

**М. А. КАРАПЕТЯН
А. Г. ГАМИДОВ
С. К. ТОЙГАМБАЕВ**

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Учебное пособие

Москва
ООО «Мегаполис»
2021

УДК 631.3.02.004.67 (075.8)

ББК 40.7

К 213

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий отделом научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК ФГБНУ «Росинформагротех» **И. Г. Голубев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Метрология, стандартизация и управление качеством»

ФГБОУ ВО «РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева» **О. А. Леонов**

Карапетян М. А., Гамидов А. Г., Тойгамбаев С. К.

К 21 Технологии восстановления деталей технологических машин АПК: Учебное пособие / М. А. Карапетян, А. Г. Гамидов, С. К. Тойгамбаев / РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. – М. : ООО «Мегаполис», 2021. – 136 с.

ISBN 978-5-6047495-3-1

Учебное пособие может быть использовано студентами по направлению (специальности) 23.03.03, 23.03(04).03, 23.05.01, 35.03.06 механических и машиностроительных факультетов вузов в качестве дополнительного учебного пособия при выполнении курсового и дипломного проектирования, а также в их научно-исследовательской работе.

Книга предназначена для бакалавров, магистров, специалистов и аспирантов, занимающихся вопросами технического сервиса в АПК.

УДК 631.3.02.004.67 (075.8)

ББК 40.7

ISBN 978-5-6047495-3-1

© Коллектив авторов, 2021

© ООО «Мегаполис», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
ГЛАВА I. Исследование процессов, определяющих возникновения отказов транспортно-технологических машин природообустройства.....	15
1.1. Отказ и виды изнашивания деталей при эксплуатации.....	15
1.2. Анализ дефектов возникающих при абразивном изнашивании деталей рабочих органов.....	20
1.3. Определение показателей оценки физико-механических свойств почвы.....	23
1.4. Обоснование показателей оценки физико-механических свойств почвы.....	28
ГЛАВА II. Анализ вопросов прогнозирования долговечности деталей транспортно-технологических машин и выбор подхода к их решению.....	31
2.1. Существующие методы повышения износостойкости рабочих органов плуга.....	31
2.2. Применение керамических материалов для упрочнения рабочих органов.....	34
2.3. Применение керамических материалов для быстроизнашивающихся рабочих органов.....	37
2.4. Методы восстановления и упрочнения деталей почвообрабатывающих машин.....	39
2.5. Особенности получения порошковых покрытий электроконтактной приваркой.....	42
ГЛАВА III. Теоретические и экспериментальные исследования долговечности машин.....	51
3.1. Исследования взаимодействия абразивных частиц с поверхностью рабочих органов.....	51
3.2. Исследование износостойкости материалов от свойств абразивной массы.....	55
3.3. Исследование абразивной износостойкости материалов в лабораторных условиях.....	60
3.4. Исследование коэффициента трения металла о почву.....	61
3.5. Сравнительные эксплуатационные исследования упрочненных рабочих органов.....	61
3.6. Теоретические исследования долговечности деталей транспортно-технологических машин.....	66
3.7. Исследование количественной оценки долговечности рабочих органов.....	74
3.7.1 Долговечность новых лемехов.....	74
3.8. Расчет параметров и долговечности упрочненных деталей.....	81

ГЛАВА IV. Базы и базирование при восстановлении деталей	
транспортных и технологических машин.....	84
4.1. Понятие о базах.....	84
4.2. Классификация баз по назначению.....	86
4.3. Классификация баз по лишаемым степеням свободы.....	88
4.4. Классификация баз по характеру проявления.....	91
4.5. Понятие о базировании.....	94
4.6. Принцип постоянства базы.....	99
4.7. Принцип совмещения баз.....	100
ГЛАВА V. Точность механической обработки деталей.....	103
5.1. Основные понятия и определения.....	103
5.2. Классификация погрешностей.....	106
5.3. Обеспечение точности размеров детали.....	107
ГЛАВА VI. Станочные приспособления применяемые	
при восстановлений размеров деталей.....	119
6.1. Назначение приспособлений и их классификация.....	119
6.2. Установочные элементы приспособлений.....	125
6.3. Зажимные устройства приспособлений.....	129
Библиографический список.....	134

ВВЕДЕНИЕ

АПК представляет собой определенную подсистему общественного производства, включающую в себя три сферы:

- группа отраслей, занятых производством промышленных средств производства для всех отраслей АПК и производственно-техническим обслуживанием сельского хозяйства;
- непосредственно само сельское хозяйство, мелиорацию и гидротехническое строительство;
- отрасли, занятые заготовками, хранением, переработкой сельскохозяйственной продукции, доведением ее до потребителя.

Сельское хозяйство, как составляющая агропромышленного комплекса, одновременно является многофункциональным сектором, объединяющим целый ряд жизнеобеспечивающих функций государства.

Начиная с 1992 года в агропромышленном комплексе осуществляются институциональные преобразования, реформирование сельскохозяйственных предприятий. Следует отметить, что принципиальные изменения сложившейся системы аграрных отношений были неизбежны.

Существовавшее в рамках плановой экономики государственное сельское хозяйство характеризовалось не просто высоким уровнем государственного регулирования аграрного сектора, но и непосредственно государственным управлением сельскохозяйственным производством. Государство централизовано распределяло инвестиционные ресурсы, определяло производственные задания, что фиксировало отраслевую и региональную структуру аграрного производства – причем далеко не всегда эта структура была оптимальной.

Адекватной формой сельскохозяйственного предприятия при такой системе были колхозы и совхозы. В 1992 году в России количество колхозов и совхозов достигало 15,3 тыс.

За время своего существования они продемонстрировали достаточную устойчивость внутренней структуры, но при этом обнаружились и недостатки.

Во-первых, недостаточное экономическое стимулирование хозяйственной деятельности предприятий. В условиях, когда предприятию централизовано задаются объемы и структура, цены и каналы

реализации, финансовый результат хозяйственной деятельности не может быть стимулом.

Во-вторых, отсутствие действенного механизма мотивации труда внутри хозяйств.

Радикальная реформа аграрного сектора страны стала национальной проблемой. Необходима была смена аграрного строя, введение более эффективных производственных отношений в продовольственном комплексе.

Первым шагом реформы стала земельная реформа, реорганизация колхозов и совхозов, приватизация предприятий отраслей, поставляющих сельскому хозяйству средства производства и услуги, перерабатывающих и доводящих до потребителя его продукцию.

В 1990 году Верховным Советом РСФСР был принят Закон РФ «О земельной реформе» и Закон РФ «О крестьянском (фермерском) хозяйстве». В 1991 году был принят Земельный кодекс РСФСР. В результате была провозглашена частная собственность на землю.

Разработчики земельной реформы считали, что одной из причин низкой эффективности сельскохозяйственного производства явилось лишение крестьян собственности на землю и другие средства производства.

Поэтому для решения проблем сельского хозяйства и повышения его эффективности считалось необходимым «обеспечить переход земли в частную собственность и распространение частных методов ведения хозяйства. Передача в собственность и вместе с этим перенос в ответственности частным лицам вызовут значительные изменения в управлении сельскохозяйственными предприятиями и в их экономических показателях».

Стратегическая цель реформы создание многоукладной экономики, необходимой для развития рыночных отношений в аграрной сфере.

В соответствии с постановлением Правительства России от 29 декабря 1991 году № 86 «О порядке реорганизации колхозов и совхозов» и другими нормативными актами была проведена работа по развитию многоукладной экономики, созданию новых форм собственности и хозяйствования, расширению прав и полномочий сельскохозяйственных товаропроизводителей в распоряжении своей продукцией и доходами, установлению цен на продукцию.

Реорганизация предполагала передачу земли и других средств производства в собственность трудовых коллективов сельскохозяйственных предприятий, раздел этих фондов на паи и перерегистрацию хозяйств в одну из разрешенных организационно-правовых форм.

Была прекращена монополия государства на землю. Более 85 % сельскохозяйственных земель из государственной собственности были переданы в собственность коллективов сельскохозяйственных предприятий. За два года были реорганизованы практически все колхозы и совхозы. По условиям реорганизации они имели право принять форму акционерного общества или производственного кооператива либо сохранить свой статус, либо ликвидироваться.

К 1995 году 32 % колхозов и совхозов сохранили свой статус, 1 % преобразовались в акционерные общества, 42,6 % – товарищества с ограниченной ответственностью, 7,2 % – кооперативы.

Уже в 1995 году численность колхозов и совхозов сократилось до 9,3 тыс. При этом количество предприятий новых организационно-правовых форм увеличилось с 11,3 до 17,7 тыс.

Только небольшая доля крестьян, вышедших из колхозов и совхозов создали свои хозяйства. Остальные предпочли передать свои земельные доли и имущественные паи прежним или реорганизуемым сельскохозяйственным предприятиям. Быстрый переход к семейным фермам не был воспринят основной частью российского крестьянства.

Относительно малые масштабы выхода крестьян из колхозов и совхозов нередко объяснялись противодействием руководства этих предприятий и местных органов власти, а также недостаточностью материальной поддержки.

Также одной из основных причин было игнорирование отсутствия желания у большинства крестьян менять уже ставший привычным уклад жизни, которого они лишались, выходя из сельскохозяйственных предприятий.

Около 20 % сельскохозяйственных предприятий смогли приспособиться к рыночным условиям, а остальные быстро сокращали объемы производства и реализации продукции. В итоге в аграрной структуре России постепенно преобладающее место занял малый сельскохозяйственный бизнес. Количество крестьянских (фермер-

ских) хозяйств возросло с 49 до 2803,1 тыс. с площадью земли более 12 млн га. На долю этих хозяйств приходилось 5,2 % сельскохозяйственных угодий.

Возросло значение личных подсобных хозяйств, коллективных садов и огородов, удельный вес которых в валовой продукции сельского хозяйства в 1995 года достиг 43 %. Были сняты все ограничения на этот сектор, селяне получили достаточно большие земельные наделы для подсобного хозяйства.

В марте 1996 года Президентом РФ был подписан Указ «О гарантии конституционных прав граждан на землю», фактически завершивший формирование правовой базы земельных преобразований в стране.

Сельскохозяйственные организации не выдержали конкуренции с семейными хозяйствами. Если семейные хозяйства за годы реформ увеличили объем сельскохозяйственной продукции на 35,5 %, то сельскохозяйственные организации сократили его в 2,3 раза.

До начала аграрной реформы 90-х годов сельскохозяйственные организации играли решающую роль в производстве валовой сельскохозяйственной продукции, а семейные хозяйства – подсобную. По мере осуществления реформы ситуация менялась: к середине 90-х годов прошлого века эти два сектора аграрной экономики сравнялись, а в 1998 году в семейном секторе было произведено 60,8 % валовой продукции сельского хозяйства, в секторе сельскохозяйственных предприятий – 39,2 %.

В результате приватизации стали акционерными и частными большинство перерабатывающих, агросервисных, торговых и других предприятий первой и третьей сфер АПК России.

Среди позитивных результатов произошедших преобразований в первую очередь следует отметить создание сектора крестьянских хозяйств, расширение землепользования граждан (владельцев личных подсобных хозяйств, садово-огородных участков и т. д.), расширение прав крестьян в области землевладения и землепользования.

Позитивным было и расширение спектра форм хозяйствования – возникновение в структуре аграрного сектора товариществ с ограниченной ответственностью, новых типов кооперативов, ассоциаций и т. д. Существенно расширены права сельскохозяйственных

предприятий, которые теперь сами определяют направления, структуру и объемы производства и распоряжаются произведенной продукцией. Развивается сельское предпринимательство.

Начатая земельная реформа меняет структуру землевладения и характер земельных отношений. Возникла и распространяется частная собственность на землю.

Изменилась структура землепользователей. В 1991 году в России на долю государственного сектора приходилось 56 % сельхозугодий, но уже к 1997 году его доля сократилась в 4 раза. Удельный вес колхозов в общей площади сельхозугодий сократился почти в 3 раза и составил 13,8 %. Доля частного сектора (фермерские хозяйства и хозяйства населения) за этот период увеличилась с 1,8 до 9,4 %.

Одним из централизованных элементов государственного сельского хозяйства являлась система государственных закупок.

Закупки сельскохозяйственной продукции были основным механизмом перераспределения произведенного аграрного продукта.

Либерализация цен и реорганизация сельскохозяйственных предприятий устранили существующий механизм. Стали невозможными обязательные поставки по фиксированным ценам.

С 1992 года начался процесс трансформации системы государственных закупок в сельском хозяйстве.

Система закупок претерпевает кардинальное изменение: государство перестает быть монополистом на рынке сельскохозяйственной продукции и продовольствия, появляются альтернативные посредники, формируется рынок.

Со временем идет сокращение государственного присутствия на сельскохозяйственных и продовольственных рынках.

В результате резко сократились закупки сельскохозяйственной продукции государственными заготовительными организациями и потребительской кооперацией.

Удельный вес централизованных закупок зерна в России в общем объеме его реализации уменьшился с 63 % в 1993 году до 25 % в 1997 году, картофеля соответственно – с 52 до 29 %, овощей – с 71 до 40 %, мяса скота и птицы – с 79 до 45 %, молока и молочных продуктов – с 97 до 82 %, яиц – с 92 до 74 %.

По мере ухода государства с рынков сельскохозяйственной и продовольственной продукции, постепенно в этой сфере начала

формироваться рыночная инфраструктура. Первыми опытами в этой сфере стали продовольственные биржи, постепенно стали развиваться оптовые рынки. В сельскохозяйственной торговле появился новый элемент – посредник.

Таким образом, на сельскохозяйственном рынке формируется новая инфраструктура, возникают новые институты и новые формы контактов.

Следующим направлением реформы стало изменение системы государственного регулирования аграрного сектора перестройка методов управления АПК.

Основным недостатком действующей с начала реформ системы поддержки АПК было несовершенство правовой базы ее функционирования. Это делало поддержку из года в год крайне нестабильной и зависимой от принимаемых субъективных решений, что снижало ее эффективность. Кроме того, нерегулярные, неполные выплаты сельхозтоваропроизводителям обесценивались инфляцией.

Малоэффективными оказались попытки поддержать агропромышленное производство через механизмы кредитования сельхозтоваропроизводителей для покрытия затрат на приобретение различных ресурсов, необходимых для проведения сезонных дорогостоящих работ (весенний сев, заготовка кормов, уборка урожая).

В 1995–1996 годах осуществлялось товарное кредитование сельскохозяйственных товаропроизводителей по поставкам горюче-смазочных материалов.

Однако порядок оформления кредита был сложным и в итоге приводил к тому, что цены на нефтепродукты, поставленные на условиях товарного кредита, оказывались на 20...30 % выше рыночных.

При этом сельхозтоваропроизводители были лишены возможности самостоятельного выбора поставщиков нефтепродуктов.

Получать в виде товарного кредита другие материально-технические ресурсы они также не могли. В результате у сельхозтоваропроизводителей ухудшилось финансовое положение, и возросла задолженность за счет штрафов и пени.

Для сельхоз товаропроизводителей с 1991 года действует система льготного налогообложения. Сохранение и дальнейшее развитие льготного налогообложения в сельском хозяйстве в сочетании с

другими видами государственной поддержки должно было способствовать приоритетному развитию этой отрасли, обеспечению сельскохозяйственных предприятий финансовыми ресурсами для расширения воспроизводства и укрепления фермерских хозяйств.

Однако реального влияния на положение в сельском хозяйстве указанные незначительные льготы не оказали.

В результате либерализации с 1992 года цен, нарушения ценового паритета на продукцию сельского хозяйства и продукцию промышленности, падения платежеспособного спроса населения, увеличения дотированного импорта продовольствия эффективность господдержки была сведена на нет, в результате чего увеличилась тяжесть налогообложения.

С целью оказания помощи сельскому хозяйству с 1994 года осуществляется поставка АПК машиностроительной продукции на основе финансовой аренды (лизинга) с использованием государственного лизингового фонда, а продукции племенного животноводства – с 1995 года. Использование бюджетных средств для финансирования лизинга является одной из форм прямого субсидирования АПК.

Установленные льготы делают проводимые лизинговые операции для сельских товаропроизводителей более выгодными в сравнении с другими существующими видами приобретения имущества.

Получение техники на условиях лизинга является для сельхоз товаропроизводителей основным источником ее пополнения.

За период реформ особенно резкие диспропорции между АПК и экономикой в целом произошли в инвестиционной сфере. Если общий объем капитальных вложений в народное хозяйство уменьшился в 4 раза, то в АПК – почти в 20 раз.

В 1991 году удельный вес капитальных вложений в АПК в общем объеме инвестиций в экономику России составлял 31 %, в 1999 году – снизился до 6 процентов.

В соответствии со статьей 16 Федерального закона «О государственном регулировании агропромышленного производства» и постановлением Правительства Российской Федерации от 27.11.98 года № 1399 «О государственном регулировании страхования в агропромышленном производстве» предусмотрена государственная поддержка сельскохозяйственных товаропроизводителей при страхова-

нии урожая сельскохозяйственных культур в виде уплаты за счет средств федерального бюджета 50 % страховых взносов.

Следующее направление реформы связано с попытками освободить сельскохозяйственные организации от функций по содержанию объектов коммунального хозяйства и социальной инфраструктуры посредством передачи последних в ведение сельских муниципалитетов.

Задача создания развитой социальной сферы на селе много раз декларировалась как одно из направлений социально-экономического развития сельскохозяйственной отрасли. В 1990 и в 1991 годах были приняты законы «О социальном развитии села», и «Возрождение российской деревни». Однако состояние социально-бытовой сферы села ухудшалось.

Колхозы и совхозы выполняли селообразующие функции, от которых зависело не только состояние производства, но и социальное благополучие жителей территорий.

Проведение рыночных реформ в АПК сопровождалось ухудшением финансового состояния предприятий. К середине 90-х годов 80 % их находилось в состоянии банкротства. Ухудшение положения предприятий не позволило им долгое время развивать социальную сферу. Кроме того, в 1992 году было принято решение о передаче содержания социальной сферы села с федерального на местный уровень. Постановлением Правительства РФ от 17 июля 1995 года № 724 было принято решение о передаче сельскохозяйственными организациями объектов социальной и инженерной инфраструктуры в муниципальную собственность.

Однако не были определены механизмы формирования финансовых ресурсов для местных органов власти, осуществляющих эксплуатацию и ремонт этих объектов. А муниципалитеты, не имея достаточных финансовых средств, не были заинтересованы в приеме объектов на свой баланс.

В результате процесс передачи социально-бытовых объектов приобрел затяжной характер.

В целом аграрную реформу можно охарактеризовать стремлением заменить крупное колхозно-совхозное производство массой мелкотоварных фермерских хозяйств.

Этот процесс не был подкреплён материально-технически и финансово, что привело к обвальному падению производства сель-

скохозяйственной, а также промышленной продукции в стране.

Предпринятые в ходе аграрных преобразований меры не привели к росту сельскохозяйственного производства, за период 1991–1997 года произошло его существенное сокращение – около 40 %.

В агропромышленном комплексе продолжают процессы сокращения ресурсного потенциала, ухудшения финансового состояния сельхозтоваропроизводителей. За годы реформ доля сельского хозяйства в ВВП уменьшилась с 13,7 до 8,4 %.

Сложившаяся в результате преобразований модель рыночных отношений имела некоторые недостатки.

Во-первых, рынок направлен на удовлетворение потребностей ограниченной доли населения. Значительная часть населения из-за низких доходов не может воспользоваться всеми благами рынка.

Во-вторых, идет процесс развития оптовой торговли продуктами питания.

Однако владельцы основной доли предприятий оптовой торговли иностранные компании, что является негативным фактором с точки зрения продовольственной безопасности.

В-третьих, на агропродовольственном рынке стали складываться так называемые теневые отношения.

Сократилась государственная поддержка сельского хозяйства.

Почти полностью прекращены работы по восстановлению и повышению плодородия земли. За годы реформ снизилось применение минеральных удобрений в 9 раз, уменьшились работы по мелиорации земель в 15 раз.

Из оборота выведено более 30 млн га сельскохозяйственных земель.

Продолжается сокращение машинно-тракторного парка.

Списание износившейся техники превышает поставки новой. Более половины имеющегося машинно-тракторного парка изношено морально и физически. Не спасают положение и поставки техники по лизингу.

Стремительно ухудшается демографическая ситуация на селе.

По сравнению с 1991 годом численность сельского населения сократилась на 2 млн чел. Высокий уровень безработицы на селе. Наряду с низким уровнем доходов, отставанием социальной сферы появились новые проблемы: усиление социальной дифференциации

в сельском обществе, рост информационной изолированности деревни.

Таким образом, произошло ухудшение всех составляющих сельскохозяйственного производства.

Несмотря на значительное увеличение производства зерна и сокращение убыточных продуктов животноводства, финансовое положение товаропроизводителей не улучшилось.

Возрос удельный вес нерентабельных хозяйств.

Кредиторская задолженность сельскохозяйственных товаропроизводителей увеличилась на 42 %.

Причинами сложившегося положения в отрасли стали:

- общая кризисная ситуация в стране – значительное падение производства, разрыв хозяйственных связей;
- увеличение диспаритета цен на сельскохозяйственную и промышленную продукцию, а также ТСМ и ТЖ;
- деградация ресурсного потенциала и технологическая отсталость отраслей АПК;
- незавершенность институциональных реформ в аграрной сфере, что проявляется в ежегодном изменении правил и механизмов государственного регулирования сельского хозяйства и продовольственных рынков;
- снижение государственной поддержки сельского хозяйства;
- разрушение системы государственных закупок при отсутствии рыночной инфраструктуры и государственного контроля над деятельностью посреднических структур;
- слабая защита отечественного товаропроизводителя;
- монополизм смежных с сельским хозяйством отраслей.

ГЛАВА I. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОТКАЗОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

1.1. Отказ и виды изнашивания деталей при эксплуатации

Главная роль принадлежит механической обработке почвы, оказывающей влияние на глубину пахотного слоя. Повсеместно в севообороте широкое применение находит разноглубинная система обработки почвы, состоящая из поверхностных обработок, классических способов, включающих после уборочное лушение и вспашку на глубину 20...22 см, глубоких, более 25 см, и мелиоративных двух – трех ярусных вспашек.

Основная цель механической обработки почвы – создание наиболее благоприятных условий для роста и развития культурных растений и повышение ее плодородия.

В любом технологическом процессе механической обработки, как указывал В. П. Горячкин, необходимо участие трех элементов: энергии, рабочего органа и объекта обработки – материала.

В процессе механической обработки почвы рабочий орган машины или орудия (корпус плуга, диск, зуб бороны, лапы культиватора и т. п.), получая энергию от трактора или другого источника, воздействует на почву, в результате чего изменяет его свойства и состояние. Надежность современных рабочих органов почвообрабатывающих машин во многом определяется их безотказной работой. Основная часть отказов происходит в результате различных видов изнашивания. Это объясняется особыми условиями эксплуатации деталей сельскохозяйственных машин и оборудования.

Во время эксплуатации большинство рабочих органов почвообрабатывающих машин подвергаются динамическим нагрузкам, абразивному износу и химическому воздействию внешней среды. Интенсивный износ рабочих органов, помимо затрат средств на их ремонт и изготовление запасных частей, вызывает простои при эксплуатации. Поэтому повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин является одной из актуальных проблем технического прогресса.

Вопросы повышения долговечности неразрывно связаны с изучением закономерностей изнашивания рабочих органов в условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники, и разработка основ расчета деталей машин.

Процесс износа рабочих органов почвообрабатывающих машин протекает при непрерывном взаимодействии материала с почвой. Интенсивность и характер износа материала зависит от природы и свойств почвы, а также от условия взаимодействия с ней рабочих органов.

Исследования показали, что в качестве основных факторов, определяющих износ рабочих органов почвообрабатывающих машин, выделяются механический состав почв, влажность, плотность и однородность почвы, скорость движения и форма рабочих органов, а также свойства материалов, из которых они изготовлены. Факторы, относящиеся к свойствам почвы, являются переменными. В различных почвенно-климатических условиях влияние указанных факторов может существенно различаться и соответственно износостойкость одних и тех же материалов, а следовательно и долговечность, на различных почвах при прочих равных условиях будет не одинаковой.

Чтобы установить виды и интенсивность износа рабочих органов в различных почвенных условиях, необходимо провести наблюдение за их износом в процессе эксплуатации. Наиболее целесообразно в данном случае проводить выборочные наблюдения за износом типичных рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Объектом исследований стали рабочие органы плугов, культиваторов фрезерных машин, лушильников, борон и т. д.

В процессе абразивного изнашивания оказывает влияние количество абразивных частиц, их размеры, форма, вид абразива, физико-механические свойства материалов, из которых изготавливают

детали, агрессивное воздействие окружающей среды, температурный режимы в зоне трения и другие факторы, приводящие к механическому разрушению рабочих органов машин.

Рассматривается механизм изнашивания для случаев, когда абразивные частицы входят в контакт с поверхностью металлической детали.

При этом зерна абразивов упруго деформируют металл, оставаясь целыми или разрушаясь, кроме того, в зависимости от структуры абразивного материала и среды, в которой находятся частицы, они могут вдавливаться в эту среду, перемещаться в ней и выходить из зоны контакта.

Абразивная частица вдавливается в металл детали, если она обладает большей твердостью, чем металлическое зерно и прочностью, достаточной для восприятия нагрузки, необходимой для ее вдавливания в поверхностный слой детали. Внедрившаяся частица при ее движении относительно поверхности может процарапать риску или снимать микроскопическую стружку.

Процесс резания начинается только при определенном отношении глубины проникновения абразива к радиусу скругления внедрившейся частицы. Частотность внедрения абразивных частиц мала, основное количество абразивных зерен производит царапающее действие с оттеснением металла в стороны.

По пути царапания свободная частица может повернуться и прекратить выдавливание металла, она может дойти до твердой структурной составляющей сплава, «перешагнуть» через нее и вновь начать царапание. Ее выступ может вырвать твердую составляющую, обломиться, частица может раздробиться.

Глубина канавок при абразивном изнашивании зависит от размера зерна, зазора между сопрягающимися деталями и варьирует от 0,001...1,0 мм.

При образовании канавок и царапин наблюдается явление наклепа, в результате которого происходит выкрашивание верхних слоев металла. Важную роль играет и тот факт, что в процессе работы сопряжений при абразивном разрушении поверхности трения образуются оксидные пленки толщиной в несколько элементарных ячеек кристаллической решетки данной фазы оксида. Продуктами окисления могут быть твердые растворы кислорода и металла и их химические соединения. Железо с кислородом образуют три оксида

с различным видом кристаллической решетки: вюстит FeO , магнетит Fe_2O_4 и гематит Fe_2O_3 .

На интенсивность абразивного изнашивания оказывает влияние скорость перемещения рабочей поверхности детали по отношению к положению и перемещению частиц абразива.

При наличии высоких скоростей продолжительность контакта снижается и выделяющая при этом теплота в следствии пластического деформирования, не успевает распространиться в глубь детали. В случае повышения температуры на микроповерхности детали (местный нагрев) возможно изменение механических свойств металла в результате структурных превращений, что оказывает влияние на интенсивность изнашивания.

Удары абразивных частиц о микронеровности поверхности расшатывают их связи с материалом основы, что способствует разрушению самого материала детали.

Известно, что наличие водорода в металлах и сплавах снижает их пластичность и повышает хрупкость. Это объясняется искажениями кристаллической решетки и ослаблением когезионной связи между атомами железа при внедрении водорода в структуру металла.

Современные представления о механизме наводораживания металлов исходит из того, что в результате трения, напряжения и деформации при контакте со средой, на поверхности подложки образуется атомарный водород, который адсорбируется матрицы металла и диффундирует через кристаллическую решетку в зону охрупчивания.

При вибрациях рабочих органов, контактирующих без смазочного материала, в результате которых происходят большие циклические взаимные смещения ($0,025 \dots 2,5$ мм), коррозионно-механическое изнашивание протекает на участках трущихся поверхностей, образуются мелкие ямки и продукты коррозии в виде налета, пятен и порошков. Продукты изнашивания, оставшиеся в зоне контакта участвуют в увеличении интенсивности процесса изнашивания в качестве абразивных частиц.

Существует мнение, что процессу фреттинг-коррозии всегда в начальной стадии, предшествует возникновение схватывания на микроучастках контакта, которое прекращается по мере накопления в зоне контакта продуктов изнашивания сопряженных поверхностей.

Схватывание представляет собой образование связей сопряженных поверхностей на участках их поверхностного контакта.

Разрушение образующих металлических связей связано со значительными тангенциальными усилиями, являющимися результатом сопротивления срезу материала на контактах схватывания.

Однако при схватывании неизбежно происходит пластическая деформация поверхностного слоя металла и вследствие этого его упрочнение. Поэтому разрушение металлической связи сопровождается вырывом частиц металла с поверхности детали, как правило, имеющую меньшую твердость. Процесс схватывания возникает и развивается в тяжелых условиях нагружения, при наличии высоких скоростей скольжения, больших давлениях и отсутствии смазочного материала.

Для устранения фреттинг-коррозии, схватывания и уменьшения коррозионно-механического изнашивания при работе сопряжений необходимо стремиться к обеспечению поверхностей твердости деталей с учетом условий эксплуатации.

Установлено, что усталостное изнашивание происходит в результате постепенного и длительного разрушения в металле в условиях знакопеременных нагрузок, которые вызывают растягивающие и сжимающие напряжения, разрушающие поверхностные слои металла в процессе трения.

