения температуры. Второй метод, дуговой нагрев, основан на образовании электрической дуги между электродами, что позволяет достигать более высоких температур за короткие промежутки времени и улучшает качество соединения.

2.2.2 Подготовка к пайке

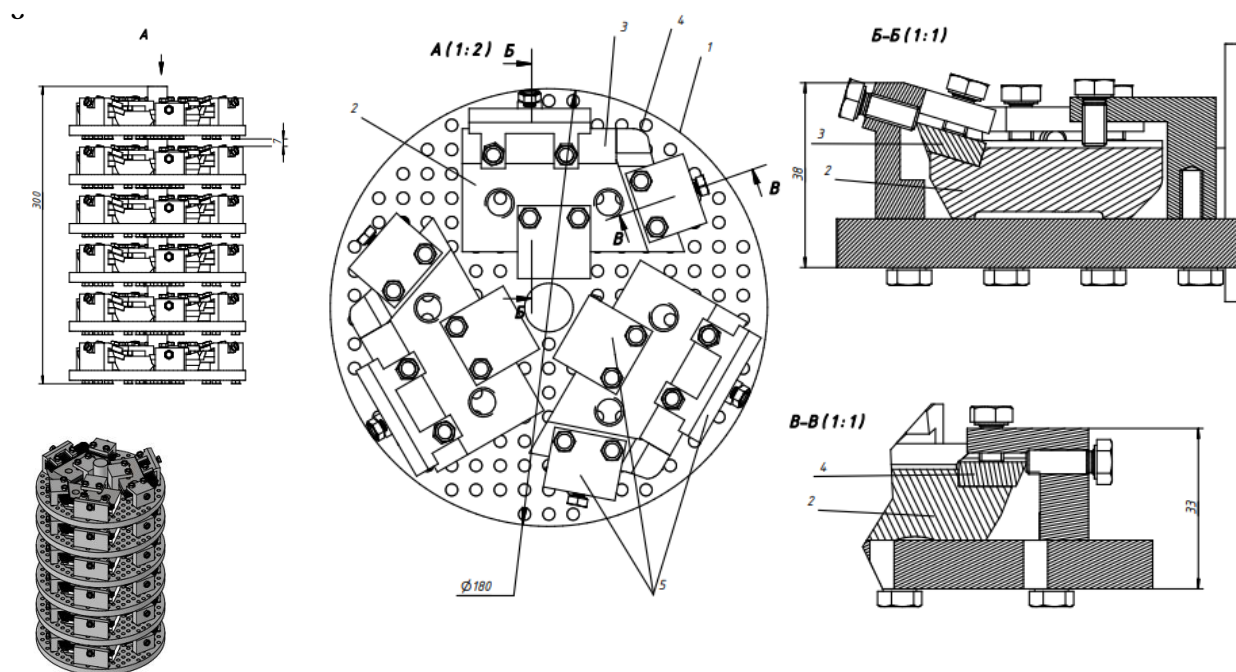
Основные этапы технологического процесса высокотемпературной пайки включают в себя подготовку поверхности, сборку, сам процесс пайки и, при необходимости, доработку.

Подготовка поверхностей для пайки имеет решающее значение для достижения высокого уровня и стабильности свойств паяного соединения. Даже незначительные следы ржавчины, окалины, жировые пленки резко уменьшают прочность соединений. Для обеспечения быстроты процесса и равномерной толщины удаляемого слоя необходимо тщательно очистить поверхность изделия от всех загрязнений и остатков масел. В этом случае можно использовать обычные моющие и чистящие средства, такие как мыльные растворы и тёплая вода. Лента припоя ПСр-40 толщиной 0,1 мм размером 150 мм*400 мм вырезается по размеру спаиваемых поверхностей, а именно: поверхности режущей кромки 22 и 27 с поверхностями корпуса 14, 16, 17; поверхности скребка 30 и 32 с поверхностями корпуса 18 и 19; поверхность режущей кромки 28 и поверхность скребка 31. Вырезанные в размер с припуском 0,5 мм пластины размещаются между указанными спаиваемыми поверхностями.

Пайка осуществляется в вакуумной печи DM-200BF, которая представлена в Приложении Д. Печь имеет размер рабочей зоны 180 мм*300 мм (диаметр*высота).

В спецификации к печи имеется фотографии платформы для размещения садки. Данную платформу необходимо модифицировать, добавив перфорированные диски и сконструировав систему крепежа для инсталляции сборки сменного лезвия короснимателя с размещенными в местах пайки пластинами припоя. Таким образом, сменные лезвия в сборе с установленными пластинами припоя инсталлируются на перфорированных дисках платформы вакуумной печи при помощи специфических креплений - на рисунке 9 изображено такое решение.

На рисунке 9 показано как при помощи системы креплений 5 к перфорированному диску 1 винтами М5 произведен прижим корпуса сменного лезвия короснимателя. Прижимы 5 крепятся непосредственно к перфорированному диску винтами М5. На рисунке 9 в сечениях Б-Б и В-В также изображены регулировочные винты М5, которые не позволят скребку и режущей кромке сменного лезвия короснимателя сдвинуться со своей позиции во время



1 – перфорированный диск платформы; 2 – корпус сменного лезвия короснимателя; 3; скребок сменного лезвия короснимателя; 4; режущая кромка сменного лезвия короснимателя; 5 -система прижимов.

Рисунок 9 - Модификация платформы для размещения садки печи DM-200BF

Расчет усилия прижима и момента затяжки винтов для пайки.
Рассчитываются термические деформации:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T, \quad (11)$$

где ΔL - изменение длины (мм),

L_0 - начальная толщина детали (мм),

α - коэффициент линейного расширения ($1/^\circ\text{C}$),

ΔT - изменение температуры ($^\circ\text{C}$).

$$\Delta L_{40\text{XH}} = 11 \cdot 14.5 \cdot 10^{-6} \cdot 640 = 0.102\text{мм}$$

$$\Delta L_{\text{BK8}} = 5 \cdot 4.5 \cdot 10^{-6} \cdot 640 = 0.14\text{мм}$$

$$\Delta L = 0.102 - 0.014 = 0.088\text{мм}$$

Принимается общий допуск на шероховатость спаиваемых поверхностей и действие капиллярного эффекта $\Delta h = \pm 0.05\text{мм}$, тогда величина зазора, то есть диапазон допустимой деформации, будет равна:

$$h_{\min} = h_{\text{ном}} + \Delta h + \Delta L = 0.1 - 0.05 + 0.088 = 0.138\text{мм} \quad (12)$$

$$h_{\max} = h_{\text{ном}} + \Delta h + \Delta L = 0.1 + 0.05 + 0.088 = 0.238\text{мм} \quad (13)$$

Для компенсации данной деформации и сохранения контакта спаиваемых деталей до и после расплавления необходимо учесть, что для серебряных припоев, включая ПСр-40, оптимальное давление пайки составляет 0.5–5 МПа, при этом 1–3 МПа – для ответственных соединений. Расчетное значение давления принимается 3 МПа. Этот уровень давления обеспечит оптимальное заполнение зазора припоем, хорошую смачиваемость поверхностей и формирование качественного паяного шва без образования пор и непропаев. При этом давление остается в безопасных пределах, исключающих выдавливание припоя из соединения или повреждение хрупкого твердого сплава ВК8.

Усилие прижима составит:

$$F = P \cdot A = 3 \cdot 1440 = 4320\text{Н}, \quad (14)$$

где F – усилие прижима (Н),

A – общая площадь контакта (мм^2).

Таким образом усилие прижима на один винт составит:

$$F_{\text{винт}} = \frac{F}{4} = \frac{4320}{4} \approx 1.1 \text{ кН} \quad (15)$$

Момент затяжки:

$$M = kFd = 0.2 \cdot 1100 \cdot 0.005 = 1.1 \text{ Н·м} \quad (16)$$

где M - момент затяжки (Н·м),

k - коэффициент трения,

F - усилие на винт (Н),

d - диаметр винта (м).

Конструкция платформы для размещения садки изображенная на рисунке 9 позволяет спаять за один цикл 18 изделий. Оснастку в данном случае следует изготовить из жаропрочной стали 20Х23Н13.

2.2.3 Проведение пайки: оптимальный режим и оборудование

Для проведения процесса высокотемпературной пайки используется вакуумная печь DM-200BF китайского производства, которая представлена в Приложении Д. Печь обеспечивает уровень давления до 7×10^{-3} Па. Максимальная рабочая температура печи составляет 1100°C , точность контроля температуры $\pm 1^\circ\text{C}$ и равномерный нагрев по всему объему рабочей камеры.

Печь оборудована программируемым контроллером, который позволяет задавать сложные температурные профили, адаптированные под конкретные задачи пайки. Это особенно важно для ответственных изделий, где требуется строгое соблюдение временных и температурных параметров для достижения оптимальных механических и физических свойств соединения. Кроме того, наличие системы водяного охлаждения обеспечивает безопасность и продлевает срок службы оборудования, предотвращая перегрев критических узлов.

Процесс пайки в вакуумной печи DM-200BF проводится в условиях безокислительного нагрева. После закрепления на платформе садка автоматически загружается в печь и происходит процесс непосредственно пайки.

На рисунке 10 изображен термопрофиль режима высокотемпературной пайки для стали 40ХН с сплавом ВК-8 используя припой ПСр-40.

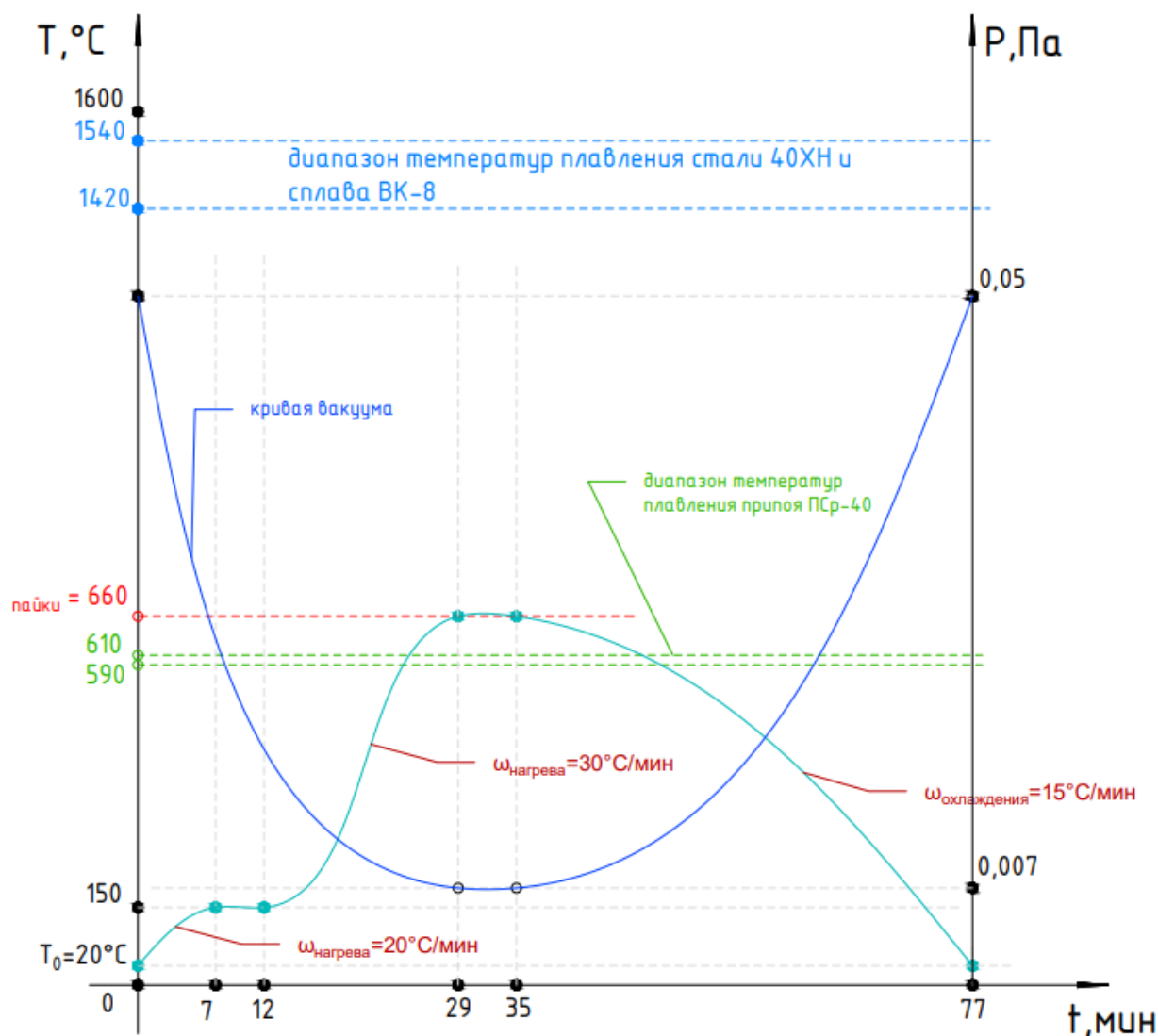


Рисунок 10 - Термопрофиль высокотемпературной пайки

Процесс высокотемпературной пайки стали 40ХН и сплава ВК-8 включает несколько ключевых стадий, каждая из которых имеет важное значение для достижения качественного паяного соединения.

Процесс пайки происходит в автоматическом режиме с возможностью ручного регулирования. Основные стадии процесса высокотемпературной пайки:

- предварительный нагрев до 150°C (7 минут): на данном этапе производится медленный нагрев элементов соединения;

- выдержка при 150°C (5 минут): на данном этапе осуществляется равномерное распределение температуры по объему элементов соединения с целью удалить остатки влаги (в том числе возможны остатки СОЖ после механической обработки) и подготовить материалы к следующему более интенсивному этапу нагрева;
- нагрев до температуры пайки (17 минут): на данном этапе осуществляется планомерный нагрев до 660°C; малая скорость нагрева 30°C/мин обеспечивает отсутствие термических напряжений в паяемых элементах; одновременно давление к 660°C стабилизируется на уровне 0,007 Па;
- пайка (6 минут): на этом этапе проходит непосредственно процесс пайки, расплавляется припой и происходит смачивание поверхностей; происходит взаимодействие расплавленного припоя с сплавами элементов соединения;
- охлаждение (42 минуты): завершающий этап, на котором осуществляется постепенное охлаждение со скоростью в два раза меньшей нагрева во избежание термических деформаций и образования неравновесных структур в припое и на границах взаимодействия припоя с элементами соединения в следствие резких перепадов температур.

Кривая процесса построена исходя из физических свойств используемых материалов [4], [14], [15], [21], [23], [37], [38]. Сталь 40ХН относится к легированным сталям с хромом и никелем, что придает ей высокую прочность и устойчивость к коррозии. В процессе термомеханической обработки и нагрева до температур пайки (600–660°C) в стали 40ХН будет доминировать ферритно-перлитная структура с растворением углерода и легирующих элементов в оставшихся фазах. Фазовые изменения отсутствуют и аустенизации сплава не происходит, так как температура ниже критических точек ($A_{c1} \approx 730^\circ\text{C}$). Важно также контролировать размеры зерен, чтобы избежать чрезмерного роста, который может негативно сказаться на механических свойствах соединений.

