



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Использование разнородных материалов с целью повышения износостойкости» содержит страниц текстового документа, рисунок, приложений, использованных источников.

Объект работы –коронка рыхрителя ковша экскаватора и рыхрителя землеройных машин.

Цели работы – использование разнородных материалов с целью повышения износостойкости. Экономическая целесообразность за счет экономии легирующих элементов.

Задачи работы:

- исследовать и обеспечить подбор материалов;
- разработать технологию и произвести оценку оптимизации работоспособности коронки рыхрителя.
- повысить работоспособность за счет сочетания специальных материалов и основы с обеспечением сохранения угла режущего инструмента на длительном промежутке времени.
- выбрать способ и технологию нанесения сочетания материалов обеспечивающих оптимизированную работоспособность коронки рыхрителя.

В результате данной работы поставленные цель и задачи были выполнены. Подготовлена заявка на получение способа изготовления зубьев ковшей экскаватора и коронок рыхлителей бульдозерной техники.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Литературный обзор .....	7
1.2 Цель и задачи бакалаврской работы .....	8
2 Общая характеристика изделия.....	9
2.1 Описание изделия и его служебное назначение.....	9
2.2 Анализ условия нагружения изделия.....	11
3Классификация видов износа.....	16
4 Повышение износостойкости зубьев экскаватора.....	26
5 Выбор материала.....	33
5.1 Высокохромистые и хромомарганцевые чугуны.....	33
5.2 Стеллиты (кобальтохромвольфрамовые сплавы).....	36
5.3 Тугоплавкие материалы .....	37
5.4 Низколегированная сталь 25Л.....	38
5.5 Твердые сплавы. Сормайт №1.....	40
6 Технология изготовления.....	42
6.1 Наплавка.....	42
6.2Оборудование для механизированной наплавки порошковой проволокой.....	46
7Металлографические исследования.....	49
Заключение.....	55
Список использованных источников.....	56
Приложение АБлок схема выбора материала.....	57
Приложение БОбщий вид механизма подачи полуавтомата ПДГО- 510 серия 02.....	58
Приложение В Общая схема полуавтомата.....	59
Приложение Г Профили канавок подающих роликов.....	60
Приложение ДПодбор параметров сварки в среде CO <sub>2</sub> .....	61

## ВВЕДЕНИЕ

Технология машиностроения – область технической науки, занимающаяся изучением связей и установлением закономерностей в процессе изготовления машин. Она призвана разработать теорию технологического обеспечения и повышения качества изделий машиностроения с наименьшей себестоимостью их выпуска.

Задача выбора материала для изготовления тех или иных деталей является нетривиальной. Нетривиальность задачи обусловлена большим разнообразием конструкционных материалов, оценить перспективность применения, которых в каждом конкретном случае весьма непросто. Следует подчеркнуть, что выбор материала обуславливает принятие решений по целому ряду вопросов: выбор технологии изготовления детали, способов предварительной и окончательной термических обработок; выбор источников сырья, решение вопросов, связанных с организацией производства, и пр. Большое разнообразие конструкционных материалов – традиционных и вновь создаваемых – открывает возможность в каждом конкретном случае выбрать наиболее подходящий со всех точек зрения материал, но одновременно затрудняет эффективное решение поставленной задачи эвристическими методами или методами, ориентированными на возможность использования опыта в профессиональной работе с материалом данной группы.

В современных условиях оптимальность выбора приобретает чрезвычайную актуальность. В первую очередь это вызвано новой экономической ситуацией, в которой оказались предприятия. Возможно, что не нужны изделия с высоким ресурсом работы – ведь они морально устаревают, – но необходимо иметь надежные во всех отношениях изделия, способные гарантированно отработать заданный ресурс при оптимальных затратах. Другими словами, существует множество причин, обуславливающих интерес к комплексному решению инженерных задач, в том числе при выборе материала и способа его обработки. Тем более что предпосылки для этого созданы. Математика

предоставляет в распоряжение инженера-материаловеда мощнейшие методы моделирования и оптимизации, эффективные алгоритмы решения подобного рода задач. Они широко применяются в планировании, системах управления сложными объектами, при создании информационных систем.

Большинство задач выбора материалов и технологических процессов характеризуют как многофакторные, многоцелевые (многопараметрические) и многовариантные. Адаптация реальных задач этими признаками к нормальным методам моделирования и оптимизации – другая задача, на которую обращено внимание в данном проекте. Следующая задача состоит в том, чтобы среди возможных алгоритмов решений выбрать такой, при использовании которого в максимальной мере использовался бы творческий потенциал профессионализма инженера-материаловеда при решении узловых проблем, а рутинную часть задачи, связанную с перебором однородных состояний, формализовать, т. е. перепоручить вычислительной машине с возможностью вести с ней активный диалог. Следствием неправильного выбора материалов является плохое качество конструкций, машин и оборудования. Нередко эти условия являются очень специфичными: низкие или высокие температуры, агрессивные химические среды, знакопеременные циклические нагрузки, особые условия трения и др. Часто материалы работают в условиях одновременного воздействия перечисленных выше факторов. Поэтому при выборе материала в первую очередь требуется всесторонне рассмотреть условия его работы и ранжировать факторы, воздействующие на материал, по степени их влияния на надежность машины или механизма. Определяющие факторы должны быть учтены обязательно, менее определяющие – по возможности. Необходимо формировать технические требования к материалу на основании моделирования условий работы изделия в реальных условиях эксплуатации с использованием специальных стендов, на которых с помощью тензометрирования можно определить уровень локальных пиковых напряжений в изделии. В том случае, когда не имеется возможности использовать стенд для

измерения рабочего напряжения, возникающего в изделии при его эксплуатации, следует использовать расчетные методы.

## 1 Литературный обзор

Развитие современной машиностроительной отрасли связано с разработкой новых материалов, внедрением инновационных технологий и оборудования. Получение слоистых композиционных материалов с регулируемой макро- и микроструктурой позволяет формировать требуемые физико-механические свойства с учетом условий эксплуатации.

Современное представление об эффективном управлении свойствами материалов основывается на возможности создания условий, которые могут радикально влиять на процессы самоорганизации структур. Высокоэнергетическое воздействие позволяет повысить скорости нагрева и охлаждения, что приводит к созданию максимально неравновесных структур, которые, при определенных условиях, могут обеспечить требуемый комплекс физико-механических и эксплуатационных свойств. Управление структурообразованием материалов заданного состава, в условиях далеких от термодинамического равновесия, позволяет обеспечить требуемую стойкость рабочей зоны изделия при воздействии высоких контактных и динамических нагрузок в условиях абразивного, ударно-абразивного и ударного износа.

Применение износостойких слоистых композиционных материалов на рабочих органах горнодобывающей и строительно-дорожной техники позволяет увеличить не только эксплуатационный срок службы, но и экономить дорогостоящие металлы, за счет применения низколегированного компонента основы слоистого композиционного материала. Поэтому, комплексный подход, включающий многофакторное воздействие на фазо- и структурообразование в металлических системах с применением современного оборудования, имеет особую актуальность.

## 1.2 Цель и задачи бакалаврской работы

Целью бакалаврской работы является использование разнородных материалов с целью повышения износостойкости коронки рыхлителя.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить механизм изнашивания коронок рыхлителя.
- выбор износостойких материалов для данного механизма изнашивания.
- разработать технологию соединения износостойких сплавов с низкоуглеродистой сталью 25Л.

Геометрическое месторасположение. Изучение механизмов изнашивания, сочетаемых материалов заданным геометрическим месторасположением, обеспечивающий необходимый механизм изнашивания.



## **2 Общая характеристика изделия**

### **2.1 Описание изделия и его служебное назначение**

Рыхлители – являются навесным рабочим оборудованием и предназначены для предварительного рыхления плотных, каменных или мерзлых грунтов для облегчения работы землеройно-транспортных машин. Их применяют также для удаления из грунта корней, остатков пней и камней после работы корчевателя, а также для разрушения старых дорожных покрытий при ремонте автомобильных лесовозных дорог.

Рыхлитель – это сменное навесное оборудование к гусеничному трактору или мощному колесному трактору. Рыхлители обычно выполняют на базе той же машины, что и бульдозеры. Иногда на одну и ту же базовую машину трактор навешивают как бульдозерный отвал, так и рыхлительное оборудование. Тогда такая машина называется бульдозер-рыхлитель. Рыхлительное оборудование во многих случаях навешивается также на тягачи и автогрейдеры. Конструктивные отличия рыхлителей определяются тяговым классом и ходовым устройством базового трактора, назначением рыхлителя, видом его навесного устройства и способом установки, числом зубьев и способом их крепления. Различают рыхлители на базе тракторов класса 3, 4, 10, 15, 25 и 35 тс (ГОСТ 7425-71). Тяговый класс трактора является основным параметром, определяющим величину максимального заглубления зубьев в грунт, число зубьев, ширину режущей кромки наконечника, наименьшее расстояние от нижней точки рабочей балки до опорной поверхности, расстояние от наконечника до оси ведущей звездочки трактора, а также ресурс рыхлителей до первого капитального ремонта[1].

Рыхлитель состоит из рамы, тяги, балки, зубьев с наконечниками, гидrocилиндров, буферного устройства и флюгеров. Сварная рама коробчатого сечения является нижним звеном четырехзвенника рыхлителя, а сварная тяга

- его верхним звеном. Балка также является звеном, на котором крепятся флюгеры с тремя зубьями, имеющими сменные наконечники.

Рабочим оборудованием, показано на рисунке 1 и 2, рыхлителя является зуб, состоящий из стойки с посадочным хвостовиком, наконечника, защитной накладкой и элементов крепления – стопоров. В ряде случаев для повышения производительности при рыхлении пластичномерзлых грунтов и трещиноватых скальных пород на зубьях устанавливают уширители. Помимо рыхлителей на строительной площадке могут понадобиться экскаваторы.

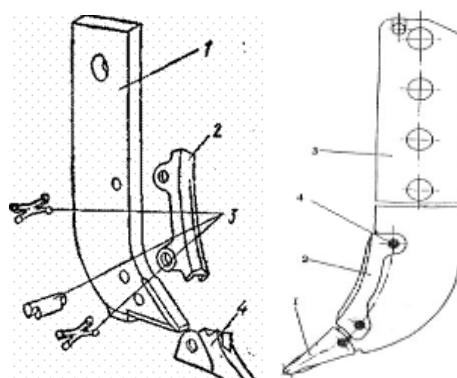


Рисунок 1– Рабочий орган рыхлителя: 1 -стойка; 2 - защитная накладка; 3 - элементы крепления; 4 –наконечник



Рисунок 2 - Навесное оборудование для экскаватора

Стойка является несущим, наиболее нагруженным элементом зуба, на котором крепятся его детали. При разработке плотных связных и слабых трещиноватых скальных грунтов и при большом заглублении наконечника рыхлителя стойки частично участвуют в разрушении грунта, производя дополнительное рыхление. Для современных рыхлителей характерны в основном стойки трех типов: изогнутые, прямые и с незначительным изгибом.

Рыхление стойками изогнутой формы осуществляется с меньшими усилиями, чем прямыми, однако при рыхлении средних и крепких трещиноватых скальных пород и мерзлых грунтов выломленные глыбы могут заклиниваться между стойкой и рамой рыхлителя, что ведет к значительному повышению сопротивления рыхлению. Иногда применяют стойки с незначительным изгибом. Как показали исследования, они наиболее эффективны при разработке скальных грунтов средней крепости.

Стойка 1 является несущим, наиболее нагруженным элементом зуба, на котором крепятся его детали 3. Для современных рыхлителей характерны в основном стойки трех типов: изогнутые, прямые и с незначительным изгибом. Рыхление стойками изогнутой формы осуществляется с меньшими усилиями, чем прямыми.

Однако при рыхлении изогнутыми стойками средних и тяжелых трещиноватых скальных и мерзлых грунтов выломленные глыбы могут заклиниваться между стойкой и рамой рыхлителя, что ведет к значительному повышению сопротивления грунта рыхлению. Стойки с незначительным изгибом наиболее эффективны при разработке скальных грунтов средней прочности. Для предотвращения износа передней рабочей грани стойки используются съемные износостойкие стальные пластины – защитные накладки, установленные на рабочей поверхности стойки.

Наконечники 4 являются сменной частью зуба, обеспечивающей непосредственное отделение грунта от массива и его разрушение. В ряде случаев для повышения производительности при рыхлении пластично-мерзлых грунтов и трещиноватых скальных пород на зубьях устанавливаются уширители. Конструктивно уширители выполняют либо в виде расширяющихся в стороны от режущей кромки зуба клиновидных пластин, жестко или шарнирно смонтированных на стойке зуба, либо в виде двух стержней, выступающих по бокам стойки. У рыхлителя ДП-9С зубья закреплены в литых флюгерах, которые в свою очередь, при помощи вертикальной оси закреплены в рабочей балке[2].

## 2.2 Анализ условия нагружения изделия

По форме зубья могут быть:

- прямые;
- изогнутые;
- полуизогнутые.

Прямые зубья применяются для рыхления различных по крепости и трещиноватости грунтов. В настоящее время эти зубья используются чаще других.

Изогнутые зубья применяются для рыхления грунтов на глубину до 0,8 метров. При работе таких зубьев возникают усилия, отрывающие куски породы от массива.

