

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

На правах рукописи

ШАРАФИЕВ АЗАМАТ АНАСОВИЧ

Повышение ресурса дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин методами дугового упрочнения с использованием керамических смесей

Научно-квалификационная работа (диссертация)

на соискание квалификации «Исследователь. Преподаватель–исследователь» по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве

Направленность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

Научный руководитель
Доктор технических наук, профессор
Адигамов Наиль Рашатович

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к представлению научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации) на государственной итоговой аттестации (протокол № 21 от 15 июня 2020).

Зав. кафедрой, профессор _____ Адигамов Н.Р.

СОДЕРЖАНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	
1) Рынок сельскохозяйственной техники в Республике Татарстан на конец 2016 года.....	5
2) Традиционные подходы к производству рабочих органов сельскохозяйственных машин.....	7
3) Причины выхода из строя рабочих органов почвообрабатывающих машин.....	8
4) Разновидности дисковых рабочих органов.....	12
5) Характерные неисправности дисковых рабочих органов и их устранение.....	17
6) Способы восстановления и упрочнения рабочих органов.....	21
7) Цели и задачи исследования.....	24
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК «ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ» И ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ, КАК СПОСОБА УПРОЧНЕНИЯ	
1) Физико-механические характеристики технической керамики..	26
2) Исследования по применению керамических покрытий на рабочих органах.....	32
3) Характеристика и особенности вибродуговой наплавки.....	33
4) Электровибродуговой аппарат для упрочнения деталей металлокерамикой.....	36
3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	

1) Подготовительные мероприятия, изготовление металлокерамической пасты и его нанесение.....	40
2) Термодиффузионное насыщение упрочняемого лезвия.....	43
3) Методы определения твердости покрытий.....	45
4) Расчеты ударной вязкости.....	50
5) Ускоренное определение износостойкости покрытий в лабораторных условиях.....	51
6) Эксплуатационные испытания упрочнённых деталей.....	55
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ	
1) Измерение микротвердости полученных покрытий.....	57
2) Расчет ударной вязкости.....	58
3) Испытание полученных покрытий на износостойкость.....	59
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УПРОЧНЕНИЯ	
1) Технологический процесс упрочнения.....	61
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность эксплуатации современных отечественных и зарубежных СХМ во многом зависит от качества и цены используемых запасных частей. Для повышения эффективности эксплуатации современных отечественных и зарубежных СХМ необходимо провести анализ существующих технологий в области поверхностного упрочнения деталей СХМ, работающих в абразивной среде. Существенная доля затрат на эксплуатацию современных СХМ составляет затраты на запасные части. В республике Татарстан на 2017 год эти затраты составили более 3 млрд. рублей. Для решения этих проблем необходимо разработать новые технологии в области повышения износостойкости рабочих органов современных СХМ при их изготовлении и восстановлении

На сегодня имеются лишь отдельные случаи внедренных технологий в производство с применением концентрированных потоков энергии.

Реализуемый проект направлен на повышение эффективности современных СХМ и должен завершиться разработанной новой технологией по изготовлению, восстановлению, упрочнению рабочих органов и деталей СХМ.

Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы заключается в следующем:

- В разработке новых высокоэффективных технологий поверхностного упрочнения деталей и рабочих органов СХМ на различных режимах формирования концентрированных потоков энергии с различными составами металлокерамических нанопорошков (МКП);
- В повышении эффективности эксплуатации СХМ за счет внедрения разработанных новых технологий микроплазменного упрочнения,

позволяющих повысить ресурс рабочих органов и высокоточных деталей сельскохозяйственных машин, работающих в условиях абразивной среды, в 2 – 3 раза;

- В обеспечении заданных агротехнических требований при работе СХМ с износостойкими рабочими органами с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур;

- В получении новых результатов исследований физико-механических и эксплуатационных свойств поверхности и поверхностного слоя упрочненных конкретных деталей и рабочих органов СХМ концентрированными потоками энергии с использованием МКП;

- В получении обоснованных рациональных режимов технологического процесса упрочнения высокоточных деталей и рабочих органов СХМ и оборудования концентрированными потоками энергии с использованием МКП, таких как мощность разряда, вид разряда и его сочетание, состав МКП, удельная вкладываемая мощность на поверхность изделия, длительность обработки.

Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы будет подтверждена технико-экономическим обоснованием эффективности внедрения результатов научно-исследовательских работ по теме проекта на предприятиях АПК Республики Татарстан:

- заводах-производителях сельскохозяйственной техники и оборудования агропромышленного комплекса (АПК);

- ремонтно-обслуживающих и эксплуатирующих предприятиях отечественных и зарубежных СХМ и оборудования АПК;

- заводах и предприятиях по изготовлению запасных частей;

- научно-производственных объединениях в области сельскохозяйственного и общего машиностроения.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И

В первом случае рабочие органы получают дешевыми и имеют большую популярность среди небогатых предприятий. Но вместе с тем эти детали имеют невысокий ресурс, к тому же часто не соблюдаются установленные технологии производства и физико-механические свойства, что оборачивается для конечного потребителя большими затратами на частую замену этих деталей

Второй подход широко применяется зарубежными производителями, которые специализируются только на выпуске рабочих органов, к числу таких можно причислить такие фирмы, как Land (США) и La Pina (Испания). [4] К счастью такой метод осваивается и применяется российскими предприятиями. Одним из ведущих среди них является ОАО «ВИСХОМ», который применяет метод плазменной дуговой наплавки для нанесения износостойких покрытий.

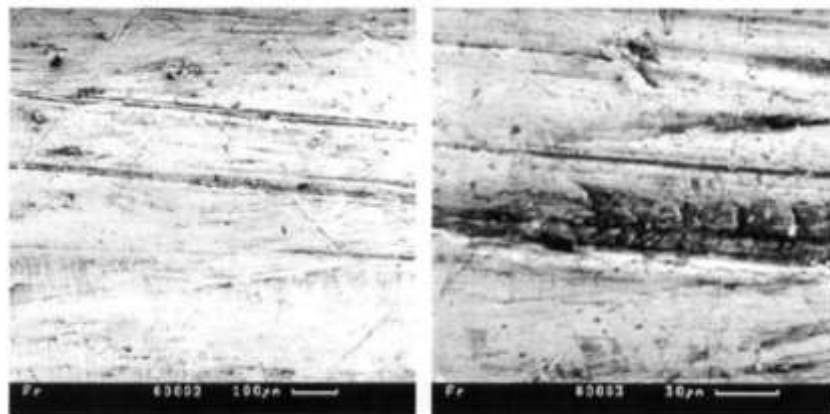


Рисунок 1.2 Следы абразивного изнашивания (фрагмента рабочей поверхности лапы культиватора)

Обычно твердость заводских рабочих органов составляет HRC 55...60 (6,0...8,0 ГПа). Но известно, почвы содержат от 36 до 78% абразивных фракций (в зависимости от типа почвы) – полевого шпата, гранита, кварца, роговых обманок, слюд, рудных минералов. Твердость которых составляет 7,2-11,0 ГПа, что ясно показывает недостаток твердости поверхности большинства серийно изготавливаемых рабочих органов [6]. Относительная износостойкость материала ϵ и соотношение твёрдостей (H_a/H_m) взаимосвязаны и характеризуются тремя областями в зависимости от связи между этими показателями(рис.1.3) [7,8]. В зоне I, которое обуславливается значением H_a/H_m ниже 0,7 абразивное изнашивание малозначительно. Для этой зоны характерно лишь воздействие усталостного изнашивания, которое к тому же протекает с низкой интенсивностью. Однако, стоит отметить, что даже в этой зоне может происходить абразивное изнашивание, в виду возможности выпуклых абразивных частиц вдавливаясь острыми ребрами в поверхности с превосходящей твердостью. В зоне II соотношение H_a/H_m лежит между значениями от 0,7 до 1,1 и степень абразивного изнашивания меняется в зависимости от значения твердостей. К третьей зоне относят соотношение при котором наблюдается значительное превышение твердости абразива над твердостью материала. В этой области износ будет большим и

стабильным и не будет зависеть от соотношения H_a/H_m . Эта зависимость справедлива только для структурно однородных материалов.

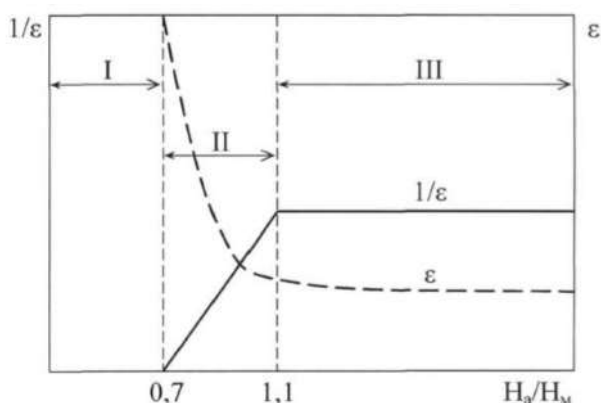


Рисунок 1.3 Зависимость относительного износа и относительной износостойкости от соотношения твердости абразива и твердости изнашиваемого материала.

