



**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановская государственная сельскохозяйственная
академия имени Д.К. Беляева»**

ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технического сервиса и механики

А.А. Гвоздев

Обработка результатов исследования изнашивания материалов Методические указания по выполнению лабораторных работ

для подготовки обучающихся магистров очной и заочной форм
обучения по направлению 35.04.06 «Агроинженерия»

Иваново, 2018

УДК 621.921.620.178.16

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Технические системы в агробизнесе» ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА к.т.н., доцент Кувшинов В.В.

Генеральный директор ООО «Агросервис +» Муравьев Д.Н.

А.А. Гвоздев

Обработка результатов исследования изнашивания материалов. Методические указания по выполнению лабораторных работ для подготовки обучающихся магистров очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» / А.А. Гвоздев. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2018. – 34 с.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 35.04.06. «Агроинженерия»

Рассмотрено и одобрено методической комиссией инженерного факультета (протокол № 4 от 29 сентября 2018 года)

© А.А. Гвоздев 2018

© ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

	с.
1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	4
2. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	4
3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
4. ЗАДАНИЕ	4
5. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, ИНСТРУМЕНТ	5
6. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
6.1. Понятие об изнашивании и абразивном материале	5
6.2. Особенности изнашивания деталей сельскохозяйственных машин и дорожно-строительной техники	8
6.3. Изнашивание поверхностей деталей твердыми зёрнами	11
6.4. Абразивное изнашивание при ударе	14
6.5. Некоторые сведения об абразивах	15
6.6. О характере деформации в зоне контакта частицы с изнашиваемой поверхностью при скольжении	16
7. КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВОК И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В АБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ	18
8. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ	27
9. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	31
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	34

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 1.1. Перед выполнением работы ознакомиться, с правилами техники безопасности.
- 1.2. Изучить цель работы, задание, ее содержание и объем. Ознакомиться с устройством, комплектацией и принципом действия применяемого оборудования и приборов.
- 1.3. Выполнить работу и составить письменный отчет.
- 1.4. Обобщить полученные при выполнении работы данные и сделать необходимые выводы, навести порядок на рабочем месте.
- 1.5 Защитить выполненную работу у преподавателя.

2. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 2.1. Перед началом работы студент должен осмотреть свою одежду и внешний вид: манжеты рукавов и ряд передних пуговиц халата должны быть застегнуты, длинные волосы - убраны, заколоты.
- 2.2. Разборо-сборочные работы выполнять исправным инструментом с применением травмобезопасных приемов.
- 2.3. К работе на лабораторном испытательном оборудовании и приборах приступать только с разрешения преподавателя и мастера производственного обучения.
- 2.4. Следует надежно закреплять испытуемые образцы и внимательно следить за показаниями приборов, не допуская экстремальных значений режима испытаний. Запрещается работа на неисправном оборудовании.
- 2.5. Во всех случаях получения травм и повреждений обратиться к преподавателю за оказанием первой помощи.

3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выполнить сравнительную оценку износостойкости различных материалов в условиях абразивного изнашивания по предложенной методике с использованием необходимого лабораторного оборудования и высокоточных приборов.

4. ЗАДАНИЕ

- 4.1. Изучить оборудование, приборы и методику испытания материалов в условиях абразивного изнашивания.
- 4.2. Выполнить начальный высокоточный контроль линейных размеров образцов и закрепить их в испытательном стенде.
- 4.3. Произвести испытание образцов в абразивной среде.

- 4.4. Выполнить окончательный высокоточный контроль линейных размеров образцов, сняв их с испытательного стенда.
- 4.5. Выполнить математическую обработку полученных результатов испытаний согласно методики.
- 4.6. Сделать выводы и дать рекомендации по применимости тех или иных материалов, структур, технологий окончательной обработки изделий в условиях абразивного изнашивания.
- 4.7. Привести в порядок рабочее место.
- 4.8. Составить и защитить отчет о проделанной работе, ответив на контрольные вопросы.

5. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, ИНСТРУМЕНТ

1. Испытательная установка-стенд для имитации условий абразивного изнашивания (МТ-АИ).
2. Плитки-образцы материалов (стали, чугуны, металлокерамика, минералокерамика и др.).
3. Плита поверочная (250x250 мм).
4. Штатив-стойка индикаторная универсальная.
5. Микаторная головка (1ИПМ, МИГ-1).
6. Отвертка.
7. Микроскоп МИС-11.
8. Секундомер.
9. Весы аналитические ВЛА-200, ВЛР-200.

6. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

6.1. Понятие об изнашивании и абразивном материале

Изнашивание – процесс разрушения и отделения материала от поверхности твердого тела (или накопления его остаточной деформации) при трении, сопровождающийся постепенным изменением размеров (или формы). Из разнообразных видов изнашивания для мелиоративно-строительных машин наиболее характерно абразивное. Оно происходит в результате режущего, царапающего и ударного действия на материал твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии /1/, /4/.

Износ – это результат изнашивания, определяемый в единицах длины, массы и объема. Износ может быть предельным, соответствующим предельному состоянию изнашивающегося изделия или его составной части (детали), и допустимым, при котором изделие сохраняет свою работоспособность.

Скорость и интенсивность изнашивания – понятия, характеризующие этот процесс. Их определяют как отношение значения износа соответственно к интервалу времени, в течение которого он возник, и к пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы.

Скорость изнашивания рабочих органов зависит от их конструкции, абразивности перерабатываемых грунтов, динамичности нагрузок и колеблется от 10 до 2000 мкм/ч,

Основные изменения, происходящие с материалом рабочих органов мелиоративно-строительных машин в процессе абразивного изнашивания, заключаются в деформации поверхности в виде царапин и вырывов, а также в образовании поверхностного и глубинного наклепа. Наклеп прямо зависит от динамичности нагрузок и с увеличением износа рабочих органов растет до некоторого постоянного значения. Для каждого установившегося вида изнашивания эпюры износа и распределения наклепа рабочих органов приобретают характерную форму.

Износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения. Оно оценивается величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания.

Повышение износостойкости рабочих органов означает сохранение первоначальной их формы, обеспечивающей оптимальные по производительности и расходу энергии режимы работы машины. Поэтому метод повышения износостойкости следует выбирать так, чтобы обеспечивалась не только высокая износостойкость новой детали, но и возможность после достижения предельного износа восстановления ее первоначальной формы и размеров при сохранении противоизносных качеств.

Абразивным материалом именуют минерал естественного или искусственного происхождения, зерна которого имеют достаточную твердость и обладают способностью резания (скобления, царапания). Абразивным изнашиванием называют разрушение поверхности детали в результате ее взаимодействия с твердыми частицами при наличии относительной скорости. В роли таких частиц выступают /3/:

- а) неподвижно закрепленные твердые зерна, входящие в контакт по касательной либо под небольшим углом атаки к поверхности детали (например, шаржирование посторонними твердыми частицами мягких антифрикционных материалов);
- б) незакрепленные частицы, входящие в контакт с поверхностью детали (например, насыпные грузы при их транспортировании соответствующими устройствами, абразивные частицы в почве при работе почвообрабатывающих машин и т. д.);
- в) свободные частицы, пребывающие в зазоре сопряженных деталей;
- г) свободные абразивные частицы, вовлекаемые в поток жидкостью или газом.

Абразивному изнашиванию подвергаются детали сельскохозяйственных, дорожно-строительных, горных, транспортных машин и транспортирующих устройств, узлы металлургического оборудования, металлорежущих станков, шасси самолетов, рабочие колеса и направляющие аппараты гидравлических турбин, лопатки газовых турбин, трубы водяных экономайзеров и паровых котлов, лопасти дымососов, трубы и насосы земснарядов, бурильное

оборудование нефтяной и газовой промышленности, подшипники валов гребных колес, подшипники гребных валов судов при плавании на мелководье и т. п.

На процесс абразивного изнашивания может влиять природа абразивных частиц, агрессивность среды, свойства изнашиваемых поверхностей, ударное взаимодействие, нагрев и другие факторы. Общим для абразивного изнашивания является механический характер разрушения поверхности.

Абразивное изнашивание вызывает почва, грунт, руда, уголь и порода, зола, пыль, попавшие на поверхность трения, металлическая стружка, окисные пленки, закрепленные на поверхности трения или разрушенные, нагар и продукты износа, в особенности выкрошившиеся частицы твердых структурных составляющих.

Абразивные частицы могут иметь различную форму и быть самым различным образом ориентированы относительно сопряженной поверхности. Способность абразивного зерна вдавливаться в поверхность зависит не только от соотношения их твердостей, но и от геометрической формы зерна. Так, зерно выпуклой поверхностью или острым ребром может быть вдавлено, даже без повреждений, в плоскую поверхность более твердого тела. Это объясняет факт износа металла абразивными частицами с твердостью, меньшей его твердости.

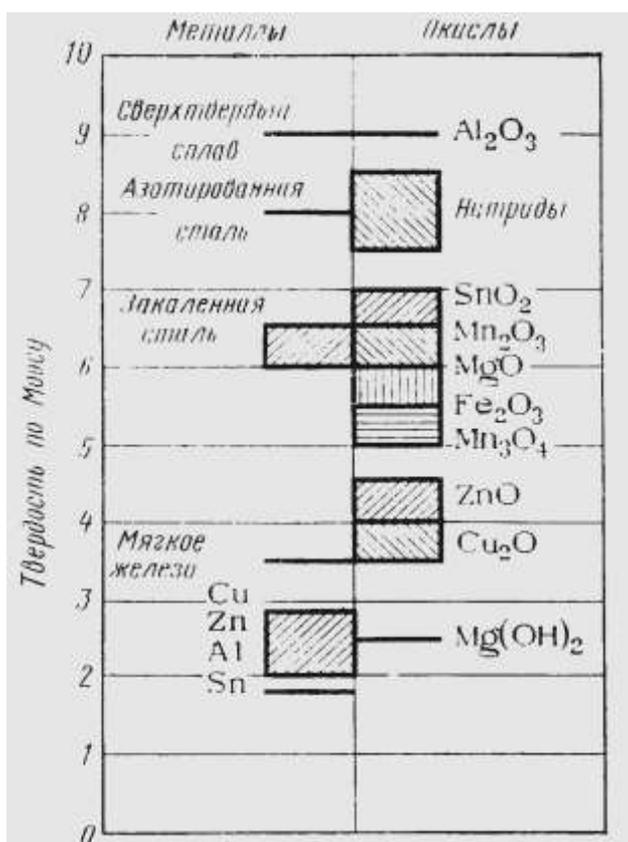


Рисунок 1. - Твердость металлов и оксидов по шкале Мооса.