Во время первых циклов переменных нагружений происходит пластическая деформация, которая при многократной повторяемости вызывает упрочнение металла. Наличие в металле посторонних включений и дефектов вызывает концентрацию напряжений. При пластической деформации связь между атомами кристаллической решетки нарушается по мере роста количества циклов переменных напряжений, в металле появляются зоны, где атомные связи будут нарушены.

Это приводит к первоначальному возникновению микротрещины, которая в дальнейшем приводит к выкрашиванию металла.

Процессы изнашивания подчиняются общим закономерностям теории трения и изнашивания обнаружены достаточно четкие зависимости износостойкости трущихся поверхностей сопрягаемых деталей.

Особенно это характерно для условий изнашивания с преимущественно прямым разрушением поверхностного слоя под действием абразивных частиц.

1.2. Анализ дефектов возникающих при абразивном изнашивании деталей рабочих органов

Эффективное использование сельскохозяйственных машин и оборудования становится возможным только при учете воздействия специфических сред на рабочие органы в конкретных условиях эксплуатации и ремонте.

Известно, что в процессе работы деталей подвергаются динамическим нагрузкам, интенсивному изнашиванию и воздействию внешней среды, поэтому необходимо провести анализ основных видов изнашивания.

Для прогнозирования долговечности деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин в зависимости от их назначения целесообразно применять вполне определенные критерии, называемые выбраковочными дефектами.

Для деталей рабочих органов основными критериями определяющих износ являются:

- *технологические критерии*, по которому предельные величины износов определяются по предельным отклонениям от установленного качества выполняемой работы;
- *экономические критерии*, основаны на отыскании минимума эксплуатационных затрат в зависимости от наработки детали в часах или гектарах обработанной почвы. По нему определяется предельный износ деталей, сопровождающиеся изменениям (увеличением) затрат.

Для отвала плуга предельный износ определяется износом его на толщину детали рабочей поверхности (чаще всего на груди отвала).

Для лемеха основным критерием долговечности служит минимум затрат при работе на тяжелых почвах, на легких же – износ по ширине.

Предельный срок службы культиваторных лап ограничивается затуплением, т. е. когда они перестают перерезать стебли и корневища сорных трав.

Важно правильно определить допустимое количество ремонтов при потере ресурса деталей.

Это позволит определить количество деталей, которые необходимо изготовить или восстановить их ресурс для обработки определенной площади пахотных земель.

Экономически целесообразно количество ремонтов определять по формуле профессора В. Н. Трейера:

$$n = 1 + \sqrt{\frac{1 - m}{m \times \ln \eta}}, \quad (1.1)$$

где $m = \frac{Q_1}{Q}$ – отношение стоимости первого ремонта к стоимости новой детали; n – порядковый номер ремонта, соответствующей тому периоду, в течение которого определяется стоимость единицы обработанной площади; η – постоянная величина, учитывающая удорожание каждого последующего ремонта по сравнению с предыдущим; $m, \ln \eta$ – определяется из статистики для каждого конкретного сельскохозяйственного предприятия.

Главным фактором, ограничивающим ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин при эксплуатации, являются абразивные изнашивания.

Под абразивным изнашиванием чаще всего понимают разрушение поверхности металла в результате воздействия твердых частиц. Изнашивание металлов почвы представляет собой процесс разрушения их поверхностных слоев минеральными зёрнами.

Такой процесс принято называть абразивным изнашиванием.

С превышением количества числа режущих частиц ведущим стал процесс прямого разрушения поверхностного слоя (т. е. микро-резание), интенсивность которого линейно возрастала с дальнейшим увеличением количество корундовых частиц.

Существует мнение, что механизм износа рабочих органов имеет химическую природу.

При этом подразумевают, что изнашивание происходит за счет удаления с поверхности материала детали охрупченного под действием кислорода и водорода слоя, который образуется в результате активного действия среды.

Однако опыты, проведенные М. М. Хрущевым и М. А. Бабичевым, показали, что при трении стали об абразивную поверхность даже при самой малой интенсивности изнашивания, которую удалось достичь в испытаниях, свойство среды не влияет на изнашивание.

Многие исследователи пытались установить зависимость между износостойкостью и твердостью металла. М. М. Хрущев и М. А. Бабичев установили линейную зависимость относительной износостойкости ε от твердости при вдавливании для технически чистых металлов:

$$\varepsilon = bH \quad (1.2)$$

где b – коэффициент пропорциональности.

Показано также связь износостойкости с модулем нормальной упругости:

$$\varepsilon = aE^n \quad (1.3)$$

где a – коэффициент пропорциональности; n – показатель степени.

У термически обработанных и легированных сталей износостойкость с увеличением твердости также возрастает, но менее интенсивно.

Во многих исследованиях обнаруживались достаточно четкие зависимости износостойкости материалов от их твердости, особенно в условиях изнашивания с преимущественно прямым разрушением поверхностного слоя под действием твердых и остроугольных абразивных частиц.

Вместе с тем, результаты исследований и накопленный в сельхозмашиностроении опыт утверждают в том, что твердость не может однозначно характеризовать износостойкость материалов.

Однако с другой стороны, твердость материала выступает как фактор регулирования процесс изнашивания, определяющий уровень контактных напряжений в микрообъемах в поверхностных слоях детали. Для «жестких» материалов ($E > 10^5$ МПа), с твердостью в значительной мере связано формирование процесса изнашивания и возможность получения высоких значений износостойкости, которых нельзя получить только за счет повышения прочностных свойств поверхностного слоя.

Известно также, что интенсивность абразивного изнашивания также зависит от физико-механических свойств почв, режимов работы и других факторов.

Существенное влияние на интенсивность абразивного изнашивания оказывает также структура материала детали.

Поэтому для повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин необходимо развивать:

- методы получения первичных структур со свойствами, обеспечивающими возможность оптимальной перестройки и дополнительного упрочения в условиях эксплуатации (механический и фазовый наклеп). В этом случае при трении происходит образование вторичных защитных структур, способствующих расширению диапазона нормальных процессов и снижению интенсивности трения и изнашивания;

- методы создания первичных структур с максимально возможной стабильностью по отношению к механическим и химическим воздействиям.

Однако, в сложных условиях эксплуатации и ремонта не всегда имеется возможность для оптимального перехода от исходных состояний и свойств поверхностных слоев к вторичным упрочненным структурам.

Это прежде всего касается машин и оборудования новой техники, работающих в условиях высоких скоростей и химических активных средах, поэтому для обеспечения износостойкости и защиты деталей от повреждений в этих условиях более предпочтителен второй вариант.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что интенсивность абразивного изнашивания зависит от механических свойств поверхностного слоя материала, основная характеристика которого является твердость.

Поэтому одной из задач данной работы является изучение влияния физико-механических свойств материала на их износостойкость, с целью исследования прогнозирования долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин, при эксплуатации и ремонте транспортно-технологических машин природообустройства.

1.3. Определение показателей оценки физико-механических свойств почвы

В почвоведении, например, к категории глинистых и песчаных частиц почвы относят частицы почвы, имеющие диаметр соответственно менее и более 0,01 мм. В механике грунтов к этим катего-

риям относят частицы, имеющие $d_i < 0,005$ мм и $d = 0,25 \dots 2,0$ мм.

Характерно, что в обоих случаях используют одинаковые названия классификационных групп.

Существует градация состояний почв и грунтов по величине показателя консистенции P_k на твердое, полутвердое, пластичное и текучее.

Величина P_k зависит от содержания влаги в почве.

Влажность, соответствующая переходу почвы из одного состояния в другое, начиная с твердого, называют соответственно пределом:

- усадки W_y ;
- пластичности $W_{п}$;
- текучести W_t .

При $P_k < 0$ среда находится в полутвердом или твердом состоянии, при $0 < P_k < 1$ – в пластичном и при $P_k > 1$ – в текучем.

Такая градация состояний почвы и количественная характеристика их границ не имеет строгого обоснования.

В механике грунтов для классификации состояний среды используют показатель их относительной плотности D .

Грунт считают плотным при $2/3 < D < 1$, рыхлым при $D < 1/3$ и имеющим среднюю плотность при $1/3 < D < 2/3$.

Однако, обоснование как критерия, так и границ состояний среды в данном случае также отсутствует.

Отдельные попытки использовать эти методы классификации состояний среды и соответствующие им комплексные показатели при оценке эксплуатационных свойств мобильных агрегатов пространства не получили.

Для описания физических свойств при этом в настоящее время превалирует использование отдельных показателей, входящих в группы 2 и 3.

К их числу относятся:

- массовая W_t ;
- относительные W_0 влажность;
- показатель гранулометрического состава почвы d_i .

Следует отметить, что ни один из комплексных или отдельных показателей групп 2, 3 и 4 не может служить характеристикой физических свойств всей среды. Они выполняют эту функцию лишь кос-

венно в той мере, в какой проявляется их влияние на обобщенный показатель рассматриваемых свойств всей среды. Таким показателем может служить только плотность ρ , которая содержит в себе информацию как о составе среды, так и о физических свойствах отдельных ее компонентов.

Характерно, что величину ρ очень широко используют для описания свойств среды при физическом моделировании процесса взаимодействия органов различных машин с почвой.

Однако, для характеристики состояния почвы при работе агрегатов она находит пока крайне редкое применение.

Для формирования этого перечня показателей используем системный подход, исходя из принятого 3-х компонентного состава почвы.

Состав многокомпонентных сред обычно принято характеризовать долей в ней (в % или частях) каждого компонента (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Физико-химические свойства пахотного слоя почв

Почвы	ЕКО	Обменные катионы			Степень насыщенности основаниями $V, \%$	pH_{H_2O}	pH_{KCl}
		$Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (S)	$H^{+} + Al^{3+}$ (Hr)	Na^{+} , % к ЕКО			
	мг-экв / 100 г						
Дерново-подзолистые Суглинистые	15-25	10-15	5-10		60-70	4,0-6,0	3,0-5,5
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	3-6	2-4	1-2		50-70	5,0-6,0	4,0-5,0
Серые лесные	20-30	16-26	2-5		70-85	5,5-6,5	5,0-6,0
Черноземы выщелоченные и оподзолен- ные	25-40	18-35	5-7		80-90	6,0-6,5	6,0-6,5
Черноземы тип.	40-70	37-75	3-5		90	6,8-7,0	
Черноземы обык. и южные	25-50	25-50		0,1-15	100	7,0-7,3	
Каштановые	20-35	20-35		1-15	100	7,1-7,5	
Бурые пустын- но-степные	10-20	10-20		1-15	100	7,3-8,0	
Солонцы	15-25	15-25		15-60	100	8,0-10	
Красноземы	14-25	10-15	5-10		50-70	4,5-5,5	4,0-4,5

При этом для количественного описания состава среды могут быть приняты единицы объема или массы. Применительно к почве первые являются более предпочтительными из-за малых значений массы газообразных компонентов, содержащихся в единице объема почвы. Обозначим объемные доли твердых частиц в почве через a_s , воды – a_w и газов через a_g , т. е.

$$a_i = \frac{V_i}{V}, i = 1, 2, 3, \quad (1.4)$$

где V и V_i – объем почвенного образца и i -го его компонента.

Тогда, в соответствии с принятой схемой (рисунок 1.1) имеем:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad (1.5)$$

отсюда следует, что при экспериментальном определении значений a_i достаточно найти только два из них, так как третье можно вычислить по формуле.

Если эксперимент позволяет найти значение всех a_i , то эта формула может служить для оценки точности эксперимента.

Для характеристики физических свойств отдельных компонентов в плане рассматриваемой задачи достаточно использовать их плотность (таблица 1.2).

Тогда взаимосвязь между показателями a_i , ρ_i и ρ будет иметь вид:

$$\rho = \sum_{i=1}^n a_i \rho_i. \quad (1.6)$$

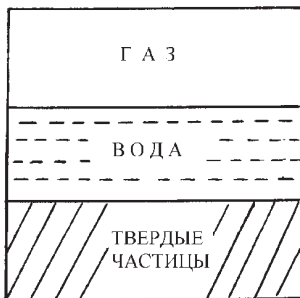


Рисунок 1.1 – Структурная схема почвы

**Таблица 1.2 – Плотность и плотность твердой фазы
горизонтов почв, г/см³**

Название горизонтов	Плотность	Плотность твердой фазы
Гумусовые суглинистые и глинистые	1,0–1,2	2,4–2,6
Минеральные суглинистые и глинистые	1,3–1,6	2,6–2,7
Минеральные и элювиальные и клеевые суглинистые и глинистые	11,6–18,0	2,6–2,7
Верховые торфа	0,04–0,1	1,4–1,6
Лесные подстилки и низинные торфа	0,2–0,4	1,4–1,8
Песчаные и супесчаные	1,4–1,6	2,6–2,7

**Таблица 1.3 – Перечень показателей, характеризующих
физические свойства почвы**

Наименование	Обозначение	Формула для определения через базисные показатели
Плотность почвы, кг/м ³	ρ	$\rho = \rho_s a_s + \rho_w a_w + \rho_g a_g$
1. Твердая фаза		
1.1. Плотность, кг/м ³	ρ_s	—
1.2. Доля твердой фазы:		
по объему, %	a_s	
по массе, %	a_s^1	$a_s^1 = \frac{\rho_s a_s}{\rho_s a_s + \rho_w a_w + \rho_g a_g}$
1.3. Плотность скелета, кг/м ³	ρ_{sv}	$\rho_{sv} = \rho_s a_s$
2. Жидкая фаза, %		
2.1. Плотность, кг/м ³	ρ_w	—
2.2. Доля жидкой фазы		
по объему, %	a_w	—
по массе, %	a_w'	$a_w' = \frac{\rho_w a_w}{\rho_s a_s + \rho_w a_w + \rho_g a_g}$
2.3. Влагоемкость, %	$[a_w]$	$[a_w] = a_w + a_g$
2.4. Относительная влажность, %	a_{w0}	$a_{w0} = \frac{a_w}{a_w + a_g}$
2.5. Отношение масс жидкой и твердой фаз, %	W_m	$W_m = \frac{\rho_w a_w}{\rho_s a_s}$
3. Газообразная фаза		
3.1. Плотность, кг/м ³	ρ_g	—
3.2. Доля газовой фазы		
по объему, %	a_g	
по массе, %	a_g'	$a_g' = \frac{\rho_g a_g}{\rho_s a_s + \rho_w a_w + \rho_g a_g}$

Величина ρ представляет первый уровень информации о среде, а показатели a_i и ρ_i – второй, т. к. они характеризуют состав среды и свойства ее компонентов. С помощью исходных показателей a_i и ρ_i для каждой из фаз почвы можно получить несколько производных характеристик, имеющих логическую, а не эмпирическую природу, их перечень приведен в таблица 1.3.

Однако, для однозначного описания физических свойств почвы при исследовании работы агрегатов достаточно располагать ее плотностью ρ .

В основу методики определения всех показателей физических свойств на обоих информационных уровнях может быть положена существующая методика определения ее массовой влажности W_m через объем почвенного образца, его массу и массу воды в нем, с учетом этих данных, если пренебречь массой воздуха в образце и полагать $\rho_w = 1,0$, то для вычисления значений ρ ; ρ_s и a_i требуется дополнительно определить только одну величину [4].

Это может быть осуществлено, например, погружением высушенной почвы в мерный сосуд с водой.

В результате получим:

$$\nu = \frac{m}{V}; a_w = \frac{m_w}{\rho_w V}; a_s = \frac{V_s}{V_0}. \quad (1.7)$$

1.4. Обоснование показателей оценки механических свойств почвы

Для характеристики механических свойств почвы используют весьма обширный перечень показателей.

По способу их определения они могут быть разделены на 3 большие группы, в которые входят показатели, определяемые соответственно по результатам испытаний: штапковых, сдвиговых и на отдельные виды деформации (растяжение, сжатие и др.) почвы (таблица 1.4, 1.5).

К числу показателей первой группы относятся: твердость T_h , коэффициент объемного сжатия A , несущая способность почвы P_0 , а также большое число различных коэффициентов, которые входят в функции, аппроксимирующие зависимость удельного усилия вдавливания плунжера,

$$P\left(P = \frac{R}{F}\right) \quad (1.8)$$

от глубины его погружения h . Показатели H_h , A и P_0 определяют по формулам:

$$H_h = \frac{R_h}{F}, \quad (1.9)$$

$$A = \frac{R_{h1}}{F_{h1}}, \quad (1.10)$$

$$P_0 = \frac{R_{\max}}{F}, \quad (1.11)$$

где R_{h1} – усилие внедрения в почву плунжера площадью F на глубину h и h_1 , соответствующую верхней границе линейного участка зависимости $R = f(h)$; $R_{\max}$ – предельное (максимальное) значение R_h .

Таблица 1.4 – Классификация механических элементов

Название фракций	Размер, мм	Название фракции	Размер, мм
Камни	> 3	Пыль: ✓ крупная ✓ средняя ✓ мелкая	0,05–0,01 0,01–0,005 0,005–0,001
Гравий	3–1	Ил: ✓ грубый ✓ тонкий ✓ коллоиды	0,001–0,0005 0,0005–0,00001 < 0,00001
Песок: ✓ крупный ✓ средний ✓ мелкий	1–0,5 0,5–0,25 0,25–0,05		

Таблица 1.5 – Классификация почв по гранулометрическому составу

Содержание физической глины (< 0,01 мм), %	Основное наименование разновидности	Дополнительное наименование
0–5 5–10 10–20 20–30	Рыхлопесчаная Связнопесчаная Супесчаная Легкосуглинистая	Песчаные и крупнопылевые
30–40 40–50 50–65 65–80	Среднесуглинистая Тяжелосуглинистая Легкосуглинистая Среднесуглинистая	Песчаные, крупнопылевые, пылеватые и иловатые
>80	Тяжелосуглинистая	Пылеватые и иловатые

В связи с тем, что усилие R_h является характеристикой функционирования системы «почва-плунжер», показатели T , A и P_0 будут зависеть от значительного числа факторов, определяющих ход взаимодействия плунжера со средой.

При горизонтальном внедрении плунжера в почву значения этих показателей зависят также и от удаления точки замера от свободной поверхности почвы.

Причиной этого является изменение пространственной характеристики среды.

В первом случае она представляет собой полупространство, во втором – 1/4 или 1/8 часть его. Характерно, что для условий полевого опыта при $l > 14$ см значения всех показателей становятся равными их величинам при вертикальном внедрении плунжера.

ГЛАВА II. АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ВЫБОР ПОДХОДА К ИХ РЕШЕНИЮ

2.1. Существующие методы повышения износостойкости рабочих органов плуга

Рабочие органы почвообрабатывающих машин изготавливают из средне- и высокоуглеродистых сталей, твердость которых после термообработки составляет HRC 35...45. Ресурс их относительно невысокий. Например, серийный лемех П–702, изготовленный из специального лемешного периодического проката, служит от 4 га (на песчаных почвах) до 30 га (глинистые почвы).

Основными направлениями работ по повышению долговечности рабочих органов до сих пор являются следующие:

- термомеханическая обработка лезвий горячей вальцовкой;
- применение биметаллических материалов;
- упрочнение наплавкой твердых сплавов.

На сегодняшний день наиболее широкое распространение получило последнее направление. Твердые сплавы на поверхность детали могут быть нанесены: газовой наплавкой, дуговой, индукционной наплавкой, наплавкой «намораживанием» и другими способами.

Проанализируем основные из них.

При ручной газовой наплавке ацетиленокислородным пламенем в качестве присадочных материалов используют прутки на основе железа (ПР–С1, ПР–С27), кобальта (ПР–ВЗК, ПР–ВЗКР, ПР–ЗВ16К), релита (измельченного литого карбида вольфрама) и др.

Получаемые покрытия имеют твердость HRC45...70.

Этот способ рекомендуется применять для упрочнения лезвий лап культиваторов и лемехов.

При ручной дуговой наплавке применяют электроды ЭН–ИТС–0,1, Т–590, Т–620, ЦН–29 и получают покрытия твердостью HRC 55...70. Дуговую наплавку применяют для упрочнения режущих кромок лап культиваторов, лемехов, для упрочнения нижней части полевой доски, при восстановлении изношенных отвалов плугов.

Процесс основан на макровкраплении твердого сплава под воздействием электрической дуги.

Путем регулирования глубины, высоты и частоты наплавки точек упрочнения, а также соотношения твердостей наплавленных участков и основного металла, достигается оптимальная износостойкость и самозатачиваемость [5].

Индукционная наплавка лезвий лемехов плугов и лап культиваторов производится с помощью ТВЧ. Шихту, состоящую из смеси порошка твердого сплава и флюса наносят на наплавляемую поверхность. Затем деталь вместе с шихтой нагревают ТВЧ до полного расплавления шихты. Наибольшей износостойкостью при индукционной наплавке обладает сплав ПГ–С–УС–25.

Наплавка «намораживанием» (погружением в расплав) позволяет получать покрытия с наибольшей, среди вышеназванных способов, износостойкостью при использовании сплава ФБХ–6–2.

Этот способ характеризуется меньшей энергоемкостью, чем индукционная и плазменная наплавка и высокой производительностью. Технология позволяет одновременно наносить различные по толщине (до 2,5 мм) слои на сложные по конструкции поверхности.

Следует отметить, что износостойкость сплавов ПГС и ФБХ обеспечивается карбидами дефицитного хрома, содержание которого в этих сплавах достигает 25...37 %. Технология плазменной наплавки характеризуется невысокой энергоемкостью, возможностью получать достаточно толстые (до 4 мм) слои, наносить твердый сплав полосами, ширина которых определяется диаметром плазматрона.

В таблице 2.1. приведено сравнение эффективности наиболее распространенных способов упрочнения рабочих органов плугов.

Наплавка производится, как правило, по всей длине лезвия лемеха и в большинстве случаев с тыльной стороны.

Тыльная наплавка лезвия была внедрена на заводах отрасли для предотвращения отрицательного влияния затылочной фаски и обеспечения самозатачивания лемеха.

Теория самозатачивания двухслойных лезвий регламентирует твердость, толщину слоев и их соотношение, что должно обеспечивать воспроизведение исходного профиля и сохранение его остроты по мере изнашивания в процессе эксплуатации почвообрабатывающих машин.

Таблица 2.1 – Эффективность технологий упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин

Способ упрочнения	Повышение ресурса по сравнению с серийной деталью, раз	Разработчик технологии
Дуговая наплавка электродами ЦН-29, Т-590, Т-620, ЭН-ИТС-01	1,0–2,2	Подольское РТП (Московской область)
Наплавка порошковыми проволоками ПП-АН-125, ППАН-123, порошковой лентой ЛС-У10Х7ГР	1,5–2,0	НПО «Ремдеталь»
Точечная наплавка порошковой проволокой ПП-Нп-80Х20РЗТ-Н-С-3,2	1,3–1,5	ГСКТБ ПО «Одессапочвомаш», Институт электросварки имени Е. О. Патона
Индукционная наплавка сплавов типа «сормайт», ПП-С-УС-25, ФБХ-6-2	2,0–3,0	РостНИИТМ
Плазменная наплавка сплава ФБХ-6-2	2,0–2,5	ВИСХОМ
Наплавка «наморживанием» сплава ФБХ-6-2	2,0–3,0	НИИ Тракторсельхозмаш

Однако в процессе эксплуатации выяснилось, что самозатачивание наблюдается лишь в отдельных случаях при определенных условиях.

На влажных почвах двухслойное лезвие «перезатачивается» с последующим обнажением и изломом хрупкого «режущего» слоя, а на твердых сухих почвах преждевременно затупляется, что приводит к необходимости преждевременной выбраковки лемеха, имеющего еще значительный запас неизношенного наплавленного слоя.

Описанный характер изнашивания двухслойных почворежущих лезвий связан с непостоянством коэффициента относительной износостойкости материалов режущего и несущего слоев.

Этот коэффициент изменяется вследствие изменения давления почвы на лемех, которое в свою очередь изменяется в широких пределах в зависимости от погодных условий и типа почв.

В целом внедрение наплавки привело к увеличению ресурса лемехов в среднем в 1,5 раза за счет повышения износостойкости режущей части.

Поэтому значительное количество исследований было направлено на повышение ресурса лемехов за счет локального поверхностного упрочнения наиболее изнашиваемых зон (носок лемеха) износостойкими покрытиями.

Следует также отметить, что вопрос о целесообразности наплавки рабочих органов дорогостоящими твердыми сплавами до настоящего времени остается дискуссионным. Известен ряд исследований, проведенный в лабораторных и полевых условиях, направленных на разрешение этой проблемы.

Так в работе, проведенной австралийскими исследователями, рабочие органы плугов и культиваторов упрочнялись сплавами, содержащими карбиды вольфрама и карбиды хрома на различных связках. По результатам испытаний на абразивных почвах авторы сделали вывод, что упрочнение твердыми сплавами экономически нецелесообразно, т. е. повышение стоимости детали, упрочненной дорогостоящими твердыми сплавами, не компенсируется увеличением ресурса. К аналогичному выводу пришли авторы работ по результатам лабораторных испытаний.

2.2. Применение керамических материалов для упрочнения рабочих органов

В современном понимании термин «техническая керамика» охватывает обширный круг искусственно синтезированных матери-

алов различного химического и фазового состава, переработанных в изделия путем спекания мелкодисперсных частиц.

Технологический цикл получения деталей из технической керамики в общем случае включает синтезирование исходных материалов, их измельчение и смешивание с пластичным связующим, формообразование путем прессования или горячего термопластичного литья в специальные пресс-формы и высокотемпературную термообработку детали, в процессе которой происходит удаление связки, спекание частиц и формирование требуемой структуры.

Керамические материалы обладают набором уникальных физико-механических свойств, что обуславливает их применение для деталей и сборочных единиц, эксплуатируемых в экстремальных условиях (абразивные и агрессивные среды, высокие температуры и др.)

Следует отметить низкую плотность ($3,2...3,9 \text{ г/см}^3$), вдвое меньшую, чем металлы, высокие коррозионную стойкость, твердость ($10...25 \text{ ГПа}$) и жесткость (модуль упругости $1,0...4,0 \times 10^5 \text{ МПа}$), высокие прочность при сжатии и жаростойкость.

Надо отметить, что керамические материалы плохо сопротивляются ударным нагрузкам и растягивающим напряжениям, поскольку им присущ общий недостаток – хрупкость.

Рассмотрим некоторые свойства основных видов керамики.

Оксид алюминия. Керамика на основе оксида алюминия (корунд) обладает высокой прочностью при комнатной температуре, химической стойкостью, невысокими электропроводностью и теплопроводностью, что вместе с доступностью исходного сырья и хорошими технологическими свойствами обусловило ее самое широкое применение в качестве промышленного керамического материала.

Из корунда изготавливают износостойкие детали шаровых и вибрационных мельниц, мундштуки и насадки машин для литья под давлением, калибры, уплотнения, плиты скольжения для бумагоделательных машин, сопла для пескоструйных установок, распылители агрессивных жидкостей и другие детали.

Оксид кремния. Керамика на основе оксидов кремния (ситалл) имеет плотную микрокристаллическую структуру, полученную методом направленной кристаллизации из модифицированных стекол и обладает по сравнению с этими стеклами намного более высокими физико-механическими свойствами (ЮЗ). Ситалл «БЛ», обладающий высокими износостойкостью и химстойкостью, полу-

чают из расплава горных пород типа базальтов, диабазов, порфиров и других материалов, используемых в качестве исходного сырья камнелитейных производств.

Имеющая отечественный приоритет ситалловая керамика успешно применяется для изготовления нитепроводников в текстильной промышленности и опор валов и осей в часовой промышленности, заменяя полудрагоценные сапфиры и рубины.

Уступая по прочности и твердости корундовой керамике, более дешевая керамика на основе оксида кремния является конкурентоспособным материалом для деталей, эксплуатируемых в агрессивных и гидроабразивных средах.

В частности, из ситалла «БЛ» изготавливались распылители машин для химической защиты растений.

Карбид кремния. Керамика на основе карбида кремния обладает высокой твердостью (25 ГПа), а также высокотемпературной прочностью (600 МПа при 1200 °С) и стойкостью к окислению. Из нее изготавливают износостойкие детали двигателей внутреннего сгорания, лопатки турбин, сопла горелок, клапаны и детали насосов химических аппаратов и другие детали. Высокие теплопроводность и электроизоляционные свойства обуславливают ее широкое применение в электронике.

Нитрид кремния. Керамика на основе нитрида кремния обладает сравнительно высокой теплопроводностью и низким коэффициентом теплового расширения, что обуславливает высокое сопротивление этого материала термическому удару.

Стойкость к термическому удару в сочетании с высокими твердостью (17...20 ГПа), жесткостью и прочностью при изгибе (500 МПа) позволяют использовать нитрид кремния в качестве износостойкого жаростойкого материала для подшипников качения, лопаток турбин и деталей двигателя внутреннего сгорания.

С керамикой на основе нитрида кремния связывают надежды на создание роторов турбонагнетателей и жаростойких деталей дизельных автомобильных двигателей с повышенным на 15...30 % к.п.д. Следует отметить, что соединения нитрида и карбида кремния, обладая сильной ковалентной связью между атомами, плохо поддаются спеканию при обжиге. Это вызывает необходимость применения специальных технологий, существенно усложняющих изготовление керамических деталей.

Диоксид циркония. Керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония обладает высокой прочностью (1000 МПа) и вязкостью разрушения.

Наличие высокой ударной вязкости в сочетании с прочностью выгодно выделяет диоксид циркония из всех современных керамических материалов. Предполагается, что из этой керамики можно будет изготавливать износостойкие детали, подверженные тепловому и механическому ударам.

Рассмотренные в настоящем разделе пять типов керамических материалов являются основными и образуют базу современного керамического материаловедения.