В зависимости от изнашивающего коэффициента почва делится на три изнашивания 1,3-3. В данной категории рабочие органы изнашиваются по толщине. Для второй категории коэффициент составляет 0,5-1,3. В данном случае износ происходит по ширине, а при наличии крупных фракций также и по толщине. К третьей категории относят почвы с коэффициентом 0,37-0,65. В данном случае износ происходит по ширине детали почвообрабатывающей машины [9]. Максимальный абразивный износ лемехов для первой группы почв колеблется в пределах от 2 до 30 г/га, второй – около 100 г/га, третьей – до 260 г/га (граммов металла на 1 га пашни с 1 лемеха) [10]. Также необходимо отметить широкое изменение уровня и характера износа в зависимости от влажности почвы [5]. Наличие влаги значительно меняет взаимодействие металла и абразивных частиц. К примеру, давление адсорбционных слоёв способствует развитию неизбежных микрощелей, в которые проникают молекулы воды и, при отсутствии внешних сил, противодействуют их смыканию, наоборот расширяя их и ускоряя дальнейшее разрушение рабочего органа.

Износ рабочих органов значительно сказывается на качестве выполнения полевых работ, к примеру по мере увеличения

Таблица 1.1

Выработка в га	Удельный износ в мм/га	Линейный износ полоза сошника в мм	Глубина заделки семян в см
50	0,032	1,6	10,0
100	0,0255	2,55	8,5
150	0,0212	3,2	7,0
200	0,0175	3,5	6,5
250	0,0151	3,8	6,0

1.4 Разновидности дисковых рабочих органов и их основные неисправности

Дисковые рабочие органы подразделяются на несколько отдельных групп. Отличают друг от друга

техника используется при относительно маленькой глубине обработки (4...6 см) и наличии легких пожнивных остатков. Основными выполняемыми работами при помощи дисковых луцильников являются лушение почвы после уборки зерновых культур, обработка земли под пар, предпосевная подготовка, разделявают пласты и разбивают глыбы после пахоты.

Дисковые бороны применяются при глубине обработки почвы до 14см.

На характеристики дисковых рабочих органов в значительной степени влияют его формы и размеры. Форма диска с сплошным лезвием позволяет тщательней перерезать стерню, однако такие диски легче забиваются при

повышенной влажности. Форма вырезных дисков позволяет им проще и эффективней заглубляться в почву, что сводит к минимуму протаскивание диска, а так же повышает качество захвата и перерезания стерни. Первые диски с вырезами трапецеидальной формы устанавливались на боронах БДТ-7, БДТ-3 и др. (рис. 1.4)

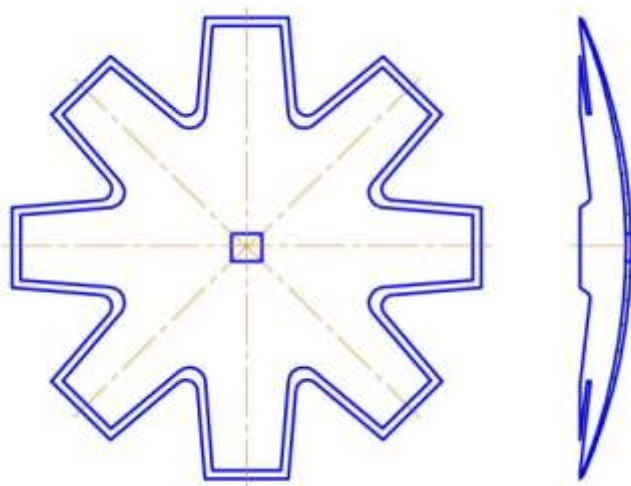


Рисунок 1.4. Диск бороны с трапецеидальным вырезом.

способствуют повышению эффективности сцепления с почвой и повышения качества перерезания стерни и корней. При этом уменьшение радиуса выреза (рис.1.5б) способствует повышению надежности вращения диска.

Ассиметричные вырезы в дисках применяются для повышения надежности вращения диска, обеспечения резания со скольжением и качества перерезания крупностебельных пожнивных остатков, таких, как кукурузы и подсолнечника и тому подобных (рис.1.6) [13].

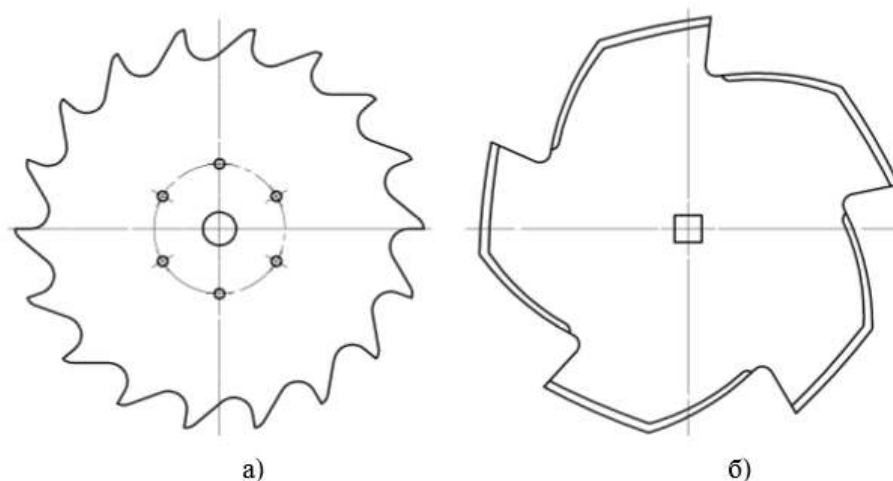


Рисунок 1.6. Диски для обработки почвы и измельчения крупностебельных пропашных культур и кустарниковых растений

Конструктивные особенности вырезов в подобных дисках позволяют стабильно фиксировать пожнивные остатки в почве и обеспечивают скользящее резание их.

Собственными особенностями обладают диски конической формы (рис.1.7). Особенностью данных дисков является сохранение рабочего угла при износе. Недостатком таких дисков является их плохая способность к крошению почвы.

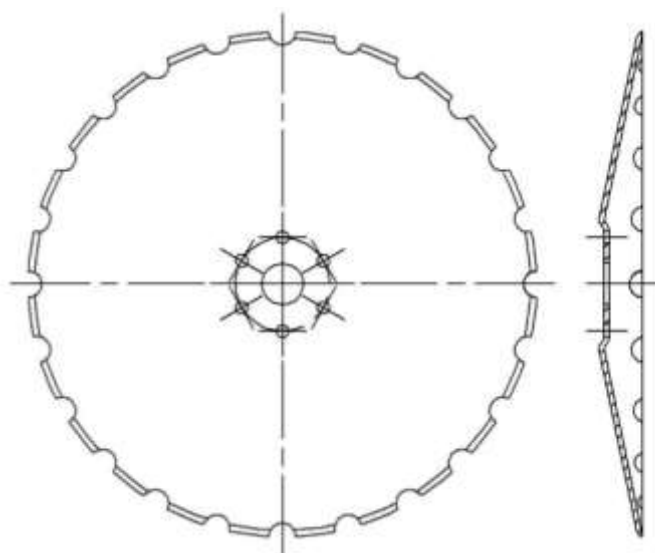


Рисунок 1.7 Диски конической формы

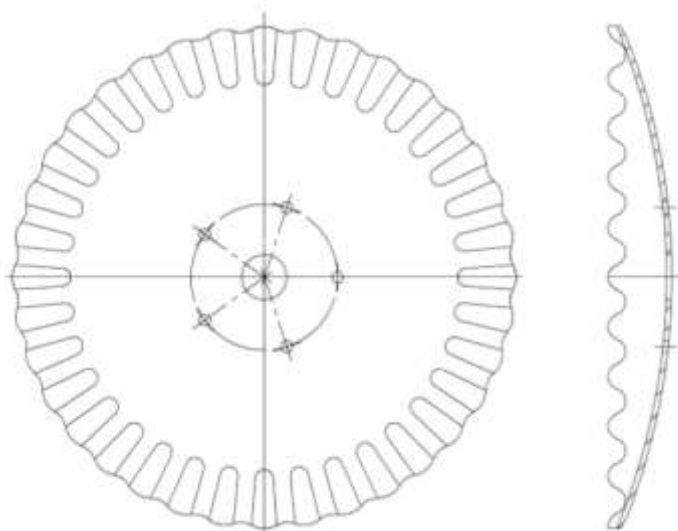


Рисунок 1.8. Сферические диски с рифленным лезвием

дисков так же делаются ныне и отечественными исследователями. К примеру, отечественной разработкой является сферический диск с плавно изменяющимся углом атаки (рис.1.9). Это представляется возможным благодаря выполнению части поверхности волнистой формы [14]. Такая особенность диска направлена на обеспечение высокого качества выполнения работ одновременно с снижением их энергоемкости.