Иногда твердость окисных пленок больше твердости самих металлов (рисунок 1). Наибольшую твердость (9) имеет оксид алюминия Al_2O_3 , твердость самого алюминия невелика (~2). Вследствие этого при трении алюминия по стали окисные пленки, а также продукты разрушения этих пленок могут вызвать сильный износ даже самых твердых сталей. Мягкий окисел почти не оказывает абразивного действия на другую поверхность. Магний образует очень мягкий окисел $Mg(OH)_2$, поэтому износ магнием более твердых металлов невелик даже при благоприятных условиях образования окисла. Это обстоятельство частично

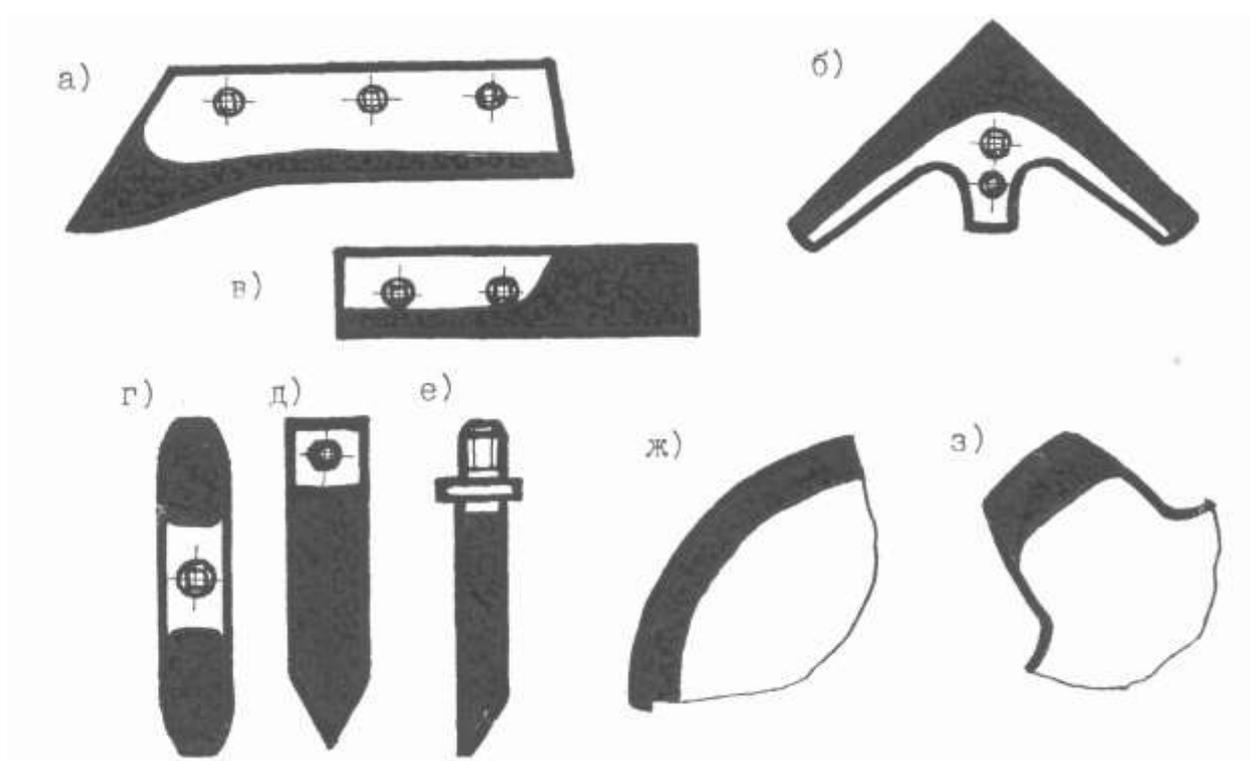
объясняет, почему поршни из магнитных сплавов меньше царапают и задирают стенки цилиндров, чем поршни из алюминиевых сплавов. Чисто

абразивное изнашивание окислами алюминия встречается в трущихся парах сталь, покрытая хромом, — алюминиевый сплав, применяемых в некоторых узлах самолетных конструкций из-за неизменного стремления к снижению массы.

Окислы железа участвуют в абразивном изнашивании узлов металлургического оборудования, работающих при высокой температуре и недостаточном смазывании.

6.2. Особенности изнашивания деталей сельскохозяйственных машин и дорожно-строительной техники

Одной из важнейших проблем, связанных с эксплуатацией сельскохозяйственной и дорожно-строительной техники, является быстрое изнашивание и ограниченный ресурс сменных рабочих органов, почвообразующих, посевных, землеройных машин и орудий. Большие затраты хозяйства и ДРСУ ежегодно на приобретение лемехов, лап, дисков и др. (рисунок 2).



а – лемех; б – лапа стрельчатая; в – доска полевая; г, д – наконечники (наральники) культиваторов; е – зуб бороны; ж, з – диски бороны, луцильника, дискатора.

Рисунок 2. - Схема расположения зон (участков) наибольшего износа почвообрабатывающих машин.

Несмотря на использование для их изготовления высокоуглеродистых (0,4...0,7% С) и марганцовистых сталей марок 50, 60Г, 65Г, 70Г и др. их

износостойкость не удовлетворяет эксплуатационников, особенно на песчаных, супесчаных почвах, тяжелых суглинках.

В случае затупления режущих кромок нарушаются агротехнические требования обработки почвы (глубина обработки, оборот пласта, подрезка сорняков и т.д.), снижает урожайность возделываемых культур.

Преждевременный износ рабочих органов машин и орудий приводит к следующим отрицательным исследованиям (таблица 1)

Таблица 1 – Влияние износа деталей на качество работы

Износ рабочего органа	Отрицательное последствие
ПЛУГИ	
Износ (затупление лемеха)	Самовыглубление плуга, нарушение глубины вспашки, повышение тягового сопротивления почвы и расхода топлива
Износ отвала	Нарушение полноты оборота пласта, ухудшение условий для крошения пласта
Износ полевой доски	Нарушение правильности хода плуга в горизонтальной плоскости.
КУЛЬТИВАТОРЫ	
Утолщение режущих лезвий	Ухудшение подрезания сорняков
Уменьшение ширины лап	Снижение производительности агрегата

Существующие способы упрочнения деталей такие как напыление твердых сплавов на основе никеля (ПГ-ХН80 СР-4), а также различные виды термообработки – цементация в твердом или газовом карбюризаторах, повышают износостойкость и ресурс в 1,2...3,0 раза и имеют право быть использованными, но в первом случае получаем высокую себестоимость изделий, во-втором - изначальную толщину упрочненного слоя (0,8...1,5 мм) и малую производительность процесса, Кроме того, для реализации данного технологий требуется большие денежные средства.

Интенсификация процессов сельскохозяйственного производства предъявляет повышенные требования к материалам, из которых изготавливают рабочие органы машин и орудий по обработке почвы. Прежде всего они должны быть прочны и иметь высокую износостойкость.

Между твердостью материала, определяющей износостойкость рабочих органов, и твердостью абразивных частиц почвы установлена следующая зависимость:

$$H_M > 0,8 \cdot H_A, \quad (1)$$

где H_M – твердость материала детали;

H_A – твердость абразивных частиц почвы.

Твердость кремниевых абразивных материалов, содержащихся в почве, обычно составляет около 11000 МПа. Следовательно, чтобы существенно снизить износ рабочих органов, твердость материалов, из которых они изготовлены, должна составлять более 80% твердости кремниевого материала, т.е. более 9000 МПа (по Виккерсу).

Интенсивность изнашивания деталей сельхозмашин зависит от механического состава почв.

Износ зависит от влажности почв: в частности, на суглинистых черноземах влажностью до 10% лезвия отвальных плугов изнашиваются примерно в 7—8 раз быстрее, чем при влажности 25—26%.

Лемехи наиболее интенсивно изнашиваются на песчаной почве, затем на тяжелой супеси, а потом на суглинке.

По мере повышения скорости движения плуга скольжение внутри почвенных пластов уменьшается, при этом возрастает скорость скольжения абразивных частиц по изнашиваемой поверхности отвала, а интенсивность абразивного изнашивания растет.

При малых скоростях движения почвенный пласт не скользит по изнашиваемым поверхностям, рабочего органа, а подвергается весьма существенным деформациям; интенсивность абразивного изнашивания при этом наиболее низкая.

На интенсивность изнашивания элементов сельхозмашин влияют размеры и форма абразивных частиц, содержащихся в почвенном массиве, частицы имеют неправильную форму, разнообразные формы граней, сложный зерновой состав.

Изнашивание деталей сельскохозяйственных машин протекает в условиях динамического и статического внедрения в металл абразивных частиц. На интенсивность абразивного изнашивания влияет степень закрепленности абразивных частиц в массиве.

Как показала практика эксплуатации землеройных строительных и дорожных машин на гусеничном ходу, наименее износостойкими являются ведущие и направляющие колеса, опорные катки, звенья гусениц, цепные передачи (ножи, зубья, резцы).

Надежность землеройных и дорожных машин снижается из-за изнашивания деталей рабочих органов. Основным видом изнашивания деталей землеройных и дорожных машин является абразивное. Наиболее изнашиваемые элементы звеньев гусениц: гребни, опорные дорожки и проушины. Интенсивному изнашиванию подвергаются режущие ножи автогрейдеров, бульдозеров, скреперов.

Долговечность ножей зависит от их изнашивания по ширине, а предельный износ обусловлен размером консоли вылета режущей кромки ножа за отвал, способом крепления ножа к отвалу и углом резания. Наибольшее изнашивание ножей отвалов" происходит по задней грани; через

8—12 ч проведения земляных работ первоначальная форма режущей кромки значительно изменяется.

6.3. Изнашивание поверхностей деталей твердыми зёрнами

При трении скольжения частицы входят в контакт с поверхностью металлической детали по касательной. Механизм изнашивания в этом случае представляется таким. Абразивные частицы (зёрна) упруго деформируют металл, оставаясь целыми или разрушаясь; в зависимости от структуры абразивного материала и среды зёрна могут вдавиться в эту среду, повернуться или даже выйти из зоны контакта, как, например, частицы кварца в почве под давлением ножа грейдера. Абразивная частица вдавливаясь в металл детали, если она обладает большей твердостью, чем металлическое зерно, и прочностью, достаточной для воспринятой нагрузки, необходимой для вдавливания в металл, и если ее достаточно поддерживает основа. Внедрившаяся частица при движении относительно поверхности может процарапать риску или срезать микроскопическую стружку. Резание может начаться только при определенном отношении глубины проникновения абразива к радиусу скругления внедрившейся кромки /11/. Так, для стали Ст3 это отношение должно быть больше 0,16 при сферической кромке. Если бы микрорезание было ведущим процессом разрушения поверхности при абразивном изнашивании или даже сопутствующим, то интенсивность изнашивания была бы настолько высокой, что рабочие органы (например, строительных и дорожных машин) выходили бы из строя после весьма малого времени работы, исчисляемого несколькими часами.