Из перспективных материалов, находящихся в стадии лабораторных разработок, следует упомянуть силон (система кремний – алюминий – кислород – азот), систему диоксид циркония – оксид алюминия с ожидаемой прочностью при изгибе 2500 МПа, муллит (система оксид алюминия – диоксид кремния) с пределом прочности при изгибе 4000...5000 МПа, диборид титана, нитрид бора и другие материалы.

2.3. Применение керамических материалов для быстроизнашивающихся рабочих органов

Работа многих узлов и деталей сельхозмашин связана с условиями интенсивного абразивного изнашивания. Все большее внимание привлекают керамические материалы на основе оксидов кремния (ситаллы) и алюминия, карбида и нитрида кремния.

Твердость керамических материалов (11...30 ГПа) выше, чем твердость конструкционных сталей (2,5...6,0 ГПа), чугунов и твердых сплавов (6,0...8,0 ГПа), применяемых для изготовления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, а также выше твердости основных агентов абразивного изнашивания – частиц кварца (10...11 ГПа). При этом низкая плотность керамики способствует снижению металлоемкости и позволяет экономить дефицитные металлы и сплавы.

Имеются данные об отечественном и зарубежном опыте использования керамики для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Так, специалистами Британского национального института сельскохозяйственного машиностроения были проведены эксперименты по упрочнению керамикой следующих рабочих органов: рыхлительные лапы культиваторов, сошники сеялок точного посева, стойки глубокорыхлителей.

Керамика из корунда (содержащая 95 % Al_2O_3) крепилась к рабочим органам с помощью клеевого соединения на основе эпоксидной смолы горячего отверждения.

Упрочненные корундовой керамикой детали имели в среднем в 6 раз большую износостойкость и долговечность, чем серийные стальные. Культиваторы с рыхлительными лапами, упрочненными корундовой керамикой, были выпущены на рынки Великобритании в 1982 году и широко используются в настоящее время. Также положительные результаты были получены по упрочнению керамикой сошников свекловичных сеялок точного посева.

В полевых условиях сошники с керамической рабочей частью обеспечивали увеличение ресурса и износостойкости в среднем в 3...4 раза.

В настоящее время английские фирмы «Webb» и «Stanhay» наладили массовое производство сошников сеялок.

Аналогичные работы были проведены для защиты от износа стоек глубокорыхлителей.

По данным работы стойки с керамической защитой превосходят по ресурсу серийные более чем в 7 раз. Среди других деталей, взаимодействующих с почвой, керамика на основе оксида алюминия применяется для расширителей борозды дренажных плугов.

Срок службы расширителей борозды в 8...9 раз превышает срок службы серийных деталей.

Сообщается также о применении керамики для полевых досок плугов, сошников зерновых сеялок точного посева и других деталей.

В 1986–1987 годах специалисты НПО ВИСХОМ провели первые эксперименты по упрочнению керамикой плужных полевых досок и долот культиваторов плоскорезов. Вставки из керамики ВК–94 на основе оксида алюминия крепили в открытых пазах металлической основы с помощью эпоксидного клея.

Первые испытания деталей показали высокую износостойкость керамики одновременно с ее недостаточной ударной прочностью и низкой прочностью клеевого соединения.

Однако следует отметить несомненную перспективность применения керамических материалов для деталей, эксплуатируемых в абразивной среде.

2.4. Методы восстановления и упрочнения деталей почвообрабатывающих машин

Повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин – одна из наиболее актуальных проблем сельского хозяйства и сельскохозяйственного машиностроения.

Актуальность проблемы определяется не только важностью сокращения расхода металла на их производство, но и требованиями их эксплуатации.

Известно, что стойкость режущих органов сельскохозяйственных машин, измеряемая наработкой до предельного затупления, низкая.

Эффективным путем повышения долговечности рабочих органов является обеспечение их самозатачивания.

Ресурс таких деталей увеличивается в 3...4 раза по сравнению со стандартными деталями. Помимо прямой экономии при использовании самозатачивающихся рабочих органов значительно повышается производительность труда и качество обработки почвы.

Принцип самозатачивания в нашей стране впервые был применен при ремонте лемехов, лезвия которых после кузнечной оттяжки наплавляли твердым сплавом [3, 5].

Следует отметить, что упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин путем наплавки твердых сплавов в США и странах Западной Европы не получило столь широкого распространения. Причины этого заключаются, по-видимому, в меньшей годовой загрузке машин и в меньшей значимости смены рабочих органов в период их эксплуатации.

Широкому внедрению методов повышения долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин способствовали работы ГОСНИТИ, ВИСХОМа, Ростовского НИИТМ, ВНИИ Автоген-маша, НПО «Ремдеталь» и других научно-исследовательских организаций.

Большой вклад в решение проблемы повышения долговечности рабочих органов внесли: В. Н. Ткачев, А. Ш. Рабинович, А. Н.

Розенбаум, И. Е. Ульман, М. М. Тененбаум, М. М. Хрущев, И. А. Ниловский и другие.

Основными направлениями повышения долговечности рабочих органов являются:

- применение износостойких материалов;
- применение биметаллических материалов, полученных наплавкой;

- применение двухслойного проката;
- применение твердых сплавов;
- изменение формы деталей при ее конструировании.

Основными мероприятиями по повышению долговечности рабочих органов при их изготовлении и восстановлении являются:

- для дисков борон и луцильников – изготовление из двухслойного проката типа Сталь 50 + Х6ВФ, а также наплавка твердых сплавов на внутреннюю поверхность сферы дисков;

- для дисков сошников зерновых сеялок и луцильников при их работе в песчаных или суглинистых почвах – изотермическая закалка стали 65Г на твердость HRC 50, для легких почв допускается применение дисков без термической обработки;

- для дисковых ножей и ножей почвофрез – изотермическая закалка стали 65Г;

- для большинства дисковых рабочих органов приварка к режущей кромке рабочего органа износостойкой ленты из стали Х6ВФ.

Для повышения долговечности сельскохозяйственных, землеройных, мелиоративно-строительных и дорожных машин используется наплавка порошковыми проволоками ППС–УЗОХ25С2РГ–0, ПП–102, ПП–226, порошковой лентой ПЛ–628 и ПЛ–634, трубчатыми электродами ЭТН–1, ЭТН–2, ЭТН–3, ЭТН–4, сплавом ВСН–6 и другими материалами. В нашей стране для наплавки применяют, в основном, высокохромистые сплавы, а за рубежом, в частности в США, – сплавы на основе карбида вольфрама.

Высокой износостойкостью при абразивном изнашивании и наличии ударов обладают сплавы, у которых количество карбидной фазы составляет 25...30 %.

При этом, наилучшей структурой наплавленного металла является аустенитно-мартенситная матрица (основа) с карбидами.

В промышленности для нанесения твердых сплавов на поверхности рабочих органов в основном используется индукционная наплавка (наплавка токами высокой частоты). Для наплавки используется сормайт–I, смешанный в разных частях с феррохромом.

Помимо индукционной наплавки, находят применение следующие методы: нанесение износостойкого сплава и флюса на поверхность детали и последующее сплавление в печи нанесенного слоя с основой, механизированная дуговая наплавка по слою легирующего порошка или пасты, изготовление биметаллических листов наплавкой электродной лентой.

Основными методами придания лезвиям рабочих органов слоистого строения для обеспечения самозатачивания являются:

- поверхностная односторонняя закалка сталей,
- наплавка твердых сплавов на малоуглеродистые и углеродистые стали,
- изготовление деталей из двухслойного проката композиций Сталь Л53 + Х6Ф1, Сталь Л 53 + Х12, Сталь 10 + 9ХФ и др.,
- термодиффузионное легирование и электролитическое хромирование сталей,
- односторонний отбел чугуновых деталей.

Положительные результаты получены при испытании дисков борон и луцильников, изготовленных из двухслойного проката типа Сталь Л53 + Х6Ф1. Однако лемеха из двухслойного проката, несмотря на их некоторые Преимущества по сравнению с наплавленными, не внедрены в производство.

В таблице 2.2 приведены основные методы восстановления и упрочнения дисковых рабочих органов сельскохозяйственных машин и их износостойкость.

Анализ литературных данных, передового опыта ремонтных предприятий и данных представленных в таблице 2.2, показывает, что одним из перспективных способов восстановления и упрочнения дисковых рабочих органов является ЭКП порошков износостойких сплавов, поэтому ниже рассмотрены особенности получения покрытий из порошковых материалов ЭКП.

Таблица 2.2 – Основные методы восстановления и упрочнения дисковых рабочих органов и их износостойкость

Метод упрочнения дисков	Наносимый материал	Толщина (глубина) упрочняющего слоя, мм	Суммарный износ дисков по диаметру (наработка 2000 га), мм
Объемная закалка		0,6–1,2	11,40
Индукционная наплавка	ПС 14-60	0,6–1,2	3,61
Тоже	ПГ-С27	0,4–1,3	3,41
Поверхностная закалка лезвия ТВЧ		0,8–1,0	4,16
Плазменная наплавка:			
✓ сплошная;	ПГ-С27	0,6–0,9	8,65
✓ прерывистая;	ПГ-С27	0,1–0,55	7,16
✓ по выпуклой стороне диска	ПГ-С27	1,4–1,8	3,00
Наплавка намораживанием	ПГ-ФБХ-6-2	2,0–3,0	
Электроконтактная приварка	УС-25	0,44	0,56 (наработка 600 га)
Детонационное напыление	Al ₂ O ₃	0,12–0,18	

2.5. Особенности получения порошковых покрытий электроконтактной приваркой

Вопрос использования электрического тока для нагрева порошковых материалов при их спекании давно привлекал внимание исследователей из-за возможности получения высоких температур за короткое время и проведения процесса спекания без защитной атмосферы и без значительного нагрева деталей при нанесении покрытий.

При практическом использовании процесса ЭКП для восстановления и упрочнения деталей было установлено, что для достижения оптимальных свойств наносимого слоя нагрев частиц порошка должен составлять 0,6...0,9 температуры плавления.

Большой вклад в развитие и применение порошковых материалов для восстановления и упрочнения деталей внесли В. А. Верещагин, Н. Н. Дорожкин, Э. С. Каракозов, Ю. В. Клименко, А. В. Поляченко, И. Б. Ульман, В. К. Ярошевич и другие исследователи. В частности, автор работы при исследовании процесса ЭКП получил теоретическую зависимость между температурой в пограничном слое и прочностью сцепления приваренного слоя с поверхностью

детали. Возможность управления характеристиками износостойкости приваренных слоев при восстановлении деталей.

В результате было установлено, что износостойкость приваренного слоя в условиях граничного трения зависит от его пористости.

При восстановлении деталей ЭКП узкий ролик, применение которого позволяет наносить покрытия на поверхность деталей, практически, неограниченной длины. При достаточной силе тока ширина наносимого слоя за один проход может составлять 3,0...4,0 мм. Износостойкость таких деталей, восстановленных порошком КБХ, в 3,3...3,6 раза выше чем у новых, при этом их усталостная прочность снижается всего на 11 %. Отмечено также, что восстановление стальных деталей порошками ФБХ–6–2 и КБХ увеличивает их износостойкость в 5...10 раз.

Возможность ЭКП порошковых материалов на плоские или выпуклые поверхности с помощью роликового электрода–пуансона, когда одновременно на обе рабочие поверхности детали наносят предварительно изготовленные спеченные брикеты, состоящие из порошковой смеси (феррохрома и ферромарганца), а в качестве связки используют железный порошок.

При этом приварку осуществляют с применением пульсирующего тока, обеспечивая его многократное повторение с определенными паузами без снятия давления с электродов.

Упрочненные таким способом детали имеют износостойкость на 25 % выше новых. Однако, более эффективным путем повышение износостойкости деталей, восстановленных ЭКП, является использование порошковых композиций, позволяющих увеличить износостойкость восстановленных деталей не менее, чем в 3,0...3,5 раза.

Для получения сплошного слоя покрытия на плоских поверхностях предложили способ ЭКП порошковых материалов в соответствии с которым подача порошкового материала осуществляется с помощью шнекового дозатора.

Толщина порошкового материала на изделии регулируется шиберным устройством. Нанесение порошкового материала на изделие достигается путем давления на порошок и изделие. Давление на порошковый материал и пропускание импульса тока достигается с помощью контактного и наплавляющего роликов. Кратковременные импульсы тока спекают порошковый материал и соединяют его

с изделием. Сплошной слой образуется за счет перекрытия соседних площадок.

Предложили осуществлять повышение износостойкости поверхностей трения их армированием. Процесс армирования производят на любой установке для ЭКП.

На поверхность ленты наносят слой клеящего вещества и порошок твердого сплава. Лента служит матрицей, связывающей отдельные частицы твердого сплава в износостойкий слой. Для нанесения клеящего и порошкового материалов разработаны приспособления: одно в виде коробки с валиком из поролона, с помощью которого клеящее вещество наносят на одну сторону ленты, другое в виде вращающегося барабана, в который устанавливают отрезок ленты. При вращении барабана порошок равномерным слоем прилипает к поверхности.

Предложен способ точечной приварки порошковых материалов.

При этом способе на рабочую поверхность детали насыпают привариваемый порошок. Источник сварочного тока подключают к детали и к сварочному электроду. Расположенный между контактными поверхностями порошок на детали окружен зоной порошка, расположенного между уплотнительным электродом и поверхностью детали.

Давление уплотнительного электрода создает повышенную плотность порошка в «около шовной» зоне по сравнению с плотностью порошка при свободной насыпке в зоне сварки.

Такое соотношение плотностей обеспечивает вытеснение из-под электрода строго определенного количества порошка и тем самым позволяет регулировать толщину слоя.

Перспективным является способ ЭКП порошковых материалов по слою клея. Авторами этой работы показано, что внесение на поверхность детали смеси, содержащей клеящую массу и наполнитель, позволяет повысить производительность процесса.

Сущность предложенного способа заключается в том, что на свариваемые поверхности наносят смесь, содержащую клеящую массу и наполнитель. После нанесения этой смеси производят сборку и точечную сварку, затем в соединение путем зашприцовки в промежутки между точками, равными 30...40 мм, вводят отвердитель.

Это дает возможность использовать клей холодного отверждения в крупногабаритных с большим производственным циклом изготовления деталях и увеличить период времени с момента нанесения клея до окончания процесса сварки до 10 дней.

С целью повышения производительности, упрощения процесса, снижения стоимости и повышения качества покрытий при ЭКП предлагают изготавливать массу из чугунной стружки на клею и этой массой покрывать всю поверхность сплошным слоем, после чего изделие должно быть подвергнуто сушке.

Для создания металлических покрытий из порошковых материалов и для обеспечения высокой прочности соединения с поверхностью детали предложено на предварительно очищенную поверхность подложки наносить слой водного раствора полиметофосфатов натрия и калия с концентрацией 0,01...2,0 г/л, на который напыляют слой порошкового металла. Полученное покрытие высушивают при температуре 150°...4500 °С, уплотняют (прокат, штамповка или комбинация этих процессов) и спекают.

Отмечено, что ЭКП порошковых инструментальных материалов на основу из конструкционных сталей можно изготавливать матрицы для синтеза сверхтвердых материалов.

Это дает значительную экономию дорогостоящих инструментальных материалов. На основе проведенных исследований разработано технологию би- и триметаллических матриц. Рабочие зоны матриц выполняют из быстрорежущей стали 10P6M5, твердого сплава ВК8 или их сочетания, нанесенных на основу из конструкционной стали марок Сталь 45, 50ХФА и 50Х6ВМФ. Электроконтактную приварку порошкового инструментального материала на заготовку под матрицу осуществляли на экспериментальной установке, состоящей из пресса, сварочного трансформатора и прерывателя сварочного тока [7].

Заготовки матриц устанавливали на нижнем электроде пресса в изолированном втулкой от пуансона бандаже, необходимого для ограничения деформации корпуса матрицы.

На рабочей поверхности заготовки размещали дозированную порцию порошка быстрорежущей стали 10P6M5 или навеску из стали 10P6M5 в сочетании с навеской порошка твердого сплава ВК8, располагающуюся у основания реакционной зоны матрицы. Навеску сжимали пуансоном, рабочий торец которого имеет конфигурацию

реальной матрицы, после чего осуществляли формирование матрицы в результате пропуска импульсов сварочного тока.

Показано, что при приварке сочетания порошковых материалов 10P6M5–BK8 между ними образуется переходная зона, структура которой носит смешанный характер.

Непосредственно после приварки структура быстрорежущей стали 10P6M5 близка к наблюдаемой для закаленного состояния. При этом твердость достигала уровня HRC 54–58. Для сталей 45, 50ХФА и 8Х6МФ твердость составляла HRC 22–25, 28–32 и 48–52 соответственно. Таким образом, большинство рассматриваемых материалов восприняло частичную закалку при охлаждении на воздухе от сварочных температур. Твердость нанесенного твердого сплава BK8 в этом случае составляла HRC 87,5. После приварки заготовки матрицы подвергали отжигу по режиму быстрорежущей стали. Структура стали 10P6M5 после отжига – зернистый перлит балла. Твердость рассматриваемых сталей отвечала требованиям соответствующих ГОСТов.

С целью повышения качества покрытия, предлагают после нанесения на поверхность заготовки специально приготовленной шихты смачивать ее поверхность водой и спекать при температуре 220...260 °С.

В результате на поверхности детали получается монолитный слой шихты, который плавится при нагреве, образуя наплавленный слой. В качестве шихты может служить порошкообразный сплав ПС–5, в состав которого входит 32...35 % сормайтaм, 1,48...5,3 % феррохрома, 2,2...2,8 % ферротитана в смеси с борной кислотой (6,0...9,0 %), технической бурой (3,0...5,0 %), силикокальцием (1,9...2,4 %) и плавиковым шпатом (0,8...1,2%).

Предложено для повышения износостойкости нанесенного металла на участок с большим износом и улучшения его сцепляемости с основным металлом в порошковый материал добавлять алмазный порошок, а на основном металле на этом участке производить рифление.

Для достижения износостойкости сплава ПС–5 в зоне носка лапы культиватора в 3 раза выше, чем в перьях, в сплав ПС–5 вносят до 5 % алмазного порошка, а так как это вызывает меньшую сцепляемость, то в носовой части лапы культиватора производят рифление с небольшой волнистостью. Далее лапа поступает в печь для спека-

ния порошкового сплава ПС–5, а затем ее подвергают индукционному нагреву до температуры расплавления порошкового сплава ПС–5. В результате этого на участке носка лапы в расплавленном сплаве алмазные частицы будут находиться во взвешенном состоянии. После охлаждения лапы до комнатной температуры на участке носка износостойкость нанесенного сплава в три раза превышает износостойкость нанесенного сплава на перьях лапы.

Предложено рабочие фаски клапанных гнезд и клапанов дизельных двигателей покрывать слоем из порошковой смеси, состоящей из самофлюсующегося порошка ПГ–СР2, сормайта ПС–1М, железа ПЖЗК, в равных объемных частях и добавок порошков меди и свинца в небольших количествах (1,5...5,0 %). Проведенные механические испытания и металлографические исследования нанесенных покрытий показали удовлетворительное качество слоя. Так, прочность его сцепления с основным металлом составляла 195...210 МПа, что соответствует прочности на разрыв чугуна СЧ20, из которого отлиты корпусные детали, пористость не превышала 0,3...0,9 %, твердость HRC 60–65, усадка шихты 37...40 %, раковины и трещины отсутствовали. Нанесенный слой удовлетворительно и без затруднений обрабатывался резцами из сплавов ВК–2 и гексанида.

Лабораторные исследования коррозионной стойкости образцов в растворе серной кислоты в течение 120 ч показали, что стойкость материала слоя из порошковой смеси, нанесенного ЭКП, в 2,2...2,5 раза выше, чем основного материала (чугуна СЧ20). Установлено, что в результате приварки порошковой смеси на изношенные поверхности клапанных гнезд, остаточные напряжения снижаются от 62 до 20,5 МПа, т. е. в 3 раза. При этом замечено, что температура в зоне контакта порошковых частиц с основным материалом достигает 1320 °С, а в точках, удаленных от границы, на 2...5 мм, она падает до 600...200 °С.

На основе полученных результатов сделано заключение, что кратковременные температурные поля не могут явиться причиной структурных превращений металла и создания условий трещинообразования.

При исследовании износостойкости в условиях повышенных температур (400 °С) и давления (40 МПа) износ слоя приваренной порошковой смеси и сплава ЭП616, из которого изготовлены встав-

ные кольца клапанных гнезд в головках цилиндров отдельных дизелей, оказался одинаковым и был в 6...7 раз ниже, чем чугуна СЧ20.

Суммарный износ обоих образцов (плоского и индентора), скользящих по слою из порошковой смеси и сплава ЭП616, был в 3...4 раза ниже, чем в случае трения по чугуну СЧ20.

Лабораторные, ускоренные, стендовые и эксплуатационные испытания дизелей с восстановленными головками цилиндров и клапанов, проведенные в различных зонах страны, показали, что износостойкость упрочненных фасок клапанных гнезд в 1,5...2 раза выше, чем чугунных, и находится на уровне износостойкости клапанных гнезд, отремонтированных запрессовкой колец из сплава ЭП616.

Износ восстановленного клапана в 1,3...1,5 раза меньше нового.

При этом износ клапана, установленного в клапанное гнездо, восстановленное контактной приваркой порошковых материалов, почти в 2 раза меньше, чем в сопряжении с новым. Такое уменьшение износа фасок клапана, сопряженных с восстановленными гнездами, наличие гетерогенной структуры порошкового материала, обладающей повышенной износостойкостью и снижающей интенсивность микро- и макросхватывания при работе с сопряженной деталью. Таким образом, получено, что износостойкость сопряжения клапан – клапанное гнездо в целом повышается в 2...3 раза. Аналогичные результаты получены при испытании корпусов коробок передач, блоков, валов и других деталей.

Проведены исследования процессов армирования ЭКП, изучены механические свойства восстановленных поверхностей и, в первую очередь, их износостойкость. Для испытаний в гусеницу тракторов были установлены втулки и пальцы, армированные твердосплавными материалами ВК8, КТФН, ПТЖ23Н6М и др. В тяжелых условиях песчано-гравийного карьера трактор работал более 9 месяцев, при этом наработка составила 862 ч. Проведенные замеры и расчеты показали, что износостойкость втулок гусеницы после армирования твердыми сплавами в 4,4...21,2 раза выше, чем неармированных новых деталей. Исследования, позволили установить, что при ЭКП порошковых материалов можно получать соединения, прочность на срез и циклическая прочность которых соответствует аналогичным уровням прочности основного металла. Показано, что

в зависимости от эксплуатационных требований, предъявляемых к детали, можно целенаправленно регулировать износостойкость покрытий. При этом отмечено, что износостойкость покрытия, полученного ЭКП порошковых материалов на никелевой основе в 2,8...3,0 раза выше износостойкости среднеуглеродистой стали, термообработанной до HRC 48...50, и в 4,0...5,0 раза выше износостойкости этой же стали в исходном состоянии. Покрытия из механической смеси такого порошка с порошком из карбида вольфрама в равном соотношении повышают износостойкость детали в 10...11 и 19...20 раз соответственно.

Из проведенного анализа литературных источников видно, что ЭКП порошковых материалов является эффективным способом получения износостойких покрытий на рабочих поверхностях деталей машин и механизмов. Однако, порошковые материалы и их композиции, применяемые в технологиях восстановления и упрочнения, имеют высокую стоимость, содержат дефицитные компоненты (никель, хром, молибден, кобальт и др.), что существенно ограничивает применение ЭКП в ремонтном производстве [4, 6].

Эффективным путем снижения себестоимости восстановления и упрочнения деталей является применение в качестве присадочного материала для получения покрытий отходов промышленного производства. В этом ряду, особый интерес представляют отходы, образующиеся в процессе шлифования колец шарикоподшипников, изготавливаемых из стали ШХ15, так как в них содержится значительное количество легирующих элементов таких как Сг, Мn, Si, а также до 8...10 % (по массе) абразивных зерен, остающихся в шламе в результате износа шлифовальных кругов. В подшипниковом производстве ежегодно образуется до 10,0 тыс. т отходов (шламов), содержащих до 80 % металлической фракции, которые в настоящее время практически не перерабатываются, а вывозятся в специальные захоронения или на свалки, ухудшая экологию и вызывая необходимость выплаты предприятиями весьма существенных штрафов.

Опыт использования результатов этих исследований показали, что применение шлама ШХ15 в технологиях восстановления и упрочнения деталей машин снижает их себестоимость за счет исключения затрат на приобретение дорогостоящих порошковых материалов практически без снижения качества получаемых покрытий. Следует отметить, что до настоящего времени возможность ис-

пользования шлама ШХ15 для получения упрочняющих покрытий ЭКП практически не исследована.

Основные технологические свойства шлама ШХ15 применительно к ЭКП и на примере восстановления и упрочнения дисковых рабочих органов и физико-механические свойства покрытия из этого шлама и качество его соединения с металлом основы деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин.

ГЛАВА III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

3.1. Исследования взаимодействия абразивных частиц с поверхностью рабочих органов

Процесс взаимодействия рабочих органов мелиоративных и сельскохозяйственных и транспортно-технологических машин природообустройства при перемещении в почве сводится к взаимодействию на почву клина с плоской или криволинейной поверхностью.

При этом происходит уплотнение, скалывание, а затем и перемещение почвы по его рабочей поверхности. С поверхностью детали соприкасаются сравнительно слабо связанные между собой твердые частицы с разными механическими свойствами.

Вследствие разнообразия форм, размеров, механических свойств абразивных частиц и прилагаемых нагрузок, в поверхностном слое изнашивающегося материала возникает широкий спектр контактных напряжений. Величина напряжений зависит от радиуса контактной поверхности абразивной частицы, ее механических свойств (прочность, модуль упругости, коэффициент Пуассона и др.), нагрузки, приходящейся на данную частицу, силы сцепления частиц между собой (определяющей степень «закрепленности» абразивных зерен) и механических свойств материала, на который эта частица действует.

Если зарегистрировать все единичные контакты на пути трения L и уровень возникающих на них напряжений, то совокупность последних можно обработать статистическими методами и полу-

читать дифференциальную функцию плотности вероятностей контактных напряжений $P(\sigma_{mi})$.

Для какой-то одной абразивной массы (например, почвы с заданным составом, влажностью и плотностью) функция $P(\sigma_{mi})$ характеризуется кривой $P(\sigma_m)$ представленной на рисунке 3.1.

Отложив на оси σ_m предельные значения контактных напряжений для материала: предела усталости σ_{my} материала поверхностного слоя при данном виде силового воздействия, предела текучести σ_{mt} микрообъемов поверхностного слоя, предела прочности σ_{mp} микрообъемов материала при срезе или отрыве и проводя от точек σ_{my} , σ_{mt} и σ_{mp} ординаты до пересечения с кривой $f(\sigma_m)$, получим в поле диаграммы четыре характерные области α , β , γ и δ .

Перечень возможных процессов деформирования, разрушения и разупрочнения материала в каждой из этих областей приведен в таблице 3.1.

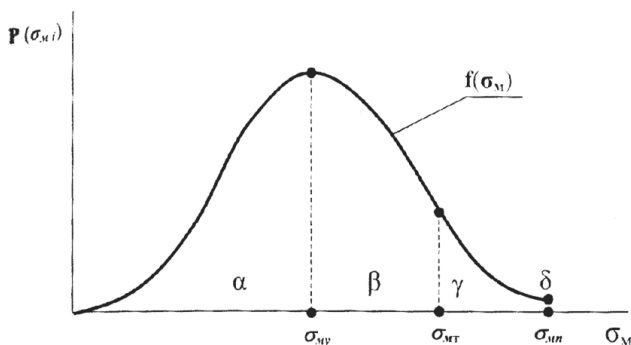


Рисунок 3.1 – Дифференциальная функция плотности вероятности контактных напряжений в материале

При перемещении детали в массе абразивных частиц, например, в почве, крайне разнообразной в гранулометрическом отношении и способной создавать бесчисленные вариации пристенного слоя частиц по размеру контактных площадок и действующим нагрузкам, вероятнее всего протекание смешанных процессов изнашивания, т. е. реализации на одной поверхности разрушений разных видов (микрорезание, полидеформационное разрушение, усталостное разрушение, упругое деформирование, химическое разупрочнение и др.).

Таблица 3.1 – Процессы изнашивания материала при разных уровнях контактных напряжений

Область диаграммы	Контактные напряжения	Процессы, протекающие в поверхностном слое
α	$\sigma_{\text{м}} < \sigma_{\text{му}}$	Упругое деформирование, активизация процессов физического и химического разупрочнения; чисто механического разрушения не происходит
β	$\sigma_{\text{му}} < \sigma_{\text{м}} < \sigma_{\text{мт}}$	Усталостное разрушение при разных уровнях циклического нагружения; разупрочнение под действием газовой или жидкой среды
γ	$\sigma_{\text{мт}} < \sigma_{\text{м}} < \sigma_{\text{мп}}$	Полидеформационное разрушение при циклическом деформировании; разупрочнение под действием среды
δ	$\sigma_{\text{м}} = \sigma_{\text{мп}}$	Прямое разрушение хрупкого или вязкого характера; отсутствие химического разупрочнения

Анализ микрогеометрии изношенных поверхностей лемехов, отвалов и полевых досок подтверждает этот вывод, так как на их поверхностях всегда имеются участки весьма гладкой поверхности без ориентированных следов прямого разрушения и отдельные царапины, возникшие в результате режущего действия абразивных частиц или пластического оттеснения металла [8].