Наиболее рационально использовать такие зубья для рыхления пород с явно выраженным напластованием.

Полуизогнутые зубья позволяют уменьшать усилия заглубления при большом угле резания.

Крепление зубьев может быть:

- жестким;
- шарнирным.

Жесткое крепление применяется на специальных рыхлителях, предназначенных для рыхления грунта на большую глубину.

Шарнирное крепление зубьев применяется для рыхления скальных трещиноватых грунтов, а также грунтов с включением крупных глыб и валунов.

Угол поворота зубьев при шарнирном креплении составляет обычно  $15^\circ$  в обе стороны от среднего положения. При шарнирном креплении зубьев уменьшаются боковые нагрузки на машину, она лучше сохраняет прямолинейность перемещения [1].

Обычно толщина зуба составляет 60–100 мм. Сечение обычно прямоугольное. Вылет (длина) зуба должен быть на 100–300 мм больше максимальной глубины рыхления. Чертеж показан на рисунке 2.

Угол рыхления принимают обычно равным  $30-45^\circ$ , угол заострения зуба.

В транспортном положении рама с зубьями должна быть приподнята на  $0,3-0,5$  м – легкое рыхление,  $0,6-0,7$  – средние, больше  $0,7$  м – тяжелые. Это обеспечивает задний угол выезда  $20^\circ$ .

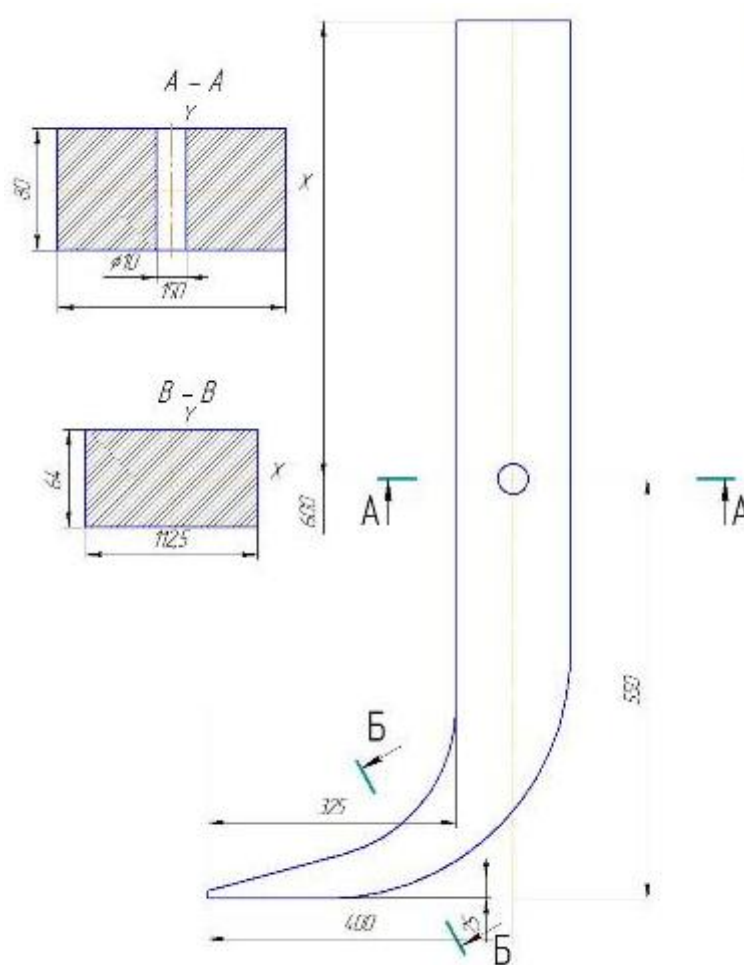


Рисунок 2 – Чертеж изделия

Вид фрикционного взаимодействия определяется следующими факторами: усилием в зоне контакта абразивной частицы и материала коронки, морфологией абразивной частицы, соотношением твердостей материала коронки и абразивных частиц грунта.

Эпюра, предложенная профессором А.Н. Зелениным, не имеет достаточно полных ни теоретических, ни экспериментальных доказательств.

Распределение давления по длине передней грани ускоренно возрастает от дневной поверхности грунта к режущей кромки, рисунок 3.

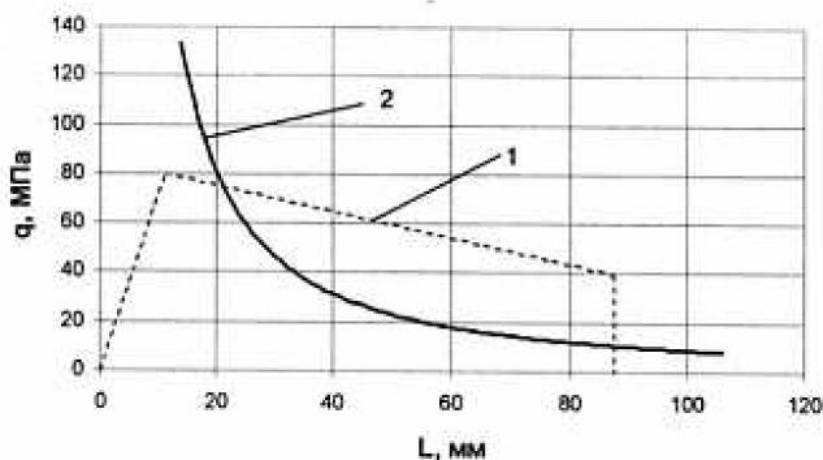


Рисунок 3 – Распределение нагрузок по передней грани: 1 – эпюра по А.Н. Зеленину, 2 – экспериментальная эпюра

Требования к изделию и условия эксплуатации. При строительстве автомагистралей, взлетных полос аэродромов, сооружениях дамб, перед началом постройки сооружений, а также разработки месторождений открытым способом требуются значительные земляные работы, в которых используется огромное количество машин и механизмов. Это оборудование имеет много узлов (передаточные механизмы, ходовые части), подверженные износу типа «металл по металлу». После износа они могут быть восстановлены материалами для достройки и соответствующей наплавки. Другие детали, контактирующие с почвой и породой (ковши экскаваторов и их зубья, ножи бульдозеров и скреперов, зубья рыхлителей и т. д.) подвергаются иным видам износа – абразивному и ударному в различных сочетаниях. Так, при работе с песчаными почвами детали испытывают интенсивное абразивное воздействие. Если почва каменистая, износ становится абразивно-ударным, а иногда – преимущественно ударным, т. е. ударно-абразивным. Аналогичным видам износа подвергаются детали горнодобывающего, дробильного и размалывающего оборудования. Ни один из износостойких наплавочных материалов не может

эффективно противостоять одновременно абразивному и ударному износу, т. е. не является универсальным.

В ходе собственных исследований интенсивности изнашивания КЗР в условиях Магаданской области было установлено, что наиболее интенсивный износ коронок происходит при рыхлении высокопрочных грунтов. При этом даже при рыхлении мерзлых и талых грунтов (температура грунта около 0 °С) наблюдался значительный нагрев коронок (до 300 °С, на пути трения 15 метров). Поэтому в данном случае помимо фактора высокой абразивности грунта на интенсивность изнашивания влияет и фактор повышенной температуры, при которой происходят изменения физико-механических свойств материала. Поэтому представляет практический интерес исследования износоустойчивости материалов КЗР как в условиях низких, так и высоких температур. Для изучения данного вопроса необходимо разработать лабораторную установку и методику проведения исследований[1].

Дерево свойств и блок-схема выбора материалов. Было построено дерево свойств на основе требования к изделию и условия эксплуатации. Проанализирована технология получения накладки. И приведена блок схема выбора материала. Показано в приложение А.

### 3 Классификация видов износа

Процесс трения всегда сопровождается износом, который постепенно приводит механическую систему в состояние непригодности. Многие детали машин и механизмов подвергаются интенсивному износу. Увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей различного назначения - важнейшая проблема современного машиностроения и других отраслей техники, в решении которой ведущую роль играют металлургия и литейное производство. Для классификации видов износа прежде всего необходимо рассмотреть понятия «износ», «износостойкость», «изнашивание» и «интенсивность изнашивания», которые приняты и используются в повседневной практике.

Износ – изменение размеров, формы, массы твердых тел или состояния их поверхностей вследствие либо остаточной деформации от постоянно действующих нагрузок, либо разрушения поверхностного слоя при трении.

В соответствии с ГОСТ 27674-88 изнашивание классифицируется как процесс отделения материала с поверхности твердого тела и увеличения его остаточной деформации.

Износостойкость (износоустойчивость) – сопротивление материалов деталей машин и других трущихся частей износу. Износостойкость оценивается, например, уменьшением массы литой детали за время работы, ее линейных размеров или изменением объема детали.

Следует отметить, что изнашивание – прежде всего процесс взаимодействия поверхностей, который сопровождается не только их микрорезанием, деформированием и нагреванием, но также и изменением механических свойств, структуры, фазового состава и химической активности поверхностных слоев.

В процессе длительного воздействия на поверхность детали микро- и макроскопических абразивных частиц происходит износ, оцениваемый по уменьшению размеров, объема, массы деталей в абсолютных или относи-



тельных единицах. Износ, отнесенный к пути трения, объему выполненной работы, работе трения, является показателем интенсивности изнашивания.

Износ и интенсивность изнашивания определяют и по другим косвенным признакам. Чаще всего под износом принято понимать постоянное срабатывание поверхности деталей в результате процесса трения. Износ, отнесенный к промежутку времени процесса трения, определяет скорость изнашивания.

Практика эксплуатации машин и другого оборудования показывает, что большая его часть теряет работоспособность не вследствие поломок, а в результате износа отдельных деталей. Высказано мнение о необходимости исследования износа и сопутствующих процессов, реализующихся при трении, и показано, что взаимодействие поверхностей при трении проявляется в формировании дискретных контактов – пятен, в котором участвуют выступы и покрывающие их пленки, а также прилегающие к этим выступам соседние участки материала. Считается, что силы, приложенные к разным участкам пятен контакта, образующихся при относительном движении сопряженных поверхностей, неодинаковы, а температура материалов, даже в пределах площади контактов, различна. Это приводит к различной реакции локальных микрообъемов материалов при износе трением.

Принят ряд классификаций по видам износа при трении, построенных в основном на базе внешних условий и признаков процесса. Различают также четыре главные формы износа и несколько второстепенных (сопутствующих) процессов, которые часто классифицируются как самостоятельные виды износа.

К главным видам износа можно отнести следующие виды.

1 Адгезионный износ возникает в условиях трения, когда два гладких тела скользят друг по другу и частицы материала, вырванные с одной поверхности, прилипают к другой. Этот вид износа имеет место, когда атомы контактирующих поверхностей входят в близкий контакт. На площадях контакта при скольжении поверхностей всегда существует вероятность того, что из-за

адгезионных сил разрушение этого контакта происходит не по первоначальной поверхности раздела одного материала, а внутри него.

2 Абразивный износ возникает в условиях трения, когда более твердые шероховатые поверхности скользят по более мягким, царапают или пропахивают ее, образуя свободные частицы. Абразивный износ может возникнуть и тогда, когда твердые частицы попадают между поверхностями фрикционной связи и изнашивают их.

3 Коррозионный износ имеет место, когда контакт поверхностей происходит в коррозионных средах. В процессе скольжения образующиеся на поверхности пленки разрушаются и коррозионное воздействие распространяется вглубь материалов.

4 Поверхностная усталость наблюдается во время многократного скольжения или качения по одним и тем же поверхностям с непрерывно повторяющимися циклами нагружения и разгрузки. По ГОСТ 27674-88 различают механическое, коррозионно-механическое и электроэрозионное изнашивание, а изнашивание деталей машин и механизмов принято классифицировать по причинам, в соответствии с которыми различают механическое, коррозионно-механическое, абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, эрозионное, кавитационное, усталостное, окислительное, электроэрозионное изнашивание и фреттинг-коррозию. К основным явлениям и процессам при трении и изнашивании относятся: схватывание, перенос материалов, задирирование, выкрашивание и отслаивание. Различают схватывание 1-го рода (холодный задир) и 2-го рода (горячий задир).

Установлено два наиболее решающих фактора, влияющих на процесс схватывания трущихся тел: их температура и нагрузка.

Начало процесса заедания может быть вызвано изменением различных факторов, например, увеличением скорости скольжения, нагрузки, температуры контактируемых поверхностей, уменьшением вязкости смазывающего материала и других факторов. В процессе заедания резко возрастает интенсивность изнашивания поверхностей, что приводит к росту динамических на-

грузок и выходу из строя деталей узла. В обоих случаях заедания прекращается относительное перемещение и происходит заклинивание узла механизма. Однако в настоящее время отсутствует единое мнение о природе процесса заедания, что связано со сложностью явления и трудностями прямого экспериментального наблюдения за началом его возникновения и развития.

Предложена гипотеза, утверждающая, что при работе деталей и механизмов осуществляются два процесса: схватывание металлического сплава и окисление пластически деформированных поверхностных слоев с образованием растворов и химических соединений кислорода с материалами деталей по поверхности их взаимного контакта[5].