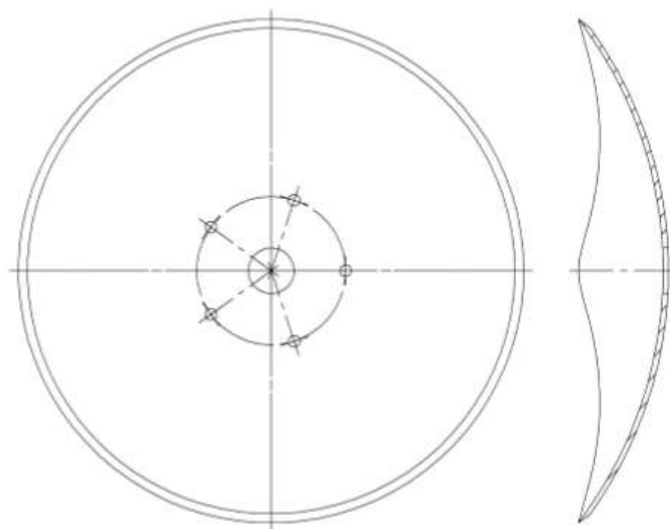
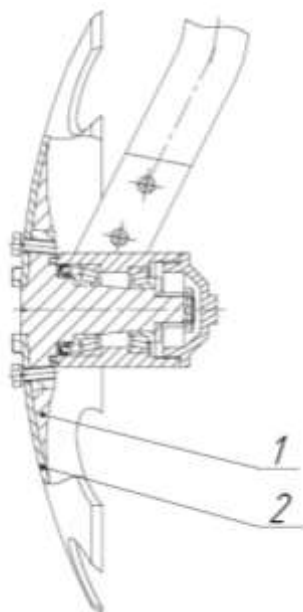


Рисунок 1.9. Сферический диск с изменяющимся углом атаки

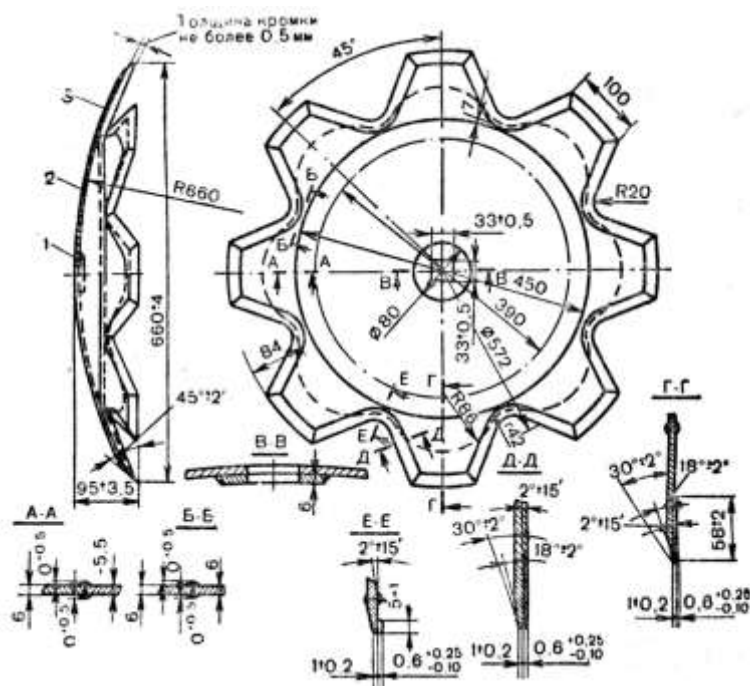
1.5 Характерные неисправности дисковых рабочих органов и их устранение

Недостатком, которому подвержены все сферические диски, является нарушение курсовой устойчивости, причиной которого является образование затылочного давления на лезвие на средне-малых углах атаки. Для устранения такого явления ведутся разработки и предлагаются диски более сложных форм поверхностей. Однако изменение форм приносит как положительные итоги, так и проявляет свои недостатки.



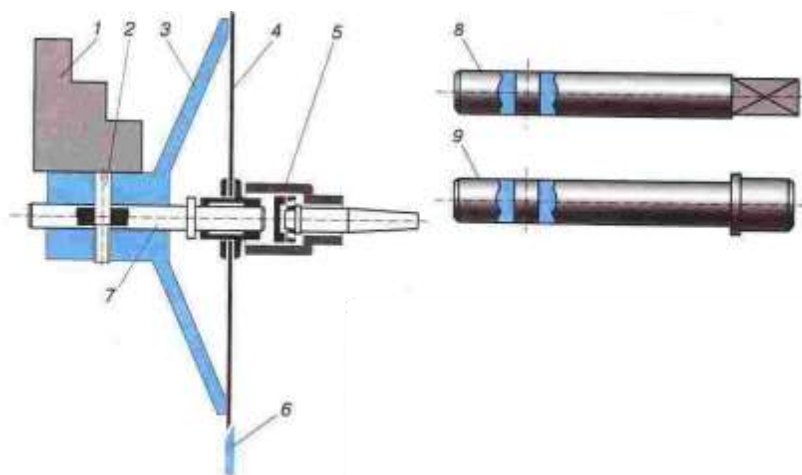
1 – кольцо; 2 – диск

Рисунок 1.9. Сферический диск с плавающим радиусом кривизны



1- накладка; 2- остов; 3- сменный зуб

Рисунок 1.10. Вырезной диск тяжелой бороны



1-токарный станок; 2-штифт; 3-корпус приспособления; 4-диск плуга;
5-вращающийся центр; 6-резец; 7,8,9-оси приспособлений соответственно для дисковых
ножей, дисков луцильников; и дисков сеялок

Рисунок 1.11. Схема заточки дисков на токарном с помощью специальных приспособлений

Квадратное отверстие в дисках при износах скругляется и около него появляются трещины. Отверстия восстанавливаются электросваркой с последующей обработкой либо приваривают на диск накладку с нормальным

размером отверстия. На время сварки на диск нужно накладывать мокрый асбест либо раствор глины.

Для уменьшения износа отверстий и смятия граней валов на каждую батарею лушильника либо дисковой бороны нужно ставить компенсирующую упругую шайбу.

1.6. Способы восстановления и упрочнения рабочих органов

для улучшения качества полученной поверхности допускается применение методов упрочнения, например, метода карбовибродугового упрочнения, рассматриваемого в рамках данной работы, в качестве последующих шагов.



Рисунок 1.12. Структурная схема технологического процесса восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин

с пониженными показателями упругости, но с соответствующими показателями твёрдости. В зависимости от характера износа режущей части рабочего органа выбираются параметры компенсирующего элемента, включая геометрическую форму и величину. Компенсирующий элемент подвергают заточке, в соответствии с требованиями выдвигаемым режущей части рабочего органа, на универсально-заточном станке.

Перечисленные методы позволяют получать итоговую деталь с твёрдостью поверхности до HRC 70, что позволяет, благодаря приближению к твердости абразивных частиц почвы, получить увеличение ресурса детали в среднем до 2-2,5 раза. [17]

Одним из широко распространённых современных методов является плазменная наплавка твердых порошковых сплавов. Для этого процесса применяют такие материалы как ПГ-С27, ПГ-ФБХ-6-2, ПС-14-60. Данный метод позволяет повышать износостойкость рабочих органов до 2,7 раз [19].

Так же необходимо отметить способ нанесения покрытий намораживанием [20]. Данный способ отличается высокой износостойкостью, при твердости поверхности HRC 52...55, благодаря характерному строению нанесенного слоя материала: Но данный метод требует высокой квалификации рабочего, так как при отклонений от заданной технологии и параметров процесса значительно повышается риск получения некачественного покрытия.

Со временем появляется множество других опытов с применением разных методов упрочнения деталей. Например, известно про

2.2. Существующие способы изготовления и восстановления рабочих органов.

Упрочнение рабочих органов с применением керамических компонентов практикуется по всему миру. Например, в Великобритании проведены масштабные работы по вычислению износостойкости рабочих органов плугов, культиваторов, борон с керамической защитой в виде

пластин, наконечников и полос.[26] Благодаря оснащению в зависимости от условий испытаний, степень износа уменьшился в 4-9 раз по сравнению с неупрочненными органами.

Так же известно о наладке промышленного выпуска лап культиватора и отвалов плугов с покрытием из оксида алюминия [27,28] Детали изготовленные по такой технологии обладают в 7 раз более высокой износостойкостью, чем стальные. А стоимость изготовления ниже в два раза, по сравнению со стоимостью оттяжки рабочих органов.