Сплав ВК-8, состоящий в основном из карбида вольфрама и кобальта, отличается высокой твердостью и износостойкостью, при этом его структура в виде твердых карбидов в кобальтовой матрице начинает изменяться только при температурах около 900 °С и выше. При пайке, проводимой при 660 °С, сплав сохраняет свою основную структуру, что позволяет избежать нежелательных изменений. В области соединения может образоваться переходная зона, которая включает взаимодействие ферритно-перлитной структуры стали 40ХН с карбидами ВК-8. Карбиды вольфрама (WC) химически инертны, но кобальтовая матрица (Co) активно взаимодействует с припоем. Кобальт растворяется в припое, улучшая смачивание WC.

Кроме того, после охлаждения из паяного соединения отмечается вероятность формирования мартенсита в стали 40ХН при быстром охлаждении, в то время как в сплаве ВК-8 остаются в основном твердые карбоновые фазы. Такой переход также может привести к увеличению прочности и твердости соединений, однако требует контроля скорости охлаждения, чтобы предотвратить возникновение остаточных напряжений и возможные деформации в области соединения.

Припой ПСр-40 обладает хорошими свойствами смачиваемости и растекаемости. В заданном температурном режиме припой начинает плавиться и активно взаимодействовать с поверхностями соединяемых материалов. Никель в составе улучшает адгезию к сталям и подавляет образование хрупких интерметаллидов. Высокая температура способствует образованию тонкой пленки припоя, которая хорошо смачивает поверхности, обеспечивая надежное соединение. Fe и Cr частично растворяются в припое, образуя зону диффузионного сплавления. Никель из припоя взаимодействует с Fe, формируя твердый раствор (Fe-Ni). В зоне пайки возможно образование тонкого слоя интерметаллидов Cu_3Fe на границе, но никель и цинк в припое подавляют их рост, предотвращая хрупкость.

В процессе пайки в месте контакта скребка и режущей кромки, то есть сплавов ВК-8 между собой, кобальт из ВК-8 растворяется в припое, обнажая WC

и позволяя расплаву припоя смачивать карбид. Со диффундирует в расплав, образуя твёрдый раствор Co-Cu-Ag, что укрепляет границу раздела.

Различия в коэффициентах линейного температурного расширения (КТЛР) стали 40ХН ($\approx 14,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ при температуре пайки) и сплава ВК8 ($\approx 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ при температуре пайки) учтены в разработанном режиме охлаждения. Медленное снижение температуры позволяет синхронизировать сжатие материалов, минимизируя остаточные напряжения на границе соединения. Использование припоя ПСр-40 смягчает несоответствие деформаций, а геометрия шва и зазоры рассчитаны так, чтобы избежать концентрации напряжений. Эти меры предотвращают трещины и отслоения, несмотря на разницу в расширении стали 40ХН и твёрдого сплава ВК-8.

Повышенная теплоёмкость стали 40ХН ($\approx 630 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ при температуре пайки) также интегрирована в температурный профиль: поэтапный нагрев обеспечивает равномерный прогрев стали без локального перегрева ВК-8, чья низкая теплоёмкость ($\approx 140 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ при температуре пайки) ускоряет теплоперенос. Это поддерживает стабильность теплового поля в зоне пайки, необходимое для контролируемого растекания припоя и формирования однородного шва. Замедленный нагрев стали компенсирует её тепловую инерцию, а быстрое прогревание ВК-8 исключает деформации, связанные с неравномерным расширением. Значения КТЛР и теплоемкости взяты из [23], [30], [37].

Важно учитывать, что температура пайки не должна превышать критические значения, чтобы избежать термического повреждения соединяемых материалов

2.2.4 Контроль качества паяных соединений

Контроль качества паяных соединений, полученных в результате высокотемпературной пайки, является критически важным этапом, который обеспечивает надежность и долговечность конечного продукта. В условиях современного производства, где требования к качеству постоянно растут, необходимо проводить тщательные проверки соединений на соответствие установленным стандартам.

Перед вводом изделия в эксплуатацию проводится комплекс неразрушающих методов контроля. Визуальный осмотр выявляет поверхностные дефекты: трещины, непропаи, неравномерное растекание припоя. Дополнительно выполняются замеры геометрии шва (толщина, ширина) и микротвердости переходной зоны между сталью 40ХН и ВК8. Эти этапы критически важны для отбраковки изделий с явными дефектами, однако они не гарантируют отсутствия скрытых проблем, таких как остаточные напряжения или микротрещины, которые проявляются только под нагрузкой.

Для частичной оценки надежности проводятся лабораторные испытания, имитирующие рабочие условия: термические циклы (нагрев до 600–700°C с последующим охлаждением) и механические нагрузки (вибрация, ударные воздействия). Однако такие тесты лишь приближены к реальной эксплуатации и не учитывают всех факторов, таких как длительное воздействие агрессивных сред, динамические перегрузки или комбинированные напряжения (термические и механические). Кроме того, микроструктурные изменения (рост интерметаллидов, окисление границ) могут развиваться постепенно, оставаясь незамеченными на этапе предварительного контроля. Для анализа внутренней структуры применяется рентгенография или ультразвуковая дефектоскопия, позволяющие обнаружить поры, включения или расслоения в зоне пайки. Однако, в силу отсутствия необходимого оборудования на предприятии для проведения таких анализов, разумным решением является обращение в

специализированную организацию, обладающую соответствующими ресурсами и опытом.

Такой организацией является «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа» (Минск, Беларусь), с которой у ООО «Кимабел» заключен договор на обслуживание. Учреждение оказывает услуги по исследованию и испытанию различных материалов, располагает современным оборудованием и штатом высококвалифицированных специалистов. В данном случае имеются все необходимые гарантии, что результат анализа будет соответствовать существующим стандартам и требованиям.

В таблице 10 отображены цены на услуги института по проведению соответствующих испытаний образца сменного лезвия короснимателя.

Налаженные связи с данной организацией обеспечивают оперативность и доступность услуг контроля качества. Это позволяет предприятию быстро реагировать на возникающие вопросы и получать своевременные результаты испытаний.

Таблица 10 - Прейскурант на проведение испытаний паяного соединения

Наименование процедуры	Стоимость, евро
Пределы прочности на растяжение и срез	99
Испытания на удар	82
Определение толщины прослойки паяного соединения (с фотографиями)	52
Анализ структуры спаиваемых материалов и припоя в паяной области (с фотографиями);	98
Рентгеноспектральный анализ на предмет выявления дефектов пайки (с фотографиями).	198

Таким образом, окончательная проверка качества происходит непосредственно в процессе эксплуатации изделия, где соединение подвергается реальным нагрузкам. Паяный узел сменного лезвия короснимателя испытывает следующие нагрузки:

- циклические ударные воздействия,

- абразивный износ,
- нагрев.

Именно здесь проявляются скрытые дефекты: неоднородность структуры припоя, остаточные напряжения или недостаточная адгезия на границе материалов. Риски таких испытаний очевидны — разрушение соединения в рабочем режиме приводит к выходу изделия из строя, а в критических случаях — к авариям. Для минимизации последствий применяют такие превентивные меры как регулярный мониторинг состояния паяных узлов (например, термографией), но даже это не исключает вероятность внезапного отказа, заложенную в самой природе разнородных материалов с различающимися физико-механическими свойствами.

3 Внедрение технологии в производство

3.1 Безопасность и экологичность

Обеспечение безопасности и экологической устойчивости на рабочих местах, связанных с высокотемпературной пайкой, является одной из важнейших задач.

Рабочее место, где осуществляется пайка изделий оборудовано вакуумной печью с охладительными системами. Однако существует риск выделения токсичных паров при пайке, что накладывает важные требования к безопасности и подтверждает необходимость организации безопасных условий труда.

Оборудование на участке высокотемпературной пайки с использованием вакуумной печи является источником следующих опасностей:

- термические: высокая температура нагрева (до 660°C), риск ожогов;
- химические: выделение токсичных паров кадмия, никеля, хрома при пайке;
- электрические: использование электронагревательных элементов;
- механические: образование металлической пыли и стружки при очистке заготовок;

С точки зрения экологии, процесс сопровождается:

- выбросами паров кадмия (1-й класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76).
- образованием отходов (припой, шлаки), требующих утилизации по ФЗ № 89 «Об отходах».

При идентификации опасных и вредных производственных факторов необходимо учитывать вредные свойства используемых материалов. Основные компоненты стали 40ХН (углерод, никель, хром) обладают определенной токсичностью. Например, никель может вызывать контактный дерматит у людей, а хром считается мутагенным и канцерогенным веществом. Вольфрам и кобальт, входящие в состав сплава ВК-8 сами по себе не являются

высокотоксичными веществами, однако кобальт может вызывать аллергические реакции и содержит канцерогенные свойства при длительном воздействии.

Основным фактором риска является пары кадмия, содержащиеся в припое ПСр40. Этот токсичный элемент представляет собой серьезную угрозу для здоровья человека при его испарении в процессе пайки. Пары кадмия могут вызывать острые отравления, а также хронические заболевания дыхательных путей, почек и другие серьезные патологии. Он вызывает рак и воздействует на сердечно-сосудистую, почечную, желудочно-кишечную, неврологическую, репродуктивную и дыхательную системы организма. Поэтому крайне важно обеспечить защиту персонала средствами индивидуальной защиты. Работники, занимающиеся пайкой, должны использовать респираторы, защитные очки и специализированные костюмы, способные предотвратить контакт с токсичными веществами.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 идентифицированы следующие опасные и вредные факторы:

а) физические:

- 1) повышенная температура поверхности оборудования (класс 3.1);
- 2) искры и брызги расплавленного металла (класс 3.6);

б) химические:

- 1) пары кадмия (чрезвычайно опасные, класс 1 по ГОСТ 12.1.005-88);
- 2) соединения никеля и хрома (канцерогены, класс 2);

в) психофизиологические:

- 1) напряжение зрения при работе с мелкими деталями (класс 2.2).

Профессиональные риски оценены по Приказу Минтруда № 926 (2021):

- риск острых отравлений кадмием — высокий (категория 4).
- риск хронических заболеваний — средний (категория 3).

С учетом вышесказанного на рабочем месте должна быть обеспечена система принудительной вентиляции и очистки воздуха, что поможет

минимизировать концентрацию вредных паров в помещениях. К тому же при механической обработке стали могут выделяться металлические пыль и стружка, что может нанести вред дыхательной системе.

Также важен регулярный мониторинг предельной концентрации вредных веществ в воздухе на рабочем месте, что требует применения специализированного оборудования и проведения периодических измерений. Необходимо организовать программу медицинского наблюдения за работниками, проводя регулярные осмотры и тесты для выявления возможных последствий воздействия кадмия. На предприятии следует разработать строгие инструкции и обучающие программы по обращению с опасными веществами.

При оценке травмобезопасности производственного оборудования необходимо удостовериться, что все устройства, используемые в процессе пайки, имеют защитные элементы, отвечающие современным стандартам безопасности. Регулярное техническое обслуживание оборудования позволит предотвратить его аварийные ситуации.

Таким образом, для снижения рисков рекомендуется:

а) технические меры:

- 1) принудительная вентиляция (местная вытяжка типа ПВУ-1200 по СП 60.13330;
- 2) теплоизолирующие экраны вокруг печи (ГОСТ 12.4.011-89);

б) организационные меры:

- 1) обучение персонала по программе ГОСТ 12.0.004-2015;
- 2) регулярные медосмотры (Приказ Минздрава № 29н);

в) средства индивидуальной защиты (СИЗ):

- 1) респираторы РПГ-67 с фильтрами А1В1Е1К1 (для паров кадмия);
- 2) термостойкие перчатки (по ГОСТ 12.4.246-2015).

Следует также обеспечить электробезопасность, учитывая использование электрических печей. Следует проводить регулярные проверки электросистем, защищать электрические кабели, а работники должны быть обучены

правильному обращению с электрическим оборудованием. Кроме того, необходимо уделить особое внимание обеспечению пожаробезопасности так как участок с применением высоких температур имеет высокий риск возникновения возгораний. Установка огнетушителей, системы сигнализации и проведение регулярных тренировок по эвакуации помогут предотвратить потенциальные угрозы.

Обеспечивая безопасность при чрезвычайных ситуациях, следует подготовить планы действий в случае аварийных ситуаций, включая обучение сотрудников действиям при утечке опасных веществ, возгорании или других нештатных ситуациях. Организация своевременного информирования и предоставление информации о возможных рисках — важные факторы в системе безопасности.

Идентифицированы следующие классы пожароопасности:

- D (горение металлов) — при испарении кадмия;
- E (электрооборудование) — из-за работы печи.

Меры, рекомендуемые для обеспечения пожарной безопасности:

- огнетушители ОП-5 (для металлов) и углекислотные ОУ-5 (для электроустановок);
- автоматическая сигнализация (по СП 5.13130.2009);
- план эвакуации и тренировки каждые 6 месяцев.

Вопросы экологической устойчивости процесса пайки требуют тщательного рассмотрения. Внедрение безотходных технологий и поиск альтернативных, менее токсичных припоев может быть одной из стратегий для повышения экологичности производственного процесса.

Экологическая экспертиза процессов, связанных с высокотемпературной пайкой, должна включать оценку антропогенного воздействия на окружающую среду. Учитывая, что отходы, содержащие кадмий, подлежат специальной утилизации, компании обязаны соблюдать все действующие экологические нормы и стандарты. Неправильное обращение с такими отходами может

привести к загрязнению окружающей среды и негативным последствиям для экосистемы.

Безопасность и экологичность процессов, связанных с высокотемпературной пайкой, являются необходимыми условиями для устойчивого производства, которое обеспечивает защиту здоровья сотрудников и сохранение окружающей среды. Применение комплексного подхода к проблемам безопасности и экологии позволит минимизировать риски и создать безопасные условия труда.

3.2 Экономическая эффективность от внедрения технологии

Для нормальной работы станка необходимо иметь в запасе не менее двух комплектов сменных лезвий к короснимателям: один в ремонте, один в резерве у станка. Комплект состоит из шести лезвий. Сменные лезвия к короснимателям должны меняться по мере износа, в среднем один раз в месяц. Изготовление по заказу сменного лезвия к короснимателю обходится предприятию в 250 евро. Таким образом годовые расходы на закупку сменных лезвий к короснимателям составят:

$$\begin{aligned} & (K_{\text{лез}} \cdot \text{Мес}_{\text{год}} + (K_{\text{лез рем}} + K_{\text{лез рез}})) \cdot 250 \text{ евро} = \\ & = (6 \cdot 12 + (6 + 6)) \cdot 250 = 21\,000 \text{ евро}, \end{aligned} \quad (17)$$

где: $K_{\text{лез}}$ — комплект сменных лезвий из 6 единиц;

$\text{Мес}_{\text{год}}$ — количество месяцев в году;

$K_{\text{лез рем}}$ - комплект сменных лезвий, находящихся в резерве в количестве 6 единиц;

$K_{\text{лез рез}}$ - комплект сменных лезвий, находящихся в ремонте в количестве 6 единиц.

Имея два комплекта — один в ремонте, другой в резерве — предприятие минимизирует риск простоя из-за износа лезвий, что в свою очередь положительно сказывается на производительности и общей эффективности работы станка.

Эффективность использования сменных лезвий короснимателей и качество продукции, получаемой с их помощью, в значительной степени зависят от комплекса характеристик поверхности рабочих слоев лезвий, среди которых важной является износостойкость.