Количество царапин крайне мало по сравнению с общим числом контактов абразивных частиц, возникающих при перемещении рабочего органа в почве. Из этого следует, что на большинстве контактов напряжения были ниже значений $\sigma_{\text{мт}}$.

Проведенный анализ показывает, что переход смешанного процесса абразивного изнашивания к изнашиванию с преимущественным микрорезанием осуществляется при сравнительно небольшом количестве режущих частиц (в рассмотренных ими условиях при 0,07...7 % от числа пластически деформирующих частиц).

Этим объясняется распространенность процессов изнашивания, для которых практически применимы закономерности, полученные при изнашивании в условиях микрорезания (зависимость износа от нагрузки и скорости, от твердости материала и др.).

Проанализируем внешние факторы, определяющие изменение вида абразивного разрушения поверхностного слоя для случая изнашивания в массе абразивных частиц.

Для оценки формы твердых частиц примерно одной фракции с учетом радиусов контактных поверхностей был предложен критерий, названный коэффициентом формы:

$$K_{\phi} = \frac{M(n_i) \times M(D_i - d_i)}{M(R_i)}, \quad (3.1)$$

где $M(n_i)$, $M(R_i)$ и $M(D_i - d_i)$ математическое ожидание соответственно для числа вершин, их радиусов и разностей диаметров окружностей, описанной вокруг контура и вписанной в контур зерна (рисунок 3.2).

Переход от пластического деформирования к прямому разрушению осуществляется при увеличении значений K_{ϕ} , т. е. когда достаточно велика вероятность контакта частицы по выступу с малым радиусом кривизны. Значения K_{ϕ} колеблются от 11 для окатанных частиц до 100 для остроугольных частиц.

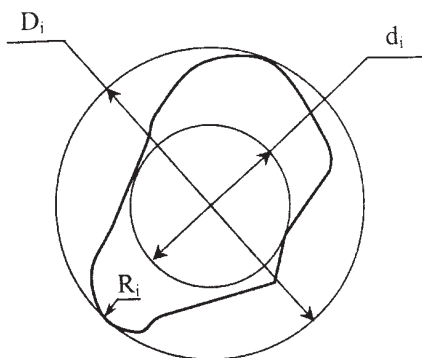


Рисунок 3.2 – Схема абразивной частицы

Кроме этого, для осуществления прямого разрушения при царапающем действии абразивной частицы необходимо, чтобы эта частица обладала большей прочностью, чем изнашивающийся материал.

Способность абразивных частиц внедряться в поверхностный слой и разрушать его при движении приближенно оценивают по соотношению значений микротвердости испытываемого материала H_m и абразива H_a ,

$$K_T = \frac{H_m}{H_a}. \quad (3.2)$$

Установлено, что критическое значение коэффициента $K_T = 0,5 \dots 0,7$. Прямое разрушение (т. е. микрорезание) поверхностного слоя материала под действием абразивных частиц возможно при $K_T < 0,5$ (при соответствующей форме частиц и достаточной нагрузке P).

При таких условиях абразивная частица обладает достаточной прочностью, чтобы довести материал до разрушения, сохранив свою целостность.

Если критерий твердости $K_T > 0,7$, то прямое разрушение маловероятно. Кроме того, чем выше твердость H_M материала по сравнению с твердостью H_A абразивной частицы, тем ниже уровень контактных напряжений, создаваемых этой частицей в поверхностном слое.

С увеличением отношения H_M/H_A снижается предельная нагрузка, которую может выдержать абразивная частица. При превышении этой нагрузки контактный выступ частицы разрушается, что вызывает *деконцентрацию контактных напряжений*, т. е. снижение их уровня из-за увеличения площади контакта.

Площадь контактных площадок увеличивается не в результате упругого или пластического деформирования контактирующих тел, а в результате разрушения одного из них.

В результате снижения контактной нагруженности соответственно уменьшается интенсивность изнашивания.

3.2. Исследование износостойкости материалов от свойств абразивной массы

Изнашивание материалов является самонастраивающимся процессом, так как зависит от реакции каждого материала на механическое действие абразивных частиц. В связи с изложенным, абразивная износостойкость материала в общем виде может быть представлена в функции прочностных свойств и способности деконцентрировать контактные напряжения,

$$\sigma_w = \Phi(A_p, D_H), \quad (3.3)$$

где A_p – фактор сопротивления материала разрушению под действием абразивных зерен, косвенно оцениваемый твердостью, сопротивлением царапанию, модулем упругости; D_H – фактор деконцентрации контактных напряжений, условно характеризующийся значением коэффициента K_T .

Фактор D_H определяет в заданных условиях трения формирование процесса изнашивания через соотношение H_M/H_A , а фактор A_p – сопротивление материала разрушению в сложившемся процессе изнашивания.

Предложено, что снижение доли прямого разрушения в общем процессе изнашивания пропорционально твердости материала и получено выражение для определения приращения износостойкости $\Delta\sigma_w$, в связи с изменением процесса изнашивания.

$$\Delta\sigma_w = ce^{mH}, \quad (3.4)$$

где c – коэффициент, зависящий от свойств изнашивающегося материала (кроме твердости); m – коэффициент, отражающий убывание числа абразивных частиц, способных вызывать прямое разрушение с ростом твердости материала.

Для материала, изнашивающегося в массе абразивных частиц, справедливо выражение:

$$\Delta\sigma_w = a + bH + ce^{mH}, \quad (3.5)$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты.

Аналогичное уравнение предложено ранее,

$$\Delta\sigma_w = a + bH + ce^{a1(K_T - 0,6)}, \quad (3.6)$$

Сопротивление материала разрушению и является функцией прочностных свойств материалов.

При $K_T > 0,6$ третий член выражения (3.6) быстро возрастает, что отражает резкий прирост износостойкости в связи с изменением процесса изнашивания и переходом его в менее интенсивные формы.

Прямое разрушение поверхностного слоя становится все менее вероятным и в дальнейшем совсем прекращается.

Одновременно возрастает доля многоциклового процесса, который при больших значениях K_T становится ведущим процессом, а затем и единственным [4, 6].

Условия работы рабочих органов плуга таковы, что внешние условия трения допускают развитие различных процессов изнашивания в соответствии с частными значениями K_T, K_ϕ и P .

В поверхностных слоях металлических и упрочненных материалов при одинаковых условиях внешнего воздействия возникают

различные спектры контактных напряжений; значение показателей прочностных свойств этих материалов тоже различно.

Сопротивление материалов изнашиванию зависит от уровня действующих контактных напряжений (фактор D_H) и его прочностных свойств (фактор Ar).

Для оценки возможных процессов изнашивания металлических и упрочненных материалов отметим, что твердость материалов рабочих органов находится в пределах HV 2,5...6 ГПа, а исследуемых упрочненных материалов HV 13...20 ГПа. Учитывая, что твердость частиц кварца, содержащихся в почве составляет HV 11 ГПа, то это будет соответствовать $K_T = 0,22...0,55$ – для материалов рабочих органов и $K_T = 1,27...2,0$ – для упрочненных материалов.

Кроме того, многочисленные исследования свидетельствуют о зависимости износостойкости от модуля упругости E при разных видах абразивного изнашивания. Для сталей, используемых при изготовлении рабочих органов, $E = (2...3) \times 10^5$ МПа, а для упрочнения (на основе Al_2O_3) $\times E = (3,8...4,0) \times 10^5$ МПа.

Представим диаграмму распределения контактных напряжений применительно к контакту поверхности детали с абразивной массой (рисунок 3.3).

Область $\alpha(\sigma_{mi} < \sigma_{my})$ – упругое деформирование;

$\beta(\sigma_{my} < \sigma_m < \sigma_{mn})$ – усталостное изнашивание;

$\gamma(\sigma_{mT} < \sigma_{mi} < \sigma_{mn})$ – пластическое деформирование;

$\delta(\sigma_{mi} = \sigma_{mn})$ – прямое разрушение (микрорезание).

Показывая на диаграмме (рисунок 3.3) напряжения в диапазоне $\sigma_{mi} > \sigma_{mn}$, условно полагаем, что какая-то часть абразивных частиц по своим прочностным свойствам и геометрии контактной поверхности могла бы вызвать напряжения выше σ_{mn} но изнашивающийся материал не способен их выдерживать и деформируется (или разрушается) под действием этой частицы до тех пор, пока не будет достигнуто состояние равновесия между внешними силами и силами сопротивления материала в результате увеличения площади контакта поверхностного слоя с абразивным зерном. Последнее приводит к увеличению объемов единичных повреждений. Таким образом, участок диаграммы $\sigma_{mi} > \sigma_{mn}$, условно отражает рост объемов разрушенного материала.

В нижней части диаграммы приведены кривые $\Phi_1 (\sigma_{mi})$ и $\Phi_2 (\sigma_{mi})$, характеризующие увеличение объемов (V) единичных разрушений металла с ростом напряжений, а $\Phi_3 (\sigma_{mi})$ – объемов единичных разрушений упрочнения.

Проанализируем возможное изменение сравнительной износостойкости материалов в двух разных по абразивности средах. Сравним между собой износостойкость материалов, используемых для изготовления рабочих органов плуга, и упрочненных материалов.

Их прочностные свойства условно показаны на соответствующих шкалах (рисунок 3.3).

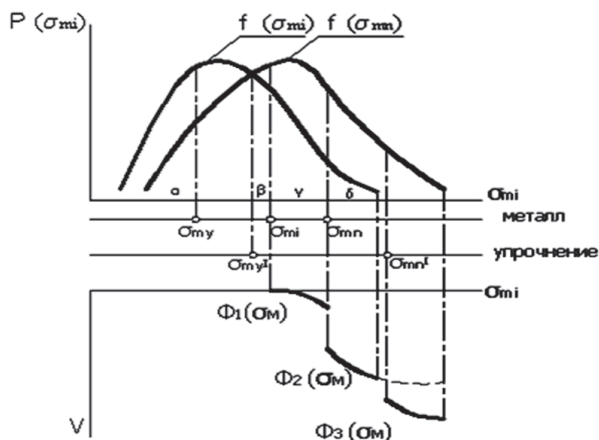


Рисунок 3.3 – Дифференциальные функции плотностей вероятностей контактных напряжений

При изнашивании кварцевыми частицами (кривая $f (\sigma_{mi})$) металла (HV 2,5...6,0 ГПа) возможно протекание всех процессов изнашивания, но определяющими будут пластическое деформирование и микрорезание (области γ и δ).

При упрочнении (HV 12...30 ГПа), ввиду ее более высокой твердости по сравнению с кварцем, возможно лишь усталостное изнашивание. Пластического деформирования и микрорезания не будет. В связи с этим, разрушение поверхностного слоя упрочнения кварцевыми частицами будет очень незначительным, а значит, ее износостойкость будет значительно выше.

При изнашивании металла более твердыми абразивными частицами (кривая $\psi(\sigma_{\text{мi}})$) его пластическое деформирование и микро-резание будет протекать с еще большей интенсивностью, чем в первой абразивной массе. Об этом свидетельствуют площади областей γ и δ для этих материалов, характеризующие количество актов разрушения. Таким образом, износостойкость упрочнения будет выше износостойкости основного металла в любой абразивной среде (при условии отсутствия ударного воздействия) и чем ниже твердость частиц абразивной массы, тем разница в относительной износостойкости основного металла и упрочнения будет больше.

Следует полагать, что при изнашивании в почве (при отсутствии ударного воздействия каменистых включений) упрочненные материалы будут обладать значительно большей износостойкостью, чем основной металл. Это подтверждается данными работы. При исследовании упрочнения ЦМ-332 (HV 17 ГПа) на приборе ПВ – 7 с кварцевым песком следы каких-либо повреждений поверхностного слоя не обнаруживались. В то же время, на металлических образцах даже высокой твердости оставались тонкие следы пластического деформирования в виде микроскопических царапин.

При наличии ударного воздействия, например, каменистых включений, износостойкость упрочненных материалов будет снижаться более интенсивно, чем у основных. Это обусловлено хрупким характером разрушения поверхностного слоя упрочнения, при котором, как отмечалось ранее, объемы единичных повреждений значительно больше, чем при вязком.

Поэтому в качестве одного из основных критериев при использовании упрочнения для рабочих органов принимаем трещиностойкость K_{IC} – характеристику, определяющую сопротивление материалов хрупкому разрушению.

Установлена следующая зависимость сопротивления упрочненных материалов абразивному изнашиванию от твердости H и трещиностойкости K_{IC} .

$$R = H^{1/2} - K_{\text{IC}}^{3/4}, \quad (3.7)$$

где R – параметр сопротивления абразивному износу, см^{-2} ; H – твердость, ГПа; K_{IC} – коэффициент трещиностойкости, $\text{МПа м}^{1/2}$.

По данным испытаний на износ упрочненных материалов на основе оксида алюминия (Al_2O_3) и нитрида кремния (Si_3N_4), износостойкость прямо пропорциональна произведению, представленному отношением (3.7).

Износостойкость оценивалась как обратная величина от объема материала, удаляемого за единицу длины пути трения.

3.3. Исследование абразивной износостойкости материалов в лабораторных условиях

Изнашивание рабочих органов реализуется при трении о почвенную массу, содержащую не жестко закрепленные абразивные частицы минерального происхождения.

Лабораторное исследование абразивной износостойкости материалов применительно к условиям эксплуатации рабочих органов проводились на специальных приборах при трении вращающегося ролика из эластичного полимерного материала о поверхность исследуемого образца через прослойку абразивных частиц. Схема прибора представлены на рисунке 3.4.

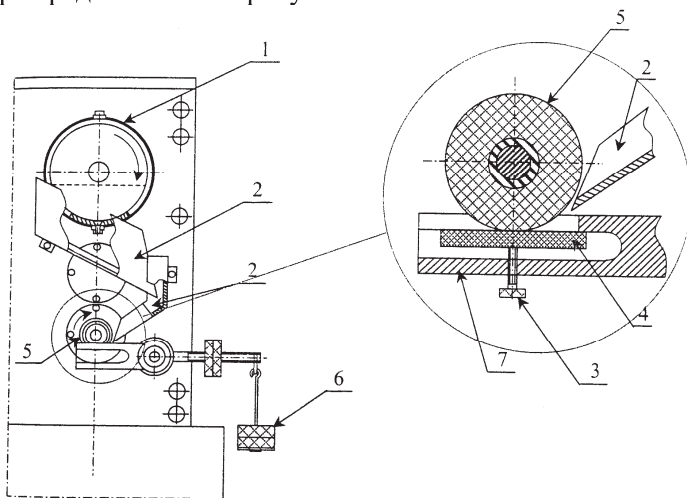


Рисунок 3.4 – Схема прибора ИМ – 01: 1 – барабан с абразивом; 2 – желоб; 3 – винт; 4 – испытуемый образец; 5 – эластичный ролик; 6 – груз; 7 – держатель

3.4. Исследование коэффициента трения металла о почву

Коэффициент трения металла о почву определяли по прибору, разработанному В.А. Желиговским. Основные элементы прибора (рисунок 3.5): линейка 1, каретка 2, колодка 3 и направляющая ось 4.

Каретка 2 снабжена вертикальным карандашом для записи траектории ее движения. На нее закрепляли образцы почвы, а на горизонтальной чертежной доске, на которой устанавливается прибор, прикрепляли бумагу. К линейке 1 крепили образцы исследуемых материалов из стали.

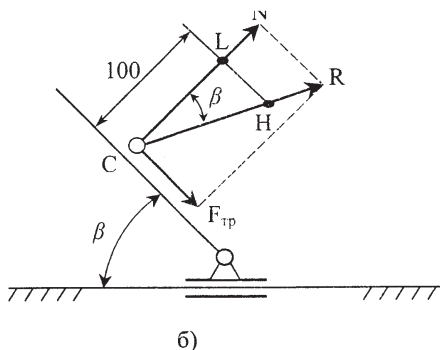
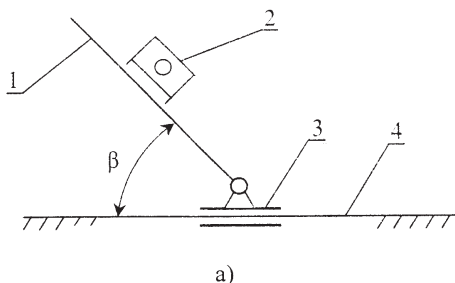


Рисунок 3.5 – Определение коэффициентов трения:
а – прибор В. А. Желиговского; б – силовая схема

3.5. Сравнительные эксплуатационные исследования упрочненных рабочих органов

Исследованиям подвергались серийные лемех плуга, грудь отвала полевая доска плуга, а также лемехи, упрочненные точечной

наплавкой порошковой проволокой (ПП-Нп-80Х20РЗТ-Н-С-3,2), плазменной наплавкой порошка карбида вольфрама и сплава ФБХ-6-2, предназначенные для установки на плуги общего назначения.

Целями исследований являлись:

- уточнение их ресурсов в зависимости от условий работы и различия конструктивных параметров и материалов (с учетом технологии их упрочнения);
- выявления направлений работы по повышению ресурса лемехов, отвалов, полевых досок.

Исследования проводили в полевых условиях.

Для каждой из них подготавливали плуги ПЛН-3-35 (или ПЛН-4-35, ПЛН-8-35), полностью отвечающие паспортным данным. Все машины агрегатировались с тракторами соответствующими классам тяги и работали на скоростях, принятых в данных условиях эксплуатации МТА.

Сопоставимость результатов исследований, проводимых в разное время и в разных почвенно-климатических условиях, обеспечивалась одновременным испытанием серийных и опытных рабочих органов.

Каждый плуг оснащали полным комплектом рабочих органов: одним серийным и двумя опытными. К этому комплекту прикладывали по одному рабочему органу в качестве запасных частей.

Серийные и опытные рабочие органы маркировали и нумеровали в нарастающем порядке.

Перед началом исследований проводили первичную экспертизу рабочих органов на их соответствие чертежам и техническим требованиям, для чего проводили 100 % контроль деталей по всем размерным параметрам, твердости материалов и геометрии заточки лезвия. Первичную техническую экспертизу рабочих органов проводили по ОСТ 10.2.1-97 для последующего определения величины износа.

Размеры рабочих органов контролировали по параметрам, указанным на рисунках 3.6, 3.7, 3.8.

Полученные значения контролируемых параметров заносили в таблицу.

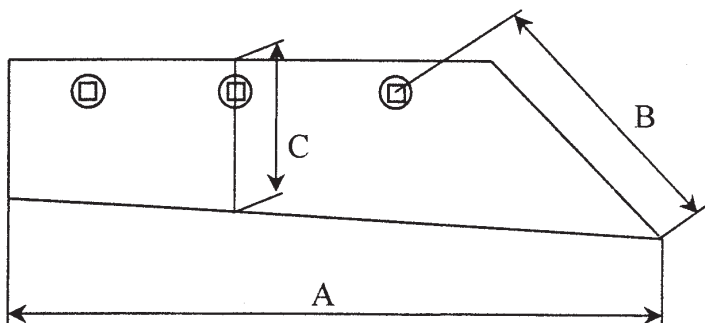


Рисунок 3.6 – Контролируемые размеры лемеха

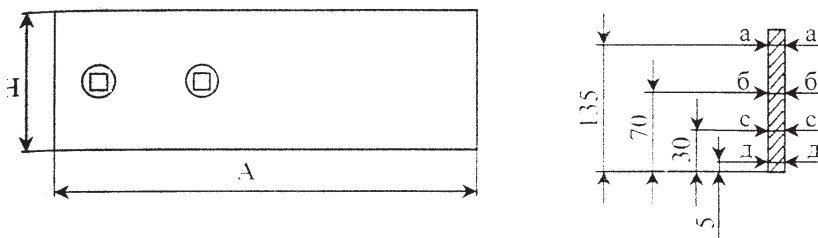


Рисунок 3.7 – Контролируемые параметры полевой доски

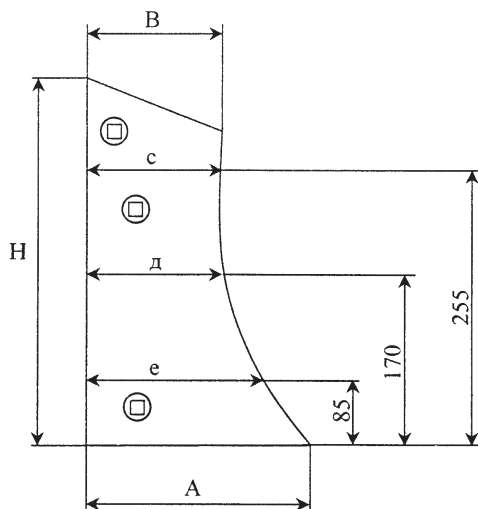


Рисунок 3.8 – Контролируемые параметры груды отвала

Установка рабочих органов на плуг производилась по схеме приведенной на рисунке 3.9.

Согласно этой схеме, серийный лемех $C_{\text{л}}$, серийная грудь отвала $C_{\text{г}}$ и серийная полевая доска $C_{\text{д}}$ устанавливались на второй (средней) стойке корпуса плуга, а опытные лемех, грудь отвала и полевая доска $O_{\text{л}}$, $O_{\text{г}}$, $O_{\text{д}}$ на первой и последней стойках.

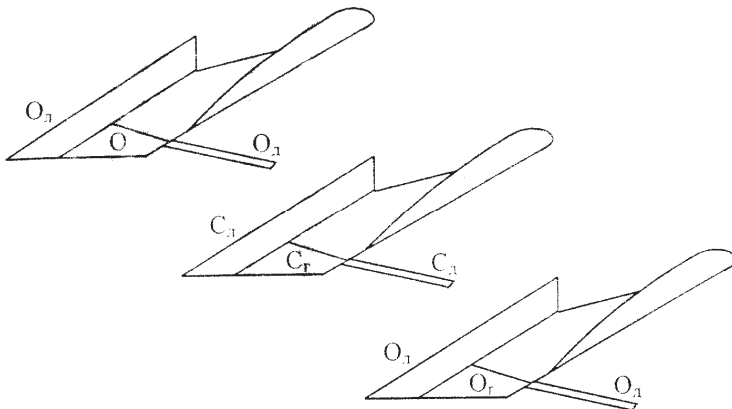


Рисунок 3.9 – Схема расположения испытуемых рабочих органов на плуге ПНЛ-3-35: $O_{\text{л}}$, $O_{\text{г}}$, $O_{\text{д}}$ – опытный лемех, грудь отвала, полевая доска; $C_{\text{л}}$, $C_{\text{г}}$, $C_{\text{д}}$ – серийный лемех, грудь отвала, полевая доска

При необходимости сравнивать результаты исследований серийных и опытных рабочих органов, данная схема обеспечивает достаточную точность результатов испытаний, так как нагрузка на рабочие органы плуга изменяется в сторону уменьшения от первого корпуса к последнему.

Исследования проводили на полях с почвой, типичной для данной зоны по механическому составу, растительным остаткам, с близкими значениями твердости и влажности.

Участки по площади подбирали с таким расчетом, чтобы обеспечивать выполнение на них полной программы запланированных испытаний, то есть до предельного состояния рабочих органов.

Показатели условий исследований определяли по ГОСТ20915, РД 10.4.1-89.

Установленные регулировки машины и принятые режим и условия испытаний также отмечались в протоколе.

Исследования проводили до достижения каждым рабочим органом предельного состояния.

На основании анализа опыта эксплуатации лемехов, отвалов и полевых досок приняты следующие критерии предельных состояний:

для лемехов:

- а) износ по ширине до $C = 90$ мм;
- б) износ по длине носка до $B = 125$ мм;
- в) достижение предельной величины затылочной фаски (каждому типу почвы соответствует свое значение).

для отвалов:

- а) сквозное протирание лицевой поверхности;
- б) износ полевого обреза (размеры B , c , d , e , A) до стойки корпуса.

для полевой доски:

- а) износ по ширине до $H = 65$ мм;
- б) износ по толщине до a , b , c , $d = 10$ мм;
- в) заострение нижней кромки.

Измерения параметров изнашивающихся рабочих органов плуга производили через каждые 2...5 га. Линейный износ измеряли штангенциркулем с точностью 0,1 мм. Для оценки весового износа использовали весы «NAGEMA» с точностью 1 г.

При оценке остроты лезвия и величины затылочной фаски использовали метод снятия слепков с лезвия лемеха с помощью свинцовой пластины. Для этого свинцовая полоска толщиной 0,5...0,7 мм и шириной 2 мм прижималась к лезвию до исчезновения просвета.

Один конец полоски должен плотно прилегать к неизнашивающейся поверхности, принимаемой за метрическую базу. Аккуратно снятые слепки в дальнейшем анализируются.

Для этого профиль зарисовывается, после чего измеряют радиус кромки, угол заострения, величину и угол наклона затылочной фаски.

Определение показателей качества выполнения технологического процесса вспашки упрочненными рабочими органами проводилось в сравнении с серийными рабочими органами на плуге ПЛН-3-35 в агрегате с трактором МТЗ-82 в соответствии с РД 10.4.1-89 и ТЗ.

Первоначально на плуге были установлены серийные рабочие органы и плуг был отрегулирован на установочную глубину пахоты 22 см с последующим определением показателей качества выполнения технологического процесса. После этого производилась замена рабочих органов без изменения регулировок плуга. Определяли следующие показатели: глубину обработки почвы и ее отклонение, гребнистость поверхности пашни, качество заделки пожнивных и растительных остатков, крошение пласта, ширину захвата рабочих органов.

Энергетическая оценка плуга ПЛН–3–35, оснащенного опытными рабочими органами, проводилась по РД10.2.2–89 одновременно с определением показателей качества выполнения технологического процесса.

При проведении энергетической оценки определяли: тяговое сопротивление пахотного агрегата, эффективную мощность двигателя, удельный расход топлива, буксование движителей.

3.6. Теоретические исследования долговечности деталей транспортно-технологических машин

Процесс изнашивания рабочих органов плуга зависит от множества факторов, комплексно связанных между собой (влажности, твердости, гранулометрического состава и др.).

Величина абразивного износа материала в почвенной массе является функцией ряда переменных величин:

$$\Delta G = f(p, L, S, m, \gamma, H), \quad (3.10)$$

где p – давление почвы, МПа; L – путь трения, м; S – площадь трения, см²; m – показатель изнашивающей способности почвы; γ – плотность материала, г/см³; H – твердость материала, МПа.

Зависимость интенсивности износа деталей в абразивной среде от давления и скорости относительного перемещения абразивных частиц аналогична износу деталей при трении об абразивную поверхность и выражается уравнением:

$$\frac{\Delta G}{\Delta t} = kpV_{\text{отн}}, \quad (3.11)$$

где k – коэффициент пропорциональности; p – удельная нагрузка на поверхность трения, МПа; $V_{\text{отн}}$ – скорость относительного перемещения контактируемых частиц в изнашиваемых местах, м/с.

Установлено, что скорость относительного перемещения почвенных частиц по поверхности рабочего органа почвообрабатывающих машин значительно меньше поступательной скорости самого рабочего органа и колеблется в сравнительно больших пределах.

В зоне контакта почвенных частиц с рабочим органом, имеющим форму трехгранного клина, она может быть определена по формуле:

$$V_{\text{отн}} = V_n \cos \gamma \sqrt{\cos^2 (\xi_0 + \psi) \frac{\text{tg}^2 \gamma}{\cos^2 \psi} + \left(\frac{f}{f + f_1} \right)^2}, \quad (3.12)$$

где V_n – поступательная скорость движения детали, м/с; γ – угол установки рабочей поверхности детали по направлению движения; ξ_0 – угол наклона рабочей поверхности клина к горизонту в плоскости, перпендикулярной режущей кромке; f – коэффициент трения почвенных частиц по изнашиваемой поверхности детали; f_1 – коэффициент трения почвенных частиц между собой; ψ – угол отклонения абсолютной траектории перемещения частиц от нормали к рабочей поверхности.

Для рабочих органов, имеющих форму двугранного клина,

$$V_{\text{отн}} = V_n \frac{\cos(\alpha + \psi)}{\cos \psi}, \quad (3.13)$$

где α – угол наклона рабочей поверхности детали к горизонту.

Для полевой доски корпуса плуга, у которой рабочие углы установки равны нулю

$$V_{\text{отн}} = V_n \frac{f_1}{f + f_1}. \quad (3.14)$$

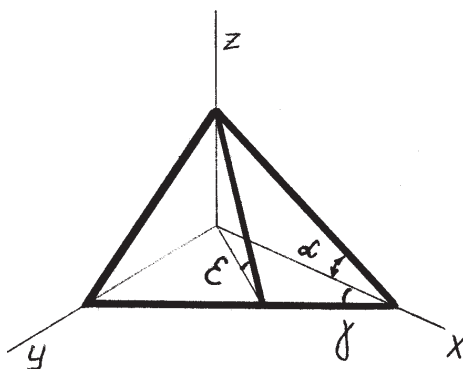


Рисунок 3.25 – Трехгранный клин

Давление почвы на рабочую поверхность лемеха и отвала плуга, может быть подсчитано по формуле:

$$p = ca^n, \quad (3.15)$$

где c – коэффициент, учитывающий плотность грунта и углы установки рабочих органов; a – глубина обработки почвы, см; n – показатель степени.

Значения коэффициента c и показателя степени n для почв с сопротивлением вдавливанию штампа плотномера 1,0 МПа приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Значение коэффициента c и показателя степени n

Рабочие органы машины	Значение коэффициента c	Значение коэффициента n
Лемех плуга:		
носок	0,0067	1,22
пятка	0,0036	
Отвал плуга:		
грудь	0,0014	1,22
крыло	0,0010	

Давление почвы на рабочую поверхность полевой доски определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \frac{F_y \sin \alpha}{ab}, \quad (3.16)$$

где F_y – усилие, действующее на полевую доску, Н; a и b – длина и ширина полевой доски, см; α – угол установки полевой доски.