Частота внедрения абразивных частиц мала, а основное количество внедряющихся частиц производит царапающее действие с отеснением материала в стороны. По пути царапания свободная частица может повернуться и прекратить выдавливание материала; 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. Если зерно закреплено, например зерно кварца в камне, и повернуться не может, то в этом случае канавки будут наиболее глубокими (0,001...0,02 мм) при небольшой длине (0,05...0,5 мм).

Дно канавки наклепывается. Когда вся рабочая поверхность наклепается, сопротивление внедрению повысится. Если внедрение полностью не исключается, то после многократной пластической деформации наступит охрупчивание материала.

Результаты обширных лабораторных исследований по изучению износостойкости чистых металлов, структурно-неоднородных цветных сплавов и сталей при трении о твердые зёрна, неподвижно закрепленные на сопряженной поверхности при отсутствии нагрева и агрессивной среды, приведены в работе /10/. Изнашивание производилось о шлифовальную шкурку, свойства которой все время оставались постоянными. Результаты

приведены на рисунок 3 за относительную износостойкость E принято отношение износостойкостей испытуемого материала и эталона.

Установлено, что относительная износостойкость чистых металлов находится в линейной зависимости от микротвердости. Опытные точки располагаются на прямой, проходящей через начало координат. Испытания баббитов на оловянной, свинцовой и оловянно-свинцовой основах и свинцовистой бронзы с различной микротвердостью разных структурных элементов не установили определенной зависимости между износостойкостью и микротвердостью. Тем не

менее, во всех случаях износостойкость сплавов оказалась меньше, чем чистых металлов той же твердости. Для сталей в термически необработанном состоянии зависимость износостойкости от твердости такая же, как и для чистых металлов. Износостойкость сталей после их закалки и отпуска возрастает с увеличением твердости по линейному закону, но менее интенсивно, чем у чистых металлов и термически необработанных сталей. Испытания показали, что предварительный наклеп не повышает износостойкость чистых металлов и сталей.

Выводы по влиянию твердости абразива на износ металлов таковы: если твердость абразивных зерен значительно превышает твердость металла, то износ не зависит от разности твердостей абразива и металла; если твердость абразивных зерен ниже, чем твердость металла, то износ зависит от разницы твердостей и быстро уменьшается с увеличением этой разницы.

По данным М.М. Тененбаума, при твердости металлической поверхности, превышающей 60 % твердости абразива, износостойкость резко возрастает. Такое отношение твердостей можно назвать критическим [12].

До сих пор предполагалось безударное взаимодействие абразивной частицы с поверхностью, фактор скорости вообще не учитывался. При большой относительной скорости рабочей поверхности и абразива длительность взаимодействия с абразивной частицей мала, и выделившаяся

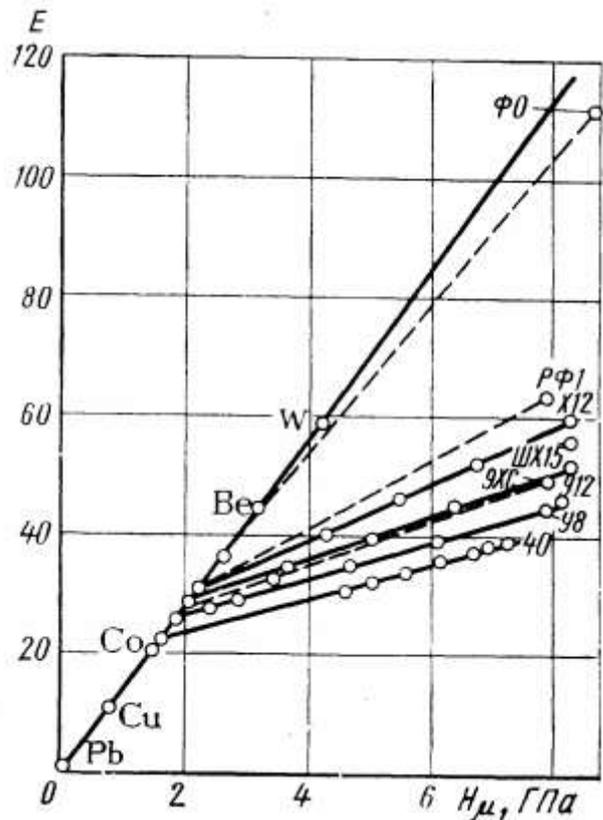


Рисунок 3. — Зависимость относительной износостойкости при трении об абразивную поверхность от микротвердости технически чистых металлов и сталей в термически обработанном состоянии.

теплота вследствие пластического деформирования не успевает распространиться в глубь материала. Местный высокий нагрев изменит механические свойства материала, что повлечет изменение интенсивности изнашивания.

Не исключаются также структурные превращения. Удары абразивных частиц о выступающие зерна металлической поверхности расшатывают их связи с основой и способствуют разрушению.

Некоторые элементы конструкции работают при повышенной температуре, при которой возможно понижение механических свойств материала. В таких случаях можно ожидать усиления абразивного действия частиц.

Агрессивная среда, вызывая электрохимические процессы на поверхности детали, интенсифицирует изнашивание, превращая его в коррозионно-механическое.

Механизм абразивного изнашивания полимерных материалов определяется степенью их эластичности. В высокоэластичный материал— резину, вулканит, полиуретановый вулканизат и другие абразивные частицы легко вдавливаются, не вызывая пластической деформации даже при глубоком внедрении. Абразивное зерно, перемещаясь по поверхности, прилагает к ней силы трения. Не касаясь сложной картины напряженного состояния в материале, нетрудно представить себе, что силы трения впереди зерна вызовут сжатие, а сзади него — растяжение. Под действием многократных растягивающих напряжений происходят микроразрывы, часть материала с поверхности уносится с образованием волнообразного рельефа из выступов и впадин в направлении, перпендикулярном движению абразива /2/, /11/, /13/. Такая текстура наблюдалась рядом исследователей, например Ш.М. Биликом.

В дальнейшем под влиянием переменных растягивающих напряжений срабатываются первичные выступы неровностей, но волновой рельеф поверхности сохраняется.

Если в высокоэластичных полимерах изнашивание по своей природе является фрикционным (повреждение обусловлено силами трения), то изнашивание более жестких и хрупких полимеров происходит в основном в результате микрорезания. На интенсивность изнашивания сильно влияет структура материала. При трении с граничной смазкой преобладание кристаллических областей в полимере над аморфными обеспечивает более высокую его твердость и износостойкость. Между тем увеличение степени кристаллизации ухудшает стойкость при абразивном изнашивании. Дело в том, что даже при повышении твердости за счет увеличения кристаллических областей она остается в несколько раз ниже твердости абразива, поэтому фактор повышения твердости оказывается неэффективным. Уменьшение эластичности полимера, по мнению А.М. Когана и Д.Я. Соболева, создает более благоприятные условия для начала срезания абразивными частицами микрообъемов материала, при срезе отделяются большие объемы, чем при фрикционной природе разрушения поверхности.

Сопротивление срезу недостаточно для характеристики стойкости полимера абразивному изнашиванию. Полиметилметакрилат, более прочный на срез в сравнении с капроном и полиамидом П-68, оказывается менее износостойким. Помимо сопротивления срезу износостойкость полимера определяется вероятностью начала среза вдавившимся в поверхность абразивом. Эта вероятность уменьшается с повышением эластичности и численно характеризуется показателями упругости материала.

М.А. Коган и Д.Я. Соболев при исследовании изнашивания пластмасс незакрепленным абразивом крупностью 0,075...1,6 мм на упругой подкладке установили:

1. Абразивные частицы размером 0,075 мм практически не вызывают износа. Относительно эластичные полимеры, такие, как полиамиды, мало изнашиваются при размере зерна 0,015 мм. При увеличении размера абразивных частиц более 0,1 мм интенсивность изнашивания всех полимеров уменьшается.

2. При трении пластмасс по шлифовальной шкурке, когда износ оказался прямо пропорциональным давлению, прямая пропорциональность сохраняется только до определенного предела; в дальнейшем интенсивность изнашивания с ростом давления не увеличивается.

3. Увеличение скорости скольжения до 0,5 м/с не влияет на интенсивность изнашивания. С увеличением скорости интенсивность изнашивания падает, а затем возрастает, по-видимому, вследствие большого тепловыделения.

6.4. Абразивное изнашивание при ударе

Процесс разрушения детали при ударном взаимодействии между деталью и абразивом называют ударно-абразивным изнашиванием. Этому разрушению подвергаются детали буровых долот, камне- и рудомелющих агрегатов, породоразрушающий инструмент пневмо- и гидроударников, детали гусеничного хода машин и др. Ударно-абразивное изнашивание поверхности происходит о монолитный или свободный абразив.

На ударно-абразивное изнашивание влияет природа и геометрическая форма, твердость, хрупкость абразивных частиц, толщина слоя абразива, энергия удара, твердость испытуемого материала и подложки, наличие жидкости в зоне удара и др. /13/.

При абразивном изнашивании без ударного взаимодействия поверхности трения покрываются царапинами, расположенными в направлении движения абразива. Для ударно-абразивного изнашивания характерно образование на поверхности трения лунок в результате локальной пластической деформации металла. Края лунок образуют те выступы, которые внедряются в сопряженную поверхность и имеют твердость, превышающую твердость металла, или имеют наиболее благоприятное расположение своих граней к поверхности детали. Края лунок с меньшей твердостью обычно разрушаются, не повреждая поверхность детали. При многократном

взаимодействии абразива с поверхностью детали лунки расширяются и углубляются. В результате поверхность наклепывается, и происходит отрыв от нее частиц. Обычно это происходит у пластичных материалов. Для изнашивания твердых материалов характерно хрупкое выкрашивание.