Анализ существующих технологий восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Известны способы упрочнения лемехов (см. Надежность и ремонт машин. / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; Под ред. В.В. Курчаткина. - М: Колос, 2000. - 776 с.), при которых применяют наплавку их поверхности металлами и сплавами, имеющими повышенные прочностные свойства, что повышает их износостойкость и обеспечивает эффект самозатачивания. Однако при наплавках применение дополнительных материалов значительно увеличивает стоимость изделий, сильное термическое влияние на металл приводит к большим деформациям деталей.

Известен способ упрочнения лемеха, когда поверхность лемеха наносят защитное покрытие за несколько непрерывно повторяющихся циклов путем электроискрового легирования поверхности лемеха и последующей электродуговой наплавки защитных бугров. В каждом цикле электроискровое легирование осуществляют вибрирующим электродом, выполненным из абразивостойкого материала, импульсами тока легирования с энергией 1,5-10,0 Дж в течение 5-60 сек с получением защитного покрытия толщиной до 0,5 мм. Затем отключают подачу на упомянутый электрод тока электроискрового легирования и подают на него постоянный сварочный ток положительной полярности величиной 80-450 А в течение 20-120 с для наплавки материалом электрода защитного бугра высотой 0,8-1,5 мм. Способ обеспечивает получение износостойкого покрытия с повышенной

прочностью его сцепления с основным металлом лемеха и способностью к самозатачиванию лемеха.

1.7. Цели и задачи исследования.

Целью данного исследования является повышение ресурса дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин путём получения на их поверхности износостойких покрытий при помощи металлокерамических материалов с применением вибродуговой наплавки.

В рамках указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- Исследование и анализ свойств и характеристик технической керамики.
- Исследование возможности применения керамических покрытий для упрочнения стальных поверхностей.
- Провести и описать эксперимент по упрочнению зубьев бороновальных дисков с использованием вибродуговых устройств.
- Измерить характеристики и свойства полученных покрытий.
- Разработать технологический процесс упрочнения рабочих органов и определить его экономическую эффективность.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК «ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ» И ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ, КАК СПОСОБА УПРОЧНЕНИЯ.

2.1 Физико-механические характеристики технической керамики.

Техническая керамика (также называют машиностроительной керамикой или промышленной керамикой) совокупное название обширного класса искусственно получаемых тугоплавких неорганических материалов, которые могут быть образованы из множества элементов периодической системы [22]. Эти материалы обладают уникальными механическими, электрическими, тепловыми и биохимическими свойствами. Благодаря сочетанию разных свойств, техническая керамика получила широкое применение в технических науках и производстве.

Техническую керамику можно разделить на четыре основные группы:

Карбид бора (B_4C) – абразивный материал, получаемый в электрической печи из технической борной кислоты (B_2O_3) и малозольного углеродистого материала – нефтяного кокса. Карбид бора характеризуется замечательными параметрами прочности, твердости, выносливости.

Данному веществу свойственны такие технические характеристики, как химическая стойкость, тугоплавкость, абразивность, термостойкость. Благодаря этим свойствам материал не подвергается воздействию химически агрессивных условий: не поддается кислотам. Температура плавления карбида бора составляет 2300°C , это позволяет использовать его в промышленности, где применяются высокотемпературные технологии производства. Твёрдость карбида бора больше, чем у электрокорунда и карбида кремния. Поэтому он стал таким популярным в различных сферах.

Оксид алюминия (глинозем) – наиболее часто используемый керамический материал. свыше 2054 градусов по Цельсию легко кристаллизуется, а так же производится искусственным путем, благодаря высокотемпературному воздействию на различные модификации гидроокиси и окиси алюминия. Обладает следующими свойствами:

- Очень хорошие электроизоляционные свойства (от 1×10^{14} до 1×10^{15} Ωcm)
- Механическая прочность – от средней до чрезвычайно высокой (от 300 до 630 МПа)
- Очень высокий предел прочности при сжатии (от 2000 до 4000 МПа)
- Высокая твердость (15 до 19 ГПа)
- Умеренная теплопроводность (от 20 до 30 Вт/(м*К))
- Высокая устойчивость к коррозии и износу
- Хорошие показатели скольжения
- Низкая плотность (от 3,75 до 3,95 г/см³)
- Рабочая температура без механической нагрузки – от 1000 до 1500 $^{\circ}\text{C}$.

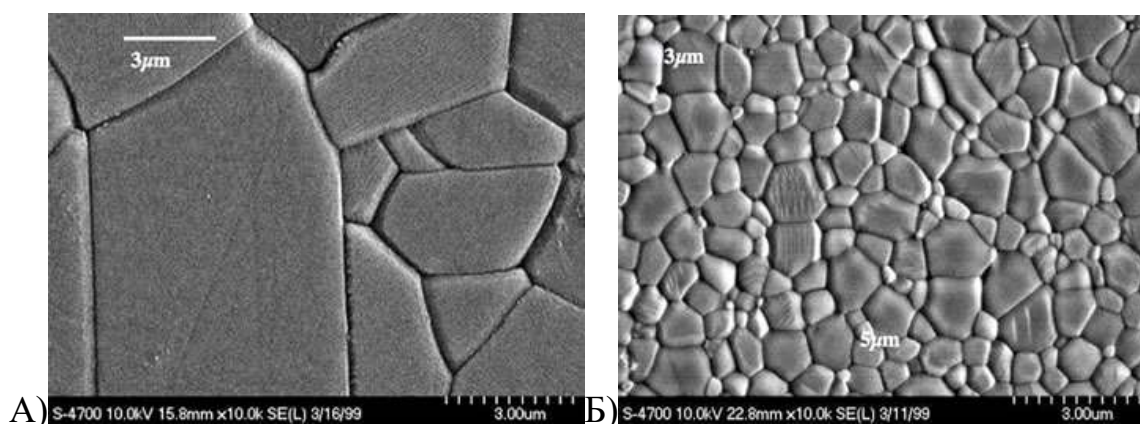


Рисунок 2.1. Разновидности Al_2O_3 – а) крупнозернистые б) мелкозернистые

Карбид кремния – химическое соединение представляющее из себя связь углерода и кремния. Существующие разновидности карбидокремниевой керамики – SSiC (спеченный карбид кремния) и SiSiC (реакционноспеченный карбид кремния) – отлично зарекомендовали себя во многих областях применения. Последний особенно хорошо подходит для производства сложных крупных компонентов. Обладает схожими с алмазом свойствами. Одновременно является и самым легким и самым твердым керамическим элементом, обладает следующими свойствами:

- Низкая плотность (от 3,07 до 3,15 г/см³)
- Высокая твердость ($\text{HV}_{10} \geq 22$ ГПа)
- Высокое значение модуля Юнга (от 380 до 430 МПа)
- Низкая теплопроводность (от 120 до 200 Вт/(м*К))
- Низкий коэффициент линейного расширения (от 3,6 до $4,1 \times 10^{-6}/\text{K}$ при нагреве от 20 до 400 °C)
- Максимальная рабочая температура керамики SSiC в атмосфере инертного газа: 1800 °C
- Отличная устойчивость к тепловым ударам керамики SiSiC : $\Delta T = 1100$ K
- Обладает устойчивостью к коррозии и износу даже при высоких температурах
- Токсикологически безопасен
- Хорошие показатели скольжения

Характерной областью применения карбидокремниевых компонентов являются технологии динамического уплотнения с использованием подшипников скольжения и механических уплотнений, например, в насосах и приводных системах. Кроме того, карбидокремниевая керамика идеально подходит для использования в высокотребовательных областях в числе которых: баллистика, химическое производство, энергетика, производство бумаги, а также в качестве компонентов трубопроводных систем. Применяется для изготовления разной степени абразивов, инструментов повышенной твердости, изделий для работы при повышенных температурах и в электротехнике.

Диоксид циркония (ZrO_2) (циркониевый ангидрид) отличается от других керамических материалов очень высокой устойчивостью к распространению трещин. Обладает следующими свойствами:

- Высокий коэффициент теплового расширения ($\alpha=11 \cdot 10^{-6}/K$, аналогично с некоторыми видами стали)
- Отличная теплоизоляция/низкая теплопроводность (от 2,5 до 3 Вт/(м*К))
- Очень высокая устойчивость к распространению трещин, высокая ударная вязкость
- Обладает способностью проводить ионы кислорода (используются в качестве элементов для измерения парциального давления кислорода в лямбда-зондах)

Диоксидциркониевая керамика используются, помимо прочих областей применения, при изготовлении инструментов для формования изделий из проволоки, в качестве вспомогательного материала в сварочных процессах, в качестве материала для коронок и мостовидных протезов в стоматологии, в качестве изолирующих колец в тепловых процессах, а также в качестве элементов для измерения содержания кислорода в лямбда-зондах.

2.5 Исследование параметров, влияющих на процесс зажигания электрической дуги при КВДУ

Рассмотрим более подробно входящие в зависимость (2.3) параметры a , R и S , оказывающие наиболее существенное влияние на напряженность E электрического поля при КВДУ.