Для расчета долговечности рабочих органов введем понятие величины удельного износа, которое характеризует линейный или весовой износ эталонным абразивом ($m = 1$) эталонного образца при относительной скорости перемещения $V_{\text{отн}} = 1$ см/с за время $t = 1$ с, площади трения $S = 1$ см² и давлении абразива $p = 1$ МПа.

Так как износ пропорционален коэффициенту изнашивающей способности, давлению, пути трения, площади трения и обратно пропорционален твердости материала, то износ эталонного образца эталонной почвой при любых других условиях будет:

$$\Delta G_{\text{эт}} = k \frac{p V_{\text{отн}} t S \gamma_{\text{эт}}}{H_{\text{эт}}}, \quad (3.17)$$

где k – коэффициент пропорциональности; p – удельное давление абразивной массы, МПа; $\gamma_{\text{эт}}$ – плотность эталонного образца, г/см³; $H_{\text{эт}}$ – твердость эталонного образца, ГПа.

Износ другого материала при любых других условиях равен:

$$\Delta G = \Delta G_{\text{эт}} m \varepsilon \frac{k_{\gamma}}{k_H}, \quad (3.18)$$

где $\Delta G_{\text{эт}}$ – износ эталонного образца эталонной почвой; m – коэффициент изнашивающей способности почвы; ε – относительный износ материала; k_{γ} – величина отношения объемного веса детали к объемному весу эталонного образца; k_H – величина отношения твердости детали к твердости эталонного образца.

Подставив значение $\Delta G_{\text{эт}}$ из уравнения (3.19), заменив коэффициенты k_H и k_{γ} получим:

$$\Delta G = k \varepsilon m \frac{p V_{\text{отн}} t S \gamma}{H}, \quad (3.19)$$

Интенсивность износа будет

$$\frac{\Delta G}{\Delta t} = k \varepsilon m \frac{p V_{\text{отн}} S \gamma}{H}, \quad (3.20)$$

или

$$\frac{h}{t} = k \varepsilon m \frac{p V_{\text{отн}}}{H}, \quad (3.21)$$

Зная предельно допустимый износ, можно определить срок службы деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин.

В этом случае линейный, или весовой, износ должен быть равен предельно допустимому износу $h_{\text{д}}$.

$$t = \frac{1}{k_{\text{эм}}} \frac{h_{\text{д}} H}{p V_{\text{отн}}}. \quad (3.22)$$

Относительную скорость перемещения частиц выразим через поступательную скорость рабочего органа,

$$t = \frac{k_v}{k_{\text{эм}}} \frac{h_{\text{д}} H}{p V_{\text{н}}}, \quad (3.23)$$

где k_v – величина, обратная коэффициенту перехода от поступательной скорости перемещения рабочего органа к относительной скорости перемещения абразивной среды по рабочей поверхности.

Для трехгранных клиньев:

$$k_v = \frac{1}{\cos \gamma \sqrt{\cos^2 (\varepsilon + \psi_1) \frac{\operatorname{tg}^2 \gamma}{\cos^2 \psi} + \left(\frac{f_1}{f + f_1} \right)^2}}. \quad (3.24)$$

Для двухгранных клиньев,

$$k_v = \frac{\cos^2 \psi}{\cos(\alpha + \psi)}. \quad (3.25)$$

Для рабочих органов, у которых рабочие углы установки равны нулю (полевая доска)

$$k_v = \frac{f_1}{f + f_1}, \quad (3.26)$$

Таким образом, долговечность однородного рабочего органа будет:

$$T = \frac{k_v}{k_{\text{эм}}} \frac{h_{\text{д}} H}{p V_{\text{отн}}}. \quad (3.27)$$

Из формулы видно, что с увеличением твердости поверхности рабочего органа его срок службы увеличивается. Но повышение твердости поверхности само по себе не может гарантировать длительную работу рабочих органов [7, 8].

При упрочнении лемеха, кроме повышения его износостойкости, требуется обеспечение его самозатачивания, т. е. одинаковой скорости изнашивания несущего и режущего слоев.

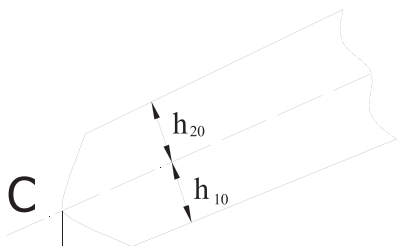


Рисунок 3.26 – Параметры слоев однородного стабилизированного лезвия

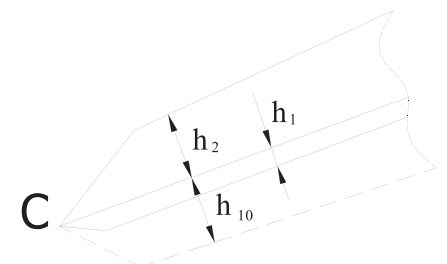


Рисунок 3.27 – Переход от однородного стабилизированного лезвия к двухслойному самозатачивающемуся

Для проектирования самозатачивающегося лезвия, применим методик.

Имея стабилизированный профиль однородного лезвия (рисунок 3.26, 3.27), проведем через крайнюю точку профиля C , лежащую в плоскости резания, прямую, параллельную тыльной стороне лезвия. Эта линия разделяет однородное лезвие на два слоя – верхний и нижний, которые изнашиваются по ширине с одной и той же скоростью.

Перейдем от спрямленного однородного стабилизированного лезвия к самозатачивающемуся тоже стабилизированному лезвию.

Для этого, используя свойство подобия профилей однородного лезвия, задаем ему такую толщину, чтобы прочность лезвия была обеспечена одним несущим верхним слоем. Заменяем толстый нижний слой однородного лезвия тонким слоем другого материала более высокой износостойкости (рисунок 3.27).

Износостойкость материала надо подобрать такой, чтобы скорость изнашивания нового тонкого слоя была равна скорости изнашивания верхнего слоя.

В нашем случае уже имеется материал с заданной износостойкостью. В этом случае могут быть заданы толщина нижнего слоя h_1 (определяется агротехническими требованиями для каждого типа почв), отношение коэффициентов износостойкости материалов нижнего и верхнего слоев $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ и отношение толщин соответствующего однородного стабилизированного лезвия h_{20}/h_{10} .

Необходимо определить толщину верхнего несущего слоя лезвия h_2 , обеспечивающую его самозатачивание в работе. Параметры слоев однородного стабилизированного лезвия определяем по данным полевых испытаний. Учитывая изложенное получено:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\varepsilon_1 h_{20}}{\varepsilon_2 h_{10}}, \quad (3.28)$$

отсюда

$$h_2 = \frac{\varepsilon_1 h_{20} h_1}{\varepsilon_2 h_{10}}, \quad (3.29)$$

С учетом этого выражение (3.27) примет вид:

$$T = \frac{k_v}{k \varepsilon m r l_h} \frac{h_d H}{p V_n}, \quad (3.30)$$

где r – коэффициент, учитывающий увеличение относительного износа упрочненных материалов в зависимости от степени каменистости почвы; l_h – величина, равная отношению толщины несущего слоя (h_2) к толщине режущего слоя (h_1).

Полевая доска изнашивается неравномерно. Максимальный износ приходится на нижнюю часть (2) на высоте 20...30 мм от нижней грани. Поэтому для обеспечения равномерного износа полевой доски целесообразно упрочнять именно эту часть (рисунок 3.28).

Для нахождения необходимой толщины упрочнения, определим наработку полевой доски T_1 до предельного износа по толщине h_d в ее средней (неупрочненной) части по формуле (3.27) условно полагая, что интенсивность изнашивания верхней и нижней части одинаковы и равны W_1 . Выразив в формуле (3.23) h через t получим:

$$h = k\epsilon m \frac{pV_n t}{Hk_v} \quad (3.31)$$

Подставив в выражение (3.31) вместо t полученное значение наработки T_1 , а также соответствующие значение H и ϵ для заданного упрочненного материала, получим величину, на которую изменится толщина упрочненного материала на наработку T_1 .

Это и будет необходимая толщина керамической пластины.

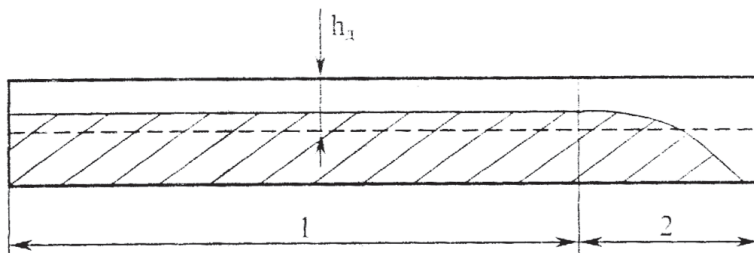


Рисунок 3.28 – Износ полевой доски

Долговечность упрочненной полевой доски плуга будет определяться суммарным временем износа упрочнения (T_2') и несущего слоя металла (T_2''). T_2' определяется по выражению (3.32), а T_2'' – по выражению (3.33).

$$T = \frac{k_v}{k\epsilon m r} \frac{h_d H}{pV_n} \quad (3.32)$$

Грудь отвала наиболее интенсивно изнашивается с лицевой стороны в зоне носка. Форма и размер упрочнения, в данном случае, выбирались исходя из технологических требований.

Долговечность груди отвала следует рассчитывать, учитывая долю площади наиболее изнашиваемой части поверхности упрочнения. С учетом этого выражение (3.30) примет вид:

$$T = \frac{k_v}{k \varepsilon m l_s r} \frac{h_d H}{p V_n}, \quad (3.33)$$

где l_s – величина, равная отношению площади неупрочненной поверхности к площади упрочненной.

3.7. Исследование количественной оценки долговечности рабочих органов

Механический состав и состояние почвы влияют не только на интенсивность износа, но и на его характер.

Особенно это видно на примере износа лемехов, лап культиваторов и дисковых борон. На тяжелых суглинистых и глинистых почвах лезвие и полевой обрез лемеха затупляются и принимают овальную форму.

На песчаных и супесчаных почвах он изнашивается достаточно интенсивно как по толщине, так и по ширине. Лезвие при этом сохраняет свою остроту, но на тыльной стороне его создается резко выраженная затылочная фаска, на лицевой – глубокая лучевидная канавка; носок по профилю закругляется. В. П. Горячкин, износ лицевой поверхности лемеха и отвала с образованием сквозного протирания в верхней части носка и груди объяснял возникновением в этих местах больших давлений.

Другие исследователи объясняют те, что подрезаемый слой почвы значительную часть пути скольжения не деформируется и сохраняет свою форму. При этом опирается нижней гранью на рабочую поверхность и в местах контактирования создает высокие давления. Плужные лемехи обычно устанавливают по отношению к дну борозды под углом около 30° по передней грани и по отношению к оси движения плуга под углом 40° [9].

Установка лемехов в большой степени предопределяет характер процесса износа, а также является причиной повышения нагрузки, проходящейся на носовую часть лемеха.

3.7.1. Долговечность новых лемехов

Картина нарастания линейного износа новых лемехов, для почв пяти различных типов свидетельствует о разной интенсивно-

сти процесса износа, она представлена на рисунке 3.29 для почв различных типов.

Определим долговечность лемеха тракторного плуга при вспашке почвы. Долговечность деталей выражается как:

$$T = \frac{kv}{k \times E \times m} \times \frac{h_0 \times (n+1) \times H}{P \times v n}, \quad (3.34)$$

где kv – величина, обратная коэффициенту перехода от поступательной скорости к относительной скорости перемещения абразивной среды по ее рабочей поверхности.

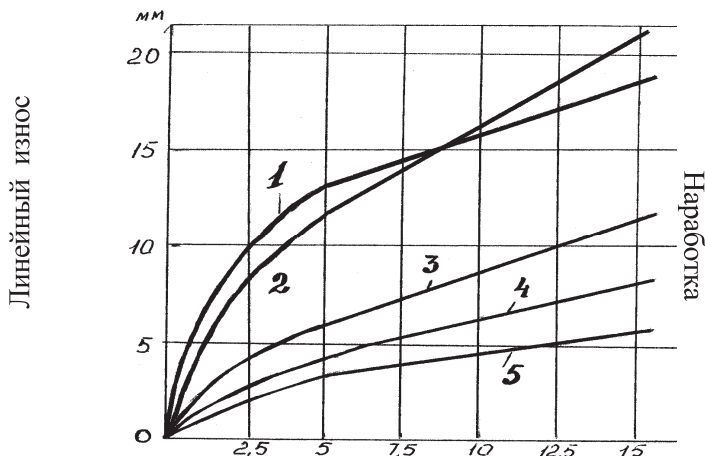


Рисунок 3.29 – Изменение интенсивности линейного износа лемеха при работе на различных почвах: 1 – тяжелых суглинистых; 2 – песчано-щебнистых; 3 – лессовых, средних суглинистых, солонцеватых; 4 – подзолистых, глинисто-иловатых; 5 – выщелоченных глинистых черноземов

Для трехгранных клиньев:

$$kv = \frac{1}{\cos \gamma \sqrt{\cos^2 (E \times \psi) \times \frac{\operatorname{tg}^2 \gamma}{\cos^2 \psi} + \left(\frac{f_1}{f + f_2} \right)^2}}. \quad (3.35)$$

Для двугранных клиньев:

$$\kappa\nu = \frac{\cos^2 \psi}{\cos(\alpha + \psi)}, \quad (3.36)$$

где α – угол наклона рабочей поверхности детали к горизонту; ψ – угол отклонения абсолютной траектории перемещения частиц почвы от нормали к рабочей поверхности клина.

$$\psi = \arctg \left(\frac{f}{f + f_1} \times ctg \alpha \right), \quad (3.37)$$

где f – коэффициент трения почвенных частиц по изнашиваемой поверхности детали; f_1 – коэффициент трения почвенных частиц между собой; k – коэффициент пропорциональности для лемеха = 0,02, для отвала = 0,01...0,012, для культиватора = 0,02; E – относительный износ материала; m – коэффициент изнашивающей способности.

$$\frac{1}{m} = d_1 \frac{1}{m_1} + d_2 \frac{1}{m_2} + \dots + d_n \frac{1}{m_n}, \quad (3.38)$$

где m_1, m_2, m_n – коэффициент изнашивающей способности фракций; d_1, d_2, d_3 – доли номинального объема фракционных составляющих.

Таблица 3.10 – Относительный износ различных материалов

Наименование материала	Относительный износ ϵ при: HRC					
	40	45	50	55	60	62
Стали:						
Л65	1,6	1,43	1,23	1	0,75	0,68
9ХС	1,35	1,18	1,03	0,82	0,64	0,59
Х12	0,82	0,73	0,65	0,54	0,43	0,38
ХВГ	1,93	1,68	1,36	1,12	0,82	0,75
5ХНТ	2,06	1,78	1,43	1,14	–	–
Л53	1,7	1,42	1,25	1,05	0,87	–
65Г	1,68	1,4	1,27	1,08	0,88	0,87
У12	–	1,25	1	0,86	0,75	0,74
55С2	1,5	1,27	1,03	0,9	0,84	0,82
Чугуны:						
модифицированный						
серый	–	–	1,75	–	–	–
ковкий высокопрочный	1,25	1,12	1,08	–	–	–
с графитом	1,18	1,05	1	1,03	–	–
белый	–	0,78	–	–	–	–

$$m_1 = \frac{k}{k_1}; \quad (3.39)$$

$$m_2 = \frac{k}{k_2}, \quad (3.40)$$

где k , k_1 , k_2 – коэффициенты пропорциональности; h_0 – предельно допустимый износ до ремонта; n – количество ремонтных воздействий за полный срок службы детали до выработки; H – твердость металла; V_n – поступательная скорость движения детали; P – удельное давление абразива.

$$P = C \times a_n, \quad (3.41)$$

где C – коэффициент, учитывающий плотность грунта и углы установки рабочих органов; a – глубина обработки почвы; n – показатель степени.

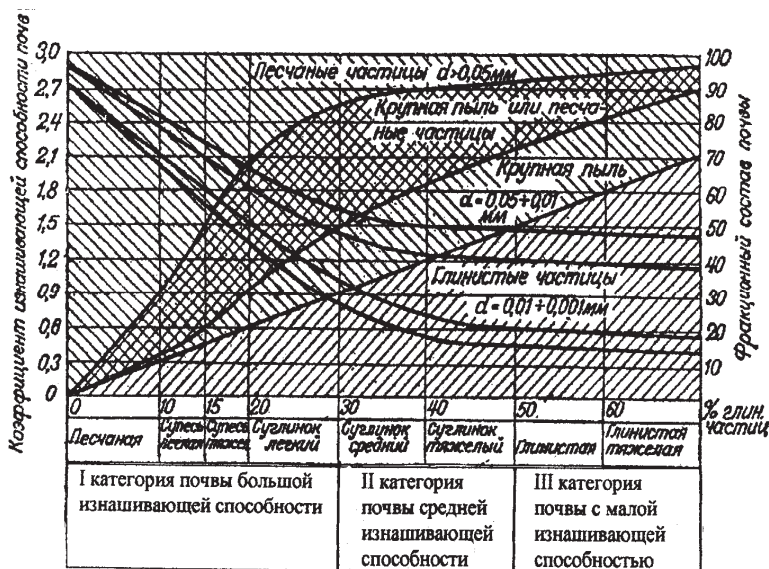


Рисунок 3.30 – Классификация почв по их изнашивающей способности

Долговечность, выраженная в гектарах обработанной площади на один рабочий орган будет равна:

$$F_0 = \frac{\kappa v}{k \times E \times m} \times \frac{h_0 (n+1) \times H \times B}{P}, \quad (3.42)$$

где B – ширина захвата рабочего органа.

Таблица 3.11 – Фрикционный состав по типам почв.

Тип почвы	Фрикционный состав, %				Интенсивность износа, мг/сек	Коэффициент изнашивающей способности
	10 ⁻³ мм	1...0,05 мм	0,05...0,01 мм	0,01...0,001 мм		
Песок	–	100	–	–	6,21	2,75
Граница песчаной и легкой супеси	–10	86	4	10	4,8	1,12
		70	4	10	5,55	2,45
Граница легкой и тяжелой супеси	–10	80	5	15	4,1	1,81
		70	5	15	5	2,21
Граница тяжелой супеси и легкого суглинка	10	43	32	15	4,68	2,07
	–	70	10	20	3,4	1,5
	10	60	19	20	4,53	2
Граница легкого и среднего суглинка	–	51	19	30	2,26	1
	10	41	19	30	3,67	1,62
Граница среднего и тяжелого суглинка		38	22	40	1,58	0,7
		28	22	40	3,35	1,48
Граница тяжелого суглинка и глинистой	–	28	22	50	1,28	0,57
	10	18	22	50	3,28	1,45
Граница глинистой и тяжелоглинистой	–	19	21	60	1,24	0,55
	10	9	21	60	3,28	1,43
Граница тяжелоглинистой и сверх тяжелоглинистой	–	10	20	70	1,13	0,5
	10	–	20	70	3,16	1,4

Таблица 3.12 – Значения коэффициента C и показателя степени n

Рабочие органы машин	Значение коэффициента C	Показатель степени n
Лемех плуга:		
носок	0,0067	1,22
пятка	0,0036	
Отвал плуга:		
грудь	0,0014	1,22
крыло	0,0010	
Лапы культиваторов	0,0045	1,22
Носок окучников	0,0045	1,22
Диски сошников сеялок при $\alpha = 18...20^\circ$	0,0030	1,32

Определим долговечность лемеха тракторного плуга при вспашке почвы.

Следующего состава:

- частицы почвы диаметром 0,45...0,55 мм – 12 %;
- 0,25...0,30 мм – 17 %;
- 0,16...0,25 мм – 15 %;
- глина – 56 %;
- глубина вспашки $a = 22$ см;
- скорость движения плуга $v_n = 5$ км/ч.

По формуле (3.39) находим коэффициенты изнашивающей способности данной почвы.

$$\frac{1}{m} = 0,12 \frac{1}{1,62} + 0,17 \frac{1}{0,48} + 0,15 \frac{1}{0,54} + 0,56 \frac{1}{0,28} = 2,784$$

$$m = \frac{1}{2,784} = 0,36$$

Следовательно, почва глинистая (рисунок 3.26).

Коэффициент может быть подсчитан по формулам для двугранного клинка в двух вариантах:

1 – изнашивается режущая кромка

$$k_v = \frac{\cos \psi}{\cos(\alpha + \psi)}; \psi = \arctg \left(\frac{f}{f + f_1} \operatorname{ctg} \alpha \right). \quad (3.43)$$

при $\alpha = 42^\circ$; $f = 0,8$; $f_1 = 1,2$; $\psi = 25$; $k_v = 2,3$;

2 – изнашивается режущая грань

$$\alpha = \beta + \delta = 60^\circ; \psi = 13; k_v = 3,3$$

т. е. скорость относительного скольжения частиц почвы на режущей кромке в 1,7 раза будет больше, чем на режущей грани.

Давление почвы на режущей части лемеха по формуле (3.41) и данным таблицы 3.8: $P = 1,7 \times 0,0067 \times 22^{1,22} = 0,53 \text{ кг/см}^2$

Принимая $h_0 = 0,75 \text{ см}$; $n = 5$; $E = 1$; $H = 550 \text{ кг/мм}^2$; $k = 0,02$. определим полный срок службы лемеха до его выбраковки:

$$T = \frac{k_v}{k \times E \times m} \times \frac{h_0 (n+1) \times H}{P \times v_\eta} = \frac{2,3 \times 0,75 \times (5+1) \times 55}{0,02 \times 1 \times 0,36 \times 0,53 \times 600} = 2364.$$

при $B = 0,35 \text{ м}$

$$F_0 = \frac{236 \times 0,35 \times 6}{10} = 49 \text{ га.}$$

Определим долговечность отвала для тех же условий, как и при расчетах долговечности лемеха.

Твердость наружных слоев отвала $H_1 = 500 \text{ кг/мм}^2$ внутреннего слоя $H = 230 \text{ кг/мм}^2$.

Толщина наружных твердых слоев $h_{01} = 3,5 \text{ мм}$; внутреннего $h_{02} = 3,5 \text{ мм}$.

В местах наибольшего износа угол $E = 70^\circ$; $\gamma = 42^\circ$.

Коэффициент K_v вычислим по формуле для трехгранного клина:

$$\psi = \arctg \left(\frac{f}{f + f_1} \text{ctg} E \right) = \arctg (0,4 \times 0,364) = 14^\circ. \quad (3.44)$$

Следовательно,

$$k_v = \frac{1}{0,74 \times \sqrt{0,55 \times 0,81 / 0,82 + 0,36}} = 1,58.$$

Давление почвы в местах наибольшего износа

$$P = 1,7 \times 0,0014 \times 22^{1,22} = 0,105 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент для отвала находится в пределах $0,01 \dots 0,012$.

Время до полного износа твердых и мягких слоев, для которых коэффициенты относительной износостойкости

$$E_1 = 1,23; E_2 = 1,8$$

$$\text{будет: } t_1 = \frac{\kappa_v}{\kappa \times E \times m} \times \frac{h_p H}{P \times v_n} = \frac{1,58 \times 0,35 \times 5}{0,01 \times 1,23 \times 0,36 \times 0,105 \times 60} = 100 \text{ ч};$$

$$t_2 = \frac{1,58 \times 0,36 \times 2,3}{0,01 \times 1,8 \times 0,36 \times 0,105 \times 60} = 48 \text{ ч.}$$

Поскольку $t = t_1 + t_2$, то с учетом ремонта изношенных отвалов:

$$T = 1,5t = 222 \text{ ч.}$$

$$F_p = 222 \times 6 \times 0,35 / 10 = 46,5 \text{ га.}$$

3.8. Расчет параметров и долговечности упрочненных деталей

Для обеспечения условий самозатачивания лезвий лемехов при использовании упрочненных материалов следует рассчитать соотношение толщины несущего и режущего слоев по выражению (3.28).

Принятая для лемехов толщина режущего слоя $h_1 = 1,7^{\pm 0,5}$ мм в основном определяется агротехническими требованиями.

Износостойкость материалов (ϵ_1 и ϵ_2) и параметры h_{10} и h_{20} определяются по данным полевых испытаний. Для лезвия и носка лемеха, согласно расчетным данным (таблица 3.13), толщина несущего h_2 и режущего h_1 слоев должны быть равны следующим средним значениям.

Для расчета приняли материал лемеха – сталь 65Г, а упрочнения – ТК-Г.

I – песчаные, супесчаные и легкосуглинистые почвы;

II – средне- и тяжелосуглинистые почвы;

III – глинистые и тяжелоглинистые почвы.

Определим долговечность лемеха плуга (по длине носка), упрочненного керамическим материалом при вспашке, например, песчаных почв твердостью 0,6 МПа.

Скорость движения плуга $V_n = 2,5$ м/с.

Давление почвы на режущей части лемеха вычислим по формуле (3.15) и данным таблицы 3.13:

$$p = 0,6 - 0,0067 - 22^{1,22} = 0,18 \text{ МПа.}$$

Принимаем $h_d = 0,08$ м (допустимая величина износа носка лемеха по длине), $\varepsilon = 0,06$ (относительный износ упрочнения ТК-Г), $H = 19\,000$ МПа.

Таблица 3.13 – Расчетные параметры самозатачивающегося лемеха

Категория почв**	Относительная износостойкость упрочнения, ε_1	Толщина упрочнения, мм		Толщина несущего слоя, мм		Параметры однородного стабилизированного лезвия, мм	
		лезвие	носок	лезвие	носок	H_{10}	H_{20}
I	5	1,7	3,0	8,5	15,0	5,0	5,0
II	10	1,7	3,0	7,2	12,8	7,0	3,0
III	16	1,7	3,0	6,8	12,0	8,0	2,0

(Микротвердость упрочнения ТК-Г), $k = 0,001$, $r = 4$ (для почв, содержащей каменистого материала 0,5...5 %).

Коэффициент $k_v = 4,0$ (для песчаной почвы).

В результате получим:

$$T = \frac{4 \times 0,08 \times 19\,000}{0,001 \times 0,76 \times 75 \times 4 \times 0,18 \times 4 \times 2,5 \times 3600} = 52 \text{ ч.}$$

Учитывая, что производительность одного лемеха составляет в среднем 0,2 га/ч, получим $T = 52 \times 0,2 = 10,4$ га.

Таблица 3.14 – Расчетная и фактическая долговечность лемехов плугов

Категория почв	Тип почвы	Коэффициенты		Давление почвы, МПа	Долговечность		
		m	k_v		Расчетная T , ч	F_b , га	Фактическая, F_f , га
I	Песчаная	75,0	4,0	0,18	52	10,4	15 18–22
	Супесь легкая	65,0	4,0	0,18	60	12	
	Супесь тяжелая	38,0	3,8	0,20	88	17,6	
	Суглинок легкий	17,0	2,2	0,20	114	22,7	
II	Суглинок средний	6,3	1,8	0,30	168	33,5	
	Суглинок тяжелый	3,0	1,8	0,37	285	57,1	
III	Глинистая	2,0	1,6	0,42	335	67	
	Тяжелоглинистая	1,0	1,6	0,57	494	98,8	

В таблице 3.14 приведены данные расчета долговечности лемехов при работе на различных почвах при $k = 0,001$, $\varepsilon = 0,06$, $H = 19\,000$ МПа, $r = 4$, $h_d = 0,08$ м, $V_n = 2,5$ м/с.

В таблице 3.15 приведены данные расчета долговечности груди отвала при работе в тех же условиях при $k = 0,015$, $\varepsilon = 0,06$, $H = 19\,000$ МПа, $r = 4$, $h_d = 0,008$ м (предельный износ по толщине), $V_n = 2,5$ м/с.

Таблица 3.15 – Расчетная и фактическая долговечность груди отвала плуга

Категория почв	Тип почвы	Коэффициенты		Давление почвы, МПа	Долговечность		
		m	k_v		Расчетная T , ч	F_D , га	Фактическая, F_Φ , га
I	Песчаная	75,0	4,2	0,05	175	35	18*
	Супесь легкая	65,0	3,5	0,05	168	34	
	Супесь тяжелая	38,0	3,0	0,06	206	41	
	Суглинок легкий	17,0	2,6	0,06	399	80	
II	Суглинок средний	6,3	2,2	0,08	684	137	30*
	Суглинок тяжелый	3,0	1,8	0,10	943	188	
III	Глинистая Тяжелоглинистая	2,0	1,75	0,11	1243	248	

* Груды отвала не достигли предельного состояния.

ГЛАВА IV. БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

4.1. Понятие о базах

При изготовлении деталей на металлорежущих станках определение положения (*базирования*) заготовок в процессе их обработки *относительно режущего инструмента*, является одной из главных задач процесса получения детали, так как от правильного решения этой задачи во многом зависит качество детали.

Вопросам базирования уделялось и уделяется большое внимание в технологических процессах изготовления деталей на металлорежущих станках. Одним из основоположников разработки теории базирования был Б. С. Балакшин, разработавший в 40-х годах теорию базирования, положенную в основу ГОСТ 21495 «Базирование и базы в машиностроении».

При обработке заготовки на металлорежущем станке различают следующие поверхности:

- а) обрабатываемые поверхности, которые подвергаются воздействию режущего инструмента;
- б) поверхности, посредством которых определяют положение заготовки относительно режущего инструмента и элементов приспособления в процессе обработки;
- в) поверхности, контактируемые с зажимными устройствами приспособления;

г) поверхности, от которых производится измерение получаемых размеров обрабатываемой поверхности;

д) свободные поверхности.