Важно учитывать, что износ сменных лезвий напрямую влияет на производительность станка. При этом наблюдается значительное разнообразие механизмов, влияющих на процесс изнашивания. Это касается как качественной стороны явлений (например, постепенное истирание режущих кромок, появление микротрещин и сколов на лезвии), так и особенностей формирования продуктов износа. Износ сменных лезвий короснимателей возникает в результате комплексного воздействия механических, электроэрозионных, химических, электрохимических и других факторов.

Экономический эффект от внедрения дереворежущего инструмента может быть получен за счет повышения стойкости и производительности (режимов резания), вовлечения в производство отходов, которые ранее не использовались, экономии древесных материалов, снижения брака, сокращения эксплуатационных затрат и т.д.

Таким образом предприятие затрачивает 21000 евро на закупку сменных лезвий к короснимателю. При этом потребность производства составляет 84 штуки в год.

Экономическую оценку применению новой технологии дадим исходя из удельных интегральных затрат. Удельные интегральные затраты на инструмент — это сумма всех затрат на инструмент (приобретение, ремонт, оснащение сменными лезвиями и другими комплектующими, подготовку к работе, а также упущенная выгода инструмента прибыль), отнесенная к объему выполненной им работы. Удельные затраты показывают, каков вклад инструмента в стоимость единицы продукции, и являются наглядным комплексным критерием потребительского качества инструмента.

$$П_3 = \frac{3}{Q}; \quad (18)$$

где $П_3$ – суммарные затраты на инструмент, евро;

Q – объем выпуска, куб.м.

Объем выпуска распиленной сырой древесины на линии NewSaw в составе которой находится окорочный станок составляет 276 000 м³ в год.

Рассчитаем затраты на изготовление 18 сменных лезвий к короснимателям: именно такое количество необходимо для формирования садки печи.

Для изготовления 18 заготовок необходим один квадрат стальной горячекатанной сечением 105мм*105мм длиной 4м стоимостью 602 евро. Стоимость заготовок из ВК-8 составит 12 евро. Припой ПСр-40 считаем как расходный материал в количестве 0,5 кг по цене 450евро за килограмм, то есть 225 евро на 84 шт или 48 евро за 18 шт. Итого по материалам: 662 евро.

На ленточнопильном станке CORMAK BS 260G нарезка 18 заготовок в размер занимает 60 минут. Фрезерование корпуса и шлифование алмазной чашкой скребка с режущей кромкой на широкоуниверсальном консольно-фрезерном станке 6Р82Ш и обработка отверстий на вертикально-сверлильном универсальном одношпиндельном станке 2Н125 в количестве 18 шт каждой позиции занимает одну восьмичасовую смену. Потребляемая мощность берется по паспортам оборудования: суммарная мощность трех станков составит 15,6 кВт, печи – 8 кВт. Итого время на изготовление 18 изделий составит 9 часов, процесс пайки занимает 1 час 17 минут. Таким образом мощность, потребляемая в процессе изготовления партии сменных лезвий к короснимателям в количестве 18 шт, составит 135,2 кВт. Тариф за 1 кВт мощности 31,43565 Ву/кВт = 8,6552 Ец/кВт. Следовательно затраты в денежном выражении составят 1170 евро.

Стоимость оснастки из Приложения Е составит 156 евро. Оснастка применяется для изготовления всего годового объема 84 шт с учетом переточки инструмента. В таблице 11 просуммированы затраты на приобретение технологии и изготовление сменных лезвий короснимателей для закрытия

годовой потребности производства в размере 84 шт. С учетом объема садки в 18шт округляется до 90шт.

Таблица 11 - Суммарные затраты на инструмент

Наименование затрат	Сумма, евро
Электропечь сопротивления камерная вакуумная DM-200BF	11 900
Материалы	3 310
Оснастка	156
Электроэнергия	5 850
Испытания	529
Итого:	21 745

Таким образом:

– удельные затраты при закупке сменных лезвий:

$$П_3 = \frac{22500}{276000} = 0,082 \text{ евро/м}^3$$

– удельные затраты при изготовлении сменных лезвий силами предприятия:

$$П_3 = \frac{21745}{276000} = 0,079 \text{ евро/м}^3$$

Отказ от производства сменных лезвий приводит к упущенной выгоде - разнице между потенциальными доходами и текущими затратами. Упущенная выгода при отказе от производства сменных лезвий составит:

$$\text{за 1-ый год: } P = 22500 - 21745 = 755 \text{ евро/год}$$

В последующие годы упущенная выгода возрастает на стоимость печи, что скажется на размере упущенной выгоды и удельных затратах на инструмент:

$$P = 22500 - (21745 - 11900) = 12655 \text{ евро/год}$$

$$П_3 = \frac{21745 - 11900}{276000} = 0,035 \text{ евро/м}^3$$

Учитывая эти цифры, можно заключить, что освоение технологии изготовления сменных лезвий к короснимателям окупит себя на третий год эксплуатации, что подчеркивает экономическую целесообразность внедрения.

3.3 Рекомендации по внедрению технологии

Для работы с вакуумной печью и понимания процессов, происходящих при высокотемпературной пайке, персоналу, который будет непосредственно работать с данным оборудованием, необходимо пройти специальное обучение. Также необходимо довести до персонала четкие инструкции по работе с данным оборудованием, а на основании обратной связи своевременно выявлять и предупреждать возникающие недочеты в техпроцессе.

В заточном цеху предприятия имеется станок Vollmer CHS 840 для заточки дисковых пил, которые предприятие закупает. Дисковые пилы имеют зубья с твердосплавными напайками. В составе технологической линии имеется оборудование с режущим инструментом составными частями которого является съемные ножи разнообразной формы, которые требуют твердости 60-70 HRC. Для этого как нельзя лучше подходит вакуумная печь. Также заточной цех оснащен оборудованием для заточки съемных ножей режущих инструментов: станок для заточки ножей IRONMAC 1000 AM, станок для заточки ножей NewSaw RM12CW. В этой связи рекомендуется докупить оборудование, а именно – станок для напайки твердосплавных пластин к зубьям дисковых пил, и проработать концепцию роботизированного технологического комплекса, обслуживающего данное оборудование, на базе манипулятора YASKAWA MOTOMAN GP12 с полезной нагрузкой 12кг с контроллером YRC 1000.

Таким образом, данный РТК будет производить следующие операции:

- обслуживание станка для заточки дисковых пил
- обслуживание станков для заточки съемных ножей режущих инструментов
- обслуживание станка для напайки твердосплавных пластин к зубьям дисковых пил
- формирование садки для вакуумной печи сменных лезвий к короснимателям и съемных ножей к иному дереворежущему инструменту.

Заключение

В ходе работы была проанализирована технология высокотемпературной пайки, а также ее взаимосвязь с качеством соединений в производственном процессе. Комбинирование материалов, таких как сталь 40ХН, сплав ВК-8 и припой ПСр-40, легло в основу технологического процесса и позволило оптимизировать производственные затраты. Использование технологий, связанных с высокотемпературной пайкой, становится особенно актуальным в контексте повышения конкурентоспособности предприятия и снижения зависимости от дефицитных материалов.

По итогам работы следует отметить, что управление изменениями в процессе пайки является ключевым фактором, напрямую влияющим на стабильность и качество соединений. Эффективное функционирование производственного процесса требует внедрения комплексных решений по обеспечению безопасных условий труда, что было подробно изучено в разделе, посвященном экологии. Сталь 40ХН, сплав ВК-8 и припой ПСр-40 имеют свои специфические риски, включая выделение токсичных паров и механические воздействия, что подчеркивает необходимость строгого соблюдения мероприятий по охране труда и экологии.

В ходе работы выяснилось, что использование кадмийсодержащих припоев (таких как ПСр40) не только создает значительные риски для здоровья персонала из-за токсичности паров кадмия, но и негативно влияет на технологический процесс вакуумной пайки. Легкоиспаряемые компоненты припоя — кадмий и цинк — при нагреве активно испаряются, что приводит к двум ключевым проблемам: во-первых, из-за потери легкоплавких элементов температура плавления оставшегося припоя повышается, и при сравнительно медленном печном нагреве он может не достичь требуемой жидкотекучести, нарушая качество паяного соединения; во-вторых, испарившиеся металлы конденсируются на внутренних поверхностях вакуумной печи, загрязняя

нагревательные элементы и термопары, что со временем снижает эффективность оборудования и может привести к его поломке.

Учитывая эти факторы, целесообразен переход на бескадмиевые аналоги, например, припой ПСр62, ПСр71 на основе серебра и меди. Такие составы не только исключают токсичное воздействие на персонал и окружающую среду, но и обеспечивают стабильность технологических параметров пайки. Их использование позволяет сохранить температуру плавления в заданном диапазоне, предотвращает загрязнение печи и повышает надежность процесса, что в долгосрочной перспективе снижает эксплуатационные затраты.

Настоящая работа дала импульс для дальнейшего развития механо-сборочного и токарно-фрезерного цеха на базе ООО «Кимабел», предоставляя возможность улучшить качество и разнообразие производимой продукции. Внедрение новых технологий, особенно в области термической обработки металлов, будет способствовать расширению номенклатуры запасных частей для оборудования, что является важной стратегической целью предприятия.

Список используемых источников

1. Вегера, И. И. Исследование процессов индукционной пайки деталей с использованием композиционных припоев / И. И. Вегера, А. М. Кузей, П. Ю. Цыкунов // Актуальные проблемы прочности : монография. В 2-х т. Т. 2. / Бабич В. Е. [и др.]; под ред. В. В. Рубаника. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 512 с.
2. Воскресенская К.И. Обработка деталей из вольфрамокобальтового сплава методом механической обработки на станке с ЧПУ. Журнал «Экспозиция. Нефть-газ». №1(68) март 2019г.
3. ГОСТ 14.201-83. Обеспечение технологичности конструкции изделия. Общие требования. Издание: (февраль 2008 г.) с Изменением № 1, утвержденным в июле 1988 г. (ИУС 11—88).
4. ГОСТ 19738-2015 «Припой серебряные».
5. ГОСТ 2591—2006. Прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный. Сортамент. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, 2009г.
6. ГОСТ 3882-74 «Сплавы твердые спеченные».
7. ГОСТ 4543-2016 «Металлопродукция из конструкционной легированной стали».
8. ГОСТ 9106—73. Вставки из твердых металлокерамических сплавов для разделительных и гибочных штампов (заготовки). Переиздание (февраль 1985 г.) с Изменениями Л® 1, 2, утвержденными в июле 1979 г., июне 1984 г. (МУС 9—79, 10—84). Издательство стандартов, Москва 1985г.
9. Данилов И. И. Обработка резанием порошковых материалов. Научно-техническое издание «Наука и образование». №10 октябрь 2011 г.
10. Звонцов И. Ф. Разработка технологических процессов изготовления деталей общего и специального машиностроения : учебное пособие для вузов / И. Ф. Звонцов, К. М. Иванов, П. П. Серебrenицкий — 3-е изд., стер., Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 696 с. : ил. — Текст : непосредственный.

11. Зотов Г. А. Дереворежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2022г. – 384 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
12. Индукционная установка для напайки алмазных сегментов к отрезным кругам. А. Белкин, И. Исхаков, И. Таназлы, А. Чепайкин, А. Шуляк. Журнал «Силовая электроника» №1, 2004 г.
13. Инструкция по обслуживанию ножей компании Valone Kone / Tool Service Airseal RE 2019 RU. Поставляется в комплекте с оборудованием - 21с.
14. Исследование высокотемпературного окисления и обезуглероживания легированных сталей марок 40ХН, 34Х1М 5ХНМ при нагреве под обработку давлением. О. Л. Базайкина, М.В. Темлянцев, С.А. Казимиров, Е.М. Запольская. Журнал «Вестник Сибирского государственного индустриального университета,» № 2(4), 2013г.
15. Исследование изменения структуры, показателей твердости и трещиностойкости плазменно-упрочненной стали 65Г. Г.М. Токтарбаева , С.К. Алпысбаев , Б.К. Рахадиллов , З.А. Сатбаева , М.С. Жапарова. Журнал «Вестник ВКГТУ» № 1, 2020г.
16. Исследование производительности электроалмазной обработки жаропрочного сплава ЖС6 и твердого сплава ВК-8. Х. М. Рахимьянов, Б. А. Красильников, М. И. Никитенко, А. А. Богаев.
17. Исследование процессов формирования и кристаллизации расплавов припоев при индукционной пайке. Современные методы и технологии создания и обработки материалов. П.Ю. Цыкунов, А.М. Кузей, В.Я. Лебедев, А.И. Маталыго.: Сб. научных трудов. В 2 кн. Кн. 2. Электротехнологии / редкол.: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2021. — 190 с. : ил.
18. Исунц Г.А. Пайка короткого волновода и фланца узла высокочастотных волн в условиях высокого вакуума. Журнал «Вестник НПУА.Механика, машиноведение, машиностроение». №2, 2021г.

19. Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения 1 85 151.] 85 151. М.: Издательство стандартов, 1987г.
20. Коллинз Агу, Узунян М.Д., Руднев А.В. Шлифование твёрдых сплавов с применением технологии минимальной смазки: монография / Агу Коллинз Агу, М.Д. Узунян, А.В. Руднев – Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – 188 с. – Рос. мовою.
21. Курлов А. С., Гусев А. И. Фазовые равновесия в системе W-C и карбиды вольфрама. Журнал «Успехи химии» №75(7) 2006г.
22. Ланин В.Л., Хацкевич А.Д. Микроконтроллерное управление термопрофилями индукционной пайки. Материалы меж-дународной научно-технической конференции «Intermatic 2018», 19-28 ноября, Москва/МИРЭА – Росс. Технол. Ун-т; под редакцией академика РАН А.С. Сигова.
23. Марочник сталей и сплавов. 2-ое изд., доп. и испр./ АС. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. 784с.: илл.
24. Метод организации дистанционного мониторинга и диагностики оборудования установки индукционной пайки. Р. С. Дремин, В.С. Тынченко, Ю. С. Бец., Д. В. Рогова, Я. А. Тынченко. Журнал «Научно-технический вестник Поволжья». №12, 2020г.
25. Милов А. В., Тыченко В. С., Мурыгин. А. В. Интеллектуальное управление технологическим процессом индукционной пайки. Журнал «Перспективы науки», № 12(111), 2018 г.
26. Милов А. В., Тыченко В. С., Мурыгин. А. В. Программное обеспечение идентификации и коррекции ненормативных погрешностей средств измерений в процессе индукционной пайки. Журнал «Программные продукты и системы», № 3(33), 2020 г.
27. Мисников В. Е. Исследование и разработка процесса высокотемпературной пайки тангенциальных резцов горных машин припоями на основе порошковых сплавов Cu-Mn-Ni. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2022г.

28. Неровный В.М., Коновалов А.В. Структура и свойства паяных соединений высоколегированных никелевых сплавов, полученных с помощью дугового нагрева в вакууме. Журнал «Известия высших учебных заведений». №2(755), 2023г.

29. Неровный В.М., Орлов В.Ю. Тепловые процессы при восстановлении отверстия под штифт сопловых лопаток турбины дуговой пайкой в вакууме. Материалы Всероссийской научно-технической конференция студентов «Студенческая научная весна 2015: Машиностроительные технологии».