При упрочнении угольный электрод установки ВДГУ-2, используемой для КВДУ, колеблется с амплитудой $A = 0,5 \dots 1,1$ мм и частотой $f = 25$ Гц и $f = 50$ Гц, т.е. его перемещения при колебаниях в вертикальном направлении могут быть описаны уравнением:

$$x = A \cdot \sin(2\pi ft), \quad (2.4)$$

где A – амплитуда колебаний электрода, мм;

f – частота колебаний электрода, Гц;

t – время, с.

Таким образом, амплитуда ускорения электрода при КВДУ может изменяться в достаточно широком диапазоне:

$$a = x_{\max}'' = 4A\pi^2 f^2 = 12300 \dots 49300 \text{ мм/с}^2, \quad (2.5)$$

Предварительно проведенными исследованиями было установлено, что наиболее существенное влияние на сопротивление R затвердевшей пасты оказывает толщина слоя пасты, причем это влияние носит степенной характер, в аналитической форме имеющее вид [122, 123]:

$$R = k_{\delta} \delta^5, \quad (2.6)$$

где $k_{\delta} = 28500 \text{ Ом/мм}^5$.

Исследования удельной площади контакта поверхностного слоя отвердевшей пасты осуществлялись на атомно-силовом микроскопе NT– 206 производства ОДО «Микротестмашины». Проведенные исследования [27,137] позволили установить, что поверхность отвердевшего, но сохранившего относительно упруго-пластичные свойства, слоя пасты имеет развитый рельеф поверхности, который при контакте с угольным электродом деформируется. Учитывая достаточно большую площадь контакта электрода

с поверхностью пасты и ее определенные упругоподатливые свойства, величина площади микронеровностей S может быть принята равной:

$$S=0,25\pi D^2, \quad (2.7)$$

где D – диаметр угольного электрода, мм.

Тогда с учетом приведенных выше результатов математическая зависимость напряженности электрического поля, определяющая условие устойчивого загорания дуги, может быть записана в следующем виде:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta(1 + 2.9 \cdot k_a \sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_\delta^2 \cdot \delta^{10} \cdot D^4})} \geq E_3, \quad (2.8)$$

Процесс зажигания дуги при КВДУ условно может быть разделен на три фазы:

- первая фаза, при которой в процессе взаимодействия электрода с затвердевшим слоем пасты при создании разности потенциалов $U_0 - (U_k + U_a) \approx 32 \dots 42$ В между электродом и металлической поверхностью возникает электрическое поле, при воздействии которого на слой пасты происходит изменение величины ее электрического сопротивления, приводящие к повышению электропроводности, возрастанию тока с одновременным уменьшением сопротивления и снижением напряжения до величины U_3 , при котором начинается процесс зажигания дуги;

- вторая фаза, при которой возникает «тонкая» дуга, поперечное сечение которой начинает увеличиваться, вследствие чего сопротивление расплавляемого слоя пасты, размещенного между угольным электродом и упрочняемой металлической поверхностью, снижается с одновременным снижением напряжения источника питания до U_δ , при котором горение дуги становится устойчивым;

- третья фаза, при которой поперечное сечение дуги, ток наплавки и напряжения источника U_δ стабилизируются на определенном уровне и начинается процесс КВДУ.

С учетом вышеизложенного определение коэффициента k_a в зависимости (2.8) осуществлялось по следующей методике:

– с учетом анализа результатов проведенных предварительных исследований были подготовлены образцы, у которых значения толщины δ затвердевшего слоя пасты были равны $\delta = 0,5; 1,5; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 2,9$ и 3 мм (по девять образцов каждого значения δ), создавалось напряжение источника питания $U = 50$ В между неколеблущимся, т.е. при $a = 0$, угольным электродом, диаметр которого был принят равным $D = 5, 6$ и 8 мм, и стальным основанием образца и, после зажигания и начала устойчивого горения дуги фиксировались значения напряжения на клеммах сварочного аппарата и максимальное значение $\delta_{0\max}$, при превышении которого не удавалось обеспечить зажигание и устойчивое горение дуги, при этом зажигание дуги осуществлялось по три раза и полученным результатам рассчитывались соответствующие значения E_3

$$E_3 = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta_{0\max}}; \quad (2.9)$$

– затем при минимальных параметрах колебаний электрода с $A = 0,5$ мм и частоты $f = 25$ Гц с величины $\delta_{0\max}$ при установке электрода в нижнее положение, т.е. при $x=A$, на клеммы источника питания подавалось напряжение $U = 50$ В, регистрировалось падение напряжения на клеммах источника питания и после достижения его значения ориентировочно $35...40$ В активизировался режим колебаний электрода, после чего определялось напряжение зажигания дуги с последовательным использованием образцов, толщина δ которых ступенчато снижались с шагом $0,1$ мм до момента зажигания и устойчивого горения дуги;

– после этого при минимальных параметрах колебаний электрода с $A = 0,5$ мм и частоте $f = 50$ Гц с величины $\delta_{0\max}$ также, как и в предшествующем случае, определялось напряжение зажигания и устойчивого горения дуги на образцах, толщина δ которых ступенчато снижались с шагом $0,1$ мм до момента зажигания и устойчивого горения дуги с колеблущимся электродом;

– приведенные выше исследования повторяли при амплитуде колебаний электрода $A = 1,1$ мм и частотах $f = 25$ Гц и 50 Гц;

– затем, с учетом зависимости (2.9), для конкретизированных значений A , f и D рассчитывались средние значения E_3 , соответствующие средние квадратические отклонения, коэффициенты вариации и значения коэффициента k_a , которое определялось с использованием зависимости:

$$k_a = 0,345 \frac{\frac{\delta_{0\max}}{\delta_{\max}} - 1}{\sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_{\delta}^2 \cdot \delta_{\max}^{10} \cdot D^4}}, \quad (2.10)$$

Результаты исследования величины E_3 при неколеблущемся угольном электроде и их обработка приведены в таблице 2.1, среднее значение $\delta_{0\max}$ для приведенных составов пасты составило $\delta_{0\max} = 2,33$ мм.

2.6 Электровибродуговой аппарат для упрочнения деталей металлокерамикой.

Рассмотрим разработанный исследователями ГОСНИТИ устройство для вибродугового упрочнения деталей, с применением технологических особенностей дуги графитовых электродов. Данное устройство способствует получению качественных покрытий с высокими показателями износостойкости.

В результате множества работ с применением данного устройства, установлено, что метод позволяет при применении качественных составов и соблюдении всех технологий, эффект упрочнения свыше 1200 НВ.

Устройство разработано в процессе проведенных исследований и их анализ позволяющих объяснить и описать суть процессов образования консолидированных упрочняющих фаз и вероятных химически несвязанных с матрицей армирующих керамических составляющих корундов (расплавленных Al_2O_3 и SiO_2).



Рисунок 2.4. Комплект оборудования ВДГУ-2

Основным назначением устройства ВДГУ-2 является повышение свойств износостойкости, для деталей основная среда работы которых связана с повышенным абразивным изнашиванием.

Устройство эксплуатируется в тандеме с любым инверторным сварочным источником тока. Габаритные размеры устройства 290*132*203 мм., вес 5,5 кг Габариты блока питания вибратора 150*140*85 мм., вес 2 кг Вес вибратора – 0,5 кг

В состав рабочего комплекта устройства входят:

- инверторный источник питания
- блок питания вибратора
- вибратор со специальным креплением графитового электрода.

Принцип работы заключается в том, что при замыкании графитового электрода вибратором со стальным изделием возникает электрическая дуга и плавление нанесённой металлокерамической пасты и частично подложки.

Величина рабочего тока, в зависимости от толщины изделия, составляет 40-80 А. Полярность обратная (+ на электроде). Толщина слоя пасты 1,5-2 мм. Вибрация электрода облегчает возбуждение дуги и повышает стабильность процесса [30].

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Процесс комбинированного упрочнения рабочих органов.

Сущностью заявленного отличающееся тем, что способ предлагает комбинированное использование вибродугового упрочнения с использованием металлокерамических материалов с последующей электроискровой обработки.

Предлагаемый способ позволяет наносить металлокерамическое покрытие на упрочняемые детали в меньшей степени влияя на толщину рабочей поверхности и уменьшить термическое воздействие на обрабатываемое изделие. Получаемые предлагаемым методом поверхности обладают равномерной износостойкой структурой и низкой шероховатостью.

Способ осуществляется следующим образом.

Последовательность технологических операций, для осуществления предлагаемого метода состоит из трёх этапов:

1. Нанесение металлокерамической пасты на поверхность детали;

2. Вибродуговое упрочнение;
3. Электроискровое упрочнение.