При изготовлении детали заготовку устанавливают либо в стандартное приспособление типа тиски, кулачковый патрон, центра, цанга, планшайба, или в специальное приспособление. Применяют три основных способа установки заготовки в приспособление для ее обработки:

1) с индивидуальной выверкой ее положения по соответствующим поверхностям;

2) с выверкой ее положения по рискам разметки;

3) с непосредственной установкой ее в приспособлении.

Первые два способа трудоемки и применяются в единичном и мелкосерийном производстве. В серийном и массовом производстве используется третий способ установки заготовки на станке, так как он обеспечивает наиболее точное положение заготовки в рабочей зоне станка и требует минимальной затраты времени.

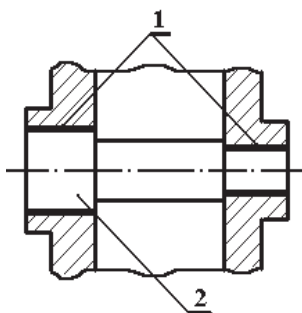


Рисунок 4.1 – Поверхность

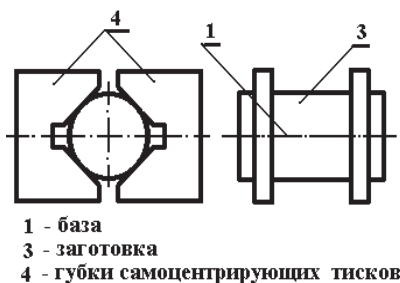


Рисунок 4.2 – Сочетание поверхностей

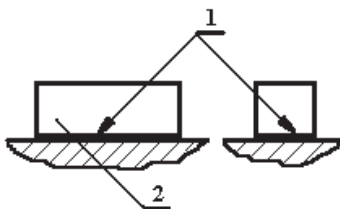


Рисунок 4.3 – Ось или точка базирования: 1 – база; 2 – деталь

Положение заготовки в приспособлении определяют ее базисуемые элементы (базы), которые могут быть различными по форме и виду. Согласно ГОСТ 21495 базами называются *поверхность* (рисунок 4.1) или выполняющее ту же функцию *сочетание поверхностей* (рисунок 4.2), или *ось* (рисунок 4.3), или *точка*, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования. Чаще всего базами служат поверхности и оси. Базы классифицированы.

В настоящее время классификация баз ограничивается тремя признаками: по *назначению*, по *лишаемым степеням свободы* и по *характеру проявления*.

4.2. Классификация баз по назначению

По назначению базы различают на конструкторские, технологические и измерительные базы.

Конструкторскими базами называют базы, используемые для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Недопустимо говорить – *сборочные базы*. При сборке изделия его элементы сопрягаются по конструкторским базам. Таким образом, конструкторские базы являются реальными поверхностями элементов изделия.

Технологическими базами называются базы, используемые для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. При установке заготовки в приспособление за технологические базы принимают реальные поверхности, непосредственно контактирующие с установочными элементами приспособления.

В процессе изготовления детали технологические базы могут подразделяться на *черновые* и *чистовые*. Черновыми базами называют необработанные поверхности заготовки, используемые для ее установки в приспособление при первой операции, когда еще нет обработанных поверхностей. Чистовыми базами называют обработанные поверхности заготовки, служащие для ее установки в приспособление для последующих операций.

Кроме понятий черновых и чистовых технологических баз введены понятия *действительные* и *искусственные* технологические базы. Нельзя использовать понятия основные и вспомогательные технологические базы, так как эти понятия применяются в конструкторских базах.

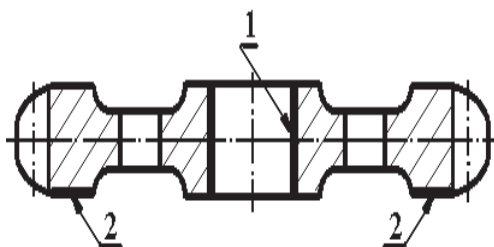


Рисунок 4.4 – Действительные технологические базы

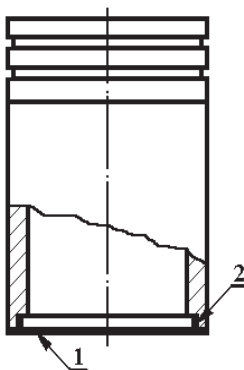


Рисунок 4.5 – Искусственные базы поршня

Действительные технологические базы – это поверхности заготовки, которые являются элементом конструкции детали и выполняют определенную роль при ее работе в изделии. Например, поверхность отверстия 1 и торец венца заготовки 2, используемые для базирования заготовки при нарезании зубьев (рисунок 4.4). Искусственные базы – это поверхности, специально создаваемые на заготовке для выполнения определенных технологических операций, и для работы детали они не нужны. Например, центровые отверстия в торце валов, установочные отверстия при обработке корпусных деталей или торец юбки 1 и центрирующий пояс 2 поршня двигателя (рисунок 4.5).

Измерительные базы – это базы, используемые для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения. Другими словами, измерительная база используется для отсчета размеров при обработке заготовки или для проверки взаимного положения поверхностей (осей) готовой детали с помощью из-

мерительных средств. Например, при определении параллельности плоскости В (рисунок 4.6) относительно плоскости А измерительной базой будет плоскость А. Данные базы применяются как при изготовлении деталей, так и при сборочных операциях. Если в качестве измерительной базы используют не реальные поверхности детали, а геометрические линии или точки, то применяют косвенные методы контроля. Указанные базы материализуются с помощью вспомогательных деталей (оправок, отвесов, струны и пр.).

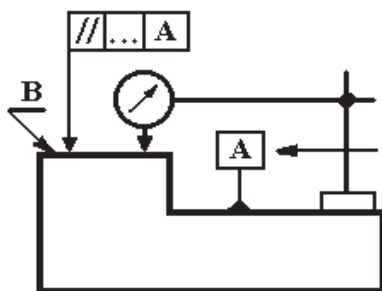


Рисунок 4.6 – Измерительные базы

Таким образом, возвращаясь к разновидностям поверхностей обрабатываемой заготовки, можно говорить, что поверхности пункта «б» характеризуют технологические базы, а поверхности пункта «г» – измерительные базы.

4.3. Классификация баз по лишаемым степеням свободы

Из механики известно, что при перемещении твердое тело имеет *шесть* степеней свободы. Если рассматривать перемещение твердого тела в прямоугольной системе координат, то *три* связаны с перемещением тела вдоль осей координат X , Y и Z (рисунок 4.7) и *три* – с возможным поворотом тела вокруг этих осей (рисунок 4.8).

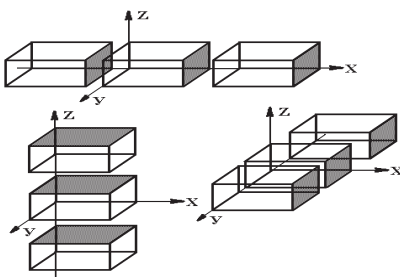


Рисунок 4.7 – Перемещение тела вдоль осей координат X , Y и Z

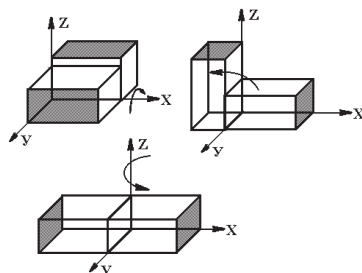


Рисунок 4.8 – Поворот тела вокруг осей

При установке и закреплении заготовки в приспособление она лишается подвижности, т.е. всех шести степеней свободы. Более подробно об этом будет рассмотрено в разделе базирования.

Для придания заготовке неподвижности используется, так называемый, комплект баз, каждая из которых лишает заготовку конкретных степеней свободы. Базы, лишаящие заготовку подвижности при ее установке и закреплении в приспособлении, подразделяются (классифицируются) на:

1) *установочную базу* (рисунок 4.9), которая лишает заготовку *трех* степеней свободы – перемещения вдоль одной из координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

На рисунке 4.9: 1 – приспособление; 2 – заготовка; 3 – вертикальное усилие прижатия заготовки; 4 – установочная база заготовки. При закреплении заготовки в таком приспособлении заготовка лишается перемещения вдоль оси Z и поворота вокруг осей X и Y , но может в процессе обработки под воздействием сил резания перемещаться в направлении осей X и (или) Y , и (или) вращаться вокруг оси Z .

2) *направляющую базу* (рисунок 4.10), которая лишает заготовку *двух* степеней свободы – перемещение вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси

На рисунке 4.10: 5 – направляющая база заготовки, 6 – горизонтальное усилие прижатия заготовки. При установке и закреплении заготовки в таком угловом приспособлении она лишается перемещения вдоль оси *X* и поворота вокруг оси *Z*, но в процессе обработки под действием режущих сил может перемещаться по направлению оси *Y*.

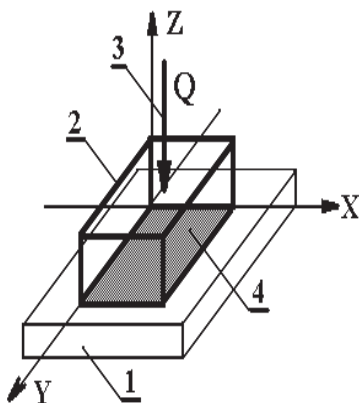


Рисунок 4.9 – Установочная база

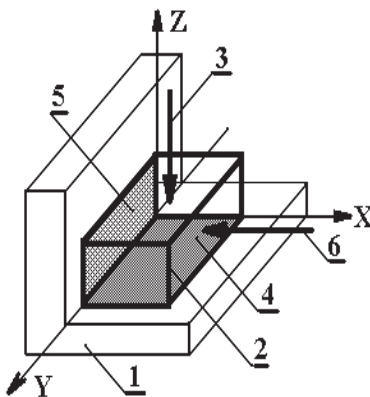


Рисунок 4.10 – Направляющая база

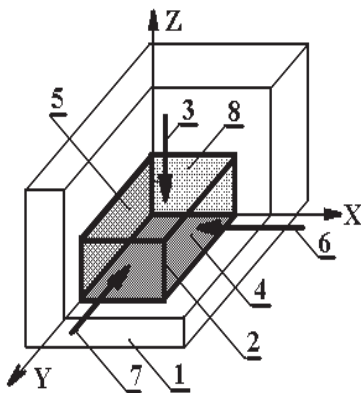


Рисунок 4.11 – Опорная база

3) *опорную базу* (рисунок 4.11), которая лишает заготовку одной степени свободы – перемещение вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. На рисунке 4.11: 7 – боковое усилие прижатия заготовки, 8 – опорная база заготовки. При установке и закреплении заготовки в таком «боковом» приспособлении оно обеспечивает полную неподвижность заготовки в процессе ее обработки. Естественно, что конструкции приспособлений могут быть различными, но для осуществления неподвижности заготовки необходимо, чтобы три базы заготовки контактировали с установочными элементами приспособления.

Комплект баз, состоящий из *установочной, направляющей и опорной* баз является наиболее распространенным. Однако для некоторых типов заготовок существует другая разновидность комплекта баз. Данный комплект состоит из *двойной направляющей* базы, лишающей заготовку четырех степеней свободы и двух *опорных* баз. Двойная направляющая база лишает перемещение заготовки вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг осей, параллельных им. Чаще всего этот комплект баз применяют при обработке заготовок с цилиндрической поверхностью большой протяженностью (отношение длины к диаметру больше единицы).

Третьим типовым комплектом баз является комплект баз, состоящий из *установочной, двойной опорной и опорной* баз. Двойной опорной называют базу, используемую для наложения на заготовку связей, лишающих ее двух степеней свободы – перемещение вдоль двух координатных осей. В отличие от направляющей базы, с помощью которой лишают заготовку одного перемещения и одного поворота, двойную опорную базу используют для лишения заготовки по двум перемещениям.

Комплект баз может быть образован сочетанием поверхностей разных размеров и конструктивных форм (плоских, цилиндрических, конических и др.).

4.4. Классификация баз по характеру проявления

Третий признак классификации баз введен для определения *точности установки* заготовки в приспособление с целью получения заданной геометрической точности и точности взаимного расположения поверхностей, осей или оси и плоскости (пространствен-

ная точность) детали или *точности установки* детали в сборочную единицу.

На рисунок 4.12 показана установка заготовки на магнитный стол плоскошлифовального станка для одновременного шлифования поверхностей 2 и 3 относительно поверхности 1. Поверхность 3 должна быть параллельна поверхности 1.

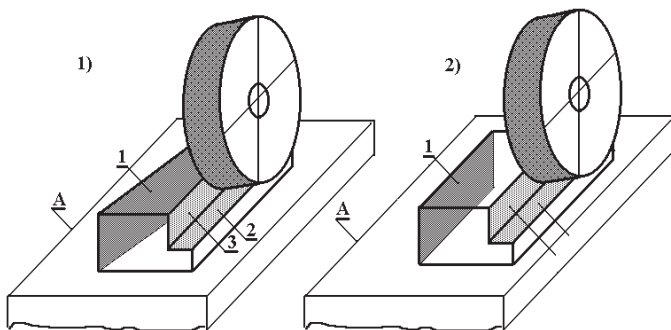


Рисунок 4.12 – Установка заготовки на магнитный стол плоскошлифовального станка

Торцевая поверхность абразивного круга конструктивно параллельна кромке А магнитного стола. Если заготовка устанавливается на магнитный стол достаточно произвольно (вариант 1), то условие параллельности поверхностей 1 и 3 может быть не выполнено и одновременно не будет достигнута равная ширина поверхности 2. Если же с помощью приборов поверхность 1 заготовки будет строго выверена по параллельности кромки А магнитного стола (вариант 2), то условие параллельности поверхностей заготовки 3 и 1 и равная ширина поверхности 2 будут выполнены. Таким образом, поверхность 1 служит базой, относительно которой производится установка заготовки на магнитном столе станка.

По третьему признаку базы классифицируются на *явные* и *скрытые*. Явной называют базу в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок. У выше приведенного примера поверхность 1 является явной базой. Скрытые базы используют в тех случаях, когда *точность установки* заготовки в приспособление осуществляется с использованием плоскостей симметрии или оси, или пересечение осей заготовки. Базирование по

скрытым базам с определенной точностью может быть выполнено лишь с помощью специальных приспособлений (центров, самоцентрирующего патрона, измерительных приборов для установки заготовки по линейным и угловым параметрам и др.).

Например, точение шеек вала за две установки в 3-х кулачковом патроне (рисунок 4.13 а и б) приводит за счет радиального биения патрона к несоосности этих шеек (рисунок 4.13 в).

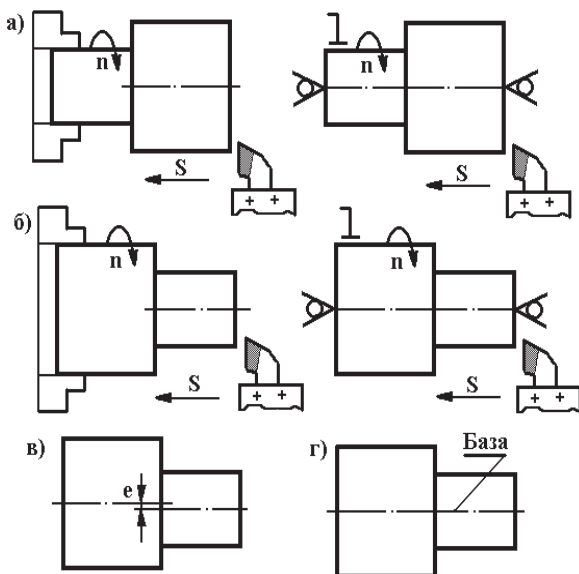


Рисунок 4.13 – Точение шеек вала за две установки в 3-х кулачковом патроне

Если по техническим условиям несоосность этих шеек должна быть сведена к минимуму, то используют ось, проходящую через центровые отверстия, предварительно изготовленные в торцах вала и вал для обработки устанавливается в центрах. При таком способе установки вала обработка его шеек с *двух установок* не приведет к несоосности обработанных шеек, так как за базу принимается одна и та же ось при каждой установке. Эта ось является скрытой базой (рисунок 4.13 г).

4.5. Понятие о базировании

Базированием называют *придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (ГОСТ 21495).*

Это общее определение, которое относится как при обработке заготовок на металлорежущих станках, так и при сборочных операциях. Далее будут рассмотрены только вопросы базирования заготовки при обработке ее на металлорежущем станке. В качестве избранной системы координат – прямоугольная система координат *OXYZ*.

Придание заготовке требуемого положения в приспособлении станка осуществляется в реальной ситуации путем соприкосновения ее поверхностей с установочными элементами приспособления. Фиксация полученного положения заготовки в приспособлении и постоянство контакта с его установочными элементами обеспечивается приложенными внешними силами зажимных устройств приспособления. Необходимо отметить, что *количество применяемых внешних сил и их величина часто зависит от массы самой заготовки и (или) сил трения между поверхностями заготовки и установочными элементами приспособления, возникающие при зажиме заготовки зажимными устройствами приспособления.*

Известно, что поверхности заготовки, контактирующие с установочными устройствами приспособления, реально соприкасаются с этими элементами лишь на отдельных элементарных площадках, условно считаемых *точками контакта*. Установлено, что фактическая площадь контакта деталей по плоским поверхностям находится на уровне 1 % от их геометрической площади. Поэтому в общем случае, рассматривая базирование (т. е. придание заготовки требуемого положения) комплектом баз, можно говорить о *шести точках контакта* заготовки с установочными элементами приспособления, каждая из которых лишает заготовку одну из степеней свободы, а все шесть точек контакта обеспечивают неподвижность заготовки внешними силами при ее закреплении зажимными устройствами приспособления. Другими словами, на каждую точку контакта накладывается *связь*, лишаящую заготовку одной из степеней свободы. Правило базирования заготовок с лишением их всех шести степеней свободы называют *правилом шести точек*.

Для того чтобы заготовка заняла и сохранила требуемое положение в процессе ее обработки относительно установочных элементов станка или приспособления, необходимо обеспечить *определенность* ее базирования. Определенность базирования характеризуется таким расположением точек контакта заготовки с установочными элементами станка или приспособления и такими силами закрепления, которые позволяют сохранить этого контакта в процессе обработки заготовки. В противном случае возникает неопределенность базирования заготовки.

Неопределенность базирования заготовки может быть вызвана:

- случайностью подбора точек контакта,
- деформированием заготовки при закреплении и в процессе обработки от сил резания,
- недостаточностью сил закрепления и др.

Случайность подбора точек контакта может быть существенно уменьшена, если в приспособлении предусматриваются специальные опоры, на которые и устанавливают заготовку (рисунок 4.14).

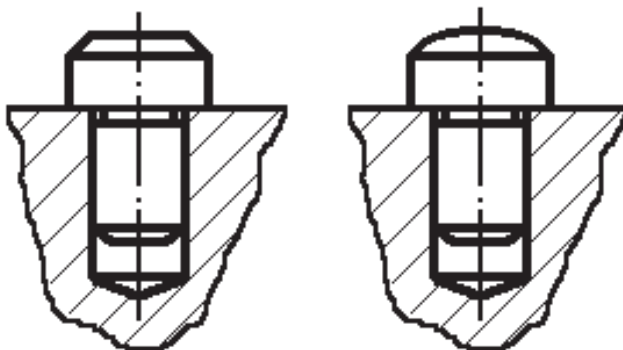


Рисунок 4.14 – Пример специальных опор для установки заготовки

Рассматривая практически вопросы базирования той или иной заготовки, в зависимости от массы заготовки и ее жесткости, могут быть применены различные схемы базирования, которые, в общем случае, подразделяются на 3 вида:

- 1) для заготовок средней массы и жесткости применяют один из 3-х типовых комплектов баз, упомянутых выше;
- 2) для жестких заготовок с большой массой используются не полностью все базы комплекта;

3) для маложестких заготовок (длинных валов с малым диаметром, тонких плит и др.) применяются дополнительные нерегулируемые или регулируемые точки опоры.

На рисунках 4.15 и 4.16 приведены примеры обработки заготовки с неполным использованием комплекта баз. Так при фрезеровании поверхности у заготовки, закрепленной в машинных тисках (рисунок 4.15), отсутствует опорная база (которая не позволяла бы смещаться заготовке вдоль оси X). Такая установка заготовки возможна лишь при достаточно малых усилиях резания.

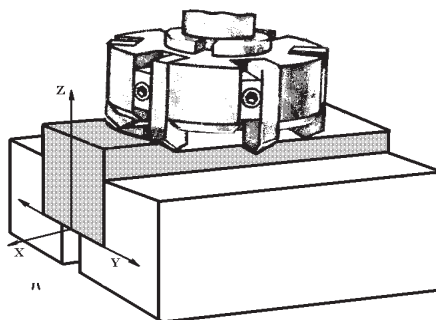


Рисунок 4.15 – При отсутствии опорной базы

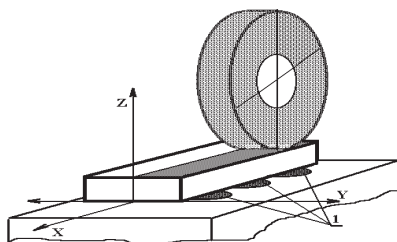


Рисунок 4.16 – Закрепление на столе станка

За счет сил трения боковых поверхностей заготовки с губками тисков, возникших при сжатии тисками заготовку, и незначительных усилий резания при фрезеровании эта опора не нужна. Если же усилия резания возрастут (за счет увеличения режимов фрезерования), то влияние значения величины силы трения может оказаться недостаточными для создания неподвижности заготовки. В этом случае придется использовать опорную базу – торец заготовки, который

будет связан с добавочным установочным элементом на столе станка. При плоском шлифовании (рисунок 4.16) заготовка закрепляется на столе станка, как правило, только за счет электромагнитов (1) – используется одна установочная база. Однако при малой площади контакта плоскости заготовки с электромагнитами она может смещаться вдоль оси X , оси Y и поворачиваться вокруг оси Z . В этом случае добавляют дополнительные устройства, контактирующие с направляющей (боковая поверхность заготовки) базой и с опорной (торцевой поверхностью заготовки) базой.

При принятии решения по базированию заготовки в приспособлении для ее обработки на металлорежущем станке необходимо:

- выявить поверхности заготовки, участвующие в базировании;
- определить функции, выполняемые этими поверхностями в базировании (установочная ли эта поверхность или опорная и т. д.);
- сопоставить найденные базы с типовыми комплектами и выбрать один из них, показать теоретическую схему базирования на эскизе.

Теоретическая схема базирования, показываемая на эскизе, показывает расположение опорных точек на соответствующих базах. Условное обозначение опорной точки показано на рисунок 4.17, а) вид спереди и сбоку; и б) вид сверху.

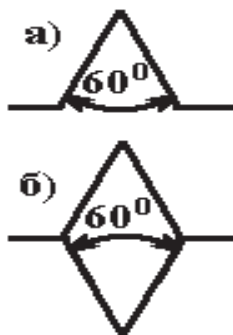


Рисунок 4.17 – Теоретическая схема базирования

Все опорные точки на эскизах нумеруются порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагают наибольшее число опорных точек. При наложении на схеме базирования в эскизе одной опорной точки на другую, изображают одну точку и около нее

проставляют номера совмещенных точек. Если опора скрытая, то ее обозначают пунктиром.

Пример:

Пример. Фрезеровать уступ, выдержав размеры *a* и *b* и параллельность поверхностей уступа относительно поверхностей *A* и *B* (рисунок 4.18). Данная технологическая операция решается на фрезерном станке в системе координат станка *OXYZ*. Теоретическая схема базирования заготовки представлена с помощью установочной, направляющей и опорной баз. Все базы явные.

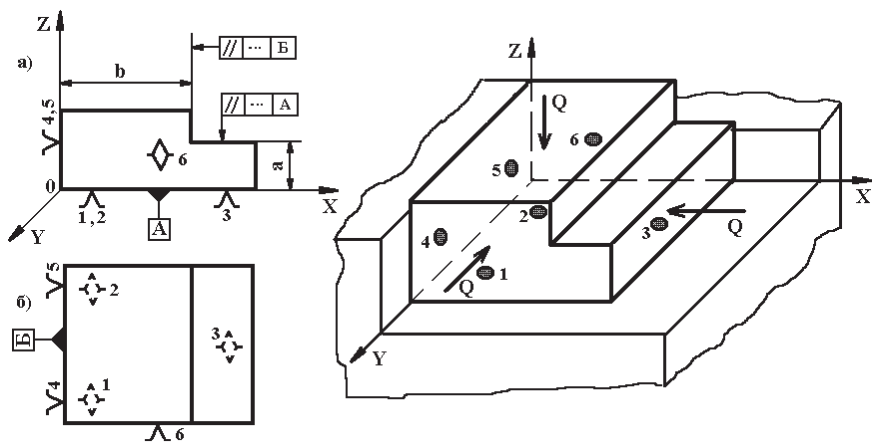


Рисунок 4.18 – Теоретическая схема базирования заготовки с помощью установочной, направляющей и опорной баз

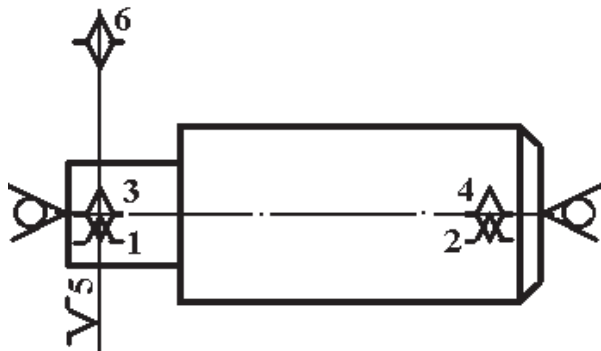


Рисунок 4.19 – Теоретическая схема базирования валика при обработке его в центрах и поводковом патроне

На рисунке 4.19 показана теоретическая схема базирования валика при обработке его в центрах и поводковом патроне. Базирование осуществляется с помощью двойной направляющей базы (1...4) и двух опорных баз – 5 и 6.

4.6. Принцип постоянства базы

При выборе технологических баз следует придерживаться *принципа постоянства базы* на основных операциях механической обработки заготовки, т. е. по возможности использовать в качестве технологической базы одни и те же поверхности заготовки. Тогда погрешности обрабатываемых поверхностей, выполненных от одной технологической базы, зависят лишь от погрешностей обработки и настройки режущего инструмента и не зависят от погрешностей установки и схемы базирования.

Соблюдение принципа постоянства баз приводит к повышению точности обработки. Выигрыш в точности обработки нередко оказывается настолько весомым, что технологи вводят дополнительные операции, на которых получают специальные технологические постоянные базы для нескольких или даже для всех операций. Например, при обработке ступенчатых валов чаще всего используют центровые отверстия, хотя можно было бы базировать обработку одних шеек относительно других, выбранных в качестве технологических баз.

Преимущества принципа постоянства технологических баз используются в многооперационных станках и станках типа «обрабатывающий центр», на которых получение сложных деталей производится с одной установки заготовки. Кроме того, многооперационные станки, на которых обрабатывают заготовки с разных сторон и разными способами, не только значительно снижают погрешности установок заготовки на точность получаемых размеров деталей, но и приводит к существенной экономии времени технологических процессов за счет сокращения числа установок особенно крупногабаритных и больших по массе.

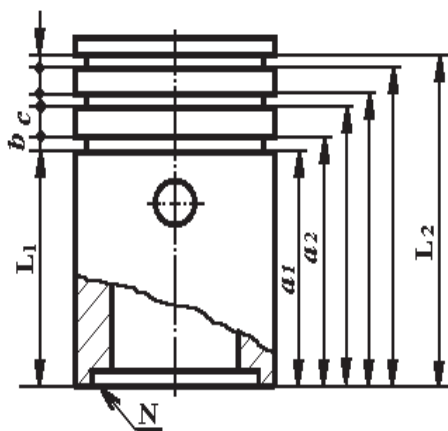


Рисунок 4.20 – Простановка размеров ширины канавок под поршневые кольца методом «цепочки»

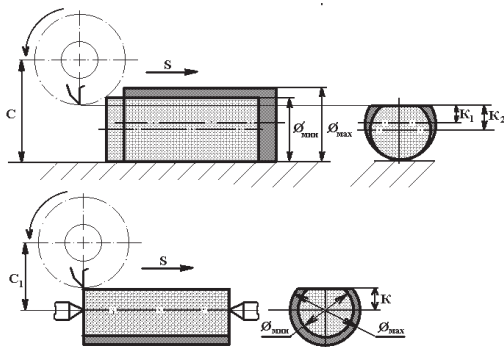
Однако применение постоянной базы не всегда возможно и выгодно. На рисунке 4.20 показана простановка размеров ширины канавок под поршневые кольца методом «цепочки» (система размеров L_1) и координатным методом (система размеров L_2) от постоянной базы N . По техническим условиям допуск размера на ширину канавки b задается строго определенной величины. Если при выполнении размеров, проставленных методом «цепочки» данный допуск будет выдерживается, то при выполнении размеров по координатной системе, допуск на ширину канавки равен сумме допусков на размеры a_1 и a_2 , что значительно превысит заданный допуск размера b .

4.7. Принцип совмещения баз

В общем виде принцип совмещения баз состоит в том, чтобы при изготовлении детали на металлорежущем станке в процессе обработки заготовки использовать в качестве технологических, измерительных и конструкторских баз одни и те же поверхности или элементы заготовки. Этот принцип является важным при разработке конструкции изделия и технологических процессов изготовления его деталей, так как несовмещение баз приводит к погрешностям базирования заготовок обрабатываемых деталей на станке и в целом к погрешностям при сборке изделия.