Распространена и теория износа пластичных металлических сплавов посредством отслаивания тонких «листочков» от поверхности детали в результате возникновения на определенной и примерно постоянной глубине остаточных напряжений, вызванных скоплением дислокаций, под воздействием другой детали, работающей в режиме скольжения.

Допуская, что изнашивание всей поверхности детали происходит равномерно, число циклов до разрушения, необходимое для аналитической оценки интенсивности износа, может быть определено из уравнения:

$$J = \xi \frac{b\varepsilon^{v+1}h_{max}}{(v+1)nd} \eta_c, \quad (1)$$

где  $b$ ,  $v$  – параметры кривой опорной поверхности;  $\varepsilon$  – относительное сближение поверхностей;  $h_{max}$  – максимального выступа истирающей поверхности;  $\xi$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину площади фактического контакта упругих деформаций,  $0,5 \leq \xi \leq 1$ ;  $\eta_c$  – относительная контурная площадь, участвующая в процессе трения;  $d$  – средний диаметр единичного пятна контакта;  $n$  – число циклов до разрушения.

В настоящее время проведена экспериментальная проверка определения числа циклов до разрушения. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных по интенсивности износа показывает хорошую сходимость результатов и позволяет сделать вывод о возможности использования аналити-

ческой оценки интенсивности износа, основанной на представлении об усталостном разрушении поверхностей для металлов, самосмазывающихся материалов, полимеров и других материалов.

В ряде случаев считают, что понятие усталостного износа как вида разрушения, при котором материал подвергается повторному действию сил, приводящих к накоплению в нем повреждений, может быть использовано и для анализа процесса, который классифицируется как адгезионный износ.

В основу классификации положен механизм отделения продуктов износа от поверхности. Основными видами износа являются адгезия или перенос, резание, коррозия, пластическая деформация и усталостное разрушение, а к специфическим видам износа относят растрескивание, поверхностные реакции, отрыв, расплавление и электрохимические реакции. К последним можно отнести и фреттинг-коррозию, которая происходит в болтовых и заклепочных соединениях[6].

Достаточно полная классификация износа при трении (табл. 1) дана в работе , в которой для характеристики видов износа в основу положен тип относительного движения контактируемых тел. По виду движения различают износ, вызываемый скольжением, качением и вращением. Нагрузка при движении может быть статической, переменной или ударной, а также равномерной или неравномерной.

Таблица 1 – Классификация износа при трении

Вид износа	Тип движения	Нагрузка
Промежуточное вещество жидкость		
При скольжении со смазкой	Скольжение	Постоянная или переменная
При качении со смазкой	Качение	
При вращении со смазкой	Вращение	
Промежуточное вещество газ		

При скольжении со смазкой	Скольжение	
При качении со смазкой	Качение	--
При вращении со смазкой	Вращение	
Промежуточное вещество твердое		
Абразивный при скольжении	Скольжение	
То же при качении	Качение	--
То же при вращении	Вращение	
Вызываемый струей: скользящей	Закрытое истечение	Параллельно к поверхности износа
падающей под углом		Под углом к поверхности износа
падающей перпендикулярно		Перпендикулярно
Кавитационный	Удары при захлопывании пузырьков с пониженным давлением	
Обусловленный ударами капель жидкости	Удары свободно движущихся капель жидкости	
Ударный	Повторяющееся соударение двух твердых тел	

практической точки зрения важнейшее значение имеют два вида износа:

- вызывается трением скольжения (рис. 4);
- вызывается трением качения (рис. 5).

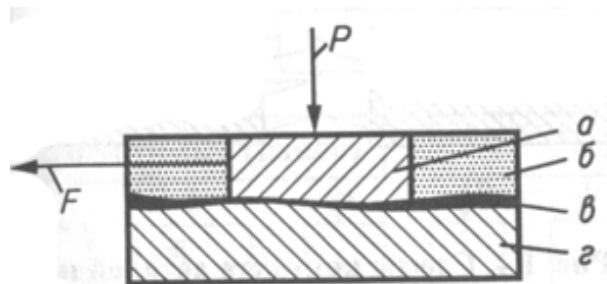


Рисунок 4– Схема износа при трении скольжением:

$F$ – направление движения; $P$ – усилие давления; $a$  – контактирующее тело 1; $b$  – окружающая среда; $v$  – промежуточное вещество; $z$  – контактирующее тело 2

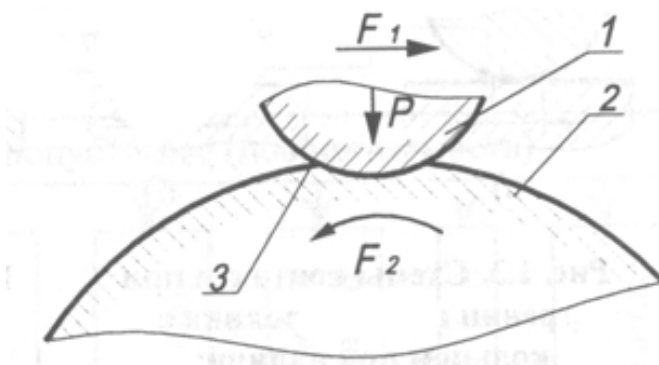


Рисунок 5–Схема износа при трении качения:

$F_1$  – направление движения ролика 1; $F_2$ – направление движения вала 2; $3$  – упругая деформация при переменном нагружении; $P$ – усилие давления

В процессе износа при скольжении материалы под действием напряжений работают на срез, а в процессе трения износа при качении развиваются нормальные напряжения. При длительном нагружении под действием переменных давлений это приводит к выкрашиванию частиц на поверхности, т.е. образованию раковин (питтинга).

Если наряду с нормальными напряжениями развиваются также и касательные, то происходит проскальзывание, в наибольшей степени способствующее процессу износа. Нагружение, сочетающее скольжение и качение, возможно, например, в зубчатых передачах.

Износ при скольжении, вызываемый вращением, образуется в вершинах опор и в шаровых подпятниках. Это тот вид износа, при котором имеет место эффект вращения при относительном смещении соприкасающихся участков поверхности. Все три типа износа могут проявиться в смешанных формах.

Типичным примером ударного износа является износ колец седла клапана двигателя внутреннего сгорания. Ударный износ, как и износ, обусловленный трением качения, приводит к образованию питтинга.

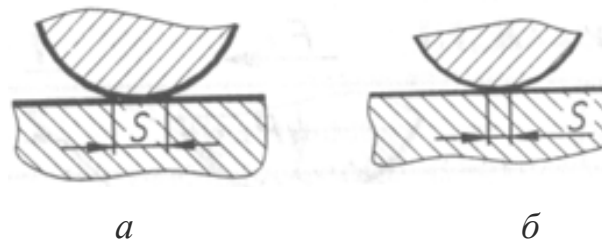


Рисунок 6 – Схемы контакта при трении качения ролика с кольцом при наличии граничной смазки (а) и без нее (б)

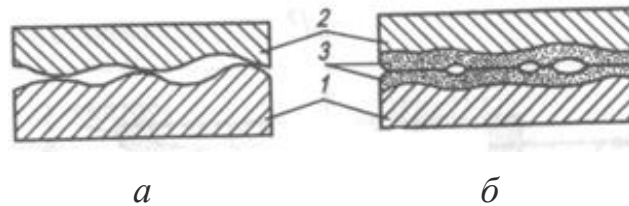


Рисунок 7–Схемы контакта деталей при граничной смазке (а) и избирательном переносе (б): 1 – сталь; 2 – бронза; 3 – пленка меди

При обычном трении как без смазочного материала, так и при наличии граничной смазочной пленки детали контактируют на очень малой площади, составляющей 0,01 ... 0,0001 номинальной площади сопряженных поверхностей. В результате участки фактического контакта испытывают высокие напряжения, что приводит к их взаимному внедрению, пластической деформации и интенсификации изнашивания. Схемы контакта при трении качения приведены на рис. 6, а на рис. 7– схемы контакта стальной и бронзовой трущихся деталей при граничной смазке (рис. 3, а; рис. 4, а) и при избирательном переносе (ИП) (рис. 4, б). Если при граничной смазке контакт сопряженных поверхностей происходит только в отдельных точках, то при ИП он осуществляется через пластически деформируемый мягкий и тонкий слой меди. В результате площадь фактического контакта возрастает в десятки раз, а материал деталей испытывает лишь упругие деформации. При граничной смазке взаимодействие неровностей поверхностей вызывает усталостное изнашивание. При ИП трение непрерывное, площадки действительного контакта плоские. При трении с граничной смазкой и трении без смазочного материала поверхности деталей всегда покрыты окисными пленками (рис. 8), ко-

которые предотвращают непосредственный контакт металлических поверхностей и их схватывание. Однако окисные пленки хрупки, не способны многократно деформироваться и поэтому в процессе трения разрушаются в первую очередь. С повышением температуры в зоне трения окисные пленки утолщаются, при этом увеличивается и объем их разрушения.

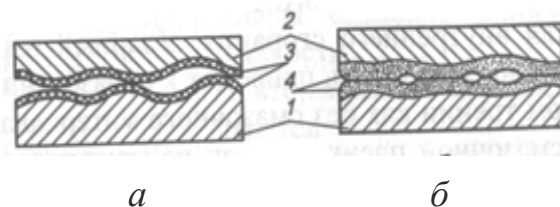


Рисунок 8—Схемы контакта деталей при наличии окисла при граничной смазке (а) и избирательном переносе (б): 1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисные пленки; 4 – сервовитные пленки

Виды разрушения деталей при трении могут быть допустимыми и недопустимыми (схема 1).





Схема 1 – Классификация видов разрушения при трении

#### **4Повышение износостойкости зубьев экскаватора**

Зубья ковшей экскаваторов в процессе эксплуатации подвергаются абразивному износу с наличием динамических нагрузок. Изнашивание происходит преимущественно в виде микро и макро резания. При разработке скальных грунтов комплект зубьев ковшей экскаваторов интенсивно изнашивается и срок их службы из низколегированной стали 25Л не превышает 5-10 дней.

Работа экскаваторов с изношенными зубьями снижает производительность и повышает износ машины, приводит к дополнительным затратам на замену изношенных деталей.

Известен зуб ковша экскаватора, содержащий для повышения износостойчивости и обеспечения самозатачивания твердосплавную вставку, смонтированную в средней его части по продольной оси.

Недостатков указанной конструкции является то, что она не обеспечивает защиту от износа рабочих поверхностей зуба, а защищает лишь его переднюю часть и сердцевину.

Известен также зуб ковша экскаватора, содержащий вставки из износостойкого чугуна, установленные на рабочих поверхностях, подвергаемых абразивному износу.

Армирование зубьев ковшей экскаваторов крупными износостойкими пластинами позволяет повысить стойкость на 20–25%, в зависимости от условий работы.

Существенным недостатком таких зубьев, с крупными пластинами из износостойкого чугуна, является недостаточная механическая прочность пластин.

В процессе эксплуатации при ударах о скальный грунт происходит разрушение пластин из хрупкого износостойкого чугуна и их последующее выкрашивание, после чего возрастает интенсивность абразивного износа. Срок службы при этом резко снижается и не удовлетворяет требованиям эксплуатационников.

Целью является увеличение срока службы зуба ковша и обеспечение эффекта самозатачивания.

Поставленная цель достигается тем, что в конструкцию зуба включены вставки из износостойкого чугуна в виде отдельных деталей параллелепipedной и цилиндрической формы с обратной конусностью и расположены по рабочим поверхностям в стальной основе.

Параллелепipedной формы вставки располагаются в острие зуба в один ряд с интервалом 0,5–1,5 их ширины, а далее следуют равномерно расставленные цилиндрические вставки в рядах с межцентровым расстоянием друг от друга, равным 1,5–3,0 диаметра вставки.

Предлагаемое техническое решение позволяет повысить удароустойчивость вставок из износостойкого чугуна, так как они выполнены в виде мелких деталей.

Каждый отдельный элемент (вставка с малыми размерами), расположенный в пластичной стальной основе, за счет своих малых линейных размеров делает их практически неуязвимыми для разрушения при ударных нагрузках.

Вставки предложенной конструкции, выполненные из износостойкого чугуна, позволяют защитить рабочую поверхность зуба от абразивного износа за счет теневого эффекта на протяжении всего периода истирания вставок по толщине.

В дальнейшем, после износа вставок, процесс абразивного изнашивания протекает, как в обычных, не армированных деталях.

Параллелепipedная форма износостойких вставок принята с целью максимальной защиты рабочей поверхности у острия зуба.

Защита остальной (ровной) поверхности осуществляется вставками цилиндрической формы, как наиболее рациональной, обеспечивающей наименьшее внутренние напряжения и повышенную трещинноустойчивость при литье, что повышает эксплуатационные свойства и надежность зуба.

При расположении износостойких вставок на одной из рабочих поверхностей зуба ковша позволяет создать дополнительный эффект самозатачивания.

Поддержание зуба ковша экскаватора в заостренном состоянии способствует снижению затрат и повышению производительности оборудования.

На рис. 9 представлен зуб ковша экскаватора, армированный вставками из износостойкого чугуна (разрез по А - А).