30. Официальный сайт металлоторговой компании Avec Global: [Электронный ресурс]. URL: <https://avglob.org/reference/plotnost-i-udelnaya-teploemkost-volframa.html> (Дата обращения: 29.11. 2024).

31. Официальный сайт немецкой компании, поставщика карбида вольфрама и твердосплавных инструментов HARTMETALL-GESELLSCHAFT: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hmtg.de/en/unsere-hartmetall-sorten/> (Дата обращения: 11.11.2024).

32. Официальный сайт шведской сталелитейной компании SSAB: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ssab.com>. (Дата обращения: 08.11.2024).

33. Пайка высокотемпературным припоем трубопроводов из стали 12Х18Н10Т в защитной атмосфере с применением локального индукционного нагрева. Чулков , М.А. Иванов , Е.А. Белова , А.Н. Афанасьев-Ходыкин, В.С. Рыльников. Журнал «Новости материаловедения. Наука и техника» №5, 2014 г.

34. Технология алмазного шлифования твердосплавных изделий. А. Ю. Попов, Д. С. Реченко, Е. В. Васильев, В. А. Сергеев, А. Г. Кольцов. Журнал «Вестник УГАТУ». Том 16 № 4 (49), 2012г.

35. ТУ 14-1-1693-76 «Ножи корообдирочные».

36. Шабалин В.Н., Кононов А.А. Контактнo-реактивная пайка-закалка инструмента из литейной высокованадиевой быстрорежущей стали. Журнал «Ползуновский вестник» №2/2, 2005 г.

37. Шишков М. М. Марочник сталей и сплавов: Справочник. Изд. 3-е, дополненное. – Донецк, 2000. 456с.
38. Шмыков А. А. Справочник термиста. Изд. 2-е испр. и дополненное. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. М.: 1952г.
39. Шулаев В. М., Листопад Д. А., Карпенко А. В.. Современные вакуумные электропечи «ОТТОМ» и перспективы их использования для высокотемпературной пайки изделий из высоколегированных сталей. Журнал новые материалы и технологии в металлургии. №2, 2013г.
40. Эмилова О. А., Тынченко В. С. Индукционная пайка, процесс и его особенности. В сборнике: Решетневские чтения, 2016. Т. 2, с. 555.

Приложение А

Организационная структура ООО «Кимабел»

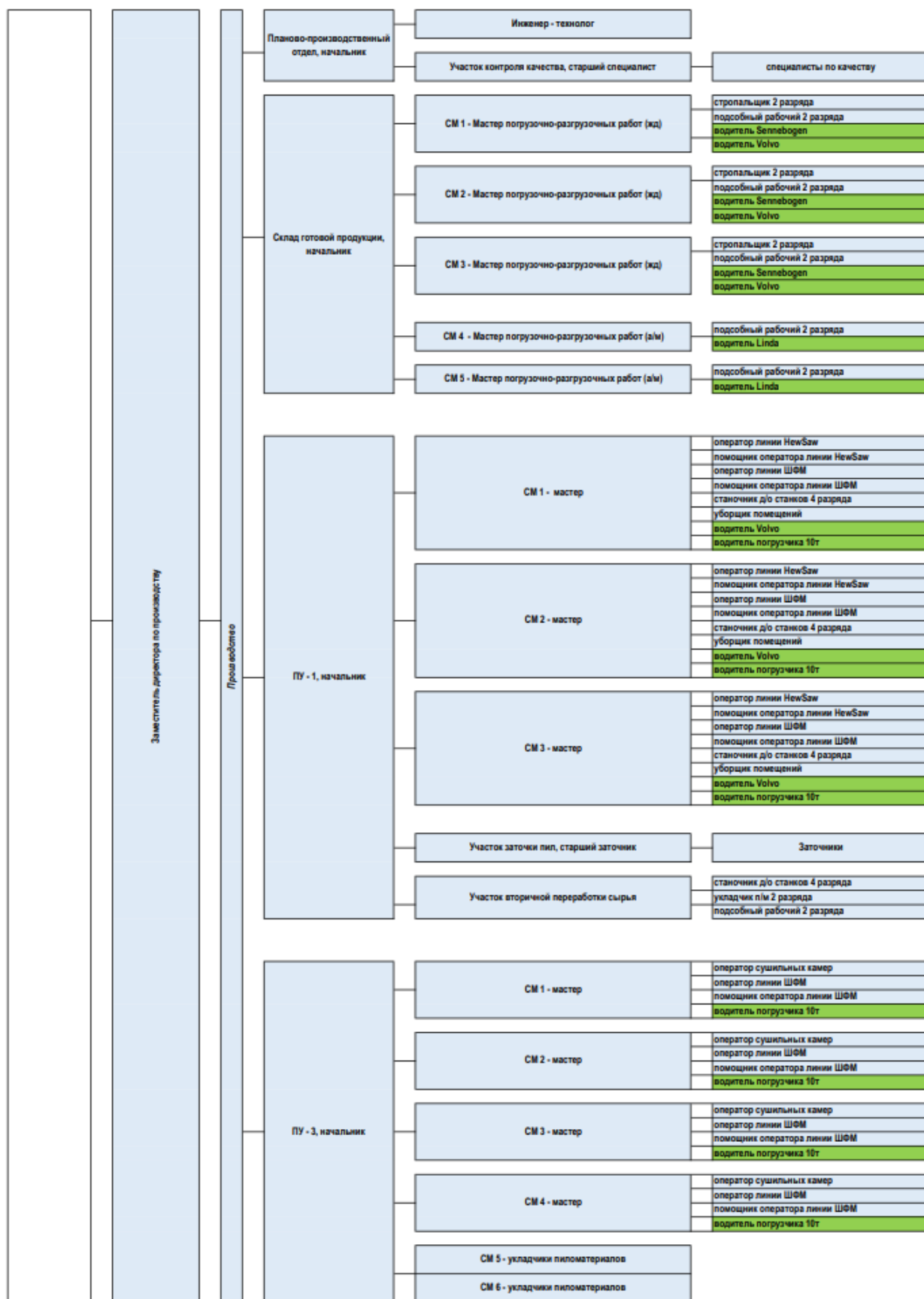


Рисунок А.1 - Организационная структура ООО «КимаБел» часть 1

Продолжение Приложения А

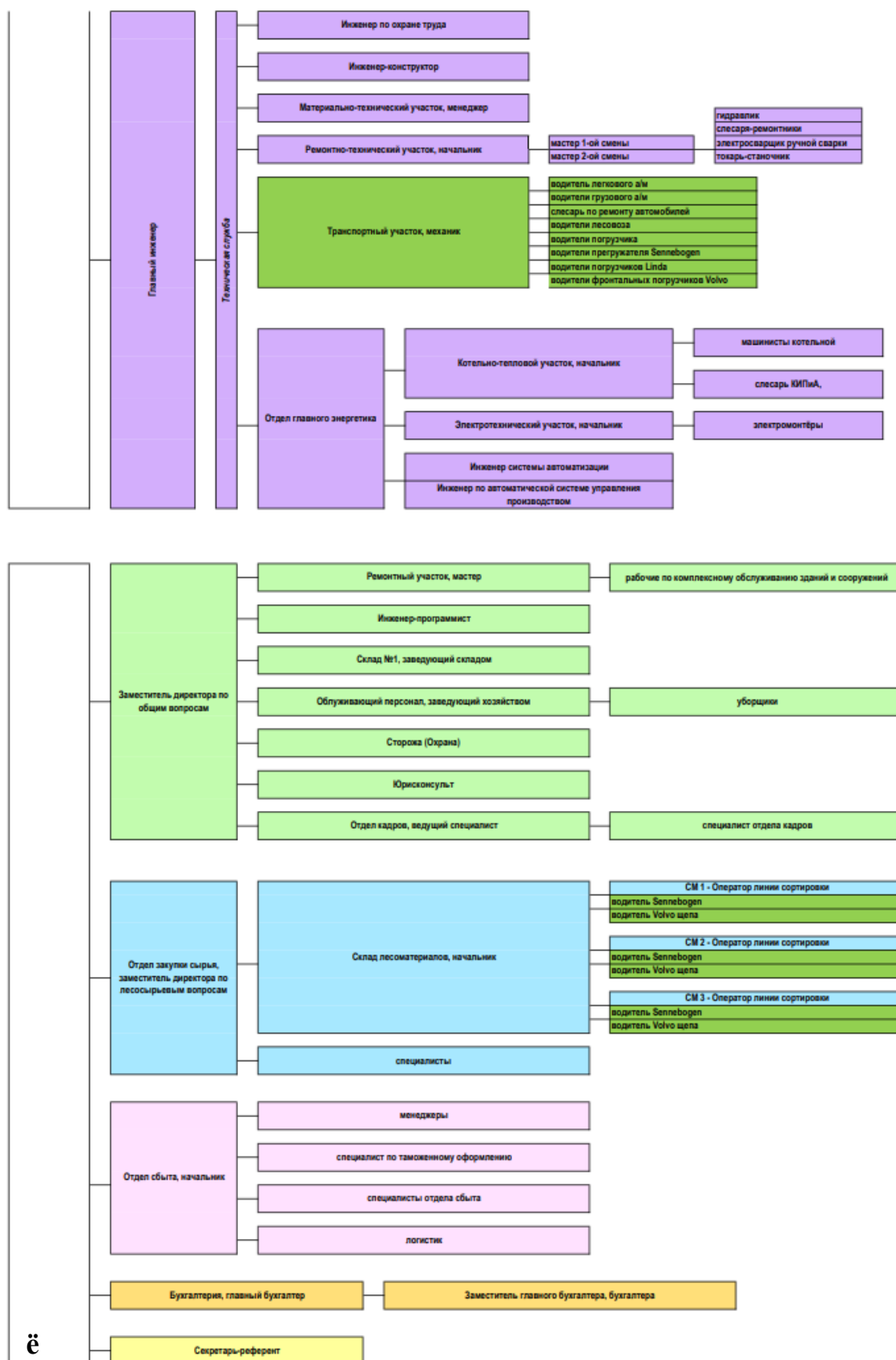
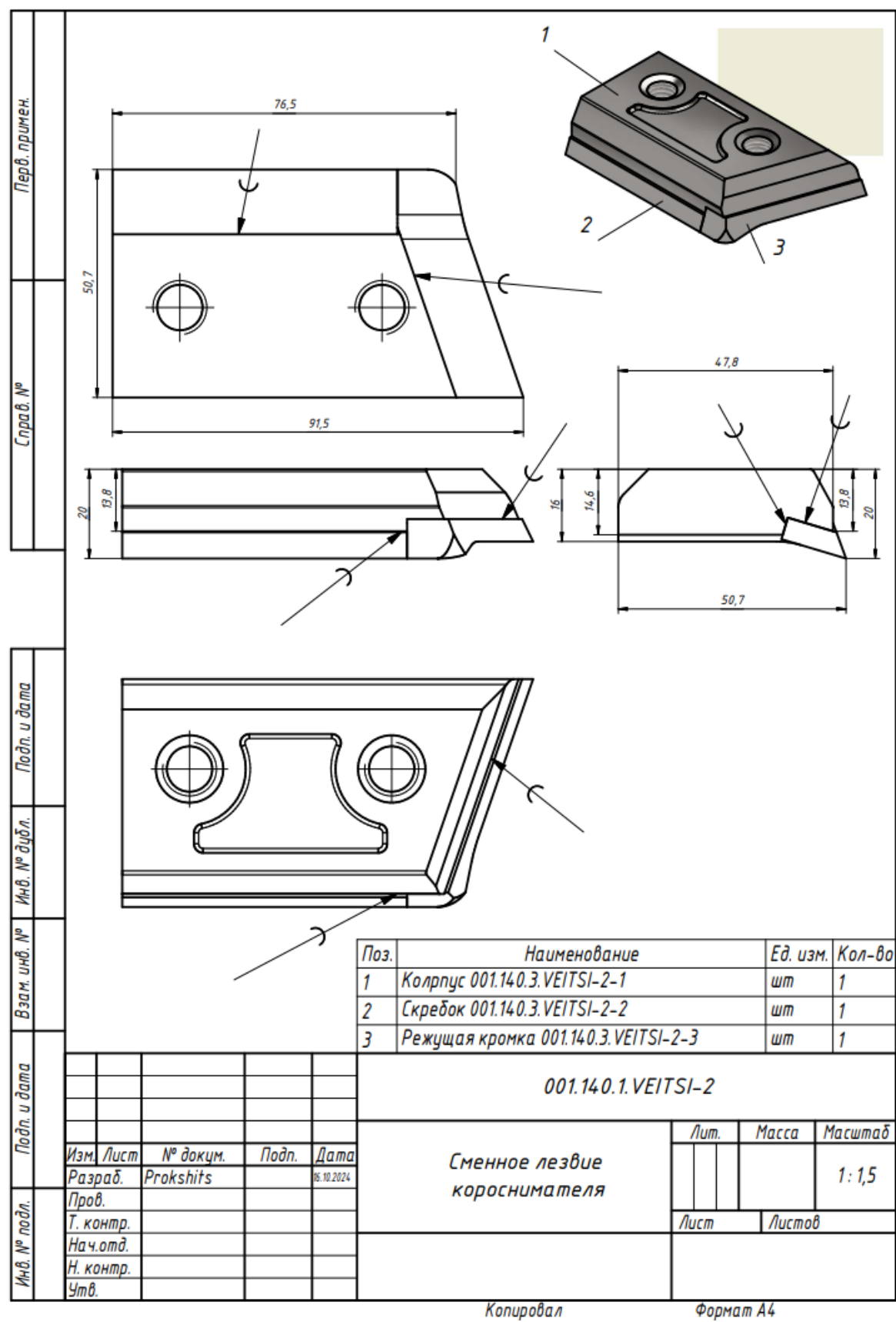