Рисунок 3.1. Изображение очищенного бороновального диска

Металлокерамическая паста изготавливается механическим смешиванием. Металлокерамическая паста наносится на упрочняемую поверхность и высушивается до затвердевания.

Нами было изготовлено несколько вариантов пасты, которые состояли из одинаковых компонентов, но различиями в их процентном соотношении. Данная мера применялась для выявления влияния объема компонентов на процесс упрочнения и конечный результат. Паста готовится путем смешения компонентов в которые входят: порошок типа ПГ-10Н-01, выполняющий функцию стальной матрицы (наплавочного порошка) – 40...60%, сверхтвердые керамические включения в виде карбид бора B_4C – 10...40%, криолит (который способствует улучшению стабильности и качества горения дуги) Na_3AlF_6 - 10...15%,



Рисунок 3.2 Компоненты применяемые при создании паст

является толщина нанесенной пасты. Установлено, что превышение слоя пасты в 3 мм нецелесообразно, так как это не приводит к утолщению полученного слоя, а наоборот его уменьшению, а также и вовсе мешает зажиганию и горению дуги, соответственно и качеству выполняемых работ.



Рисунок 3.3 Изображения зубьев бороны после нанесения пасты

Вибродуговое упрочнение осуществляется при помощи установки ВДГУ-2 с использованием



Рисунок 3.5. Изображение рабочего места в процессе вибродугового упрочнения бороновальных дисков.

Далее производится электроискровое легирование с применением вольфрам-кобальтового электрода. Способ не приводит к термическому отпуску слоя, а позволяет сохранить скоростную закалку наносимого материала и получать в слое значительное количество сверхмелкодисперсных кристаллических структур, включая и аморфные фазы, что улучшает износостойкость обработанных деталей. В ходе электроискрового упрочнения происходит дополнительное легирование поверхности упрочнения вольфрамом и кобальтом за счет сублимации вольфрам-кобальтового электрода;

Следствием комбинирования двух способов упрочнения являются уменьшение энергетических и трудовых затрат на 30% по сравнению с прототипом. Электроискровое легирование требует в значительной степени меньше энергозатрат по сравнению с длительным нагревом детали в печи до температуры более 700°C. Отсутствие необходимости изготовления дополнительной пластины и их проплавку при упрочнении, благодаря

непосредственному нанесению металлокерамической пасты на деталь, также способствуют снижению энергозатрат.

Показатели шероховатости поверхности при использовании предлагаемого комбинированного способа в 2 раза ниже, чем при использовании способа вибродуговой наплавки с последующей термообработкой;

Твердость поверхностей, упрочненных предлагаемым методом увеличивается до 1600-1700 HV за счет образования более плотной кристаллической структуры в упрочненном слое. Результаты на 13% превосходит показатели прочности поверхностей, упрочненных по прототипу, за счет расширения номенклатуры легирующих элементов

3.3 Методы определения микротвёрдости покрытий

Для определения микротвертвёрдости использовался приборе ТК-2М (рис.3.7) и рекомендации, приведённые в [32]. Для определения использовались отдельно заготовленные образцы из стали 65Г, упрочненные аналогичным с дисками методом с использованием соответствующих паст.

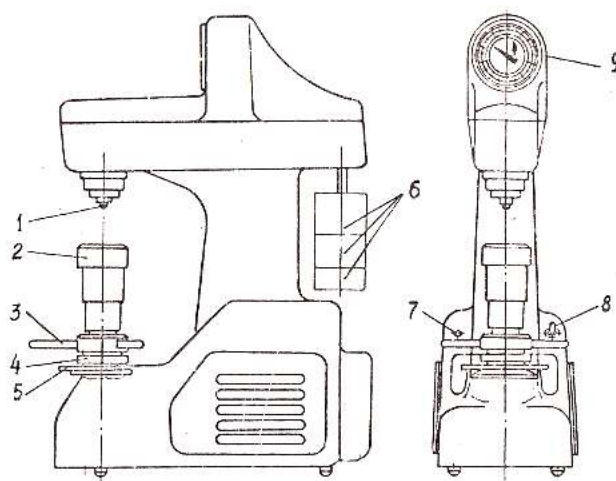


Рисунок 3.7. Общий вид твердометра ТК-2М.

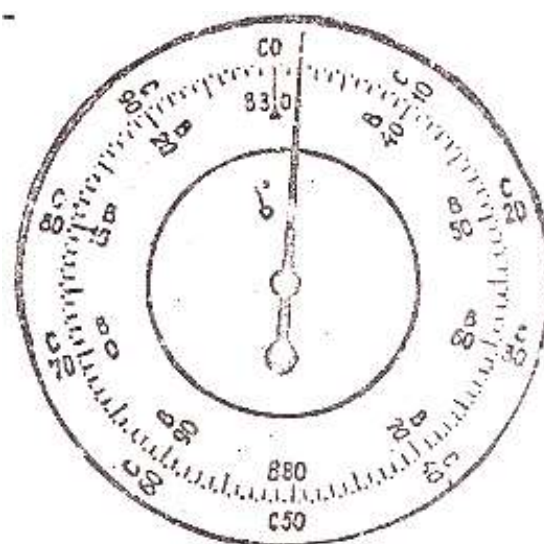


Рисунок 3.8. Индикаторный прибор твердометра ТК-2М.

Значение микротвёрдости определяли по формуле

$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2}, \quad (3.1)$$

где F - нагрузка, приложенная на индентор, Н;

d — среднее значение длины диагоналей отпечатка, мм

Примерная твёрдость	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Нагрузка, кгс	Допустимые границы
------------------------	----------------------	--------------------	---------------	-----------------------

металла НВ, кгс/мм ²				измерения твердости
60-240	В	Стальной шарик	100	25-100
240-495	С	Конус из твердого сплава	150	20-67
240-900	С	Алмазный конус	150	20-67
390-900	А	Алмазный конус	60	70-90

Однако данный метод имеет ряд недостатков:

- метод не может быть применен для испытания металлов с НВ > 450;
- метод неприменим для определения твердости листовых образцов толщиной менее 0,5...1 мм и изделий малой жесткости;
- на поверхности испытуемого изделия остаются заметные отпечатки.

89

(3.5)

3.5 Ускоренное определение износостойкости покрытий в лабораторных условиях

Лабораторные испытания при исследовании стойкости материалов к абразивному изнашиванию являются важной составляющей всего процесса работ. На сегодняшний день существует ряд методов и устройств для осуществления этого. Необходимо заметить, что все аспекты многообразной природы абразивного изнашивания на данный момент исследованы и реализованы в не полевых условиях и данной ветке развития есть куда двигаться.

Существует ряд исследований [35] о прямой взаимосвязи между твердостью и стойкостью к абразивному изнашиванию. Однако при реальных испытаниях зачастую результаты разнятся ввиду зависимости качества поверхности от множества параметров. В связи с вышесказанным является актуальным проведение ускоренных лабораторных испытаний на абразивный износ.

В задачи таких исследований ставятся такие основные пункты, как единовременное и оперативное испытание разных поверхностей, с применением одинаковых компонентов, но в разных соотношениях и соблюдение единых условий абразивной среды испытания для них. Так же важным является максимальное сокращение без вреда результатам исследований.

Традиционные методы исследований износостойкости, например, с применением испытательной машины СМЦ-2 с образцами типа диск-колодка являются сложными для выполнения быстрого выполнения работ с оперативным получением данных. Так же из менее эффективных средств испытаний можно отметить конструкцию «вращающаяся чаша» [36]. Одним из выходов с такой ситуации является исследованный и разработанный в ГОСНИТИ метод испытания на поверхности одной основы [37].

Крепление образца на оправе производится при помощи резьбы М20-22 с подходящим шагом, для обеспечения надежного крепления «оправка-образец».

Можно применять метод подготовки образца, предоставляющий из себя подготовку отдельных пластин из соответствующей марки стали с изучаемым видом упрочнения, с приклеиванием их к поверхности основы. Данный метод осложняется необходимостью выполнения дополнительных операций при подготовке образца.

Другой метод заключается в применении исследуемого вида стали в качестве материала основы, с последовательным упрочнением опытных

поверхностей, во избежания последствий чрезмерного температурного влияния.