При ударно-абразивном изнашивании износостойкость углеродистых сталей зависит не только от твердости, но и от состава и структуры стали. Максимальной износостойкостью обладают сталь, содержащие 0,7 % углерода. Стали с большим содержанием углерода в результате хрупкого выкрашивания имеют меньшую износостойкость. При содержании углерода менее 0,7 % стали подвергаются пластической деформации и больше изнашиваются. Чем сильнее ударное взаимодействие, тем больше сказывается содержание углерода на износостойкость стали.

6.5. Некоторые сведения об абразивах

Физико-механические свойства абразивов обусловлены структурно-текстурными особенностями, возрастом, генезисом, условиями деформирования, наличием внутренних дефектов, неоднородностью. Характеристики свойств пород в массиве абразива и в раздробленном состоянии различны.

В отличие от металлов горные породы являются материалами ограниченной пластичности, у большинства горных пород способность к остаточным деформациям имеет место лишь в условиях всестороннего сжатия при низких скоростях распространения деформаций.

Наиболее обширной группой методов определения прочности являются испытания на одноосное сжатие, растяжение, кручение, изгиб и сдвиг в статических условиях.

При испытании горных пород на одноосное растяжение либо сжатие определяют модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел прочности при растяжении; при испытании на одноосное сжатие — модуль упругости, предел прочности при сжатии.

Все породоразрушающие минералы и горные породы при разных видах деформаций в процессе испытаний являются упруго-хрупкими телами, которые при нагружении не дают остаточных деформаций, а их разрушение наступает в момент, когда напряжение достигает предела упругости.

Коэффициент Пуассона для горных пород колеблется от 0,1 до 0,4.

Минералы подчиняются закону Гука при любых условиях напряженно-деформированного состояния, но связь между напряжениями и деформациями более сложная. Значения предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ приведены в таблицы 2.

Таблица 2. – Предел прочности почвенных пород

Почвенная порода	$\sigma_{сж}$, МПа	Почвенная порода	$\sigma_{сж}$, МПа
Граниты	8200...27000	Песчаники	30000...51000
Габбро	12000...36000	Кремний	30000...46 000
Диабаз	38000...50000	Ангидрид	6000...12000
Известняки и доломиты: крупнокристаллические плотные органические	500...12000 400...26000 500...10000	Гипс	2 500...5 000
		Глинистые сланцы	3500...11000
		Аргиллиты	8000...26000
		Алевролит	3500...5600

6.6. О характере деформации в зоне контакта частицы с изнашиваемой поверхностью при скольжении

В механизме внешнего силового воздействия твердой абразивной частицы на поверхность изнашивания при скольжении можно выделить два этапа (рисунок 4 а и б).

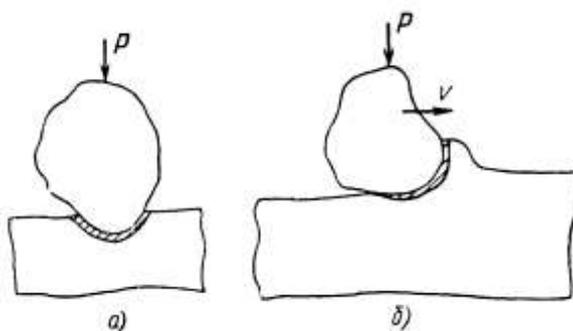


Рисунок 4. – Схема контактного взаимодействия абразивной частицы с изнашиваемой поверхностью:

- а – радиальное внедрение;
- б – перемещение по поверхности

Первый этап характеризуется воздействием абразивной частицы на поверхность изнашивания и завершается ее внедрением в металл поверхностного слоя, при этом твердость и прочность абразивной частицы должны быть выше твердости металла изнашиваемой поверхности. На втором этапе абразивная частица, внедрившись в металл на определенную глубину, совершает поступательное перемещение по поверхности изнашивания, осуществляя при этом сложное полидеформационное разрушение путем пластического деформирования, микрорезания, упругого оттеснения и т. д.

В конечном счете особенности этого взаимодействия и определяют природу, механизм изнашивания поверхностного слоя металла в зоне истирания.

При абразивном изнашивании статическое нагружение усложнено динамическим характером приложения удельных контактных нагрузок с переменной интенсивностью.

Внешнее силовое воздействие единичной абразивной частицы на поверхность изнашивания неизбежно сопровождается ее деформацией и последующим формированием очагов разрушения с отделением частиц износа.

В зависимости от сочетания различных факторов деформация в зоне контакта абразивной частицы с металлом может быть упругой или пластической.

Абразивное изнашивание характеризуется непрерывным, а в ряде случаев и значительным съемом металла с поверхности трения, поэтому с учетом конечных результатов воздействия абразивной частицы следует иметь в виду главным образом пластическую деформацию.

Если рассматривать движение абразивной частицы в виде индентора с возможностью микрорежущего воздействия на поверхность изнашивания, то в его окрестности можно предположить две зоны: зону сжатия и зону растяжения; в пределах этих зон действуют напряжения смятия, отрыва и сдвига (среза).

7. КОСТРУКЦИИ УСТАНОВОК И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В АБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ

В последние годы в мировой практике наметилась тенденция повышения значимости и роли стендовых испытаний на износ. Наибольший интерес стендовые испытания представляют при ускоренных режимах, так как по сравнению с натурными они значительно сокращают продолжительность и расширяют шкалу уровней факторов нагружения. Современный подход к разработке методов ускоренных испытаний позволит существенно сократить сроки создания надежной сельскохозяйственной, дорожно-строительной, мелиоративной техники.

В натуральных условиях показатели силового и абразивного воздействия на поверхность деталей различны. Приблизить лабораторные условия испытаний к натурным с одной стороны сложно (например, воспроизвести плотность почвы, обновление отработанной абразивной среды, уровень сопротивления почвенного пласта и величину деформации изделий), с другой стороны, вполне реально управлять абразивностью среды, ее гранулометрическим составом, твердостью частиц, скоростью движения образца в массе.

Качественная картина изнашивания деталей оборудования обусловлена схемой взаимодействия с абразивом, его видом и характером внешнего силового воздействия (рисунок 5).

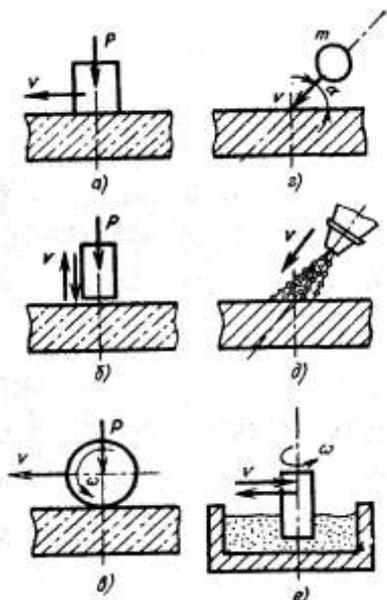
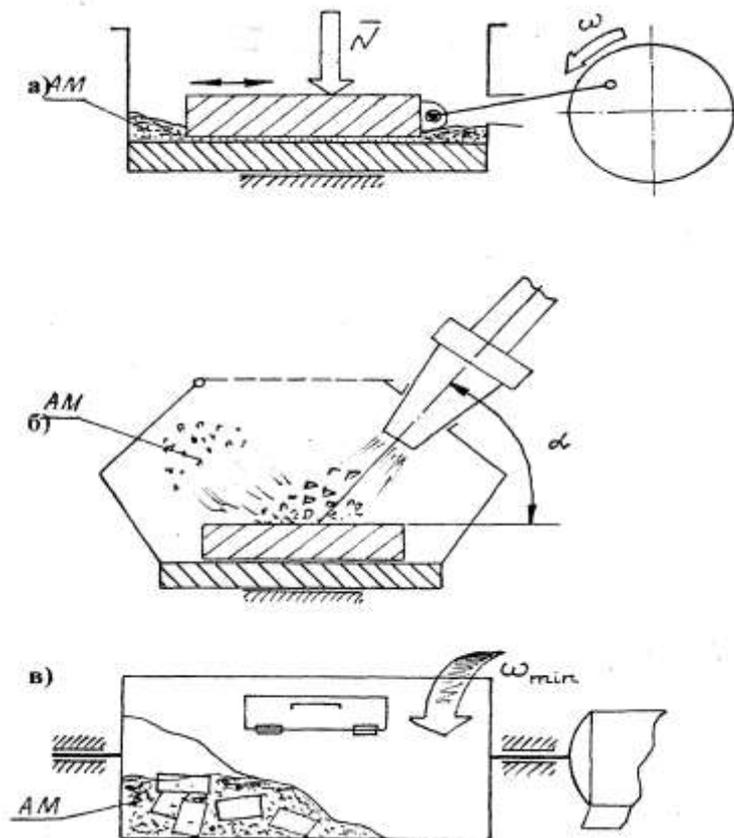


Рисунок 5. Основные схемы взаимодействия металла с абразивом при изнашивании:

- а – скольжение;
- б – жесткий удар;
- в – качение;
- г – свободный удар;
- д – гидроабразивный удар потока;
- е – скольжение в массе.

Широкое распространение в практике лабораторных исследований нашли следующие конструктивные решения (рисунок 6).



- а) при перемещении образца относительно контртела через слой абразивные частиц;
- б) изнашивание поверхности образца потоком воздушно-абразивной смеси (эффект пескоструйной обработки);
- в) ударные стирающие воздействия абразивной массы на плитки-образцы (эффект шаровой мельницы).

Рисунок 6. – Варианты конструктивных схем установок для абразивного изнашивания материалов.

Изнашивание сталей и сплавов в абразивной массе незакрепленных частиц изучали меньше в силу специфики этой разновидности изнашивания и его методических особенностей. Основное отличие этой разновидности изнашивания — движение детали или инструмента в массе абразива; плотность, состав массы, скорость движения — основные факторы, определяющие интенсивность изнашивания. В натуральных условиях показатели силового и абразивного воздействия на поверхность изнашивания деталей различны. Приблизить лабораторные условия испытаний к натуральным условиям сложно: например, воспроизвести плотность почвы, ее влажность, абразивность, гранулометрический состав, твердость частиц абразивной массы, скорость движения образца в массе, обновление отработанной абразивом массы.

Предложенные в разное время методы испытания на изнашивание при движении в абразивной массе, хотя и создавались применительно к

определенным условиям работы, носили схематизированный характер с большими ограничениями в прикладном отношении.

В режимах испытания была определенная условность, отсюда и подразделение на испытания при малых, средних и больших удельных нагрузках. Но такое деление не имеет методического обоснования.