Наиболее полно этот принцип должен использовать конструктор, так как именно он выбирает схемы базирования и взаимосвязь деталей в изделии. Если конструктор решил задачу совмещения баз удовлетворительно, то технолог использует конструкторские базы в качестве технологических и измерительных баз. При этом погрешности базирования заготовок на станке (в приспособлении) будут равны нулю.

Однако не всегда возможно использовать конструкторскую базу в качестве технологических баз, например в случаях, когда конструкторская база задана воображаемой точкой (центр круга) или геометрическим местом точек (ось цилиндра). При расчете на прочность коленчатого вала за базы берутся оси цилиндров и оси сил реакций (скрытые базы). Естественно, что эти базы не могут быть реальными технологическими базами.



ния валов конструкторская и измерительная базы совпадают, но не совпадает с ними технологическая база. Тогда при фрезеровании лыски валов, диаметры которых колеблются от $\varnothing_{\max}$ до $\varnothing_{\min}$, размер K будет колебаться от K_2 до K_1 (ось фрезы настроена на постоянный размер C). Величина колебания данного размера равна допуску на диаметр вала JT_d ($JT_d = \varnothing_{\max} - \varnothing_{\min}$). Если допуск на размер K (JT_K) будет больше JT_d , то такая схема базирования может иметь место. Но если JT_K меньше допуска на диаметр вала, то такая схема базирования будет давать погрешность, приводящая к появлению бракованных валов.

При установке валов на центровые гнезда (в центрах) установочной базой будет являться так же ось вала, т. е. все три базы (конструкторская, измерительная и технологическая) будут совмещены. Ось фрезы настроена на постоянный размер C_1 . При данной схеме базирования колебания диаметров валов не будут влиять на размер K .

Погрешность базирования на получение размера K равна нулю.

Если по условиям работы не удастся выдерживать принцип постоянства базы, то в качестве новой базы необходимо принимать наиболее точную обработанную поверхность. Принцип постоянства и совмещения баз особое значение имеет при чистовых операциях, обеспечивающих заданную точность получаемых размеров.

ГЛАВА V. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

5.1. Основные понятия и определения

При изготовлении деталей на металлорежущих станках невозможно достичь абсолютных значений номинальных размеров обрабатываемых поверхностей, их формы и взаимного расположения обработанных поверхностей, осей или поверхностей и осей. В связи с этим на рабочих чертежах указываются допустимые отклонения размеров от номинальных, величины которых определяются соответствующим качеством точности, а также допуски на геометрическую форму и взаимное расположение поверхностей, осей или поверхностей и осей. Качество точности изготовления детали и допускаемые отклонения регламентируются Единой системой допусков и посадок и ее стандартами.

Под *точностью изготовления* детали на металлорежущем станке понимается степень соответствия всех параметров изготовленной детали требованиям рабочего чертежа и технических условий, указанных в чертеже. Чем больше это соответствие, тем выше точность механической обработки.

При обработке одной и той же заготовки с различной степенью точности изменяются трудоемкость и себестоимость. Изготовление детали с меньшим допуском колебания допустимых размеров (более высокий качество точности) значительно увеличивают себестоимость процесса обработки. Это связано с использованием дорогостоящих высокоточного оборудования и оснастки, измерительного инструмента и высокой квалификации производственных рабочих.

Поэтому существует понятие – средняя экономическая точность определенного метода обработки. Под этим понятием понимают точность выбранного метода обработки, получаемой в нормальных производственных условиях с меньшими затратами времени и средств, чем при других сопоставимых методах.

Степень точности (калитет) изготовления детали на металло-режущем станке оценивается следующими параметрами:

- точностью размеров (размерная точность);
- отклонениями формы (геометрическая точность);
- точностью взаимного расположения поверхностей, осей или осей и плоскости (пространственная точность).

Существуют 3 категории точности размеров при изготовлении детали:

- нормированная точность;
- действительная точность и
- ожидаемая точность размеров детали.

Нормированная точность размеров детали определяется *допуском* на размер, заданный чертежом. *Действительная точность* – конкретный размер, полученный измерением. А *ожидаемая точность* – это совокупность ожидаемых отклонений размеров изготавливаемой детали от нормированной точности, определяемых расчетами погрешностей обработки. Расчет ожидаемой погрешности и обеспечение нормированной точности – одна из главных задач при подготовке к производству (изготовлению) новой детали.

Как известно, заданную степень точности (калитет точности) размеров, форму и точность взаимного расположения поверхностей при изготовлении детали должны обеспечивать конкретные металло-режущие станки и технологическая оснастка, применяемые при той или иной операции. Поэтому на стадии технологической подготовки производства и в процессе производства осуществляется оценка точности технологической операции. Сущность этой оценки в следующем.

Устанавливаются предельные размеры, которые выдает система СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) при обработке конкретного размера детали в зависимости от технического состояния станка и приспособления. Определение предельных размеров системы СПИД осуществляется по специальной методике.

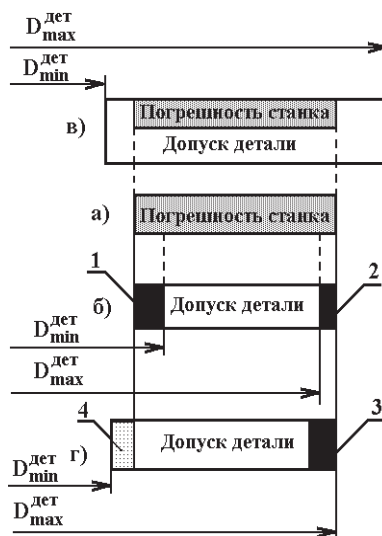


Рисунок 5.1 – Определение предельных размеров системы СПИД, погрешности станка: 1, 2, 3 – бракованные размеры; 4 – размеры неполуцаемые на данном станке

Величина допуска этих размеров называется «погрешностью» системы СПИД, а чаще – погрешность станка (рисунок 5.1 а). Если величина погрешности станка больше величины допуска размеров на изготовление детали (5.1 б), то станок не пригоден для получения этих размеров. Если же величина погрешности станка меньше величины допуска на размеры детали (5.1 в), то выбранный станок и оснастка удовлетворяют условию получения размеров детали с заданной точностью.

Однако могут быть случаи, когда допуск на размер детали значительно больше погрешности станка, т. е. якобы не могут появляться бракованные детали, но предельные размеры детали заданы так, что допуск детали смещен относительно поля погрешности станка. Тогда могут появляться бракованные детали (5.1 г), а ряд минимальных размеров детали (по данной схеме) не будут изготавливаться. Таким образом, правило получения годных размеров детали – *поле допуска погрешности станка должно лежать в поле допуска размера детали*.

5.2. Классификация погрешностей

При обработке заготовки на металлорежущих станках из-за влияния ряда технологических факторов возникают погрешности размеров, искажения формы поверхностей и ошибки взаимного расположения поверхностей или осей у готовой детали. Под *погрешностью обработки* понимают отклонение при обработке полученного значения геометрического или другого параметра от заданного чертежом.

Настройка станка, погрешность мерительного инструмента при измерении размера и ряд других факторов составляют некоторую постоянную погрешность, которая систематически копируется на каждой детали из обрабатываемой партии. В ходе изготовления детали на разных (в соответствии с технологией) станках появляется большое количество случайных причин (погрешностей), суммарно влияющих на точность получения размера. Случайные погрешности приводят к рассеиванию размеров и формы деталей. Поэтому погрешности при обработке деталей на металлорежущих станках подразделяют на:

- систематические постоянные;
- систематические изменяющиеся закономерно;
- случайные и грубые.

Систематически постоянные погрешности создаются погрешностями станка. Данные погрешности зависят от технического состояния станка (например, смещение оси шпинделя относительно направляющих станины), от погрешности приспособлений (биение оправки, изменение расположения отверстий в кондукторе), погрешностями режущего и мерительного инструментов.

Систематические погрешности, изменяющиеся закономерно, вызываются непрерывным износом режущего инструмента и деталей станка, изменением температуры заготовки и инструмента в процессе резания и др.

Под *случайными погрешностями* понимаются *непостоянные* по значению и знаку погрешности, причину возникновения которых установить заранее не представляется возможным.

Грубые погрешности (или промахи) могут возникать как результат неправильной установки режущего инструмента, либо не-

правильного использования мерительного инструмента.

Погрешности, возникающие на различных этапах технологического процесса, взаимосвязаны. Так точность сборки машины зависит от точности изготовления ее деталей, а последние, в свою очередь, зависят от точности изготовления заготовок. Поэтому вопросы точности решаются комплексно для всего технологического процесса.

5.3. Обеспечение точности размеров детали

Точность обработанной детали зависит от многих факторов, из которых можно выделить как основные:

1. Точность станка и режущего инструмента;
2. Точность установки заготовки на станке;
3. Точность настройки станка;
4. Точность технологической системы (система СПИД);
5. Температурные деформации станка, заготовки и инструмента;
6. Внутренние напряжения в материале детали;
7. Точность методов и средств измерения.

1. Точность станка

Вследствие неточности при сборке, износа деталей и узлов станка в процессе его эксплуатации возникают отклонения основных точностных характеристик станков от номинальных значений. Величины допускаемых отклонений регламентируются нормами точности станков и приведены в стандартах.

По точности металлорежущие станки классифицируются на 5 групп: нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В) и особо высокой точности (А) и особо точные (С).

Погрешности точности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые заготовки (детали) в виде *систематических* погрешностей. Например, отклонение от параллельности оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости приводит к появлению конусообразности у обрабатываемой заготовки. Биение шпинделя токарных и шлифовальных станков искажает форму обрабатываемой заготовки в поперечном сечении.

По мере износа деталей и узлов станка в процессе эксплуатации точность станка ухудшается и систематическая погрешность параметров детали увеличивается.

2. Точность режущего инструмента

На точность обработки детали влияют:

- неточность изготовления режущего инструмента;
- износ инструмента в процессе работы.

Геометрические неточности мерных и фасонных инструментов приводят к погрешностям обработки, так как их размер и профиль непосредственно передаются обрабатываемой заготовке. К мерным инструментам относятся сверла, зенкеры, развертки, к фасонным – резцы, дисковые, червячные и пальцевые фрезы, протяжки, резьбо-нарезной инструмент, а также профильные абразивные круги.

Примеры. Точность диаметра отверстий при сверлении их спиральными сверлами определяется допусками на диаметр сверл и погрешностями, возникающими в результате разбивки отверстий. Разбивка отверстий вызывается несимметричной заточкой режущих кромок, несоосностью хвостовика и рабочей части и обратной конусностью сверла. Применение кондукторных втулок значительно повышает точность получения отверстия спиральными сверлами.

При развертывании отверстий точность их диаметра во многом зависит от допуска на размер инструмента. Кроме того, при развертывании всухую отверстие разбивается в 2...4 раза больше, чем при применении технических средств охлаждения.

Погрешности мерного инструмента полностью копируются на обрабатываемой поверхности в виде постоянной систематической погрешности обработки.

В процессе обработки заготовки происходит прогрессирующий износ лезвия режущего инструмента, который вызывает погрешность обрабатываемого размера. Величину износа можно считать прямо пропорциональной времени резания или пути, пройденном режущим инструментом в металле заготовки (размерный износ). С повышением твердости материала заготовки износ лезвия возрастает. Уменьшить влияние размерного износа на точность механической обработки можно периодической подналадкой станка или применением систем автоматического контроля и управления. Последние широко применяются при абразивной обработке.

3. Точность установки заготовки на станке

Требуемое положение заготовки в рабочей зоне станка достигается в процессе ее установки. Процесс установки включает базирование и закрепление. Фактическое положение заготовки отличается от требуемого. Отклонение в положении заготовки, возникающее при базировании, называют погрешностью базирования $\Delta\epsilon_6$; при закреплении – погрешностью закрепления $\Delta\epsilon_3$.

В условиях единичного производства точность установки заготовки в приспособление станка обеспечивается индивидуальной выверкой ее установки по разметочным рискам или непосредственно по поверхностям заготовки. В серийном и массовом производстве установку заготовок осуществляют без выверки в специальные приспособления на заранее выбранные базовые поверхности.

Таким образом, на точность обработки заготовки на металлорежущих станках при установке заготовки в приспособление станка влияют погрешности:

- погрешность базирования – $\Delta\epsilon_6$;
- погрешность закрепления – $\Delta\epsilon_3$;
- погрешность приспособления – $\Delta_{пр}$.

В связи с тем, что указанные погрешности могут иметь различные направления в пространстве (они являются векторами) и носят случайный характер, то их результирующая – погрешность установки – определяется из выражения:

$$\Delta_y = \Delta\epsilon_6^2 + \Delta\epsilon_3^2 + \sqrt{\Delta_{пр}^2}. \quad (5.1)$$

Погрешность приспособления $\Delta_{пр}$ зависит от:

- точности изготовления деталей и сборки приспособления;
- износа деталей и узлов приспособления в процессе эксплуатации;
- погрешности установки приспособления на станке;
- погрешности из-за конструктивных зазоров, требуемых для посадки заготовки на установочные элементы приспособления.

Приспособления изготавливаются с учетом требуемой точности получения размеров детали. При получении размеров деталей 6...12 квалитетов точности *допуски* на размеры деталей приспособления назначают в пределах $1/2 \dots 1/3$ допуска получаемого размера детали. В общем случае погрешность изготовления приспособления не

должна превышать $1/5 \dots 1/10$ доли допуска на соответствующий обрабатываемый размер детали.

Погрешность закрепления $\Delta\epsilon_z$ возникает вследствие смещения заготовки под действием зажимных сил из-за непостоянства силы закрепления, неодинаковой твердости заготовок, неровностей на поверхностях заготовки и на опорах приспособления. Она может быть рассчитана, но чаще ее значение выбирают из справочников, учитывая вид установки – на постоянные опоры, опорные пластины, на призму, на центры и др.

Погрешность базирования $\Delta\epsilon_6$ определяют соответствующими геометрическими расчетами или анализом размерных цепей. В общем случае погрешность базирования следует определять исходя из пространственной схемы расположения заготовки. Однако такой анализ весьма сложен. Поэтому для упрощения расчетов ограничиваются рассмотрением смещений только в одной плоскости (плоская схема расчета) или учитывая значения при пробных базированиях. Необходимо отметить, что погрешность базирования (как, впрочем, и любая другая погрешность) рассчитывается для конкретных размеров.

Существуют ряд способов базирования заготовки в приспособление, когда погрешность базирования равна нулю:

- при совмещении технологической и измерительной баз (соблюдение принципа совмещения баз);
- для диаметральных размеров;
- при работе методом пробных промеров и рабочих ходов, т. е. когда настройка положения инструмента производится для каждой заготовки (случай работы на ненастроенном станке).

Для ряда приспособлений можно заранее знать величину погрешности базирования. Так при базировании заготовки на цилиндрической оправке (с упором в торец) с зазором погрешность базирования численно равна половине зазора. При несоблюдении принципа совмещения баз величина погрешности базирования равна допуску на размер между установочной технологической и измерительной базами.

Для уменьшения погрешности установки необходимо:

- выполнять правила выбора баз;
- повышать точность выполнения размеров технологических

баз, уменьшать их шероховатость;

- применять одинаковый по твердости материал заготовок;
- соблюдать постоянство усилия зажима заготовки;
- выбирать направление действия силы зажима против опоры или так, чтобы она не влияла на размер обработки;
- применять вместо шаровых опор – плоские или с большим радиусом;
- повышать точность и жесткость приспособлений.

4. Точность настройки станка

Для выполнения технологической операции необходимо подготовить технологическое оборудование и технологическую оснастку, т. е. установить приспособление, суппорты, оправки, режущие инструменты. Эта подготовка называется *наладкой* (ГОСТ 3.1109). Часть наладки, относящаяся к установке инструмента, установочных элементов приспособления, которое обеспечивает получение размера в поле допуска, называется размерной настройкой станка на наладочный размер. Наладочный размер – такое начальное значение среднего случайного размера, при котором исключается выход действительных размеров обрабатываемых деталей за границу поля допуска и достигается наибольшая возможность продолжительной работы станка до подналадки.

По мере износа режущего инструмента изменяются получаемые размеры деталей. Средний случайный размер при обработке *валов* смещается в сторону увеличения, при обработке *отверстий* – в сторону уменьшения. Поэтому при обработке валов желательно настраивать станок на средний случайный размер, расположенный близко к наименьшему предельному размеру, а при обработке отверстий – близко к наибольшему предельному размеру. При таких условиях износ инструмента будет вызывать изменение размера в сторону поля допуска обрабатываемого размера и станок длительное время будет работать без подналадки.

Периодическая смена затупившего инструмента вызывает необходимость каждый раз настраивать станок на выполняемый размер. Но невозможно достичь строго одного и того же наладочного размера. Поле рассеивания наладочного размера (положения инструмента при настройке) называется *погрешностью настройки* – Δ_n (рисунок 5.2). Погрешность настройки является величиной по-

стоянной при одной настройке и случайной величиной при большом количестве настроек, подчиняясь закону нормального распределения. На рисунок 5.2 $L_{\max}$, $L_{\min}$ – предельные размеры детали, T – допуск на изготовление детали, Z – припуск на обработку.

Определение значения наладочного размера достигается двумя способами. Первый способ статический. Настройка наладочного размера производится по калибрам, эталонам, различным измерительным устройствам на неработающем станке или вне станка (при использовании съемных суппортов, расточных скалок, револьверных головок и других устройств). К преимуществам статической настройки можно отнести: малую трудоемкость, обеспечивает получение стабильных результатов при наладке много инструментальных обработок (настройке многолезцовых станков, инструментальных блоков для агрегатных станков и др.), сравнительно невысокую квалификацию наладчиков.

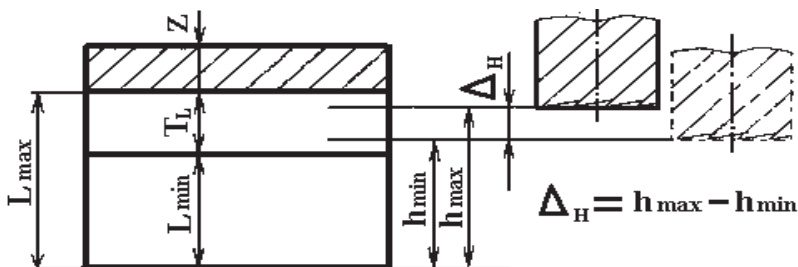


Рисунок 5.2 – Погрешность настройки

Второй способ динамический. Наладочный размер определяется методом пробных рабочих ходов (пробных стружек) и по пробным заготовкам. Эта наладка имеет динамический характер, т. е. выполняется при упруго отжатой силами резания технологической системе. Данный способ применяется в единичном и мелкосерийном производствах и при изготовлении крупных деталей из заготовок с нестабильными припусками. Он более точен, чем статический. Недостатком метода является большие затраты вспомогательного времени.

5. Упругие деформации технологической системы

Под технологической системой понимают станок – приспособление – инструмент – деталь (система СПИД). Силы резания, закреп-

ления, инерционные силы, возникающие при обработке заготовок на металлорежущих станках передаются на технологическую систему, вызывая ее упругую деформацию. Деформации системы СПИД складываются из деформаций основных деталей системы, а также деформаций соединительных узлов и деталей (болты, клинья и др.).

Способность системы СПИД оказывать сопротивление действию сил, стремящих ее деформировать, характеризует ее *жесткость*.

Погрешности при обработке деталей, возникающих в результате упругих деформаций системы СПИД, могут достигать до 80 % от суммарной погрешности при получении заданного размера детали.

Наиболее существенное влияние на размер обрабатываемой детали оказывают перемещения звеньев технологической системы в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности. Эти перемещения обусловлены действием составляющей силы резания P_y . Поэтому в технологии машиностроения *жесткостью* технологической системы принято называть отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности (P_y), к смещению режущей кромки инструмента, измеряемое в том же направлении (y):

$$j = P_y / y, \text{ Н/мм} \quad (5.2)$$

Для более точных расчетов учитывают равнодействующую от всех трех сил резания. Однако влияние P_z и P_x на величину y сравнительно невелико, поэтому в расчетах учитывается только сила P_y .

На рисунке 5.3 показана схема отжатий элементов технологической системы от силы резания для случая продольного точения: y_1 – смещение заготовки; y_2 – смещение инструмента, t – заданная глубина резания, $t_{\text{фак}}$ – фактическая глубина резания. На рисунке «а» – позиция инструмента до начала резания, «б» – в процессе резания.

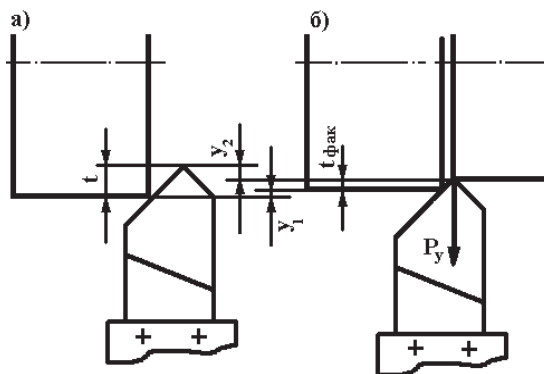


Рисунок 5.3 – Схема отжати элементов технологической системы

Сумма смещений $y_1 + y_2 = y$ представляет собой погрешность получаемого размера. Для упрощения технологических расчетов часто пользуются понятием податливости. *Податливостью* называется величина обратная жесткости:

$$\omega = 1/j, \text{ мм/Н} \quad (5.3)$$

Нормативные значения статической жесткости станков приводятся в соответствующих стандартах. Эти нормативные значения устанавливаются как функции от основных размерных параметров станка. Для токарных станков в качестве основного размерного параметра принят наибольший диаметр изготавливаемой детали (D), для горизонтально-расточных станков – диаметр шпинделя ($D_{\text{шп}}$). В таблице 1.3 приведены ориентировочные величины жесткости токарных станков.

Таблица 5.1 – Величины жесткости токарных станков

Высота центров, мм	200	250	300	400	500
Статическая жесткость $j_{\text{ст}}$, Н/мм	20 000	25 000	30 000	40 000	50 000
Средняя жесткость узлов	40 000	50 000	60 000	80 000	100 000

Жесткости узлов изношенных и разрегулированных станков снижается до 10 000 Н/мм. С увеличением жесткости технологической системы повышается точность и производительность обработки. Существует большой список рекомендаций с целью уменьшения

погрешности от упругих деформаций технологической системы. Ниже приведены некоторые из них:

- выбирать станки, инструмент, оснастку достаточной жесткости;
- выравнивать жесткость технологической системы;
- правильно устанавливать и закреплять заготовки;
- уменьшать количество звеньев и стыков технологической системы;
- выбирать наиболее рациональные режимы резания и т. д.

6. Температурные деформации станка, заготовки и инструмента

В процессе механической обработки заготовок на металлорежущих станках происходит нагрев технологической системы.

Источниками нагрева являются тепло:

- выделяющееся в узлах станка (трение в подшипниках и зубчатых передачах);
- образующееся в зоне резания;
- от внешних источников;
- от различных устройств – электрических, гидравлических и др.

Нагрев технологической системы приводит к ее упругой деформации, появлению погрешностей обработки Δ_r .

Средняя температура в коробках скоростей и других подобных узлах 65...80 °С. Установлено, что температура в разных точках станка различается на 10...60 °С, вызывая деформацию отдельных его узлов и деталей. Значительное влияние на тепловые деформации станка оказывает применение смазочно-охлаждающих средств (СОС). СОС отводит большое количество тепла из зоны резания и одновременно разогревает те части станка и станины, по которым оно движется. Температурные деформации вызывают не только смещение узлов станка, но и изменение их жесткости в положительную или отрицательную сторону.

Кроме тепловых деформаций станка на точность обрабатываемых поверхностей влияют тепловые деформации обрабатываемых заготовок. Механическая работа резания почти полностью переходит в теплоту. Распределение теплоты резания между стружкой, деталью, инструментом и окружающей средой зависит от метода,

условий обработки, физико-механических свойств обрабатываемого материала заготовки и материала инструмента. При обработке точением углеродистых сталей (материал с высокой теплопроводностью) теплота распределяется следующим образом: 60...70 % в стружку, 5...10 % в инструмент, 20...35 % в заготовку и около 1 % в окружающую среду. При сверлении около 55 % тепла переходит в заготовку. При фрезеровании открытых поверхностей до 85 % тепла уходит в стружку. Наибольшее количество теплоты переходит в заготовку при шлифовании – до 60...85 %.

Увеличением скорости резания и подачи можно снизить тепловой поток в заготовку. В этом случае стремятся отделить чистовые операции от черновых. Применение СОС эффективно уменьшает нагрев обрабатываемой заготовки. В этом случае ее температурные деформации весьма незначительны и их влияние на точность обработки можно не учитывать.

Тепловые деформации массивных заготовок незначительны и их влиянием на точность обработки часто можно пренебречь. Наибольшие тепловые деформации возникают при обработке тонкостенных заготовок и изготовлении деталей на поточных линиях, где чистовая обработка следует сразу же за черновой.

Влиянием тепловых деформаций режущего инструмента на точность обработки практически можно пренебрегать, так как большинство операций происходит при обильном охлаждении зоны резания.

С целью уменьшения температурных деформаций и их влияние на точность обработки необходимо:

- разогреть станок перед работой, не устраивать больших перерывов в работе, стремиться работать в условиях теплового равновесия;
- правильно выбирать режимы обработки;
- применять охлаждающие средства;
- предусматривать места охлаждения на поточных линиях;
- измерение деталей производить после охлаждения;
- стремиться к использованию приборов активного контроля, с помощью которых существенно снижается роль температурных деформаций на точность обработки деталей;
- для изготовления базовых деталей и других элементов тех-

нологической системы использовать материалы с малым коэффициентом линейного расширения.

7. Внутренние напряжения в материале детали

Внутренними напряжениями называются напряжения, которые существуют в материале детали при отсутствии внешних нагрузок. Они уравновешены и их действие на деталь внешне ничем не проявляется. С нарушением этого равновесия по каким-то причинам деталь начинает деформироваться до тех пор, пока перегруппировка напряжений не приведет к новому равновесному состоянию. Такими причинами являются удаление с заготовки отдельных слоев металла, тепловые и ударные воздействия на заготовку или деталь и др.

Различают три рода внутренних напряжений. Напряжения первого рода уравновешиваются в пределах больших объемов материала, соизмеримых с размерами обрабатываемых заготовок. Напряжения второго и третьего рода образуются в микроскопических и ультрамикроскопических объемах. В технологии обработки заготовок на металлорежущих станках наибольшее внимание уделяется напряжениям первого рода.

По причине образования внутренние напряжения подразделяют на две группы: конструкционные и технологические. Первые вызываются в деталях в процессе работы конструкции изделия, вторые – возникают в детали после ее изготовления. Но и в процессе изготовления детали в заготовке возникают внутренние напряжения, вызывающие деформацию заготовки; это, в свою очередь, приводит к погрешностям формы и относительного расположения поверхностей. Большие деформации заготовок возникают особенно после проведения термических операций, предусмотренных для изготовления детали. Например, при закалке метчиков часто наблюдается уменьшение шага резьбы. С целью снижения влияния внутренних напряжений на точность обработки при изготовлении детали в технологическом процессе предусматриваются начальные и промежуточные термические операции отжига и отпуска.

Наиболее опасными являются растягивающие напряжения, которые являются причиной появления на поверхности детали микротрещин, переходящие в процессе эксплуатации детали в макротрещины, а затем в изломы. Растягивающие напряжения появляются при абразивной обработке, а в большинстве чистовых процессов предусмотрено операции шлифования и хонингования. Для умень-

шения величин растягивающих напряжений применяют операцию наклепа (тонкое пластическое деформирование, дорнование, обработка дробью, бойками и т. д.)

8. Точность методов и средств измерений

При мелкосерийном и единичном производстве обычно пользуются универсальным шкальным измерительным инструментом, применение которого требует достаточно высокой квалификации рабочего и длительности времени на процесс измерения. Погрешности при измерении шкальными инструментами возникают в связи с неточностью самого измерительного прибора, индивидуальными особенностями лица, выполняющего измерения и под влиянием колебания температуры в цехе и температуры обрабатываемой детали.

По возможности последние причины стремятся исключить, используя цифровые приборы, производя измерение остывших деталей и в специально оборудованных местах контроля. На рабочих местах, там где это можно, заменяют шкальные инструменты калибрами и шаблонами.

Контроль размеров изготавливаемых деталей при крупносерийном и массовом производстве осуществляется практически полностью предельными калибрами. Применение предельных калибров полностью исключает погрешность измерения.

ГЛАВА VI. СТАНОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ

6.1. Назначение приспособлений и их классификация

Станочными приспособлениями называют дополнительные устройства к металлорежущим станкам, служащие для установки и зажима заготовок без предварительной их разметки, а также для направления режущего инструмента. Производительность и качество обработки заготовки на металлорежущих станках в значительной мере зависят от того, насколько надежно, точно и быстро крепиться заготовка и инструмент в приспособлении.

По целевому назначению все используемые в технологическом процессе изготовления детали приспособления делят на 5 групп:

1. Станочные приспособления – для установки и закрепления заготовок на станках;
2. Приспособления для крепления режущего инструмента;
3. Сборочные приспособления – для сборки узлов и агрегатов машин;
4. Контрольные приспособления – для контроля размеров при обработке и сборке;
5. Приспособления для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок.

По степени специализации станочные приспособления делят на универсальные, специальные и специализированные (рисунок 6.1).

Универсальные приспособления (УП) применяют для установки и закрепления заготовок разных по форме и размерам и, обрабаты-

ваемых на различных металлорежущих станках, в единичном и мелкосерийном производствах. Универсальность достигается регулированием установочных и зажимающих элементов приспособления без их замены.