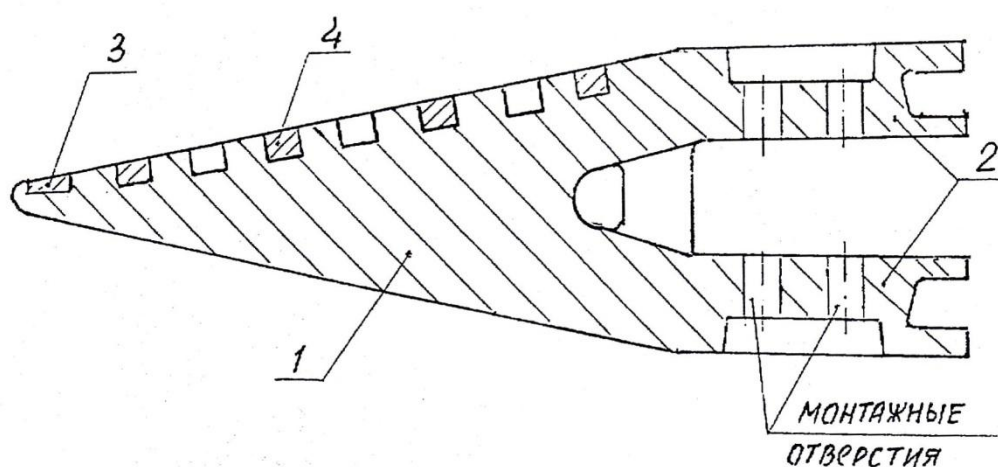


Рисунок 9 – Зуб ковша экскаватора

Зуб ковша состоит из корпуса (1) и хвостовика (2), выполненных из стали (основы), и вставок параллелепипедной (3) и цилиндрической (4) форм, изготовленных из износостойкого чугуна.

Износостойкие вставки параллелепипедной формы располагаются на передней режущей кромке зуба (у острия) в один ряд с интервалом 0,5 – 1,5 ширины вставки, длина и толщина которой определяются конструктивно и не превышают 2 – 3 кратной ее ширины.

Цилиндрические вставки расположены равномерно в рядах с межцентровым расстоянием, равным 1,5 – 3,0 диаметра вставки.

Такое расположение износостойких вставок обеспечивает защиту стальной основы от абразивного износа за счет использования теневого эффекта.

Использование зубьев ковшей экскаваторов предложенной конструкции позволит повысить удароустойчивость вставок и абразивную износостойкость, что приведет к существенному повышению срока службы изделия.

Известен способ изготовления зуба ковша с упрочнением рабочей поверхности путем поверхностного легирования.

Способ заключается в том, что в полость литейной формы проставляются вставки, изготовленные из порошков ферросплавов с жидких стеклом. При заливке формы сталью ферросплавы расплавляются и легируют поверхностный рабочий слой отливки.

Легирование специальными ферросплавами упрочняет рабочую поверхность, делает ее более износостойкой. Стойкость таких зубьев повышалась на 30-40%, что явно недостаточно.

Известен также способ изготовления зубьев ковша с упрочнением рабочей поверхности вставкой из износостойкого чугуна.

Способ изготовления заключается в том, что в литейную форму при отливке зуба устанавливается пластина из износостойкого чугуна и примыкает к поверхности, подлежащей упрочнению. В готовую форму заливают сталь (основа отливки) и получают отливку зуба, армированного пластиной из износостойкого чугуна.

Данный способ изготовления принят за прототип.

Целью является существенное повышение срока службы ковша экскаватора с обеспечением эффекта самозатачивания.

Поставленная цель достигается тем, что изготовление зуба осуществляется в процессе литья из стали с использованием мелких вставок из износостойкого чугуна параллелепипедной и цилиндрической форм цельнолитой конструкции с элементом крепления в литейной форме.

Предлагаемый способ изготовления зуба отличается от известного тем, что предварительно отлитые из износостойкого чугуна вставки (3) и (4), см. рис. 10, в виде мелких деталей параллелепипедной и цилиндрической формы цельнолитой конструкции проставляют в нижнюю полуформу и фиксируют с

помощью элементов крепления по одной или двум рабочим поверхностям (рис. 11, разрез Б-Б).

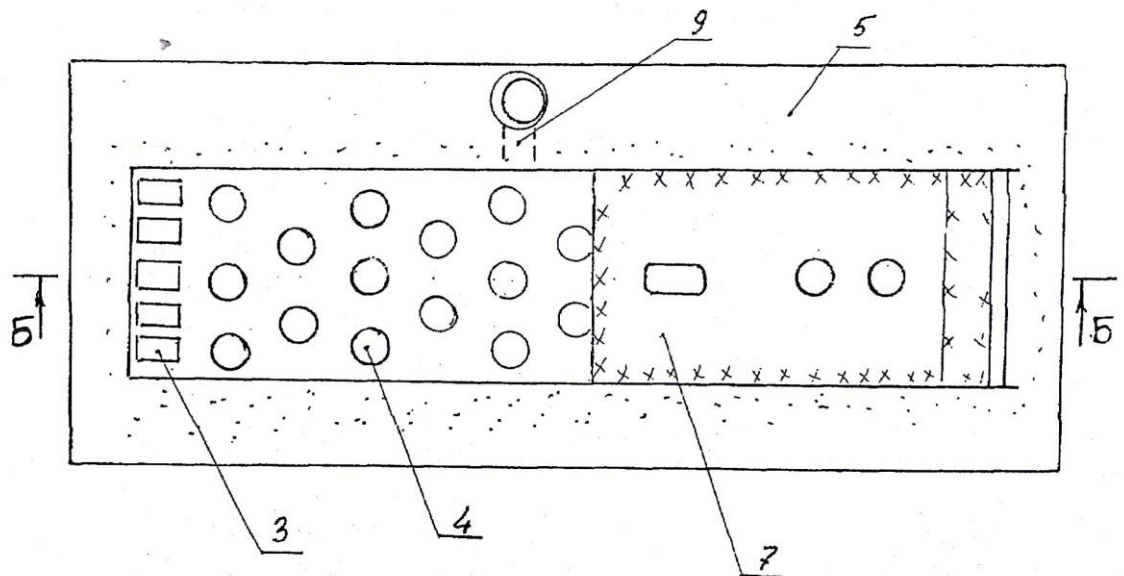


Рисунок 10 – Отливка песчано-глинистой смеси

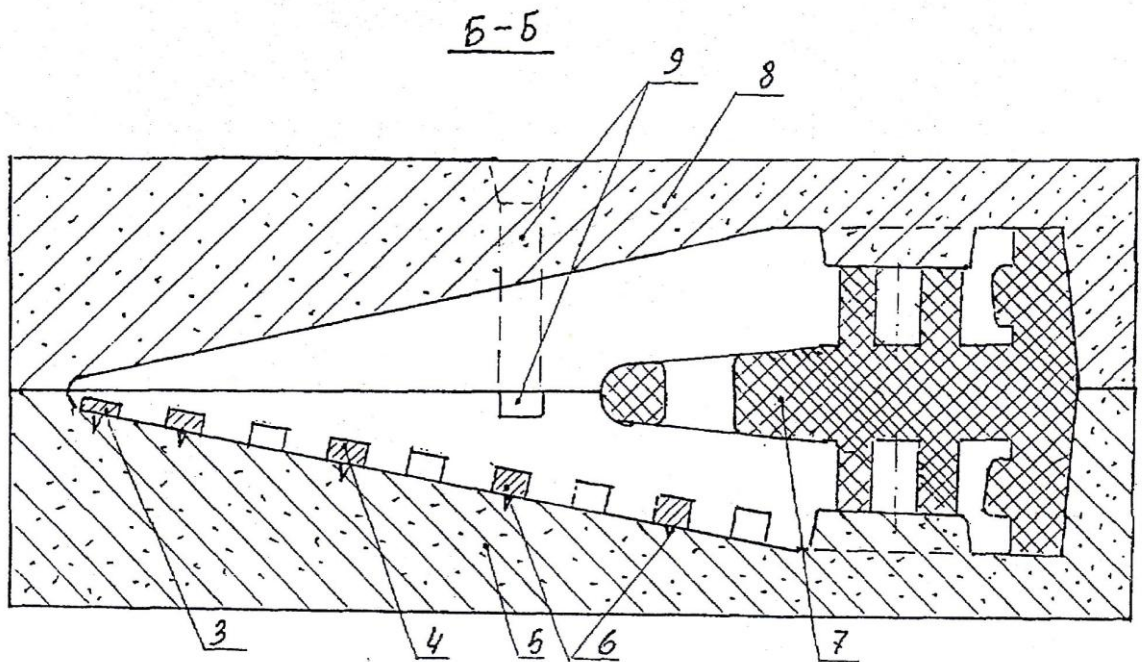


Рисунок 11 -Литейная форма для отливки коронки рыхлителя

Вставки параллелепипедной формы располагают на участке, образующем острый зуб, в один ряд с интервалом 0,5 – 1,5 их ширины, а цилиндрические в продолжение рабочей поверхности в рядах с межцентровым расстоянием, равным 1,5 – 3,0 диаметра вставок.

Для выполнения внутренней полости отверстий в полуформу устанавливают песчаный стержень (7).

После приостановки в нижнюю полуформу износостойких вставок и песчаного стержня ее накрывают верхней полуформой (8) с элементом литниковой системы.

Собранная литейная форма через литниковую систему (9) заливается жидкой сталью.

Закристаллизовавшуюся армированную отливку в дальнейшем подвергают выбивке из формы, удалению стержня, очистке от пригара, обрубке облоев и удалению заусениц.

После этого армированную отливку зуба подвергают термообработке (закалке) с целью придания пластических свойств основе металла и дополнительного увеличения износостойкости чугуном вставкам и зубу в целом.

Такая конструкция зуба и способ его изготовления позволяют создать за счет теневого эффекта износостойкую деталь, способную выдержать большие динамические нагрузки в сочетании с высокой абразивной стойкостью.

1 Зуб ковша экскаватора, включающий корпус, хвостовик, выполненные из стали, и вставку, отличающийся тем, что вставка выполнена в виде мелких деталей из износостойкого чугуна параллелепипедной и цилиндрической формы с обратной конусностью и распложенных внутри стальной основы по рабочим поверхностям, причем вставки параллелепипедной формы расположены в острие зуба в один ряд с интервалом 0,5 – 1,5 их ширины, а цилиндрические – равномерно на остальной рабочей поверхности в рядах с межцентровым расстоянием, равным 1,5 – 3,0 диаметром вставок.

2 Зуб ковша экскаватора по п. 1, отличающийся тем, что износостойкие вставки параллелепипедной формы имеют размер 20×30×10 мм, а цилиндрические – диаметр 30 мм.

3 Способ изготовления зуба ковша экскаватора, содержащего стальную основу и износостойкую вставку, согласно которому в литейную форму при отливке зуба устанавливают износостойкую вставку, в литейную форму за-

ливают стальную основу, после чего армированную отливку зуба удаляют из литейной формы и производят термообработку, отличающийся тем, что предварительно отлитые из износостойкого чугуна вставки в виде мелких деталей параллелепipedной и цилиндрической формы цельнолитой конструкции проставляют в нижнюю полуформу и фиксируют с помощью элементов крепления по одной или двум рабочим поверхностям, при этом вставки параллелепipedной формы располагают на участке, образующем острие зуба, в один ряд с интервалом 0,5 – 1,5 их ширины, а цилиндрические – в продолжении рабочей поверхности в рядах с межцентровым расстоянием, равным 1,5-3,0 диаметром вставок, причем для выполнения внутренней полости отверстий в отливке зуба устанавливают песчаный стержень, а после приостановки в нижнюю полуформу верхней, после чего готовая литейная форма заливается через литниковую систему жидкой сталью, после чего закристаллизовавшаяся армированную отливку зуба удаляют из литейной формы и производят операции по выбивке стержня, очистке от пригара и заточки заусениц и заливо.

4 Способ изготовления зуба ковша экскаватора по п. 3, отличающийся тем, что износостойкие вставки параллелепipedной формы изготавливают размером 20×30×10 мм, а цилиндрические – диаметром 30мм.



## **5 Выбор материала**

В настоящее время разработано и используется достаточно большое количество износостойких материалов, состав которых изменяется в широких пределах – от железоуглеродистых сплавов с общим содержанием легирующих элементов 1,5 – 2 %, до сплавов на основе никеля, кобальта и вольфрама, концентрация которых достигает 90 – 96 %. Изменением химического состава сплавов и их структуры, достигается определенный комплекс свойств, применительный к конкретным условиям эксплуатации.

Научные исследования и разработки в области износостойких материалов показывают, что для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного, ударно-абразивного или ударного износа эффективно применение белых чугунов, о чем свидетельствует ряд работ, проведенных в этой области. Высокая износостойкость данных сплавов обеспечивается наличием в структуре легированных карбидов железа и (или) карбидов легирующих элементов[7].

При рассмотрении износостойких материалов, были установлены три группы, имеющие практическое значение для получения слоистых композиционных материалов в условиях высокоэнергетического индукционного нагрева:

- легированные чугуны;
- сплавы на основе кобальта и никеля;
- псевдосплавы.