Многочисленные попытки создания лабораторной установки для испытания на изнашивание в абразивной массе не привели к получению принципиально иных зависимостей по сравнению с ранее полученными. Поиски новых результатов за счет усложнения методов испытания не оправдались. Изнашивание в абразивной массе является разновидностью абразивного изнашивания при трении по абразиву, по уровню же внешнего силового воздействия значительно уступает этому условию изнашивания. Таким образом, пока нет закономерностей, вносящих новое в механизм изнашивания абразивом. С этих позиций надо подходить к исследованию некоторых частных особенностей изнашивания сталей при движении в абразивной массе.

Применялось несколько разновидностей лабораторных установок для изучения изнашивания материалов при движении в абразивной массе.

С учетом этих соображений была разработана лабораторная установка для испытания на изнашивание при движении образца в абразивной массе (рисунок 7). От электродвигателя 1 через муфту сцепления 2 и редуктор 3 вращение передается на закрепленное на оси колесо 10 и шестерни шпинделя 9, в котором крепится испытуемый образец 7. Вращение шестерни 10 вызывает вращение испытуемых образцов вокруг собственной оси и дополнительно вокруг вертикальной оси редуктора. Такое движение испытуемых образцов 7 в абразивной массе 6, размещенной в корпусе 5, укрепленном на плите 4, обеспечивает последовательное взаимодействие всей цилиндрической поверхности испытуемого образца с частицами абразива и его перемещение в абразивной массе с определенной скоростью.

Одновременное вращение испытуемого образца вокруг собственной оси и вокруг оси редуктора в чаше с абразивом обеспечивает равномерное изнашивание по всему периметру и чередующееся обновление абразива в

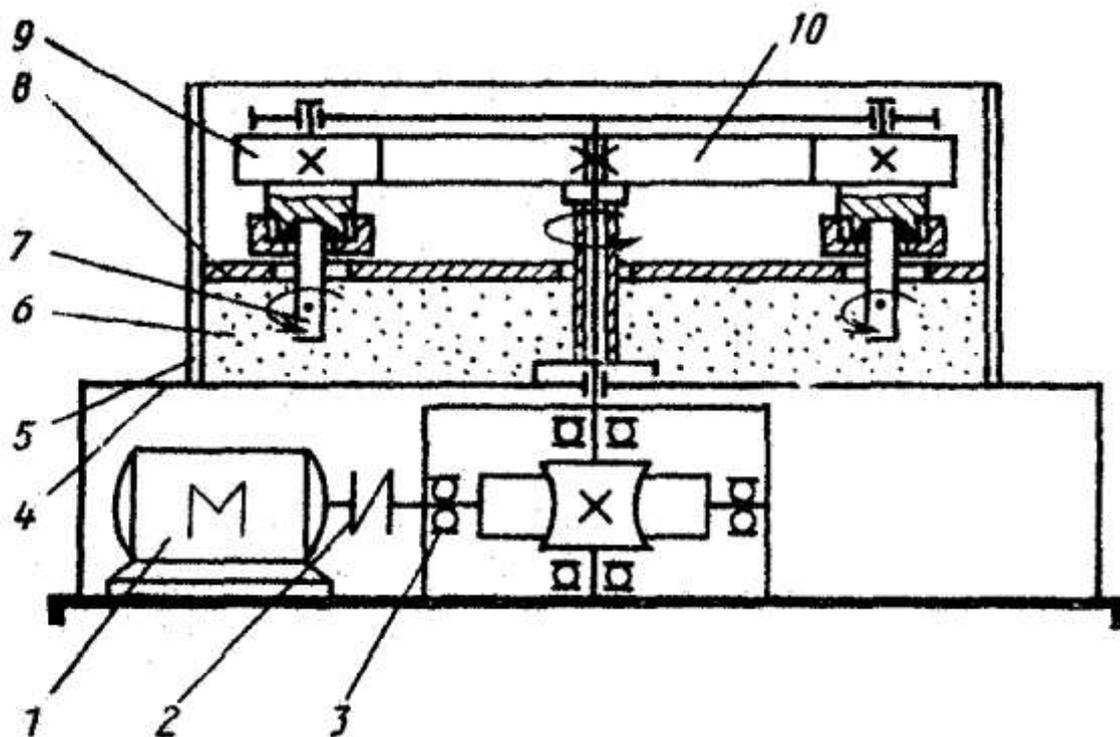


Рисунок 7. – Схема лабораторной установки для испытания материалов на изнашивание в абразивной массе.

зоне его взаимодействия с поверхностью изнашивания.

Сложное движение образца обеспечивает принудительное перемещение абразивной массы. На оси редуктора в контакте с шестерней 10 одновременно взаимодействуют три подвижных шестерни шпинделя 9, тем самым создаются методические предпосылки для сравнительной оценки одновременного изнашивания сразу трех образцов.

Установка имеет следующие преимущества: возможность изучения влияния скорости движения образца в абразивной массе по радиусу вращения шпинделя, в котором они крепятся, и скорости вращения образцов вокруг собственной оси; испытание на изнашивание в абразивной массе различного состава, твердости, размеров зерен, степень увлажненности; одновременно испытание различного числа образцов – 3, 6, 9, 12; испытания в абразивной массе, осложненные коррозионным воздействием жидкой добавки в чашу с абразивом. Размеры образцов, частота их вращения вокруг собственной оси и вокруг оси редуктора, масса абразива, степень его увлажненности – эти варианты просто обеспечить соответствующими конструкционными изменениями или подбором режима испытания.

Этот метод эффективен для изучения износостойкости металлов, сталей, чугунов, сплавов, упрочняющих покрытий, полимерных композиций и резин.

Он необходим для сопоставительной оценки упрочняющих покрытий небольшой толщины, эффект которых не всегда можно выявить в условиях трения скольжения по монолиту абразива из-за высоких удельных нагрузок и форсированных темпов съема металла с поверхности изнашивания, когда абразивные частицы прорезают упрочненный тонкий слой насквозь и одновременно захватывают основу упрочняемой структуры.

Продолжительность испытания определяют в каждом конкретном случае, она зависит от соотношения свойств материала и абразива и режимов испытания.

Метод можно использовать для оценки износостойкости различных материалов одновременно в одних и тех же условиях изнашивания, а также для выявления роли масштабного фактора и геометрии образцов на их форму и величину износа.

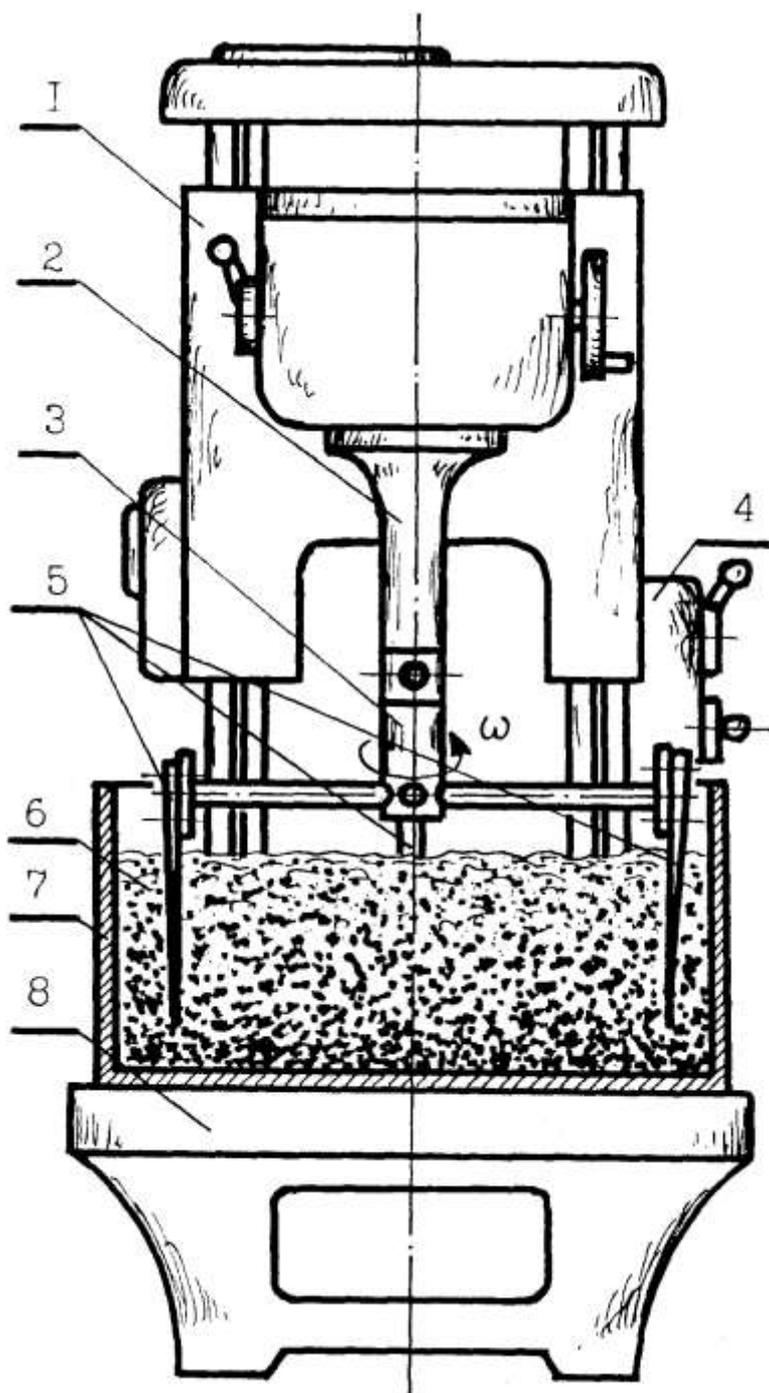
Анализ литературных данных /2/, /16/ убеждает в том, что при создании лабораторных установок для испытания на изнашивание при движении в абразивной массе нет необходимости воспроизводить некоторые частные особенности условий работы натуральных деталей под воздействием абразивной массы. Конечные результаты от этого практически не изменяются. Применяемые, например, лабораторные установки "вращающаяся чаша", "способ гильзы", "изнашивающаяся чаша", "машина с кольцевым лотком", "машина с уплотнением абразивной массы центробежной силой", "шнековая машина" и др. в методическом отношении, при конструктивном их различии, имеют главную общность - все они обеспечивают движение образца в абразивной массе с некоторыми частными отличиями, которые, судя по конечным результатам, не оказывают решающего влияния на закономерности изнашивания.

На основании этого анализа стало очевидным основное методическое условие испытаний - это движение образца относительно абразивной массы, чтобы обеспечить воздействие частиц абразива на поверхность изнашивания путем микрорезания.