Рисунок А.2 - Организационная структура ООО «КимаБел» часть 2

Приложение Б

Конструкторская документация на сменное лезвие к короснимателю



Копировал

Формат А4

Рисунок Б.1 - Сборочный чертеж сменного лезвия короснимателя

Продолжение Приложения Б

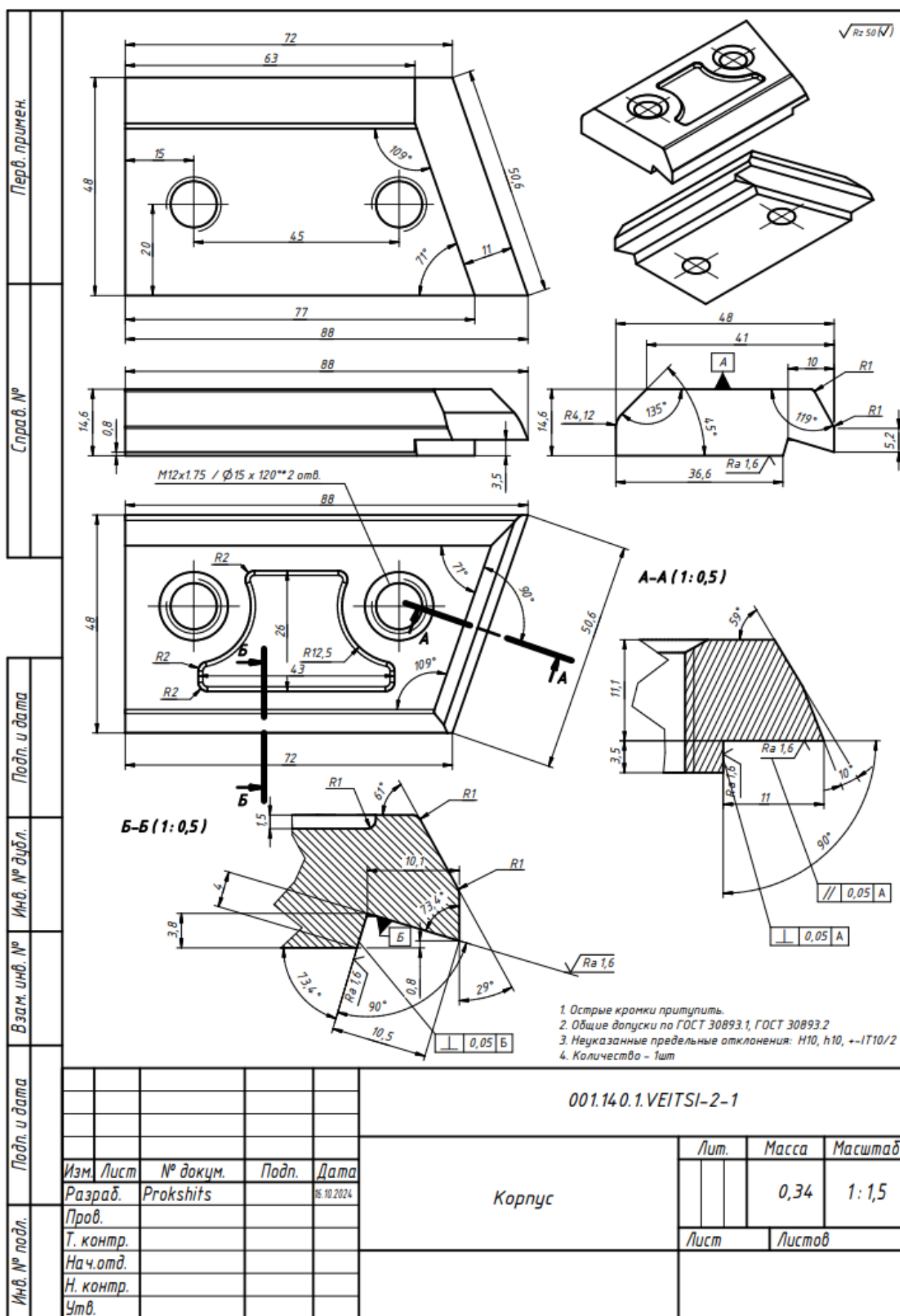


Рисунок Б.2 - Чертеж корпуса сменного лезвия короснимателя

Продолжение Приложения Б

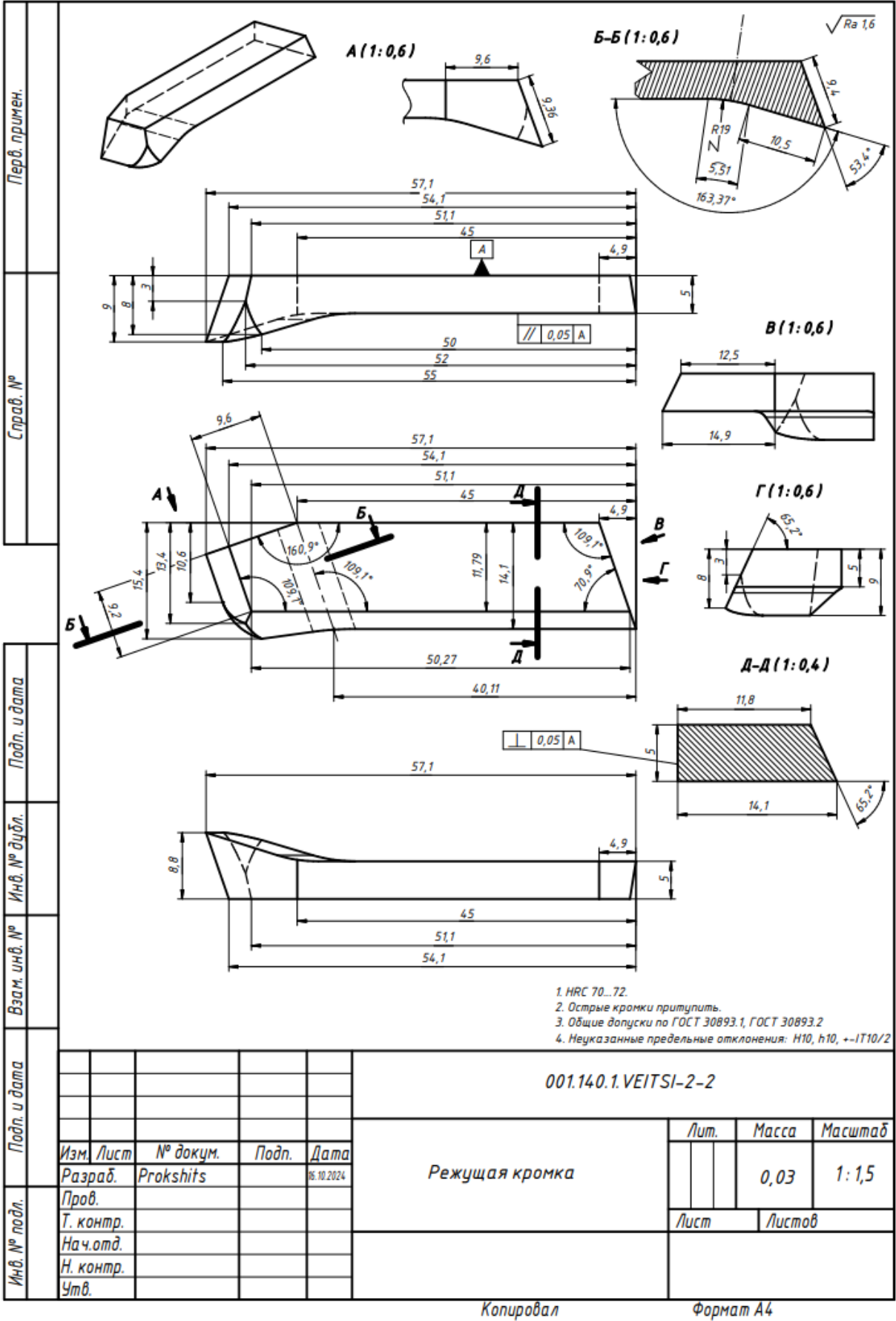


Рисунок Б.3 - Чертеж режущей кромки сменного лезвия короснимателя

Продолжение Приложения Б

[illegible]

Рисунок Б.4 - Сборочный чертеж сменного лезвия короснимателя

Приложение В

Спецификации сплавов Hardox 400 и K30.

HARDOX®
WEAR PLATE

Data sheet 15Tru Hardox® 400 2023-08-15

Hardox® 400

Общее описание продукции

Сталь широкого применения, стойкая к износу и абразивному истиранию.

Стойкая к абразивному истиранию сталь Hardox® 400 с номинальной твердостью в 400 единиц по Бринеллю. Износостойкая сталь Hardox® 400 широколистного проката из стали Hardox® 400 достигает 3350 мм, а длина — 14 630 мм. Рулонный прокат из стали Hardox® 400 поставляется шириной до 1650 мм и длиной до 16 000 мм. Чтобы ознакомиться с типоразмерами подробнее, см. сортамент.

Типоразмерный ряд

Сталь Hardox® 400 поставляется в виде широколистного проката толщиной 4,0 – 130,0 мм и в листах толщиной 2,0 – 8,0 мм. Ширина широколистного проката из стали Hardox® 400 достигает 3350 мм, а длина — 14 630 мм. Рулонный прокат из стали Hardox® 400 поставляется шириной до 1650 мм и длиной до 16 000 мм. Чтобы ознакомиться с типоразмерами подробнее, см. сортамент.

Механические свойства

продукт	Толщина (мм)	Твердость ¹⁾ (HВW)	Типичное значение предела текучести (МПа, без гарантии)
Hardox® 400 Рулонный прокат	2,0 - 8,0	370 - 430 ²⁾	1100
Hardox® 400 Широколистовой прокат	4,0 - 130,0	370 - 430	1100

¹⁾ Твердость по Бринеллю (HВW) согласно стандарту EN ISO 6506-1 на поверхности, фрезерованной на 0,5 – 3 мм в глубину. Как минимум, один пробный образец из каждой плавки и на каждые 40 тонн. Отклонения номинальной толщины листового проката при поставке от толщины контрольного образца, с которым проводятся испытания на твердость, не превышают +/- 15 мм. Для листа твердость по Бринеллю проводится в соответствии с EN ISO 6506-1 на каждой отдельной термообработке на рулон. Твердость измеряется на фрезерованном поверхности на 0,3 - 2 мм ниже поверхности.

²⁾ Твердость изделий из стали Hardox® толщиной менее 2,5 мм не измеряется и не гарантируется. Значения в таблице твердости для толщины менее 2,5 мм получены расчетным путем из предела прочности. Дополнительную информацию см. в техническом описании 2067 – Таблица твердости тонколистовой износостойкой стали Hardox®. Отличия номинальной толщины поставляемого листа от толщины контрольного образца для испытаний на твердость, не превышают +/- 15 мм.

Сталь Hardox® закаливается по всей толщине. Твердость в центре составляет не менее 90% гарантированного показателя поверхностной твердости.

Ударная вязкость

продукт	Типичная работа удара продольного образца 10 x 10 мм с V-образным надрезом. ¹⁾
Hardox® 400 Широколистовой и рулонный прокат	45 J / -40 °C

¹⁾ Ударная вязкость измеряется по согласованию. При толщине в пределах 3 - 11,9 мм применяются уменьшенные образцы Шарпи с V-образным надрезом. Испытания на удар по стандарту ISO EN 148 проводятся для каждой плавки и группы толщин. Среднее по трем испытаниям.

Химический состав (ковшевая проба)

C ¹⁾ (max %)	Si ¹⁾ (max %)	Mn ¹⁾ (max %)	P (max %)	S (max %)	Cr ¹⁾ (max %)	Ni ¹⁾ (max %)	Mo ¹⁾ (max %)	B ¹⁾ (max %)
0.32	0.70	1.60	0.025	0.010	2.50	1.50	0.60	0.004

Сталь является мелкозернистой. ¹⁾ Специальные легирующие добавки.

Углеродный эквивалент CET(CEV)

тип продукт	Рулонный прокат	Толстый лист	Толстый лист	Толстый лист	Толстый лист	Толстый лист	Толстый лист	Толстый лист
Толщина (мм)	2,0 - 8,0	4,0 - 7,9	8,0 - 20,0	20,1 - 32,0	32,1 - 45,0	45,1 - 51,0	51,1 - 80,0	80,1 - 130,0
Макс CET(CEV)	0.30 (0.43)	0.26 (0.41)	0.31 (0.47)	0.32 (0.52)	0.33 (0.67)	0.33 (0.67)	0.43 (0.82)	0.43 (0.92)
Тип. CET(CEV)	0.28 (0.41)	0.24 (0.39)	0.28 (0.44)	0.29 (0.48)	0.31 (0.62)	0.31 (0.62)	0.37 (0.77)	0.41 (0.89)

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

SSAB

Рисунок В.1 - Химический состав и механические свойства Hardox 400

Продолжение Приложения В

Data sheet 151ru Hardox® 400 2023-08-15

Допуски

Подробные сведения см. в брошюрах компании SSAB на англ языке «Hardox® Guarantees», а также на сайте www.ssab.com.

Толщина

Допуски соответствуют гарантированным параметрам стали Hardox® по толщине. Гарантированные параметры стали Hardox® отвечают требованиям стандарта EN 10029 по классу А при более строгих допусках. Гарантированные параметры рулонного проката отвечают половинным требованиям стандарта EN 10051.

Длина и ширина

Согласно сортаменту компании SSAB. Допуски на широколистовой прокат соответствуют нормативам компании SSAB на листовой прокат с необрезными кромками, которые, в свою очередь, отвечают требованиям стандарта EN 10029. Допуски на рулонный прокат соответствуют требованиям стандарта EN 10051. На заказ возможна поставка изделий с более жесткими допусками.

Форма

Допуски широколиствого проката соответствуют требованиям стандарта EN 10029, а рулонного проката — стандарта EN 10051

Плоскостность

Допуски по плоскостности широколиствого проката соответствуют гарантированным параметрам стали Hardox® по классу С, которые превосходят требования стандарта EN 10029. Допуски по плоскостности рулонного проката соответствуют гарантированным параметрам стали Hardox® по классу А, которые строже допусков по стандарту EN 10051.

Качество поверхности

В соответствии с требованиями стандарта EN 10163-2 по классу А, подкласс 1.

Условия поставки

Состояние поставки: Q (закаленная сталь) или QT (закаленная и отпущенная сталь). Широколистовой прокат из стали Hardox® поставляется с кромками, обработанными механической или термической резкой. Листы толщиной свыше 80 мм стандартно поставляются с необрезанными кромками. Листы из стали Hardox® стандартно поставляются в состоянии после проката с необрезанными кромками.

Условия доставки изложены в брошюре компании SSAB на англ. языке «Hardox® Guarantees» и на сайте www.ssab.com

Рекомендации по обработке

Сварка, гибка и механическая обработка

Рекомендации см. в наших брошюрах на сайте www.hardox.com или свяжитесь с нашей службой поддержки клиентов. техническая поддержка.

Гибочные свойства широколиствого проката соответствуют гарантированным параметрам стали Hardox® при гибке по классу E. Гибочные свойства рулонного проката соответствуют гарантированным параметрам стали Hardox® при гибке по классу A.

Износостойкая плита Hardox® не предназначена для дополнительной термообработки. Нужные механические свойства придаются путем закалки, при необходимости с последующим отпуском. После воздействия температуры, превышающей 250°C (482°F), свойства стали, гарантированные при поставке не сохраняются.

Сварка, резка, шлифовка и обработка стали иными способами требуют принятия специальных мер по обеспечению охраны здоровья и безопасности. При шлифовке, особенно грунтованных листов, может образоваться пыль с высоким содержанием твердых частиц.

Контактные данные

www.ssab.com/contact

В случае разночтений преимущественную силу имеет текст на английском языке. Возможны незначительные изменения и обновления, актуальная версия документа приведена на веб-сайте www.ssab.com.
SSAB, Strenx, Hardox, Docol, GreenCoat, Toolox, Armat, Ramor, SSAB Domex, SSAB Laser, Raex, Duroxite являются товарными знаками компании SSAB.