### **5.1 Высокохромистые и хромомарганцевые чугуны**

Твердость комплексных карбидов железа и марганца составляет 800 НВ, а образующихся специальных карбидов хрома типа достигает 1000 – 1200 НВ. Чтобы исключить образование карбида цементитного типа при 2 % С, нужно не менее 17 – 18 % хрома. Максимальной износостойкостью обладают

чугуны с содержанием хрома 12 – 24 %, имеющие карбиды типа  $Me_7C_3$ . Повышение содержания хрома свыше 30 % при 3,4 % С приводит к снижению износостойкости, так как в чугуне появляются крупные хрупкие иглы заэвтектических карбидов. При этом минимальное содержание хрома для образования таких карбидов должно составлять не менее 10 %. Высокая микротвердость карбидов хрома побудила применять наплавочные материалы с большим (около 30 %) содержанием хрома. Однако такие отливки обладая высокой износостойкостью не выдерживают ударных нагрузок поэтому, для повышения ударной вязкости в их состав был введен никель в количестве 3 – 5 %. Относительно новым и малоизученным сплавом, относящегося к первой группе, является сплав ИЧХ15Г4НТ разработанный Запорожским машиностроительным институтом, который применяли на АО «Востокмашзавод», для изготовления мелющих шаров для шаровых мельниц. Проведенные исследования показали, что данный сплав относится к группе самозакаливающихся сплавов т.к. после литья в его структуре образуется мартенсит, вследствие распада 40 – 50 % объема аустенита, что не допустимо при эксплуатации с высокими ударными нагрузками.

Сплав У30Х28Н4С4, известный под названием сормайт №1 представляет собой высоколегированный белый чугун. Его свойства существенно зависят от скорости охлаждения и находятся на следующем уровне: температура плавления  $1275^{\circ}C$ ; твердость 57 – 59 НРС. При этом необходимо отметить, что линейный коэффициент температурного расширения (ЛКТР) металлического порошка сормайта составляет  $12 \cdot 10^{-6}$ , после плавления и формирования слоя, ввиду образования большого количества остаточного аустенита, который имеет больший ЛКТР, его величина может увеличиться до  $17 \cdot 10^{-6}$ . ЛКТР низкоуглеродистой стали составляет  $14,3 \cdot 10^{-6}$ .

Сормайт №1 выпускается в промышленном масштабе в виде электродов и гранулированного порошка. Основная доля потребления сормайта приходится на восстановление рабочих органов строительно-дорожной техники, а также, в сельскохозяйственном машиностроении для аналогичных целей на

почвообрабатывающих машинах. Использование сормайта позволяет получать слои толщиной до 5 – 6 мм.

Наряду с сормайтом достаточно широкое применение имеет сплав ПГ С-27, с аналогичными свойствами, областью применения и составом, за исключением наличия вольфрама в количестве 0,5 % и молибдена 0,3 – 0,4 %.

Сплав У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), в котором никель заменен марганцем в количестве 2,5 – 3,5 % обладающего хорошими технологическими свойствами, позволяет получать слои с высокой твердостью и износостойкостью. Однако эксплуатация при существенных ударных нагрузках невозможна. По этой причине данный сплав находит применение при получении быстроизнашивающихся деталей угольных машин рештаков, скребковых транспортеров.

При изнашивании в абразивной среде со значительными ударными нагрузками положительно зарекомендовал себя хромомарганцево-вольфрамовый чугун У35Х26Г6В2РТ, модифицированный бором и титаном.

Сплав У35Х2Н5 известный под названием «нихард» получил широкое распространение (особенно во Франции, Канаде и США), для отливок подвергающихся абразивному износу. Состав нихарда сбалансирован таким образом, что углерод находится в связанном виде, а формирующаяся металлическая матрица состоит из мартенсита и остаточного аустенита. Подавление процесса графитизации осуществляется за счет легирования хромом, а образование мартенсита - никелем. В нихарде практически весь хром находится в карбидах цементитного типа твердость которого значительно ниже карбидов типа, а весь никель растворен в металлической основе. Применение нихарда для повышения износостойкости рабочих органов строительной-дорожной техники затруднительно, т.к. для повышения стойкости к воздействию ударных нагрузок требуется проведение термической обработки, после которой твердость снижается до 48 – 50 HRC[7].

## 5.2 Стеллиты (кобальтохромвольфрамовые сплавы)

Имеют высокие механические характеристики. Особенно ценным свойством стеллитов является весьма удачное сочетание высокой жаропрочности с хорошим сопротивлением абразивному износу, коррозии и эрозии. По твердости в горячем состоянии стеллиты приближаются к металлокерамическим твердым сплавам, а по окалиностойкости даже превосходят их. Используются различные способы нанесения, в том числе и индукционный нагрев. Разработаны различные модификации сплавов этого типа, структура которых изменяется в широком диапазоне – от доэвтектической до заэвтектической. По обзорным данным, эвтектический состав сплава типа стеллита соответствует концентрации углерода 1,3 % и имеет температуру плавления 1250 °С.

Стеллиты различных марок (В2К, В3К, НХ13С2Р2) используют для повышения эксплуатационных свойств клапанов двигателей тепловозов, вольфрамовых колец, буровых долот, уплотнительных поверхностей арматуры паропроводов и других деталей. Применение стеллитов ограничивают высокая стоимость и дефицитность компонентов – вольфрама и особенно кобальта. Недостатком стеллитов является также склонность к образованию трещин, ввиду чего необходим предварительный подогрев деталей до 650 – 800 °С, что не допустимо при получении слоистых композиционных материалов с применением высокоэнергетического индукционного нагрева, т.к. предварительный прогрев компонента основы значительно уменьшит скорость охлаждения после прохождения индуктором зоны плавления, что отобразится на формировании структурно-фазового состава слоистого композиционного материала и комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств.

Ко второй группе относятся и дисперсионно-твердеющие сплавы, представляющие собой композиции на железокобальтовой основе с добавлением молибдена или вольфрама. Отличительным преимуществом этих сплавов является то обстоятельство, что непосредственно после получения металл имеет низкую твердость (30 – 35 HRC), что позволяет подвергать полученные из-

деля механической обработке. Получение высокой твердости (до 70 HRC) достигается после отпуска, при котором происходит распад пересыщенного твердого раствора и выделение из него упрочняющей фазы. Однако сплавы, упрочняющиеся при старении, имеют как правило высокую температуру плавления, поэтому в случае применения высокоэнергетического индукционного нагрева они могут быть нанесены на рабочую поверхность детали лишь по технологической схеме, предусматривающей использование жидкого присадочного материала, что в значительной степени снижает технико-экономические показатели, а также возможность нанесения износостойкого покрытия без использования специальной оснастки[7].

### **5.3 Тугоплавкие материалы**

Свойства композитных материалов определяются физико - механическими свойствами их компонентов и характером диффузионного взаимодействия между тугоплавкими включениями и связкой. Можно полагать, что существует известная аналогия между псевдосплавами, пригодными для индукционного метода и металлокерамическими спечёнными твёрдыми сплавами.

В качестве тугоплавкого компонента в износостойких псевдосплавах (релит, ПС-3, ПС-4, ПС-5, ПС-6) чаще всего применяются карбиды или бориды вольфрама и хрома. Эти вещества имеют высокую микротвёрдость (значительно выше твёрдости абразивных частиц), обладают хорошей температурной устойчивостью, их удельный вес близок к удельному весу жидкой стали (за исключением карбидов вольфрама), прочностные свойства также достаточно высоки. В условиях индукционного метода чистые карбиды хрома могут быть заменены порошком углеродистого феррохрома марки ФХ80.

Важнейшее значение при разработке композиций псевдосплавов имеет правильный выбор связующего вещества. Связующее вещество должно обладать сравнительно низкой температурой плавления, причём жидкая фаза

должна смачивать тугоплавкие соединения. Для обеспечения прочной связи между компонентами псевдосплава связующее вещество должно растворять часть тугоплавких соединений, однако желательно, чтобы при последующем охлаждении они вновь выделились из твёрдого раствора.

Вторичные фазы, выделяющиеся из связки при охлаждении, не должны ухудшать связь между компонентами псевдосплава. Механические свойства связки должны быть достаточно высокими[7].

Композиции псевдосплавов, рекомендованные для получения слоистых композиционных материалов в условиях высокоэнергетического индукционного нагрева, имеют следующие условные обозначения: сормайт-релит (ПС-3), сормайт-феррохром (ПС-4); белый чугун-феррохром (ПС-6). Однако применение псевдосплавов, как и некоторых других материалов рассмотренных в данной работе ограничивает их область применения. Применение псевдосплавов не допустимо при условии абразивного износа в сочетании с ударными нагрузками, а максимально допустимая величина получаемого слоя составляет не более 2мм. Также недостатком псевдосплавов аналогично сплавам II группы, может послужить наличие в составе ферросплавов.

#### **5.4 Низколегированная сталь 25Л**

Использование в промышленности: станины прокатных станов, шкивы, траверсы, поршни, буксы, крышки цилиндров, плиты настольные, рамы рольгангов и тележек, мульды, корпуса подшипников, детали сварно-литых конструкций и другие детали, работающие при температуре от - 40 до 450 °С под давлением[8].

Марка: 25Л (заменители: 20Л, 30Л)

Класс: Сталь для отливок обыкновенная

Вид поставки (ГОСТ 25Л): отливки ГОСТ 977-88.

Химический состав стали 25Л, %

C	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,22 - 0,3	0,35 - 0,9	до 0,3	до 0,045	до 0,04	до 0,3	до 0,3	~97

Свойства и характеристики стали 25Л:

Термообработка: Нормализация 880 –900°C; Отпуск 610 – 630°C.

Твердость материала: НВ 10 –1 = 124 – 207 МПа

Температура критических точек:  $A_{c1} = 735$ ,  $A_{c3} = 840$ ,  $A_{r3} = 824$ ,  
 $A_{r1} = 680$ .

Свариваемость материала: ограниченно свариваемая. Способы сварки: РДС, АДС под газовой защитой, ЭШС. Рекомендуется подогрев и последующая термообработка.

Флокеночувствительность: не чувствительна.

Склонность к отпускной хрупкости: не склонна.

Обрабатываемость резанием: в термообработанном состоянии при НВ 160 К  $\nu$  тв. спл=1,25 и Куб.ст=1

Температура начала затвердевания, °C: 1490 – 1504

Показатель трещиностойчивости, Кт.у.: 1,0

Склонность к образованию усадочных раковин, Ку.р.: 1,0

Жидкотекучесть, Кж.т.: 1,0

Линейная усадка, %: 2,2 – 2,3

Склонность к образованию усадочной пористости, Ку.п. 1,0.

## 5.5 Твердые сплавы. Сормайт №1

Твердые сплавы широко применяются в промышленности для наплавки быстроизнашивающихся поверхностей, для наплавки и напайки режущих инструментов.

Основой всех твердых сплавов являются тугоплавкие карбиды металлов, которые представляют собой химические соединения металла с углеродом.

Твердые сплавы можно разделить на следующие группы:

- 1) литые твердые сплавы;
- 2) порошкообразные твердые сплавы;
- 3) металлокерамические сверхтвердые сплавы.

Наибольшее распространение получили следующие твердые сплавы: сормайт, сталинит, вокар и победит.

Сормайт представляет собой литой сплав: изготавливается в виде прутков диаметром 3—8 мм и длиной до 450 мм. Применяется для наплавки быстроизнашивающихся частей деталей машин и инструментов. Наплавка производится ацетиленокислородным пламенем или электрической дугой по способу Славянова[8].

Сормайт № 1 имеет следующий химический состав: никеля 3 – 5%, хрома 25 – 31%, марганца 1,5%, углерода 2,5 – 3,3%, кремния 2,8 – 4,2%, остальное — железо. Твердость HRC 48 – 52. Сормайт № 1 не требует термобработки после наплавки и может обрабатываться только шлифовкой карборундовыми камнями.

Используется сормайт № 1 для наплавки углеразмольных мельниц, молотков дробилок, зубьев ковшей экскаваторов, ножей смесителей револьверных прессов.

Наплавка в нижнем и наклонном положении на постоянном токе обратной полярности.

#### Характеристики электродов

Покрытие-основное.

Коэффициент наплавки – 13,0 г/Ач.

Расход электродов на 1 кг наплавленного металла – 1,4 кг.

Твердость наплавленного металла.....49 – 56,5 HRC

#### Рекомендуемая сила тока при наплавке, А

Диаметр	Положение шва
---------	---------------



электрода, мм	нижнее
4,0	190 – 220
5,0	
6,0	

#### Технологические особенности наплавки

Наплавку производят предельно короткой дугой, только в один слой, с подогревом деталей до температуры 500°С[8].

## **6 Технология изготовления**

Технология изготовления заключается в следующем. В отливаемой форме коронки рыхлителя устанавливаются стержни которые образуют на полученной заготовке технологические отверстия. После заливки металла Сталью 25Л, отливка очищается до металлического блеска с помощью пескоструйной или дробеструйной обработкой. Заготовка подается на технологическое место в нижнем положении, где производится заплата технологических отверстий с помощью механизированной наплавки порошковой проволокой. Сочетание твердосплавных вставок и основы детали может быть различным и будет зависеть от интенсивности ударно-абразивных нагрузок.

### **6.1 Наплавка**

В настоящее время в промышленности используется большое количество различных видов наплавки.