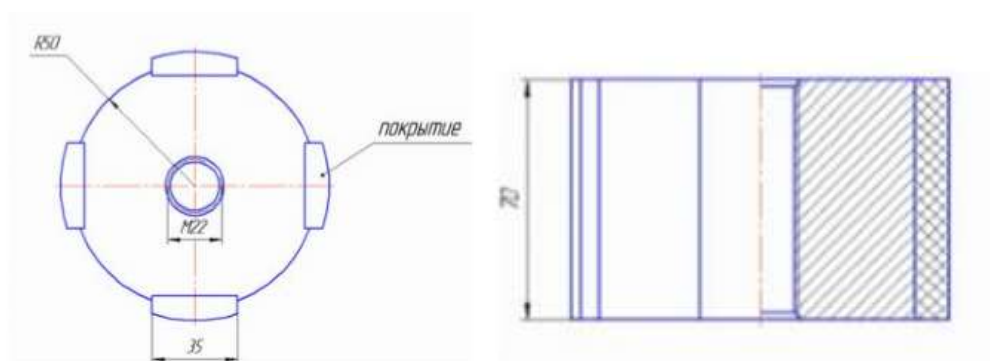


Рисунок 3.11 Опытный образец

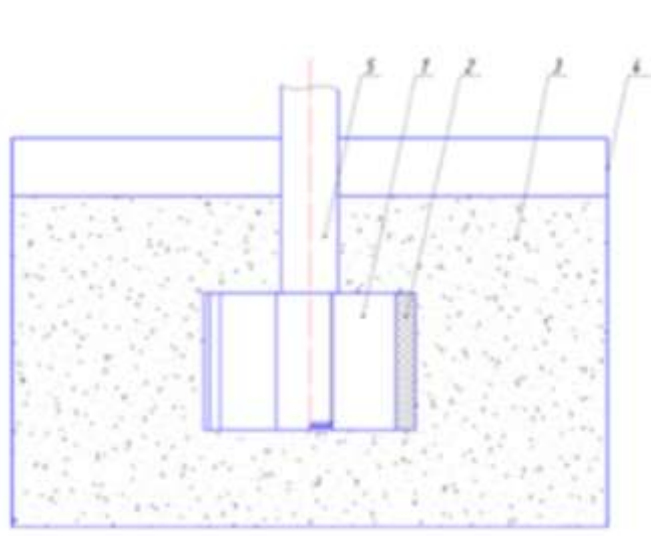


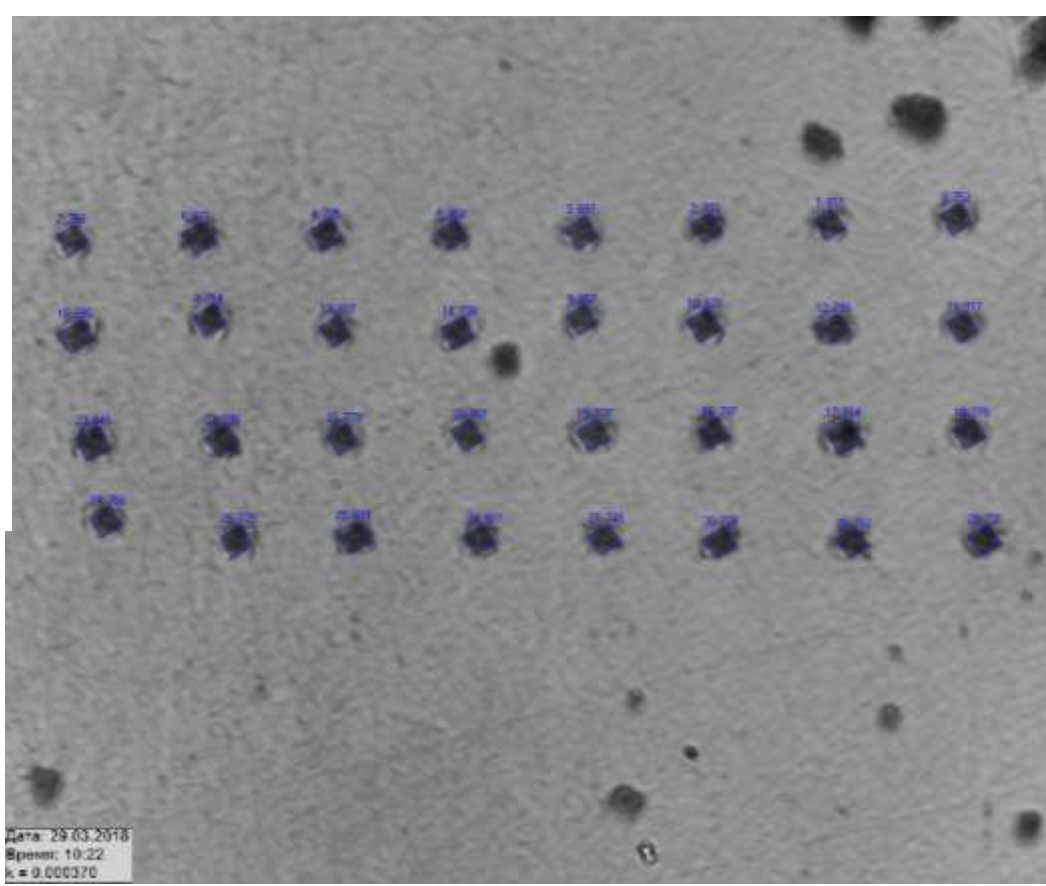
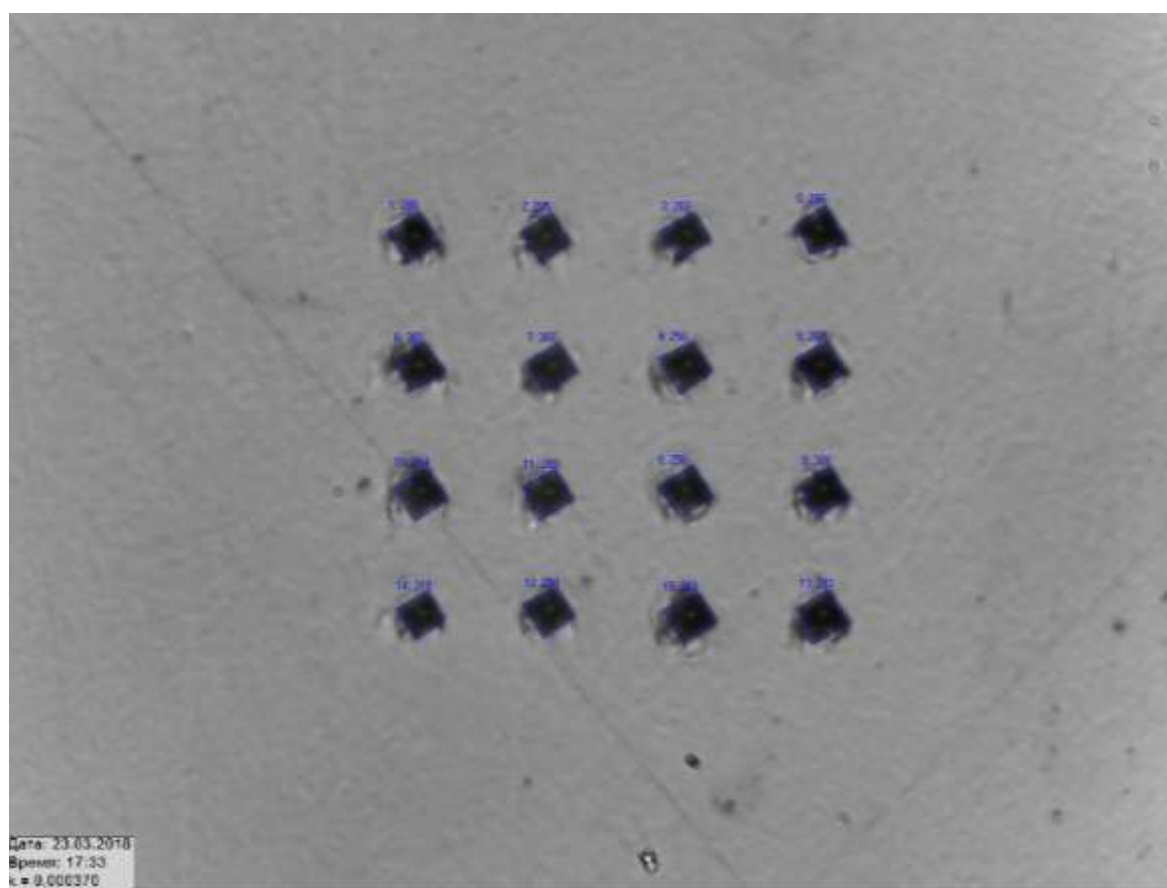
Рисунок 3.12 Схема проведения испытаний.