SSAB

Рисунок В.2 - Условия и состояние поставки Hardox 400

Продолжение Приложения В



Hartmetall-Gesellschaft | Julius-Hölder-Str. 33 | 70597 Stuttgart

Produktspezifikation / Product Specification

Werkzeugnis nach / Record of Material Testing according to EN 10 204 / DIN 50 049 -2.2

Sorte / Grade	K30	
	Werte / Value	Bereich / Range
ISO 7627		
Chemische Zusammensetzung Chemical Composition		
WC*	91,00 %	± 0,5
Co	9,00 %	± 0,5
ISO 3369		
Dichte / Density	14,60 g/cm ³	± 0,1
ISO 3738		
Härte / Hardness	91,0 HRA	± 0,2
ISO 3326		
Koerzitivfeldstärke / Coercitivity	15 kA/m	± 3
-		
Magn. Sättigung / Magn. Saturation	150 Gcm ³ /g	± 10
ISO 3327		
T.R.S.	2900 N/mm ²	± 300
-		
Schlagfestigkeit / Impact Strength	0,45 Kgf-m/cm ²	± 0,05
-		
Therm. Ausdehnung / Therm. Expansion 20-400°	5,2 10 ⁻⁶ /K	± 0,3
ISO 4499		
Granulometrie / Granulometry	2,0 µm	± 0,2
ISO 4505		
Porosität / Porosity	A02	(A00-A02) (B00-B02) (C00-C02)

Frei von Eta-Phase und freiem Kohlenstoff / Keine Eta-Phase and no free Carbon

* einschließlich Fremdcarbide / Including other Carbides <1%

Ausgabe / Version : 2024

Hartmetall-Gesellschaft Bingmann GmbH & Co. KG
Julius-Hölder-Str. 33 | 70597 Stuttgart | info@hmtg.de
Telefon +49 (0)711 13252-0 | Fax -52 | www.hmtg.de

Sitz: Stuttgart, Amtsgericht Stuttgart HRA 10151
Kmpl.: Bingmann Verw.-GmbH HRB 6075
Geschäftsführer: Dr. Tiffany Bingmann, Niels Bingmann

BW-Bank | IBAN DE086005 0101 0001 3128 07
BIC SOLADEST600 | EORI DE4017390
USt-IdNr: DE 147 504 046 | StNr: 93143/05180

Рисунок В.3 - Химический состав и механические свойства K30

Приложение Г

Протокол исследований

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(БГТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
канд. техн. наук, доц.

В. Л. Флейшер

2024 г.

Центр физико-химических
методов исследования

ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЙ

по договору № ХД 24-434 от 14.11.2024 г.

Объект исследования: В соответствии с обращением ООО «Кимабел» в Центре физико-химических методов исследования Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» были проведены исследования химического состава элементов в составе образца ножа для деревообрабатывающего станка.

Цель исследования: определение химического состава металлической основы ножа, резцов и припоя.

Для исследования представленных образцов использовали следующие методы и оборудование:

1) Исследования структуры и элементного состава образца производили методом сканирующей электронной микроскопии с электронно-зондовым химическим анализом (сканирующий электронный микроскоп JSM-5610LV с системой химического анализа JED-2201, JEOL, Япония).

Результаты исследований

1. Исследования структуры образца производили методом сканирующей электронной микроскопии. Структура поверхности металлической основы образца ножа приведена в приложении 1.1. Электронно-зондовый анализ основы образца показывает, что основным элементом в составе являются железо (97,66 масс.%), а в качестве легирующих элементов использованы Cr (1,22 масс.%) и Si (1,12 масс.%) (без учета углерода) (Приложение 2.1).

2. Исследования микроструктуры резцов 2 и 3 показывают, что они имеют сходную структуру, образованную остроугольными частицами с преимущественными размерами 0,5-3 мкм (Приложение 1.2, 1.3). Электронно-

Рисунок Г.1 - Отсканированная первая страница протокола проведенных исследований на химический состав применяемых материалов.

Продолжение Приложения Г

зондовый анализ основы образца показывает, что основными элементами в составе являются вольфрам (W - 92,41 масс.%) и кобальт (Co - 7,59 масс. %) в образце №2 и (W - 91,14 масс.%) и кобальт (Co - 8,86 масс. %) в образце №3 (Приложения 2.2 и 2.3). Сопоставление данных микроструктуры и химического состава позволяют сделать вывод, что резцы 2 и 3 изготовлены из карбида вольфрама на кобальтовой связке. Химический состав резцов наиболее близко соответствует сплаву типа ВК-8.

3. Структура поверхности припоя в месте соединения основы ножа с резцами приведена в приложении 1.3. Электронно-зондовый анализ припоя показывает, что основными элементами в его составе являются: Zn (33,88 масс.%), Ag (33,11 масс.%), Cu (23,95 масс.%), а в качестве примесей: Si (3,35 масс.%), Mn (2,33 масс.%), Ni (2,26 масс.%) и Fe (1,12 масс.%) (Приложение 2.4).

Выводы:

1. В результате проведенных исследований установлено, что в качестве металлической основы образца ножа использована инструментальная сталь, легированная хромом в количестве 1,22 масс. % и кремнием 1,12 масс. %;

2. Резцы 2 и 3 изготовлены из карбида вольфрама на кобальтовой связке. Химический состав резцов наиболее близко соответствует сплаву типа ВК-8. Резцы в объеме, представляет собой структуру, образованную остроугольными частицами с преимущественными размерами 0,5-3 мкм;

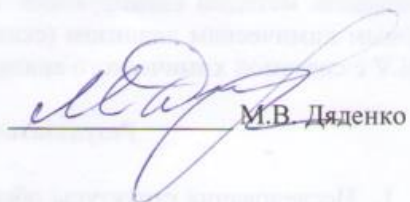
3. Электронно-зондовый анализ припоя показывает, что основными элементами в его составе являются: Zn (33,88 масс.%), Ag (33,11 масс.%), Cu (23,95 масс.%), что наиболее близко соответствует серебряно-цинково-медному припою с содержанием серебра 30 масс. %.

Приложения:

Приложение 1. Электронно-микроскопические изображения поверхности элементов ножа (4 листа);

Приложение 2. Данные рентгенофлуоресцентного электронно-зондового анализа поверхности элементов ножа (4 листа).

Начальник НИЧ
канд.техн.наук, доц.


М.В. Дяденко

Руководитель НИР
директор Центра ФХМИ,
канд.хим.наук, доц.


В.Г. Лугин

Заведующий сектором ОИС

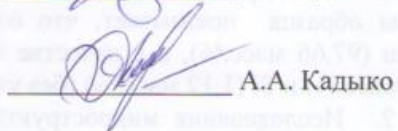
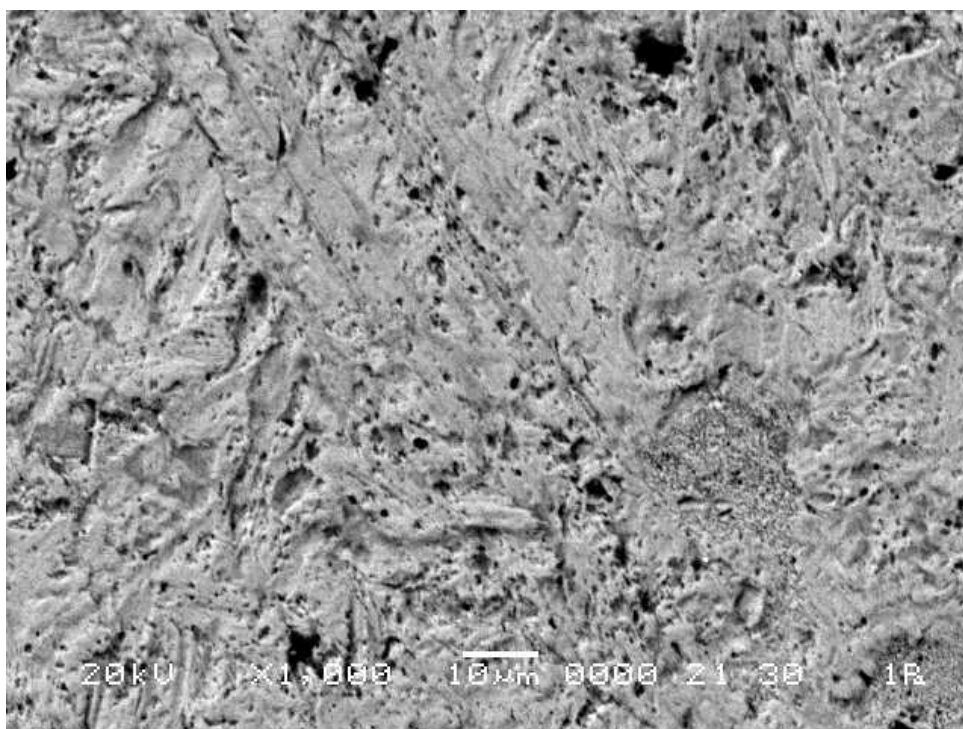

А.А. Кадыко

Рисунок Г.2 - Отсканированная вторая страница протокола проведенных исследований на химический состав применяемых материалов.

Продолжение Приложения Г



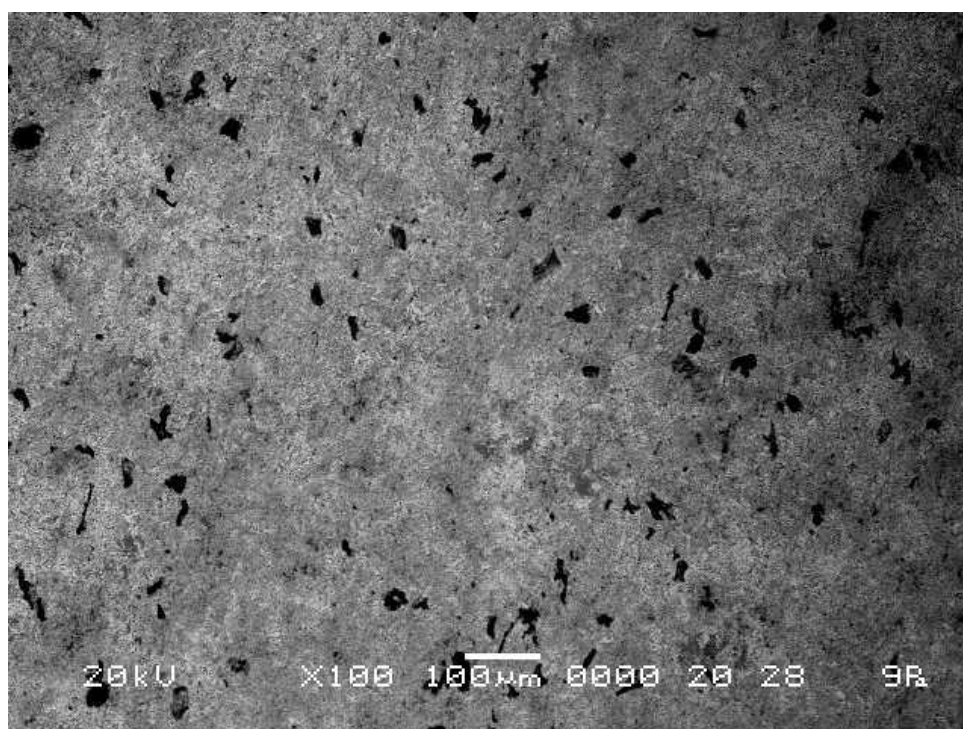
а) увеличение в 100 раз



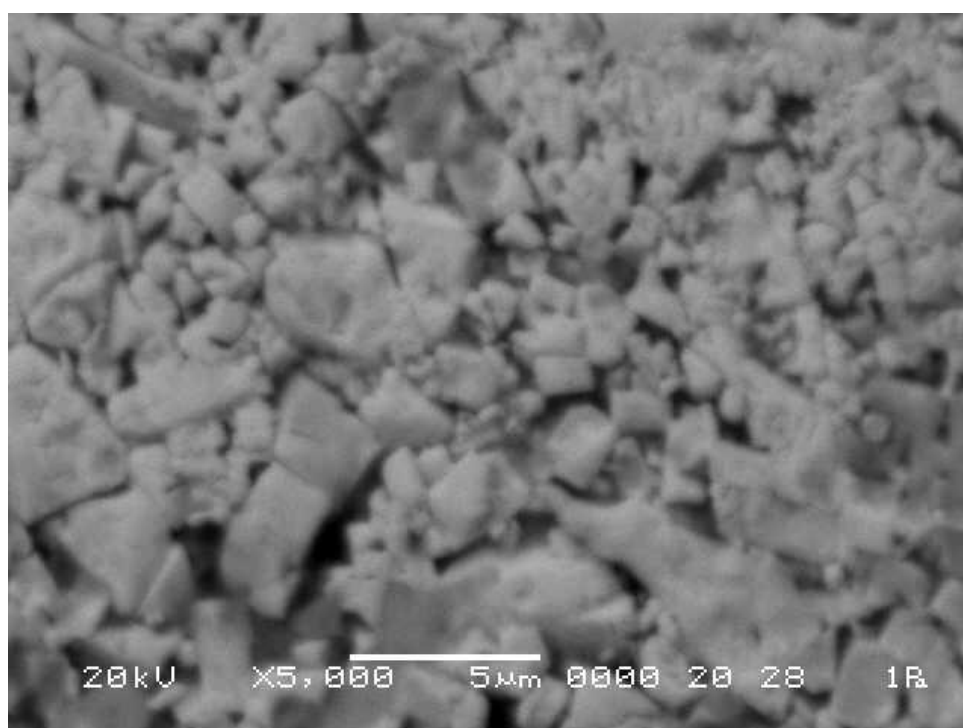
б) увеличение в 1000 раз

Рисунок Г.3 - Электронно-микроскопическое изображения поверхности корпуса образца ножа