В этой связи с учетом вышеизложенных соображений коллективом лаборатории надежности и ремонта машин Ивановская ГСХА разработан, запатентован и изготовлен ряд установок для проведения исследовательских стендовых ускоренных испытаний опытных и серийных материалов в абразивной среде, позволяющих не прерывать процесс поиска оптимальных вариантов весь календарный год /14/, /15/.

Все выше сказанное в полной мере можно отнести конструкции, представленной на рисунке 8 и 9. Установка выполнена на базе вертикально-расточного станка модели 278 Н и позволяет проводить длительные ресурсные имитационные испытания на износ натуральных образцов: зубьев борон, лап и наральных (наконечников) культиваторов, дисков сеялок и окучников. Фрагменты рабочего процесса данной установки приведены на рисунке 9.

Рисунок 8. Схема почвенного стенда для испытания материалов на изнашивание: 1 – шпиндельная бабка; 2 – чехол шпинделя; 3 – оправка для образцов; 4 – коробка подач и скоростей; 5 – образцы; 6 – абразивная масса; 7 – контейнер; 8 – стол станда.



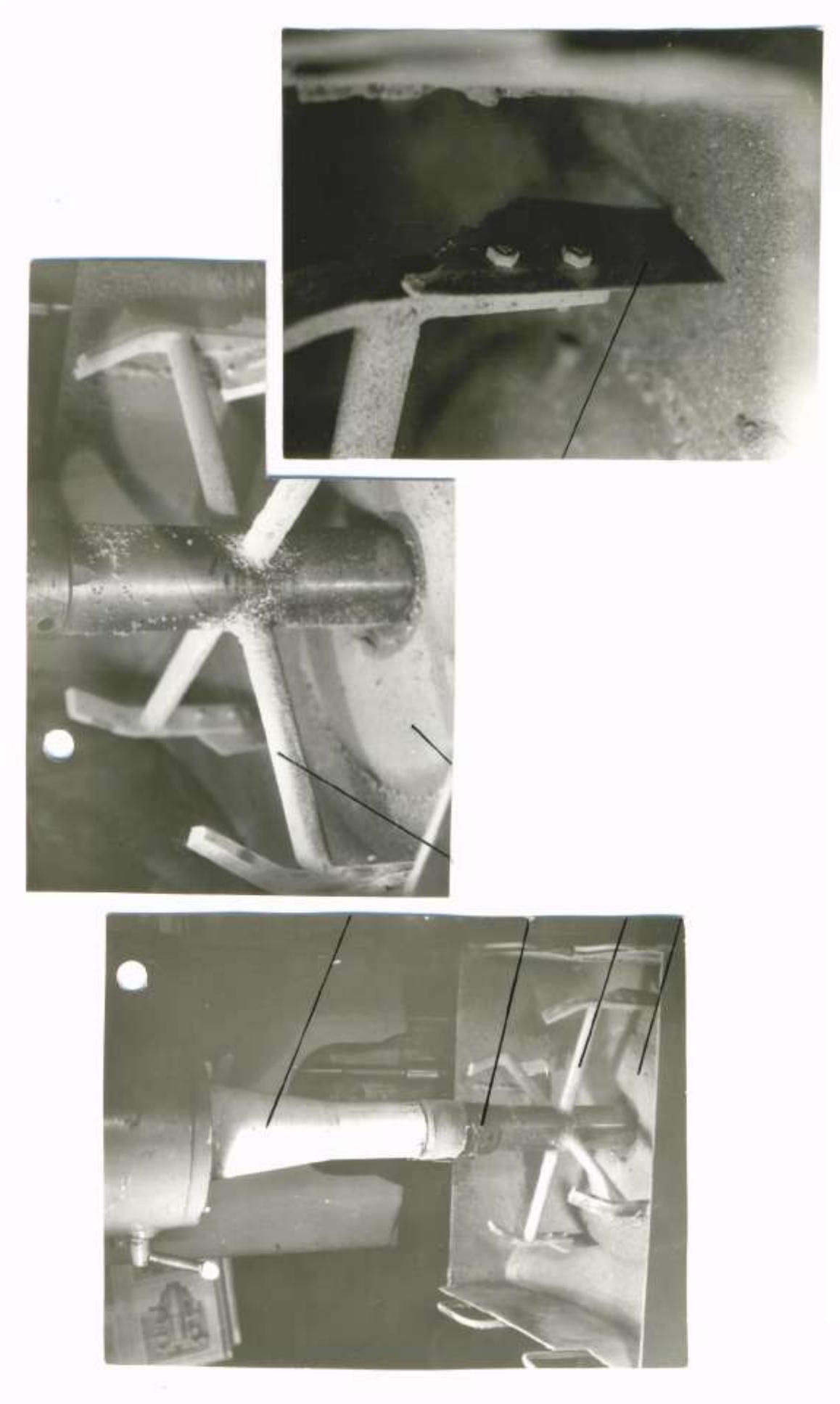


Рисунок 9. – Фрагменты рабочего процесса почвенного стенда на базе станка 278Н

Рассмотренная ниже другая конструкция установки /17/ позволяет ускорить процесс изнашивания материалов и получения конечного результата для сравнительной оценки за счет:

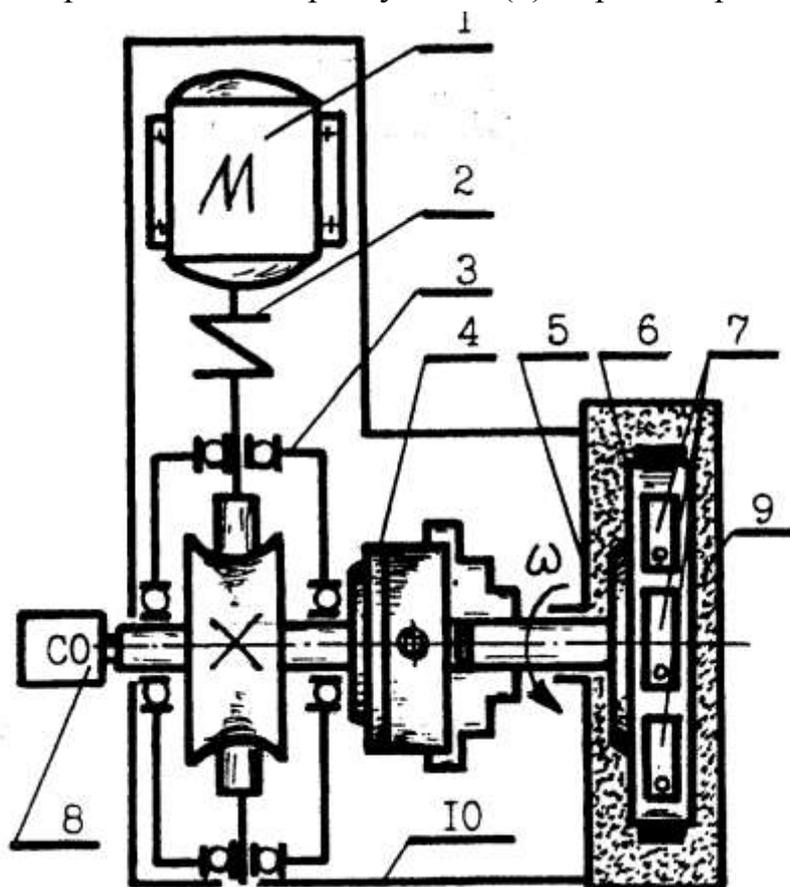
- а) повышения абразивности (режущей, царапающей способности) среды;
- б) увеличения скорости движения образцов в массе частиц;
- в) уплотнения испытаний по времени.

Степень интенсивности ведения процесса в этих условиях можно оценить коэффициентом ускорения испытаний:

$$K_{VCK} = \frac{H_{PEAL}}{H_{VCK}}, \quad (2)$$

где H_{PEAL} и H_{VCK} – наработка изделия, образца до предельного состояния (или равного по величине износа), соответственно, в реальных условиях эксплуатации и при ускоренных испытаниях, км, ч, га.

В конструкции установки-стенда для имитации условий абразивного изнашивания, представленной на рисунке 10, от электродвигателя (1) через муфту (2) и редуктор (3), закрепленных на общей раме (10), вращение передается на оправку-диск (6) через патрон (4).



Условия контактирования образцов (7) с абразивной средой (9), засыпанной в контейнер (5), хорошо показаны на рисунке 11. Исходя из них одновременно протекают процессы уплотнения абразивной массы и активного микрорезания поверхности образца. Циклический характер нагружения способствует интенсивному съему материала с поверхности испытываемого образца. Счетчик оборотов (8) позволяет определить пройденный путь (наработку) за опыт.

Рисунок 10. – Схема исследовательской установки для испытания материалов на изнашивание в абразивной среде (вид сверху, позиции - по тексту).

Установка имеет следующие положительные стороны: проведение испытаний на изнашивание в абразивной массе различного состава, твердости, размеров зерен, степени увлажненности (и возможно каменности); одновременное испытание различного числа образцов - 1...8 шт; простота конструкции и малое энергопотребление (0,2 кВт). Форму и размеры образцов, скорость их движения, состав абразивной среды (песчаные почвы в комбинации с отходами шлифовального производства) не сложно варьировать и обеспечивать соответствующими конструктивными изменениями или подбором режима испытания.

Представленная конструкция установки эффективна для изучения износостойкости сталей, чугунов, твердых сплавов, стеклоэмалевых и силикатных покрытий, металло- и минералокерамики.

Продолжительность испытаний (время, путь трения) следует определять и назначать в каждом случае, в серии экспериментов, так как она зависит от соотношения свойств исследуемого материала и абразива, скоростного режима и т.д. (например, 1 ч; 1 км; 10 ч; 10 км).