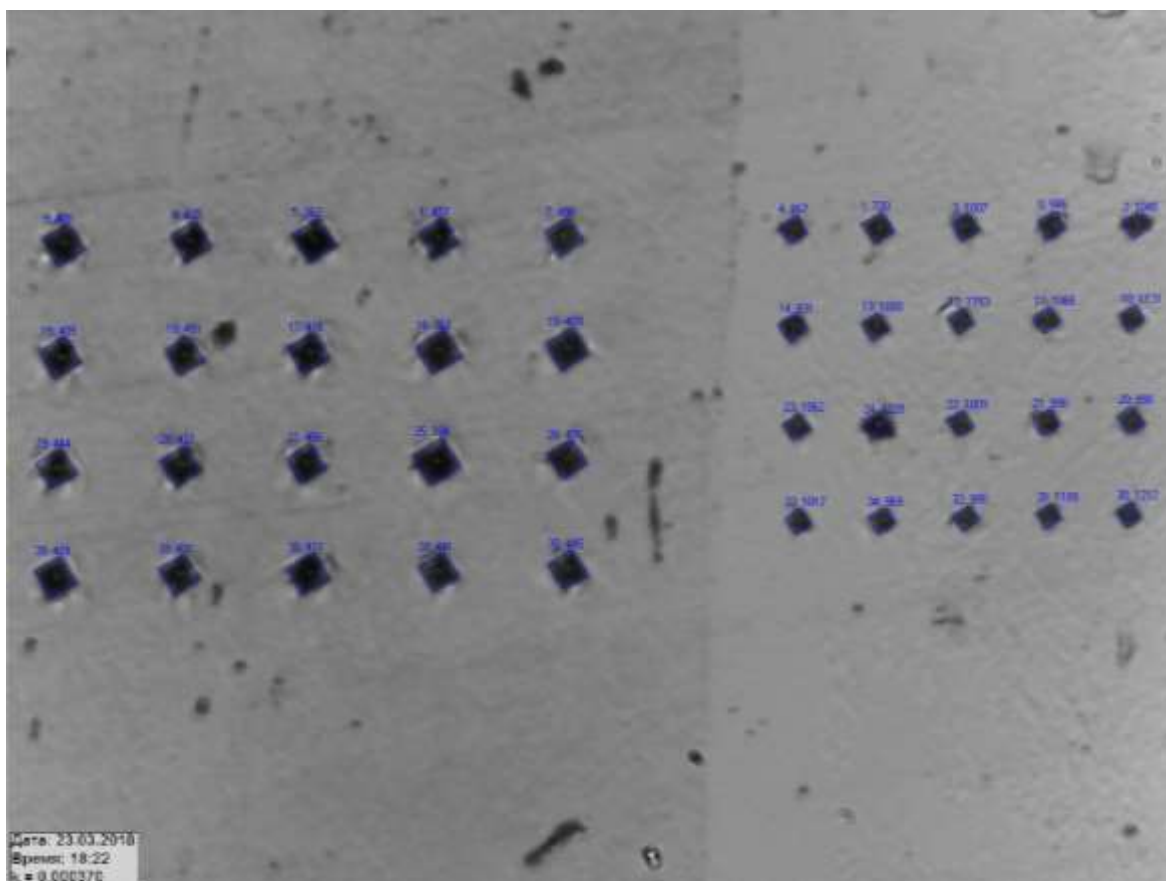
3.6. Эксплуатационные испытания упрочнённых деталей

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ.

4.1. Измерение микротвёрдости покрытия.

**Результаты исследований микротвердости поперечных шлифов
натурных образцов, обработанных электроискровым методом**





4.3. Испытание полученных покрытий на износостойкость

При проведении эксперимента образец крепился в шпинделе сверлильного станка с помощью конусной оправки. На станине устанавливалась емкость с абразивным материалом. После включения станка и придания образцу вращения в горизонтальной плоскости, его плавно помещали в абразивную среду, в которой происходило изнашивание. Первый

замер износа проводился после 2 минут эксперимента, что обуславливалось необходимостью контроля целостности образца. Последующая периодичность фиксирования износов составляла от 7 до 10 мин, для исключения перегрева образца. Эксперимент длился до полного истирания всех лунок.



Рисунок 4.1 Общий вид испытательной установки.



Рисунок 4.2 Образец, подготовленный для испытаний с высверленными лунками.

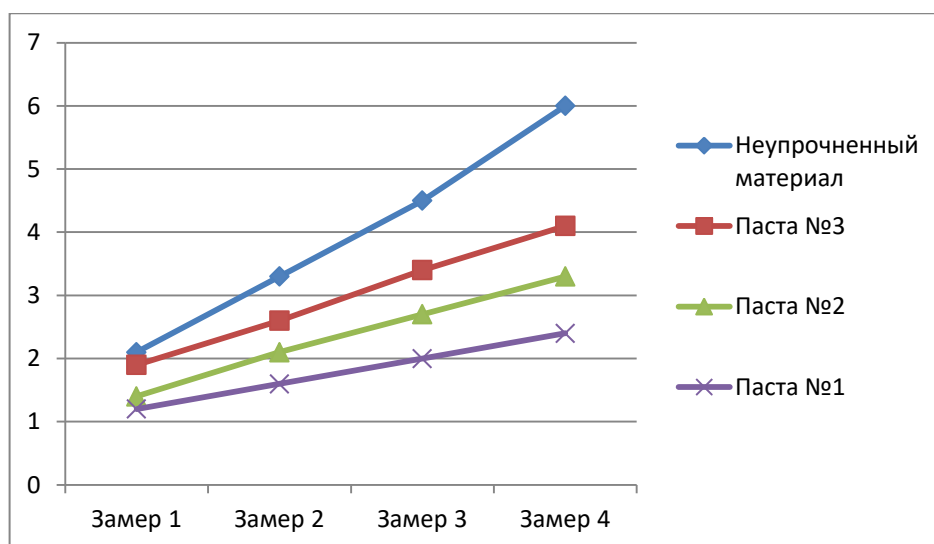


Рисунок 4.3 Результаты замеров ускоренного испытания деталей на износостойкость.

Испытания рабочих органов в реальных условиях эксплуатации позволили определить закономерности изнашивания деталей в зависимости от наработки. В качестве показателя износа использовали диаметр диска, путем замера расстояния между лезвиями диска. Данные замеров представлены в рисунке 4.4. и представляют собой средние значения износа в миллиметрах в зависимости от количества обработанной почвы в гектарах. Результаты полевых испытаний оказались соответствующими результатам полученным в лабораторных условиях.

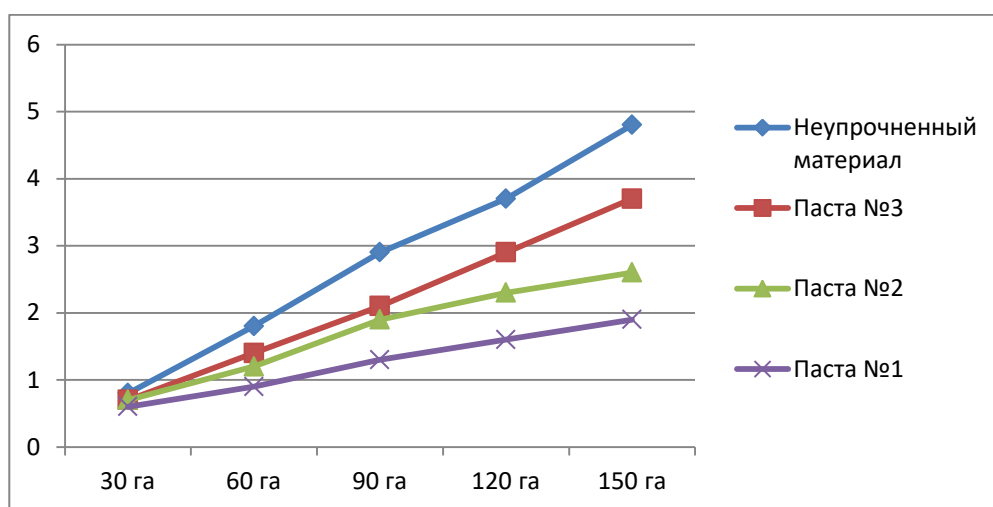


Рисунок 4.4. Результаты эксплуатационных испытаний упрочненных рабочих органов.

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УПРОЧНЕНИЯ

5.1. Проведение производственных полевых эксплуатационных исследований опытных образцов рабочих органов почвообрабатывающих машин



Рисунок 2 – Стрельчатые лапы:

а) серийная новая лапа; б) упрочненная новая лапа



Рисунок 3 – Лапы, установленные на культиватор:

а) серийная новая лапа; б) серийная упрочненная лапа



Рисунок 4 – Стрельчатые лапы после наработки 650 га:

а) серийная лапа; б) серийная упрочненная лапа

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. На сегодняшний день проблема ремонта машин и обеспеченности сельского хозяйства исправной техникой является крайне актуальной. В связи с этим на передний план выходит применение восстановительных технологии в ремонте, которые позволяют сэкономить до 70% от стоимости новых деталей во время ремонтных работ.
2. Анализ существующих материалов с повышенной твердостью позволяет сделать вывод о перспективности применения технической керамики, а именно оксида алюминия карбида бора, для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин.

3. В качестве метода упрочнения выбран виброугловой метод с использованием устройства ВДГУ-2. При выборе особую важность занимало доступность внедрения данного способа в предприятиях разных масштабов.
4. Итоги проведенного исследования и полученные результаты дают информацию о значительном росте износостойкости упрочненных деталей до 2.5 раз.