Продолжение Приложения Г



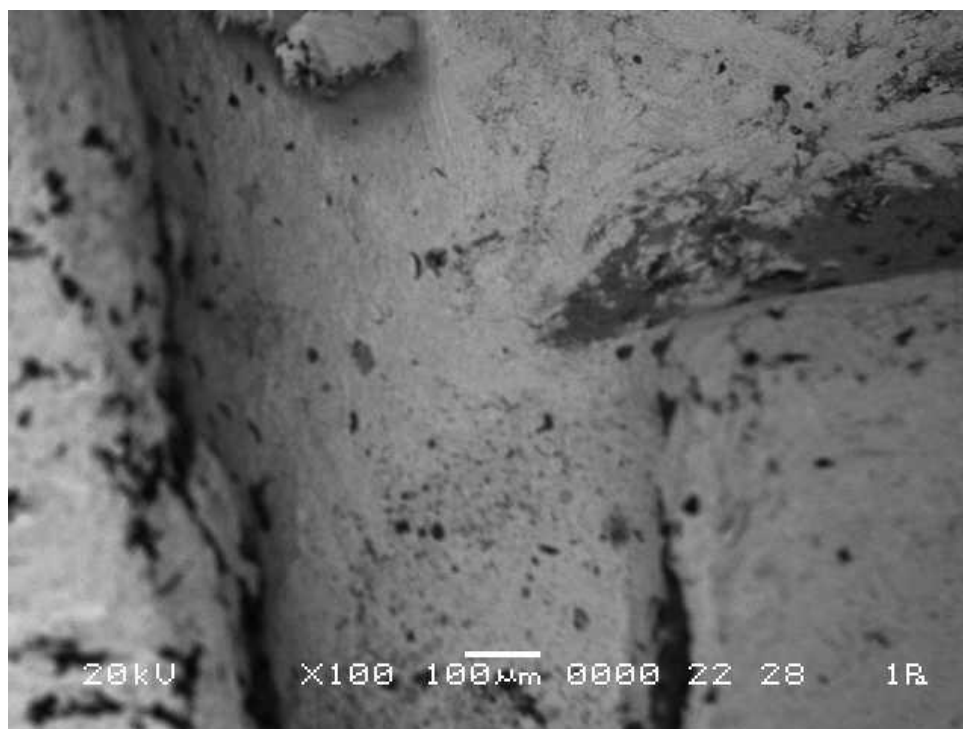
а) увеличение в 100 раз



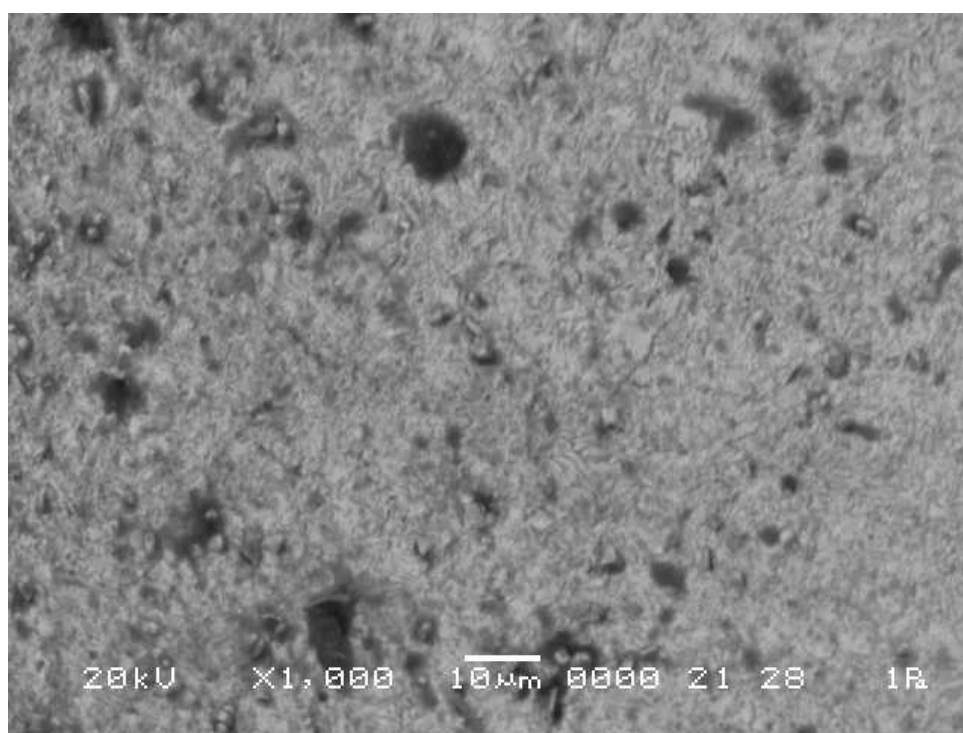
б) увеличение в 5000 раз

Рисунок Г.4 - Электронно-микроскопическое изображения поверхности скребка и режущей кромки образца ножа

Продолжение Приложения Г



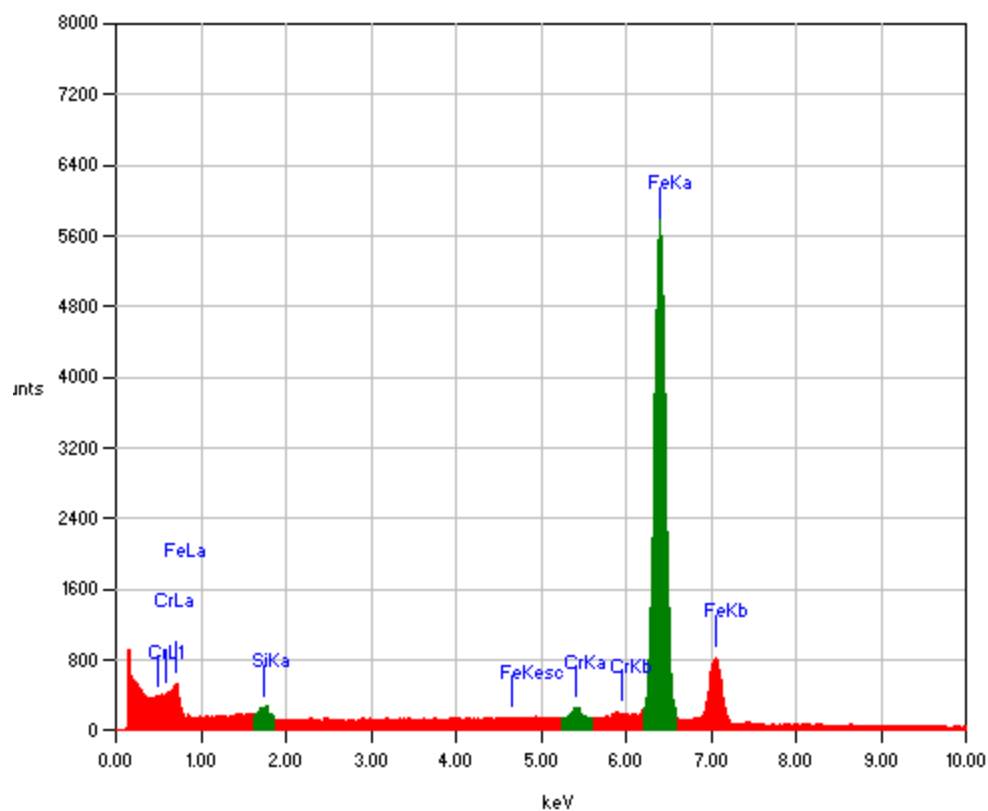
а) Увеличение в 100 раз



б) Увеличение в 1000 раз

Рисунок Г.5 - Электронно-микроскопическое изображения структуры припоя образца ножа

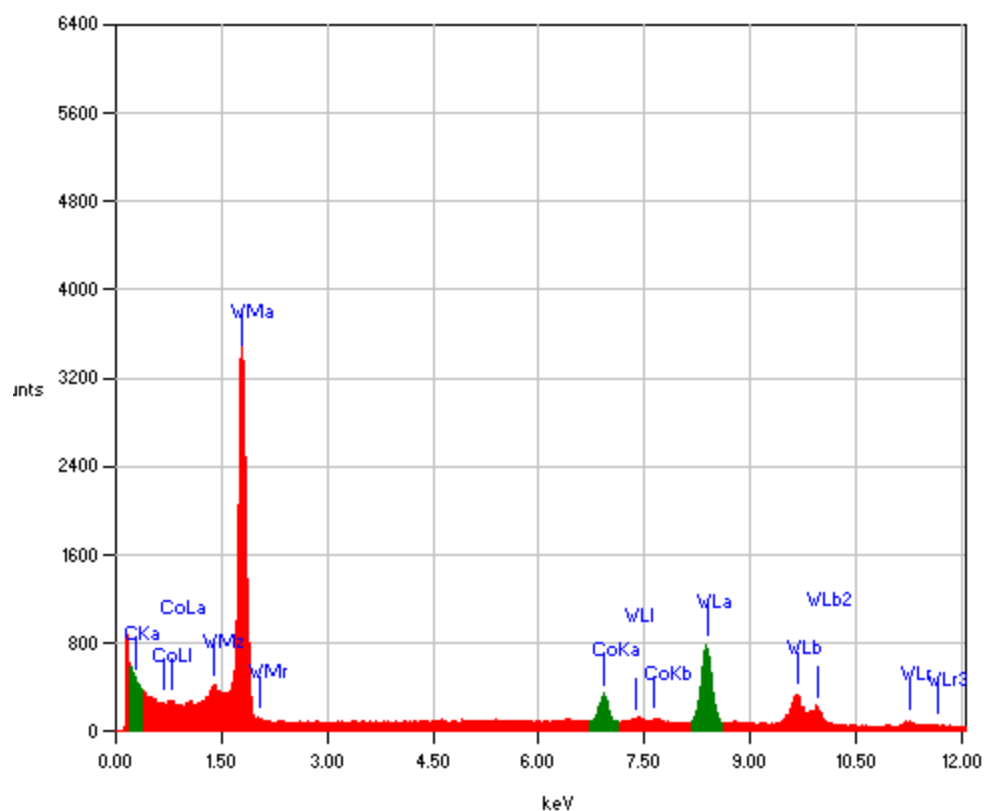
Продолжение Приложения Г



Element		(keV)	mass%	Error%	At%
Si K	*	1.739	1.12	0.23	2.20
Cr K	*	5.411	1.22	0.16	1.29
Fe K		6.398	97.66	0.21	96.51
Total			100.00		100.00

Рисунок Г.6 - Результат электронно-зондового химического анализа
поверхности корпуса образца ножа

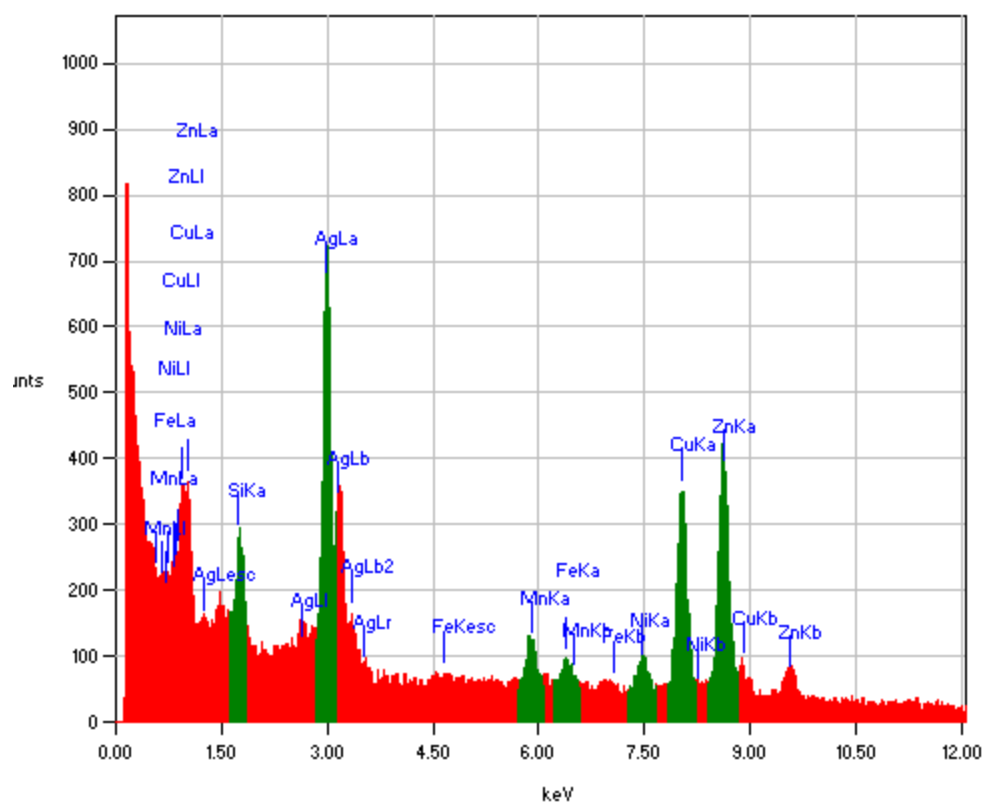
Продолжение Приложения Г



Element	(keV)	mass%	Error%	At%
C K *				
Co K	6.924	7.59	0.34	20.40
W L	8.390	92.41	1.54	79.60
Total		100.00		100.00

Рисунок Г.7 - Результат электронно-зондового химического анализа поверхности скребка и режущей кромки образца ножа

Продолжение Приложения Г



Element	(keV)	mass%	Error%	At%
Si K	1.739	3.35	0.47	8.39
Mn K	5.894	2.33	0.46	2.98
Fe K	6.398	1.12	0.43	1.41
Ni K	7.471	2.26	0.62	2.71
Cu K	8.040	23.95	0.82	26.49
Zn K	8.630	33.88	1.00	36.44
Ag L	2.983	33.11	0.63	21.58
Total		100.00		100.00

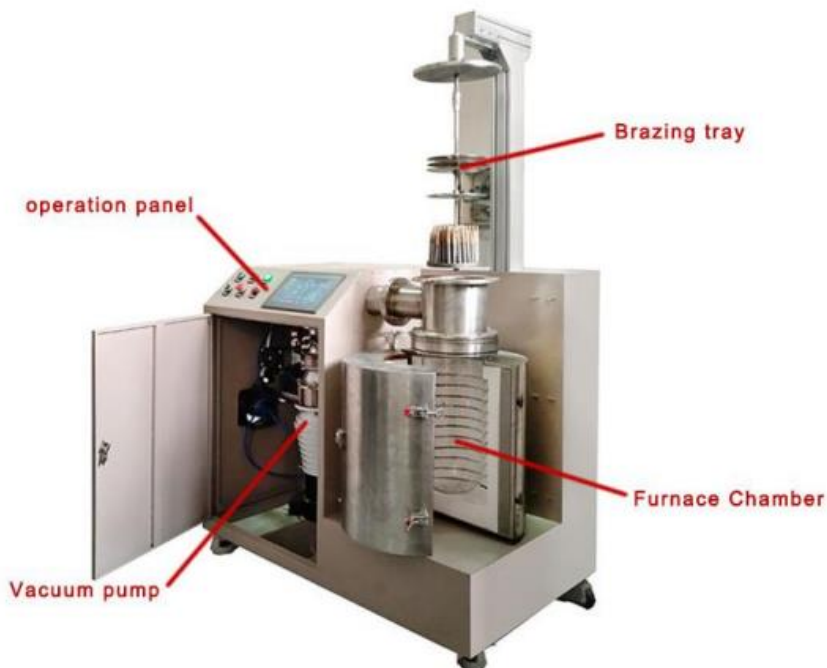
Рисунок Г.8 - Результат электронно-зондового химического анализа припоя в месте соединения корпуса ножа с скребком и режущей кромкой

Приложение Д
Спецификация вакуумной печи DM-200BF



Focus on Furnace

DM-200BF Vacuum Brazing Furnace
Technical Solutions



This picture is for reference only

Henan Dming Technology Co., Ltd

Add: No. 11, Lianhua Street,Zhengzhou City, Henan Province,China

Tel: +86 155 0371 0571

Email: Jack@labfurnace.cn

Рисунок Д.1 - Схема вакуумной печи DM-200F в спецификации



1. Application

Special Brazing furnace for tools of CNC

DM-200BF Series Brazing furnace is widely used in the welding of various kinds of small size superhard materials, mainly used for cemented carbide tools (PCD tools, PCBN tools, CVD tools, CBN tools, engraving tools, etc.), drilling bit, stainless steel Brazing, single crystal welding, porcelain metal Brazing, heterotropic metal components, complex sheet: sandwich components, honeycomb structure, etc.



Рисунок Д.2 - Устройство садки вакуумной печи DM-200F в спецификации

Продолжение Приложения Д



Focus on Furnace

Features

DM-200BF vacuum brazing furnace is widely used for superhard material brazing: Carbide Tool(PCD, PCBN, CVD, CBN, graver.), drill, stainless steel brazing, ceramic-metal brazing, special metal workpiece, complex sheet(sandwich component, honeycomb structure), etc.
PLC full automatic controlling, also can be controlled by workers; touch screen, 50 programmable segments, saving 30 programs, operate easily, production continuously is allowed.
Brazing workpiece surface is very clean, non-oxidatio; More quantity of workpiece can be put on the material platform trimly.
Brazing is strong, 2-3 times of high frequency brazing.
Using USA high technology, the whole brazing process takes about 180mins(does not include the time that diffusion pump preheat).
High production capacity, 600pcs at one time(for example CNGA1204)
We do not only offer furnace, but also brazing technology, engineer who are in this line for about 20 years will offer technology support, guarantee that you can get high quality workpiece.