Ручная дуговая наплавка. Ручная наплавка штучными электродами рекомендуется для наплавки на единичные изделия сложной формы. К достоинствам относится возможность наплавки практически любого состава. Кроме того, наплавка может проводиться во всех пространственных положениях, а используемое оборудование относительно несложное и недорогое. Последние два обстоятельства позволяют осуществлять наплавку даже в полевых условиях без трудоемкой разборки и последующей сборки сложных и громоздких агрегатов. К недостаткам относится низкая производительность (2 – 4 кг/час) и вследствие этого повышенная стоимость работ. Количество работы в значительной степени зависит от квалификации сварщика.

Наплавка выполняется металлическими плавящимися одиночными электродами, пучком электродов, лежачими пластинчатыми электродами, трубчатыми электродами, дугой прямого и косвенного действия и трехфазной дугой.

Наплавку электродами можно выполнять во всех пространственных положениях. Она выполняется путем последовательного наложения валиков, наплавляемых при расплавлении электрода, на поверхность изделия. Наплавляемая поверхность при этом должна быть чистой (зачищена до металлического блеска). Поверхность каждого наложенного валика и место для наложения следующего валика также тщательно зачищают от шлака, окалины и брызг.

Для получения сплошного монолитного слоя наплавленного металла каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий на  $1/3 - 1/2$  своей ширины.

Толщина однослойной наплавки составляет 3 – 6 мм. Если необходимо наплавить слой толщиной более 6 мм, перпендикулярно первому наплавляют второй слой валиков. При этом первый слой валиков должен быть тщательно очищен от брызг, окалины, шлаковых включений и других загрязнений.

Автоматическая наплавка проволокой под флюсом. По этому процессу наплавка выполняется либо порошковой проволокой под нейтральным флюсом, либо проволокой сплошного сечения под легирующим флюсом. Вторым способом менее распространен и здесь рассматриваться не будет. Рекомендуется для массового использования наплавленных изделий простой формы. Преимуществами являются отсутствие излучения и разбрызгивания, большая производительность (до 15 кг/час), автоматический контроль и вследствие этого высокое качество (не зависящее от квалификации рабочего). Недостатком является сложное и дорогое оборудование, ограниченный выбор наплавочных материалов.

Механизированная наплавка порошковой проволокой. Сочетает многие достоинства ручного и полуавтоматического процессов: высокая производительность, относительно небольшая стоимость работ, возможность наплавки практически любого сплава во всех пространственных положениях, несложное, недорогое и компактное оборудование, позволяющее проводить наплавку «по месту». По сравнению с ручной наплавкой она имеет ряд преимуществ.

ществ. Так, рабочее время используется эффективнее, поскольку отсутствуют перерывы на замену штучных электродов. При этом наплавщик способен выполнить один непрерывный шов вместо последовательности коротких. Увеличивается коэффициент наплавки (проволока расходуется практически полностью, а 5 – 10 см длины каждого ручного электрода выбрасывается). Поэтому полуавтоматический процесс наплавки примерно в четыре раза производительнее ручного и на 30 – 50 % дешевле.

Дуговая наплавка под флюсом. По способу выполнения может быть автоматической или полуавтоматической, а по количеству применяемых проволок – одноэлектродной и многоэлектродной. Применяемые для наплавки под флюсом наплавочные проволоки по форме – на круглые и ленточные.

Дуговая наплавка в защитных газах вольфрамовым (неплавящимся) и проволочным металлическим (плавящимся) электродом. Для защиты дуги используют аргон, азот, водород и углекислый газ.

Производительность труда при наплавке оценивают массой или площадью (размерами) наплавленного металла.

Вибродуговая наплавка. Эта наплавка является разновидностью электрической дуговой наплавки металлическим электродом и выполняется путем вибрации электрода. Амплитуда вибрации находится в пределах от 0,75 до 1,0 диаметра электродной проволоки.

Электрошлаковая наплавка. Отличительной особенностью этого способа наплавки является высокая производительность, при которой могут быть достигнуты не только десятки, но и сотни килограммов наплавленного металла в час. Наплавка производится с принудительным формированием металла за один проход. Электроды применяются практически любого сечения: прутки, пластины и т. п. Глубину проплавления основного металла можно регулировать в широких пределах.

Наплавка открытой дугой. Для этой цели применяют порошковую проволоку с внутренней защитой, которая позволяет расширить область применения механизированной износостойкой наплавки. При наплавке этой прово-

локой применение флюса или защитного газа не требуется, поэтому способ отличается простотой и маневренностью и создается возможность восстановления деталей сложной формы, глубоких внутренних поверхностей, деталей малых диаметров и пр. В настоящее время имеются различные конструкции аппаратуры, а также разработана технология упрочения деталей широкой номенклатуры. Расход проволоки составляет 1,15 – 1,35 кг на 1 кг наплавленного металла. Производительность при полуавтоматической наплавке повышается в 2 – 3 раза по сравнению с наплавкой штучными электродами.

Плазменная наплавка. При плазменной наплавке источником тепла является высокотемпературная сжатая дуга, получаемая в специальных горелках. Большое применение получили плазменные горелки с дугой прямого действия, горящей между неплавящимся вольфрамовым электродом и наплавляемым изделием. Иногда применяют горелки комбинированного типа, в которых от одного электрода одновременно горят две дуги – прямого и косвенного действия.

Присадочным материалом при этом способе наплавки служит проволока, лента, порошок и пр. Практический интерес представляет прежде всего наплавка с присадкой мелкозернистого порошка. В этом случае применяется плазменная горелка комбинированного типа. Порошок при помощи транспортирующего газа подается из питателя в горелку и там вдувается в дугу. За время пребывания в дуге большая часть порошка успевает расплавиться, так что на наплавляемую поверхность попадают уже капельки жидкого присадочного материала.

Перед началом наплавки устанавливают высоту наплавочного слоя. Перед наплавкой, как и перед сваркой, поверхность, подлежащая наплавке, должна быть очищена от грязи, ржавчины, окалины, масла и влаги. При наложении первого слоя наплавки стремятся каждый предыдущий валик перекрывать на 25 – 30 % его ширины, сохраняя при этом постоянство его высоты. При необходимости увеличить высоту наплавочного валика, производят

наплавку следующего валика, очистив перед наплавкой наплавленный слой от неметаллических включений и шлака, образованных при наложении предыдущего слоя.

В зависимости от марки металла наплавка может производиться без подогрева изделия и с предварительным подогревом.

Основными требованиями, предъявляемыми к качеству наплавки, являются: надежное сплавление основного металла с наплавленным; отсутствие дефектов в наплавленном металле; идентичность свойств наплавленного металла.

Надежное сплавление наплавки с основным металлом обеспечивается подбором силы тока, что для наплавочных установок с постоянной скоростью подачи электрода соответствует подбору скорости подачи проволоки или ленты[3].

## **6.2 Оборудование для механизированной наплавки порошковой проволокой**

Основные сведения об изделии и технические данные.

Полуавтомат сварочный типа ПДГО-510 С УЗ.1 серия 02, именуемый в дальнейшем "полуавтомат", предназначен для дуговой сварки плавящимся электродом на постоянном токе в среде защитных газов изделий из малоуглеродистых и низколегированных сталей, с естественным охлаждением горелки. Управление полуавтоматом осуществляется с помощью органов управления, расположенных на механизме подачи, и кнопки на горелке.

Полуавтомат имеют независимое, плавное регулирование скорости подачи электродной проволоки, которое регулируется ручкой потенциометра, расположенного на механизме подачи[4].

Полуавтомат обеспечивает:

- подключение горелки с евразъемом или специальной горелки с разъемом обратных связей;

- плавное регулирование скорости подачи электродной проволоки;
- возможность работы в режиме "Длинные" и "Короткие" швы;
- управление временными значениями цикла сварки:
  - 1) длительность "Продувка газа до сварки" от 0,3 до  $4,0 \pm 1,5$  с;
  - 2) длительность "Вылет проволоки" от 0,05 до  $0,2 \pm 0,1$  с;
  - 3) длительность "Продувка газа после сварки" от 0,3 до  $5,0 \pm 1,5$  с;
- плавное регулирование (дистанционное) выходного напряжения сварочного выпрямителя;
- включение и отключение клапана подачи защитного газа;
- дистанционное включение и отключение сварочного выпрямителя;
- установку кассеты ( $\varnothing 300$ мм) с проволокой емкостью 15 или 30 кг.

Полуавтомат изготовлен по техническим условиям ТУ У 12-20732066-048-96.

Предприятие изготовитель: ОАО электромашиностроительный завод "Фирма СЭЛМА". Адрес предприятия изготовителя: ул. Генерала Васильева 32а, г. Симферополь, республика Крым, Украина, 95000.

Основные технические данные полуавтоматов приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные технические данные полуавтоматов

Наименование параметра	Значения
Напряжения питания, В	36 и 24
Частота, Гц	50
Номинальный сварочный ток, А*	500
Номинальное сварочное напряжение, В*	40
Номинальный режим работы (ПВ) при цикле 5 мин., %*	60
Пределы регулирования сварочного тока, А*	50 – 500
Диаметр стальной сплошной проволоки, мм	1,0 – 1,6
Диаметр порошковой проволоки, мм	1,2 – 2,0
Мощность электродвигателя подающего механизма, Вт	145
Пределы регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/ч	120 – 1100
Тип разъема горелки	Евроразъем

\* – Пределы регулирования сварочного тока (напряжения) определяются сварочным выпрямителем, совместно с которым работает полуавтомат. В таблице в качестве сварочного выпрямителя приведены данные выпрямителя ВД-506 ДК.

Значение рабочего напряжения сварочного выпрямителя в вольтах определяется зависимостью:

$$U=14+0,05\times I_{св.},$$

где  $I_{св.}$  – сварочный ток, А.

Вид климатического исполнения полуавтоматов - УЗ.1 ГОСТ 15150-69.

Полуавтомат предназначен для работы в закрытых помещениях с соблюдением следующих условий:

- температура окружающей среды от минус 10 °С (263 К) до плюс 40 °С (313 К);

- относительная влажность не более 80% при 20 °С (293 К).

Среда, окружающая полуавтомат должна быть невзрывоопасной, не содержать токопроводящей пыли, агрессивных паров и газов, разрушающих металлы и изоляцию.

Условия эксплуатации в части воздействия механических факторов внешней среды по группе М20 ГОСТ 17516-72.

Сведения о содержании драгоценных материалов.

Драгоценные материалы, указанные в ГОСТ 2.608-78, в конструкции изделий и в технологическом процессе изготовления не используются. Сведений о содержании драгоценных материалов в комплектующих изделиях не имеется.

Габаритные размеры и масса полуавтомата приведены в приложении Б. Общая схема полуавтомата – в приложении В. Профили канавок подающих роликов приведены в приложении Г. Подбор параметров сварки в среде CO<sub>2</sub> приведен в приложении Д.



## **7Металлографические исследования**

Проведение металлографических исследований полученных образцов слоистого композиционного материала позволяет определить влияние технологических режимов и толщины получаемого слоя на формирование структурно-фазового состава. Наибольший интерес представляет размер и количественное соотношение фаз, которые характеризуют влияние технологических режимов.

Исследование границы раздела слоистого композиционного материала металлографическим методом позволяет определить влияние времени высокоэнергетического индукционного нагрева и качества подготовки поверхности компонента основы, на ее формирование.

Влияние технологических режимов на формирование границы раздела слоистого композиционного материала

Скорость перемещения изделия относительно индуктора, определяет продолжительность воздействия высокоэнергетического индукционного нагрева.

Получение слоистого композиционного материала со скоростью 8–9 м/час, сопровождается образованием дефектных участков на границе раздела слоистого композиционного материала (рис.12). Образование подобно рода дефектов обусловлено не достаточным временем жидко-твердофазного взаимодействия компонентов, что препятствует адгезии компонентов и протеканию диффузионных процессов.

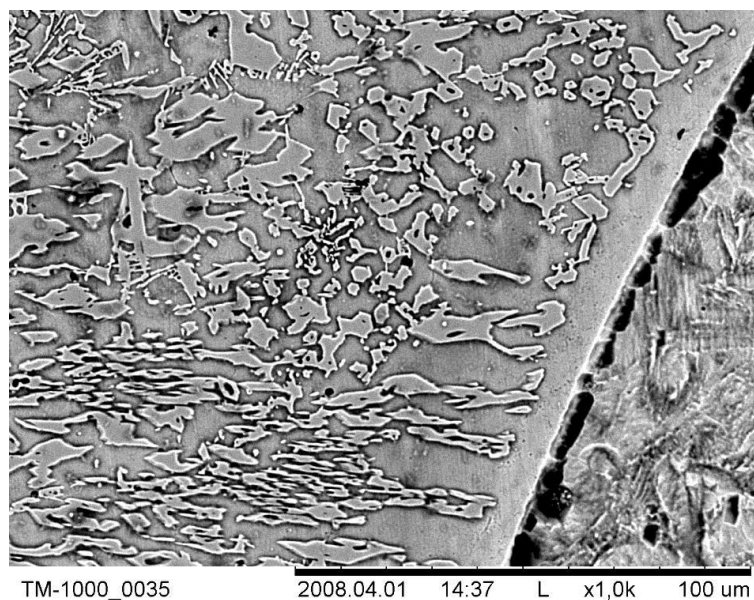


Рисунок 12 – Дефектные участки границы раздела, при скорости 8 – 9 м/час  
(полученный слой слева)

Снижение скорости до 7 м/час, позволят уменьшить протяженность дефектных участков границы раздела (рис. 22 *а, б*). Из данных снимков можно наблюдать уменьшение длины таких участков (рис. 22, *а*), а в некоторых местах дефекты границы раздела выражены в виде совокупности отдельных пор (рис. 13,*б*).