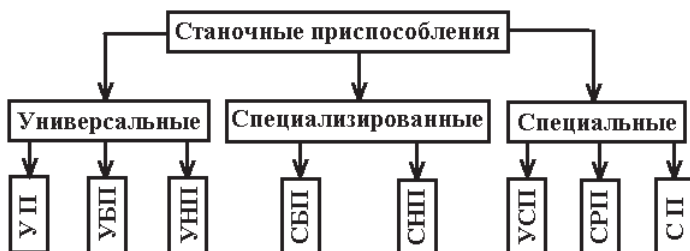


Рисунок 6.1 – Станочные приспособления

К ним относятся кулачковые и поводковые патроны, машинные тиски, делительные головки и т. д.

Затраты вспомогательного времени на обслуживание универсальных приспособлений, особенно с ручным управлением, повышенные, но в условиях названных производств эти затраты не являются основным экономическим фактором.

Универсальные безналадочные приспособления (УБП) – используют для закрепления заготовок широкой номенклатуры и различной конфигурации. Применяются в единичном и серийном производстве. К ним относятся: универсальные патроны с неразъемными кулачками, универсальные фрезерные тиски, поворотные столы и др.

Универсально-наладочные приспособления (УНП). Данные приспособления состоят из установочных (наладочные) и зажимных (универсальных постоянных) элементов. Наладочная часть состоит из *сменных* наладок, которые изготавливаются в соответствии с формой и габаритными размерами обрабатываемых заготовок. Универсальная часть включает в себя корпус, силовой привод и базовые элементы для установки *сменных* наладок.

Каждое сменное наладочное устройство, в основном, рассчитывают на применение для одной операции. Для максимального использования УНП на одном станке универсальную часть приспособления изготавливают двух и (или) трехсторонней и на каждой стороне закрепляют сменную наладку. С помощью такого приспособления

собления можно выполнять две-три операции, т. е. применить метод концентрации операций на одном станке.

Трудоемкость изготовления сменных наладок УНП на 60...70 % меньше трудоемкости изготовления *специальных* приспособлений для установки таких же деталей.

Универсальную часть УНП используют многократно, что значительно сокращает сроки и стоимость подготовки производства при выпуске новых машин.

УНП применяют при частой переналадки станков на обработку различных заготовок схожих по форме. Их используют на токарных, фрезерных, сверлильных и других станках. К УНП относятся универсальные патроны со сменными кулачками, универсально-наладочные машинные тиски, групповые приспособления и т. д.

Эти приспособления позволяют значительно повысить коэффициент оснащенности технологического процесса.

Специализированные безналадочные приспособления (СБП) используют для закрепления заготовок, близких по конструктивно-технологическим признакам, с одинаковыми базовыми поверхностями, требующих одинаковой обработки, например, различные валики или различные втулки, или фланцы, диски, кронштейны, корпусные детали и т. п.

При осуществлении однотипных операций на этих приспособлениях осуществляется только регулировка отдельных элементов наладки.

Специализированные наладочные приспособления (СНП) применяют для установки и закрепления группы деталей, близких по конструктивно-технологическим размерам, способам обработки и по общности установочных поверхностей (технологических баз).

СНП состоит из двух частей: универсальной и сменной. Универсальная часть приспособления является постоянной и состоит из корпуса, привода и базовую поверхность, на которую устанавливают специальные сменные наладки под конкретные обрабатываемые заготовки. Во многих случаях универсальная часть приспособления имеет несколько вспомогательных базовых поверхностей для установки на них специальных сменных наладок, выполняющие различные функции, например, направление режущего инструмента, управлением механизма зажима заготовки и т. д.

Сменная часть приспособления состоит из нескольких *специальных сменных* наладок, изготавливаемых в соответствии с формой и размерами тех деталей, которые будут обрабатываться на данном приспособлении. В некоторых конструкциях приспособлений для обработки однотипных деталей, отличающихся только размерами, ее переналадка может осуществляется не только путем замены специальных сменных наладок, но и путем плавного или ступенчатого регулирования подвижных частей установочных элементов.

Типы и основные размеры СНП определены государственными стандартами. СНП применяют в серийном и крупносерийном производствах при групповой обработке заготовок.

Универсально-сборные приспособления (УСП). Система УСП, разработанная еще в 1947 году, заключается в том, что любое специальное станочное приспособление собирается из стандартизованных и нормализованных деталей и узлов, заранее изготовленных и многократно используемых (рисунок 6.2).

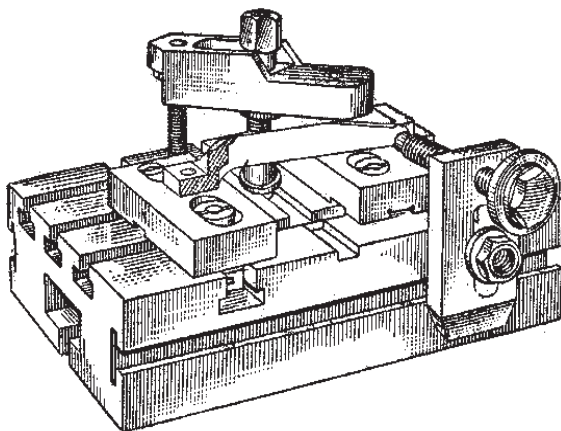


Рисунок 6.2 – Специальное станочное приспособление

Основой для сборки станочных приспособлений в системе УСП является заводской комплект стандартизованных нормализованных элементов, состоящих из большого количества базовых, корпусных, установочных, направляющих, прижимных, крепежных и других деталей и узлов различных по конструкции. В среднем заводской комплект УСП машиностроительного завода содержит 15 000...25 000 деталей. Из комплекта в 20 000 деталей можно од-

новременно собрать 150...300 приспособлений для изготовления изделий на различных станках. Минимальный комплект элементов УСП, обеспечивающий применение этой системы на заводе, колеблется в пределах 1,5...2,5 тыс. деталей, из которых за год можно собрать несколько сот различных приспособлений УСП.

Весь комплект УСП делят по функциональным признакам на восемь групп: базовые детали, корпусные, установочные, направляющие, прижимные, крепежные, разные и неразборные узлы. Базовые, корпусные, установочные, направляющие и крепежные детали изготавливаются по соответствующим стандартам (ГОСТ 15185, 15465 и др.). Основными техническими требованиями, предъявляемыми к элементам комплекта, являются их повышенная износостойкость, точность размеров и малая шероховатость рабочих поверхностей. В среднем элементы УСП служат 10–15 лет.

Преимущества применения системы УСП:

1) возможность использования универсально-сборочных приспособлений на таких технологических операциях, где применение специальных приспособлений нерентабельно;

2) значительное снижение трудоемкости и себестоимости изготовления технологической оснастки при переходе к выпуску новой машины;

3) время, необходимое на сборку одного УСП для станочной работы, составляют не более 2...3 ч;

4) позволяет собирать приспособления для станочных, сварочных, контрольных и других видов работ.

Сборно-разборные приспособления (СРП) являются разновидностью оснастки многократного применения. В СРП элементом фиксации является цилиндрический палец и точное отверстие (в УСП фиксация деталей осуществляется системой «шпонка – точный паз»). Этот способ фиксации имеет ряд эксплуатационных и технологических преимуществ, например, возможность изготовления крупногабаритных базовых деталей и сборочных единиц (плит, угольников и т. д.).

К группе базовых сборочных единиц для компоновки СРП относятся прямоугольные и круглые плиты как механизированные, так и немеханизированные, различные типы угольников. Прямоугольные немеханизированные плиты представляют собой прямую

призму. На верхней поверхности призмы имеется сетка координатно-фиксирующих отверстий, точность которых соответствует 7-му качеству.

Компоновки механизированных приспособлений СРП на базе прямоугольных плит с гидравлическим приводом имеют некоторые преимущества перед компоновками аналогичных приспособлений на базе немеханизированных прямоугольных плит.

Из деталей и сборочных единиц СРП разработаны два специализированных комплекта: первый комплект предназначен для оснащения сверлильных и фрезерных станков с программным управлением, второй – для многооперационных и расточных станков с ЧПУ.

Специальные приспособления (СП) служат для обработки только конкретной заготовки на конкретной операции, т. е. они являются одноцелевыми. Специальные приспособления обладают большими преимуществами. Они позволяют без выверки придать каждой из партии заготовок требуемое расположение относительно станка и режущего инструмента. Благодаря этому при одной настройке станка можно обрабатывать всю партию заготовок с заданной точностью. А это повышает производительность операции, облегчает труд станочника, освобождая его от выверки детали и необходимости выполнения пробных проходов.

Недостатками данных приспособлений являются:

- большие расходы на проектирование и изготовление;
- стоимость приспособления при изготовлении малых партий деталей существенно повышает себестоимость данных деталей;
- при изменении чертежа детали или прекращении выпуска данного изделия приспособление не может быть использовано для других целей. Такие приспособления, как правило, приходится списывать, независимо от степени их физического износа.

Указанные недостатки в условиях крупносерийного и массового производства мало отражаются на себестоимости продукции, так как партии получаемых деталей большие и затраты на изготовление приспособления быстро окупаются. В условиях же индивидуального и мелкосерийного производства применение специальных приспособлений часто оказывается экономически нецелесообразным.

Конструкции всех станочных приспособлений используют типовые элементы, которые можно разделить на:

- установочные элементы, определяющие положение заготовки в приспособлении в процессе ее обработки;
- зажимные элементы – устройства и механизмы для крепления заготовки или подвижных частей приспособлений;
- элементы для направления режущего инструмента и контроля его положения;
- силовые механизмы для приведения в действие зажимных элементов (механические, электрические, пневматические, гидравлические);
- корпуса приспособлений, на которых крепят все остальные элементы;
- вспомогательные элементы, служащие для изменения положения заготовки в приспособлении относительно инструмента, для соединения между собой элементов приспособлений и регулирования их взаимного положения.

6.2. Установочные элементы приспособлений

Установочные элементы приспособлений служат для установки на них обрабатываемую заготовку. Эти элементы называют опорами. Они подразделяются на основные (базовые) и вспомогательные. Основные опоры служат для базирования заготовки в приспособлении и лишения ее всех или нескольких степеней свободы в соответствии с требованиями к обработке. Во избежание деформаций заготовок, закрепленных в приспособлении, кроме основных опор применяют еще и дополнительные, вспомогательные опоры. Количество их в конструкции приспособления может быть самым разнообразным, так как определяется оно условиями обработки, жесткостью и конфигурацией детали.

Основные опоры приспособлений применяются в виде опорных штырей, пластин, призм, установочных пальцев и др.

При базировании заготовок плоскими поверхностями установочные элементы выполняются в виде неподвижных опорных штырей (рисунок 6.3) и пластин (рисунок 6.4). Для базирования заготовок цилиндрической формы применяют установочные призмы, а

при базировании по отверстию – установочные пальцы.

Для установки необработанных поверхностей применяют опоры – штыри со сферической головкой (1) и с насечкой (2). В первом случае закрепление соприкасающихся поверхностей будет близким к точечному, во втором – более надежное.

Заготовки с обработанными поверхностями устанавливают на штыри с плоской головкой (3), а если они больших размеров – на пластинки. Иногда пластинки устанавливают на контрольных штифтах, а опоры – штыри вставляют в закаленные втулки, запрессованные в корпус приспособления. Применение втулок облегчает ремонт приспособлений.

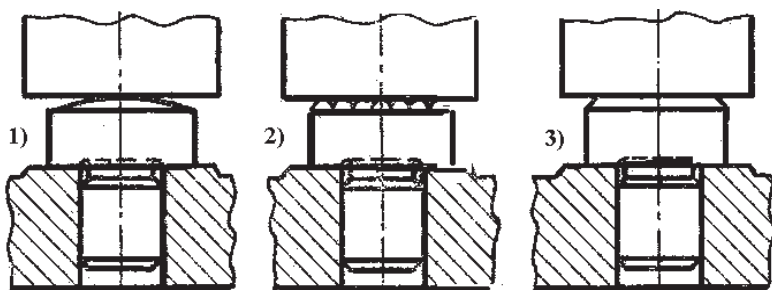


Рисунок 6.3 – Неподвижные опорные штыри

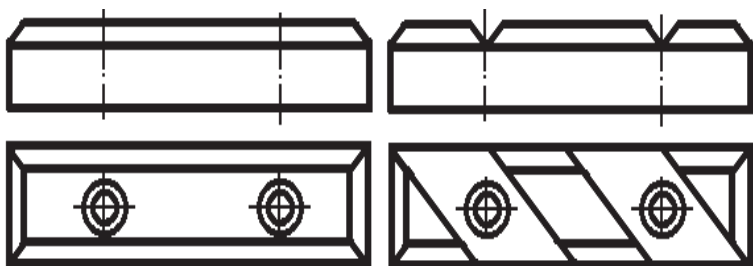


Рисунок 6.4 – Неподвижные опорные пластины

С целью устранения ошибок, возникающих при обработке различных заготовок, часть опор делают регулируемыми, если приспособления применяются в мелкосерийном производстве и в них обрабатывают заготовки разных размеров. Регулируемые или подвижные опоры, благодаря наличию винтовой пары позволяют перемещать (регулировать) положение точки опоры.

При установке заготовок на базовые отверстия используют установочные пальцы (рисунок 6.5). Пальцы могут быть постоянные и сменные. Корпусные заготовки (плиты, рамы, станины, кронштейны) базируются при установке по двум цилиндрическим отверстиям с параллельными осями в плоскости, которая расположена перпендикулярно им (рисунок 6.6). Точно обработанная плоскость 3 и отверстия 1 и 2 обеспечивают фиксацию заготовок на автоматических линиях.

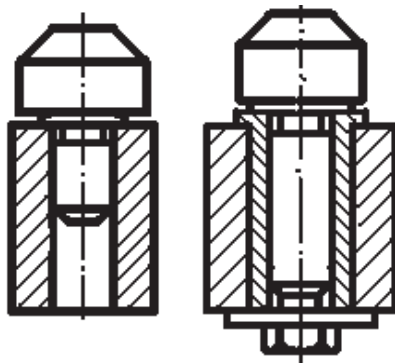


Рисунок 6.5 – Установочные пальцы

Один из пальцев (2) входит в отверстие корпуса с достаточно большим зазором. Это делают, потому что межцентровое расстояние для партии заготовок изменяется в пределах допуска δ . Пальцы могут быть конусными, плавающими, установочными и т. д.

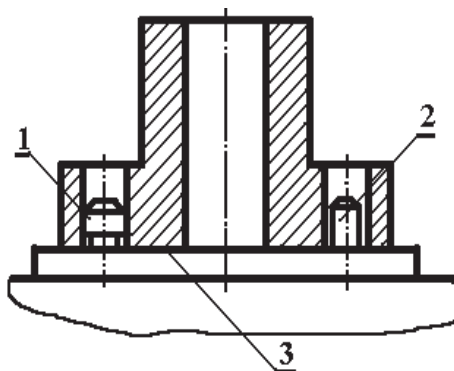


Рисунок 6.6 – Базирование корпусных деталей

Конструкции оправок. Для обработки наружных поверхностей заготовок в виде втулок применяют оправки. Оправки применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить наиболее точную концентричность наружных поверхностей обрабатываемой заготовки с ее отверстием. В этом случае вначале обрабатывают отверстие, затем заготовку устанавливают на оправку и обрабатывают все остальные поверхности.

На рисунок 6.7 показана оправка с упругой гильзой, разжимаемой гидропластом. При установке заготовку насаживают на тонкостенную гильзу 2. Закрепление происходит вследствие сжатия гидропласта 1 винтом 3. Способ закрепления с применением гидропласта позволяет получить высокую степень концентричности (биение 0,005...0,01 мм).

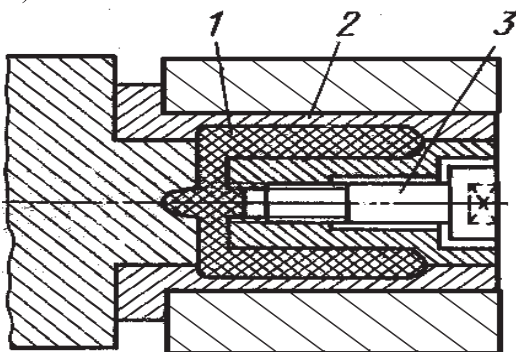


Рисунок 6.7 – Оправка с упругой гильзой

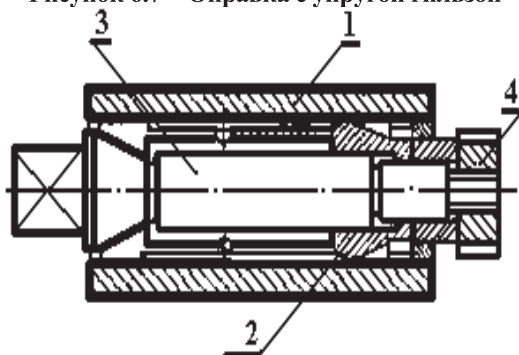


Рисунок 6.8 – Разжимная цанговая оправка

Широко распространены разжимные цанговые оправки (рисунок 6.8), представляющие собой стальной пустотелый цилиндр 2, расточенный внутри на конус и имеющий несколько несквозных разрезов. Этот цилиндр надевают на точно пригнанный конусный стержень 3 с винтовым хвостовиком. При затягивании гайки 4 стержень разжимает в небольших пределах наружный цилиндр и закрепляет посаженную на него заготовку.

6.3. Зажимные устройства приспособлений

При обработке заготовки на металлорежущем станке на нее действуют силы резания. Их величина, направление и место приложения могут изменяться в процессе резания каждой из обрабатываемых поверхностей. Изменение величины силы резания может происходить из-за изменения глубины резания в момент врезания и выхода инструмента, а также из-за колебаний величины припуска, затуплении инструмента и других причин. Направление и точка приложения силы резания изменяются вследствие перемещения инструмента вдоль обрабатываемой поверхности и изменения условий обработки.

Силы резания и моменты, создаваемые ими, стремятся переместить и повернуть заготовку. Несмотря на воздействие переменных сил резания, заготовка в процессе обработки должна сохранять неизменное положение относительно установочных элементов, иначе будут возникать дополнительные погрешности, возможна поломка режущего инструмента и т. п.

Чтобы заготовка сохраняла в процессе обработки неизменное положение, ее необходимо надежно закреплять в приспособлении. Лишь в редких случаях, когда заготовка имеет значительный вес, а силы резания малы, ее можно обрабатывать без закрепления. При закреплении заготовки в приспособлении должны соблюдаться следующие основные правила:

- не должно нарушаться положение заготовки, достигнутое при ее установке;
- закрепление должно быть надежным, чтобы во время обработки положение заготовки сохранялось неизменным;
- возникающее при закреплении смятие поверхностей заго-

товки, а также их деформация должны быть минимальными и находиться в допустимых пределах.

Несоблюдение любого из этих правил может привести к возникновению погрешностей обработки, а изменение положения заготовки в процессе резания может привести к поломке режущего инструмента. Выполнение указанных правил закрепления достигается благодаря рациональному выбору схемы закрепления и величины зажимного усилия.

Выполнение большинства этих требований связано с правильным определением величины, направления и места положения сил зажима.

Расчет сил зажима может быть сведен к решению задачи статики на равновесие твердого тела (заготовки) под действием системы внешних сил. К заготовке с одной стороны приложены силы тяжести и силы, возникающие в процессе обработки, с другой - определяемые зажимные силы и реакции опор. Под действием этих сил заготовка должна сохранить равновесие.

Величину сил резания и их моментов определяют по формулам теории резания металлов или выбирают по нормативным справочникам. Найденное значение сил резания для надежности зажима заготовки умножают на коэффициент запаса $K = 1,4$ при чистовой обработке и $K = 2,6$ при черновой обработке.

При любой операции расположение заготовки на станке относительно режущего инструмента определяется выбранным способом обработки. Тем же определяется и направление силы резания, действующей на заготовку.

При конструировании приспособления посредством выбора метода установки заготовки можно предусмотреть различное расположение его установочных элементов относительно заготовки и направления силы резания. На рисунках 6.9 и 6.10. показаны два варианта взаимодействия на заготовку сил резания, сил зажимов и их моментов.

Вариант 1. На заготовку, зажатую в трехкулачковом патроне станка (рисунок 6.9) действуют силы резания P_Z и P_X . Усилие зажима заготовки одним кулачком – W , тремя кулачками – $3W$. Определим зависимость величины усилия зажима W от сил резания.

Сила резания P_Z создает момент резания который стремится повернуть заготовку вокруг ее оси.

$$M_{\text{рез}} (M_{\text{рез}} = P_Z \times r_1) \quad (6.1)$$

Усилие зажима заготовки тремя кулачками должно превышать величину момента резания.

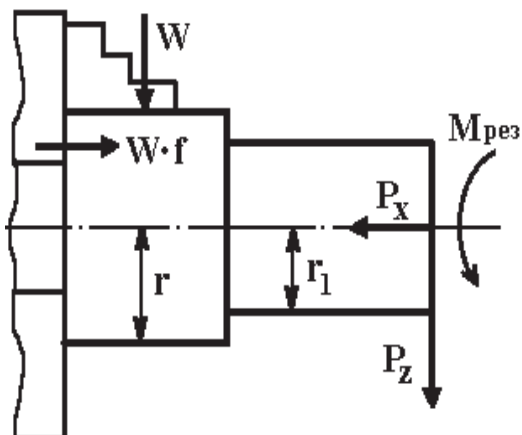


Рисунок 6.9 – Силы действующие на трехкулачковый патрон станка

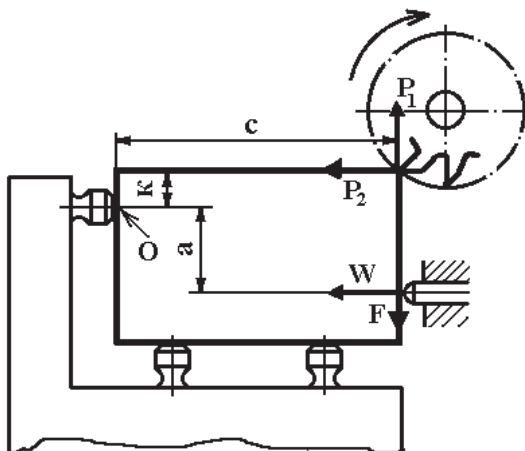


Рисунок 6.10 – Силы действующие на трехкулачковый патрон станка

Сжимающие заготовку кулачки создают силы трения между кулачком и поверхностью заготовки – $W \times f$ (f – коэффициент трения между поверхностями заготовки и кулачков, величина которого за-

висит от их вида). Данная сила трения создает момент сопротивления проворачивания заготовки в процессе резания:

$$M_{\text{сопр}} = 3 W \times f \times r. \quad (6.2)$$

Введя коэффициент запаса K , можно записать:

$$3 W \times f \times r = K \times P_Z \times r_1. \quad (6.3)$$

$$\text{Откуда: } W = K \times P_Z \times r_1 / 3 \times f \times r \quad (6.4)$$

Величину W проверяют на возможность продольного сдвига заготовки силой P_X :

$$3 W \times f \geq K \times P_X \text{ или } W \geq K \times P_X / 3 \times f \quad (6.5)$$

Вариант 2. При обработки заготовки встречным фрезерованием на заготовку действуют силы резания P_1 и P_2 в направлении, указанном на рисунок 6.5 б. Величина силы зажима определяется при приравнении суммы моментов всех сил относительно точки 0 равной нулю, так как заготовка не должна перемещаться во время обработки. В точке контакта зажима с поверхностью заготовки при попытке отрыва заготовки от опор под действием силы P_1 возникает сила трения F ($F = W \times f$). Составим уравнение суммы моментов всех сил относительно точки 0 и приравняем это уравнение нулю:

$$W \times a + W \times f \times c - P_2 \times k - P_1 \times c = 0 \quad (6.6)$$

Введем коэффициент запаса K и преобразуем данное уравнение:

$$W \times a + W \times f \times c = K(P_2 \times k + P_1 \times c) \quad (6.7)$$

$$\text{отсюда: } W = \frac{K(P_2 k + P_1 c)}{a + fc}. \quad (6.8)$$

При расчетах коэффициент трения принимается в следующих пределах:

$f = 0,16 \dots 0,18$ – при контакте с гладкой плоской поверхностью;

$f = 0,18 \dots 0,30$ – при контакте по линии и со сферой;

$f = 0,50 \dots 0,80$ – при контакте с рифлеными (насеченными) поверхностями.

В зависимости от конструкции зажимных устройств различают резьбовые зажимы, прихваты, клиновые, эксцентриковые кулачковые и цанговые зажимы. Силы зажима должны быть направлены на неподвижные опоры и действовать над ними, а сила, необходимая

для закрепления заготовки, должна быть минимальной.

Зажимные устройства по принципу действия делятся на ручные, механизированные и автоматизированные. Ручные зажимы (винтовые, клиновые, эксцентриковые) применяют в приспособлениях, предназначенных для единичного и мелкосерийного производства.

Механизированные и автоматизированные зажимные устройства применяют в приспособлениях, используемых в серийном и массовом производстве. В зависимости от силового привода зажимные устройства делятся на механические, пневматические, гидравлические, электрические, магнитные, вакуумные и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Балабанов В. И., Беклемышев В. И., Гамидов А. Г., Ищенко С. А., Махонин И. И., Филлипов К. В.** Безразборный сервис автомобиля (обкатка, профилактика, тюнинг, восстановление). М. : Известия, 2007. 272 с.
2. **Белов В. М., Шнырев А. П., Апатенко А. С., Грачев Р. Ю.** Технические измерения: Учебное пособие. М. : МГУП. 2010. 235 с.
3. **Белобрагин В. Я.** Основы технического регулирования. М. : Стандарты и качество, 2005. 320 с.
4. **Берновский Ю. Н.** Стандартизация: Учебное пособие. М. : Форум, 2012. 368 с.
5. **Бурдун Г. Д.** Справочник по международной системе единиц СИ. М. : Издательство стандартов, 1980. 232 с.
6. **Бабин Ю. А., Бернштейн Д. Б., Кисетова Н. И.** Техническая керамика – перспективный материал для рабочих органов и деталей сельскохозяйственной техники // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1988. № 3.
7. **Бернштейн Д. Б.** Оценка возможности самозатачивания двухслойных почворезущих элементов при абразивном изнашивании // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1985. № 6.
8. **Дмитрюк Г. Н., Орлов Б. Н.** Физические основы сельскохозяйственной техники // Межвузовский сборник научных трудов. КГУ, Элиста, 1996.
9. **Евграфов В. А., Орлов Б. Н.** Оценка ресурса и надежности деталей машин и оборудования с учетом физики отказов // Материалы международной научно-практической конференции. Вып. 2. М. : 2001.
10. **Евграфов В. А., Орлов Б. Н.** Разрушение деталей почвообрабатывающих машин – процесс возникновения и развития зон локализованных разрушающих напряжений // Сборник научных трудов МГАУ им. В. П. Горячкина. М. : 2002.
10. **Евграфов В. А., Орлов Б. Н.** Особенности объемного и поверхностного разрушения деталей машин и механизмов // Материалы международной научно-практической конференции. Вып. 3. М. : 2002.
12. **Карапетян М. А., Матвеев А. С., Бадмаева И. И.** Зависимость совершенствования методов технической эксплуатации на ра-

ботоспособность технологических машин // Вестник МОАЭБП. Вып. № 22(29). М. : Спутник +, 2020.

13. **Карапетян М. А., Пряхин В. Н.** Механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства: Учебное пособие. М. : ФГБОУ МГУП, 2013. 216 с.

14. **Орлов Б. Н.** Прогнозирование долговечности и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин // Материалы международной научно-практической конференции. Вып. 3. М. : 2002.

15. **Орлов Б. Н.** Основы классификации почв Юга России по их изнашивающей способности // Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук. Научно-теоретический журнал. Вып. 6. М. : 2002.

16. **Пигулевский М. Х.** Основы и методы изучения физико-механических свойств почвы. Л. : ЛОВИУ ВАСХНИЛ, 1936. 145 с.

17. **Тойгамбаев С. К.** Применение инструментальных материалов при резании металлов: Учебное пособие. М. : МГУП. 2007. 205 с.

18. **Тойгамбаев С. К., Шнырев А. П., Голиницкий П. В.** Метрология стандартизация сертификация. Учебник. М. : Спутник +, 2017. 375 с.

19. **Тойгамбаев С. К., Шнырев А. П., Мынжасаров Р. И.** Надежность технологических машин: Учебное пособие. М. : МГУП. 2008. 194 с.

20. **Тойгамбаев С. К.** Технология производства деталей транспортных и технологических машин природообустройства. Учебник. Рекомендован НМС при ФУМО по УГСН для ВУЗов. РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева. М. : Спутник. 2020. 484 с.

23. **Шнырев А. П., Тойгамбаев С. К.** Основы теории надежности транспортных и технологических машин. Учебное пособие. М. : Спутник. 2008. с. 132.

Учебное издание

**Карапетян Мартик Аршалуйсович
Гамидов Абдурахман Гаджиевич
Тойгамбаев Серик Кокибаевич**

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Оригинал-макет *Светлана Минченко*
Дизайн обложки *Роман Бурак*

Подписано в печать 03.12.2021. Формат 60х90/16
Усл.-печ. л. 8,5. Тираж 100 экз. Заказ № 24

ООО «Мегаполис»
www.m-megapolis.ru
Тел. 8 (495) 643-28-71
E-mail: zakaz@m-megapolis.ru
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 23 А

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»
Тел.: +7 (499) 322-38-31
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5