2. Main Technical Parameters & Structure

Model	DM-200BF
Chamber Size	200 x190 x 400mm (OD x ID x Heating Zone Length)
Uniform Heating Zone	180x300mm (Dia x Height)
Max Working Temperature	1200 ℃ (<5hours)
Rated Working Temperature	1100 ℃
Vacuum	7*10 ⁽⁻³⁾ Pa
Voltage	220V 50HZ 1 phase 8KW
Temperature Accuracy	± 1 ℃
Heating Rate	<1000℃, ≤20℃/min / 1000℃-1200℃, ≤10℃/min
Thermocouple	K type
Observation Windows	Specially designed observation well, by which can observe brazing effect at high temperature directly, then it is helpful to improve technology.
Available Solder	Ag, Cu, Ni, Ti, etc.

3. Furnace Structure

3.1 Furnace chamber

Cylinder-shaped furnace chamber.

Two layers of high quality Alumina ceramic fiber as insulation.

There is quartz tube in the chamber, which can make sure the workpiece to be clean, no need to cleaning.

There is water cooling set on the outside of the chamber,more cooling rate.

Chamber is formed by two semicircle, opening at the middle freely, which can make the furnace cooling fast when the temperature is lower than 300C.

Рисунок Д.3 - Технические параметры вакуумной печи DM-200F
в спецификации

Продолжение Приложения Д



Focus on Furnace



3.2 Heating Element

High quality Fe-Cr-Al-Mo resistance wire, long working lifetime, 3 to 5 years.

There is heating element on chamber side and bottom, more uniform thermal field, longer uniform heating zone.

heating zone height is 400mm, which is much longer than normal type(150-200mm).

3.3 Material Platform

310S high temperature stainless steel.

Designed with neck, hang type, NO. of material platform can be adjusted according to workpiece quantity.

Material platform up and down rate is adjustable.



3.4 Vacuum System

All the vacuum valves are electromagnetism-air-operated type, which make the furnace to be automatic.

Our furnace adopts China best vacuum pump brand products - Chengdu Nanguang. All vacuum valves are made in Ningbo factories: Mechanical pump + diffusion pump + digital vacuum gauge.

Diffusion pump is 150 type, high quality and long working lifetime, low repairing cost (normal

Рисунок Д.4 - Нагревательные элементы и вакуумная система вакуумной печи DM-200F в спецификации

Продолжение Приложения Д



Focus on Furnace

brazing furnace uses molecular pump, which is very easy to break, and high requiring cost), Mechanical pump is VRD-16, direct-connected type.

Max vacuum 7×10^{-4} Pa, Working vacuum 7×10^{-3} Pa



3.5 Control System

PLC full-automatic control, also can be operated by workers.

PID automatic control via SCR (Silicon Controlled Rectifier) power control with phase angle fired, current limiting resistor.

50 programmable segments for precise control of heating rate, cooling rate and dwell time.

Built in PID Auto-Tune function with overheating & broken thermocouple broken protection.

Over temperature protection and alarm allows for operation without attendant.



3.6 Water Cooling System

Double layer water cooling carbon steel as furnace shell, which is weld by professional pressing machine, no gaps, no crack on surface.

Special 2 water inlet-2 water outlet water cooling machine, which make the cooking water at 15°C, supply water automatically.

Cooling water shortage alarm.

when the diffusion pump, cooling water temperature can be higher, cooling water can not stop, otherwise, the diffusion pump will break

Рисунок Д.5 - Система контроля и охлаждения вакуумной печи DM-200F в спецификации



4. Equipment Installation and Operation Conditions

- 4.1 Cooling rate shall also not exceed 15°C /min.
- 4.2 Toxic or explosive gases are not recommended for use with this furnace without necessary safety controls and supervision.
- 4.3 Small cracks may appear on the surface of the refractory ceramics over extended use. This is a normal occurrence and the cracks may be repaired with alumina coating..
- 4.4 Cooling water is very important, before using furnace, please sure the cooling water is enough, and the pressure is 0.2Mpa.

5. Warranty and After-sales Service

- 5.1 Warranty: 1 year, except for vulnerable parts and man-made damage (heating elements are vulnerable parts and are not covered by the warranty), and technical support is provided for life.
- 5.2 Remote video guidance for installation and commissioning can be provided.
- 5.3 Guarantee reply any technical problem within 8 working hours.

6. Price

Product Name	Model	Description	Price(USD)
Vacuum Brazing Furnace	DM-200BF	1200℃/200*400mm	14000
Chiller(Optional)	Match with DM-200BF		2500
Total Price			16500

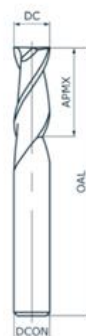
Remarks:

- 1. The above prices are **FOB Shanghai Port** prices
- 2. The payment method: **50% TT in advance**, 50% TT to be paid before delivery
- 3. Delivery time: **90 days** after the advance payment is received
- 4. The warranty period is **1 year**, except for consumables and man-made damage. Lifetime technical support is provided
- 5. The quotation is valid for **30 days**

Рисунок Д.6 - Условия поставки и гарантийное обслуживание вакуумной печи DM-200F в спецификации

Приложение Е

Оснастка



Основные параметры

Диаметр фрезы, мм (DC)	20	Обрабатываемый металл	P (сталь), M (нержавеющая сталь), K (чугун)
Применяемость	Общая обработка стали и чугуна	Профиль фрезы	Прямоугольный
Число зубьев	3	Длина режущей части фрезы, мм (APMX)	45
Материал режущего инструмента	Твердый сплав	Радиус при вершине R/фаска C, мм (RE/CHW)	Нет значения
Конструкция фрезы	Стандартный размер	Длина обдирочной, мм (LU)	Нет значения
Размер крепления режущего инструмента (DCON), мм	20	Длина фрезы, мм (OAL)	100
Угол наклона	35°	Каналы для СОЖ	Нет значения
Тип фрезы	Концевая	Посадка	Цилиндр
Покрyтие	AlCrSiN	Серия твердосплавных фрез	APL100
Особенности	Нет значения	Бренд	AdvaCut
Вид номенклатуры	Фрезы концевые твердосплавные монолитные		

Рисунок Е.1 - Фреза концевая твердосплавная APL100-SQCM3-200-045-000, ØD 20 мм



Основные параметры

Диаметр фрезы, мм (DC)	2	Обрабатываемый металл	P (сталь), M (нержавеющая сталь), K (чугун)
Применяемость	Общая обработка стали и чугуна	Профиль фрезы	Прямоугольный
Число зубьев	4	Длина режущей части фрезы, мм (APMX)	10
Материал режущего инструмента	Твердый сплав	Радиус при вершине R/фаска C, мм (RE/CHW)	Нет значения
Конструкция фрезы	Длинная режущая часть	Длина обдирочной, мм (LU)	Нет значения
Размер крепления режущего инструмента (DCON), мм	4	Длина фрезы, мм (OAL)	50
Угол наклона	35°	Каналы для СОЖ	Нет значения
Тип фрезы	Концевая	Посадка	Цилиндр
Покрyтие	AlCrSiN	Серия твердосплавных фрез	APL100
Особенности	Нет значения	Бренд	AdvaCut
Вид номенклатуры	Фрезы концевые твердосплавные монолитные		

Рисунок Е.2 - Фреза концевая твердосплавная APL100-SQCL4-020-010-000, длинная режущая часть, ØD 2 мм

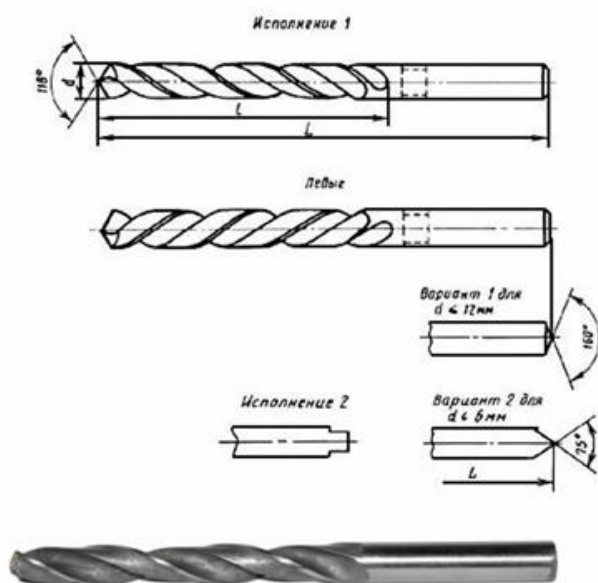
Продолжение Приложения Е



Характеристики:

Артикул	5014651650
EAN	4317784143530
Группа	Зенковка, 120°, с цил.Шанк, HSS
Номинальный диаметр	16,5 мм
Наименьший Ø	3,7 мм
Полная длина	56 мм
Хвостовик Ø	10 мм
Бренд	FORMAT
Сталь	Рекомендуемые
Сталь	Подходящий
Покрытие	Пустой

Рисунок Е.3 - Зенковка из быстрорежущей стали, заводской стандарт, цилиндрическая, 120 градусов, FORMAT 16,5 мм. 1465 1650 Fplus

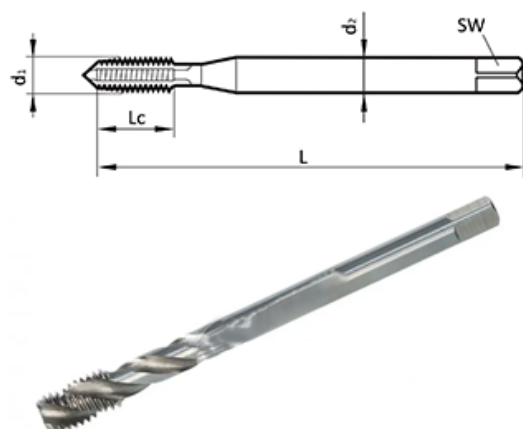


Характеристики

Вид	среднее
Производитель	STV
Область применения	13 14 15 16
Диаметр D, мм	10.2
Материал	P6M5K5
Тип хвостовика	цилиндрический
ГОСТ	10902-77
Класс точности	A
Направление вращения	правое
Длина режущей части l, мм	87
Длина L, мм	133
Угол, град.	118°
Применение	ручной инструмент
Страна производства	Китай
Вес товара, грамм	57

Рисунок Е.4 - Сверло 10,2 мм ц/х по металлу кобальтовое P6M5K5

Продолжение Приложения Е



Характеристики

Тип отверстия	для глухих отверстий
Размер (d1), мм	M12 x 1.75
Поле допуска	6H (ISO2)
Диаметр хвостовика (d2), мм	9
Размер приводного квадрата (SW), мм	7
Длина режущей части (Lc), мм	18
Длина общая (L), мм	110
Шаг резьбы, мм	стандартный шаг
Диаметр отверстия, мм	10,25
Материал инструмента	HSS-E
Покрытие	без покрытия
Форма заходной части	C/35° RSP (2-3 нитки)
Стандарт	DIN 376
Тип резьбы	Метрическая
Направление резьбы	Правая
Тип метчика	машинный
Примечания	—
Обозначение типа резьбы	M
Вес, кг	0,05
Обрабатываемый материал	Для деталей из стали и чугуна

Рисунок Е.5 - Метчик машинный M12 x 1.75 DIN 376, HSS-E без покрытия, форма C, VÖLKEL



Шлифовальный камень из оксида алюминия 9,5 мм (932)

Технические характеристики

Диаметр хвостовика: 3,2 мм

Рабочий диаметр: 9,5 мм

Длина насадки: 40 мм

Макс. скорость: 25 000 об/мин

Количество: 3 шт

Обрабатываемые материалы: сварные соединения, заклепки, металл

Рисунок Е.6 - Насадка шлифовальная 9,5 мм DREMEL 932

Продолжение Приложения Е

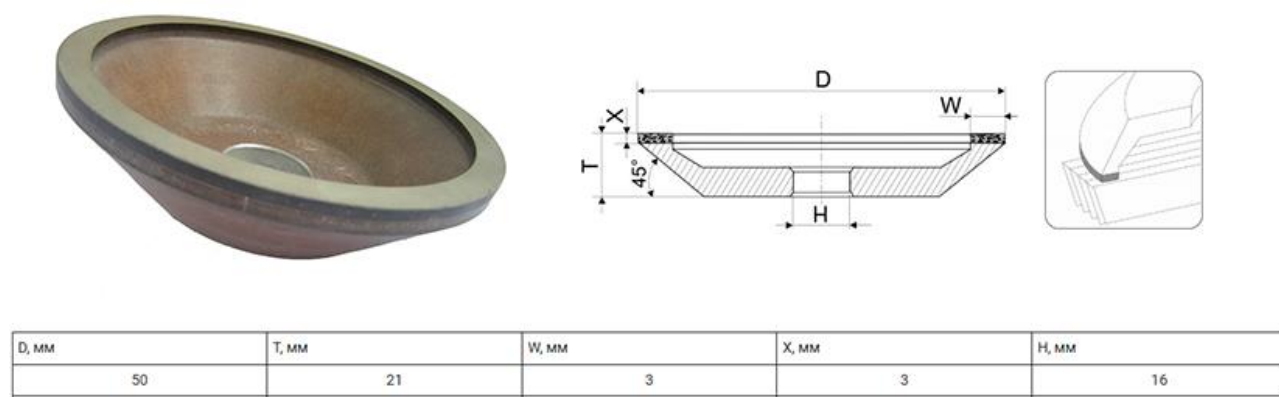


Рисунок Е.7 - Чашка алмазная 12А2-45 125 х 10 х 3 х 40 х 32 мм 100/80 БАЗИС по металлу

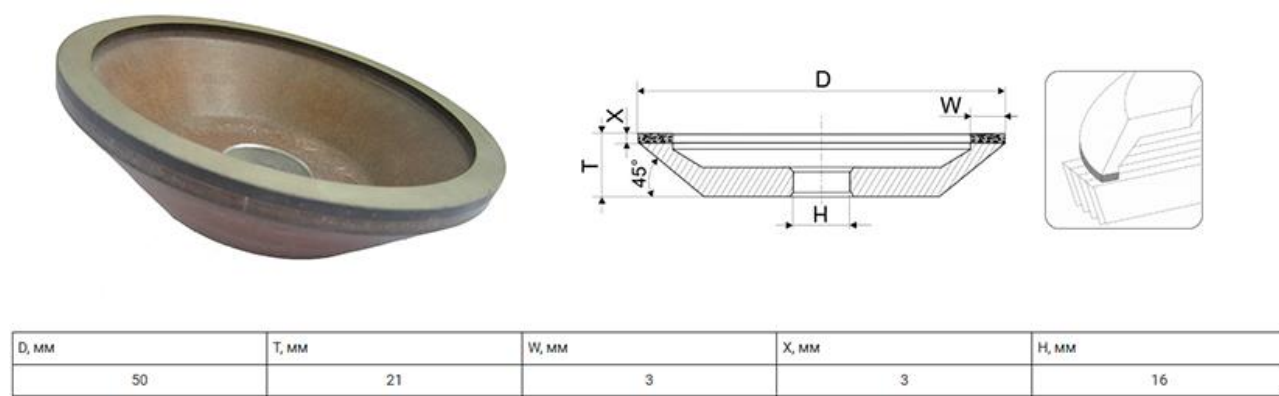


Рисунок Е.8 - Чашка алмазная 12А2-45 125 х 10 х 3 х 40 х 32 мм 50/40 БАЗИС по металлу