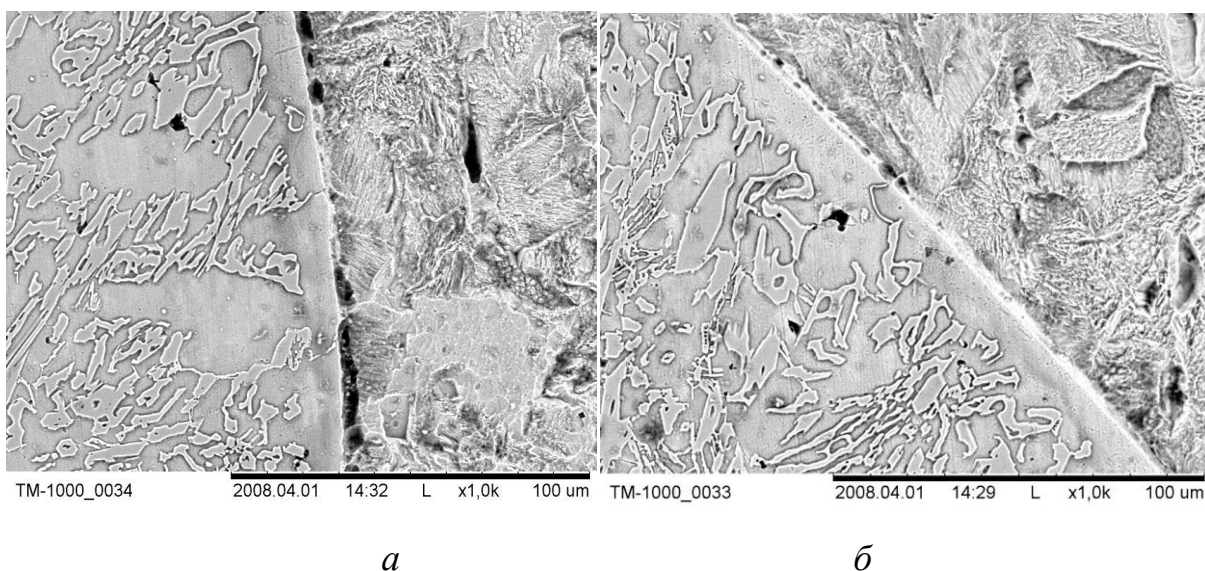


Рисунок 13 – Дефекты границы раздела, при скорости 7м/час:  
*а*– дефектные участки; *б*– образование пор

При получении слоистого композиционного материала со скоростью 6,5 м/час, граница раздела практически вырождена в линию, без образования дефектных участков, а образующаяся карбидная фаза имеет дисперсное строение (рис.14, *а*). При снижении скорости до 5 м/час наблюдается некоторое увеличение толщины границы раздела (рис.14, *б*) и обеднение участка полученного слоя, приближенного к границе раздела, карбидной фазой. Такая разница в структуре очевидна, и связана с увеличением времени воздействия высокоэнергетического индукционного нагрева, что приводит к более сильному прогреву компонента основы и снижению скорости охлаждения.

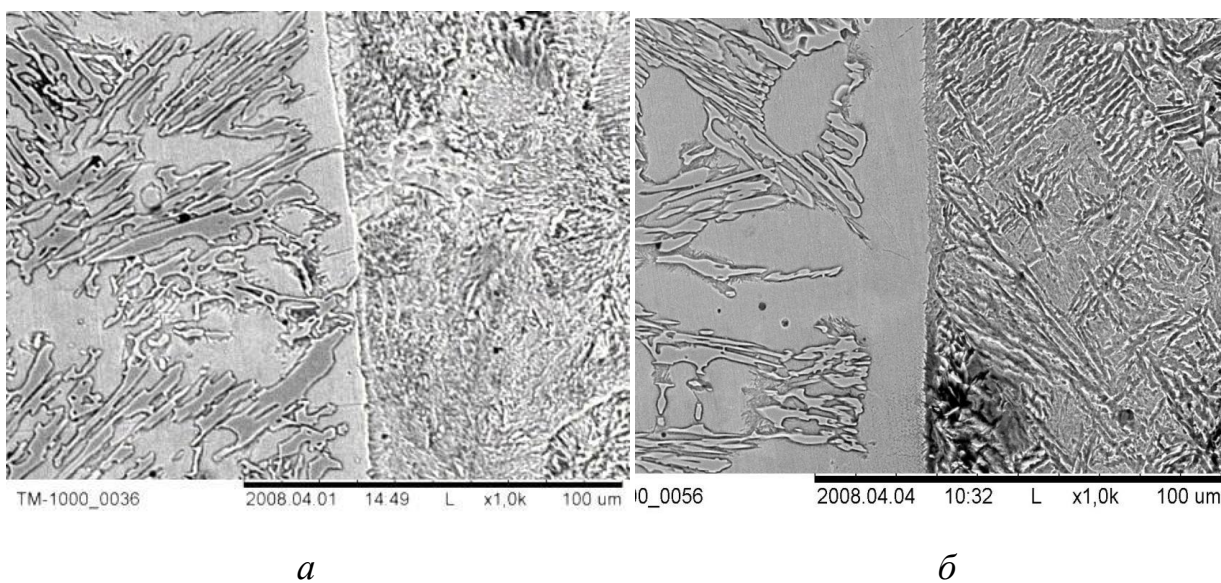


Рисунок 14 - Граница раздела и микроструктура полученного слоя (слева) *а* – со скоростью 6,5 м/час; *б*– со скоростью 5 м/час

Проведенные металлографические исследования полученных образцов показали, что помимо скорости проведения наплавки на формирование границы раздела и образование дефектов, очень важное значение имеет качество подготовленной поверхности компонента основы.

Наличие на поверхности загрязнений, окислов различного происхождения и т.п. приводит к образованию большого количества крупных дефектов в виде грубых разветвленных пор и газовых пузырей, которые расположены как непосредственно на границе раздела (рис.15), так и объеме металла полученного слоя (рис.16).

Образование такого рода дефектов определено отставанием протекания процесса рафинирования компонента основы, от скорости кристаллизации расплавленного металлического порошка, что указывает на не-допустимость получения слоистого композиционного материала, без предварительной механической обработки компонента основы. В данном случае граница раздела приобретает четко выраженную линию без наличия дефектов (рис. 17).



Рисунок 15 – Дефекты на границе раздела слоистого композиционного материала



Рисунок 16 – Дефекты в объеме полученного слоя

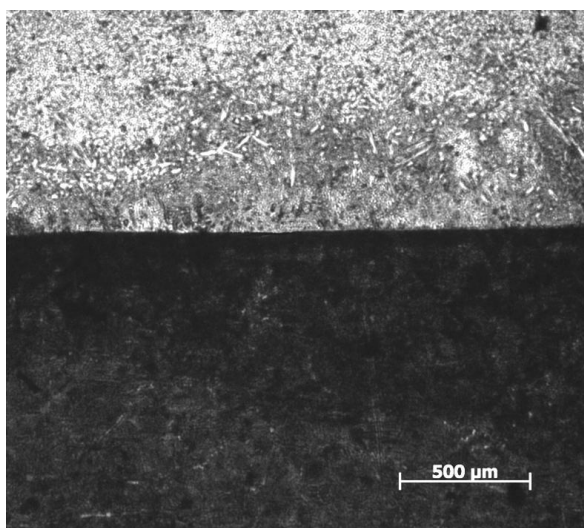
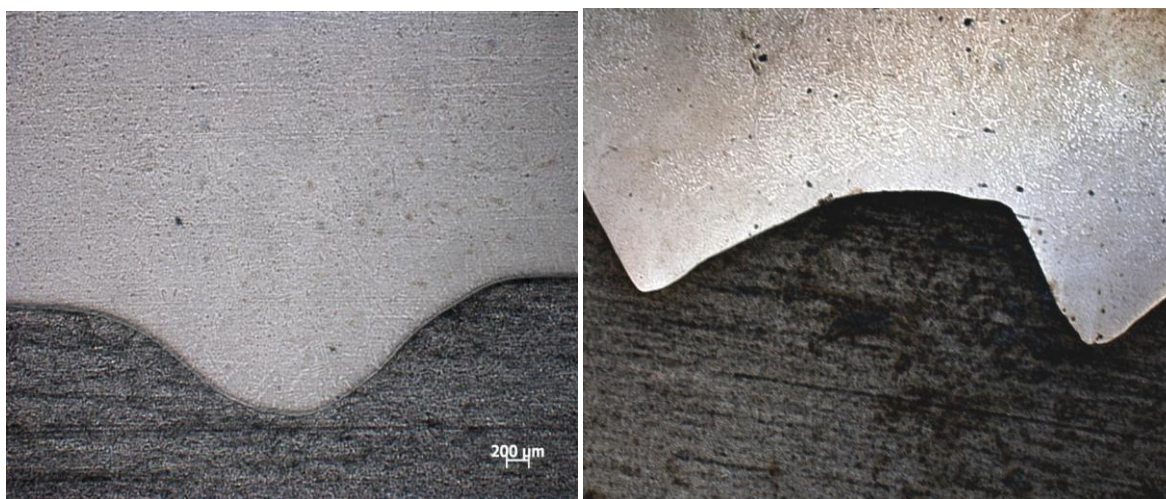


Рисунок 17 – Граница раздела с применением обработанной поверхности

Металлографические исследования слоистого композиционного материала полученного с применением компонента основы после обработки на фрезерном станке с различным рельефом поверхности, показали – граница раздела повторяет впадины и гребешки от предварительной насечки рельефа (рис. 18, *а*, *б*).



*а*

*б*

Рисунок 18 –Рельефная граница раздела:

*а* – шаг  $4 \times 1,5$  мм; *б*– шаг  $3 \times 1$  мм

Такие результаты позволяют сделать предположение о возможности получения слоистого композиционного материала, путем армирования получаемого слоя металлом компонента основы имеющий высокую ударную вяз-

кость, что позволит предотвратить образование сколов и выкрашивания полученного слоя, при воздействии нагрузок ударного характера. Применение рельефной поверхности способствует повышению прочности сцепления компонентов слоистого композиционного материала, за счет увеличения площади контактного взаимодействия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработана технология изготовления коронок рыхлителя.

Проведены металлографические исследования, которые показали, что увеличение скорости наплавки приводит к появлению микродефектов такого типа, которые приведут к снижению износостойкости коронки рыхлителя.

Предлагаемый способ позволяет сохранять угол резания коронки рыхлителя и обеспечить надежность сцепления износостойкого материала с металлом отливки.