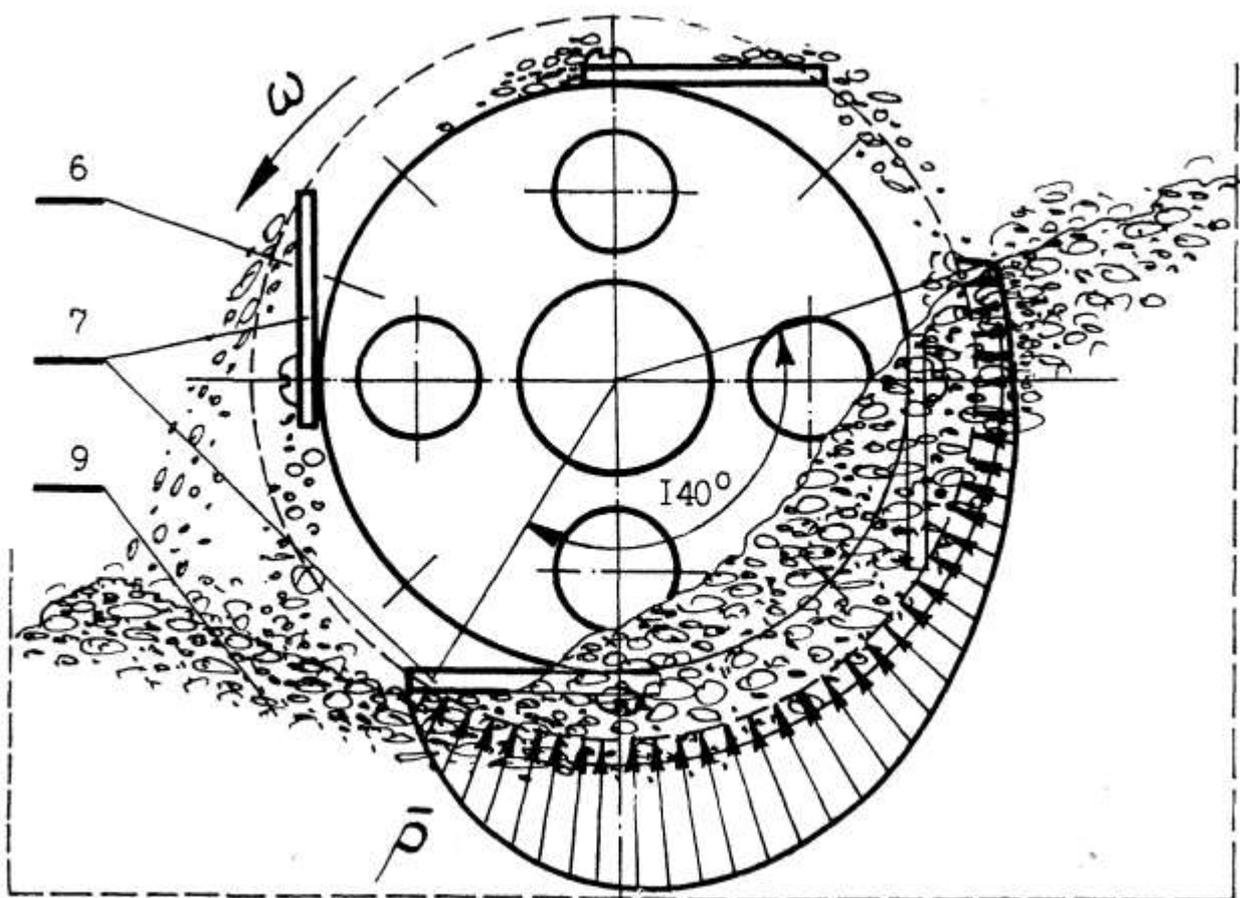


Рисунок 11. – Фрагмент рабочего процесса изнашивания образцов в абразивной среде (позиции – по рисунку 10).

8. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

1. Наработка за опыт оценивается по секундомеру ($T_j, \text{ч}$). Исходя из конструктивных особенностей испытательной установки, образец на 1 мин проходит путь трения $S_{TP} = 8,3 \text{ м}$;

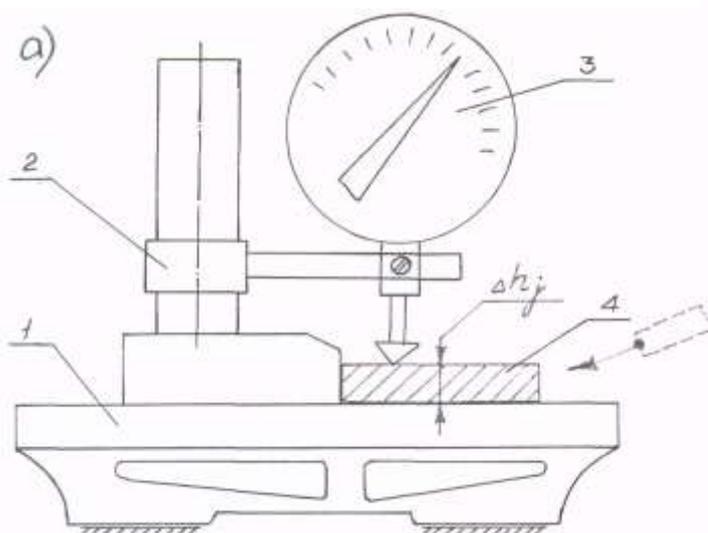
за 60 мин - $S_{TP} = 500 \text{ м}$, за 2 часа – 1000 м. и т.д.

2. Наработка накопленная находится простым (накопительным) суммированием времени или пути трения соответственно:

$$T_{\Sigma} = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n, \quad (3)$$

$$S_{TP\Sigma} = S_{TP1} + S_{TP2} + S_{TP3} + \dots + S_{TPn} \quad (4)$$

3. Относительная толщина образца ($\Delta h_j, \text{мкм}$) определяется периодическими измерениями микаторной головкой (рисунок 12), закрепленной на универсальной стойке.



- 1 - плита поверочная ПП 250x250;
- 2 - стойка индикаторная С-1;
- 3 - микаторная головка ИПМ-1(-2), МИГ-1 (-2);
- 4 - плитка-образец исследуемого материала.

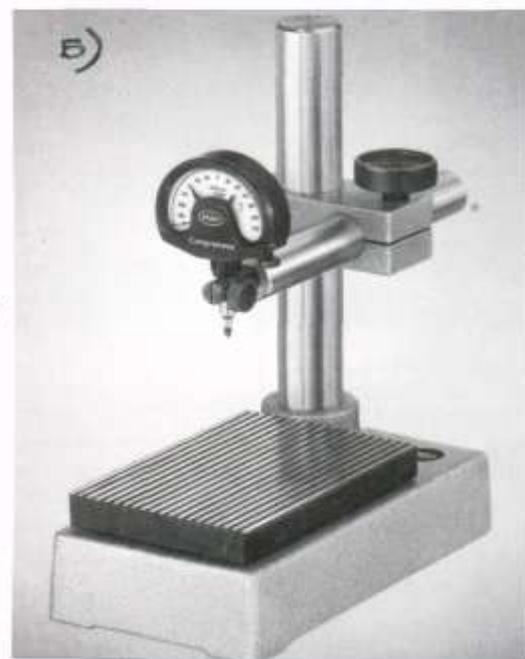


Рисунок 12. - Схема контроля (а) относительной толщины образцов и ее приборное обеспечение (б).

Таблица 3. – Результаты сравнительных испытаний материалов в условиях абразивного изнашивания

Поз.	Наименование материала	Твердость HV	Условное обозначение	$S_{тр} =$ / Износ [⊙] , мкм	$S_{тр} =$ / Износ, мкм	$S_{тр} =$ / Износ, мкм	$S_{тр} =$ / Износ, мкм	$S_{тр} =$ / Износ
1.	Сталь 45 закалка+отпуск		-X---X---X-	/	/	/	/	/
2.	Сталь 65Г закалка+отпуск		-0---0---0-	/	/	/	/	/
3.	Сталь У10 закал.+нормал.		-▲-----▲---	/	/	/	/	/
4.	ПГ-ХН80-СРЗ: газопламенное напыление		--□-----□---	/	/	/	/	/
5.	Карбид вольфрама: электроискровое легирование		--■-----■---	/	/	/	/	/
6.	Слой отбеленного чугуна		---●-----●---	/	/	/	/	/
7.	Гальваническое хромирование		---◇-----◇---	/	/	/	/	/
8.	Стекло		---◆-----◆---	/	/	/	/	/
9.	Фарфор		---▬-----▬---	/	/	/	/	/

Примечание. ⊙ - величина износа образцов: в числителе – за опыт (за пройденный путь трения в эксперименте); в знаменателе – накопленный износ (за суммарный путь трения)

4. **Величина износа за опыт** (i_j , мкм) рассчитывается по разнице толщины (или массы) образца относительно предшествующего опыта

$$i_j = \Delta h_{j-1} - \Delta h_j, \text{ или } i_j = m_{j-1} - m_j \quad (4)$$

накопленная :

$$i_\Sigma = i_1 + i_2 + i_3 \dots i_n \quad (5)$$

5. **Скорость износа за опыт** (V_{ij} , мкм/ч, мг/ч) рассчитывается по формуле:

$$V_{ij} = \frac{i_j}{T_j} \quad (6)$$

6. **Интенсивность изнашивания за опыт** (I_{hj} , мкм/км, мг/км) определить по формуле:

$$I_{hj} = \frac{i_j}{S_{TPj}} \quad (7)$$

7. **Скорость износа накопленную** ($V_{i\Sigma}$, мкм/ч, мг/ч) рассчитать по формуле:

$$V_{i\Sigma} = \frac{i_\Sigma}{T_\Sigma} \quad (8)$$

8. **Интенсивность изнашивания накопленную** ($I_{h\Sigma}$, мкм/км, мг/км) рассчитать по формуле:

$$I_{h\Sigma} = \frac{i_\Sigma}{S_{TP\Sigma}} \quad (9)$$

Результаты стендовых испытаний представить в виде рисунка 13. Дать сравнительную оценку поведения образцов из разных материалов в абразивной среде. Сделать соответствующие выводы.