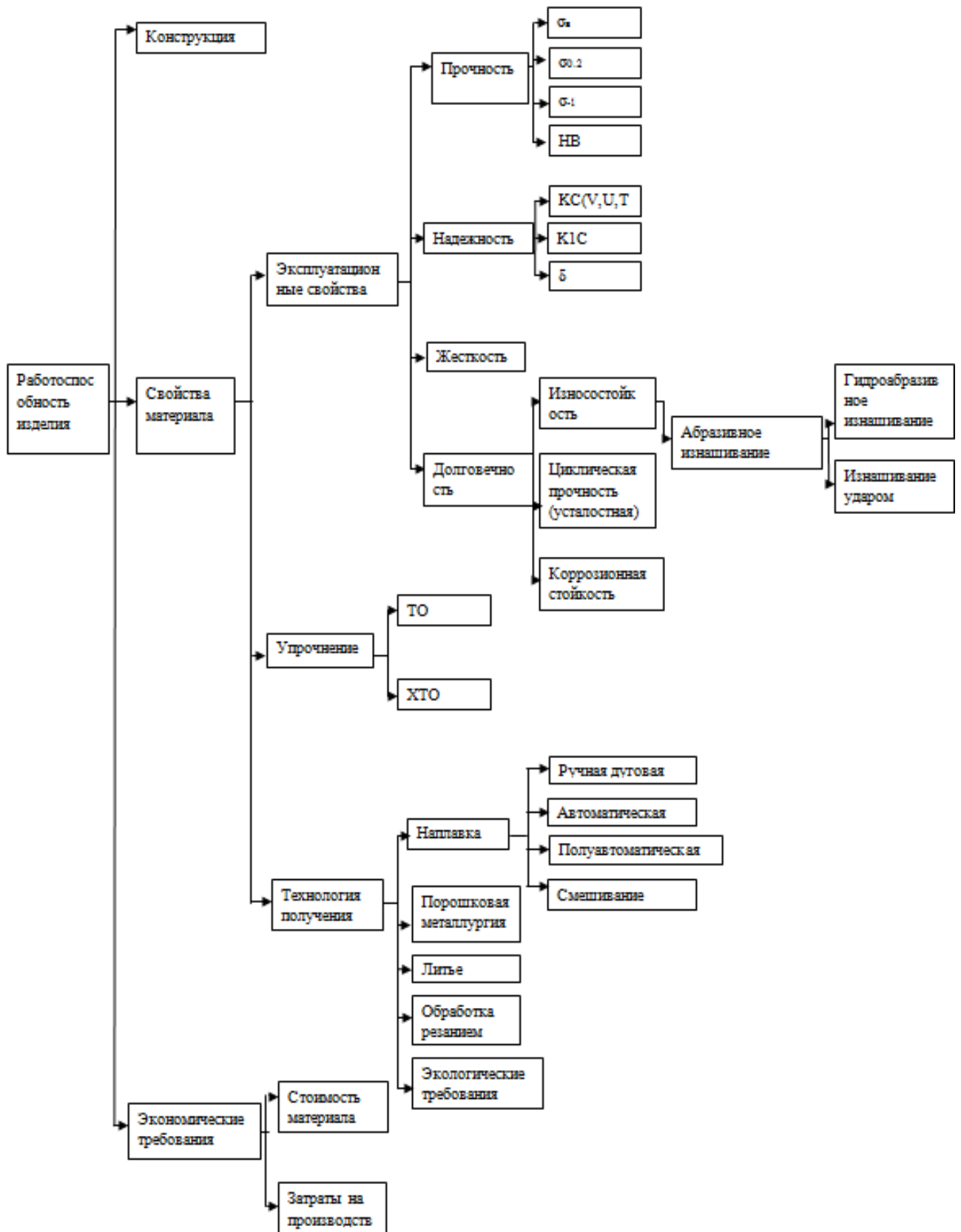
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рыхлители // Режим доступа: <http://studopedia.su/>
- 2 Общее устройство рыхлителей // Режим доступа: <http://knowledge.ru>
- 3 Наплавочный материал // Режим доступа: <http://www.lincolnweld.ru>
- 4 Лившиц Л.С. Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановления деталей машин. / Лившиц Л.С. // Сварочное производство – 1990 – №1.- с. 15 – 17.
- 5 Лившиц Л.С. Износостойкость наплавленного металла с различными принципами упрочнения в условиях ударно-абразивного воздействия. / Лившиц Л.С, Кушеков А.У., Левин СМ // Трение и износ. – Т.VII.– 1986 – №2– с.365 – 371.
- 6 Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. - М . Машиностроение, 1990 – 224 с.
- 7 Воинов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. - М.: Машиностроение, 1980 – 126 с.
- 8 Гринберг Н.А. Износостойкие наплавочные материалы для упрочнения трущихся поверхностей в условиях абразивного и газоабразивного изнашивания / Гринберг Н.А., Арабей А.Б. // Сварочное производство – 1992, №5 – с. 7 – 9



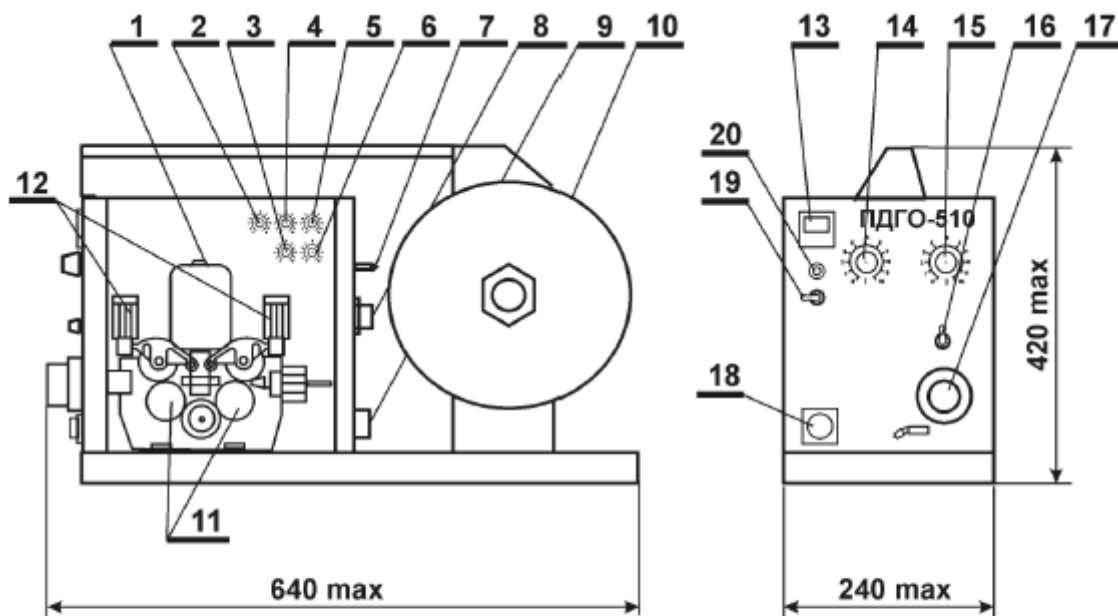
# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Блок схема выбора материала



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Общий вид механизма подачи полуавтомата ПДГО-510 серия 02



Масса, кг, не более - 18

1. Привод редукторный;
2. Потенциометр регулирования "Длительность продувки перед сваркой";
3. Потенциометр установки "Максимальная скорость";
4. Потенциометр регулирования "Вылет электрода после сварки";
5. Потенциометр регулирования "Длительность продувки после сварки";
6. Потенциометр "Настройка уровня (-20%)";
7. Штуцер газового клапана;
8. Разъем для подключения провода управления;
9. Токовый разъем "+";
10. Кассета;
11. Сменные ролики;
12. Ручки регулирования усилия прижима роликов;
13. Вольтметр;
14. Потенциометр регулирования "Скорость подачи проволоки";
15. Потенциометр регулирования "Напряжение источника";
16. Тумблер переключения режимов "Длинные/ Короткие швы";
17. Разъем для подключения горелки;
18. Разъем для подключения обратных связей с горелки;
19. Тумблер переключения режимов измерения вольтметра "Уд/Um";
20. Индикатор переключения пределов измерения вольтметра "x3".

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Общая схема полуавтомата ПДГО-510 серия 02

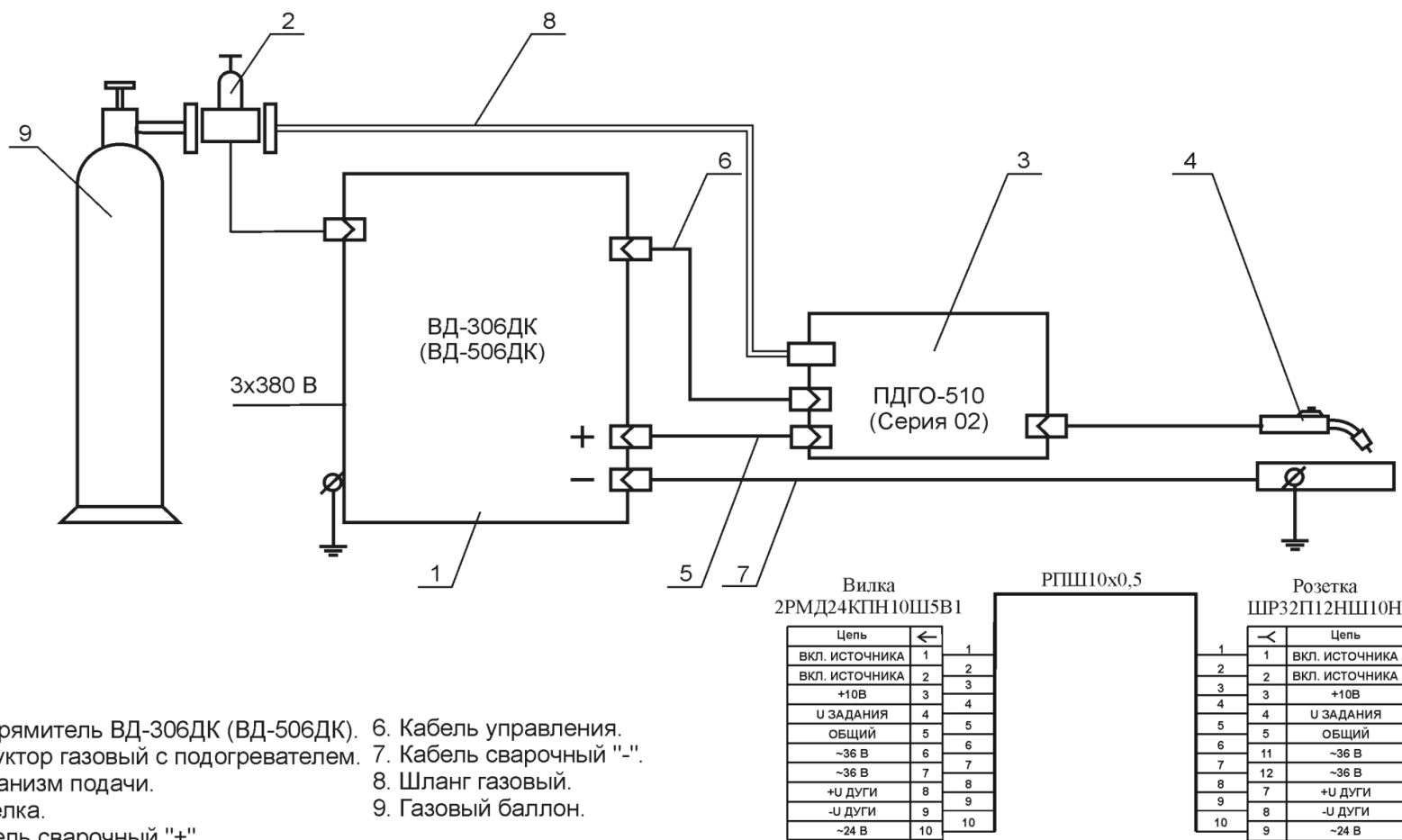
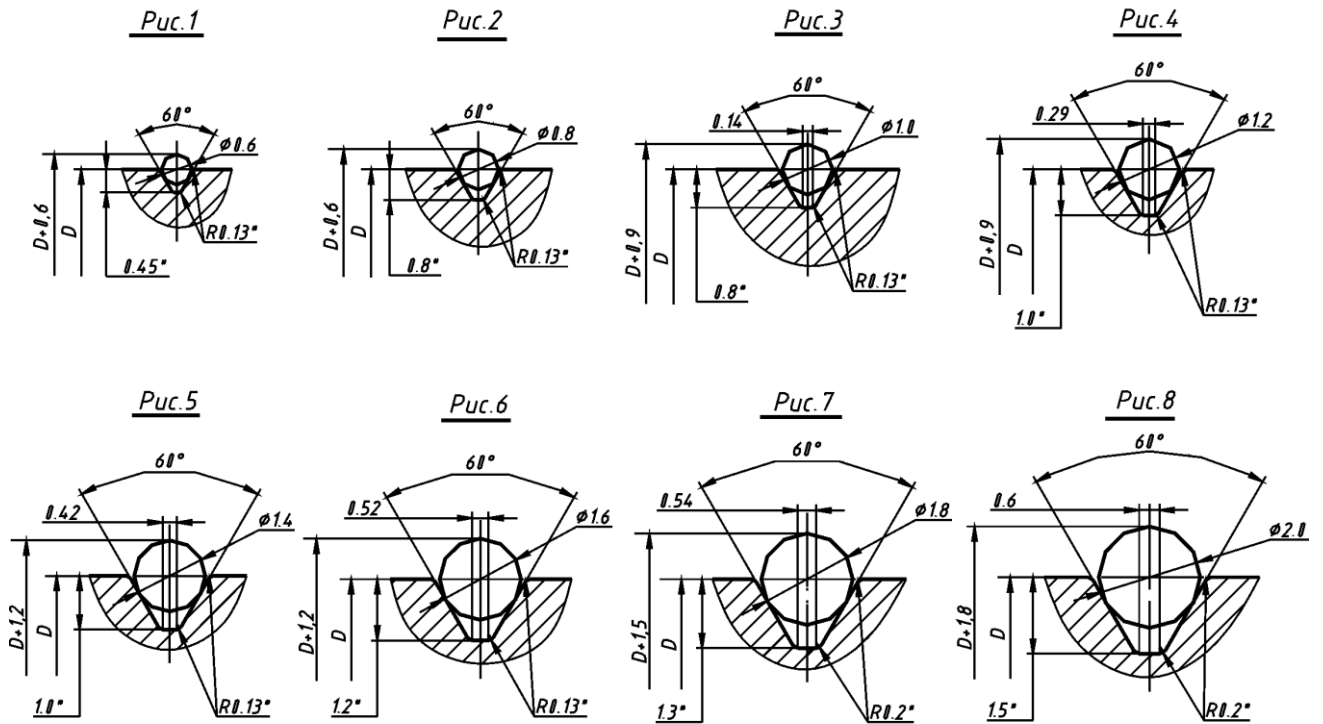


Схема электрическая кабеля управления поз.6

## ПРИЛОЖЕНИЕГ

Профили канавок подающих роликов под сплошную проволоку



\* Размеры обеспечиваются инструментом.

$D$  - Наружный диаметр ролика в мм с допуском  $-0,1$  мм

Таблица соответствия профиля канавок диаметру сварочной проволоки.

Диаметр проволоки, мм	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Профиль канавки, рис.	1	2	3	4	5	6	7	8