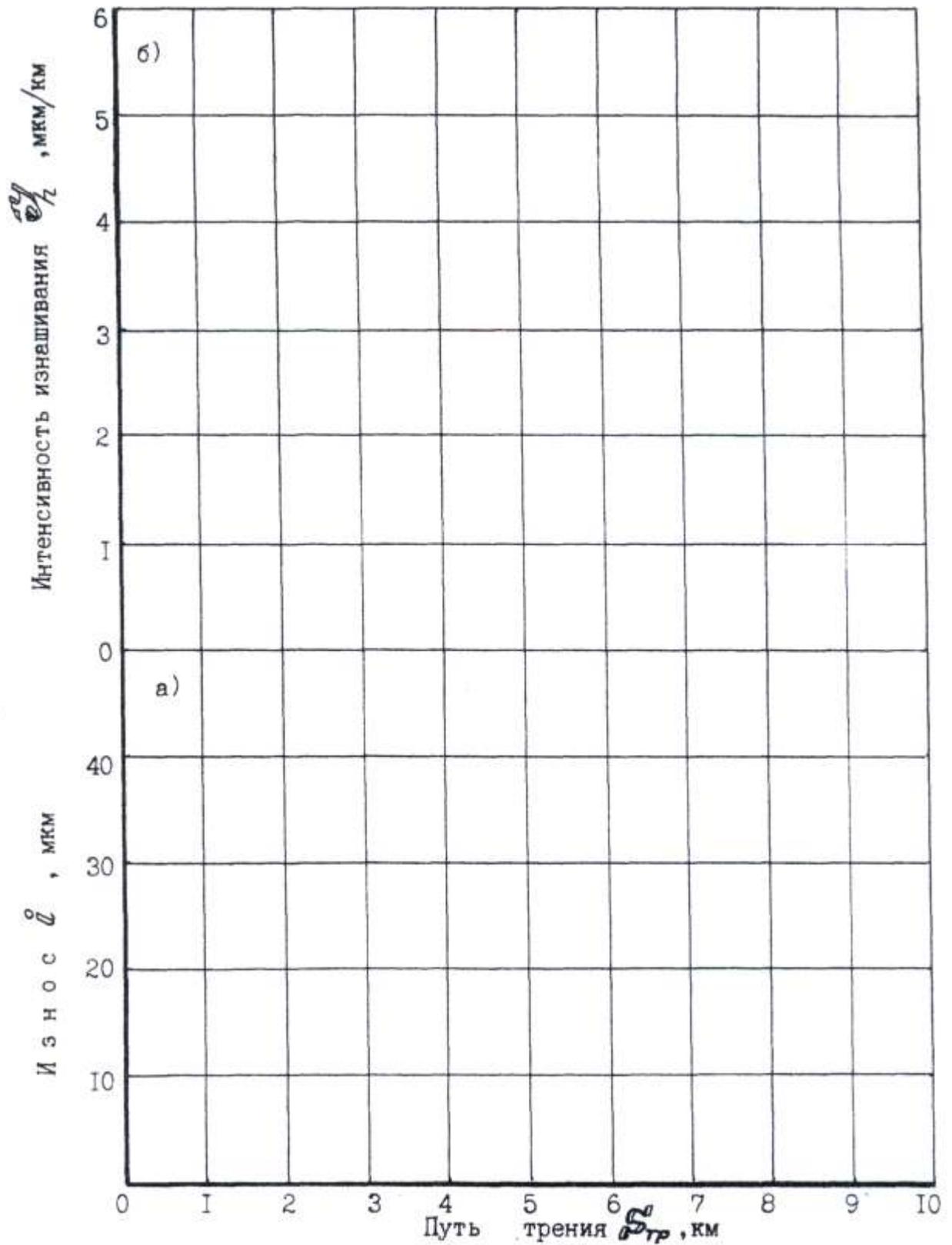


Рисунок 13. – Зависимость величины линейного износа i_h , мкм (а) образцов и линейной интенсивности изнашивания I_h , мкм/км (б) от пути трения $S_{тр}$ км в абразивной среде: 1 - серийный материал.....; 2 - опытное покрытие..... .

9. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Термические и термохимические методы. К ним относятся закалка, цементация, азотирование и др.

Термической и термохимической обработкой можно придать деталям необходимую твердость и вязкость, однако толщина слоя твердого металла весьма незначительна и после его срабатывания деталь изнашивается во много раз быстрее. Кроме того, этими методами восстанавливают детали с износами не более 0,5 мм.

Объемная закалка. В результате закалки повышаются физико-механические свойства поверхностного (10...12 мм) слоя детали, его твердость возрастает до 500...600 НВ.

Поверхностная закалка. В результате такой обработки достигается твердость до 45...55 HRC на поверхности всего изделия или части его без изменения структуры и твердости металла в остальной части изделия - при минимальной деформации.

Цементация. При насыщении углеродом поверхностного слоя изделия происходит его упрочнение при сохранении мягкой и вязкой внутренней зоны; твердость после закалки повышается до 50...60 HRC. Глубина цементированного слоя колеблется от 0,5...2 мм для твердых карбюризаторов и до 0,2...0,6 мм для жидких.

Цианирование. Создается упроченный, с высокой износостойкостью слой стали глубиной до 0,4 мм при твердости 930...1100 НВ.

Азотирование. Твердость сталей повышается до 1150 НВ, что в 1,5...2 раза выше, чем при цементации и закалке. Увеличиваются износостойкость и антикоррозионные качества в слое глубиной не более 0,5 мм.

Механическая обработка (дробеструйный наклеп, накатка роликами и др.). Методы механического управления можно использовать для создания тонкого твердого слоя над вязкой сердцевиной. Методы непригодны для восстановления деталей с большим износом.

Дробеструйный наклеп. При такой обработке на поверхности детали создаются напряжения сжатия около нескольких сотен МПа. Особенно хорошие результаты получаются при повышении усталостной прочности и упрочнении термически обработанных стальных деталей, работающих при знакопеременных нагрузках.

Твердость мягких металлов повышается на 20...40 % при глубине наклепа до 1 мм.

Накатка роликами. При накатке улучшается микрогеометрия поверхности, создается упроченный, наклепанный до твердости 300 НВ слой глубиной приблизительно 1 мм, повышающий износостойкость деталей.

Наклеп взрывом. Этот метод применяется для создания наклепа в изготовленных из высокомарганцовистых сталей новых деталях экскаваторов, драг и камнедробилок. Детали со всех сторон покрывают

взрывчаткой, скорость детонации которой около 7300 м/с (например, пластидом типа пентаэритролтетранитата или порошком гексогена), и взрывают ее. В результате создающегося давления (50 ГПа) твердость сталей повышается до 300...350 НВ. Глубина наклепанного слоя достигает 20...30 мм.

Электролитические покрытия (хромирование, осталивание и др.). В этом случае создаются тонкие твердые поверхностные слои. Методы непригодны для устранения больших износов, сравнительно дороги и недостаточно производительны.

Хромирование. Получается покрытие твердостью, близкой к корунду (1050...1200 НВ), и высокой стойкостью к истиранию. При этом структура основного металла детали и ее термическая обработка не нарушаются. Толщина хромовых покрытий не превышает 0,5 мм.

Осталивание. На деталь наносят слой железа толщиной 0,8...1,5 мм. К разновидностям процесса осталивания можно отнести электролитическое осаждение сплавов Fe-Mn, которое позволяет получить содержащие 0,4...0,6 % Mn осадки с высокой твердостью толщиной 1,5 мм. Использование малоцентрированных ванн при высоких плотностях тока и пониженных температурах ванн электролита дает возможность получать слои твердостью около 50 HRC.

Наплавка (напыление) износостойких сплавов (электронаплавка, газопламенная и др.). При нанесении износостойких сплавов на основу из обычных углеродистых сталей получают детали с хорошо сопротивляющейся ударам вязкой сердцевиной из недорогих сталей и поверхностью в виде достаточно толстых слоев износостойких сплавов, обладающих высокой сопротивляемостью абразивному изнашиванию.

Электронаплавка износостойких сплавов позволяет получать износостойкие покрытия толщиной 3...6 мм и более при твердости 50...60 HRC.

Газопламенное напыление металлических порошков используется для получения износостойких слоев толщиной 0,5...5,0 мм и твердостью до 60 HRC.

Электроискровое легирование рабочей поверхности детали выполняется на установках «Элитрон» или «Вестрон» за счет электроэрозионного переноса высокотвердых сплавов, например, ВК, ТК, ТТК, ТН, подключенных к аноду установки на деталь-катод.

При наплавке износостойких сплавов можно наносить на изнашивающиеся поверхности рабочих органов металл общей толщиной до 1...6 мм в один слой или несколько слоев. Эти методы позволяют восстанавливать первоначальную форму значительно изношенных деталей и придавать им одновременно высокую износостойкость.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Раскрыть сущность основных понятий темы - изнашивание и износ, скорость и интенсивность изнашивания, износостойкость и абразивный материал.
2. Назвать примеры деталей машин, подвергающихся абразивному изнашиванию.
3. Описать механизм контакта поверхности детали и абразивных частиц, а также варианты развития событий при различных внешних условиях.
4. Имеется ли зависимость скорости изнашивания сталей в абразивной среде от содержания углерода и величины их твердости ?
5. Дать краткую характеристику свойств почвенных сред.
6. Виды конструкций установок для испытания деталей в условиях абразивного изнашивания.
7. За счет каких факторов можно ускорить процесс изнашивания материалов в лабораторных условиях ?
8. Как рассчитать коэффициент ускорения испытаний ?
9. Какое оборудование и измерительные приборы используются в лабораторной работе ?
10. Какова последовательность операций в методике обработки результатов испытаний образцов на износостойкость ?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1.
2. Ермолов Л.С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники. – М.:Колос, 1979. – 255 с.
3. **Виноградов В.Н.** и др. Абразивное изнашивание. – М.:Машиностроение, 1990. – 224 с.
4. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
5. **Петров И.В.** Износостойкая наплавка в ремонте машин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 118 с.
6. **Черновол М.И.** Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники. - Киев:1989. - 256 с.
7. Полимерные материалы в сельскохозяйственном машиностроении.- М.:Агропромиздат,1986. – 255 с.
8. **Воловик Е.Л.** Справочник по восстановлению деталей. – М.:Колос, 1981. – 351 с.
9. **Молодык Н.В., Зенкин А.С.** Восстановление деталей машин. Справочник. – М.: Машиностроение,1989. – 480 с.
10. **Сушкевич М.В.** Контроль при ремонте сельскохозяйственной техники. – М.: Агропромиздат,1988. – 254 с.
11. **Хрущев М.М., Бабичев М.А.** Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
12. **Крагельский И.В.** Трение и износ. – М.: Машиностроение,1968. – 480 с.
13. **Тененбаум М.М.** Сопротивление абразивному изнашиванию / Трение и износ, 1982, № 1.С.76-82.
14. **Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Пашков А.Н.** Долговечность буровых долот. – М.: Недра,1977. – 256 с.
15. **Гвоздев А.А.** Упрочнение лап культиваторов электродуговой обработкой/ Совершенствование средств механизации и технологических процессов в сельском хозяйстве. Сб.науч.тр.С.-П.: 1992.С.43-44.
16. **Гвоздев А.А., Мясоедов В.Е.** Установки для испытания деталей в условиях абразивного изнашивания/ Совершенствование средств механизации и технологических процессов в сельском хозяйстве. Сб.науч.тр.С.-П.:1998.С.30-35.
17. **Икрамов У.А.** Расчетные методы оценки абразивного износа. – М.: Машиностроение,1987. – 288 с.